

22.39.031
К-12

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени А. И. ГЕРЦЕНА

На правах рукописи

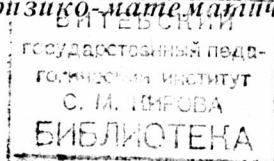
КАВЕЕВА ЗОЯ МАЗИТОВНА

МОДУЛЯЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОЦЕССАХ ОПТИЧЕСКОГО И АКУСТИЧЕСКОГО СВЕРХИЗЛУЧЕНИЯ

на русском языке

(Специальность 01. 04. 02—теоретическая
и математическая физика)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук



ЛЕНИНГРАД—1975

22 329031
К15
ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени А.И. ГЕРЦЕНА

На правах рукописи

КАВЫЧЕВА Зоя Мазитовна

**МОДУЛЯЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОЦЕССАХ ОПТИЧЕСКОГО
И АКУСТИЧЕСКОГО СВЕРХИЗЛУЧЕНИЯ**

на русском языке

**(Специальность 01.04.02 – теоретическая и
математическая физика)**

А в т о р е ф е р а т

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

ЛЕНИНГРАД – 1975



* 20504181 *

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Работа выполнена на кафедре теоретической физики
Казанского государственного педагогического института.

Научные руководители: доктор физико-математических наук, профессор Нагибаров В.Р., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Самарцев В.В.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Трифонов Е.Д. ;
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Сабурова Р.В.

Ведущее учреждение - назначено на заседании Учёного
Совета по физическим наукам и методике преподавания физики
ЛПТИ им.А.И.Герцена от 23 октября 1975 года

Автореферат разослан " 23 " XII 1975 года

Защита диссертации состоится " 12 " II 1976 г.
на заседании Совета по физическим наукам и методике преподава-
ния физики ЛПТИ им.А.И.Герцена по адресу: Ленинград, 191186,
набережная р.Мойки, 48, корпус 3, ауд. 20

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной
библиотеке института.

Ученый секретарь Совета
доцент

А. П. РЫМКЕВИЧ

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

- 3 -

Создание лазеров и мазеров и интенсивное развитие лазерной техники открыло возможность перенесения методов радиоспектроскопии в оптический диапазон длин волн. Однако, такое перенесение не было тривиальным и характеризовалось рядом принципиальных особенностей, к числу которых относятся когерентный характер возбуждения резонансной среды, а также малость длины волны возбуждающего поля по сравнению с линейными размерами образца.

С теоретической точки зрения новый шаг при рассмотрении взаимодействия когерентного поля со средой был сделан Дике, который показал, что среди бесконечного числа суперпозиционных энергетических состояний рабочих частиц существуют состояния, интенсивность излучения которых пропорциональна квадрату числа активных центров, следуя Дике, будем называть эти состояния сверхизлучательными. К их числу относится эффект оптической самоиндуцированной прозрачности, имеющий место в условиях, когда нельзя пренебречь реакцией резонансной среды на проходящий через нее достаточно мощный лазерный импульс, эффекты оптической нутации, вынужденной и свободной индукции, эхо и некоторые другие.

Кроме того, сверхизлучательные процессы имеют место и при взаимодействии импульсов звука с различными средами. Так как длина звуковой волны сравнима с длиной оптической волны, когерентные свойства акустического излучения ближе к оптической области, чем к радиочастотной.

Успешная экспериментальная реализация светового и акустического сверхизлучения позволила перейти к рассмотрению вопроса о более детальном исследовании временной эволюции и спектрального состава сверхизлучательных сигналов. Подобные исследования представляют интерес с нескольких точек зрения: 1) изучение характера взаимодействия и выяснение причин, обуславливающих изменение сигналов сверхизлучения; 2) исследование характеристик сред (дипольные моменты резонансных переходов, времена релаксации, коэффициенты поглощения и

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

- 4 -

др.) по зависимости сигналов сверхизлучения от различных параметров; 3) возможность использования сверхизлучательных эффектов в прикладных областях физики и техники - для создания различных устройств в вычислительных машинах, для амплитудной и импульсно-кодовой модуляции при передаче информации на большие расстояния и т.д.

Начиная с 1969 года вопросу исследования частотной и временной модуляции сигналов сверхизлучения был посвящен ряд теоретических и экспериментальных работ. В них обнаружено, что модуляционные эффекты определяются различными причинами и могут нести интересную информацию о резонансной среде. Остановимся на каждом явлении сверхизлучения в отдельности.

Сигнал индукции (как оптической, так и акустической) генерируется резонансной средой непосредственно после воздействия на нее одного импульса. Волновой вектор сигнала индукции совпадает с волновым вектором возбуждающего поля, в результате чего сигналы трудно разделить. Однако, наличие модуляции сигнала индукции облегчает задачу разделения входного импульса и сигнала индукции.

Переизлучение среды, возбужденной импульсом, еще до окончания его действия приводит к деформации этого импульса. Влияние переизлучения на импульс зависит от мощности входного импульса, от соотношения между длительностью импульса и другими характеристиками среды, имея экспериментальную зависимость выходных характеристик импульса $I_{\text{вых}}$ от входных $I_{\text{вх}}$, можно определить величину дипольного момента перехода, а также оценить время поперечной релаксации T_2 , так как при длительностях импульса $\sim T_2$ на графике зависимости $I_{\text{вых}}$ от $I_{\text{вх}}$ появляются осцилляции. Кроме того, при наличии расстройки от резонанса прошедший импульс будет промодулирован по частоте.

Интересно и информативно явление нутации, аналогичное по своей природе нутации в ЯМР. Нутация возникает при быстром изменении возбуждающего поля, и частота нутации зависит от мощности возбуждающего

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

поля, дипольного момента перехода резонансной среды и релаксационных характеристик среды.

Еще более интересным является когерентный отклик среды после воздействия на нее серии возбуждающих импульсов. Во-первых, отклик и возбуждающие импульсы разделены временным интервалом (при интервале между двумя возбуждающими импульсами τ эхо-сигнал генерируется в момент времени 2τ). Во-вторых, имеет место явление пространственного синхронизма, проявляющееся в направленности излучения эхо-сигнала, когда волновой вектор эхо-сигнала зависит от волновых векторов возбуждающих импульсов. В-третьих, с помощью эхо-методики с большой точностью можно определять времена релаксации и некоторые другие (о них будет сказано более подробно ниже) характеристики резонансной среды.

Теоретическое описание процессов сверхизлучения в подавляющем большинстве случаев проводится с использованием двухуровневой идеализации, которую можно применять в некоторых случаях и при описании переизлучения многоуровневой системы. В ряде работ были сформулированы условия справедливости двухуровневой идеализации при исследовании взаимодействия лазерного импульса с многоуровневой системой и теоретически показано возникновение в сигналах сверхизлучения модуляционных, сдвиговых и других эффектов. Среди работ, посвященных исследованию модуляционных эффектов процессов сверхизлучения, следует выделить серию работ (экспериментальных и теоретических) в которых для определения констант суперсверхтонкого взаимодействия ионов Cr^{3+} с ядрами Al в рубине изучается модуляционная зависимость затухания сигналов светового эха от интервала между возбуждающими импульсами. Экспериментальное определение этих констант при двухимпульсном и трехимпульсном возбуждении образца позволило сравнить константы взаимодействия ионов Cr^{3+} с ядрами Al , полученные с помощью СВЧ-техники для невозбужденного состояния с константами, характеризующими взаимодействие ионов Cr^{3+} находя-

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

щихся в возбужденном (3E) состоянии. Теоретическое описание влияния суперсверхтонкого взаимодействия на сигнал светового эха проводилось с использованием двухуровневой модели. Однако, в общем случае, задача аналитически не решается, и имеющиеся результаты были получены с привлечением численных методов анализа.

Все перечисленные выше эффекты так или иначе обсуждаются в настоящей диссертации. Основной целью диссертации является исследование возможностей модуляционной спектроскопии при изучении малых энергетических расщеплений, параметров сверхтонкого и суперсверхтонкого взаимодействий с помощью эффектов оптического и акустического сверхизлучения и т.д. Подобное исследование проведено не только при рассмотрении систем примесных центров, но и при рассмотрении принципиально новой резонансной среды — системы поляронов. Все теоретические выкладки сопровождаются либо сравнением с экспериментальными данными, либо обсуждением возможностей использования полученных результатов в разработке новых экспериментов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Первая глава представляет обзор литературы, посвященной модуляции сигналов сверхизлучения. В ней же вводятся основные понятия определения и математический аппарат, используемые в следующих главах.

Вторая глава посвящена изучению влияния переизлучения нескольких независимых или взаимодействующих квантовых систем, возбужденных внешним электромагнитным полем, на форму сигналов сверхизлучения. Рассмотрено как одноимпульсное, так и многоимпульсное оптическое возбуждение резонансных сред. Показано, что при исследовании прохождения импульса малой площади через резонансную среду можно выделить и оценить вклад одного из имеющихся механизмов релаксации.

Если импульс внешнего поля взаимодействует со сложной квантовой системой, то разбиение этой системы на подсистемы возможно в том случае, когда имеются независимые пары уровней, связанных матрич-

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

ными элементами переходов, индуцируемых внешним полем. Подсистемы в таком случае могут быть образованы: 1) различными ионами; 2) одинаковыми ионами, принадлежащими различным изотопам; 3) одинаковыми ионами, принадлежащими различным спинным пакетам; 4) одинаковыми ионами, находящимися в различных локальных окружениях в пределах примитивной ячейки.

Для нахождения аналитического выражения интенсивности сигнала индукции сложной системы каждая подсистема рассматривалась в двухуровневом приближении и описывалась с привлечением формализма матрицы плотности. Обсуждены случаи взаимодействующих и не взаимодействующих подсистем. Найдено, что сигналы индукции имеют частотную или временную модуляцию, по которой можно определить спектральные характеристики, расстройку от резонанса и другие параметры подсистем.

Из сказанного выше следует, что одноимпульсные методы возбуждения позволяют исследовать подсистемы с близкими собственными частотами. Когда имеются подсистемы с существенно различными собственными частотами взаимодействие между ними практически не вызывает переходов между энергетическими уровнями. Однако, в некоторых случаях это взаимодействие проявляется в виде модуляции сигналов светового эха. Таким взаимодействием служит суперсверхтонкое взаимодействие, которое влияет на расщепление энергетических уровней рабочих частиц. Периодическое изменение этого расщепления будет иметь место в случае, когда постоянное магнитное поле $\vec{H}_0$ направлено под углом к оси квантования, так что проекция эффективного поля, наводимого на частицах, на эту ось меняется со временем. Временная зависимость собственных частот рабочих частиц определяет полную или частичную сфазировку всех диполей после действия второго (180°) импульса при различных интервалах времени τ между импульсами, что проявляется в изменении амплитуды сигналов эха. Иными словами, появляется модуляция затухания сигналов эха, которая определяется константами суперсверхтонкого взаимодействия. Для упрощения этой

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

2. Рассмотрено влияние переизлучения двух или более подсистем парамагнитных примесей на сигналы акустического сверхизлучения.

3. Обсуждена возможность наблюдения акустической нутации.

4. Показано, что модуляционная зависимость затухания сигналов эха при увеличении интервала между импульсами может служить методом определения констант суперсверхтонкого взаимодействия при наличии синглетных уровней.

5. Предложена подача дополнительного резонанса радиочастотного поля для упрощения наблюдения и теоретического описания зависимости интенсивности сигналов эха от констант суперсверхтонкого взаимодействия.

6. Введена физическая модель и исследованы особенности возникновения сигналов сверхизлучения на поляронах большого и малого радиуса.

Основные результаты диссертации докладывались на 6-ой Всесоюзной конференции по нелинейной оптике (Минск, 1972), на I-ом Всесоюзном симпозиуме по световому эхо (Казань, 1973), на 8-ом Всесоюзном совещании по квантовой акустике и акустоэлектронике (Казань, 1974) и опубликованы в работах:

1. И. А. Нагибарова, В. В. Самарцев, З. М. Кавеева, Л. А. Нефедьев, А. М. Шегада, ВИНТИ, Деп. № 4322-72, Казань, 1972.

2. У. Х. Копвиллем, В. Р. Нагибаров, З. М. Кавеева, В. А. Пирожков, В. В. Самарцев, Р. Г. Усманов, УФЖ, 17, № 9, 1557, 1972.

3. В. В. Самарцев, З. М. Кавеева. Тезисы докладов 6-ой Всесоюзной конференции по нелинейной оптике, Минск, 1972.

4. В. А. Пирожков, Р. Г. Усманов, У. Х. Копвиллем, В. Р. Нагибаров, В. В. Самарцев, З. М. Кавеева. Квантовая электроника. 2, 115, 1973.

5. В. А. Пирожков, Р. Г. Усманов, У. Х. Копвиллем, З. М. Кавеева, В. Р. Нагибаров, В. В. Самарцев. УФЖ, 18, № 4, 670, 1973.

6. В. Р. Нагибаров, В. В. Самарцев, З. М. Кавеева, В. А. Пирожков, Р. Г. Усманов, Изв. ВУЗов, Серия физика 12, 154, 1973.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

7. В. В. Самарцев, З. М. Кавеева. Оптика и спектроскопия, 35, 968, 1973.
8. З. М. Кавеева, В. В. Самарцев. Оптика и спектроскопия, 35, 379, 1973.
9. З. М. Кавеева. Изв. АН СССР, сер. физическая, 37, № 10, 2214, 1973.
10. З. М. Кавеева. Тезисы докладов I-го Всесоюзного симпозиума по световому эхо. Казань, 1973.
11. З. М. Кавеева, В. В. Самарцев, Б. П. Смоляков, ФТТ, 16, 2073, 1974.
12. З. М. Кавеева, В. Р. Нагибаров, В. В. Самарцев, ФТТ, 16, 2094, 1974.
13. З. М. Кавеева. Тезисы докладов 8-го Всесоюзного совещания по квантовой акустике и акустоэлектронике. Казань, 1974.
14. V. A. Piroshkov, R. G. Usmanov, Z. M. Kaveeva, U. Kh. Koprivilem, V. R. Nagibarov, V. V. Samartsev, Phys. Lett. 43A, 1, 31, 1973.