

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

539 143 43(063)

МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКОЛА ПО МАГНИТНОМУ РЕЗОНАНСУ

(Новосибирск, 20—26 сентября 1987 г.)

Академия наук СССР и Сибирское отделение АН СССР провели в Новосибирске 20—26 сентября 1987 г. на базе Института химической кинетики и горения СО АН СССР десятую школу по магнитному резонансу.

Школа вошла в план мероприятий европейской ассоциации ученых, занимающихся исследованиями в области магнитного резонанса и смежных проблем АМПЕРЕ, как очередная международная IX летняя Школа АМПЕРЕ. Тематика Школы включила 14 научных направлений и дает представление о состоянии и путях прогресса теории методического арсенала и приложений магнитного резонанса.

Динамика и кинетика спиновых систем является традиционной для Всесоюзных школ по магнитному резонансу. На данной Школе была прочитана лекция Б. Н. Провоторова в соавторстве с Г. Е. Карнаухом «Спиновая динамика и кинетическое уравнение больцмановского типа». Лекция вызвала большой интерес и оживленные комментарии, в частности, со стороны А. Абрагама (Франция), в свое время одним из первых подхватившего методологию теории насыщения спиновых систем, предложенную Б. Н. Провоторовым. Характерно, что прошедшие со времени первых публикаций Провоторова двадцать пять с лишним лет ознаменовались эволюцией автора от остроумных решений, казалось бы, частных задач к постановке общей задачи о выводе кинетического уравнения для системы взаимодействующих спинов. В ходе решения использован метод функции памяти, получивший у наших теоретиков популярность, в частности, в связи с недавним выходом русского перевода книги Абрагама и Гольдмана «Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок», где этому методу уделено значительное внимание. В лекции Провоторова было также показано, как уравнения для трехкомпонентного вектора плотности поляризации спинов $\sigma(\hbar, t)$, имеющих резонансное поле $\hbar$ в момент времени t , могут быть сведены к давно известным и ставшим уже классическими для предельных случаев уравнениям магнитного резонанса: Блоха, Рэдфилда и самого автора.

Из выступлений представителей школы Провоторова и близких к ней исследователей можно отметить в особенности зачитанные на симпозиуме-спутнике доклады, посвященные теории формы линии ЯМР в твердом теле (А. А. Лундин), исследованию корреляционных функций молекулярных движений (А. К. Хитрин).

Многоимпульсные методы ЯМР в твердом теле нашли свое отражение еще в нескольких докладах советских и иностранных участников (Л. Н. Ерофеев). В. А. Апаркин (соавторы Г. А. Васнева, В. В. Демидов) прочитал лекцию «Спиновая динамика в магнитно-разбавленных телах». Лекция явилась обобщением значительного экспериментального материала, полученного с применением оригинальных методических подходов, разработанных в ИРЭ: матрицы и метод усиленной продольной восприимчивости. Удачный выбор объектов исследования позволил выявить на разных примерах замедление и неоднородность процессов термализации внутри спин-спиновой резервуара электронных спинов.

С этими результатами перекликалась лекция А. М. Райцмринга (СССР) «Исследования диполь-дипольного взаимодействия в магнитно-разбавленных твердых телах методом электронного спинового эха». Общее в содержании этих двух лекций — влияние неоднородности пространственного распределения спинов на динамику спин-спиновых взаимодействий. К области исследований магнитно-разбавленных систем относятся и выступления других участников Школы, в том числе и лекция Дж. Х. Фрида (США) «Двумерный и импульсный ЭПР». Развитие данного направления в последние два десятилетия можно считать чрезвычайно успешным.

Большой интерес всех участников вызвали доклады по экспериментальным методам и аппаратуре для магнитного резонанса и проводившаяся в дни работы Школы выставка научных приборов для магнитного резонанса. Из советских докладов с большим интересом был встречен доклад А. Г. Семенова (Новосибирск) «Опыт применения ЯМР для поиска подземных вод». Привлек внимание образец малогабаритного спектрометра ЭПР АЭ-4700,

представленного на выставку Белорусским государственным университетом. К сожалению, как это бывает часто в последние годы, аппаратные, а следовательно, методические и прикладные достижения отдельных лабораторий намного превышают достижения наших учреждений. Прежде всего это относится к методам магнитно-резонансной томографии (интроскопии) и спектроскопии *in vivo*. Количество аппаратов, непосредственно применяющихся в практической медицине, достигает в США, ФРГ, Великобритании нескольких сотен.

Глава ассоциации АМПЕРЕ, один из старейших ученых в области ЯМР, Е. Р. Эндрю (ныне США) выступил с вводной лекцией «Принципы и практика ЯМР томографии в медицине». Вице-президент фирмы «Брукер» (ФРГ) У. Айхофф выступил с лекцией «Получение быстрых изображений, селективных изображений, изображений потока методом ЯМР». Автор сообщил в этой лекции о некоторых новых аппаратных разработках фирмы «Брукер». Намечен и успешно реализуется конкретный план сотрудничества СО АН СССР с указанной фирмой в области медицинской ЯМР томографии. Из практики медицинской томографии был зачитан доклад Л. А. Сибельдиной по онкологии и представлено, например, стендовое сообщение И. Д. Фединой по кардиологии. Упомянутые учреждения также применяют аппаратуру фирмы «Брукер». Лекцию по ЭПР томографии прочел Я. С. Лебедев, с докладом в этой области выступил У. Эверт (ГДР).

Наиболее блестящие по форме и полезные по содержанию лекции в области экспериментальной методики были прочитаны Р. Эрнстом (Швейцария) на тему «Последние достижения в многомерном магнитном резонансе» и Э. Ханом (США) на тему «Явление слабого сигнала в ЯМР с использованием СКВИД». Лекция Р. Эрнста затрагивала проблемы выявления в спектрах высокого разрешения (в жидкости) сложных молекулярных систем многоквантовых переходов, исследование которых обеспечивает однозначное распознавание весьма сложных фрагментов структур. Лекция Хана, первооткрывателя импульсных методов спин-эха в ЯМР, свидетельствовала о приближении чувствительности современной аппаратуры ЯМР к теоретически предельной. С помощью СКВИД-усилителя зафиксирована на частоте квадрупольного расщепления спонтанная эмиссия ядерных спинов $I = 3/2$ ядер ^{35}Cl в монокристалле NaClO_3 при 4 К.

Большой вклад внесли ученые Сибирского Отделения АН СССР в развитие исследований спиновых эффектов в химических реакциях. Спиновые состояния промежуточных, причем весьма короткоживущих, частиц в химических реакциях сказываются на выходе конечных продуктов этих реакций. Значительное число эффектов влияния спина на химический процесс или прямо вытекающих из них эффектов изменений спинового состояния молекул, образующихся в реакции, а также и полного выхода продуктов реакции в магнитном поле, было впервые наблюден в Новосибирске в Институте химической кинетики и горения СО АН СССР.

Неудивительно, что происходящая в Новосибирске Школа собрала особенно много лекторов и докладчиков по проблемам изучения химических реакций в магнитном поле (химической поляризации ядерных и электронных спинов и т. д.). Новым эффективным методом косвенного наблюдения электронного парамагнитного резонанса промежуточных короткоживущих свободных радикалов служит метод стимулированной путем резонансного облучения реакционной среды в магнитном поле поляризации ядер. Поляризация ядер наблюдается по измерению сигнала ЯМР продукта реакции в сильном магнитном поле, а сама реакция, так же как и возбуждение (насыщение) ЭПР, проводится в слабом поле вспомогательного магнита с изменяемой напряженностью. Метод оказывается не только чувствительным (обнаруживает частицы, мгновенная концентрация которых значительно меньше 10^{10} см^{-3}), но и избирательным, позволяющим отличать один тип радикала от другого по сверхтонкой структуре линий. Лекцию о теории и результатах применения этого метода представил коллектив авторов (лектор К. М. Салихов из Новосибирска).

Вторжение методов магнитного резонанса в фотохимию позволило проследить детали многих процессов, протекающих при возбуждении светом реакций в магнитном поле. Лекция К. Мёбуса (Западный Берлин) с соавторами содержала данные «О роли методов многочастотного электрон-ядерного резонанса в понимании структурно-функциональных отношений в первичных процессах фотосинтеза».

Среди докладов и лекций, посвященных применению методов магнитного резонанса для изучения химических реакций, были выступления А. Д. Трифунака (США) «Изучение магнитного резонанса парамагнитных переходов в импульсном радиолизе», Х. Г. О. Беккера (ГДР) «ХПЯ в реакциях переноса электрона», Г. Клосса (США) «Проявление спин-спинового взаимодействия в ХПЭ в мицеллах», О. А. Анисимов (Новосибирск), М. Оказаки (Япония).

Применению магнитного резонанса для изучения оптически возбужденных систем был посвящен ряд весьма серьезных лекций, вызвавших значительный интерес у участников Школы. Среди них лекции П. Г. Баранова «Оптический магнитный двойной резонанс в ионных кристаллах и полупроводниках», Д. Штелика (Западный Берлин) «Применение оптической поляризации ядерных спинов в изучении спиновой динамики и кинетики реакций, возбужденных триплетных состояний и в решении проблем ЯМР твердого тела» и доклады Дж. Шмидта (Нидерланды) «Спектроскопия электронного спинового эха фотовозбужденных триплетных молекул», В. Г. Флейшера «Оптические и гальванические эффекты при оптически индуцированном ЯМР в полупроводнике». Названия этих сообщений уже сами по себе указывают на широкий круг проблем и фунда-

ментальность их изложения. В то же время авторы обсудили довольно много экспериментальных результатов, полученных в их собственных лабораториях.

С большим педагогическим мастерством и на высоком научном уровне, судя по отзывам прежде всего иностранных участников Школы, прочел лекцию «Спиновая кинетика и ЭПР в сверхпроводниках» профессор Казанского университета Б. И. Кочелаев.

На первом заседании Школы выступил известный как автор фундаментальных монографий и открыватель ряда эффектов магнитного резонанса профессор А. Абрагам (Франция). Лектор рассказал о нескольких циклах исследований таких эффектов, как ядерное магнитное упорядочение, спин-зависимое рассеяние поляризованных нейтронов, спиновый резонанс мюонов. Содержание лекции вышло далеко за рамки ее первоначально объявленного названия и в известной степени соответствовало представлению круга идей последней, уже упомянутой нами монографии Абрагама «Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок». Выступление А. Абрагама безусловно было одним из интереснейших на Школе.

В соответствии с традициями АМПЕРЕ и Всесоюзных Школ по магнитному резонансу, на занятиях данной Школы были затронуты, хотя и в меньшей степени, и другие актуальные направления магнитного резонанса. Направление ЯМР и ЭПР в жидкости, указанное в программе Школы, фактически было ориентировано на проблемы химической радиоспектроскопии. К нему относились лекция Н. М. Сергеева (МГУ) «Изотопные эффекты для констант экранирования и констант спин-спинового взаимодействия», доклад И. Л. Барсукова (ИБОХ АН СССР, Москва) «Конформационные формы грамицидина А в органических растворителях по данным двумерной ЯМР спектроскопии».

Направление ЯМР и ЭПР в твердом теле, помимо указанных выше проблем, охватывало ряд конкретных структурных применений магнитного резонанса. Э. П. Зеер (Красноярск) прочитал доклад по ЯМР гексафторидных соединений, Х. К. Рот (Лейпциг, ГДР) — по ЭПР полупроводниковых тетрацианфульваленов. На симпозиуме-спутнике это направление было представлено, например, докладами Ю. Н. Москвича (Красноярск), М. Д. Глинчука (Киев), Р. Л. Армстронга (Канада) и некоторыми другими. Эта группа докладов посвящалась преимущественно фазовым переходам в сегнетоэлектрических системах. На заседаниях в Новосибирске с докладами общего характера по указанным проблемам выступили Ю. В. Яблоков (Казань, ФТИ), Я. Станковски (ПНР).

Специфические интересы красноярских физиков нашли отражение в программе симпозиума-спутника. Здесь весьма широко были затронуты проблемы несоразмерной структуры кристаллов, например, в докладах, авторами которых были В. Виндш (Лейпциг), И. П. Александрова (Красноярск), Б. Топич (Лjubляна), В. С. Вихни (Ленинград). Можно также указать на группу докладов, посвященных магнитному резонансу в сверхпроводниках: Б. И. Кочелаева (Казань) «ЭПР в высокотемпературном сверхпроводнике $Y_{1-x}Gd_xBa_2Cu_3O_4$ », Я. Станковски (ПНР) «Исследование высокотемпературных сверхпроводников и джозефсоновских осцилляций с помощью метода ЭПР». Если добавить к этим докладам такие, как доклад С. М. Рябенко с соавторами (Киев), релаксационные исследования ЯКР несоразмерных фаз в кристаллах, доклад того же Я. Станковски «Протонное спин-стеклянное состояние в $Rb_{1-x}(NH_4)_xH_2AsO_4$ », можно понять, что на симпозиуме докладывались результаты самых последних исследований в самых актуальных направлениях на конкретных объектах. Из докладов в области собственно «новых идей и методов в радиоспектроскопии» отметим (к сожалению, перенесенный на стейд) интересный доклад А. Е. Мефеда «Ядерная магнитная релаксация в дважды вращающейся системе координат и медленные молекулярные движения в твердых телах». После завершения обоих мероприятий (Школы и симпозиума) особенно очевидным стал их взаимодополняющий характер.

В какой-то мере на Школе были представлены и те направления, которые более широко рассматривались недавно на специализированных совещаниях и симпозиумах. Безусловно, такие выступления, как М. А. Теплова (Казанский университет) «Магнитная релаксация жидкого 3He в ориентированном порошке $LiTmF_4$ », А. И. Смирнова (ИФП АН СССР) «Геометрия аттрактов спин-волновой турбулентности в антиферромагнетиках», С. П. Габуды (ИНХ СО АН СССР) «Конвергенция структурных данных ЯМР и дифракции нейтронов», И. В. Овчинникова (КФТИ АН СССР, Казань) «Парамагнитные жидкокристаллические металлокомплексы» и многие другие позволили сформировать участникам Школы представление о состоянии развития важнейших проблем магнитного резонанса. В сущности, это и было основной задачей Школы и симпозиума-спутника.

Кроме этого, интерес к современным научным направлениям, как можно надеяться, был возбужден у значительных групп научной молодежи, особенно Сибирского Отделения АН СССР и других научных учреждений Сибири. Судя по отзывам иностранных участников, они получили благоприятное впечатление об уровне и размахе научной деятельности советских специалистов в области магнитного резонанса, о нашей готовности к всестороннему научному сотрудничеству. Занятия Школы были отмечены настроением активного взаимного интереса и доброжелательности, взаимным уважением участников. Зарубежные специалисты предоставили для копирования 26 последних научных статей, с интересом запрашивали отски советских работ. Пожалуй, одним из важнейших практических результатов участия в проходившей параллельно со Школой выставке научных приборов зарубежных фирм явилось решение о создании в Новосибирске совместного Центра по медицинской ЯМР томографии («Брукер», ФРГ, и СО АН СССР).

Поскольку для советских специалистов проведенная Школа явилась десятой и в какой-то мере юбилейной (первая была проведена 20 лет тому назад, в 1968 г.), нельзя не отметить полезный характер деятельности Всесоюзных школ, объединяющих и в определенной мере координирующих деятельность советских специалистов в этой области, развитие которой началось с известной работы Е. К. Завойского. В то же время чувство глубокой неудовлетворенности оставляет отставание отечественного приборостроения в области магнитного резонанса. Разумеется, преодоление этого отставания требует более конструктивного участия и руководства АН СССР и самих специалистов по магнитному резонансу.

А. В. Кессених, Рен. З. Сагдеев, Г. В. Скроцкий