1975 г. Октябрь *Том 117, вып. 2*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

539.124.143(049.3)

ЗАМЕЧАТЕЛЬНАЯ СУДЬБА ОТКРЫТИЯ

Парамагнитный резонанс. Казанская школа радиоспектроскопии. 1944—1971 гг. М.. Атомиздат, 1974, 296 с.

Явление электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) было открыто Е. К. Завойским в 1944 г. в Казани. В настоящее время ЭПР стал одним из наиболее могущественных и всесторонних методов познания строения вещества и динамики протекания физических, химических и биологических процессов. Можно без преувеличения сказать, что многотысячная «армия» ученых, инженеров и техников, вооруженных методом ЭПР и другими его аналогами, с быстро возрастающими темпами вносят все более и более существенный вклад в процесс научно-технической революции.

Открытие ЭПР оказало также стимулирующее воздействие на развитие физики в Казани — на родине парамагнитного резонанса, где образовались известные научные школы, развивающие ЭПР и его аналоги в своих исследованиях. Поэтому, спустя 30 лет после обнаружения этого физического эффекта, большой интерес представляет вопрос о причинах столь замечательной судьбы работ Е. К. Завойского. Бесспорно, что именно казанские авторы вправе дать ответ на этот вопрос, что они и сделали, опубликовав в рецензируемом сборнике основополагающие работы Е. К. Завойского вместе с концентрированным отчетом об их развитии в Казани.

Материал и иллюстрации сборника подобраны ближайшими соратниками Е. К. Завойского С. А. Альтшулером и Б. М. Козыревым. Книга начинается с их мастерски написанной статьи об истории открытия ЭПР. Читателя волнует рассказ об основных этапах работ, приведших к обнаружению ЭПР, вуалью грусти окрашена часть истории, относящаяся к несостоявшимся открытиям ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и сверхтонкой структуры ЭПР: эти явления, экспериментально наблюденные с участием авторов, своевременно не были закреплены публикациями. Несомненно, что это сообщение является прекрасной иллюстрацией того, насколько извилиста и трудна тропа научных изысканий. Этот краткий обзор был бы исторически более точным, если бы в нем была отражена деятельность замечательных казанских экспериментаторов-спектроскопистов Н. С. Гарифьянова, Я. И. Ривкинда, С. Г. Салехова и Ю. Я. Шамонина, непосредственно перенявших эстаферу экспериментов по ЭПР и внесших существенный вклад в их развитие.

Книга состоит из двух частей. Первая часть включает интересные материалы из докторской диссертации Е. К. Завойского, ранее мало доступные широкому кругу читателей, а также первые его публикации в советских и зарубежных физических журналах.

Трудно скрыть восхищение, которое возникает при чтении этих давно написанных строк о первых результатах по исследованию ЭПР: о замене калориметрического метода Гортера радиотехническим методом детектирования модуляции добротности колебательного контура при прохождении спинового резонанса магнитным полем; о выяснении фундаментальной роли спин-решеточной релаксации в механизме возникновения ЭПР в конденсированных средах и об обнаружении первых эффектов взаимодействия внутри спин-системы, а также спинов с термостатом в условиях ЭПР. Поучительно сопоставление первой теории ЭПР Я. И. Френкеля с экспериментом.

Чтение обзорных работ С. А. Альтшулера и Б. М. Козырева «Парамагнитный резонанс» и «Резонансное поглощение звука в парамагнетиках» показывает, что Е. К. Завойскому принадлежит еще и предсказание перспективности возбуждения парамагнитного резонанса с помощью гиперзвука, что в настоящее время подтверждено многими экспериментами.

Основное содержание книги — аннотированная библиография работ казанских физиков, которая включает 18 тематических разделов, снабженных введениями, написанными редакторами соответствующих разделов.

© Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», «Успехи физических наук», 1975 г.

Конкретная информация о различных спектрах ЭПР, двойных ядерно-ядерных и электронно-ядерных резонансах; γ-магнитных резонансах; акустических и электрических аналогах ЭПР, ЯМР и двойных резонансов; индукционных и эхо-процессах на электронных и ядерных спин-системах чрезвычайно разнообразна и представляет интерес для всех физиков и других специалистов, интересующихся применением физических методов. Многие работы охватывают данные о методах измерения параметров динамических процессов в конденсированных средах.

Анализ приведенной аннотированной литературы показывает, что значение работ, связанных с открытием ЭПР, не ограничивается новизной физического метода исследования; но, и это, пожалуй, более существенно, такой анализ убеждает в том, что ЭПР изменил взгляд на методологию исследования конденсированных сред, продемонстрировав эффективность наблюдения квантовых резонансов под действием когерентных физических полей. Именно резонансность воздействия в условиях когерентности возбуждения были теми важнейшими особенностями метода Е. К. Завойского, которые привели к тому, что ЭПР стал широко применяться как модель для предсказания и наблюдения других резонансов и когерентных эффектов таких, как ЯМР, ядерное и электронное спиновое эхо, акустические и световые аналоги всех этих эффектов. После создания лазеров эффекты ЭПР с успехом стали наблюдать и в оптическом диапазоне. Недалек и тот день, когда создание рентгеновских и гамма-лазеров приведет к тому, что специалисты рентгеновской и гамма-техники будут изучать эффекты ЭПР, чтобы перенести их в свой диапазон частот. Поэтому несомненно, что со временем интерес к истокам ЭПР будет возрастать и работы казанских авторов, непосредственно участвовавших в развитии этого метода, будут еще долго представлять большой интерес для широкого круга читателей.

Внимательное изучение аннотаций приведенной литературы показывает, что казанские физики уже давно переросли рамки радиоспектроскопии и образовали различные научные школы, охватывающие аспекты динамики конденсированных и газовых сред от радиочастотного до гамма-диапазонов. Именно в этом заключается проявление замечательной особенности методологии ЭПР, использованной казанскими физиками.

Книга содержит много примеров такого характера. Раздел первый — магнитный резонанс в твердых телах — включает одну из первых работ по исследованию тонкой структуры ЭПР на трехвалентном ионе хрома в корунде. Это вещество впоследствии сыграло большую роль в развитии лазерной и мазерной техники. Интересные работы приведены во втором разделе, посвященном акустическим аналогам резонансных спиновых эффектов. Даже простой перечень этих работ показывает, что всем спин-фотонным эффектам могут быть найдены спин-фононные аналоги, которые дают богатую информацию о внутренней динамике кристаллов и значительно расширяют арсенал новых эффектов, которые могут быть использованы в акустических приборах. Основная доля этих работ написана в отделе квантовой акустики казанского «физтеха» — исторически первой лаборатории, развившей эту тематику и определившей значение понятия квантовой акустики.

К этим явлениям примыкает также эффект релаксационного парамагнитного поглощения звука — предсказанный и обнаруженный в Казани. Метод двойных резонансов, который обсуждается в разделах 2Б и 8, значительно расширяет возможности обычного ЭПР. Это иллюстрирует серия работ по двойным и двухквантовым акустомагнитным резонансам, впервые обнаруженным в Казани и существенно повысившим предел чувствительности звуковой спектроскопии.

Своеобразна судьба казанских работ по теории спин-решеточной релаксации, приведенных в третьем разделе. После детального выяснения механизма взаимодействия спинов с решеткой было теоретически и экспериментально установлено, что при когерентном возбуждении спинов процесс спин-решеточной релаксации также может протекать когерентно, что сильно укорачивает время релаксации и приводит к генерации звука спинами. Это новое явление — звуковое сверхызлучение, впервые обнаруженное в Казани,— в настоящее время интенсивно разрабатывается физиками во многих отечественных и зарубежных лабораториях.

В четвертом разделе, посвященном спин-спиновым взаимодействиям и форме линии квантовых резонансов, приведены работы, в которых впервые динамические свойства спин-системы обобщены на случаи оптических и мёссбауэровских спектров. Как известно, развитие этих идей привело к обнаружению явления светового эха и световой нутации — оптических аналогов соответствующих спиновых эффектов, а также заинтересовало исследователей возможностью применения когерентных полей для изменения характера мёссбауэровских линий γ-резонансов. Перенесение теории формы линии ЭПР в оптику позволило создать эффективные методы контроля качества лазерных кристаллов, что нашло широкое практическое применение.

В пятом разделе обсуждается ЯМР и ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР) в твердых телах. Интересно теоретическое предсказание того, что спины $S > 1/2$ перспективны для изучения ферро- и антиферроэлектриков. Этот вывод в настоящее время подтвержден многочисленными работами.

В шестом разделе сборника представлены статьи по магнитному резонансу на простых электронных уровнях — новому направлению резонансных исследований кристаллов, теоретически и экспериментально развитому в Казани, направлению интересному и с точки зрения получения субмиллиградусных температур методом адиабатического размагничивания.

Большой известностью пользуются работы по магнитным резонансам и релаксации в жидкостях и стеклах, которые существенно дополнили информацию об их структуре. Предсказаны и обнаружены эффекты гидростатического давления на спектры ЭПР в жидкостях. Впервые также наблюдено электронное спиновое эхо и электронный аналог ядерного спинового квадрупольного эха в стеклах. Перспективно дальнейшее развитие этих новых методов исследования вещества. Материалы, посвященные этим вопросам, содержатся в разделах 9—13.

В разделе 15 приведены аппаратурные разработки. Среди них представляют особый интерес оригинальные спектрометры двойных акустомагнитных резонансов, ядерный акустический релаксометр, гиперзвуковой релаксометр и спектрометры спинового эха для работы при сверхнизких температурах, которые обладают уникальными параметрами и пока действуют только в единичных экземплярах.

Трудно поверить, что все эти разнообразные работы, рожденные одной физической идеей, могли появиться за сравнительно короткий период времени. Однако тем и замечательна данная книга, что ее внимательное изучение приводит именно к такому выводу. И коль скоро это так, то тем более значительны новые перспективы, которые открываются даже в ближайшем будущем. Именно поэтому книга о развитии идей Е. К. Завойского казанскими физиками ценна для каждой физической библиотеки.

У. Х. Копвиллем