

20 и 1,5 кэВ соответственно, которые, возможно, уско-ряются во флюктуирующих электрических полях.

С помощью электродинамического ускорителя МК-200 (ИАЭ) получены оторванные от стенок плазмопровода потоки плазмы, при встречном взаимодействии которых в однородном магнитном поле образуется полностью термализованный сгусток плазмы плотностью  $10^{15}$  см<sup>-3</sup> с температурой ионов 2—3 кэВ.

В рамках международного сотрудничества под эгидой МАГАТЭ советскими учеными ведутся работы по проектированию токамака-реактора ИНТОР. В ряде сообщений рассмотрены режимы зажигания термоядерной реакции и «подкритический» режим вблизи области зажигания, начальная стадия разряда и гашение реакции, поведение плазмы в диверторном слое.

В отдельных сообщениях анализировались различные варианты термоядерных реакторов типа токамака, например, с турбулентным плазменным blanketом без дивертора или с выталкиванием плазменного шнура из рабочей камеры за счет баллонной неустойчивости, реактор торса-тройного типа. Рассматривались другие физические проблемы термоядерных реакторов.

В сообщениях по плазменной электронике основное внимание было уделено проблемам генерации сильноточных релятивистских электронных и ионных пучков, воз-

буждению электромагнитных волн сильноточными пучками и взаимодействию сильноточных электронных и ионных пучков с плазмой. Получены существенные результаты в области релятивистской сверхвысокочастотной электроники: созданы экспериментальные образцы генераторов в сантиметровом и миллиметровом диапазоне длин волн с большой эффективностью преобразования энергии электронного источника в энергию электромагнитного излучения (до 30%).

Отмечалось все усиливающееся внимание к вычислительному эксперименту в физике плазмы как современному эффективному методу исследования нелинейных явлений и решению сложных задач в области управляемого термоядерного синтеза. Наряду с методами математического моделирования на разных этапах вычислительного эксперимента широко используются аналитические методы, методы осреднения, автомодельные и инвариантно-групповые методы. Такое соединение мощных современных математических методов с численными экспериментами позволяет не только моделировать процессы на отдельных установках и прогнозировать режимы работы создаваемых новых установок, но и устанавливать новые физические понятия в нелинейном мире явлений.

КУЗНЕЦОВ Э. И.

## Международный симпозиум по магнитному экранированию и скивдам

Построение микроскопической теории сверхпроводимости в конце 50-х годов и обнаружение эффектов Джозефсона в сверхпроводниках в начале 60-х годов привело к созданию сверхчувствительных приборов, на базе которых развилась сверхпроводниковая электроника. Совокупность явлений, представляющих собой физическую основу этой техники, носит название «слабая сверхпроводимость» в отличие, в частности, от «жесткой» сверхпроводимости, лежащей в основе столь же быстро развивающейся техники сильноточных сверхпроводящих магнитных систем. Уникальные свойства контактов на основе слабой сверхпроводимости («джозефсоновских») позволили создать сверхчувствительные измерители напряжения (до  $10^{-15}$  В), мощности СВЧ-излучения (до  $10^{-16}$  Вт) и, наконец, магнитного поля (до  $10^{-15}$  Тл) \*

Прибор, измеряющий магнитное поле с такой высокой чувствительностью, получил название скивд — сверхпроводящий квантовый интерферометрический датчик. Он был изобретен в конце 60-х годов и в настоящее время интенсивно используется в самых различных, но очень тонких измерениях. На его основе практически сформировалась новая область исследований — магнитография, или сверхчувствительная магнитометрия больших объектов. Широко ведутся измерения и анализ магнитных полей сердца, мышц и даже мозга человека; обсуждаются возможности магнитографического контроля качества твэлов ядерных реакторов, изучения процессов в химических реакторах, постановки тончайших фундаментальных физических экспериментов. По нашим оценкам, возможно применение скивдов в сейсмометрии, так как им доступны магнитные поля, индуцируемые в подземной полости, если она окружена магнитной рудой, подвергающейся статической или динамической деформации (что благодаря магнитоэлектрики приводит к изменению намагниченности руды).

Несмотря на малые сигналы, изучаемые магнитографией, их информативность очень велика. Появляется возможность без малейшего воздействия на объект, по изме-

нению его магнитных свойств следить за самыми тонкими деталями физических, химических, биологических, геофизических явлений, часто недоступными никаким другим методом.

Симпозиум по магнитному экранированию и скивдам, о котором идет речь, был организован Низкотемпературной лабораторией Хельсинского университета технологии и проходил 12—14 мая в Отаниemi (близ Хельсинки). Участвовали 72 специалиста. Симпозиум был посвящен узкой, но самой важной для сверхчувствительной магнитометрии проблеме — созданию и использованию различных методов защиты скивдов и исследуемых объектов от внешних (прежде всего магнитных) возмущений.

До последнего времени основным типом скивда, используемым на практике, был высокочастотный — скивд с одним джозефсоновским переходом, получаемым при контакте остроугольного ниобиевого винта с окисленной ниобиевой поверхностью. Энергетическая чувствительность скивда на единицу полосы частот выражается в постоянных Планка ( $h$ ) и в этом скивде достигает  $\sim 100 h$ . Сейчас совершенно очевидно проявляется тенденция к изготовлению и внедрению в практику скивдов на постоянном токе. Это объясняется большими успехами, достигнутыми в изготовлении скивдов методом вакуумного напыления и фотолитографии. Энергетическая чувствительность таких скивдов, созданных в США М. Кетченем и Р. Воссом и в Нидерландах Г. Даальмансом, уже приближается к квантовомеханическому пределу ( $h$ ).

В развитии электроники для скивдов наиболее заметно применение охлаждаемых жидким гелием предусилителей на GaAs-полевых транзисторах. Уровень шумов таких предусилителей меньше уровня собственных шумов скивда.

Для работы сверхчувствительных скивдов-магнитометров требуется температура ниже 9 К (желательно 4 К), что обычно обеспечивается жидким гелием, которым наполняются специальные немагнитные (и даже немагнитические) дьюары. Однако перспектива широкого развития сверхчувствительной магнитографии требует создания приборов, обладающих достаточной автономностью без необхо-

\* Поле Земли равно  $\sim 5 \cdot 10^{-5}$  Тл.

димости еженедельной заправки жидким гелием. Это вызвало развитие нового раздела криогенной техники — микрокриогеники. Исследования по микрорефрижерации для сквидов начаты в последнее время в США. Дж. Циммерман (США) рассказал на симпозиуме о своем микрорефрижераторе, работающем по циклу Стирлинга и обеспечивающем температуру ниже 7 К уже через 15 мин после начала работы. Очевидно, что дальнейшее усовершенствование прибора приведет к созданию достаточно простого устройства, которое позволит вести сверхчувствительные магнитографические исследования вдали от развитых криогенных лабораторий. Сообщалось также о предложенном и испытывавшемся В. Литтлом (США) способе охлаждения тонкопленочного сквида на последней ступени рефрижератора. В нем использовался эффект Джоуля — Томсона, а все необходимые для охлаждения компоненты системы (теплообменник, вентиль) были интегральной частью подложки тонкопленочного сквида, так что и сквид, и ступень микрорефрижератора изготавливались вместе в одном фотолитографическом процессе.

Главной достопримечательностью симпозиума и гордостью его организаторов была первая в Европе ферромагнитно-экранированная комната, стены которой состоят из трех слоев  $\mu$ -металла (магнитная проницаемость  $\mu = 3 \cdot 10^4$ ), разделенных слоями алюминия. Внутренний объем комнаты  $2,4 \times 2,4 \times 2,4$  м, стоимость — 500 тыс. долл., время сооружения — 6 лет. По уровню экранирования она на данный момент лучшая в мире и для частот выше 0,5 Гц ослабляет внешние магнитные шумы до уровня  $3 \cdot 10^{-14}$  Тл/ $\sqrt{\text{Гц}}$ . Это позволит проводить самые тонкие магнитные измерения, включая исследования мозга человека.

Необходимость в создании еще более совершенных экранированных комнат связана с ожидаемым дальнейшим улучшением чувствительности сквидов и планированием еще более тонких физических и биомагнитных экспериментов, для которых снижение уровня шумов, обеспечиваемое существующими комнатами, уже недостаточно. Почти аналогичная финской ферромагнитно-экранированная комната, но уже с пятислойными стенами строится в Западном Берлине. В Станфордском университете под руководством У. Фейрбенка готовы приступить к строительству комнаты, экранированной «абсолютно», т. е. сверхпроводником. Такой проект будет стоить в 5—10 раз больше, чем

осуществленный в Финляндии, но во много раз улучшит экранировку, особенно в области очень низких частот, т. е. для возмущений с периодами от 10 с до одних суток. Это позволит поставить невозможные ныне эксперименты как по фундаментальным проблемам физики, так и в области биомагнетизма человека, особенно мозга.

Сверхчувствительная магнитометрия больших объектов получила наибольшее применение в биомагнитных исследованиях, так как они имеют общечеловеческое значение. Но ее перспективы этими исследованиями не ограничиваются. Возможны другие физические и технические применения крупномасштабной магнитометрии на основе сквидов, где требуется чрезвычайно высокая чувствительность к магнитному полю. Так, весьма заманчивым явилось предложение использовать сквид-магнитометр для контроля качества твэлов ядерных реакторов. На конференцию ИНТЕРМАГ — 80 (Бостон, 21—24 апреля 1980 г.) был заявлен доклад на эту тему. Однако, как выяснилось из бесед на симпозиуме, он не был представлен ни в устной, ни в печатной форме по коммерческим соображениям, возникшим у руководителей фирмы «Дженерал электрик», сотрудники которой выполняли эту работу. Кроме того, крупномасштабная магнитометрия может применяться: в магнитных измерениях для геофизической разведки, для измерений искажений магнитного поля около химического реактора, если происходящие в процессе реакции молекулярные изменения сопровождаются изменениями магнетизма молекул; в палеомагнетизме (измерение географической ориентации вектора слабой намагниченности образцов горных пород для получения информации о направленности магнитного поля Земли, вызвавшего эту намагниченность в момент кристаллизации породы в доисторические времена); при испытании слабомагнитных и немагнитных материалов; для разработки и градуировки новых типов магнетометров и сасептометров (приборов для измерения магнитной восприимчивости); в экологических физических экспериментах, например, при проверке гравимагнитной гипотезы (тяжелый нейтральный шар при вращении приобретает магнитный момент); в исследовании изменений магнитных свойств вещества под влиянием экстремальных воздействий (высокого давления, высокой дозы радиации и т. п.), создаваемых крупномасштабной аппаратурой.

ВВЕДЕНСКИЙ В. Л., ОЖОГИН В. И.

## Х Международный симпозиум по ядерной электронике

Симпозиум проходил с 10 по 16 апреля 1980 г. в Дрездене (ГДР). Он был организован ОИЯИ совместно с Центральным институтом ядерных исследований ГДР и Дрезденским техническим университетом. В работе симпозиума участвовали 220 специалистов из стран-участниц ОИЯИ и ряда западноевропейских стран.

Было представлено более 100 докладов. Наибольшее число из них посвящено применению микропроцессоров и вычислительной техники в физических исследованиях, аппаратура для которых, как правило, изготавливается в стандарте КАМАК.

Интересные доклады о развитии вычислительной техники в ГДР были сделаны представителями комбината «Роботрон», где начат выпуск новой ЭВМ средней мощности ЕС-1055, которая сменит ЭВС ЕС-1040. Новая ЭВМ по характеристикам значительно превосходит свою предшественницу. Другим направлением разработок комбината является создание мини-ЭВМ на базе микропроцессоров. Создано две серии таких мини-ЭВМ; К-1520 и К-1600. Последняя из них по программному обеспечению совместима с ЭВМ типа СМ-3 и СМ-4.

Ряд докладов был посвящен созданию в различных институтах интеллектуальных контроллеров и микро-ЭВМ на основе микропроцессоров. Большинство разработанных контроллеров выполнено в стандарте КАМАК. Чаще всего в них используются микропроцессоры типа «Интел-8080», а также типов Z-80, «Моторола-6800», «Интерсил-6100» и др. В некоторых институтах разработаны системы с распределенными вычислительными ресурсами, т. е. содержащие несколько контроллеров в одном крейте. Интересная мультипроцессорная система разработана в Болгарии. Она передается в ОИЯИ для применения в экспериментах.

Следует отметить доклады по оснащению микро-ЭВМ различными внешними устройствами, в первую очередь, графическими дисплеями на основе промышленных телевизоров. Полупроводниковые динамические запоминающие устройства большой емкости позволили создать дисплеи с автономной памятью для всего изображения. Сообщалось об интерфейсах как для цветных, так и черно-белых телевизоров. Наилучшее разрешение — 512 точек  $\times$  256 строк. В состав ряда интерфейсов входят микропроцессоры,