

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.А.ЖДАНОВА

На правах рукописи

ФЕРБЕР Рувин Симонович

УДК 539.196

ОПТИЧЕСКОЕ ВЫСТРАИВАНИЕ, ОРИЕНТАЦИЯ И
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ МАГНИТНЫХ ПОДУРОВНЕЙ В
ДВУХАТОМНЫХ МОЛЕКУЛАХ

Специальность 01. 04. 05 - оптика

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Ленинград - 1987

Работа выполнена на кафедре экспериментальной физики и в Проблемной лаборатории спектроскопии Латвийского ордена Трудового Красного Знамени государственного университета им. П.Стучки.

Официальные оппоненты - член корреспондент АН СССР,
доктор физико-математических наук, профессор Александров Е.Б.
доктор физико-математических наук, профессор Никитин Е.Е.
доктор физико-математических наук Котликов Е.Н.

Ведущая организация - Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе АН СССР

Защита состоится " " _____ 198__ г. в _____ часов на заседании специализированного Совета Д.063.57.23 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора физико-математических наук при Ленинградском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени государственном университете имени А.А.Жданова по адресу: 199164, Ленинград, Университетская наб., д. 7/9

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ленинградского госуниверситета.

Автореферат разослан " _____ 198__ г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
доктор физико-математических наук

Тонков М.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационной работы связана в первую очередь с тем, что в ней решается задача применения к двухатомным молекулам, в том числе к их основному электронному состоянию, методов оптической накачки (выстраивания и ориентации) и интерференции состояний, зарекомендовавших себя в качестве высокоинформативной области атомной спектроскопии. Указанные методы дают возможность изучать релаксационные процессы при молекулярно-атомных соударениях, определять величину и знак магнитных моментов (факторов Ланде) отдельных колебательно-вращательных (КВ) уровней, улучшить методику измерения абсолютной концентрации двухатомных молекул в разреженных парах. Сложность перенесения методов оптической накачки и интерференции состояний на молекулярные объекты связана с тем, что даже простейшие из них - двухатомные молекулы обладают по сравнению с атомами чрезвычайно богатой и сложной структурой энергетических уровней ввиду добавления колебательного и вращательного движения. Вместе с тем для двухатомных молекул имеется гораздо меньше, чем для атомов, данных о молекулярных постоянных и о параметрах различного рода релаксационных процессов при столкновениях, хотя потребность в такого рода информации постоянно растет из-за важной роли процессов с участием газофазных двухатомных молекул в различных газодинамических процессах, физике плазмы, лазерной физике и технологии, оптике атмосферы, астрофизике. Особенно важно применение методов выстраивания и ориентации, а также интерференции подуровней к основному электронному состоянию гомоядерных двухатомных молекул (димеров), где из-за запрета излучательных переходов в пределах электронного термина внесение анизотропии и когерентности, дающее возможность "отметить" один из большого числа близкорасположенных (в пределах kT) термически заселенных КВ-уровней и далее следить за его релаксацией, является практически единственным оптическим методом изучения релаксационных

процессов и измерения магнитных констант. Возможность проведения такого рода исследований появилась с применением лазерных источников накачки, сочетающих высокую спектральную плотность с направленностью возбуждения.

К началу выполнения данного исследования (1973 г.) практически не была изучена релаксация к термически равновесному состоянию фиксированных КВ-уровней основного электронного состояния димеров. Была известна лишь работа Р. Зеира и др. /1/, где продемонстрирована оптическая накачка (выстраивание) $Na_2(X^1\Sigma_g^+, v'', J'')$. Имелось очень мало информации и о магнитных свойствах КВ-уровней основного состояния. Можно указать лишь работу Н. Рамзая и др. /2/, выполненную для щелочных димеров методом радиочастотного резонанса в молекулярных пучках без селекции по КВ-уровням. В то же время расчет факторов Ланде для таких непарамагнитных состояний весьма затруднен, см., в частности, обзор /3/, и здесь основную информацию дает эксперимент по интерференции состояний. В этой связи актуальной задачей является применение к основному электронному состоянию двухатомных молекул методов интерференции вырожденных состояний (пересечение магнитных подуровней, см. монографию /4/), а также интерференции невырожденных состояний (квантовых биений в переходном процессе, параметрических резонансов в установившемся процессе, см. обзор /5/). В литературе отсутствовали данные о наблюдении этих эффектов для КВ-уровней основного электронного состояния двухатомных молекул.

Актуальность темы работы не исчерпывается применением к основному электронному состоянию. Применение интерференционных методов в варианте слабого возбуждения при регистрации как переходного, так и установившегося процесса, позволяет существенно расширить информацию о радиационных, столкновительных и магнитных константах КВ-уровней электронновозбужденных состояний.

Основные цели и задачи исследования заключались в том, чтобы, во-первых, развить методику создания и реги-

страции оптического выстраивания и ориентации основного электронного состояния двухатомных молекул при стационарной и импульсной оптической накачке "опустошением". Во-вторых, задачей работы было зарегистрировать и исследовать явление интерференции в системе вырожденных магнитных подуровней основного состояния (пересечение уровней, или эффект Ханле), а также интерференцию в системе невырожденных подуровней (квантовые биения в переходном процессе, резонанс квантовых биений). В-третьих, ставилась задача применить развитые в исследовании методы в условиях как эффективной, так и ослабленной оптической накачки для получения комплексной информации о магнитных радиационных и столкновительных константах КВ-уровней основного и электронновозбужденного состояния ряда двухатомных молекул элементов I и VI групп, в частности, релаксационные константы при соударениях с частицами в парах элементов и с атомами примесных инертных газов.

В качестве конкретных объектов исследования выбраны молекулы Na_2 , K_2 , NaK , а также молекула Te_2 , в термически равновесных парах, исходя из следующих соображений:

а) применить развиваемые методы к молекулам с различным типом связи по Гунду;

б) для указанных молекул имеются сведения о спектроскопических константах, требуемые для идентификации квантовых чисел возбужденных лазером оптических переходов, и в то же время для них отсутствует или недостаточна информация о радиационных и магнитных постоянных, а также константах столкновительных процессов;

в) исследуемые молекулы являются важными с точки зрения практического применения, в частности, потому, что уже созданы лазеры с оптической накачкой на этих молекулах.

Метод исследования. Основным методом исследования является внесение анизотропии и когерентности в систему магнитных подуровней как основного, так и возбужденного состояния в процессе резонансного воздействия лазерного

излучения. Для регистрации изучаемых явлений использован чувствительный метод лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ). При этом регистрируется резонансная серия флуоресценции с фиксированного возбужденного КВ-уровня, что обеспечивает селекцию по КВ-состояниям. Информация извлекается из изменений интенсивности и степени поляризации ЛИФ в установившемся процессе при стационарном либо модулированном возбуждении, а также по кинетике переходного процесса; интерференционные явления изучались при наложении внешнего магнитного поля (до 1 Тл).

На защиту выносятся следующие основные положения.

1. Метод и результаты исследования оптической ориентации и выстраивания основного электронного состояния по изменениям интенсивности и поляризационных свойств возбужденной лазером флуоресценции.

2. Метод пересечения магнитных подуровней основного электронного состояния в нулевом магнитном поле, установленные особенности проявления эффекта, результаты измерения указанным методом релаксационных и магнитных констант.

3. Методика и результаты исследования релаксационных процессов в основном электронном состоянии димеров по кинетике переходного процесса во флуоресценции.

4. Наблюдение и изучение интерференционных эффектов в системе невырожденных магнитных подуровней основного электронного состояния двухатомных молекул в варианте квантовых биений в кинетике переходного процесса и резонанса биений при гармонически модулированной накачке, результаты измерений факторов Ланде отдельных КВ-уровней $K_2(X^1\Sigma_g^+)$, $Te_2(XO_g^+)$.

5. Измеренные радиационные и магнитные константы, а также параметры столкновительных процессов для КВ-уровней электронновозбужденных состояний молекул $K_2(B^1\Pi_u)$, $NaK(D^1\Pi)$, $Te_2(AO_u^+, BO_u^+)$, исследованных в линейном пределе слабого возбуждения.

Научная новизна исследования заключается в том, что подавляющее большинство перечисленных выше основных результатов получено впервые. В их числе впервые зарегистрированная на основном электронном состоянии двухатомных молекул оптическая ориентация угловых моментов, эффект Ханле, квантовые биения в переходном процессе при импульсной накачке и резонанс квантовых биений. Впервые получен ряд значений факторов Ланде, времен жизни, констант скорости и суммарных эффективных сечений релаксационных процессов исследованных объектов. Новым является и сам метод комплексного исследования методами оптической накачки и интерференции магнитных подуровней КВ-уровней основного и возбужденного состояний двухатомных молекул.

Научно-теоретическое значение и практическая ценность Двухатомные молекулы, в частности, исследованные в данной работе, являются перспективными объектами в качестве активных сред для перестраиваемых по частоте лазеров с различными источниками накачки. Так, в настоящее время уже созданы лазеры на электронно-колебательно-вращательных переходах Na_2 , K_2 /6,7/, а также Te_2 /8/ с оптической накачкой; обсуждаются перспективы создания лазеров с солнечной накачкой на щелочных димерах /7/. Для оптимизации работы действующих устройств и поиска новых возможностей необходимо знание релаксационных констант в основном и электронновозбужденных состояниях. Пары щелочных металлов, кроме того, используются в таких технических устройствах, как магнитогидродинамические преобразователи, газоразрядные источники света, квантовые магнитометры и стандарты частоты, где в ряде случаев важную роль могут играть реакции с участием димеров.

Развитые в работе методы изучения магнитных свойств двухатомных молекул могут иметь широкое применение для прямого измерения не известных до сих пор магнитных моментов, что особенно важно для состояний с замкнутыми электронными оболочками (непарамагнитных состояний), каковыми в

большинстве случаев являются основные электронные состояния димеров. Знание этой важной характеристики молекулярных уровней позволяет изучать взаимодействия между электронными терминами, оценивать константы сверхтонкого взаимодействия.

Измеренные константы и сечения столкновительных процессов при молекулярно-атомных столкновениях, установленные закономерности релаксации мультипольных моментов имеют научно-теоретическое значение для физики молекулярно-атомных столкновений при термических энергиях.

Развитые методы создания и исследования оптического выстраивания основного электронного состояния, дающие возможность определить скорость поглощения молекулами лазерного излучения, использованы для определения абсолютной концентрации двухатомных молекул в высокоразреженных парах. Предложенный в результате выполнения настоящего исследования способ защищен свидетельством об изобретении и использован в Латвийском госуниверситете для измерения концентрации димеров калия в калиевых парах.

Экспериментально определенные радиационные константы (времена радиационного распада) $K_2(B^1\Pi_u)$, $Te_2(AO_u^+)$, $Te_2(BO_u^+)$, а также силы электронных переходов $AO_u^+ - X0_g^+$ и $BO_u^+ - X0_g^+$ систем димеров теллура и $B^1\Pi_u - X^1\Sigma_g^+$ системы димера калия в зависимости от межъядерного расстояния) внедрены в качестве рекомендованных значений в класс радиационных процессов Всесоюзной системы автоматизированного обеспечения газодинамических данных (система АВОГАДРО) многоотраслевого применения.

Основное научное направление, развитое в работе, может быть сформулировано как исследование двухатомных молекул в основном и электронновозбужденном состоянии методами интерференции магнитных подуровней.

Апробация работы и публикации.

Результаты работы докладывались и обсуждались на 7, 9, II Всес. конф. по когерентной и нелинейной оптике в

1974 г. (Ташкент), 1978 г. (Ленинград), 1980 г. (Киев); на 6,7,8,9 Всес. конф. по физике электронных и атомных столкновений в 1975 г. (Тбилиси), 1978 г. (Петрозаводск), 1981 г. (Ленинград), 1984 г. (Рига); на 18 и 19 Всес. съездах по спектроскопии в 1977 г. (Горький) и 1983 г. (Томск); на Всес. семинаре по оптической ориентации атомов и молекул (Ленинград, 1986 г.), на Сибирском совещании по спектроскопии (Томск, 1981 г.); на 7 симпозиуме по молекулярной спектроскопии высокого и сверхвысокого разрешения (Томск, 1985); на 5 и 6 Международных конф. по атомной физике в 1975 г. (Беркли, Калифорния, США) и в 1978 г. (Рига); были представлены в тезисах докладов I Европейской конференции по атомной физике в 1981 г. (Гейдельберг, ФРГ), 9 и 10 Национ. конф. по атомной и молекулярной спектроскопии в НРБ с междун. участием в 1980 г. (Албена) и в 1981 г. (Велико Тырново).

Обобщение результатов работы делалось в обзорных докладах на 6 Всес. конф. по физике электронных и атомных столкновений (Рига, 1984 г.), Всес. семинаре по оптической ориентации атомов и молекул (Ленинград, Ольгино; 1986 г.).

Результаты исследования изложены и обсуждены на научных семинарах: ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР в 1983 г. (рук. сем. Р.А. Житников), лаборатории Молекулярной спектроскопии хим. фак. МГУ в 1983 г. (рук. сем. Ю.Я. Кузяков), каф. общей физики ЛГУ им. А.А. Жданова в 1984 г. (зав. каф. - Н.И. Калитевский), Института автоматки и электрометрии СО АН СССР (рук. сем. С.Г. Раутиан), на ряде научных семинаров и научных конференций в Латвийском госуниверситете в 1983-1987 гг.

Всего по теме диссертации опубликовано 56 научных работ, две из которых носят обзорный характер. Список ключевых работ приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы.

Диссертация содержит введение, пять разделов, заключение, список литературы и приложение. Общий объем 372

страницы. Оригинальная часть работы, включая 96 рисунков и 17 таблиц, составляет 306 страниц. Список литературы из 301 названия - 35 страниц. Приложение, куда включено 13 рисунков и 9 таблиц, составляет 30 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности проведенного исследования, формулировку его основной цели. Приводятся основные защищаемые положения, характеризуется их новизна, практическая и научно-теоретическая значимость.

Раздел I. Изучение оптического выстраивания и ориентации двухатомных молекул по интенсивности и поляризации флуоресценции при стационарном возбуждении.

В начале раздела проанализированы методы, позволяющие создать в стационарных условиях анизотропное распределение по магнитным подуровням основного электронного состояния двухатомных молекул. Обоснован выбор в качестве основного метода селективного по магнитным подуровням поглощения между фиксированными электронно-колебательно-вращательными (ЖВ) уровнями с регистрацией по изменениям в интенсивности и степени поляризации ЛИФ на линиях резонансной серии с фиксированного верхнего ЖВ-уровня при разрешенной КВ-структуре.

Описана базовая экспериментальная установка и методика экспериментов по измерению характеристик ЛИФ. Основное внимание уделено измерению с достаточно высокой точностью поляризационных характеристик слабых световых потоков в режиме счета фотонов, условиям возбуждения ЖВ-переходов линиями газовых ОКГ, в том числе обсуждению выполнения приближения широкой линии возбуждения многочастотным лазером, которое в дальнейшем использовалось при описании. Для обсуждения в большинстве случаев использовались линии газо-

вых ОКГ в многочастотном режиме, в частности, линии Ar^+ - лазера, $He-Cd$ лазера, $He-Ne$ лазера. При необходимости использовался одночастотный режим генерации со сканированием в пределах контура усиления (ширина последнего для разных случаев составляла от 5 до 30 ГГц). Степень поляризации измерялась либо путем автоматического переключения анализатора перед входной щелью спектрального прибора с накоплением на двух счетчиках, либо по схеме одновременно измерения с двумя оптическими каналами и двумя ФЭУ для каждого состояния поляризации. Выбор времени накопления сигнала позволял добиться нужной точности измерения.

На основе анализа условий возбуждения оптических переходов между ЖВ уровнями, литературных данных о механизмах и параметрах релаксации в системе КВ уровней с большим значением вращательного числа обоснована модель описания "незамкнутого" цикла оптической накачки. Выявлены условия, когда селективное по магнитным подуровням M'' опустошение некоторого нижнего КВ-уровня v'' , J'' конкурирует преимущественно с безызлучательными переходами из большого числа расположенных в пределах $K\Gamma$ уровней v_i'' , J_i'' . Так как число уровней i велико, можно принять, что заселенность каждого из них остается близкой к равновесной. При уменьшении роли столкновений (понижение концентрации) доминирующей становится релаксация из-за термического движения (пролета) молекул через зону луча накачки.

На основе принятой модели осуществлено теоретическое описание процесса накачки и вида ожидаемых сигналов в ЛИФ. Рассмотрены три варианта описания. Первый заключается в использовании для предела больших угловых моментов (весьма хорошее приближение, т.к. в работе J' , J'' не менее 18, а чаще порядка 10^2) классического описания в терминах квази-плотности вероятности в представлении классических углов ϑ , φ . Описание отличается наглядностью, связывая выстраивание и ориентацию с анизотропным распределением моментов $\vec{J}(\vartheta, \varphi)$. Вторым использованным способом является описание в квантовомеханическом JM -представлении,

выполненное для конечных значений угловых моментов. Он также достаточно удобен, если ограничиться рассматриваемым в данном разделе случаем отсутствия внешнего магнитного поля. Третий примененный способ использует аппарат т.н. поляризационных моментов (ПМ), см. подробнее /4/, или $\mathcal{R}q$ -представление. Здесь \mathcal{R} - ранг создаваемого светом ПМ, q - его проекция. Описание в аппарате ПМ позволяет наилучшим образом учесть симметрию задачи, считая при изотропных столкновениях, что ПМ $\varphi_q^{\mathcal{R}}$ релаксируют со своей скоростью $\gamma_{\mathcal{R}}^q$. Световое поле в зависимости от поляризации и типа перехода создает в основном состоянии ПМ $\varphi_q^{\mathcal{R}}$, и оно же связывает их с определяющими интенсивность ЛИФ ПМ верхнего состояния f_q^K . Численное решение системы уравнений для ПМ (с учетом ПМ до $\mathcal{R} \leq 10$, считая $J', J'' \gg 1$) позволило рассчитать степень возникающей в основном состоянии ориентации φ_0^1/φ_0^0 , выстраивания φ_0^2/φ_0^0 , а также "продольных" (т.е. с $\mathcal{R} = 0$) компонент ПМ более высокого ранга. Например; для безразмерного параметра накачки $\lambda = \Gamma_p/\gamma^p = 3$ (Γ_p - скорость поглощения) при линейно поляризованном возбуждении Q-типа $\varphi_0^2/\varphi_0^0 \approx -0,17$, $\varphi_0^4/\varphi_0^0 \approx 0,05$, а при циркулярно поляризованном возбуждении P, R-типа $\varphi_0^1/\varphi_0^0 \approx -0,2$.

Проведенное рассмотрение позволяет описать нелинейные по возбуждающему свету насыщение интенсивности ЛИФ, а также ожидаемое уменьшение степени поляризации P или циркулярности C с ростом λ . В простейших случаях (когда несущественны вынужденные переходы) $P(\lambda)$ и $C(\lambda)$ зависят только от λ . Так как световое поле связывает между собой ПМ основного состояния различного ранга $\varphi_q^{\mathcal{R}}$, в ЛИФ не удается отделить скорости их релаксации $\gamma_{\mathcal{R}}^q$. Иная ситуация складывается для возбужденного состояния, где удается из интенсивности и поляризации ЛИФ определить скорости релаксации Γ_K для отдельных ПМ f_q^K ранга K .

Экспериментально эффект созданного оптического выстраивания и ориентации основного состояния отождествлен на отдельных ЖВ-уровнях (v_i'', J_i'') димеров натрия $Na_2(X^1\Sigma_g^+)$ и калия $K_2(X^1\Sigma_g^+)$ по зависимости интенсивности и поляриза-

ции для переходов Q -, R - и P - типа от мощности накачки. Установлено, что при скромных уровнях плотности мощности (1-10) Вт.см⁻² достигается значительный, уверенно регистрируемый эффект. Аппроксимация полученных экспериментальных зависимостей расчетными кривыми свидетельствует в пользу применимости принятой модели описания для условий проведенных экспериментов. Это позволило применить полученные зависимости для определения параметра накачки Γ_P/γ^2 . Скорость поглощения Γ_P в данном разделе определена из абсолютной интенсивности резонансной серии ЛИФ. Зависимость γ^2 от концентрации атомов Na и K (преобладающей компоненты в соответствующих парах) позволила определить суммарное эффективное сечение релаксационных процессов $\sigma_{tot}(Na_2 + Na)$ и $\sigma_{tot}(K_2 + K)$. Сечения практически не отличаются для различных КВ-уровней и имеют величину $(1-2) \cdot 10^{-14}$ см². Определены также отношения сечений при соударениях $K_2(X'\Sigma_g^+, \sigma, J'')$ с атомами примесных газов He и Xe . Абсолютные значения сечений в данном разделе определены со значительной погрешностью (порядка 40%-50%), в основном связанной с определением Γ_P по абсолютной интенсивности.

Заключительная часть раздела посвящена изучению релаксационных характеристик электронновозбужденных КВ-уровней, что оказалось удобным осуществить измерением тех же величин (интенсивности и поляризации ЛИФ) при ослабленной накачке, т.е. при "линейном" отклике, когда основное состояние "выключено". Сочетание метода тушения ЛИФ, в том числе модифицированного для трехкомпонентных смесей $A_2 + A + R$, где A - щелочной атом, R - атом примесного газа, с измерениями степени поляризации позволило определить как суммарное эффективное сечение релаксации заселенности Q_0 , так и отношение сечений релаксации выстраивания и заселенности Q_2/Q_0 . Измерения выполнены для соударений молекул $K_2(B'\Pi_u)$, $NaK(D'\Pi)$ с атомами калия и всех инертных газов. Значения $Q_0(K_2^* + K)$ и $Q_0(K_2^* + R)$ приведены ниже в таблице (разд. 5). Сечение $NaK(D'\Pi) + K$ оказалось равным $(9,00 \pm 0,50) \cdot 10^{-14}$ см². Измерены также сечения соуда-

рений $Te_2(AO_u^+, BO_u^+)$ с He и Xe . Применялась норма - ровка на спонтанное время радиационного распада, в ряде случаев специально измеренное в данной работе, см. разд. 2, 3. Установлено, что отношение сечений релаксации выстраивания и заселенности во всех случаях близко к единице, что говорит о неэффективности деполяризующих соударений. Практически не обнаружено зависимости сечений от КВ-чисел электронного состояния.

Раздел 2. Кинетика переходного процесса при оптической накачке двухатомных молекул как метод прямого определения релаксационных констант.

Изложенный в предыдущем разделе метод стационарного возбуждения позволяет лишь косвенным образом, причем с достаточно большой погрешностью определять константы скорости и сечения релаксации оптически выстроенных либо ориентированных КВ-уровней основного электронного состояния. Поэтому была поставлена задача развития для основного состояния двухатомных молекул динамического метода, позволяющего прямо следить за кинетикой процесса релаксации созданной в основном состоянии анизотропии. Нами на K_2 и независимо в том же году Ф.Кенигом и Х.Вебером (ФРГ) /9/ на Na_2 была реализована чувствительная методика, основанная на регистрации кинетики переходного процесса термализации нижнего уровня после прекращения накачки по изменениям во флуоресценции, возбужденной зондирующим лучом. Предложенный нами вариант метода заключается в периодической модуляции амплитуды излучения накачки, при которой накачивающий луч в момент времени t_0 внезапно (по сравнению с характерными временами релаксации) ослабляется, превращаясь в пробный. Увеличение интенсивности ЛИФ при $t > t_0$ непосредственно отражает релаксацию нижнего ЭВ-уровня к термически равновесному состоянию, см. рис. 2.а.

Теоретическое описание проведено в классическом аппарате "квазиплотности вероятности" с учетом того, что релак-

сация вызвана как столкновительными процессами, так и свободным термическим движением молекул через зону действия накачивающего светового поля. Как численным моделированием, так и экспериментально показано, что если вклад второго процесса значителен, то при отличающемся от прямоугольного, в частности, гауссовом профиле накачивающего луча и больших значениях χ развитие во времени переходного процесса может значительно отличаться от экспоненциального. Пренебрежение этим обстоятельством способно привести к искажению линейной формы зависимости скорости релаксации γ от концентрации частиц, что неверно интерпретировалось в [1] как влияние упругих соударений. При не слишком сильной накачке ($\chi \sim 1$) сигнал кинетики удовлетворительно описывается экспоненциальной зависимостью, и, хотя сам показатель экспоненты может зависеть от скорости поглощения Γ_p , его изменение с концентрацией позволяет определить константу скорости и эффективное сечение столкновительной релаксации.

Рассмотрено проявление в переходном процессе ПМ основного состояния различного ранга \mathcal{K} . Для линейно поляризованного возбуждения в сигнал переходного процесса ЛИФ после внезапного ослабления накачки вносят вклад ПМ φ_0^0 , φ_0^2 , а также гексадекапольный момент φ_0^4 ; их скорости релаксации $\gamma_{\mathcal{K}}$ в общем случае могут различаться. Однако метод переходного процесса малочувствителен к различиям в $\gamma_{\mathcal{K}}$, которые ожидаются малыми для молекул с J' , $J'' \gg 1$.

Экспериментально методом кинетики переходного процесса в ЛИФ исследовались молекулы K_2 и NaK в основном электронном состоянии. Излучение ОКГ модулировалось с помощью электрооптического модулятора на эффекте Погкельса с глубиной 0,90-0,95, длительность периодов сильного и зондирующего возбуждения соответственно 30 мкс и 80 мкс. Регистрация кинетики ЛИФ осуществлялась в режиме счета фотонов методом задержанных совпадений в старт-стоповом режиме с накоплением на многоканальном анализаторе импульсов. Сигналы кинетики ЛИФ при $t > t_0$ для K_2 ($\chi' \Sigma_g^+$, I, 73) приведены на рис. 2а. Моноэкспоненциальная обработка сигналов

для различных концентраций атомов K , He , Ne , Ar , Kr , Xe позволила определить значения констант скорости и эффективных сечений, приведенные ниже в таблице (разд.5). Измерено также сечение для $NaK(X^1\Sigma^+, 5,67)+Ar$, равное $(1,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$.

Подобная экспериментальная методика, но в линейном отклике применена для измерения времени радиационного распада электронновозбужденного состояния. Определены ранее неизвестные времена жизни фиксированных КВ-уровней димеров теллура $^{130}\text{Te}_2$ в AO_u^+ - и BO_u^+ - состояниях. Установлено, что характерные времена жизни $^{130}\text{Te}_2(BO_u^+)$ составляют для измеренных КВ-уровней с $v'=(0-5)$ величину (54 - 75) нс. В то же время измеренные КВ-уровни $^{130}\text{Te}_2(AO_u^+)$ с $v'=11,12$ оказались значительно более долгоживущими в времени жизни (620-670) нс. По концентрационной зависимости скорости распада определены константы скорости и эффективные сечения при соударениях $\text{Te}_2(AO_u^+)$ с Te_2 , He , Xe . Получены следующие значения сечений: $Q(\text{Te}_2^* + \text{Te}_2) = (1,6 \pm 0,4) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$, $Q(\text{Te}_2^* + He) = (0,30 \pm 0,05) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$, $Q(\text{Te}_2^* + Xe) = (1,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$ для КВ-уровней (11,53), (12,133), (12,139).

Раздел 3. Интерференция вырожденных магнитных подуровней (пересечение уровней) основного и возбужденного состояний двухатомных молекул.

Раздел начинается с краткого обзора работ по методу пересечения магнитных подуровней (частный случай интерференции вырожденных состояний /4/). Метод свободен от доплеровского уширения; он широко применялся и применяется для измерения атомных постоянных (времен жизни, констант сверхтонкой структуры, факторов Ланде, релаксационных констант и т.д.). Позднее в основном благодаря прогрессу лазерной техники появились работы по экспериментальному изучению пересечения уровней в нулевом магнитном поле (эффект Ханле) электронновозбужденных состояний молекул; одной из первых

была работа /10/ на $N_2(X'\Sigma_g^+)$. Возбужденное состояние двухатомных молекул в дальнейшем достаточно активно исследовалось методом эффекта Ханле, однако до результатов настоящего исследования в литературе по нашим данным отсутствовали работы, в которых был бы экспериментально зарегистрирован эффект Ханле для КВ уровней основного электронного состояния двухатомных молекул. Возможность наблюдать эффект как раз и дает методы оптического выстраивания и ориентации основного состояния при селективном поглощении с регистрацией в ЛИФ. При этом на нижнем ЭКВ-уровне создается когерентность в системе магнитных подуровней.

Сигнал ЭКВ-уровня основного состояния проявляется во флуоресценции наряду с эффектом Ханле ЭКВ-уровня возбужденного состояния. При этом образуется суперпозиционный контур Ханле обоих состояний, рис. I, вид которого для конкретной геометрии эксперимента главным образом зависит от эффективности накачки χ и соотношения ширин контуров основного g_a/δ^2 и возбужденного g_b/Γ состояний, g_a , g_b - факторы Ланде, Γ - скорость распада возбужденного КВ-уровня v' , J' . При $g_a/\delta^2 \gg g_b/\Gamma$ и $\chi \gg 1$ имеет место ситуация, когда в определенном диапазоне внешнего магнитного поля проявляется только эффект основного состояния. При $\chi \ll 1$, т.е. в условиях линейного отклика, проявляется только эффект Ханле возбужденного уровня.

В излагаемом разделе работы приведено описание явления для систем с $J', J'' \gg 1$ в классическом аппарате, где эффект учитывается через прецессию $\vec{J}(\vartheta, \varphi)$ вокруг внешнего поля \vec{B} , так и в аппарате поляризационных моментов, где эффект связан с разрушением полем \vec{B} поперечных компонент ПМ f_q^x , f_q^k с Q , $q \neq 0$.

Экспериментально эффект основного состояния обнаружен в зависимости от B степени поляризации ЛИФ для различных двухатомных молекул: молекула Йода J_2 (лишь качественно), молекулы K_2 и N_2 в состоянии $X'\Sigma_g^+$, молекула Te_2 в состоянии XO_g^+ . Во всех случаях, за исключением $J_2(X'\Sigma_g^+)$, ширина сигнала основного состояния была за-

относительно меньше, чем возбужденного, поэтому сначала проявляется эффект Ханле основного, а при больших полях - возбужденного состояния, см. сигнал на рис. 1.

Сочетание данных, полученных из проведенных экспериментов, с численным моделированием сигналов пересечения позволило выявить следующие особенности. Для переходов P , Q -типа в условиях, когда эффект от основного состояния проявился, а от возбужденного еще не вступил в силу, степень линейной поляризации ЛДФ превышает максимальную при линейном отклике величину $1/7$, рис. 1. Такая "поперечная реполяризация" возможна из-за того, что остающаяся анизотропия распределения угловых моментов основного состояния частично компенсирует деполяризацию из-за собственного вращения молекулы. При достаточно больших χ зарегистрировано появление дополнительного узкого пика в нуле магнитного поля. Проведенное в аппарате ПМ численное моделирование показало, что пик связан с проявлением ПМ основного состояния \mathcal{Y}_q^{χ} ранга $\mathcal{X} = 6$. Действительно, если шестой момент в уравнениях дискриминировать, приписав ему значительно большую скорость релаксации $\mathcal{Y}_6^{\mathcal{X}} \gg \mathcal{Y}_{\mathcal{X} \neq 6}^{\mathcal{X}}$, то исчезает и дополнительная структура.

Исследованы особенности проявления эффекта Ханле основного состояния в сигналах "дисперсионного" типа, чувствительных к знакам факторов Ланде основного и возбужденного состояний. Эксперименты показали, что знак фактора Ланде g_a для $K_2(\chi' \Sigma_q^+)$ положителен (магнитный момент сонаправлен механическому), а для $Te_2(\chi O_q^+)$ - отрицателен.

Предложено использовать эффект Ханле основного состояния в "пролетных" условиях, когда релаксация обусловлена свободным термическим движением через луч накачки со специально сформированным однородным распределением мощности по круговому поперечному сечению известного диаметра, для одновременного определения фактора Ланде основного состояния и скорости релаксации. В эксперименте, осуществленном на $K_2(\chi' \Sigma_q^+, I, 73)$, определена таким образом величина фактора Ланде, равная $g_a = (1,16 \pm 0,15) \cdot 10^{-5}$.

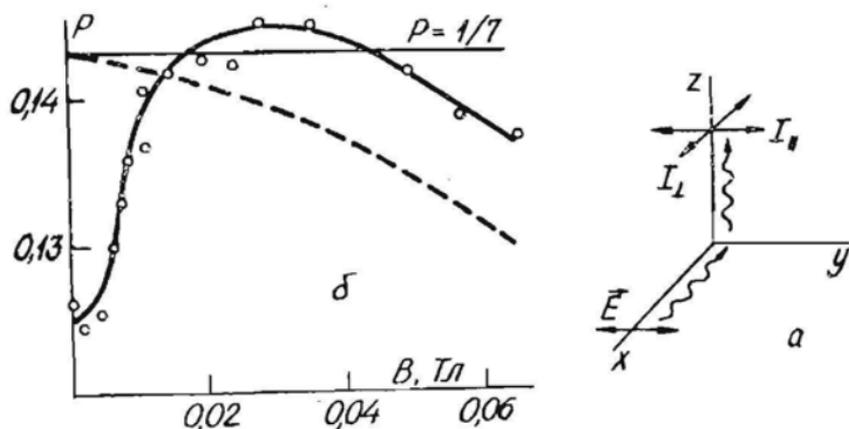


Рис. 1. Геометрия эксперимента (а) и эффект Ханле основного состояния $Te_2(XO_g^+)$ в виде зависимости степени поляризации ЛИФ $\rho = (I_{||} - I_{\perp}) / (I_{||} + I_{\perp})$ от магнитного поля (б); возбуждение $(XO_g^+, 6,52) \rightarrow (AO_u^+, 11,53)$. Пунктиром показан сигнал в линейном отклике $\lambda \rightarrow 0$.

Из экспериментов по пересечению магнитных подуровней основного состояния получены значения констант скорости и эффективных сечений релаксации при соударениях $Na_2(X'\Sigma_g^+) + Na$, $K_2(X'\Sigma_g^+) + K$, $Te_2(XO_g^+) + Te_2$, $Te_2(XO_g^+) + Xe$. Сечения для Na_2 и K_2 близки к определенным другими методами в разд. 1 и 2 данной работы.

Эксперименты по электронновозбужденному состоянию (в линейном отклике) были проведены на молекуле $K_2(B^1\Pi_u)$, где фактор Ланде легко рассчитывается /10/, определено спонтанное время жизни и сечение релаксации выстраивания при соударениях $K_2^* + K$. Последнее близко к измеренному методом тушения ЛИФ, см. разд. 1. В экспериментах по непарамагнитным электронновозбужденным состояниям $^{130}Te_2(AO_u^+, BO_u^+)$ из сигналов Ханле, используя определенные в разд. 2 времена жизни, определены ранее неизвестные факторы Ланде для ряда ЖВ-уровней. Установлено сложное поведение $g_B(v, J')$ -

изменение величины и знака - для разных КВ-чисел. Получены эффективные сечения релаксации выстраивания при соударении Te_2^a с "собственными" молекулами Te_2 и с атомами примесного газа Xe , которые также близки к определенным в разд. I и 2.

Раздел 4. Интерференция невырожденных магнитных подуровней в основном электронном состоянии.

Из приведенного в начале раздела обзора следует, что согласно литературным данным интерференция невырожденных магнитных подуровней не была зарегистрирована для основного электронного состояния двухатомных молекул. С использованием изложенных в предыдущих разделах методов создания и регистрации оптического выстраивания и ориентации нами обнаружены и исследованы основные виды интерференционных сигналов при снятом вырождении: квантовые биения (КБ) в кинетике при импульсной накачке и резонанс биений (РБ) при гармонически модулированной накачке.

КБ проявляются в кинетике возбуждаемой пробным лучом ЛДФ после прекращения импульса накачки. В этом случае на фоне монотонного возрастания интенсивности, см. рис. 2а (изложенный в разд. 2 метод кинетики переходного процесса) при наличии внешнего магнитного поля возникает гармоническая составляющая с частотой расщепления когерентных зеемановских подуровней, см. рис. 2б. Важной особенностью является проявление КБ в области "линейного" отклика, когда накачивающее излучение ослаблено до пробного. Приведено описание сигналов КБ в аппарате ПМ. Показано, что в случае линейно поляризованного возбуждения при определенной геометрии эксперимента проявляются КБ либо с частотой $2\omega_d$ (соответствующие интерференции между $|\Delta M''| = 2$), либо с частотой $4\omega_d$ (интерференция между $|\Delta M''| = 4$). Экспериментально КБ в кинетике обнаружены и исследованы на $K_2(X'\Sigma_g^+)$ при $B = (0,4-I,0)$ Тл. По зависимости частоты КБ с частотой $2\omega_d$ от магнитного поля определен фактор Ланде состояния с (I,73) как $g_d = (1,30 \pm 0,37) \cdot 10^{-5}$.

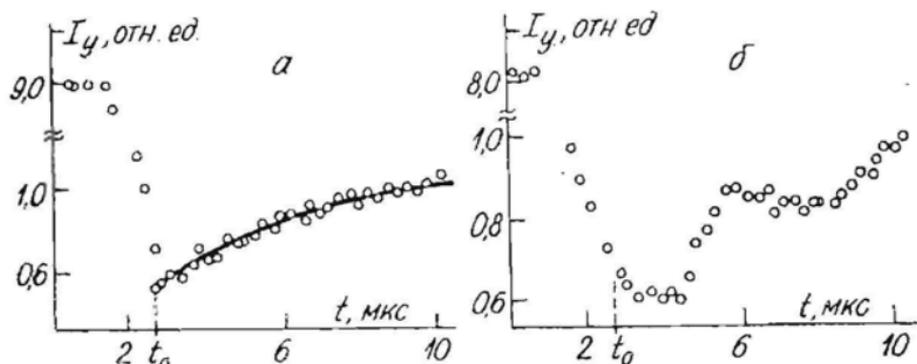


Рис. 2. Экспериментально зарегистрированные сигналы квантовых биений на основном состоянии $K_2(X'\Sigma_g^+)$: а - кинетика ЛИФ без магнитного поля, б - в присутствии поля $B = 0,816$ Тл.

Резонанс биений ЖВ-уровня основного состояния осуществлялся при выстраивании либо ориентации гармонически модулированным излучением накачки $\Gamma_p = \Gamma_{p0}(1 - \varepsilon \sin \omega t)$. Если частота модуляции ω совпадает с частотой $q\omega_a$ расщепления когерентных зеемановских подуровней $\Delta M''$ внешним магнитным полем, то разрушенная полем когерентность частично восстанавливается, и наблюдается интерференционный сигнал РБ. Эффект носит нелинейный по световому полю характер; при этом происходит "выпрямление" сигнала, что делает возможной стационарную по времени регистрацию. Описание РБ приведено как в терминах ПМ, где разложением в ряд по параметру накачки получены приближенные аналитические выражения, так и с использованием численного расчета при классическом описании в \mathcal{U}, \mathcal{V} -представлении. Расчеты предсказывают проявление РБ не только на частотах ω_a и $2\omega_a$, но и на $4\omega_a$ (при линейно поляризованном возбуждении, Q -переход). Экспериментально сигнал РБ основного состояния обнаружен на ЖВ-уровне димеров теллура $^{130}\text{Te}_2(X'\Sigma_g^+, 6,52)$ как при ориентации ($\omega = \omega_a$), так и при выстраивании ($\omega = 2\omega_a$); возбуждение P, R -типа. Затем были проведены исследования РБ на димерах калия $K_2(X'\Sigma_g^+)$ при линейно поляризованном воз-

буждении ζ -типа, в которых обнаружен кроме РВ на $\omega = 2\omega_a$ также предсказанный при расчетах РВ на частоте $\omega = 4\omega_a$ (гексадекапольный резонанс). Из экспериментов определены значения фактора Ланде, равные $(1,56 \pm 0,08) \cdot 10^{-4}$ для $^{130}\text{Te}_2(X^1\Sigma_g^+)$ и $(1,01 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$ для $^{39}\text{K}_2(X^1\Sigma_g^+)$.

Раздел 5. Обсуждение релаксационных констант, определение сил перехода и концентрации молекул.

Ряд данных диссертационной работы, в частности, релаксационные константы, получены различными методами. Первая часть раздела ставит целью сравнить их между собой, а также хотя бы с весьма простым оценочным расчетом. Приведена сводка полученных в предыдущих разделах различными методами оптической накачки и интерференции состояний релаксационных констант для основного и возбужденного состояний Na_2 , K_2 , NaK , Te_2 в фиксированных ЖВ-уровнях. Порядок величины суммарных эффективных сечений составляет в большинстве случаев 10^{-14} см^2 , однако для $\text{K}_2(B^1\Pi_u) + \text{K}$ и $\text{NaK}(D^1\Pi) + \text{K}$ приближается к 10^{-13} см^2 . Релаксационные константы, полученные различными методами для одних и тех же систем, совпадают в пределах погрешности измерений. Не выявлено существенных различий в сечениях для различных КВ-уровней.

Для молекул K_2 при соударениях с атомами инертных газов R установлено совпадение суммарных эффективных сечений в случае основного и возбужденного состояний, т.е. для $\text{K}_2(X^1\Sigma_g^+) + R$ и $\text{K}_2(B^1\Pi_u) + R$, см. табл. Такой же результат дает приведенный в разделе расчет соответствующих сечений захвата σ_c и Q_c в предположении ван-дер-ваальсовского потенциала притяжения. Хотя абсолютные величины сечений захвата в среднем на (20-50)% меньше экспериментальных, отношения сечений σ_c , Q_c для различных атомов-партнеров R совпадают с экспериментальными в пределах точности измерений. Можно предположить, что релаксация при соударениях K_2 с атомами инертного газа происходит посредством образования и распада столкновительного комплекса. При соударениях $\text{K}_2(B^1\Pi_u) + \text{K}$ измеренное сечение примерно втрое

Таблица

Измеренные (σ_{tot} , Q_{tot}) и рассчитанные в модели захвата (σ_c , Q_c) эффективные сечения при соударениях щелочных димеров A_2 с атомами X

$A_2 + X$	Эффективные сечения, 10^{-14} см^2			
	для $A_2(X^1\Sigma_g^+)$		для $A_2(B^1\Pi_u)$	
	σ_c	σ_{tot}	Q_c	Q_{tot}
$K_2 + He$	0,52	$0,52 \pm 0,05$	0,53	$0,87 \pm 0,07$
$K_2 + Ne$	0,66	$1,06 \pm 0,18$	0,68	$1,26 \pm 0,12$
$K_2 + Ar$	1,02	$1,54 \pm 0,12$	1,05	$1,36 \pm 0,13$
$K_2 + Kr$	1,17	$1,59 \pm 0,07$	1,20	$1,76 \pm 0,14$
$K_2 + Xe$	1,36	$1,55 \pm 0,12$	1,41	$1,95 \pm 0,33$
$K_2 + K$	2,43	$3,3 \pm 0,5$ $2,5 \pm 0,5$ жж) 2 ± 1)	2,63	$6,42 \pm 0,72$ 10 ± 3
$Na_2 + Na$	1,60	(1,1-2,0)	1,75	$5,23^*)$

*) по данным [11],

жж) - получены различными методами в разд. I - 3.

превышает Q_c .

С целью детализовать информацию с использованием измеренных в разд. 2,3 времен жизни τ_{sp} изучено распределение интенсивностей в спектрах ЛИФ с фиксированным верхним ЭВ-уровнем для $B^1\Pi_u - X^1\Sigma_g^+$ системы K_2 , $AO_u^+ - XO_g^+$ и $BO_u^+ - XO_g^+$ систем Te_2 . Определена зависимость силы электронного перехода S_e от межъядерного расстояния в приближении R -центroids $R_{VV'}$ [12]. Нормировка по τ_{sp} позволила перейти к абсолютным значениям S_e , а также к коэффициентам Эйнштейна $A_{V'J' \leftarrow VJ}^{VJ'}$ с разрешенной КВ-структурой.

Развитые в разд. I-4 методы оптической накачки и интерференции состояний позволяют определить скорость поглощения Γ_p . Если известны τ_{sp} и $A_{V'J' \leftarrow VJ}^{VJ'}$, то Γ_p и измеренная абсолютная интенсивность перехода позволяют опреде-

лить концентрацию на отдельном КВ-уровне и затем перейти к общей концентрации молекулярной компоненты в термических парах. При этом не требуется труднодоступная для молекул информация об интеграле перекрывания контуров возбуждения и поглощения. Экспериментально реализован способ определения концентрации двухатомных молекул, при котором Γ_p определена из измерения степени поляризации ЛИФ в условиях оптической накачки лучом с близким к однородному распределением мощности по круговому поперечному сечению. Предложенный способ защищен свидетельством об изобретении и применен к димеру K_2 в калиевых парах в диапазоне температур (470–425)К. Полученные значения близки к приведенным в /13/ данным.

В заключении формулируются основные результаты и выводы, а также некоторые предложения по дальнейшему развитию направления исследований.

Приложение содержит справочные данные о спектроскопических константах и расположении термов исследуемых молекул, квантовые числа идентифицированных ЖВ-переходов и примеры участков зарегистрированных спектров ЛИФ, некоторые детали методики измерения абсолютной концентрации, иллюстрации распределения оптически выстроенных угловых моментов.

ВЫВОДЫ

I. Стационарное оптическое выстраивание и ориентация основного состояния проявляется в насыщении интенсивности излучения, уменьшении степени его поляризации либо циркулярности. Принятая модель описания связывает эти сигналы с безразмерным параметром накачки, степенью выстраивания и ориентации, а также поляризационными моментами основного состояния более высокого ранга. Сочетание данных с измерением абсолютной интенсивности флуоресценции позволяет определить константу скорости и суммарное эффективное сечение релаксации анизотропии при соударениях; метод реализован

на $Na_2(X'\Sigma_g^+)$, $K_2(X'\Sigma_g^+)$.

2. Развита метод изучения релаксации оптически опустошенного КВ-уровня основного электронного состояния по регистрации в ЛИФ развития во времени переходного процесса после внезапного ослабления излучения накачки до значения пробного. Выявлена роль релаксации при термическом движении ("пролете") молекул через зону накачки, влияние профиля луча, а также условия, при которых справедлива моноэкспоненциальная аппроксимация процесса. Метод применен для прямого определения констант скорости и эффективных сечений релаксации при соударениях $K_2(X'\Sigma_g^+)$ с атомами He , Ne , Ar , Kr , Xe , K , а также $NaK(X'\Sigma^+)$ с Ar .

3. Впервые метод пересечения уровней в нулевом магнитном поле (интерференция невырожденных магнитных подуровней) применен к основному электронному состоянию двухатомных молекул. Сигналы отождествлены на J_2 , Na_2 , K_2 , Te_2 . Выявлен ряд особенностей эффекта, таких как проявление дополнительных узких резонансов, вызванных влиянием поляризационных моментов высокого ранга, особенности в предельных значениях степени поляризации, влияние знаков факторов Ланде основного и возбужденного состояний на суперпозиционные сигналы дисперсионной формы. Использование эффекта в "пролетных" условиях для близкого к прямоугольному профилю луча дает возможность одновременно определить фактор Ланде нижнего уровня и скорость релаксации. Из сигналов пересечения определены релаксационные константы Na_2 , K_2 , Te_2 в парах соответствующих элементов.

4. Впервые зарегистрированы и изучены интерференционные явления в системе невырожденных магнитных подуровней основного состояния двухатомных молекул, а именно: квантовые биения в кинетике переходного процесса после импульсной накачки и резонанс биений при гармонической модуляции света накачки. Биения в кинетике проявляются в области линейного возбуждения, поэтому сигнал свободен от нелинейных искажений. Резонанс биений имеет нелинейный по поглощению характер, что приводит к возможности стационарной по време-

ни регистрации и требует описания, учитывающего нелинейные эффекты. Эффекты зарегистрированы на $K_2(X^1\Sigma_g^+)$ и $Te_2(XO_g^+)$ определены факторы Ланде состояний, обнаружен резонанс гексадекапольного момента ($|\Delta M''| = 4$).

5. Предложен и реализован на примере димеров калия способ измерения концентрации двухатомных молекул в парах, включающий определение величины скорости оптического поглощения методами оптической накачки основного состояния, не требующий знания условий перекрывания контуров возбуждения и поглощения.

6. При ослабленном возбуждении, т.е. в линейном по возбуждающему свету отклике имеет место переход к известным методам исследования электронновозбужденных состояний двухатомных молекул методами тушения ЛИФ, кинетики радиационного распада, интерференции состояний. Их реализация в данной работе позволила определить для ряда КВ-уровней $K_2(B^1\Pi_u)$, $NaK(D^1\Pi)$, $Te_2(AO_u^+)$, $Te_2(BO_u^+)$ времена жизни, силы электронного перехода, факторы Ланде, константы скорости и эффективные сечения столкновительных процессов.

Итак, осуществлена поставленная в работе задача по развитию методов оптического выстраивания, ориентации и интерференции в системе вырожденных и невырожденных магнитных подуровней основного и электронновозбужденного состояния двухатомных молекул.

По материалам диссертации опубликовано 56 научных работ. Ниже приведен список ключевых публикаций, отражающих основные результаты исследования.

1. Таманис М.Я., Фербер Р.С., Шмит О.А. Влияние концентраций паров на оптическую накачку NO_2 //Изв. АН Латв.ССР, сер. физ. и техн. - 1975. - № 4. - С. 33-35.
2. Таманис М.Я., Фербер Р.С., Шмит О.А. Оптическая ориентация двухатомных молекул циркулярно поляризованным лазерным излучением //Оптика и спектроскопия. - 1976. - Т. 41, № 6. - С. 925-928.

3. Релаксация оптически накачанных излучением $He-Ne$ -лазера молекул K_2 при столкновениях с атомами/В.Б. Грушевский, М.Я. Таманис, Р.С. Фербер, О.А. Шмит// Оптика и спектроскопия. - 1977. - Т. 42, № 5. - С. 993-995.
4. Таманис М.Я., Фербер Р.С., Шмит О.А. Изучение оптической накачки основного состояния двухатомных молекул по поляризации лазерно возбужденной флуоресценции//Сенсибилизированная флуоресценция смесей паров металлов: Сб. науч. тр. - Рига, 1977. - С. 116-137.
5. Таманис М.Я., Фербер Р.С., Шмит О.А. Эффект Ханле в $\chi'^{\Sigma}_g^+$ состоянии K_2 //Матер. 18 Всес. съезда по спектроскопии, Горький, июль 1977. - М.: 1977. - Ч.1. - С. 17-20.
6. Фербер Р.С. Оптическое выстраивание и ориентация двухатомных молекул в основном электронном состоянии//Изв. АН Латв. ССР. - 1978. - № 8. - С. 85-99.
7. Фербер Р.С. Определение констант и сечений релаксации NQ_2 и K_2 в основном электронном состоянии методом лазерной оптической накачки//Изв. АН СССР, сер. физ. - 1979. - Т. 43. - С. 419-423.
8. Таманис М.Я., Фербер Р.С., Шмит О.А. Эффект Ханле в основном $\chi'^{\Sigma}_g^+$ состоянии молекул K_2 и NQ_2 //Сенсибилизированная флуоресценция смесей паров металлов: Сб. науч. тр. - Рига, 1979. - С. 53-67.
9. Прямое измерение скорости термализации основного состояния молекул K_2 /М.П. Аузиньш, И.Я. Пирагс, Р.С. Фербер, О.А. Шмит//Письма в ЖЭТФ.-1980.-Т.31, № 10.- С. 589-592.
10. Кинетика релаксации заселенности основного состояния K_2 при соударениях с Ar и Kr /М.П. Аузиньш, И.Я. Пирагс, Р.С. Фербер, О.А. Шмит//Процессы переноса энергии в парах металлов: Сб. науч. тр.- Рига, 1981. - С. 50-56.
11. Таманис М.Я., Фербер Р.С., Шмит О.А. Эффект Ханле и столкновительная релаксация основного состояния $^{130}Te_2$ //Оптика и спектроскопия.- 1982.-Т.53, № 4. - С.755-758.
12. Кинетика релаксации заселенности при тепловом движении молекул через лазерный луч/А.Е. Суворов, М.П. Аузиньш, И.Я. Пирагс, Р.С. Фербер//Процессы переноса энергии в

- парах металлов: Сб. науч. тр. - Рига, 1981. - С.42-49.
13. Фербер Р.С. Оптическая накачка и интерференция состояний в двухатомных молекулах//Процессы переноса энергии в парах металлов: Сб. науч. тр.-Рига, 1983. - С. 3-27.
 14. Аболтиньш А.Р., Фербер Р.С. Проявление эффекта резонанса биений основного состояния двухатомных молекул//Процессы переноса энергии в парах металлов: Сб. науч. тр. - Рига, 1983. - С. 28-39.
 15. Аузиньш М.П., Фербер Р.С. Проявление поляризационного момента шестого ранга в сигнале Ханле основного электронного состояния димеров//Оптика и спектроскопия. - 1983. - Т.55, № 6. - С. 1105-1108.
 16. Аузиньш М.П., Фербер Р.С. Наблюдение резонанса квантовых биений между магнитными подуровнями с $\Delta M'' = 4$ //Письма в ЖЭТФ. - 1984, - Т.39, № 8. - С. 376-378.
 17. Аузиньш М.П., Фербер Р.С. О проявлении релаксации поляризационных моментов основного состояния двухатомных молекул в кинетике переходного процесса//Изв. АН Латв. ССР, сер. физ. и техн. - 1984, - № 1. - С. 16-20.
 18. Аузиньш М.П., Таманис М.Я., Фербер Р.С. Наблюдение квантовых биений в кинетике термализации двухатомных молекул в основном электронном состоянии//Письма в ЖЭТФ. - 1985. - Т.42, № 4. - С. 132-134.
 19. Аузиньш М.П., Фербер Р.С. О превышении классического предела степени поляризации при нелинейном эффекте Ханле двухатомных молекул//Оптика и спектроскопия. - 1985. - Т.59, № 1. - С. 11-16.
 20. Аузиньш М.П., Таманис М.Я., Фербер Р.С. Одновременное определение фактора Ланде и скорости релаксации основного состояния двухатомных молекул по эффекту Ханле// Оптика и спектроскопия. - 1985. - Т.59, № 6.-С.1328-1331.
 21. Аузиньш М.П., Фербер Р.С. Ориентированный газ двухатомных молекул в магнитном поле//ЖЭТФ. - 1985. - Т.55, № 8. - С. 1591-1597.
 22. Аузиньш М.П., Фербер Р.С. Квантовые биения в основном

- электронном состоянии двухатомных молекул//Процессы переноса энергии в парах металлов: Сб. науч. тр. - Рига. - 1985. - С. 3-12.
23. Аузиньш М.П., Суворов А.Е., Фербер Р.С. Описание нелинейного резонанса биений в двухатомных молекулах в модели дипольных осцилляторов//Изв. АН Латв. ССР, сер. физ. и техн. - 1985. - № 6. - С. 49-52.
24. Аузиньш М.П., Таманис М.Я., Фербер Р.С. Зеemanовские квантовые биения в переходном процессе после оптического опустошения основного электронного состояния двухатомных молекул//ЖЭТФ. - 1986. - Т.90, № 4, - С. 1182-1190.
25. Аузиньш М.П., Таманис М.Я., Фербер Р.С. Нелинейный резонанс биений в молекулах K_2 //Тез. Всес. сем. по оптической накачке атомов и молекул, Ленинград, апр.1986. - Л.: 1986. - С. 166-167.
26. Харья Я.А., Фербер Р.С., Шмит О.А. Зависимость силы электронного перехода от межъядерного расстояния для $A-X$ и $B-X$ переходов молекулы $^{130}Te_2$ //Оптика и спектроскопия. - 1986. - Т.61, № 3. - С. 470-473.
27. Пирагс И.Я., Таманис М.Я., Фербер Р.С. Определение полного сечения дезактивации $K_2 (B^1\Pi_u, v', J')$ при соударениях с атомами калия и инертных газов//Оптика и спектроскопия. - 1986. - Т.61, № 1. - С. 29-32.
28. Пирагс И.Я., Таманис М.Я., Фербер Р.С. Столкновительная дезактивация энергии возбуждения в $K_2(B^1\Pi_u)$ //Столкновительные и радиационные процессы с участием возбужденных частиц: Сб. науч. тр. - Рига, 1987. - С. 39-49.
29. Положительное решение от 22.01.87 по заявке №4094956/31-25. СССР, МКИ 601 № 21/64, № 21/21. Способ определения концентрации двухатомных молекул в высокоразреженных парах/Р.С. Фербер, И.Я. Пирагс.
30. Auzin'sh M.P., Ferber R.S., Pirags I.Ya. K_2 ground state relaxation studies from transient process kinetics / J. Phys.B.- 1983.-Vol.16, N 9.- P.2759-2771.
31. Lande factor measurements for the $^{130}Te_2$ electronic ground state / R.S.Ferber, A.I.Okunevich, O.A.Shmit // Chem. Phys.Lett.- 1982.- Vol.90, N 6.- P.476-480. H. Jo. Tzinn

32. The effect of collisions on the intensity and polarization of laser-induced $D^1\Pi - X^1\Sigma^+$ fluorescence from NaK /M. P. Auzin'sh, R. S. Ferber, Ya. A. Harys, I. Ya. Pirags//Chem. Phys. Lett.- 1986.-Vol.124, N 2. - P.116-120.
33. Ferber R.S., Shmit O.A., Tamanis M.Ya. Ground state Hanle effect in optically aligned diatomic molecules Na₂ and K₂//Chem. Phys. Lett.-1979.-Vol.61, N.3.- P.441-444.
34. Ferber R.S., Shmit O.A., Tamanis M.Ya. Lifetimes and Lande factors in the AO_u^+ and BO_u^+ states of $^{130}\text{Te}_2$ // Chem. Phys. Lett. - 1982.- Vol.92, N4.- P.393-397.
35. Ferber R.S., Tamanis M.Ya. Lifetimes in the AO_u^+ state of $^{130}\text{Te}_2$ // Chem. Phys. Lett.-1983.-Vol.98, N 6.-P.577-588.
36. Ferber R.S., Schmit O.A., Tamanis M.Ya. Ground state Hanle effect in optically aligned diatomic molecules //Abstr. 6 Intern. Conf. on Atomic Physics, Riga, July, 1978.-Riga: Zinatne, 1978.- P.345-346.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Drullinger R.E., Zare R.N. Optical pumping of molecules //J. Chem. Phys.- 1969.- Vol.51.- P.5532-5542.
2. Brooks R.A., Anderson C.N., Ramsay N.F. Rotational magnetic moments of the alkali molecules// Phys. Rev. A.- 1969. - Vol.136, N 1. - P.62-68.
3. Ребане Т.К. Магнитные свойства молекул с замкнутыми электронными оболочками//Современные проблемы квантовой химии: Сб. науч. тр./Под ред. М.Г. Веселова. - Л.: Наука, 1986. - С. 165-211.
4. Чайка М.П. Интерференция вырожденных атомных состояний: Пересечение уровней. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. - 191 с.
5. Александров Е.Б. Оптические проявления интерференции

- невыврожденных состояний//УФН. - 1972. - Т.107, № 3. - С. 592-622.
6. Канорский С.И., Каслин В.М., Якушев О.Ф. Na_2 -лазер с оптической накачкой//Квантовая электроника. - 1980. - Т. 7, № 10. - С. 2201-2203.
7. Гордиец В.Ф., Панченко В.Я. Газовые лазеры с солнечным возбуждением//УФН. - 1986. - Т.149, № 3. - С.551-576.
8. Wellegehausen B. Optically pumped CW dimer lasers// IEEE J. Quantum Electr. - 1979. - Vol. QE-15, N 10. - P.1108-1130.
9. König P., Weber H.G. Relaxation studies of ground state Na_2 by optical pumping transients//Chem. Phys. - 1980. - Vol.45, N 1. - P.91-100.
10. McClintock M., Demtröder W., Zare R.N. Level-crossing studies of Na_2 using laser - induced fluorescence //J. Chem Phys, - 1969. - Vol.51, N 12. - P.5509-5521.
11. Демтредер В. Лазерная спектроскопия: Основные принципы и техника эксперимента/Пер. с англ. под ред. И.И. Соболева. - М.: Наука, 1985. - 608 с.
12. Вероятности оптических переходов двухатомных молекул/ Л.А. Кузнецова, Н.Е. Кузьменко, Ю.Я. Кузяков, Ю.А. Пластинин. - М.: Наука, 1980. - 319 с.
13. Несмеянов А.Н. Давление пара химических элементов. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. - 380 с.

ФЕРЕЕР Рувин Симонович

ОПТИЧЕСКОЕ ВЫСТРАИВАНИЕ, ОРИЕНТАЦИЯ И ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ
МАГНИТНЫХ ПОДУРОВНЕЙ В ДВУХАТОМНЫХ МОЛЕКУЛАХ

А в т о р е ф е р а т

Подписано к печати 25.06.87 ЯТ 05188 Ф/б 60x84/16
Бумага № 1 2,0 физ.печ.л. 1,8 усл.печ.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 873 Бесплатно

Латвийский государственный университет им. П.Стучки
Рига 226098 б.Райниса, 19

Отпечатано в типографии, Рига 226050, ул. Эд.Вейденбаума, 5
Латвийский государственный университет им. П.Стучки