го числа используемых схем наибольший интерес представляет изучение реакций, стимулированных лазерным облучением. При этом лазерный луч играет двоякую роль — во-первых, в результате его поглощения в газе образуются возбужденные частицы, стимулирующие протекание химической реакции, а во-вторых, нагрев газа и изменение его плотности и химического состава, обусловленные протеканием химической реакции, изменяют условия прохождения лазерного излучения. Это позволяет использовать лазерное излучение одновременно для стимулирования и диагностики химических реакций. Подробный обзор экспериментов такого рода представлен в одном из разделов книги.

Два больших раздела книги посвящены использованию фотоакустических явлений для детектирования малых примесей в газах. Эта методика, отличительной особенностью которой является использование фотоакустического эффекта в сочетании с другими, более традиционными методами детектирования малых примесей, нашла свое применение при контроле качества атмосферного воздуха, при анализе полноты сгорания топлива в дизельных и других двигателях, при изучении механизмов обмена веществ в растениях и живых организмах. Большое впечатление на читателя производит приведенный в книге пример использования фотоакустической методики в полностью автоматизированной системе контроля за выделением двуокиси серы растениями на опытной делянке, подвергавшимися обработке инсектицидами.

Подводя итоги, следует подчеркнуть, что данная монография своим выходом знаменует определенный этап в развитии исследований фотоакустических явлений. На этом этапе происходит смещение интереса исследователей от изучения чисто физических эффектов и закономерностей к созданию на основе этих эффектов и закономерностей новых измерительных методик и использованию указанных методик для решения конкретных научных и практических задач. Тем самым можно констатировать, что фотоакустика начинает занимать важное место среди других направлений, основанных на применении лазерного излучения.

*А. В. Елецкий*

535.343(049.3)

## ВВЕДЕНИЕ В НЕЛИНЕЙНУЮ ЛАЗЕРНУЮ СПЕКТРОСКОПИЮ

**Levenson M. D., Kano S. S.** Introduction to Nonlinear Laser Spectroscopy. — Revised ed.— Boston; San Diego; New York; Berkeley; London; Sydney; Tokyo; Toronto: Academic Press, 1988.—299 p.

Книга представляет собой второе издание известной монографии Марка Д. Левенсона, вышедшей в 1982 г.

Марк Д. Левенсон известен своими работами в области когерентной нелинейной спектроскопии, во многом способствовавшими становлению и развитию этой области физики. Ему принадлежат широко известные работы по нелинейной оптике, двухфотонной спектроскопии, когерентной четырехфотонной спектроскопии комбинационного рассеяния света, квантовой оптике.

Во втором издании книги исправлены ошибки и опечатки, обнаруженные в первом издании; по этой причине «авторы не несут ответственности за карьеру тех, кто продолжает использовать первое издание книги». Кроме того, первые 6 глав снабжены задачами, добавлены новые материалы по расчету отношения сигнал/шум в схемах нелинейной спектроскопии, резонансной ионизационной спектроскопии, динамической голографии и др.

Книга рассчитана на аспирантов и исследователей, работающих в области лазерной спектроскопии и не знакомых с методами нелинейной оптики. Упор в изложении сделан на физику нелинейных оптических процессов, лежащих в основе тех или иных спектроскопических методов; соответственно меньшее внимание уделено детальной интерпретации самих получаемых спектров.

Теоретические кватовомеханические расчеты в книге базируются на двухуровневой модели. По этой причине авторы намеренно не рассматривали в своей книге явления и новые результаты, требующие для своего объяснения решения более сложной задачи с учетом многих уровней энергии.

Книга написана ясным лаконичным языком, не перегружена теоретическими выкладками. При этом сжатый стиль изложения не мешает авторам дать краткие сведения по истории вопроса, физике явления, так что читатель, впервые знакомящийся с той или иной проблемой, получает довольно полное и глубокое представление о ней.

Книга состоит из семи глав. В первой главе собраны краткие сведения из теории излучения и рассеяния света, вводятся понятия линейной и нелинейной поляризации диэлектрика, описаны принципы работы и устройство основных перестраиваемых лазеров, используемых в лазерной спектроскопии: лазера на красителе, лазера на центрах окраски и параметрического генератора света. Подробно рассмотрены способы перестройки длины волны генерируемого излучения. В заключение этой главы дана классификация нелинейных оптических явлений, кратко рассмотрены принципы основных схем нелинейной лазерной спектроскопии: спектроскопии насыщения, когерентной четырехфотонной спектроскопии комбинационного рассеяния света, спектроскопии многофотонного поглощения, нестационарной когерентной спектроскопии. В целом первая глава является исключительно ясным и насыщенным тщательно отобранной информацией введением в область нелинейной лазерной спектроскопии, из которого читатель получает важнейшие сведения как из области теории, так и из практики, что значительно облегчает задачу студентов, только приступающих к самостоятельной работе в лаборатории.

Вторая глава содержит основные сведения из теории взаимодействия света с веществом. Последовательно рассматриваются структура гамильтониана, релаксация, векторное представление уравнения движения для матрицы плотности (модель Блоха), проводится расчет компонент нелинейной поляризации и соответствующих нелинейных оптических восприимчивостей. В заключительных разделах этой главы вводится понятие сигнала и подробно анализируются источники шума в различных схемах нелинейной лазерной спектроскопии. Эта часть отсутствовала в первом издании книги.

В третьей главе изложены ставшие классическими принципы спектроскопии насыщения. Вначале кратко изложена теория выжигания провала в контуре линии поглощения в случае доплеровски уширенного перехода в двухуровневой системе, анализируется происхождение дополнительных резонансов (резонансов кроссовера) при спектроскопии насыщения на близких доплеровски уширенных переходах, а также особенности поляризационной спектроскопии насыщения. Затем подробно описаны экспериментальные методы спектроскопии насыщения в газах. Авторы приводят 8 схем лазерных спектрометров, использовавшихся для реализации спектроскопии насыщения, анализируют преимущества и недостатки каждой из них, подробно описывают назначение различных элементов, что особенно важно для экспериментаторов. Далее приводятся экспериментальные результаты, полученные при спектроскопии газовых сред, кратко рассмотрены особенности многофотонной спектро-

скопии насыщения и спектроскопии при двойном резонансе, спектроскопия насыщения в жидкостях и твердых телах. В заключение рассмотрены динамическая голография, оптическая запись информации, бистабильность, обращение волнового фронта.

В четвертой главе описаны принципы различных схем когерентной спектроскопии КР. Эта область нелинейной лазерной спектроскопии со времени своего возникновения в 1972 году имела особенно интенсивное развитие. М. Д. Левенсон одним из первых понял, что возможна поляризационная спектроскопия комбинационных резонансов, и предложил получившую затем широкое распространение схему когерентной спектроскопии эффекта Керра, индуцированного комбинационным резонансом. Им выполнены и первые эксперименты по оптическому гетеродинированию сигнала в этой схеме спектроскопии.

Глава начинается со сравнения спонтанного КР и когерентной спектроскопии КР света. Вводится тензор кубической нелинейной восприимчивости, описывающей процесс когерентного КР, обсуждается его структура, пространственная симметрия, форма спектра сигнала, связь с сечением спонтанного КР, приводится вид тензора кубической нелинейной восприимчивости и тензора КР для различных колебательных мод для всех 32 кристаллических классов симметрии. Здесь же приведены таблицы эффективной нелинейности, выраженной через компоненты тензора кубической нелинейной восприимчивости, для различных поляризаций волн накачки для всех схем когерентной четырехфотонной спектроскопии КР. Систематизация этих данных особенно ценна для практического использования. Центральное место в данной главе занимает раздел, посвященный спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС). Вслед за тем так же подробно рассматриваются спектроскопия оптического эффекта Керра, индуцированного комбинационным резонансом и спектроскопия вынужденного комбинационного усиления. Заключительные разделы этой главы посвящены применениям когерентной спектроскопии КР. Здесь же дан сравнительный анализ различных схем когерентной четырехфотонной спектроскопии КР с точки зрения шумовых характеристик.

Пятая глава книги посвящена спектроскопии многофотонного поглощения. Здесь подробно описана спектроскопия двух- и трехфотонного поглощения, свободная от доплеровского уширения, ставшая одним из основных методов исследования сверхтонкой структуры и механизмов уширения линий атомов в газовой фазе. В этой же главе рассмотрен процесс многофотонной ионизации атомов, лежащий в основе лазерного метода разделения изотопов. В заключение дан краткий обзор применений спектроскопии многофотонного поглощения.

В шестой главе рассмотрены когерентные нестационарные оптические явления: затухание свободной поляризации, оптическая нутация, фотонное эхо, вынужденное эхо, биения Рамсея. Все эти эффекты подробно объяснены теоретически и проиллюстрированы экспериментальными результатами; рассмотрено применение когерентных нестационарных оптических эффектов для оптической записи информации. В этой главе не рассмотрено явление сверхизлучения. Между тем, этот эффект в 80-е годы был предметом интенсивных теоретических и экспериментальных исследований, получен ряд новых фундаментальных результатов.

Наконец, заключительная седьмая глава посвящена преобразованию частоты лазеров методами нелинейной оптики для целей нелинейной лазерной спектроскопии.

Содержание книги при подготовке второго издания претерпело незначительные изменения. По этой причине библиография в основном относится к периоду до 1981 г. Соответственно в книге не нашли отра-

жения многие новые результаты, относящиеся, например, к применениям пикосекундной КАРС спектроскопии для диагностики быстрых процессов релаксации в газовых средах, сложных молекулах, полупроводниках, нелинейной четырехфотонной спектроскопии электронных резонансов, спектроскопии поверхности. Это обстоятельство, тем не менее, не умаляет основных достоинств книги, задуманной именно как введение в нелинейную спектроскопию, поскольку принципы методов нелинейной лазерной спектроскопии, конечно, не изменились за время, прошедшее после выхода первого издания книги. По глубине же и ясности изложения при сравнительно небольшом объеме книга не имеет равных. Это дает все основания рекомендовать книгу М. Д. Левенсона и С. С. Кано как прекрасное пособие для студентов старших курсов и аспирантов, специализирующихся в области нелинейной лазерной спектроскопии, а также как превосходное справочное руководство для специалистов, работающих в этой области физики.

*И. Л. Шумай*

539.186.22(049.3)

## АТОМЫ В СИЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЯХ И МНОГОФОТОННАЯ ИОНИЗАЦИЯ

Fundamentals of Laser Interactions II: Proceedings of the Fourth Meeting on Laser Phenomena. Obergurge, Austria, 1989/Ed. F. Ehlotzky.— Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong: Springer-Verlag, 1989.— 317 p.— (Lecture Notes in Physics. V. 339).

Книга входит в известную серию «Lecture Notes in Physics», публикуемую издательством Springer-Verlag. Многие из книг данной серии составлены на основе материалов европейских и международных конференций по актуальным проблемам современной физики.

Рецензируемая книга включает перепечатку работ, представленных на семинаре «Основы лазерных взаимодействий», проходившем в Австрии 26 февраля—4 марта 1989 г. Основной объем книги занимают полные тексты лекций, прочитанных приглашенными ведущими учеными.

Тематика лекций посвящена быстро развивающейся области физики по взаимодействию мощных лазерных полей с атомами, ионами и молекулами и включает следующие вопросы: процессы многофотонной ионизации, атомы в интенсивных лазерных полях, электронные корреляции в радиационных процессах, ридберговские атомы во внешних полях и другие лазерные взаимодействия.

Успешное качественное и количественное теоретическое описание экспериментальных данных по многофотонной ионизации щелочных атомов к середине 70-х годов создало впечатление, что если и остаются какие-либо нерешенные проблемы, то они связаны не с качественным пониманием процессов, происходящих при взаимодействии излучения с атомами, а с количественным описанием получаемых экспериментальных результатов. Однако уже в конце 70-х годов экспериментально был обнаружен ряд новых явлений, не укладывавшихся в рамки существующих представлений. Среди этих явлений следует выделить эффекты образования многозарядных ионов при многофотонной ионизации, наблюдение многопичковой структуры в энергетических спектрах вылетевших электронов (причем при значительных полях амплитуды последовательных максимумов начинают превышать амплитуды предыдущих максимумов), генерация высоких гармоник лазерного излучения при взаимодействии с газовыми средами и т. д. Наиболее существенные мо-