

УДК 535.24; 535.6

Метод мониторинга молекул среды за счет их динамической самоорганизации в ансамбль электрон-ион

В. П. Лопасов

Сообщается о физической модели метода молекулярной диагностики среды по оптическому сигналу, фиксирующему результат самоорганизации ансамбля оптически активных наночастиц электрон-ион под действием коллектива полей упругого столкновения молекул-детекторов (например СО) с молекулами-источниками (N_2) и когерентной бигармонической световой волны. Обоснован принцип и механизм самоорганизации в молекулярном газе ансамбля наночастиц электрон-ион на индуцированном магнитодипольном переходе, на частоте которого генерируется сигнал, характеризующий чувствительность метода. Показано, что чувствительность предложенного метода, в среднем, на пять порядков выше, чем метода лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ-метода).

PACS: 41.20.-q

Ключевые слова: упругое столкновение молекул, бигармоническая световая волна, ансамбль наночастиц электрон-ион, положительная двухмерная обратная связь.

Введение

В спектрах поглощения [1] и переизлучения [2] молекулами H_2O , полученных в области генерации лазера на рубине при условиях очень влажной атмосферной среды N_2 , было нечто необычное. Эти спектры указывали на то, что упругость столкновения молекул при экстремальных макропараметрах среды и коллектива полей играет конструктивную роль относительно вероятности электродипольных и магнитомультитипольных переходов. Соответственно, нарушаются рамки электродипольного приближения и дисперсионного контура вращательных и колебательно-вращательных (КВ) переходов [3, 4].

Коллектив полей *состоит* из электрических $\mathbf{D}_{\perp q}^C + \mathbf{E}_{\perp q}^B + \mathbf{D}_{\perp q}^R \rightarrow \mathbf{D}_{\perp q}^{\Sigma}$ и магнитных $\mathbf{B}_{\parallel q}^C + \mathbf{H}_{\parallel q}^B + \mathbf{B}_{\parallel q}^R \rightarrow \mathbf{B}_{\parallel q}^{\Sigma}$ компонент поля упругого столкновения молекул-детекторов с молекулами-источниками электрической и магнитной индукции, бигармонической световой волны (БСВ) π -поляризации, рэлеевского рассеяния и *создает* коллектив сил Лоренца $\mathbf{F}_{e\perp\parallel q} = -e(\mathbf{D}_{\perp q}^{\Sigma} + \mathbf{v}_d \mathbf{B}_{\parallel q}^{\Sigma} / c)$ и $\mathbf{F}_{i\perp\parallel q} = i(D_{\perp q}^{\Sigma} + \mathbf{v}_i \mathbf{B}_{\parallel q}^{\Sigma} / c)$ для движущихся зарядов электрона $-e_{\perp\parallel q}$ и иона $i_{\perp q}$ каждой молекулы-детектора из объема когерентности.

Здесь $q = 1, 2, 3 \dots q^* = \omega_{+q=0} / \omega_{-q=0} \approx 10^3 - 10^6$ — номер шага $T_{+q} / 4 = 10^{-15}$ н поля БСВ на разности $\omega_{-q} = \omega_{1q} - \omega_{2q}$ и сумме $\omega_{+q} = \omega_{1q} + \omega_{2q}$ частот в моменты $t'_q = (q-1/2)T_{+q} / 2$ смены знака \pm амплитудной \perp модуляции ортогонально оси Z и в моменты $t''_q = qT_{+q} / 2$ смены знака \mp фазовой \parallel модуляции вдоль оси Z распространения БСВ.

Результат [1] получен на скоростном лазерном спектрометре в слабом поле БСВ π -поляризации и содержал десять (вместо одного) КВ-перехода молекулы H_2O . Коэффициент поглощения в центре этих переходов был на *четыре порядка* меньше (показано через 35 лет [5] для доплеровского контура при измерении континуального поглощения) того, который могла зарегистрировать использованная в [1] аппаратура. Результат [2] был зарегистрирован в 1973 г. (опубликован через 24 года) с помощью ВРЛ-спектрометра при условиях очень влажной атмосферной среды N_2 и состоял в обнаружении мощного монохроматического сигнала, который молекулы H_2O сформировали вблизи центра самого вероятного (из десяти) КВ-перехода.

Результаты контрольных экспериментов [6, 7] и тщательный анализ роли коллектива полей в формировании дисперсионного контура вращательных (или КВ) переходов привели к следующему выводу [8, 9]. Коллектив полей при экстремальных макропараметрах среды и когерентной БСВ "запускает" по V -схеме переходов молекул-детекторов (H_2O) механизм положительной двух-

Лопасов Владимир Павлович, ведущий научный сотрудник.
Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева.
Россия, 634021, г. Томск, пл. Ак. Зуева, 1.
E-mail: lopas@iao.ru

Статья поступила в редакцию 20 июля 2011 г.

мерной обратной связи (ДОС) между низкочастотным опорным колебанием штарковской энергии и высокочастотным сигнальным колебанием зеемановской энергии. Механизм ДОС управляет квантовыми событиями и самоорганизацией в газе H_2O+N_2 ансамбля наночастиц электрон-ион на магнитодипольном переходе, индуцированном в области слабо разрешенного магнитомультipoльного перехода молекул-детекторов H_2O .

В работе [10] показано, что механизм ДОС "запускается" в молекулах-детекторах (H_2O), если выполнены *шесть* требований:

- 1) к V -схеме переходов;
- 2) к объему когерентности V_* ;
- 3) к масштабу флуктуаций "энергия—угловой момент" в молекулах-детекторах;
- 4) к двумерному параметрическому резонансу;
- 5) к соотношению интенсивностей $I_1/I_2 \neq 1$ БСВ;
- 6) к числу молекул-источников N_b , фотонов БСВ и молекул-детекторов N_D в объеме V_* .

Механизм ДОС позволяет решать различные прикладные задачи.

В данной работе обосновывается принцип и механизм самоорганизации ансамбля оптически активных наночастиц электрон-ион, ведущий к сигналу, характеризующему чувствительность нового метода молекулярной диагностики среды.

Принцип и механизм самоорганизации ансамбля диамагнитных наночастиц в пико- и фемтосекундном масштабе БСВ

Функциональной основой перечисленных требований являются *три* физических фактора.

Во-первых, молекулы-детекторы должны иметь разрешенный низкочастотный опорный электродипольный и слабо разрешенный высокочастотный сигнальный магнитомультipoльный КВ- (или вращательные) переходы, объединенные низшим состоянием в V -схему.

Во-вторых, V -схема переходов каждой молекулы-детектора должна выполнять две функции: фазосдвигающего элемента и "скважины" для регулярного, резонансного и когерентного приема электрической и диамагнитной энергии от коллектива полей.

В-третьих, скорости релаксации электронной (e), колебательной (V), вращательной (R) энергий и энергии поступательного движения (T) молекулы-детектора должны быть намного меньше шага $T_{+q}/4 \approx 10^{-15}$ с воздействия на нее управляющего поля БСВ.

Три фактора открывают возможность "запуска" механизма ДОС в молекулах-детекторах за счет реализации принципа Ферма, сущность которого

состоит в следующем [11]. Свет распространяется в экстремальных метаматериалах по траектории, минимизирующей оптическую длину пути света так, что интеграл $\int_{A'}^{A''} n(\mathbf{r})d\mathbf{r}$ является стационарным по отношению к варьированию пути $A'A''$ или $\delta \int_{A'}^{A''} n(\mathbf{r})d\mathbf{r} = 0$. При этом тензоры $\epsilon(\mathbf{r})$ и $\mu(\mathbf{r})$ распределяются в пространстве так, что комплексный показатель преломления среды равен $n(\mathbf{r}) = [\epsilon(\mathbf{r})\mu(\mathbf{r})]^{1/2} = n - i\eta$ и, искривляя траекторию луча, минимизирует его путь.

Принцип Ферма реализуется в молекулярном газе, динамически связанном в заданном объеме когерентности V_* полем БСВ видимого или УФ-диапазона, если два первых фактора выполнят функцию базового и рабочего "ключей", а третий — "спускового крючка". Базовым "ключом" является двумерный параметрический резонанс по энергии (интерференция поля молекул-детекторов и коллектива полей) между частотами ω_{-q} , ω_{+q} коллектива полей $\mathbf{D}_{\perp q}^{\Sigma}$, $\mathbf{B}_{\parallel q}^{\Sigma}$ и вращательными (или КВ) переходами

$$|1, \pm 1\rangle \rightarrow |0\rangle \leftrightarrow |J, \pm M_J\rangle, \quad (1)$$

объединенными состоянием $|0\rangle$ в V -схему (1). Здесь J и M_J — квантовые числа углового момента молекулы-детектора в состоянии $|J, \pm M_J\rangle$ и его проекции на ось Z . Переходы (1) подбираются так, что поле упругого столкновения, нарушая симметрию электронных оболочек молекулы-детектора, индуцирует в ней не только электрические $\mathbf{d}_{e\perp q} \approx \delta\alpha_{\perp q} \mathbf{D}_{\perp q}^C$ и магнитные $\mathbf{d}_{m\parallel q} \approx -\delta\chi_{d\parallel q} \mathbf{B}_{\parallel q}^C$ дипольные моменты, но также слагаемые, характеризующие градиент поля и тензор гирации. Эти слагаемые выполняют функцию диамагнитных наноловушек электрона $-e_{\perp\parallel q}$ и иона $i_{\perp q}$ молекул-детекторов. Здесь $\delta\alpha_{\perp q}$ и $-\delta\chi_{d\parallel q}$ — колебания в молекуле-детекторе электрической поляризуемости ортогонально и диамагнитной восприимчивости вдоль оси Z .

Функцию рабочего "ключа" выполняет знакопеременная \pm амплитудная \perp и \mp фазовая \parallel модуляции БСВ, которые возникают в молекулах-детекторах за счет асимметрии интенсивностей $I_1/I_2 \neq 1$ двух полей БСВ. Рабочий "ключ" управляет движением зарядов $-e_{\perp\parallel q}$, $i_{\perp q}$ и, соответственно, частотой колебания дипольных моментов $\mathbf{d}_{e\perp q} + \dots$ и $\mathbf{d}_{m\parallel q} + \dots$, индуцированных в молекуле-детекторе полем упругого столкновения ортогонально и вдоль оси Z . "Спусковым крючком" служит "амплитудно-фазовый захват" (моменты вре-

мени t'_q и t''_q) частот колебания индуцированных моментов $\mathbf{d}_{e\perp q}$, $\mathbf{d}_{m\parallel q}$ по V -схеме (1) частотами ω_{-q} и ω_{+q} БСВ в двухмерный параметрический резонанс.

Как следствие, в молекулах-детекторах по V -схеме переходов неаддитивно растет диамагнитная энергия связи зарядов $-e_{\perp\parallel q}$ и $i_{\perp q}$, а в момент $t''_{q=2}$ во всем объеме V^* "запускается" механизм ДОС между колебаниями энергий эффекта Штарка $\delta U_{St\perp q} \approx \mathbf{d}_{e\perp q}^C \mathbf{D}_{\perp q}^\Sigma(\mathbf{r}_{\perp q}, t'_q)$ на частоте ω_{-q} ортогонально и эффекта Зеемана $\delta U_{Ze\parallel q} \approx \mathbf{d}_{m\parallel q}^C \mathbf{B}_{\parallel q}^\Sigma(\mathbf{r}_{\parallel q}, t''_q)$ на частоте ω_{+q} вдоль оси Z . Здесь $\mathbf{r}_{\perp q=0} \rightarrow \lambda_{+*}/4$ и $\mathbf{r}_{\parallel q=0} \rightarrow \lambda_{+*}/2$ — радиус-векторы, проведенные из начала координат молекулы-детектора ортогонально и вдоль оси Z в точки нахождения электронов в моменты t'_q и t''_q .

Реализация механизма ДОС в молекулярном газе

Механизм ДОС через коллектив сил Лоренца формирует темп разбегания зарядов $-e_{\perp\parallel q}$, $i_{\perp q}$ по V -схеме переходов каждой молекулы-детектора и структуризации диамагнитных наноловушек по объему V^* в амплитудно-фазовую зонную пластинку Френеля с криволинейным профилем. Зонная пластинка выполняет функцию "плоской микролинзовой системы" (магнитооптический аналог "плоской линзы" [12]), обеспечивающей идеальные фазовые соотношения между коллективом полей по объему V^* в рамках 4-мерного соотношения неопределенности – четные и нечетные зоны "работают в фазе".

Поскольку время молекулярных релаксаций $\tau_{V-V} \approx \tau_{R-T} \approx 10^{-8} \text{ с} \gg \tau_{R-R} \approx 10^{-10} \text{ с}$ в атмосфере больше длительности их упругого столкновения $\tau_{ec} \approx 10^{-11} \text{ с}$ [13] и, тем более, регулярного $T_{+q}/4 \approx 10^{-15} \text{ с}$ накопления энергий $\delta U_{St\perp q}$, $\delta U_{Z\parallel q}$ и орбитального момента $\delta r_q \delta p_q$ по V -схеме, то к концу цикла

$$\Delta t_{0*} = 4 \sum_{q=0}^{q*} q T_{+q} / 4 \approx 10^{-12} \text{ с} < \tau_{ec} \leq 10^{-11} \text{ с} \quad (2)$$

вращательно-колебательно-поступательное движение молекул-детекторов "замораживается" до величины, соответствующей низшему состоянию в (1). Как следствие, коллектив полей эволюционирует в поле стоячей волны σ^\pm -поляризации (СВЭП), а молекулы-детекторы — в ансамбль анизотропных $\perp\parallel q$ оптически активных наночастиц электрон-ион на сигнальном магнитодипольном нежестком

электронном переходе (НЭП), индуцированном в области слабо разрешенного магнитодипольного перехода. Индуцированный магнитодипольный НЭП является магнитооптическим аналогом естественного НЭП обменного типа [14].

Анизотропное $\perp\parallel q$ накопление на сигнальном переходе пороговых энергий

$$N_D \sum_{q=0}^{q*} q \delta U_{St\perp q} \gg N_D \sum_{q=0}^{q*} q \delta U_{Z\parallel q} \gg N_D h B_{q=0} \quad (3)$$

разделяет совокупность молекул-детекторов N_D на заряды $i_{\perp q}$, $-e_{\perp\parallel q}$ и локализует их на состоянии $|0\rangle$ и на M_J -подуровнях состояния $|J, \pm M_J\rangle$, соответственно, при этом $B_{q=0}$ — исходная вращательная постоянная молекул-детекторов. Ансамбль наночастиц имеет форму многослойного (по числу зон Френеля) "оптического соленоидарезонатора" в фазе "замороженного газа" с пространственно-временным упорядочением.

Таким образом, механизм ДОС, управляя квантовыми событиями в молекулах-детекторах и самоорганизацией в молекулярном газе ансамбля анизотропных $\perp\parallel^*$ оптически активных наночастиц электрон-ион, создает комплексный показатель преломления $n(\mathbf{r}_{\perp\parallel*}, t_*) = [\epsilon(\mathbf{r}_{\perp*}, t'_*) \cdot \mu(\mathbf{r}_{\parallel*}, t'')]^{1/2} = n_{\perp*} - i\eta_{\parallel*}$, упорядоченный как в пространстве, так и во времени.

Механизм положительной ДОС укладывается в рамки теории взаимодействия света с веществом [15] и подтверждается результатами [1, 2, 5—9]. Косвенно, механизм ДОС подтверждается результатами: исследования динамики анизотропного межмолекулярного взаимодействия [16, 17] и внутримолекулярной квантовой динамики [18]; фазового контроля спонтанного излучения [19] и безынервного усиления излучения [20] путем изменения фазы управляющего поля и неразрушающих квантовых измерений [21].

Ансамбль наночастиц обладает: комплексным показателем преломления $n(\pm\Omega_{L\perp*}, \lambda_{+*}) \approx n_{\perp*} - i2\pi\chi_{d\parallel*}(N_D + N_b)$; свойством кругового двулучепреломления; выстроенными проекциями орбитального углового момента наночастиц на направление вектора $\mathbf{B}_{\parallel*}^\Sigma$ поля СВЭП.

Совпадение узлов $\mathbf{D}_{\perp*}^\Sigma$ и пучностей $\mathbf{B}_{\parallel*}^\Sigma$ напряженности (как в резонаторе лазера) поля СВЭП на каждом $\lambda_{+*}/4$ связывает движение зарядов $-e_{\perp\parallel q}$ и $i_{\perp q}$ ортогонально зонам Френеля на частоте амплитудной модуляции $\omega_{-q=0} \rightarrow \pm\Omega_{L\perp*} \approx \text{const}$ и вдоль зон Френеля на несущей частоте

$\omega_{+q=0} \rightarrow \omega_{+*} \approx \omega_{0J*} = \text{const}$ с частотой фазовой модуляции $\mp \Omega_{\parallel*} \approx \pm \Omega_{L\perp*} \approx \text{const}$.

В момент окончания двухмерного цикла (2) накопительный режим механизма ДОС преобразуется в режим автоколебания энергий, накопленных наночастицами и СВЭП. При этом ансамбль наночастиц резонансно преобразует поле БСВ π -поляризации в сигнал σ -поляризации "вперед или назад" на частоте $\omega_{+*} \approx \omega_{0J*} = \text{const}$ индуцированного магнитодипольного НЭП в замкнутом цикле "испускание—поглощение". Сигнал σ -поляризации имеет Винтовой фронт, Когерентность m -го порядка [22], Большой орбитальный момент (ВКБ-сигнал) и характеризует чувствительность ВКБ-метода к молекулам-детекторам.

ВКБ-сигнал фиксирует момент времени, когда в объеме когерентности V_* , равном объему "оптического соленоида—резонатора", самоорганизуется ансамбль оптически активных наночастиц на индуцированном НЭП. Величина ВКБ-сигнала зависит от длины когерентности Δz_* и энергии $U(\omega_{BLW})$ БСВ π -поляризации, а также от сечения максимальной зоны Френеля πr_{nfo}^2 в расчете на N_D наночастиц (молекул-детекторов)

$$U(\omega_{+*}) \approx \Delta z_* U(\omega_{BLW}) \pi r_{nfo}^2 N_D. \quad (4)$$

Поскольку поле БСВ преобразуется в ВКБ-сигнал в замкнутом цикле "испускание—поглощение", то эффективность преобразования может достигать ~100 %.

Концентрационная чувствительность ВКБ-метода

В таблице на примере молекулы СО приведено сравнение чувствительности ЛИФ-метода и ВКБ-метода.

ЛИФ-метод состоит в возбуждении молекул на лазерной частоте ω_{las} и регистрации флуоресцентного сигнала на смещенной частоте ω_F ; энергия сигнала линейно зависит от концентрации анализируемой компоненты. Сигнал флуоресценции,

дистанционно зарегистрированный из исследуемого объема в атмосфере [23], равен

$$U(\omega_F, \Delta z) = \eta_{os} T_F T_{las} \frac{c \tau_F}{2} U(\omega_{las}) \frac{d\sigma_F}{d\Omega} N_F \frac{\pi R_T^2}{L^2}. \quad (5)$$

Здесь η_{os} — пропускание оптической системы, T_F и T_{las} — пропускание атмосферы на частотах ω_F и ω_{las} , $\tau_F \approx 2\Delta z / c$ — время отклика фотоприемника на сигнал флуоресценции из исследуемого объема, $U(\omega_{las})$ — энергия зондирующего излучения, $d\sigma_F / d\Omega$ — дифференциальное сечение флуоресценции в расчете на одну молекулу СО, N_F — концентрация флуоресцирующих молекул, R_T и L — радиус приемного телескопа и расстояние до исследуемого объема в атмосфере. Если считать чувствительность регистрирующей аппаратуры на уровне $\Delta U(v_F) \approx 8,3 \cdot 10^{-19}$ Дж (т. е. на уровне одного фотона) при $\eta_{os} = 0,1$, $T_F = T_{las} = 1$, $c\tau_F/2 = 150$ см, $U(\omega_{las}) = 0,1$ Дж, $d\sigma_F / d\Omega = 4 \cdot 10^{-20}$ см²/ср, $R_T = 10$ см и $L = 10^5$ см, то концентрационная чувствительность ЛИФ-метода составит

$$N_F = \Delta U(\omega_F) / \left(\eta_{os} T_F T_L \frac{c \tau_F}{2} U(\omega_{las}) \frac{d\sigma_F}{d\Omega} \frac{\pi R_T^2}{L^2} \right) \approx 0,4 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}. \quad (6)$$

ВКБ-метод состоит в таком возмущении молекул-детекторов (СО) по V -схеме коллективом полей, при котором совокупность N_D молекул СО эволюционирует в ансамбль наночастиц электрон-ион за время $\sim 10^{-12}$ с, т. е. меньше длительности бинарного столкновения молекул СО—N₂. Затем ансамбль наночастиц преобразует поле БСВ π -поляризации в сигнал σ -поляризации "назад" на частоте $\omega_{+*} \approx \omega_{0J*} = \text{const}$ индуцированного магнитодипольного перехода в замкнутом цикле "испускание—поглощение", т. е. со ~100 % эффективностью по накачке. ВКБ-сигнал линейно зависит от концентрации наночастиц N_D , а величина сигнала, зарегистрированная из исследуемого объема, имеет форму, аналогичную для ЛИФ-сигнала (6).

Метод	Переход	λ_{las} , нм	λ_F , нм	Сечение переизлучения	Концентрация, см ⁻³	Литература
ЛИФ	$A^1 \Pi - X^1 \Sigma_g^+$	151,0	239,0	$d\sigma_F/d\Omega \approx 4 \cdot 10^{-20}$ см ² /ср	$N_F \sim 10^9$ оценка	23
ВКБ	$ 1, \pm 1\rangle \rightarrow 0, 0\rangle \leftrightarrow 98, \pm 98\rangle$	539,89 и 540,1	539,97 ($5,6 \cdot 10^{14}$ с ⁻¹)	$\pi r_{nfo}^2 \approx 8,6 \cdot 10^{-3}$ см ²	$N_D \sim 10^3$ оценка	Данная статья

Если энергия БСВ преобразуется в энергию ВКБ-сигнала хотя бы с КПД $\sim 50\%$, то обеспечивается токовый режим фотоприемника, а концентрационная чувствительность ВКБ-метода в дистанционном варианте регистрации сигнала $U(\omega_{+*})$ из исследуемого объема в атмосфере составит

$$N_D = U(\omega_{+*}) / \left(\eta_{os} T_1^* T_2^* T_s^* \Delta z_* U(\omega_{BLW}) \pi r_{nfo}^2 \frac{\pi R_T^2}{L^2} \right) \approx (7) \\ \approx 0,7 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$$

при $r_{nfo} = 5,2 \cdot 10^{-2}$ см и одинаковых параметрах приемопередающей оптической системы: $U(\omega_{BLW}) = 0,1$ Дж и $U(\omega_{+*}) \approx 0,05$ Дж, $\eta_{os} = 0,1$, $T_1^* = T_2^* = T_s^* = 1$, $\Delta z_* \approx c \tau_{BLW} / 2 = 150$ см.

ВКБ-сигнал фиксирует результат самоорганизации ансамбля наночастиц. Из сравнения (6) и (7) следует, что концентрационная чувствительность ВКБ-метода превышает чувствительность ЛИФ-метода, в среднем, на *пять порядков* при одинаковых макропараметрах диагностируемой среды, дальности обнаружения и параметрах приемопередающей оптической системы.

Заключение

Подводя итог проведенным исследованиям, следует отметить, что ЛИФ-метод в настоящее время остается пока наиболее чувствительным и востребованным для дистанционной диагностики молекулярного состава атмосферы. Тем не менее, при практической его реализации имеются определенные трудности, вытекающие из его особенностей. Так, В. Демтрер [24] отмечает следующие особенности ЛИФ-метода.

1. Сечение флуоресценции сложным образом зависит от внешних условий (давления, температуры, состава газа); возникают трудности количественной интерпретации результатов диагностики молекулярной атмосферы, особенно в ее нижних слоях и для многоатомных молекул.

2. Высокая чувствительность ЛИФ-метода реализуется только при работе фотоприемника в режиме счета фотонов. Для перехода в токовый режим необходимо радикально увеличить интенсивность лазерного излучения, что невозможно из-за эффектов насыщения поглощения и пробоя атмосферы.

3. На фотоприемник наряду с полезным сигналом попадает фоновое излучение, в том числе излучение Солнца. Возникает зависимость величины S/N от времени суток, что ограничивает возможности ЛИФ-метода.

Рассмотренный в данной статье ВКБ-метод обладает следующими особенностями.

1. ВКБ-метод реализуется, если оптические свойства молекул-детекторов, молекул-источни-

ков и управляющей БСВ функционально связаны между собой.

2. Предельная чувствительность ВКБ-метода ограничена квантовыми флуктуациями энергии и орбитального момента валентного электрона молекул-детекторов в рамках четырехмерного соотношения неопределенности.

3. Пороговая чувствительность метода определяется по ВКБ-сигналу фотоприемника (токовый режим), фиксирующего результат самоорганизации ансамбля наночастиц.

4. ВКБ-сигнал регистрируется фотоприемником, построенным на электрооптическом или магнитооптическом принципах. В последнем случае величина S/N не зависит от времени суток.

5. Избирательная способность ВКБ-метода позволяет различать изотопические модификации молекул-детекторов в силу взаимоусиления селективных свойств двухмерного параметрического резонанса между V -схемой переходов молекул-детекторов и разностью, суммой частот БСВ, а также за счет замкнутого цикла "испускание—поглощение" в ансамбле оптически активных наночастиц; ширина спектра ВКБ-сигнала может достигать 1 Гц. Концентрационная чувствительность ВКБ-метода превышает чувствительность ЛИФ-метода, в среднем, на *пять порядков* при одинаковых макропараметрах диагностируемой среды, дальности обнаружения и параметрах приемопередающей оптической системы.

Автор благодарен В. Г. Багрову, В. Т. Калайде, М. М. Макогону и В. Н. Черепанову за помощь и полезные дискуссии.

Литература

1. Зуев В. Е., Лопасов В. П., Макогон М. М. // ДАН СССР. 1971. Т. 199. № 5. С. 1041.
2. Лопасов В. П. // Оптика атм. и океана. 1997. Т. 10. № 9. С. 996.
3. Robert D., Bonamy J. // J. de Physique. 1979. V. 40. No. 4. P. 923.
4. Каплан И. Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. — М.: Наука. 1982.
5. Тихомиров А. Б., Пташник И. В., Тихомиров Б. А. // Опт. и спектр. 2006. Т. 101. С. 86.
6. Лопасов В. П., Пономарев Ю. Н., Тихомиров Б. А. // Кв. электр. 1982. Т. 9. № 8. С. 181.
7. Кочанов В. П., Лопасов В. П., Лукьяненко С. Ф. // Известия АН СССР. Сер. Физическая. 1985. Т. 49. № 3. С. 516.
8. Лопасов В. П. // Известия вузов. Физика. 2005. № 11. С. 62.
9. Способ синтеза оптически активной диамагнитной среды. Пат. 2320979. Россия, МПК⁵¹ G01N 21/00, H01S 3/094. Лопасов В. П. — заявитель и патентообладатель. № 2006110006/28; Заявл. 28.03.2006. Опубл. 27.03.2008. Бюл. № 9.
10. Кильдишев А. В., Шалаев В. М. // УФН. 2011. Т. 181. С. 59.
11. Лопасов В. П. // Прикладная физика. 2011. № 2. С. 39.

12. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика. — М.: МГУ, 2004.
13. Флайгер У. Структура и динамика молекул. — М.: Мир, 1982. Т. 2.
14. Буренин А. В. Симметрия квантовой внутримолекулярной динамики. — Н. Новгород: ИПФ РАН, 2006.
15. Ильинский Ю. А., Келдыш Л. В. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. — М.: МГУ, 1989.
16. Salam A. // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 2000. V. 33. P. 2181.
17. Salam A. // Phys. Rev. A. 2006. V. 73. P. 013406.
18. Буренин А. В. // УФН. 2010. Т. 180. № 7. С. 745.
19. Paspalakis E., Knight P. L. // Phys. Rev. Lett. 1998. No. 81. P. 293.
20. Anton M. A. et al. // Phys. Rev. At. 2004. No. 69. P. 023801.
21. Брагинский В. Б. // УФН. 2005. Т. 175. № 6. С. 621.
22. Лоудон Р. Квантовая теория света. — М.: Мир, 1976.
23. Зуев В. Е., Макушкин Ю. С., Пономарев Ю. Н. Спектроскопия атмосферы. — Л.: Гидрометеоздат, 1987.
24. Демтредер В. Лазерная спектроскопия: основные принципы и техника эксперимента: Пер. с англ. — М.: Наука, 1985.

The method of the monitoring of medium molecules to account their dynamic self-organization to an ensemble of electron-ion nanoparticles

V. P. Lopasov

V. E. Zuev Institute of Atmospheric Optics of SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., Tomsk, 634021, Russia

E-mail: lopas@iao.ru

Investigated is the method of the molecular diagnostics on a signal fixing the result of self-organization of the electron-ion nanoparticles ensemble due to the process of correction of elastic collisions of molecule-detectors (for instance, CO) and buffer N₂ molecules by amplitude-phase fluctuations of the field bicharmonic light wave. Justified is the principle and mechanism of self-organization of nanoparticles on an induced magneto dipole transition. This transition generates a frequency signal characterizing a concentration of molecule-detectors. It is shown that a sensitivity of the offered method is, at the average, about five orders more than the sensitivity of the laser-induced fluorescence method (LIF method).

PACS: 41.20.-q

Keywords: collision of molecules, bicharmonic light wave, ensemble electron-ion nanoparticles, positive two-dimensional feedback.

Bibliography — 24 references.

Received July 20, 2011