

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

530

## НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР (25—26 февраля 1970 г.)

25 и 26 февраля 1970 г. в конференц-зале Физического института им П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. А. Б. Северный. Некоторые новые результаты измерений общего магнитного поля Солнца и звезд.
  2. А. А. Михайлов. О движении земных полюсов.
  3. К. И. Грингауз. Характеристики, пространственное распределение и связи с геомагнитными бурями малоэнергичной плазмы в магнитосфере.
  4. Г. А. Смоленский, В. В. Леманов. Гиперзвуковые волны в кристаллах.
  5. С. А. Ахманов. Нелинейная оптика пикосекундных импульсов.
- Ниже публикуется краткое содержание прочитанных докладов.

**А. Б. Северный.** Некоторые новые результаты измерений общего магнитного поля Солнца и звезд

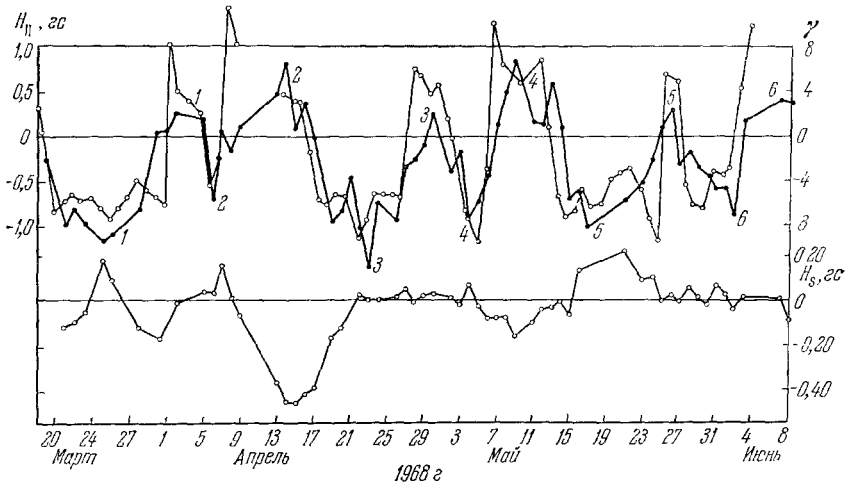
С помощью фотоэлектрического магнитографа и Башенного солнечного телескопа Крымской астрофизической обсерватории в 1968—1969 гг. велись измерения продольной составляющей общего магнитного поля Солнца в целом, как звезды, в параллельном пучке, без предварительного построения изображения Солнца на щели спектрометра. Измерения показали периодические флуктуации знака и величины поля с периодом в два раза короче периода вращения Солнца, т. е. Солнце ведет себя в целом как вращающийся квадруполь.

Эти изменения общего поля находятся скорее в антифазе с колебаниями общего магнитного потока от всех солнечных пятен, т. е. в антифазе с солнечной активностью<sup>1</sup>. Измерения, далее, показывают, что период колебаний *N*-полярности несколько короче периода колебаний *S*-полярности и соответствует ускоренному вращению экваториальных частей Солнца, т. е. наблюдается выбег *N*-полярности на экваторе по отношению к *S*-полярности более высоких широт. Возможно, что этот процесс связан с формированием тороидального поля и своего рода динамо-механизмом генерации общего поля.

Сравнение флуктуаций измеренного (продольного) общего поля Солнца с продольной составляющей межпланетного магнитного поля, измеренного на спутниках «Эксплорер-33» и «-35», показало очень хорошее соответствие обоих измерений как по знаку, так и по величине (при условии, что задержка из-за переноса солнечного поля солнечным ветром составляет 4,6) (см. рисунок). Это указывает на солнечный источник межпланетного магнитного поля, на вынос фотосферных магнитных полей солнечным ветром (работа совместная—Д. М. Вилкокс, А. Б. Северный, Д. С. Колбэрн<sup>2</sup>). Наблюдаемые синхронные быстрые флуктуации (с длительностью порядка суток) величины и знака солнечного и межпланетного поля — свидетельство концентрации м. п. поля в сравнительно узких трубках, исходящих из небольших областей на Солнце.

Метод измерения общего поля Солнца, обеспечивающий точность  $\pm 0,15$  гс, будучи применен (в несколько модифицированном виде) для звезд на большом 2,6-метровом рефлекторе КраО, позволяет обнаружить слабые магнитные поля у звезд (порядка 10 гс у ярких звезд), где они до сих пор не были обнаружены. Метод был проверен для звезды  $\beta$  CrV с известными (из ранних фотографических измерений) изменениями

магнитного поля. Были обнаружены магнитные поля у сверхгигантской звезды  $\gamma$  Суг, быстро изменяющиеся по величине и знаку от  $+200$  до  $-200$  гс (с ошибкой  $\pm 28$  гс, обычная ошибка фотографического метода составляет  $\pm 100 - 200$  гс). Это свидетельствует, по-видимому, о концентрации поля этой звезды на небольших участках ее поверхности, если изменения обусловлены сравнительно медленным вращением.



Точки наверху — измеренное общее магнитное поле Солнца, кружки наверху — измерения магнитного поля межпланетного ветра. Кружки внизу — поток магнитного поля солнечных пятен.

Заметными полями обладают также медленно вращающиеся звезды  $\beta$  Ори и  $\alpha$  Тау. У хорошо известной звезды Сириуса измерено поле около 40 гс (ошибка  $\pm 12$  гс), тогда как у Проциона ( $\beta$  Сми) магнитное поле не обнаруживается.

Исследования таких сравнительно слабых полей у звезд различных спектральных классов, помимо выявления роли магнетизма в строении и эволюции звезд, могут объяснить также появление звездного «ветра» в фазе развития конвекция в оболочках звезд и выяснить роль вращения в появлении магнитных полей на поверхности звезд.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. Severny, Nature **224**, 54 (1969).
2. I. M. Wilcox, A. Severny, D. S. Colburn, Nature **224**, 354 (1969).
3. A. Severny, Astroph. Journ. Letters, Feb. 1970.

#### А. А. Михайлов. О движении земных полюсов

Изучение движения земных полюсов началось 70 лет тому назад путем систематических наблюдений широт пяти астрономических станций, организованных по международному соглашению и расположенных вокруг всего земного шара на параллели  $39^{\circ}8'$  северной широты. Одна из этих станций находится в Китабе (УзССР). Сводка наблюдений и вывод координат полюса производятся в центральном бюро, которое в настоящее время находится в Мицузаве (Япония).

Международная служба широты была организована, когда выяснилось, что полюс имеет два периодических движения вокруг своего среднего положения: одно с периодом в 14 месяцев и амплитудой около  $0''{,}2$ , соответствующим колебанию упругого земного шара, и другое с периодом в один год и амплитудой около  $0''{,}1$ , вызванным метеорологическими явлениями, главным образом сезонными изменениями барометрического давления и отложением снежного покрова на суше. В сумме этих движений полюс описывает сложную, то скручивающуюся, то раскручивающуюся неправильную спираль, удаляясь до 10 м от среднего положения. Но, помимо этого, за последние 70 лет средний полюс имел заметное общее движение.

На Пражском съезде Международного астрономического союза в 1967 г. было принято решение относить движение полюса к его среднему положению, которое он занимал в 1903 г., названное условным международным началом. Уже беглый взгляд на траекторию мгновенного полюса вращения Земли показывает, что в настоящее время полюс отошел от этого начала и в 1962—1967 гг. совершал периодические колебания

вокруг точки, отстоящей примерно от  $0^{\circ},2$  от условного начала в направлении меридиана на  $75^{\circ}$  западной долготы, т. е. в сторону Северной Америки. Более подробное исследование ряда астрономов подтверждает существование такого векового движения полюса со средней скоростью около  $0^{\circ},0035$  в год, что соответствует 11 см. Неизвестно, было ли такое движение в более далеком прошлом и будет ли оно продолжаться в будущем, но во всяком случае его совершенно недостаточно для объяснения изменений климата в геологические эпохи, в частности ледовых периодов.

Движение полюса относительно поверхности Земли вызывает изменения астрономически определенных географических координат — широты, долготы и азимута. Если движется вся земная кора в целом, на что имеются определенные указания, то изменения координат должны быть связаны некоторыми зависимостями, отступление от которых укажет на индивидуальные смещения отдельных участков, например дрейф материков. Однако ошибки собственных движений звезд даже в лучших каталогах одного порядка с наблюдаемым или ожидаемым движением материков, поэтому наблюдения должны быть организованы так, чтобы эти ошибки исключались. Для этого все станции должны наблюдать одни и те же звезды одними инструментами и по единой, согласованной программе. В этом смысле была принята соответствующая рекомендация на упомянутом Пражском съезде МАС.

Вековое движение земных полюсов необходимо принимать во внимание при использовании географических координат, определенных астрономическими методами в разное время, в частности при общем уравнивании геодезических тригонометрических сетей. Хотя это влияние и очень мало, но, вероятно, оно будет в будущем увеличиваться.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Михайлов, АЖ 45, вып. 3 (1968).
2. А. А. Михайлов, АЖ 47, вып. 3 (1970).

**К. И. Грингауз.** Характеристики, пространственное распределение и связь с геомагнитными бурями малоэнергичной плазмы в магнитосфере

В обзорном докладе, посвященном малоэнергичной плазме в магнитосфере Земли (с энергиями частиц  $\sim 200 \text{ эв} < E < 50 \text{ кэв}$ ), отмечалось, что развитие экспериментальных исследований магнитосферных частиц малых энергий в 1959—1963 гг. значительно отставало от исследований частиц с субрелятивистскими и релятивистскими скоростями, захваченных в радиационных поясах (на сотни публикаций о радиационных поясах приходилось единицы работ о малоэнергичной плазме, главным образом советских). Сейчас положение существенно изменилось.

Современный этап исследований в области физики магнитосферы Земли (1966—1969 гг.) характеризуется применением на спутниках новых высокочувствительных детекторов для регистрации заряженных частиц малых энергий (каналотронных умножителей) и резким увеличением объема информации, полученной в результате прямых экспериментов в магнитосфере. Эти эксперименты убедительно показали, что как основные особенности структуры магнитосферы, так и такие явления, как магнитные бури и полярные сияния, определяются именно малоэнергичной магнитосферной плазмой и ее конвекцией (крупномасштабными движениями). Частицы, образующие радиационные пояса, являются лишь весьма малой частью заряженных частиц, населяющих магнитосферу, и на структуру магнитного поля в околоземном пространстве влияют мало.

Магнитосфера обладает вытянутым в антисолнечном направлении хвостом с квазистабильной структурой, занимающим область с диаметром  $\sim 40 R_E$  земных радиусов и протяженностью, измеряемой миллионами км. Магнитное поле в хвосте, существенно отличное от межпланетного, является результатом наложения на магнитное поле земного диполя магнитных полей, создаваемых достаточно стабильной системой электрических токов, которые могут быть образованы только частицами малоэнергичной плазмы.

Исследования Василюнаса (Массачусетский технологический институт, США), проведенные на спутниках ОГО-1 и ОГО-3, подтвердили, что в экваториальной плоскости области существования малоэнергичной плазмы в дневной и ночной частях магнитосферы смыкаются, образуя единую зону (рис. 1). В меридиональной плоскости вблизи Земли слой малоэнергичной плазмы, внутри которого расположен магнитно-нейтральный слой хвоста магнитосферы, по «открытым» (незамкнутым) силовым трубкам попадает в полярные районы ночной части верхней атмосферы (рис. 2).

Обработка энергетических спектров электронов, полученных на спутниках ОГО и «Вела», позволила Василюнасу следующим образом определить средние параметры квазизотропных потоков электронов в центре плазменного слоя хвоста магнитосферы:

энергия электронов  $\sim 1$  кэв, концентрация  $\sim 0,1-0,3$  см $^{-3}$ . Индивидуальные значения энергии электронов и их концентрации могут меняться в несколько десятков раз. Сумма магнитного и плазменного давлений по сечению хвоста магнитосферы постоянна и соответствует давлению солнечного ветра на магнитопаузу (границу магнитосферы).

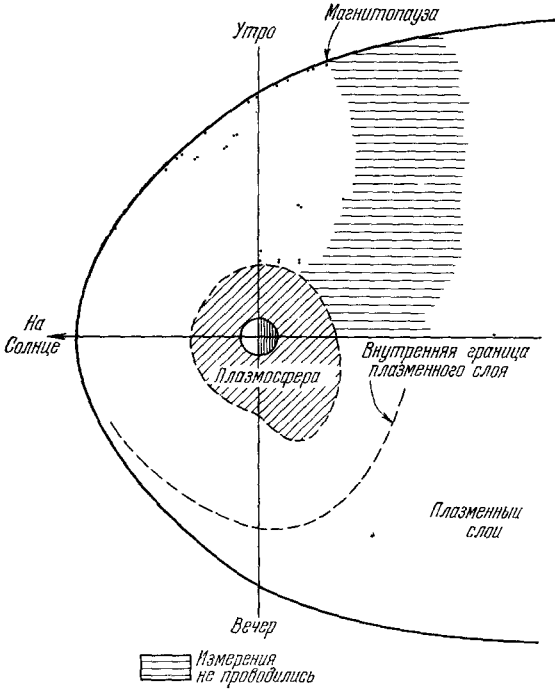


Рис 1

с овалом полярных сияний Фельдштейна — Старкова

После доклада были продемонстрированы фильмы с результатами измерений энергетических спектров электронов и протонов с  $E < 50$  кэв, проведенных Л Франком на спутниках ОГО 3 и ИМП 4. Объем научной информации полученной в этих экспериментах, столь велик, что он не может быть представлен с необходимой степенью

Принципиально важным является обнаружение мало энергичных протонов в магнитосфере Л Франком (Университет штата Айова, США) в 1966 г при помощи электростатического анализатора с каналотроном на спутнике ОГО-3. Франк показал, что при геомагнитной буре резко возрастают потоки протонов с энергией  $< 50$  кэв на геоцентрических расстояниях  $3-5 R_E$  в экваториальной плоскости образуя токовое кольцо, создающее бурю.

Ракетные измерения Чей за (США) проведенные не посредственно в полярных сияниях, показали, что энергетические спектры и потоки электронов создающих сияние, весьма близки к спектрам электронов в плазменном слое хвоста магнитосферы. Васильюнас (1969 г) проектируя на верхнюю атмосферу плазменный слой магнитосферного хвоста вдоль геомагнитных силовых линии пришел к выводу что эта проекция совпадает

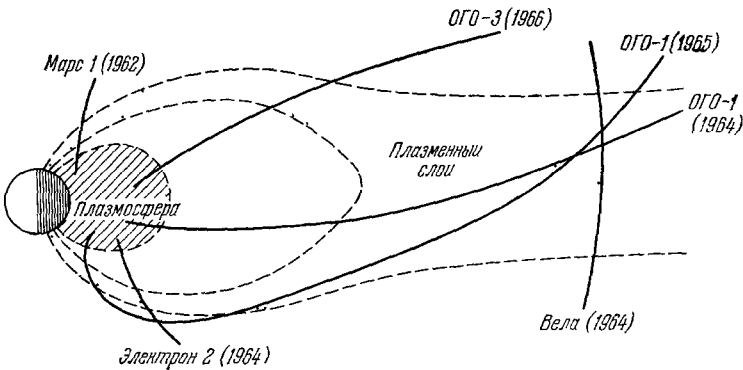


Рис. 2.

детальности и наглядности в общепринятых формах научных работ (например, в виде статьи или отчета). Поэтому результаты упомянутых экспериментов приведены в виде мультипликационного фильма, что позволило отобразить динамику и звучавших явлений. Для фильма с результатами полученными на ОГО 3 на одном из оборотов спутника с  $13^h 30^m$  UI 14 7 1966 до  $15^h 21^m$  UI 16 7 1966 г использовано 18 000 кадров, отображающих (со скважностью)  $\sim 550$  000 отдельных измерений. На каждом из кадров

приведены положение спутника относительно границ магнитосферы и два одновременно полученных энергетических спектра: электронов и протонов. Скорость передачи информации во время полета ОГО-3 достигала 160 килобит/сек.

Основные материалы доклада опубликованы в журнале «Радиофизика» (Известия высших учебных заведений, т. XII, № 9, стр. 1276 в статье К. И. Грингауза «Малоэнергичная плазма в магнитосфере Земли»).

**Г. А. Смоленский, В. В. Леманов.** Гиперзвуковые волны в кристаллах

Гиперзвуком принято называть упругие колебания с частотами выше 100 Мгц. Экспериментально такие колебания, так же как и ультразвуковые колебания, получают главным образом с помощью пьезоэффекта.

«С точки зрения» кристалла гиперзвуковые колебания представляют собой не что иное, как фононы, и именно в этом лежит ключ к пониманию возможностей гиперзвуковых методов исследования в физике твердого тела. Фонон-фононные взаимодействия, взаимодействие фононов со свободными носителями и с магнонами, рассеяние фононов на дефектах, времена релаксаций фононов и их дисперсионные характеристики, ангармонизм сил взаимодействия в кристаллах, поведение мягких мод при фазовых переходах — вот краткий перечень тех явлений, которые могут быть изучены с помощью гиперзвуковых методов.

В докладе рассмотрены результаты некоторых исследований распространения гиперзвуковых волн в кристаллах разных типов (диэлектрики, сегнетоэлектрики, полупроводники, ферриты), которые были проведены в Институте полупроводников АН СССР.

Исследования проводились в широком диапазоне частот 50—2000 Мгц и при температурах 77—900° К.

На примере большого числа диэлектрических кристаллов показано, что в указанном диапазоне частот в достаточно совершенных кристаллах затухание гиперзвуковых волн обусловлено механизмом Ахиезера, механизмом так называемой фононной вязкости. Показано, что величина затухания коррелирует с температурой Дебая, а анизотропия затухания определяется анизотропией упругих модулей третьего порядка.

Взаимодействие гиперзвуковых фононов со свободными носителями исследовано на примере пьезоэлектрического полупроводника теллура. Показано, что при соответствующих поляризациях и направлениях распространения затухание гиперзвуковых волн практически полностью обусловлено взаимодействием со свободными носителями и хорошо совпадает с теорией (В. Л. Гуревич, Хьюсон и Уайт).

В кубических кристаллах феррита-граната иттрия проведены исследования магнон-фононных взаимодействий. Обнаружено явление естественного магнитоупругого резонанса, которое представляет собой резонансное взаимодействие гиперзвуковых фононов с магнонами в эквивалентных полях магнитной кристаллографической анизотропии.

Исследован магнитоупругий резонанс и сопутствующие явления во внешних магнитных полях. С помощью тонких пластинок измерено поглощение гиперзвуковых фононов при резонансе. Проведено исследование акустических эффектов Фарадея и двойного лучепреломления в условиях однородного внутреннего магнитного поля при распространении гиперзвуковых волн в разных направлениях. Прямые эксперименты показали, что при эффекте Фарадея со спиновыми волнами взаимодействуют циркулярно-поляризованные упругие волны с соответствующим направлением вращения.

Ангармонизм межатомных сил взаимодействия в кристаллах приводит к нелинейным эффектам при распространении упругих волн. Одним из проявлений такой нелинейности является генерация акустических гармоник. Генерация второй акустической гармоники изучена на примере кристаллов ниобата лития при распространении продольных волн с основной частотой 500 Мгц вдоль оси третьего порядка.

Кратко рассмотрено явление дифракции лазерного излучения на гиперзвуковых волнах в кристаллах. Это явление может быть использовано для измерения характеристик распространения гиперзвуковых фононов, а также для исследования некоторых физических свойств кристаллов (фотоупругие постоянные, поляризуемость электронных оболочек, характер химической связи).

Материалы доклада частично опубликованы в работах:

1. В. В. Леманов, Г. А. Смоленский, А. Б. Шерман, ФТТ 11, 653 (1969).
2. А. В. Павленко, Ю. М. Яковлев, В. В. Леманов, ФТТ 11, 3300 (1969).
3. В. В. Леманов, А. В. Павленко, ЖЭТФ 57, 1528 (1969).
4. В. В. Леманов, В. Я. Авдони, А. В. Павленко, ФТТ 11, 3635 (1969).

### С. А. Ахманов. Нелинейная оптика пикосекундных импульсов

1. Одним из важнейших достижений лазерной физики последних 2—3 лет является создание твердотельных лазеров, генерирующих дуги сверхкоротких импульсов или отдельные импульсы длительностью до  $10^{-12}$  сек с плотностью мощности в коллимированном пучке до  $100 \text{ Гвт/см}^2$ <sup>1-3</sup>. Несмотря на то, что динамика излучения таких лазеров еще не понята до конца и имеются неясности в методике измерения параметров коротких импульсов, многие лаборатории в СССР и за рубежом применяют их в экспериментальной работе. Сейчас уже с полным основанием можно говорить о новых физических результатах, полученных с генераторами пикосекундных импульсов. Здесь

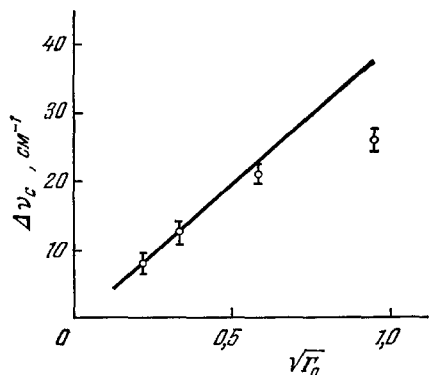


Рис. 1. Зависимость ширины спектральной линии первой стоксовой компоненты ВКР в бензоле от интенсивности накачки в существенно нестационарном режиме.

Прямая характеризует теоретическую ширину линии при накачке прямоугольным импульсом.

следует упомянуть в первую очередь новые результаты, полученные при сильных воздействиях на вещество<sup>4</sup>, и разнообразные исследования нестационарных оптических явлений. Обсуждение последнего круга вопросов и является предметом настоящего доклада.

2. Линейные нестационарные явления, возникающие при распространении коротких электромагнитных импульсов, обсуждались еще Бриллюэном. Речь идет о так называемых предвестниках и о дисперсионном расщеплении волновых пакетов (см., например,<sup>5</sup>). Лазерная техника расширила возможности наблюдения линейных нестационарных эффектов; проведены успешные опыты по сжатию фазово-модулированных оптических сигналов<sup>6</sup>, измерены времена жизни возбужденных состояний в пикосекундной области. На основе техники пикосекундных импульсов возможна разработка импульсных методов измерения разрешающей силы оптических приборов. В последнее время здесь получены новые результаты, и в теории; весьма компактная формулировка задач о нестационарных явлениях при распространении амплитудно- и фазово-модулированных пакетов в линейной среде возможно на основе аппарата параболических уравнений.

3. Многообразные нестационарные задачи возникают в нелинейной оптике пикосекундных импульсов. Наряду с нестационарностями, обусловленными эффектами распространения (эти «волновые» нестационарности определяются, как правило, линейными дисперсионными свойствами среды, т. е. инерционностью линейного отклика), широкий класс нестационарных явлений возникает за счет инерционности механизма, осуществляющего энергообмен между волнами, инерционности нелинейной поляризации («локальные» нестационарности).

4. Для процессов типа генерации гармоник и нерезонансного параметрического усиления нестационарности носят обычно лишь волновой характер (время установления электронной части нелинейной поляризации  $\sim 10^{-15}$  сек). Весьма существенным обстоятельством, характерным для нестационарных нелинейных оптических эффектов, вообще является отчетливо проявляющееся при генерации оптических гармоник пикосекундными импульсами сильное взаимовлияние пространственной и временной модуляции пучка. Это обстоятельство может быть положено в основу методов модуляции пикосекундных импульсов<sup>7, 8</sup>.

5. Использование пикосекундных импульсов в опытах по вынужденному комбинационному рассеянию позволяет исследовать динамику переходных процессов при возбуждении колебательных и вращательных уровней. В условиях, когда движением населенностей уровней можно пренебречь и отношение длительности импульса накачки  $\tau_n$  ко времени поперечной релаксации  $T_2 \frac{\tau_n}{T_2} \ll \Gamma_0 l$  (где  $\Gamma_0$  — статический коэффициент усиления и  $l$  — длина области взаимодействия), ширина линии  $\Delta \nu_c$  стоксовых компонент нарастает с увеличением  $\Gamma_0 l$  для  $l < L_{\text{гр}} = \tau_n \left| \frac{1}{u_n} - \frac{1}{u_c} \right|^{-1}$  ( $u_{n,c}$  — групповые скорости) за счет ударного возбуждения молекулярных колебаний. Сказанное иллюстрируется графиком рис. 1, полученным при возбуждении ВКР в бензоле второй гармоникой неодимового лазера, работающего в режиме самосинхронизации мод ( $\tau_n \approx 3 \cdot 10^{-12}$  сек,  $P_n \approx 100 \text{ Гвт/см}^2$ ). Скорость роста  $\Delta \nu_c$  может быть определена

из нестационарной теории рассеяния<sup>11-13</sup>. Измерения зависимости  $\Delta\nu_C$  от  $l$ , выполненные в широких пределах (как для  $l < L_{гр}$ , так и для  $l > L_{гр}$ ), позволили нам проследить немонотонную зависимость  $\Delta\nu_C = \Delta\nu_C(l)$ . При  $l < L_{гр}$   $\Delta\nu_C \sim \ln l$ ; при  $l > L_{гр}$   $\Delta\nu_C \sim l^{-1}$ . В сильных полях пикосекундных импульсов возможно заметное изменение населенностей колебательных уровней. Последнее приводит к возникновению осевого антистоксова излучения, периодической амплитудной модуляции стоксова излучения и накачки.<sup>4</sup> Эти эффекты наблюдались в сероуглероде. При интенсивности  $\sim 100 \text{ Гат/см}^2$  заметную роль может играть высокочастотный эффект Штарка<sup>15</sup>; за счет соответствующего изменения показателя преломления возможно наблюдение квазистатической самофокусировки пикосекундных импульсов. Весьма интересные данные о динамике молекулярных колебаний можно получить с помощью бигармонической пикосекундной накачки; удобной парой частот является излучение неодимового лазера и его второй гармоники.

6. В поле пикосекундных импульсов нам удалось возбудить эффективное ВКР на инфракрасно-активных колебаниях в воде и других жидкостях (см.<sup>9, 14</sup>, а также<sup>10</sup>). В воде в ВКР возбуждалась широкая полоса, соответствующая колебаниям О — Н. Частотно-угловая структура спектра приведена на рис. 2. В возбужденной полосе отчетливо видна тонкая угловая структура (дуги), появление которой, на наш взгляд можно приписать когерентным четырехфотонным взаимодействиям инфракрасных фотонов ( $\lambda \approx 3 \text{ мкм}$ ) и стоксовых фотонов ( $\lambda \approx 0,65 \text{ мкм}$ ) по схеме

$$\omega'_C + \omega'_{ик} = \omega''_C + \omega''_{ик}.$$

Условия сохранения импульса выполняются за счет аномальной дисперсии в ИК полосе поглощения; ВКР пикосекундных импульсов в воде и водных растворах солей сопровождается аномальным уширением спектра, достигающим  $10^3 \text{ см}^{-1}$  (см.<sup>15</sup>).

7. Важный круг нестационарных проблем связан с изучением возбуждения ВКР широкополосными оптическими сигналами, испытывающими одновременно фазовую и амплитудную модуляцию. Рассмотрение вопроса содержится в<sup>12</sup>. Весьма важным оказывается то обстоятельство, что в пренебрежении дисперсией интенсивность данной спектральной компоненты стоксовой волны, возбуждаемой гауссовой накачкой (например, лазером с несинхронизованными модами), нарастает как  $\exp(\alpha \bar{I}_H l)$ , где  $\bar{I}_H$  — средняя интенсивность накачки.

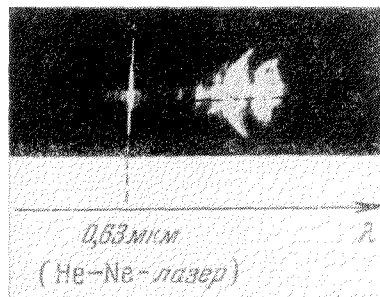


Рис. 2. Частотно-угловое распределение излучения связанной с валентными колебаниями О — Н стоксовой полосы ВКР в воде.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. De Maria, D. Stetser, H. Neunau, Appl. Phys. Lett. 8, 174 (1967).
2. С. Д. Кайтмазов, И. К. Красюк, П. П. Пашинин, А. М. Прохоров, ДАН СССР 190, 1331 (1968).
3. Н. Г. Басов, П. Г. Крюков, Ю. В. Сенатский, С. В. Чекалин, ЖЭТФ 55, 1175 (1969).
4. Н. Г. Басов, П. Г. Крюков, Ю. В. Сенатский, С. В. Чекалин, Письма в ЖЭТФ 8, 26 (1968).
5. В. Л. Гинзбург, Распространение радиоволн в ионосфере, «Наука», 1968.
6. J. Giorde, M. Dugua, J. Hansen, IEEE Journal of Quantum Electronics 4, 252 (1968).
7. С. А. Ахманов, А. П. Сухорук, А. С. Чиркин, ЖЭТФ 55, 1430 (1968).
8. Р. Ю. Орлов, Т. Усманов, А. С. Чиркин, ЖЭТФ 57, 1069 (1969).
9. М. А. Большов, Ю. И. Голяев, В. С. Днепровский, И. И. Нурминский, ЖЭТФ 57, 346 (1969).
10. M. Colles, Opt. Commun. 1, 169 (1969).
11. Ю. Е. Дьяков, Письма в ЖЭТФ 9, 8 (1969).
12. С. А. Ахманов, К. Н. Драбович, А. П. Сухорук, А. С. Чиркин, ЖЭТФ 58, № 8 (1970).
13. R. Sarman, M. Mask, F. Shimizu, N. Bloembergen, Phys. Rev. Lett. 23, 1327 (1969).
14. S. A. Akhmanov, Mat. Res. Bulletin 4, 455 (1969).
15. В. Бутылкин, А. Каулан, Ю. Хронопуло, ЖЭТФ 58, № 9 (1970).

**НАУЧНЫЕ СЕССИИ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
И АСТРОНОМИИ АН СССР, ПОСВЯЩЕННЫЕ 100-ЛЕТИЮ  
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЛАДИМИРА ИЛЬИЧА ЛЕНИНА  
(25, 26 марта 1970 г.)**

25 марта 1970 г. в конференц-зале Радиотехнического института АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР совместно с Радиотехническим институтом АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. А. Л. Минц, В. И. Ленин и становление советской радиоэлектроники.
2. М. В. Самохин, Конвективное движение плазмы в спокойной магнитосфере, его причины и геофизические последствия.
3. А. Д. Власов. Способы увеличения тока протонов на выходе линейного ускорителя.
4. М. Л. Левин. Формирование кольца релятивистских электронов с помощью аксиальной инжекции.
5. Г. В. Воскресенский, В. Н. Курдюмов. О радиационных потерях электронных колец в неоднородных структурах.
6. М. Г. Никулли. Динамическая стабилизация плазменных шнура.

Ниже публикуется краткое содержание прочитанных докладов.

**М. В. Самохин.** Конвективное движение плазмы в спокойной магнитосфере, его причины и геофизические последствия

Согласно современным представлениям, граница магнитосферы является предельным случаем тангенциального разрыва, который характеризуется тем, что плотность плазмы внутри полости пренебрежимо мала, а магнитное поле вне полости отсутствует.

Приведено более общее определение границы магнитосферы с точки зрения сплошной среды. Рассмотрено равновесие границы запрещенной зоны для различных уравнений сплошной среды: уравнений гидродинамики, газодинамики, квазигидродинамики с прямыми магнитными силовыми линиями, перпендикулярными к плоскости течения, и магнитной гидродинамики в случае  $v_{||} = 0$ , где  $v_{||}$  — скорость плазмы вдоль магнитного поля. Показано, что в случае тангенциального разрыва существование движения вещества внутри запрещенной зоны является условием равновесия границы раздела, а лобовые точки внешней и внутренней областей течения совпадают. Скорость течения внутри запрещенной зоны равна нулю лишь в том случае, когда суммарное давление (газовое и магнитное) не меняется вдоль границы. С помощью степенных рядов найдена структура течения плазмы в окрестности лобовых точек внутри магнитосферы и плазмосферы. Сопоставление соответствующих расчетов токовых систем  $S_p^2$  и  $S_q^0$  в окрестности проекций лобовых точек магнитопаузы и плазмопаузы в ионосферу с экспериментальными данными свидетельствует об удовлетворительном согласии направления токов, наклона линий тока и расстояния между ними по широте при заданном полном токе, протекающем между ними; это позволяет предположить, что источником невозмущенных средне- и низкоширотных геомагнитных вариаций является «остаточное» конвективное движение внутри плазмопаузы, вызываемое солнечным ветром.

**А. Д. Власов.** Способы увеличения тока протонов на выходе линейного ускорителя

Доклад посвящен обзору работ по оценке протонных токов, достижимых в линейном ускорителе при различных режимах инжекции и ускорения, а также выбору наиболее перспективных режимов.

В настоящее время в отечественных и зарубежных линейных ускорителях достигнуты импульсные токи протонов порядка 140 ма. Потребности физического эксперимента уже сейчас в два-три раза выше, и в будущем требования, очевидно, еще возрастут. Достижимые токи ограничиваются главным образом продольным расталкиванием собственного заряда ускоряемых сгустков.

Исследование этой проблемы началось в Радиотехническом институте АН СССР около десяти лет назад. В 1960 г. было получено выражение для тока протонов в режиме сформированных устойчивых сгустков, приближенно представленных как равномерно заряженные эллипсоиды. Спустя два года появилась работа, в которой ток оценивался численно на основе другой, цилиндрической аппроксимации сгустков, по-



существо идентичной известной дисковой модели. В дальнейшем удалось рассмотреть цилиндрические сгустки также и аналитически, причем результаты, включая и выражение для тока, совпали с результатами эллипсоидальной аппроксимации. Вычисленные токи несколько превышали фактически полученные.

Было необходимо искать другие, более эффективные режимы. В 1967 и 1968 гг. появились две работы, в которых численными методами рассматривались случаи инжекции более плотных и длинных сгустков, а также непрерывного пучка. Несмотря на потери частиц в процессе формирования сгустков, токи при этом возрастали до 200—700 *ма*.

В 1969 г. был исследован режим безразличного равновесия сгустков и оценены токи, предельно достижимые без потерь частиц. Эти токи в среднем вдвое выше, чем в рассмотренных ранее устойчивых сгустках.

Полученные результаты свидетельствовали о быстром росте токов с увеличением равновесной фазы. При увеличении ее от обычных значений 35—45° до 85—90° ток возрастал до 6—10 *а*. Однако предварительное группирование, требуемое для безразличного равновесия сгустков, осуществить довольно затруднительно. Кроме того, повышенные равновесные фазы можно допустить лишь на ограниченном участке ускорителя.

Поэтому был рассмотрен ускоритель с равновесной фазой, равной в его начале 85—90° и затем постепенно уменьшаемой. Исследование показало, что допустимое уменьшение равновесной фазы вдоль ускорителя ограничивается снизу некоторой предельной кривой. В случае инжекции непрерывного пучка, при обычных остальных параметрах ускорителя, токи протонов не превышают 1 *а*. Предварительное группирование в сгустки постоянной плотности в рассмотренных примерах позволяет повысить достижимые токи до 3 *а*. Получение таких токов вполне реально.

#### Г. В. Воскресенский, В. Н. Курдюмов. О радиационных потерях электронных колец в неоднородных структурах

Расчет потерь на излучение, сопровождающее движение электронных колец в неоднородных структурах, например при пролете стыков волноводов разного сечения, резонаторов ускоряющей системы и т. п., представляет интерес в связи с разработкой коллективного метода ускорения ионов. Практически наиболее важным моментом этого расчета является выяснение зависимости полных потерь на излучение от кинетической энергии источника. Однако искомым закон потерь оказался различным и существенно зависящим от модельных предположений, принятых разными авторами. В докладе критически рассматриваются некоторые модели, позволяющие получить приближенную оценку потерь: 1) возбуждение полностью замкнутого резонатора<sup>1, 2</sup>; 2) геометро-оптический расчет<sup>3</sup>; 3) дифракционная модель Лосона<sup>4</sup>; 4) расчет в кирхгофском приближении<sup>5</sup>. Присущие приближенным методам расчета недостатки требуют проведения строго электродинамического расчета излучения в одиночном резонаторе с подводящими волноводами. В докладе приводятся результаты решения граничной задачи электродинамики для такой области. Задача, сведенная к бесконечной системе линейных алгебраических уравнений для коэффициентов возбуждения собственных волн в подводящих волноводах, решается численными методами. Рассчитано спектральное распределение потерь. Решение качественно различно в разных областях частот. В низкочастотном диапазоне возбуждается счетное число дискретных гармоник, аналогичных модам замкнутого резонатора. В области высоких частот генерируется непрерывный спектр излучения. Спектр расширяется с ростом энергии источника, что приводит к *линейной зависимости потерь от энергии* для ультрарелятивистских электронных колец. Быстрое возрастание потерь с энергией предъявляет жесткие требования при выборе ускоряющей системы для ускорителя электронных колец на высокие энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О. А. Колпаков, В. И. Котов, ЖТФ 34, 1387 (1964).
2. А. Б. Кузнецов, С. Б. Рубин, Препринт ОИЯИ, Дубна, 1969.
3. A. Falten s, Symp. Electr. Ring Acceler., Berkeley, USA, 1968, p. 363.
4. J. D. Lawson, Rutherford Lab. Memor., RHEL/M144, 1968.
5. E. D. Courant, Труды Всесоюз. совещ. по ускорителям, М., 1968.

#### М. Г. Никулин. Динамическая стабилизация плазменных шнуров

В докладе рассматриваются различные схемы высокочастотной динамической стабилизации токонесущего плазменного шнура относительно длинноволновых возмущений изгиба. Изгибная неустойчивость шнура с постоянным током в отсутствие внешнего продольного поля, как известно, может быть подавлена хорошо проводящим кожухом, расположенным достаточно близко к поверхности шнура. В системах с большой

степенью сжатия плазмы, где этот способ стабилизации неэффективен, а также в системах без проводящего кожуха подавление длинноволновых изгибов шнура может быть осуществлено стоячим или вращающимся высокочастотным квадрупольным магнитным полем. Для стабилизации шнура с переменным током может использоваться как постоянное, так и высокочастотное квадрупольное поле.

В системах с внешним продольным полем переход от постоянного тока к переменному высокочастотному позволяет значительно ослабить ограничение, налагаемое на величину тока условием устойчивости шнура относительно длинноволновых винтовых возмущений. Благодаря этому переменный продольный ток в сочетании с поперечным высокочастотным магнитным полем может быть использован для равновесного удержания кольцевого тэта-пинча, а в сочетании с проводящим кожухом или квадрупольным магнитным полем, сообщающими плазменному шнуру дополнительный запас устойчивости относительно длинноволновых возмущений, — для подавления неустойчивой моды Шафранова — Крускала шнура с постоянным током или неустойчивой моды Хааза — Вессона гофрированного тэта-пинча.

В докладе рассматривается также эффект параметрической раскачки собственных колебаний плазменного шнура под действием высокочастотных магнитных полей. Обсуждаются возможные способы устранения этого эффекта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. С. М. Осовец, ЖЭТФ 39, 238 (1960).
2. М. Л. Левин, М. С. Рабинович, ЖТФ 33, 164 (1963).
3. Н. А. Бобырев, О. И. Федянин, ЖТФ 34, 1187 (1963).
4. М. Г. Никулин, ПМТФ, № 6, 20 (1968).
5. М. Г. Никулин, ЖТФ 39, 2144 (1969).
6. М. Г. Никулин, ПМТФ, №1, 24 (1970).
7. М. Г. Никулин, ПМТФ, № 2, 21 (1970).
8. М. Г. Никулин, Nucl. Fusion (в печати).

26 марта 1970 г. в конференц-зале Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР совместно с Научным советом по физике твердого тела АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. С. В. Вонсовский, Ленинская теория познания и современная физика.
  2. А. Ф. Андреев, И. М. Лифшиц. Квантовая теория дефектов в кристаллах.
  3. П. А. Ребиндер, Е. Д. Шуклин. Физико-химические явления в процессах деформации, разрушения и обработки твердых тел.
  4. Б. К. Вайнштейн, В. И. Симонов, Д. М. Хейкер. Проект «Арокс» (автоматическое рентгеновское определение кристаллических структур).
  5. Х. С. Багдасаров, В. Я. Хаимов-Мальков. Новые методики и результаты синтеза тугоплавких монокристаллов.
  6. Е. А. Туров. Некоторые вопросы современной теории магнетизма.
  7. С. А. Альтшулер. Электронно-ядерный магнитный резонанс.
- Ниже публикуется краткое содержание прочитанных докладов.

#### С. В. Вонсовский. Ленинская теория познания и современная физика

Тезис В. И. Ленина о неисчерпаемости электрона (материи) и вехах познания раскрывается на конкретном содержании современной физики. Развитие наших представлений о свойствах электрона, нуклонов и других элементарных частиц, в полном соответствии с предвидением В. И. Ленина, воочию убеждает нас в неисчерпаемости материи в области самых высоких энергий и самых малых пространственно-временных интервалов. Так называемые элементарные частицы выступают перед нами как сложнейшие материальные образования со своей внутренней структурой.

Из ленинской теории познания, именно из учения Ленина о вехах познания и тезиса о неисчерпаемости материи, вытекает представление о тесной связи всех «старых» областей естественных наук их «передним» краем. Вехи науки: атом—электрон—атомное ядро — уже произвели соответствующие «революции», «омолодили» физику твердого тела, оптику и т. п. Это еще раз убеждает нас в том, что ленинский тезис о неисчерпаемости материи имеет необычайно плодотворное значение для всего развития естествознания. Этот принцип ленинской теории познания также весьма важен и для решения проблемы о «структуре» физических закономерностей — о диалектическом сочетании в них динамического и статического моментов.

Наконец, необычайно интересным может быть вопрос о ленинской идее «развития по спирали» в применении к природной материи. Можно с полным основанием утверждать, что ленинская теория познания и каждое из ее положений неисчерпаемы и являются мощнейшим оружием познания.

Содержание доклада опубликовано в апрельском (юбилейном) номере 4 тома 29 журнала «Физика металлов и металловедение» за 1970 год.

#### А. Ф. Андреев, И. М. Лифшиц. Квантовая теория дефектов в кристаллах

При достаточно низких температурах локализованные дефекты или вакансии превращаются в возбуждения, практически свободно движущиеся через кристалл. В результате вместо обычной диффузии дефектов возникает течение «жидкости», состоящей из «дефектонов» и «вакансионнов». Показано, что при абсолютном нуле в кристаллах с большой амплитудой нулевых колебаний (например, типа твердого гелия) могут существовать нулевые дефектоны, в результате чего число узлов идеальной кристаллической решетки может не совпадать с числом атомов. Обсуждаются термодинамические и акустические свойства кристаллов с нулевыми дефектонами. Такой кристалл не является ни твердым телом, ни жидкостью. В нем возможны два вида движения — один обладает свойствами движения в упругом твердом теле, второй — в жидкости. В некоторых условиях «жидкостный» тип движения кристалла обладает свойством сверхтекучести. Аналогичные эффекты должны наблюдаться также и в квазиравновесных состояниях с заданным числом дефектонов.

#### ЛИТЕРАТУРА

А. Ф. Андреев, И. М. Лифшиц, ЖЭТФ 56, 2057 (1969).

П. А. Ребиндер, Е. Д. Щукин. Физико-химические явления в процессах деформации, разрушения и обработки твердых тел

В докладе изложены результаты изучения основных закономерностей и физической природы влияния поверхностно-активных сред на прочность и деформируемость твердых тел.

Эффекты облегчения процессов деформации и разрушения вследствие обратимого физико-химического влияния среды, вплоть до многократного падения прочности тела и сильного охрупчивания, установлены в настоящее время для всех типов твердых тел — кристаллических и аморфных, сплошных и пористых, с металлическим, ковалентным, ионным, молекулярным строением. Общая природа этих явлений состоит в облегчении разрыва и перестройки межатомных связей в присутствии определенных ионородных атомов или молекул (обладающих достаточной подвижностью, обеспечивающей их проникновение в зону разрыва связей) и может быть описана как уменьшение работы образования новых поверхностей в ходе деформации и разрушения, т. е. как понижение свободной поверхностной энергии данного твердого тела под влиянием окружающей среды.

Сопоставление теоретических оценок и непосредственного экспериментального определения величины понижения поверхностной энергии твердых тел и наблюдаемых эффектов уменьшения прочности под действием среды обнаруживает строгую корреляцию во всех случаях проявления данных эффектов: для твердых металлов (а также некоторых ковалентных кристаллов) при их контакте с жидкими металлами, для ионных кристаллов — в присутствии расплавленных солей, воды, спиртов и других полярных сред, для молекулярных кристаллов органических соединений — при их контакте с неполярными и малополярными органическими жидкостями.

Основным условием сильного влияния среды на механические свойства тела (в рассматриваемых случаях обратимого адсорбционного взаимодействия, не связанного с растворением, коррозией и другими химическими процессами) оказывается родственная природа твердого тела и среды, обуславливающая низкие значения поверхностной энергии по границе твердой и жидкой фаз. Вместе с тем форма и степень проявления этих эффектов сложным образом зависят от реальной структуры тела (дефектов) и условий деформации — напряжений, температуры, скорости деформации, времени контакта и т. д. Оптимальное сочетание этих факторов позволяет использовать влияние среды для облегчения процессов диспергирования и обработки, особенно твердых и труднообрабатываемых материалов. Напротив, устранение отдельных факторов, необходимых для проявления адсорбционного понижения прочности, открывает пути защиты от влияния среды.

Основные данные, включенные в доклад, опубликованы авторами с сотрудниками в 1967—1970 гг. в ряде сообщений в Докл. АН СССР; см. также обзор Н. В. Перцова и Е. Д. Щукина в ж. «Физика и химия обработки материалов», № 2 (1970).

**Б. К. Вайнштейн, В. И. Симонов, Д. М. Хейкер.** Проект «Арокс» (автоматическое рентгеновское определение кристаллических структур)

Современный аппарат дифракционных методов позволяет устанавливать атомное строение металлов и сплавов, минералов, неорганических и органических соединений, белков и пуклиновых кислот. Получение и обработка тысяч (а для биологических объектов и сотен тысяч) дифракционных отражений — процесс трудоемкий и сложный. Полный цикл исследования структуры кристалла, содержащего порядка ста атомов в элементарной ячейке, требовал не менее года напряженного труда.

В Институте кристаллографии АН СССР разработан и реализуется проект создания автоматической системы определения кристаллических структур. Созданные Институтом кристаллографии совместно с СКБ института и СКБ Рентгеновской аппаратуры автоматические рентгеновские дифрактометры ДАР, ДАР-Б (для биологических объектов), ДАР-УМ (управляемый ЭВМ) и управляющая ЭВМ «Днепр» образуют экспериментальный каскад системы. Производительность этих приборов в несколько десятков раз выше производительности фотографических методов с ручной обработкой рентгенограмм; точность измерения интенсивностей может быть с их помощью повышена на порядок.

На базе ЭВМ М-220 создается второй каскад системы, который должен будет автоматизировать основные этапы определения атомной структуры кристаллов по дифракционным данным. Совершенствуются и объединяются в комплекс известные и разрабатываются новые методики построения приближенной модели исследуемой атомной структуры с помощью ЭВМ. Реализация проекта позволит сократить сроки расшифровки структур кристаллов средней сложности до 2—3 недель.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. К. Вайнштейн, И. М. Гельфанд, Р. Л. Каюшина, Ю. Г. Федоров, ДАН СССР 153, № 1, 93 (1963).
2. Д. М. Хейкер, Э. Л. Лубе, М. Е. Андрианова, Аппаратура и методы рентгеновского анализа, вып. 6, 193 (1970).
3. В. И. Симонов, Кристаллография 10, вып. 2, 155 (1965).
4. V. I. Simonov, Acta Crystallographica B25, p. 1, 1 (1969).

**Х. С. Багдасаров, В. Я. Хаимов-Мальков.** Новые методики и результаты синтеза тугоплавких монокристаллов

Известно, что реальные свойства монокристаллов определяются не только физико-химическими свойствами данного вещества, но и условиями их синтеза, управление которыми позволяет осуществить влияние на реальную структуру кристаллов и прежде всего на однородность стехиометрического состава, распределение примесей, дислокаций и других дефектов. Проблема высокотемпературного синтеза совершенных монокристаллов не может рассматриваться в отрыве от конкретных геометрических размеров кристалла, особенно если речь идет о сравнительно больших кристаллах, достигающих нескольких десятков сантиметров. В этом смысле получение больших однородных кристаллов определяется не только методическими вопросами синтеза, но и специфическими задачами кристаллографии, так как синтез больших однородных кристаллов не является прямым подобием синтеза малых кристаллов.

Проблема синтеза больших однородных кристаллов решалась на примере тугоплавких монокристаллов сапфира, иттро-алюминиевого граната, ортованадата иттрия, алюмината иттрия и других кристаллов. Необходимо подчеркнуть, что проблема синтеза кристаллов сапфира является самостоятельной проблемой, имеющей не менее важное значение в научно-техническом прогрессе, чем, например, проблема кварца. Это связано с тем, что кристаллы сапфира по комплексу свойств: температуре плавления, механической прочности и износостойчивости, оптической прозрачности и химической стойкости — являются уникальными.

Также принципиальное значение имеет решение проблемы синтеза кристаллов иттро-алюминиевого граната, особенно для квантовой электроники.

Рассмотрение физико-химических процессов и кинетики кристаллизации указанных веществ позволило развить соответствующие методики синтеза этих кристаллов.

Среди общих задач высокотемпературного синтеза важное место заняли задачи о взаимодействии инородных включений в расплаве с фронтом кристаллизации, например, задача взаимодействия фронта кристаллизации с продуктами разложения окиси алюминия и задача о распределении примеси-активатора в объеме кристалла.

Для решения задачи о захвате частиц фронтом кристаллизации были рассмотрены нестационарные процессы кристаллизации, вызванные главным образом колебаниями температуры. Что касается задачи о распределении активатора в кристалле, то здесь рассмотрена зависимость величины коэффициента захвата примеси и его анизотропии

от условий и кинетики роста, включая граничные и неграничные формы кристаллизации. Показана зависимость проявления анизотропии коэффициента захвата примеси от величины осевого градиента температуры.

Работа завершилась созданием новых методов и аппаратуры для синтеза крупных совершенных кристаллов сапфира и иттро-алюминиевого граната, которые находят широкое применение в науке и технике.

### Е. А. Туров. Некоторые вопросы современной теории магнетизма

На конкретных примерах ядерного магнитного резонанса и электросопротивления показывается, что существование «магнитных дефектов» типа переходного слоя между доменами в ферромагнетиках может самым кардинальным образом отражаться на многих физических свойствах магнитных кристаллов и приводить к ряду новых эффектов. В связи с этим рассматривается энергетический спектр ферромагнетика с одной доменной границей и с периодической доменной структурой. Развита теория ядерного магнитного резонанса ядер в доменных границах с учетом влияния специфических для них «двумерных» колебаний магнитного момента.

Обсуждается вопрос об электросопротивлении ферромагнитных металлов при низких температурах, о гигантском изменении сопротивления под действием малых внешних магнитных полей и собственного магнитного поля измеряющего тока. Выдвигается идея о том, что создание сверхчистых ферромагнитных металлов может открыть новые перспективы их применения в технике в связи с возможностью в таких металлах управлять сильными внутренними магнитными полями с помощью слабых токов и полей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Туров, М. П. Петров, Ядерный магнитный резонанс в ферро- и антиферромагнетиках, М., «Наука», 1969.
2. Е. А. Туров, М. И. Куркин, К теории ядерной магнитной резонансной восприимчивости магнитных веществ, ФТТ **10**, 3222 (1968).
3. Е. А. Туров, А. П. Танкеев, М. И. Куркин, К теории ядерной магнитной резонансной восприимчивости многодоменных ферромагнетиков. I. Анализ локальных частот, ФММ **28**, 385 (1969); II. Локальный коэффициент усиления и интегральная восприимчивость, ФММ **29**, 747 (1970).
4. Е. А. Туров, Электропроводность ферромагнитных металлов при низких температурах, Изв. АН СССР, сер. физ. **19**, 474 (1955); ФММ **6**, 203 (1958).
5. Е. А. Туров, А. Н. Волошинский, К вопросу о магнитной части электросопротивления при низких температурах, Труды X Международной конференции по физике низких температур, т. IV, стр. 105, М., Изд. ВИНТИ, 1968.
6. А. Н. Волошинский, Е. А. Туров, Л. Ф. Савицкая, Анизотропия электро- и теплопроводности ферромагнитных металлов при низких температурах, ФТТ (1970).

### С. А. Альтшулер. Электронно-ядерный магнитный резонанс (ЭЯМР)

У ионов элементов промежуточных групп, содержащих четное число электронов, в твердых телах под действием кристаллического поля основной энергетический уровень нередко расщепляется так, что нижним подуровнем оказывается синглет. Если у рассматриваемых ионов ядерный спин  $I \neq 0$ , то возможно наблюдение магнитного резонанса, который по величине резонансных частот, интенсивностей и ширин линий поглощения, по значениям времен парамагнитной релаксации и занимает промежуточное положение между электронным парамагнитным резонансом и ядерным магнитным резонансом. Объясняется это тем, что электронный магнитный момент, равный нулю в 1-м приближении теории возмущений, во 2-м приближении дает добавку к ядерному магнитному моменту  $\mu_N$ , которая имеет порядок  $\mu_e = \frac{a}{\Delta} \beta$ , где  $a$  — константа сверхтонкого взаимодействия,  $\Delta$  — интервал между нижними электронными подуровнями,  $\beta$  — магнетон Бора. Оценка показывает, что во многих случаях  $\mu_e \gg \mu_N$ .

Экспериментально изучены спектры ЭЯМР в ионных кристаллах на  $V^{51}$  в корунде, на  $Pt^{141}$  в сульфате, на  $Tm^{169}$  в этилсульфате, галлиевом и алюминиевом гранатах; в интерметаллических соединениях  $PrP$ ,  $PrAs$ ,  $PrBi$ ,  $TmP$ ,  $TmAs$ ,  $TmSb$  на  $Pr^{141}$  и  $Tm^{169}$  и в металле  $Pr$ . Измеренные значения гиромагнитных факторов  $\gamma$  и констант квадрупольной связи оказались намного большими соответствующих величин для ядерных спинов. В кристаллах низкой симметрии при переходе от одной кристаллической оси к другой компоненты тензора  $\gamma$  изменяются очень сильно; в этилсульфате туллия, например,  $(\gamma_{\perp}/\gamma_{\parallel}) \approx 75$ .

Теоретически и экспериментально показано, что в ионных кристаллах, если количество парамагнитных примесей достаточно мало, наиболее эффективный механизм спин-решеточной релаксации заключается в следующем: колебания решетки, модулируя электрическое поле кристалла, воздействуют на орбитальное движение электронов, а через них изменяют ориентацию ядерных спинов. Измерения температурной зависимости времени спин-решеточной релаксации показали, что, в отличие от обычного ядерного резонанса, помимо процессов комбинационного рассеяния фононов существенную роль играют переходы через промежуточный штарковский уровень. В металлах и интерметаллических соединениях, если приняты во внимание обменные взаимодействия между электронами проводимости и атомами промежуточных групп, расчет в согласии с данными опыта приводит к очень коротким временам релаксации.

Вещества, содержащие редкоземельные ионы с нижним синглетным электронным уровнем, как показывает обсуждение, могут быть использованы для получения сверхнизких температур  $\sim 10^{-4}$  К путем адиабатического размагничивания. Первый эксперимент с PrBi позволил понизить температуру от 26 до 10 миллиградусов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Зарипов, Изв. АН СССР, сер. физ. 22, 1220 (1956).
2. Р. М. Минеева, ФТТ 5, 1403 (1963).
3. С. А. Альтшулер, В. Н. Ястребов, ЖЭТФ 47, 382 (1964).
4. С. А. Альтшулер, М. А. Теплов, Письма в ЖЭТФ, 5, 209 (1967).
5. М. А. Теплов, ЖЭТФ 53, 1510 (1967); 55, 2145 (1968); ФТТ 10, 2548 (1968).
6. E. D. Jones, Phys. Rev. Lett. 19, 432 (1967); Phys. Chem. Solids 29, 1305 (1968); Phys. Rev. 180, 450 (1969).
7. С. А. Альтшулер, Письма в ЖЭТФ, 3, 177 (1966).
8. K. Andres, E. Bucher, Phys. Rev. Lett. 21, 1221 (1968).

### НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

(23 апреля 1970 г.)

23 апреля 1970 г. в конференц-зале Физического института им П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. В. В. Сычев. Сверхпроводящие магниты.
2. В. И. Раховский. Динамика приэлектродных областей электрического разряда.
3. Я. А. Рыфтин. Перспективы радикального повышения разрешающей способности в телевидении.

Ниже публикуется краткое содержание прочитанных докладов.

**В. В. Сычев. Сверхпроводящие магниты (вопросы надежности)**

Доклад представляет собой обзор современного состояния вопросов надежности обмотки сверхпроводящей магнитной системы (СПМС) с точки зрения возможности аварийного перехода СПМС в нормальное состояние. Наиболее подробно рассмотрена проблема тепловой (криостатической) стабилизации сверхпроводников.

Как известно, стабилизация сверхпроводника достигается путем армирования сверхпроводника нормальным металлом с высокой электропроводностью и теплопроводностью. Такие сверхпроводники, расположенные в матрице (подложке) из нормального металла, получили название комбинированных проводников.

Известная модель комбинированного проводника по Стекли<sup>1</sup>, явившаяся первым приближением теории этих проводников, базируется на предположениях о том, что (а) коэффициент теплоотдачи от поверхности проводника к гелиевой ванне не меняется с температурой<sup>\*</sup>, (б) удельное сопротивление материала подложки не зависит от температуры и (в) температура комбинированного проводника одинакова по всей его длине. Учет действительного характера изменения этих величин позволил получить ряд качественно новых выводов о закономерностях поведения комбинированных проводников.

В работах<sup>3, 4</sup> с учетом кризиса кипения гелия (перехода от пузырькового режима кипения к пленочному), наступающего при температурном напоре  $\sim 1^\circ$  К, и с учетом реальной температурой зависимости удельного сопротивления меди детально рассчи-

<sup>\*</sup> Впоследствии Стекли предпринял попытку<sup>2</sup> формально учесть в своей модели влияние кризиса кипения, однако использованный им подход был не вполне корректным и не соответствовал общей идее метода<sup>3</sup>.

таны полные вольт-амперные характеристики комбинированного проводника в изотермических условиях как для области состояний, соответствующих делению тока между сверхпроводником и подложкой, так и для области, когда весь ток вытеснен в подложку. Расчет этих характеристик выполнен для разных значений критической температуры  $T_c$  ( $H, I = 0$ ).

Эти характеристики существенно отличаются от результатов, полученных в работах Стекли<sup>1, 2</sup>. Установлено, в частности, что полная стабилизация (т. е. равенство минимального тока существования нормальной фазы<sup>1</sup>  $I_m$  критическому току  $I_c$ ) для рассматриваемых условий соответствует значению критерия стабильности  $\alpha \approx 0,03$ . Установлено, далее, что при любой данной величине  $\alpha$  выше некоторого предельного тока  $I^*$  оказываются невозможными устойчивые состояния проводника в случае, когда весь ток вытеснен в подложку; при  $I > I^*$  переход сверхпроводника в нормальное состояние приводит к последующему неограниченному росту температуры проводника. Обнаружен и ряд других областей неустойчивого состояния комбинированного проводника<sup>3, 4</sup>.

Существование равновесных неустойчивых состояний комбинированного проводника в области пузырькового кипения гелия (параметр стабильности  $\alpha > 1$ ) и в области, соответствующей случаю, когда весь ток течет только по подложке ( $T > T_c$ ), а также существование предельного тока  $I^*$  подтверждено экспериментально.

В этих опытах получены вольт-амперные характеристики комбинированных проводников различных типов при различных значениях напряженности внешнего магнитного поля в изотермических условиях (температура одинакова по длине исследуемого участка проводника).

Установлено, что реальная вольт-амперная характеристика комбинированного проводника имеет именно такой характер, который был ранее установлен расчетным путем.

Теоретическое рассмотрение случая неравномерного распределения температуры по длине комбинированного проводника было выполнено еще несколько лет назад<sup>5</sup>. Это рассмотрение было проведено в предположении о независимости коэффициента теплоотдачи от температуры. На основе данных, полученных в работе<sup>6</sup>, было введено представление о так называемом минимальном токе распространения ( $I_p$ ), при котором скорость распространения нормальной фазы по проводнику ( $v$ ) равна нулю. Естественно,  $I_m < I_p < I_c$  при  $I = I_m$   $v = -\infty$ , при  $I = I_c$   $v = 0$ . Полученные результаты хорошо подтвердились экспериментально<sup>6</sup>.

В последнее время вольт-амперные характеристики для случая неравномерного распределения температуры были уточнены с учетом кризиса кипения гелия. Эти характеристики получили однозначное экспериментальное подтверждение. При этом наиболее существен тот факт, что даже при токах в проводнике  $I > I_p$  вплоть до критического значения  $I_c$  на характеристиках существуют участки с положительным значением величины  $dV/dI$ . Это свидетельствует об устойчивости полученных состояний, что весьма важно при решении вопроса о надежности работы СПМС при токах  $I > I_p$ .

Представления, развитые в описанном комплексе работ, дают возможность определять условия, необходимые для безопасной и надежной работы стабилизированных СПМС. Эти представления позволили, в частности, установить причины описанных в последние годы в литературе аварий крупных СПМС и определить пути устранения возможности этих аварий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Z. J. J. Stekly, J. L. Zar, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-12, 367 (1965).
2. Z. J. J. Stekly, First Int. Cry. Eng. Conf., Kyoto (April 1967).
3. M. G. Kremlev, V. B. Zenkevitch, V. A. Altov, Cryogenics, № 3, 173 (1968).
4. В. В. Сычев, В. Б. Зенкевич, М. Г. Кремлев, В. А. Альтов, ДАН СССР 188, 83 (1969).
5. V. E. Keilin, E. Y. Klimenko, M. G. Kremlev, B. N. Samoilov, Les champs magnetiques intenses, Coll. int., Grenoble (1966).
6. В. Б. Зенкевич, В. В. Сычев, Тепловая стабилизация сверхпроводящей обмотки. Дополнение к кн. Ч. Лаверика «Сверхпроводящие магниты», «Мир». 1968.

**В. И. Раховский.** Динамика приэлектродных областей электрического разряда

В докладе рассмотрена задача систематического изучения динамики развития катодного пятна сильноточного разряда на различных материалах в широком диапазоне давлений и токов с целью установления основных закономерностей развития катодного пятна в зависимости от теплофизических и атомных констант материала катода и параметров внешней цепи; разработки, по возможности, простой физической модели

катодной области электрической дуги; приближенного теоретического описания динамики развития катодного пятна с возможно более полным учетом взаимосвязанных процессов, обеспечивающих непрерывность переноса тока в этой области, отыскания условий минимального эрозионного воздействия катодного пятна на электрод.

Для изучения динамики развития прикатодной области электрического разряда ( $I = 5 \div 4000$  а,  $P = 760 \div 10^{-5}$  мм рт. ст.) использовалась установка, позволявшая проводить наблюдение катодных пятен с достаточным временным разрешением ( $10^{-8}$  сек) с помощью электронно-оптического преобразователя при одновременной фиксации спектра прикатодной плазмы с помощью дифракционного спектрографа, снабженного специальной двухлучевой фотоэлектрической приставкой.

Эрозия электродов исследовалась методами оптической и механической профилографии. В качестве материалов катода использовались Sn, Pb, Zn, Cd, Sb, Al, Cu, Pd, Au, Ag, Pt, Ni, Mo, W.

Исследования показали, что после пробоя на поверхности катода вблизи анода возникают быстро перемещающиеся ( $10^2 - 10^4$  см/сек) беспорядочно движущиеся пятна с высокой плотностью тока ( $10^6$  а/см<sup>2</sup>). Каждое пятно существует вполне самостоятельно. Характерное время пребывания таких пятен (пятен 1-го типа) на одном месте изменяется в зависимости от металла и внешних условий от  $5 \cdot 10^{-7}$  сек до  $10^{-5}$  сек. Длительность существования одного пятна не превышала  $10^{-5}$  сек. Длительность существования такого режима катодной области возрастает при увеличении теплопроводности и упругости паров материала электрода. Разогрев локальных участков поверхности электрода и уменьшение давления и атомного веса окружающего газа создают условия, при которых необходимый уровень воспроизводства пара в приэлектродной области становится возможен лишь при объединении отдельных пятен, уменьшении скорости их перемещения и возникновении так называемого группового пятна (пятна 2-го типа).

Эти пятна обычно появляются по прошествии  $10^{-4} - 10^{-3}$  сек с момента возникновения разряда на наиболее разогретом участке поверхности катода, который чаще всего располагается в непосредственной близости от анода. Пятна этого типа тесно связаны между собой: любое отдельное пятно, вышедшее за пределы площади, занимаемой группой, гибнет. Плотность тока в таких пятнах заметно ниже ( $2 \cdot 10^4 \div 10^5$  а/см<sup>2</sup>), а скорость перемещения незначительна ( $5 \cdot 10^1$  см/сек), причем они уменьшаются при увеличении теплопроводности и скрытой теплоты испарения материала катода.

Изучение эрозии, вызываемой пятнами 1-го и 2-го типов, показало, что если первые практически не оставляют сколько-нибудь заметных следов разрушения, то существование вторых приводит к появлению заметных локальных разрушений материала катода.

На основании проведенных экспериментальных исследований была предложена следующая модель развития процессов в прикатодной области. Ионы создают у поверхности катода область положительного пространственного заряда, поле которого, воздействуя на потенциальный барьер на границе металл — вакуум, снижает и сужает последний, чем облегчает эмиссию электронов. Ионы, попадающие на катод, разогревают его вследствие передачи кинетической и потенциальной энергии. Нагрев катода вызывает заселение электронами уровней, расположенных выше уровня Ферми, и, следовательно, облегчает эмиссию электронов, а кроме того, вызывает испарение материала электрода. Эмиттированные электроны, ускоренные в области положительного объемного заряда, ионизируют нейтральные атомы, которые, превратившись в ионы, движутся к катоду, — цикл замыкается.

Сравнение результатов теоретических расчетов, проведенных на основании предложенной модели в случае меди, с экспериментом дало хорошее совпадение и позволило объяснить ряд характерных особенностей динамики развития катодного пятна.

Переход от быстро движущихся к медленно движущимся пятнам вполне закономерен и связан лишь с разогревом локальных областей катода и увеличением размеров области эффективной эмиссии и испарения, а следовательно, с уменьшением плотности тока, которая, как показывает эксперимент, падает по мере развития разряда. При этом вследствие разогрева катода в эмиссии начинают играть основную роль электроны, эмиттируемые с уровней, расположенных выше уровня Ферми, т. е. происходит переход от автоэлектронного к термоэлектронному механизму эмиссии. Характерные времена перехода от быстро движущихся пятен к медленно движущимся определяются характерными временами разогрева локальных участков поверхности катода и условиями, определяющими разлет пара у поверхности пятна.

Ввиду того, что условия жизнедеятельности пятна определяются условиями воспроизводства ионов, использование в качестве добавок материалов с большими сечениями ионизации резко сокращает расход катода.

Таким образом, динамика развития эмиссионных и эрозионных процессов на катоде определяется динамикой возникновения и перемещения ионов в прикатодной области и динамикой разогрева электрода. Изменяя параметры, определяющие эти процессы, т. е. используя материалы с соответствующими теплофизическими или атомными константами, можно управлять динамикой развития катодного процесса.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Хольм, Электрические контакты, М., ИЛ, 1961.
2. J. D. Cobine, C. Gallagher, Phys. Rev. 74, 1524 (1948).
3. Emil Zizka, Czechosl. Journ. Phys. 7, 306 (1957).
4. H. Wroge, Nature 182, 338 (1958).
5. K. D. Froome, Proc. Phys. Soc. (London) 62, 805 (1949).
6. K. D. Froome, Proc. Phys. Soc. (London) 63, 377 (1950).
7. H. Bertele, Brit. J. Appl. Phys. 3, 358 (1952).
8. M. P. Reese, Nature (London) 181, 475 (1958).
9. W. P. Duke, J. K. Trolan, Phys. Rev. 82, 575 (1951).
10. W. P. Duke, J. K. Trolan, Phys. Rev. 89, 799 (1953).
11. М. И. Елинсон, Г. Ф. Васильевич, Автоэлектронная эмиссия, М., Физматгиз, 1958.
12. E. L. Murphy, R. H. Good, Phys. Rev. 102, 1464 (1956).
13. J. D. Cobine, G. A. Farrall, J. Appl. Phys. 31, 2296 (1960).
14. R. Tanberg, W. E. Berkeley, Phys. Rev. 37, 1670 (1931); 38, 296 (1931).
15. В. Л. Грановский, Электрический ток в газе, М., Гостехиздат, 1952.
16. V. Hermoch, Czechosl. J. Phys. 4, 28 (1954).
17. J. A. Rich, J. Appl. Phys. 32, 1023 (1961).
18. T. H. Lee, J. Appl. Phys. 28, 920 (1957).
19. T. H. Lee, J. Appl. Phys. 30, 166 (1959).
20. T. H. Lee and A. Greenwood, J. Appl. Phys. 30, 216 (1961).

**Я. А. Рыфтин.** Перспективы радикального повышения разрешающей способности в телевидении

Количество получаемой по телевидению информации зависит от разрешающей способности телевизионной системы, которая определяется в первую очередь разрешающей способностью передающей трубки.

Разрешающая способность существующих трубок не удовлетворяет возрастающим требованиям. Она недостаточна даже для реализации возможностей 625-строчного телевизионного стандарта, а потому качество передачи пока не превышает 25% возможного<sup>2</sup>, тогда как для решения многих важных проблем (космических, голографических, кинотелевизионных и др.) уже нужны трубки с разрешающей способностью по меньшей мере на порядок более высокой.

Известные пути повышения разрешающей способности почти исчерпаны. В докладе освещаются новые пути решения проблемы<sup>1</sup>. Они основываются на установленном автором «эффекте пульсации — адаптации пятна на заряженной мишени электронно-лучевой трубки»<sup>3</sup>, сущность которого заключается в следующем. Трубка с накоплением работает лишь при наличии в коммутирующем электронном пучке перенной пассивной части, являющейся тем резервным буфером, за счет которого образуется несущая информация составляющая видеосигнала. При этом мишень трубки разряжается преимущественно передней, активной частью электронного пучка, величина и форма которой адаптирует к смещению (числу) строк и способу разложения и пульсирует вместе с изменениями плотности заряда на коммутируемых участках. На основе этого эффекта предложен новый принцип коррекции трубки, который в отличие от известных, всегда ухудшающих, отношение сигнал — шум, приводит к повышению этого отношения.

Предложен и новый способ передачи. Он сводится к многострочному разложению анаморфированного по высоте изображения на большой сферической мишени широкоугольной трубки, названной автором сфериконом, у которой угол отклонения коммутирующего пучка увеличивается пропорционально числу строк и такому расстоянию между ними, при котором ограничивающее разрешающую способность предварительное считывание зарядов уменьшается до оптимального<sup>4</sup>.

Намечаются, таким образом, реальные перспективы создания передающих трубок со сверхвысокой разрешающей способностью (до 10 тысяч строк и более). Такие трубки необходимы не только для решения отмеченных выше проблем прикладного телевидения. Они позволят радикально повысить и качество телевизионного вещания. Путем высокочастотного качания очень малого пятна сферикона можно будет осуществить стандартное 625-строчное разложение «щелевой апертурой», при которой качество передачи повысится относительно существующего до четырех и более раз. И все это при неизменных, существующих телецентрах и телевизионных приемниках.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Рыфтин, Техническая физика, М., Изд-во АН СССР, вып. 9 (1953).
2. А. Я. Рыфтин, Техника кино и телевидения, № 6 (1963).
3. А. Я. Рыфтин, Техника кино и телевидения, № 2 (1967).
4. А. Я. Рыфтин, Техника кино и телевидения, № 2 (1970).