

На правах рукописи

Коровин Константин Олегович

**ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ФОТОДИССОЦИАЦИИ
ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ МОЛЕКУЛ МЕТОДОМ
СУБДОПЛЕРОВСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Специальность 01.04.04 – физическая электроника

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург
2008г.

Работа выполнена в Учреждении Российской Академии Наук
Физико-Техническом институте им. А.Ф. Иоффе

Научный руководитель **Васютинский Олег Святославович**
доктор физико-математических наук,
с.н.с

Официальные оппоненты **Правилев Анатолий Михайлович**
доктор физико-математических наук,
профессор
Дмитриев Сергей Павлович
кандидат физико-математических наук,
с.н.с.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет

Защита состоится: << 4 >> декабря 2008 года в 14 часов на заседании
диссертационного совета Д 002.205.03 в Учреждении Российской Академии
Наук Физико-Техническом институте им. А.Ф. Иоффе по адресу: 194021
Санкт-Петербург, Политехническая д.26

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской
Академии Наук Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе.

Автореферат разослан << ____ >> _____ 2008 года.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 002.205.03
кандидат физико-математических наук

А.М. Красильщиков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объект исследования и актуальность работы

Фотохимические реакции с участием двух- и трехатомных молекул в газовой фазе играют фундаментальную роль в процессах, происходящих в атмосфере Земли и планет, в газовых лазерах и в различных промышленных установках. В настоящее время во многих лабораториях мира уделяется значительное внимание исследованиям анизотропии фотодиссоциации малых молекул, поскольку они дают возможность получения детальной информации о динамике происходящих фотопроцессов, которую другими методами получить затруднительно [1],[2],[3].

Наиболее информативный метод осуществления таких исследований основан на эффекте поляризации угловых моментов продуктов фотохимических реакций [4], наблюдаемом при детектировании пространственных распределений образующихся атомных фотофрагментов, находящихся в определенных квантовых состояниях, характеризующихся спиновым или орбитальным моментом j и его проекцией m [5]. Этот метод позволяет получить не только информацию о симметрии основного и возбужденного состояний молекулы, но и данные о вероятности неадиабатических переходов между различными состояниями молекулы, а также о квантово-механической разности фаз, соответствующих разным каналам реакции. Вместе с тем, до начала настоящих исследований вопрос об экспериментальной реализации этого метода был открыт.

В рамках данной диссертационной работы была разработана и апробирована новая экспериментальная методика исследования поляризованных фотофрагментов, основанная на суб-доплеровской лазерной поляризационной спектроскопии в комбинации с Фарадеевской регистрацией. По сравнению с известной методикой регистрации поляризованных фотофрагментов, основанной на детектировании ионных изображений [2], разработанная нами методика существенно более проста в реализации и в ряде случаев обеспечивает большую точность измерений.

Эффективность разработанной методики была продемонстрирована при исследовании динамики фотодиссоциации молекул RbI ультрафиолетовым излучением с длиной волны 266 нм посредством детектирования пространственных распределений, как самих образующихся атомов рубидия, так и их спиновой поляризации. Выбор объекта исследования был обусловлен тем, что щелочно-галогидные молекулы в течение десятилетий являются классическим объектом исследований в молекулярной физике [7], дополнительная информация о динамике их возбужденных состояний представляет значительный интерес и методы детектирования спин-поляризованных атомов щелочных металлов хорошо развиты [8]. Исследование реакции фотодиссоциации молекул RbI в рамках данной работы позволило впервые определить набор параметров анизотропии ранга $K = 0, 1$ для данной реакции и на его основе получить квантовомеханические амплитуды и фазы, характеризующие эту реакцию.

Другая часть настоящей работы связана с исследованием процесса фотодиссоциации молекулы NaI через первое возбужденное состояние в диапазоне длин волн 315-370 нм. В результате была получена и интерпретирована зависимость параметра анизотропии разлета фотофрагментов β от длины волны излучения фотодиссоциации с учетом эффекта вращения молекулы.

Основные цели и задачи работы

Основная цель настоящей работы состояла в разработке и экспериментальной реализации новой методики исследования реакции фотодиссоциации молекул, основанной на детектировании спин-поляризованных атомных фотофрагментов методом суб-доплеровской фарадеевской регистрации. Задача исследования заключалась в экспериментальном определении набора параметров анизотропии, описывающих образование поляризованных атомных фотофрагментов. Определенные в эксперименте параметры анизотропии использовались для получения информации о квантовомеханических амплитудах и фазах, характеризующих исследуемую реакцию.

В частности, для реакции фотодиссоциации молекул RbI была поставлена задача определения набора параметров анизотропии рангов $K = 0$ (β) и $K = 1$ (α_1 и γ_1) и вычисления на их основе амплитуд и фаз матрицы рассеяния с их последующей интерпретацией.

Целью исследования фотодиссоциации молекул NaI было изучение и интерпретация зависимости величины параметра анизотропии разлета фотофрагментов β от длины волны фотодиссоциации с учетом эффекта вращения молекулы.

Научная новизна

Впервые реализована новая экспериментальная методика исследования фотохимических реакций, основанная на детектировании угловых распределений спин-поляризованных продуктов реакций методом лазерной субдоплеровской фарадеевской спектроскопии.

Разработанная методика была использована для исследования динамики фотодиссоциации щелочно-галогидных молекул RbI излучением с длиной волны 266 нм. В результате исследования были определены параметры анизотропии рангов $K = 0$ (β) и $K = 1$ (α_1 и γ_1), которые позволили установить наличие когерентного механизма фотодиссоциации для исследуемой реакции.

Полученные значения параметров анизотропии позволили впервые определить соотношение амплитуд и разность фаз матрицы рассеяния для каналов диссоциации, связанных с параллельным и перпендикулярным оптическими переходами в молекуле. В частности, было показано, что интенсивности параллельного и перпендикулярного переходов имеют сравнимую интенсивность, а также продемонстрировано отсутствие существенных неадиабатических взаимодействий в данной реакции фотодиссоциации.

В исследовании фотодиссоциации молекул NaI через первое возбужденное состояние впервые экспериментально определено значение параметра анизотропии β в широком диапазоне длин волн излучения. Теоретически исследовано влияние вращения молекулы на полученные

значения параметра анизотропии β , в частности учтено наличие возбужденного долгоживущего состояния A^+0 , приводящего к явлению предиссоциации. В результате проведенного анализа получено отношение интенсивностей параллельного и перпендикулярного оптических переходов в молекуле NaI.

Научная и практическая ценность работы

Научная ценность проведенных в диссертационной работе исследований заключается в разработке новой перспективной методики исследования химических и фотохимических реакций, с помощью которой получен ряд новых данных о динамике фотодиссоциации щелочно-галогидных молекул. Так, на примере молекул RbI и NaI было показано, что разработанная методика суб-доплеровской Фарадеевской регистрации фотофрагментов позволяет получать качественно новые данные о фотопроцессах в молекулах, такие как амплитуды и фазы рассеяния в разных каналах реакции, а также вероятности неадиабатических переходов между различными квантовыми состояниями молекул.

Практическая ценность проведенных исследований заключается в том, что их результаты могут быть использованы для развития моделей химических реакций происходящих в атмосфере Земли, в газовых лазерах, в химических реакторах, а также применяться в разработке новых технологий.

Апробация работы и публикации

Основные результаты работы изложены в 4 статьях и 9 тезисах докладов на российских и международных конференциях. Результаты работ обсуждались на международных конференциях, а также на семинарах Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, отделения Физики плазмы, Атомной физики и Астрофизики Физико-Технического института имени А.Ф. Иоффе и семинарах института Оптики и Атомной физики Технического университета Берлина (Германия). Работа была поддержана персональным

грантом РФФИ 03-03-06566 МАС для молодых ученых по результатам конкурса. Полный список публикаций автора приведен в конце автореферата.

Положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Разработка и реализация методики суб-доплеровской спектроскопии поляризованных атомных фотофрагментов с использованием эффекта Фарадея.
2. Экспериментальное исследование анизотропии разлета фотофрагментов и ориентации спин-поляризованных атомов рубидия при фотодиссоциации молекул RbI. Определение набора параметров анизотропии для данной реакции.
3. Определение интенсивности и разности фаз в различных каналах реакции фотодиссоциации молекулы RbI под действием излучения с длиной волны 266нм.
4. Исследование фотодиссоциации молекулы NaI через первое возбужденное состояние. Определение параметра анизотропии разлета фотофрагментов β в диапазоне длин волн 315-370нм и отношения интенсивностей параллельного и перпендикулярного переходов с учетом вращения молекулы.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из 4 глав, введения, заключения и списка литературы (76 наименований), изложена на 109 страницах и содержит 21 рисунок и 2 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Во введении обоснована актуальность исследуемой проблемы, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, перечислены полученные в диссертации новые результаты, их практическая ценность, а также приведены положения, выносимые на защиту.

Глава 1. Обзор литературы по исследованию щелочно-галоидных молекул и анизотропии фотодиссоциации в процессе фотодиссоциации молекул.

В первой главе приведен обзор литературы по теме диссертационной работы. Обзор состоит из трех основных частей. В первой части рассматриваются исследования анизотропии разлета фотофрагментов, образующихся при фотодиссоциации молекул, которые были выполнены до начала данной работы. Во второй части рассматриваются теоретические и экспериментальные аспекты различных методик исследований анизотропии угловых моментов фотофрагментов. Описаны основные результаты, полученные до момента опубликования основных результатов диссертации, а также сформулированы основные цели настоящего исследования. В третьей части первой главы рассмотрены исследования спектров поглощения и потенциальных кривых щелочно-галоидных молекул.

Глава 2. Исследования угловых распределений спиновой поляризации фотофрагментов при фотодиссоциации молекулы RbI через второе возбужденное состояние

Во данной главе рассматриваются теоретические и экспериментальные аспекты различных методик исследований анизотропии угловых моментов фотодиссоциации RbI через второе возбужденное состояние.

Для проведения эксперимента по исследованию фотодиссоциации атомов Rb при помощи суб-доплеровской фарадеевской регистрации была разработана методика и создана экспериментальная установка. За основу был взят метод детектирования анизотропии, сочетающий в себе фотодиссоциацию молекул импульсным излучением с последующим детектированием образующихся атомных фотофрагментов нерезонансным пробным излучением [6]. Геометрия эксперимента приведена на Рис. 1

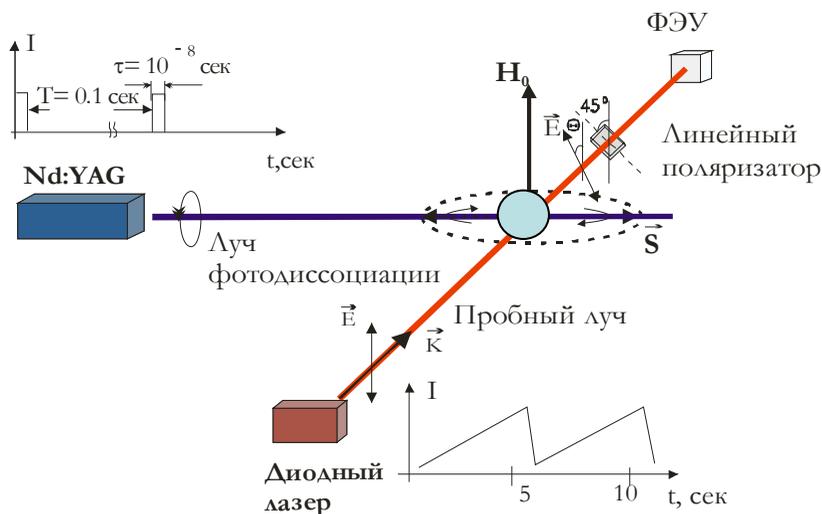


Рис. 1. Методика эксперимента суб-доплеровской фарадеевской регистрации.

В результате импульса фотодиссоциации в зоне реакции в поглощающей ячейке образовывались спин-поляризованные атомы рубидия. Наличие спин-поляризованных атомов приводило к возникновению макроскопического магнитного момента атомных паров, которое проявлялось в повороте плоскости поляризации пробного излучения прошедшего через поглощающую ячейку. Для детектирования образовавшихся атомов использовалось узкополосное (ширина линии ≈ 1 МГц) излучение перестраиваемого диодного лазера, с длиной волны сканировавшейся в области $\lambda \approx 780$ нм, соответствовавшей D_2 линии поглощения атомов Rb. Поворот на угол θ плоскости поляризации пробного излучения прошедшего через пар фотофрагментов детектировался при помощи анализатора поляризации, установленного перед фотоприемником. Для разделения вкладов, обусловленных поглощением пробного излучения атомными парами и поворотом плоскости поляризации, вызванного наличием спин-ориентированных атомов использовалось внешнее магнитное поле H_0 , направленное перпендикулярно плоскости распространения пробного и

диссоциирующего излучения, что проявлялось в осцилляциях в экспериментальном сигнале.

При помощи суммирования и вычитания сигналов, полученных для лево- и правоциркулярно поляризованного диссоциирующего излучения, были выделены компоненты пропорциональные поглощению пробного излучения фотофрагментами (называемая “сигналом поглощения”) и степени спиновой ориентации их магнитных моментов (“сигнал ориентации”), соответственно. С использованием сигналов “поглощения” и “ориентации”, записанных для различных отстроек частоты пробного излучения от центра атомной линии поглощения, были получены профили поглощения $I(\omega-\omega_0)$ и дисперсии $S''(\omega-\omega_0)$, содержащие информацию о параметрах анизотропии нулевого $K=0(\beta)$ и первого $K=1$ (α_1 и γ_1) порядков, которые составляют полный набор параметров для данной реакции [6].

Глава 3. Обработка экспериментальных результатов. Определение амплитуд и фаз матрицы фотодиссоциации.

В данной главе рассматривается методика определения полного набора значений параметров анизотропии из экспериментальных сигналов, а также вычисления с их помощью амплитуд и фаз матрицы фотодиссоциации. В эксперименте был измерен набор параметров анизотропии нулевого $K=0$ и первого $K=1$ порядков в реакции фотодиссоциации молекулы RbI лазерным излучением с длиной волны 266нм для, при помощи которых были определены разности фаз и соотношение интенсивностей соответствующих параллельному и перпендикулярному каналам перехода.

Определение величины параметра анизотропии нулевого ранга проводилось при помощи выражения для интенсивности прошедшего излучения $I(\omega-\omega_0)$, содержащего мультиполь нулевого ранга $K=0$, зависящий от β [6]:

$$I(\omega - \omega_0) = K' \frac{\left| \langle F_e \parallel d \parallel F_g \rangle \right|^2}{\sqrt{2F_g + 1}} \int d^3V \frac{\rho_{00}^{F_g}(\mathbf{V}) \Gamma / 2}{(\Delta\omega - \mathbf{kV})^2 + \frac{\Gamma^2}{4}} \quad (1.1)$$

, где $\langle F_e \parallel d \parallel F_g \rangle$ – приведенный матричный элемент оптического перехода в атоме $F_e \leftarrow F_g$, Γ – скорость распада возбужденного состояния F_e , \mathbf{V} – вектор относительной скорости разлета фотофрагментов, \mathbf{k} – волновой вектор пробного излучения, K' – константа, пропорциональная интенсивности пробного излучения, $\Delta\omega = \omega - \omega_0$, где, ω_0 – частота центра линии поглощения фотофрагмента, $\rho_{00}^{F_g}(\mathbf{V})$ – атомный мультипольный момент состояния [11] ранга $\mathbf{K}=0$, который пропорционален концентрации атомных фотофрагментов и зависит от параметра анизотропии нулевого ранга β

Определение значений параметров анизотропии первого ранга α_1 и γ_1 производилось при помощи выражения для модифицированного параметра Стокса, представляющего собой амплитуду сигнала ориентации в момент времени лазерного импульса $t=0$, нормированную на интегральное поглощение пробного излучения атомами рубидия [13]

$$S_2''(\omega) = \frac{I_+ - I_-}{2 \int I^{abs}(\omega) d\omega} = (-1)^{J_g + J_e} \frac{3}{C' \pi \sqrt{2}} (2F_g + 1) (2J_g + 1)^2 \times$$

$$\times \left[\begin{matrix} J_g & J_g & 1 \\ F_g & F_g & I \end{matrix} \right]^2 \left\{ \begin{matrix} 1 & J_g & J_g \\ J_e & 1 & 1 \end{matrix} \right\} \times D_{10}^{J_g}(\omega) \quad (1.2)$$

где I_+ и I_- это интенсивности пробного излучения после прохождения поглощающей ячейки, соответствующие право- и лево- циркулярно поляризованному диссоциирующему излучению, множители в фигурных скобках – 6-j символы [11], F_g – полный угловой момент состояния сверхтонкой структуры атома рубидия, соответствующий основному ($5^2S_{1/2}$) состоянию, J_g и J_e – угловые моменты основного и

возбужденного состояний атома, а выражение $D_{10}^{J_g}(\omega)$ может быть представлено в виде:

$$D_{10}^{J_g}(\omega - \omega_0) = K' \frac{\left| \langle F_e \parallel d \parallel F_g \rangle \right|^2}{\sqrt{2F_g + 1}} \int d^3V \frac{\rho_{10}^{J_g}(\mathbf{V}) \cdot (\Delta\omega - \mathbf{kV})}{(\Delta\omega - \mathbf{kV})^2 + \frac{\Gamma^2}{4}} \quad (1.3)$$

где $\rho_{10}^{J_g}$ - мультипольный момент первого ранга, зависящий от параметров анизотропии α_i и γ_i .

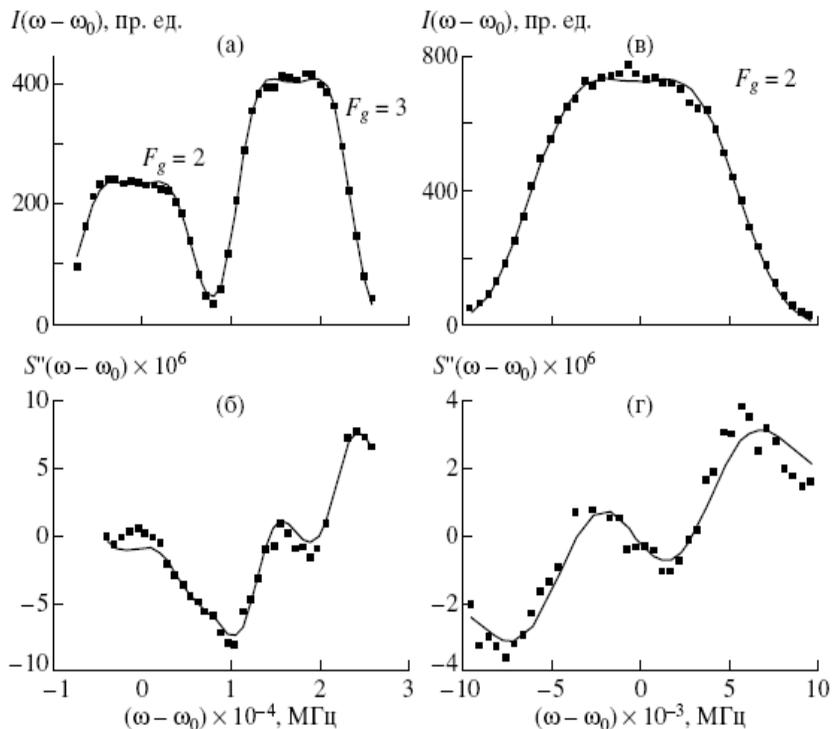


Рис. 2 Экспериментальные профили поглощения $I(\omega - \omega_0)$ и дисперсии $S''(\omega - \omega_0)$, полученные для изотопов ^{87}Rb (справа) и ^{85}Rb (слева). Точки соответствуют экспериментальным значениям, кривые являются результатом подгонки согласно выражениям (1.1) и (1.2).

Для экспериментальных профилей поглощения $I(\omega-\omega_0)$ и дисперсии $S''(\omega-\omega_0)$, показанных на Рис. 2, проводилась подгонка с помощью выражений (1.1) и (1.2). В результате были получены значения параметров анизотропии разлета фотофрагментов $\beta=0.48\pm 0.08$ и спиновой ориентации $\alpha_1=0.138\pm 0.02$ и $\gamma_1=-0.386\pm 0.06$ [13], соответствующих различным механизмам спиновой ориентации молекул. Параметр α_1 описывает спиновую поляризацию атомов, образующихся в результате перпендикулярных переходов $\Omega = 0 \rightarrow \Omega = 1$ в молекуле, в то время как параметр γ_1 описывает спиновую ориентацию фотофрагментов, возникающую в результате когерентного возбуждения параллельного и перпендикулярного переходов. Параметры α_1 и γ_1 содержат важную информацию об отношении амплитуд параллельного и перпендикулярного переходов, а также разности фаз в параллельном и перпендикулярном каналах реакции.

Используя экспериментальные значения параметров анизотропии, теоретические выражения для динамических функций через амплитуды и фазы волновых функций [10], зависимости параметров анизотропии от динамических функций [2] можно получить значения отношения амплитуд матрицы неупругого рассеяния и разности фаз волновых функций. Полученные значения оказались равны $r_{\Omega=1}/r_{\Omega=0}=0.71\pm 0.15$ и $\varphi_{\Omega=1}-\varphi_{\Omega=0}=173\pm 29^\circ$ [13].

Полученные значения параметров анизотропии свидетельствуют о высокой степени спиновой ориентации атомов рубидия, что является доказательством отсутствия значительных неадиабатических переходов между каналами. Полученное значение отношения амплитуд свидетельствует о сравнимой интенсивности параллельного и перпендикулярного переходов.

Глава 4. Исследования анизотропии разлета фотофрагментов при фотодиссоциации молекулы NaI в диапазоне длин волн 315-370нм.

В данной главе рассматривается экспериментальное определение значения параметра анизотропии разлета фотофрагментов β при фотодиссоциации молекул NaI под действием излучения в диапазоне длин волн 315-370нм.

Несмотря на значительное число работ, посвященных исследованию этой молекулы [15-18], исследования зависимости значения параметра β от длины волны, позволяющее получить информацию о форме потенциальных кривых возбужденного состояния, неадиабатических переходах в молекуле NaI до настоящего момента не проводились.

В настоящей работе для определения значения параметра анизотропии измерялась форма доплеровски-уширенной линии поглощения атомов Na, образующихся при фотодиссоциации молекул NaI линейно поляризованным излучением. Схема экспериментальной установки приведена на Рис. 3.

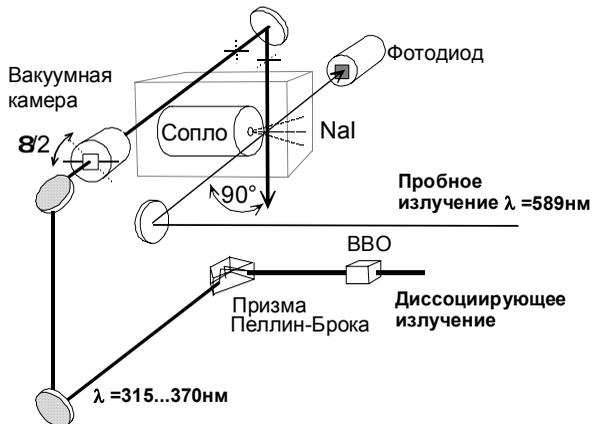


Рис. 3 Схема экспериментальной установки для исследования анизотропии фотодиссоциации NaI излучением с длиной волны 315...370нм

Под действием поляризованного импульсного ультрафиолетового излучения с длиной волны $\lambda = 315..370\text{ нм}$ происходило образование

атомов Na, которые детектировались при помощи непрерывного узкополосного линейно поляризованного лазерного излучения, с частотой, перестраиваемой в области резонансной частоты D1 линии атомов Na. Измерения проводились для двух поляризаций диссоциирующего излучения: параллельно и перпендикулярно направлению распространения пробного излучения. Полученные профили атомных линий поглощения приведенных на Рис. 4 описываются выражением [14]:

$$\Delta I_g(\Delta\omega) = A_t \int_{\frac{|\Delta\omega|}{k}}^{\infty} \left[1 + \beta P_2(\cos \vartheta) P_2\left(\frac{\Delta\omega}{kv}\right) \right] f(v) v dv \quad (1.4)$$

где $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ - отстройка частоты диодного лазера от центра атомной линии поглощения, k – волновой вектор пробного излучения, v - модуль относительной скорости фотофрагмента, A_t - константа, ϑ - угол между направлением распространения пробного излучения и направлением вектора поляризации диссоциирующего света, $f(v)$ - распределение фотофрагментов по скоростям, описываемое Гауссовым распределением, $P_2(x)$ – полином Лежандра второго порядка. Значения теоретически вычисленных и измеренных профилей для двух различных длин волн фотодиссоциирующего излучения представлены на Рис. 4

С использованием полученных значений параметра β , была впервые определена зависимость относительной интенсивности параллельных переходов $\chi_{\parallel} / (\chi_{\parallel} + \chi_{\perp})$ от длины волны фотодиссоциации, с учетом вращения молекулы за время фотодиссоциации [9]. Результаты - зависимости величины параметра анизотропии разлета фотофрагментов β и относительной интенсивности параллельных переходов от длины волны фотодиссоциирующего излучения, представлены на Рис. 5. Эти зависимости показывают, что для больших длин волн фотодиссоциирующего излучения преобладают перпендикулярные переходы, а параллельные переходы начинают играть существенную роль для малых длин волн. Это свидетельствует о том, что практически

для всей Франк-Кондоновской области потенциальная кривая состояния AO^+ находится выше кривых состояний $1(I)$ и $1(II)$.

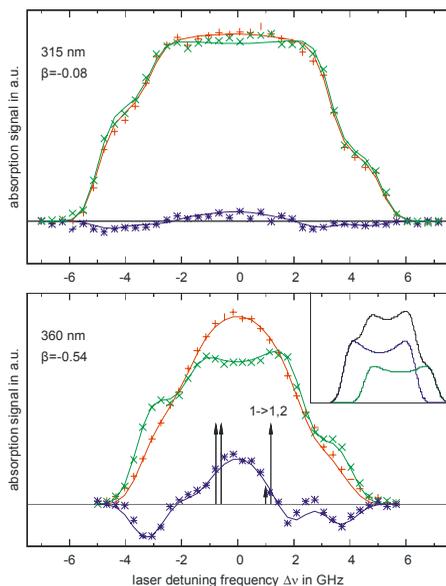


Рис. 4 Примеры подгонки профилей поглощения для длин волн фотодиссоциирующего излучения $\lambda = 315\text{nm}$ и $\lambda = 360\text{nm}$, для параллельной (+), перпендикулярной (x) поляризаций, и разностного сигнала (*). Фрагмент внизу моделирует вклад сверхтонких компонент атомной линии Na.

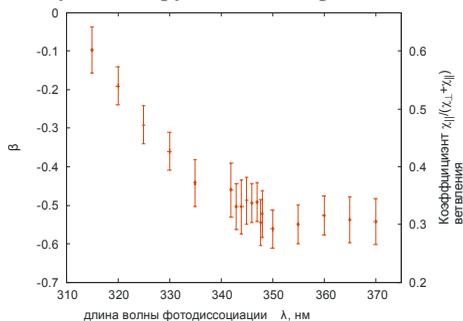


Рис. 5. Зависимость параметра анизотропии β (левая ось ординат) и относительной интенсивности параллельных переходов (правая ось ординат) от длины волны фотодиссоциации λ .

Основные результаты и выводы

- 1) Разработана и экспериментально реализована методика суб - доплеровской спектроскопии поляризованных атомных фотофрагментов с использованием эффекта Фарадея. Показана эффективность методики для экспериментального определения ориентации угловых моментов и анизотропии разлета фотофрагментов, образующихся при фотодиссоциации двухатомных молекул. Получены удобные выражения, позволяющие определять параметры анизотропии нулевого и первого ранга из эксперимента. Эти результаты были получены самостоятельно автором данной работы.
- 2) Экспериментально исследована анизотропия спин-поляризованных атомов рубидия при фотодиссоциации молекул RbI с помощью методики суб-доплеровской спектроскопии фотофрагментов. Разработаны и применены методы получения значений параметров анизотропии, в результате определен полный набор параметров анизотропии для данной реакции. Разработка и создание экспериментальной установки, эксперимент и обработка экспериментальных данных осуществлены автором самостоятельно.
- 3) Определены относительные интенсивности и разности фаз в различных каналах реакции, а также угол поворота молекулы за время фотодиссоциации. Эти результаты получены автором диссертации самостоятельно.
- 4) Исследована фотодиссоциация молекулы NaI через первое возбужденное состояние. Определен параметр анизотропии разлета фотофрагментов β в диапазоне длин волн 315-370нм и отношение интенсивностей параллельного и перпендикулярного переходов с учетом вращения молекулы. В результате получена зависимость величины параметра от длины волны с учетом вращения молекулы при диссоциации. Создание экспериментальной установки, эксперимент и интерпретация данных осуществлены в результате международного сотрудничества с участием автора диссертации.

Цитированная литература

- [1] Gordon R.J. and Hall G.E. // *Adv. Chem. Phys.* 1996, v.96, p. 1 -50
- [2] Wouters E.R., Ahmed M., Peterska D.S., Bracker A.S., Suits A.G. , Vasyutinskii O.S.// in *Imaging in Chemical Dynamics*, American Chemical Society/ edited by Suits A.G. and Continetti R.E. – Washington, DC, 2000, p.238 - 284
- [3] *Imaging in Molecular Dynamics:Technology and applications*// Cambridge University Press/ edited by Whitaker B.J. – Cambridge,2003, p.266
- [4] Васютинский О.С. // *Письма в ЖЭТФ*, 1980, т. 31, стр. 457-459
- [5] Siebbeles L.D.A., Glass-Maujean M., Vasyutinskii O.S., Beswick J.A., Roncero O., // *J.Chem. Phys.*, 1994, v.100, p. 3610-3623.
- [6] Picheyev B.V., Smolin A.G., Vayutinskii O.S., // *J.Phys.Chem. A*, 1997, v.101, p. 7614-7626
- [7] *Alkali Halide Vapours: Structure, Spectra and Reaction Dynamics* // Academic Press / edited by Davidovits P., Mc. Fadden D.L. – New York, 1979, p. 533
- [8] Happer W.// *Rev. Mod. Phys.*, 1972, v. 44, p. 169 - 249
- [9] Kuznetsov V.V., Vasyutinskii O.S. // *J. Chem.Phys.*, 2005, v.123, p. 034307 – 034307-10
- [10] G.G.Balint-Kurti, A.J.Orr-Ewing, J.A.Beswick, A.Brown, O.S. Vasyutinskii // *J.Chem.Phys.* 2002, v. 116, p. 10760 – 10771
- [11] Блум К. Теория матрицы плотности и ее приложения: Пер. с англ. – М. : Мир, 1983, - 249 с.
- [12] Варшалович Д.А., Москалев А.Н. , Херсонский В.К. Квантовая теория углового момента – М. : Наука, 1975, - 441с.
- [13] Коровин К.О., Веселов А.А., Васютинский О.С., Циммерманн Д., // *Оптика и спектроскопия*, 2005, т. 99, с. 917 - 926
- [14] Коровин К.О., Веселов А.А., Васютинский О.С., Циммерманн Д.// *Оптика и спектроскопия*, 2002, т. 93, с. 577 - 581
- [15] Schafer S.H., Bender D.,Tiemann E.//*Chem.Phys.*,1984, v.89, p.65 - 79
- [16] Su T.R. , Riley S.J. // *J. Chem. Phys.*, 1979, v.71 , p. 3194 - 3202
- [17] Anderson W.R., Wilson B.M., Ormerod R.C., Rose T.L. // *J. Chem. Phys.*, 1981, v. 74, p. 3295 - 3306

[18] Bluhm H., Lindner J., Tiemann E. // J. Chem. Phys., 1990, v.93, p.4556 – 4559

Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих публикациях:

- 1) K.O. Korovin, B.V. Picheyev, O.S. Vasyutinskii, Study of Spin – Oriented Photofragments by Doppler-Resolved Faraday Technique // EGAS – 32 European Group on Atomic Spectroscopy, Vilnius, Lithuania, 4-7 July, 2000, p. 383
- 2) K.O.Korovin, B.V. Picheyev, O.S.Vasyutinskii, H.Valipour, D. Zimmermann, Observation of Spin – Polarized Atomic Photofragment through the Doppler-Resolved Faraday Technique // J. Chem. Phys., 2000, v.112, p 2059 - 2062
- 3) K.O. Korovin, B.V. Picheyev, O.S. Vasyutinskii, H. Valipour, D. Zimmermann, Determination of Anisotropy Parameters in Photodissociation: Doppler - Resolved Faraday Detection of Photofragments // XX International Conference on Photochemistry, Moscow, Russia, July 30 - August 4, 2001, p. 315
- 4) K.O. Korovin, A.A. Veselov, O.S. Vasyutinskii, D. Zimmermann, Determination of the β Parameter in RbI Photodissociation at 266nm by Doppler Spectroscopy // EGAS – 34 European Group on Atomic Spectroscopy, Sofia, Bulgaria, 9-12 July, 2002, p. 156
- 5) К.О. Коровин, А.А. Веселов, О.С. Васютинский, D. Zimmermann Определение параметра анизотропии β в реакции фотодиссоциации молекул RbI методом суб-доплеровской спектроскопии // Оптика и спектроскопия, 2002, т. 93, №4, стр. 577
- 6) K.O. Korovin, A.A. Veselov, O.S. Vasyutinskii, D. Zimmermann, Spin Polarization of Photofragments: Determination of Scattering Amplitudes and Phases in RbI Photodissociation at 266nm // ECAMP – VIII European Conference on Atoms Molecules and Photons, Rennes, France, 6-10 July, 2004, v2, p. 4-64
- 7) К.О. Коровин, А.А. Веселов, О.С. Васютинский, Д. Циммерманн Определение амплитуд и фаз матрицы рассеяния при

- фотодиссоциации молекул // Оптика и спектроскопия, 2005, т. 99, стр. 917
- 8) M. Dickow, F. Konigsmann, W. Unrau, T. Liebzig, D. Zimmermann, K. Korovin, O. Vasyutinskii, Untersuchung der Prädissoziation von Natriumjodid im Molekulstrahl durch Beobachtung spin-polarisierter Na-Atome // Annual conference of German Physik Society 2005, Berlin, 4-9 March, 2005, Berlin, Germany, p. 91
 - 9) M. Dickow, F. Konigsmann, W. Unrau, T. Liebzig, D. Zimmermann, K.O. Korovin, O.S. Vasyutinskii, The investigation of NaI photodissociation at 245 - 365nm: determination of anisotropy parameters and photofragmentation matrix elements // EGAS – 37 European Group on Atomic Spectroscopy, Dublin, Ireland, 3-6 August, 2005, p. 46
 - 10) K.O. Korovin, O.S. Vasyutinskii, A. B. Alexeyev, Determination of scattering phase in RbI photodissociation: theory and experiment // 11-th European Workshop on Quantum Systems in Chemistry and Physics, St.-Petersburg, Russia, August 20-25, 2006, p.147
 - 11) K.O. Korovin, E. Heinecke, T. Liebzig, A. Patzer, O.S. Vasyutinskii, Photofragment Space Distribution in the Photodissociation of NaI in the spectral range 315 - 370 nm: the Role of Molecular Axis Rotation, ECAMP – IX European Conference on Atoms Molecules and Photons, 6-11 May 2007, Heraclion, Crete, Greece, p.228
 - 12) K. O. Korovin, E. Heinecke, T. Liebzig, O.S. Vasyutinskii, D. Zimmermann Determination of the β_0 anisotropy parameter in the photodissociation of NaI from 315 nm to 370 nm: non-axial recoil approximation – EJPD, v.44, (1), 2007, p.57
 - 13) К.О. Коровин, О.С. Васютинский, Д. Циммерманн, Определение амплитуд, фаз матрицы рассеяния и угла поворота молекулы за время распада при фотодиссоциации RbI // XVIII Международный Менделеевский конгресс по общей и прикладной химии, Москва, Россия, 23-28 сентября 2007, т. 1, стр. 275