



КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТОМУЛЬТИПОЛЬНОГО ЛАЗЕРА

В. Лопасов, д.ф.-м.н., Институт оптики
атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,
ООО "Суперпозиция", Томск; lopas@iao.ru

Обоснован принципиально новый подход к самоорганизации в системе "коллектив полей + молекулярный газ" ансамбля оптически активных наночастиц электрон-ион на подготовленном магнитомультipoльном переходе. В ансамбле наночастиц на частоте магнитомультipoльного перехода самовозбуждается генерация лазерного излучения. Это излучение имеет когерентность высокого порядка, вихревое поле σ -поляризации и большой угловой орбитальный момент.

Как известно [1], основными элементами электродипольного (ЭД) лазера являются среда из молекул (атомов), резонатор и накачка. Генерация лазерного излучения самовозбуждается в момент времени, когда между состояниями ЭД-перехода молекул (атомов) среды на частоте одной из мод резонатора достигнута пороговая инверсия населенности за счет положительной обратной связи (ПОС) между фотонами вынужденного излучения и средой. Характеристики и свойства лазерного ЭД излучения зависят от характеристик и свойств среды, резонатора и накачки.

Основными элементами магнитомультipoльного (ММ) лазера являются коллектив полей и молекулярный газ, состоящий из молекул m_b и уширяющих частиц $m_b \gg m_D$ (молекул, атомов). Молекулы имеют низкочастотный ЭД- и высокочастотный магнитный мультipoльный колебательно-вращательные переходы, объединенные низшим состоянием в V-схему:

$$k' \rightarrow k \rightleftharpoons n \quad (1)$$

Коллектив полей состоит из электрических $\vec{E}_{\parallel}^C + \vec{E}_{\perp}^B + \vec{E}_{\perp}^R = \vec{E}_{\parallel}^{\Sigma}$ и магнитных $\vec{H}_{\parallel}^C + \vec{H}_{\perp}^B + \vec{H}_{\perp}^R = \vec{H}_{\parallel}^{\Sigma}$ компонент поля упругого столкновения молекул с уширяющими частицами, бигармонической световой волны (БСВ) накачки p-поляризации и релеевского рассеяния [2, 3].

Двумерный параметрический резонанс по энергии между V-схемой переходов и

CONCEPTUAL MODEL OF A MAGNETOMULTIPOLE LASER

V. P. Lopasov, Professor, Doctor of Physical-
Mathematical Sciences
V. E. Zuev Institute of Atmospheric Optics of the
SB RAS, Open Joint-Stock Company "Superposition"
Tomsk; lopas@iao.ru

A radically new approach to self-organization in the system collective of fields + molecular gas of the ensemble of optically active electron-ion nanoparticles on a prepared magnetomultipole transition is substantiated. Laser radiation generation is self-excited in the nanoparticle ensemble at the magnetomultipole transition frequency. This radiation has high-order coherence, σ -polarized vertex field, and large orbital angular momentum.

As is well known [1], basic elements of an electric dipole (ED) laser are a medium comprising molecules (atoms), a resonator, and a pump. Laser radiation generation is self-excited at the moment of time when the threshold inversion of the population density is reached between the states of the ED transition of molecules (atoms) of the medium at the frequency of one of the resonator modes due to a positive feedback (PFB) between the photons of stimulated radiation and the medium. The characteristics and properties of ED laser radiation depend on those of the medium, the resonator, and the pump.

Basic elements of a magnetomultipole (MM) laser are a collective of fields and a molecular gas comprising molecules m_b and broadening particles $m_b \gg m_D$ (molecules or atoms). The molecules have low-frequency ED and high-frequency magnetic multipole rovibrational transitions united by the lowest state according to the V-scheme

$$k' \rightarrow k \rightleftharpoons n \quad (1)$$

The collective of fields consists of the electric, $\vec{E}_{\parallel}^C + \vec{E}_{\perp}^B + \vec{E}_{\perp}^R = \vec{E}_{\parallel}^{\Sigma}$, and magnetic components, $\vec{H}_{\parallel}^C + \vec{H}_{\perp}^B + \vec{H}_{\perp}^R = \vec{H}_{\parallel}^{\Sigma}$, of the field of elastic collisions of molecules with broadening particles, the p-polarized biharmonic pumping light wave (BLW), and the Rayleigh scattering [2, 3].



разностью, суммой частот БСВ зарождает в системе "коллектив полей + молекулярный газ" (далее по тексту в "системе" – прим. авт.) двумерную во времени-пространстве ПОС между энергиями квадратичных эффектов Штарка и Зеемана [3] в объеме когерентности БСВ. Молекулы m_D за одно упругое столкновение с частицами $m_b \gg m_D$ накапливают пороговую диамагнитную восприимчивость $-\chi_{d||}$ вдоль оси Z БСВ и, соответственно, пороговую диамагнитную энергию по V-схеме переходов на высоковозбужденном магнитном мультипольном состоянии. В "системе" самоорганизуются: 1) ансамбль оптически активных наночастиц электрон-ион на приготовленном (смешанном) ММ нежестком переходе и 2) комплексный показатель преломления ансамбля наночастиц в форме многоцилиндрического оптического "соленида-резонатора". На частоте ММ-перехода самовозбуждается генерация лазерного ММ-излучения. Характеристики и свойства ММ-излучения зависят от характеристик, свойств ансамбля наночастиц и поля БСВ накачки [4].

Цель настоящей работы – обосновать принципиально новый подход к самоорганизации ансамбля наночастиц электрон-ион на приготовленном ММ нежестком переходе и генерации на его частоте лазерного ММ-излучения.

ОТ ИСХОДНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ К КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

В спектрах поглощения [5] и переизлучения [6] молекулами H_2O , полученных с участием лазерного излучения на рубине и уширяющих частиц (молекул N_2) при атмосферном давлении, было нечто необычное. Спектр поглощения молекул H_2O [5] содержал десять (вместо одной известной) линий, полученных по классической методике "исследуемый/опорный" пучок излучения БСВ p -поляризации лазера на рубине.

The two-dimensional parametrical energy resonance between the V-scheme of transitions and the difference and summed BLW frequencies engenders the two-dimensional spatiotemporal PFB between energies of the quadratic Stark and Zeeman effects [3] in the BLW coherence volume of the system collective of fields + molecular gas (referred to as the system below). The molecules m_D accumulate the threshold diamagnetic susceptibility $-\chi_{d||}$ along the Z BLW axis in the process of a single elastic collision with particles and hence, the threshold diamagnetic energy in the V-scheme of transitions to the highly excited magnetic multipole state. In this system: 1) the ensemble of optically active electron-ion nanoparticles on the prepared (mixed) MM nonrigid transition and 2) the complex refractive index of the nanoparticle ensemble are self-organized into a multi-cylindrical optical "solenoid-resonator." Generation of MM laser radiation is self-excited at the MM transition frequency. The MM radiation characteristics and properties depend on those of nanoparticle ensemble and BLW pumping field [4].

The present work is aimed at substantiation of a radically new approach to self-organization of the electron-ion nanoparticle ensemble on the nonrigid prepared MM transition and generation of MM radiation at its frequency.

FROM INITIAL EXPERIMENTS TO A CONCEPTUAL MODEL

In the absorption [5] and re-radiation spectra [6] of H_2O molecules obtained with participation of ruby laser radiation and broadening particles (N_2 molecules) at atmospheric pressure there was something extraordinary. The absorption spectrum of H_2O molecules [5] contained ten lines (rather than one well-known line) obtained by the classical technique examined/reference beam of BLW p -polarized ruby laser radiation. The absorption coefficient in the center of 9



Коэффициент поглощения в центре девяти линий оказался на четыре порядка больше той величины, которая соответствует интенсивности этих линий [7]. В работе [6] известная линия H₂O была зарегистрирована с помощью полихроматического ВРЛ-спектрометра на рубине при тех же параметрах молекулярного газа. Известная линия поглощения уменьшила инверсию населенности в контуре излучения лазера на рубине, а вблизи центра линии поглощения возник мощный сигнал монохроматического излучения. Эти результаты выходят за рамки ЭД-приближения и полуклассической теории взаимодействия лазерного излучения с молекулярным газом при заданных параметрах среды и накачки.

Два специально поставленных эксперимента с известной линией привели к следующим результатам. Нелинейное поглощение лазерного излучения p-поляризации проявляется в аномальной области контура известной линии H₂O сильнее, чем σ-поляризации [8]. Коэффициент поглощения в аномальной области контура известной линии, полученной на ВРЛ-спектрометре, существенно зависел от частоты штарковской модуляции состояний H₂O [9].

Анализ роли параметров "системы" в формировании аномальной области контура известной линии поглощения позволяет сделать три вывода. Во-первых, вероятности ЭД- и слабого магнитного мультипольного колебательно-вращательных переходов могут радикально измениться за время одного упругого столкновения молекул с частицами при определенных параметрах коллектива полей и молекулярного газа.

Во-вторых, выйти за рамки ЭД-приближения и полуклассической теории можно путем управления квантовыми событиями внутри- и межмолекулярной динамики энергетических состояний V-схемы переходов.

В-третьих, внутренняя знакопеременная амплитудно-фазовая модуляция БСВ накачки на V-схеме переходов (1) может корректировать процесс зарождения двумерной ПОС между энергиями квадратичных эффектов Штарка и Зеемана [3, 4].

КОНСТРУКТИВНАЯ ДВУМЕРНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Физической причиной зарождения двумерной ПОС является двумерный параметрический резонанс по энергии (интерференция

lines appeared greater by four orders of magnitude than its value corresponding to the intensity of these lines [7]. In [6] the well-known H₂O line was recorded with a polychromatic ruby ICL spectrometer for the same molecular gas parameters. The well-known absorption line decreased the population density inversion in the ruby laser radiation circuit, and a high-power signal of monochromatic radiation was recorded near the center of the absorption line. These results fell beyond the scope of the ED approximation and semiclassical theory of laser radiation interaction with molecular gas having the preset parameters of the medium and pumping.

Two specially performed experiments with the well-known line gave the following results. The nonlinear absorption of p-polarized laser radiation was manifested in the anomalous region of the known H₂O line profile more strongly, than that of σ-polarized radiation [8]. The absorption coefficient in the anomalous region of the well-known line profile recorded with the ICL spectrophotometer depended significantly on the frequency of the Stark modulation of H₂O states [9].

An analysis of the role of system parameters in the formation of the anomalous region of the well-known absorption line profile allowed three conclusions to be drawn. First, the probabilities of ED and weak rovibrational magnetic multipole transitions can change radically during one elastic collision of molecules with particles for definite parameters of the collective field and molecular gas.

Second, we can go beyond the scope of the ED approximation and semiclassical theory by means of control over quantum events of intra- and intermolecular dynamics of energy states in the V-scheme of transitions.

Third, internal sign-variable amplitude-phase modulation of the pumping BLW in the V-scheme of transitions described by Eq. (1) can correct the process of origin of the two-dimensional PFB between energies of the quadratic Stark and Zeeman effects [3, 4].

TWO-DIMENSIONAL CONSTRUCTIVE FEEDBACK

The physical reason for the origin of the two-dimensional PFB is the two-dimensional parametrical energy resonance (interference between the intramolecular field and the collective field) between the V-scheme of transitions given by Eq. (1) and the difference, $2\omega_{-q} = \omega_{1q} - \omega_{2q}$, and summed frequencies, $2\omega_{+q} = \omega_{1q} + \omega_{2q}$, in the BLW coherence volume:

$$\Delta V_q = \Delta z_{|q|} \pi D_{n_{\pm q}}^2 / 4, \quad (2)$$



внутримолекулярного поля и коллектива полей) между V-схемой переходов (1) и разностью $2\omega_{-q} = \omega_{1q} - \omega_{2q}$, суммой $2\omega_{+q} = \omega_{1q} + \omega_{2q}$ частот в объеме когерентности БСВ

$$\Delta V_q = \Delta z_{\parallel q} \pi D_{\perp q}^2 / 4, \quad (2)$$

где $\Delta z_{\parallel q}$ и $D_{\perp q}$ - длина когерентности и диаметр пучка БСВ накачки. Здесь $q = 0, 1, 2, 3, \dots$, $q^* = \omega_{+q=0} / \omega_{-q=0} \approx 10^1 + 10^6$ - номер шага $T_{+q} / 4 \leq 10^{-15}$ с поля БСВ в моменты $t'_q = (q-1/2)T_{+q} / 2$ смены знака \pm амплитудной модуляции ортогонально оси Z и в моменты $t''_q = qT_{+q} / 2$ смены знака \mp фазовой модуляции вдоль оси Z распространения БСВ.

Поле упругого столкновения, нарушая симметрию электронных оболочек молекулы, индуцирует в ней электрический $\vec{d}_{e\perp q} \approx \delta\alpha_{\perp q} \vec{E}_{\perp q}^C + \dots$ и магнитный $\vec{d}_{m\parallel q} \approx -\delta\chi_{d\parallel q} \vec{B}_{\parallel q}^C + \dots$ дипольные моменты, а также его слагаемые, характеризующие градиент поля и тензор гирации g. Эти слагаемые создают диамагнитную ловушку электрона $-e_{\perp\parallel q}$ и иона $i_{\perp q}$ молекулы при их разбегании под действием сил Лоренца и Кориолиса. Здесь $\delta\alpha_{\perp q}$ и $-\delta\chi_{d\parallel q}$ - флуктуации электрической поляризуемости ортогонально и диамагнитной восприимчивости по оси Z БСВ.

Для реализации фазовой модуляции БСВ и зарождения двумерной ПОС необходимо задать достаточную асимметрию поля $\vec{E}_{1q} / \vec{E}_{2q} \neq 1$ и достаточное число уширяющих частиц, фотонов БСВ накачки и молекул $m_b \gg N_{ph} \gg m_D$ в объеме ΔV_q (2). Знакопеременная амплитудно-фазовая модуляция БСВ корректирует разбегание зарядов $-e_{\perp\parallel q}, i_{\perp q}$ и, соответственно, частоту флуктуации дипольных моментов $\vec{d}_{e\perp q}$ и $\vec{d}_{m\parallel q}$.

"Спусковым крючком" зарождения двумерной ПОС служит амплитудно-фазовый шаг $T_{+q} / 4$, где флуктуации моментов $\vec{d}_{e\perp q}, \vec{d}_{m\parallel q}$ на частотах V-схемы (1) захвачены частотами ω_{-q} и ω_{+q} БСВ в двумерный параметрический резонанс. Размер

where $\Delta z_{\parallel q}$ and $D_{\perp q}$ are the coherence length and the diameter of the BLW pumping beam. Here $q = 0, 1, 2, 3, \dots$, $q^* = \omega_{+q=0} / \omega_{-q=0} \approx 10^1 + 10^6$ is the serial number of the step $T_{+q} / 4 \leq 10^{-15}$ s of the BLW field at time moments $t'_q = (q-1/2)T_{+q} / 2$ of amplitude modulation sign change (\pm) in the direction orthogonal to the Z axis and at time moments $t''_q = qT_{+q} / 2$ of phase modulation sign change (\mp) along the Z axis of BLW propagation.

The field of elastic collision, breaking the symmetry of electronic shells of the molecule, induces in them the electric, $\vec{d}_{e\perp q} \approx \delta\alpha_{\perp q} \vec{E}_{\perp q}^C + \dots$, and magnetic, $\vec{d}_{m\parallel q} \approx -\delta\chi_{d\parallel q} \vec{B}_{\parallel q}^C + \dots$, dipole moments, and also their components characterizing the fields gradient and the gyration tensor g. These components create diamagnetic traps for the electron, $-e_{\perp\parallel q}$, and ion, $i_{\perp q}$, of the molecule that run away under the action of the Lorentz and Coriolis forces. Here $\delta\alpha_{\perp q}$ and $-\delta\chi_{d\parallel q}$ are fluctuations of the electric polarizability perpendicular to the Z axis and of the diamagnetic susceptibility along the Z axis of the BLW.

To implement the BLW phase modulation and to create the two-dimensional PFB, it is necessary to have a sufficient degree of field asymmetry $\vec{E}_{1q} / \vec{E}_{2q} \neq 1$ and a sufficient number of broadening particles, BLW pumping photons, and molecules $m_b \gg N_{ph} \gg m_D$ in the volume ΔV_q given by Eq. (2). The sign-variable BLW amplitude-phase modulation corrects running away of charges $-e_{\perp\parallel q}$ and $i_{\perp q}$, respectively, and hence, the frequency of fluctuations of the dipole moments $\vec{d}_{e\perp q}$ and $\vec{d}_{m\parallel q}$.

As a "trigger" mechanism for the origin of the two-dimensional PFB, the amplitude-phase step $T_{+q} / 4$ serves, where fluctuations of the moments $\vec{d}_{e\perp q}$ and $\vec{d}_{m\parallel q}$ at the frequencies of V-scheme (1) are locked by the BLW frequencies ω_{-q} and ω_{+q} in the two-dimensional parametrical resonance. The size of the BLW step must be less than the valence electron memory [10] of molecules $T_{+q} / 4 \leq \delta t_e \approx h / U_{H_2O} \approx 10^{-15}$ s (here U_{H_2O} is the energy of molecule ionization). As a



шага БСВ должен быть меньше памяти валентного электрона [10] молекул $T_{+q}/4 \leq \delta t_e \approx h/U_{H_2O} \approx 10^{-15} \text{c}$ (U_{H_2O} – энергия ионизации молекулы). Как следствие, возникает регулярный рост радиуса нелокальности отклика электрона между моментами t'_q и t''_q в аномальной области слабого магнитного мультипольного перехода $k \rightleftharpoons n$ (1) за счет деформации орбиты электрона упругим столкновением.

Компоненты коллектива полей $\vec{E}^\Sigma(\vec{r}_{\perp q}, t'_q)$ и $\vec{B}^\Sigma(\vec{r}_{\parallel q}, t''_q)$ перекрываются на переходах (1), возникает квадратичная нелинейность в молекулах и растет диамагнитная энергия связи зарядов $-e_{\perp \parallel q}$, $i_{\perp q}$ при их разбегании за счет сил Лоренца и Кориолиса. Как следствие, в момент $t''_{q=\oplus}$ в объеме (2) зарождается двумерная ПОС между колебаниями энергий эффекта Штарка $\delta U_{St,q} \approx \vec{d}_{e,\perp q} \vec{E}^\Sigma(\vec{r}_{\perp q}, t'_q) + \dots$ на частоте $\omega_{\perp q}$ ортогонально и эффекта Зеемана $\delta U_{Z,\parallel q} \approx \vec{d}_{m,\parallel q} \vec{B}^\Sigma(\vec{r}_{\parallel q}, t''_q) + \dots$ на частоте $\omega_{\parallel q}$ по оси Z. Здесь $\vec{r}_{\perp q=0} \rightarrow \lambda_{+q^*}/4$ и $\vec{r}_{\parallel q=0} \rightarrow \lambda_{+q^*}/2$ – радиус-векторы, проведенные из начала координат молекулы ортогонально и по оси Z в точки нахождения электрона в моменты t'_q и t''_q .

САМООРГАНИЗАЦИЯ АНСАМБЛЯ НАНОЧАСТИЦ И САМОВОЗБУЖДЕНИЕ ГЕНЕРАЦИИ

Двумерная ПОС управляет темпом разбегания зарядов $-e_{\perp \parallel q}$, $i_{\perp q}$ по V-схеме переходов молекул и эволюцией диамагнитных ловушек в амплитудно-фазовую профилированную зонную пластинку так, что четные и нечетные зоны Френеля в объеме (2) "работают в фазе". Амплитудно-фазовая зонная пластинка является магнитооптическим аналогом "фазовой" зонной пластинки [11], имеющей разную толщину четных и нечетных зон микролинзовой системы. Магнитооптический аналог позволяет плавно изменять фазу выходящей световой волны в пределах каждой зоны Френеля. При этом в аномальной области слабого магнитного мультипольного перехода $k \rightleftharpoons n$ уменьшается скорость переноса энергии $\vec{v}_{g\parallel q}$ коллектива полей до скорости электрона $\vec{v}_{g\perp \parallel q} \rightarrow \vec{v}_{g\perp \parallel q^*} \approx \vec{v}_{e,\perp \parallel q^*}$ и растет фазовая скорость БСВ $\vec{v}_{p\perp q}$. Как следствие, растет крутизна действительной части и абсолютной величины мнимой части (восприимчивости $-\chi_{d\parallel q^*}$) комплексного показателя преломления на магнитном мультипольном переходе $k \rightleftharpoons n$.

Поскольку время молекулярных релаксаций $\tau_{V-V} \approx \tau_{R-T} \approx 10^{-8} \text{c}$, $\tau_{R-R} \approx 10^{-10} \text{c}$ (при атмосферном давлении

consequence, the nonlocality radius of the electron response between the time moments t'_q and t''_q increases regularly in the anomalous region of the weak magnetic multipole transition $k \rightleftharpoons n$ given by Eq. (1) due to electron orbit deformation in the process of the elastic collision.

The collective field components $\vec{E}^\Sigma(\vec{r}_{\perp q}, t'_q)$ and $\vec{B}^\Sigma(\vec{r}_{\parallel q}, t''_q)$ are overlapped on transitions (1), the quadratic nonlinearity arises in molecules, and the diamagnetic energy of coupling of charges $-e_{\perp \parallel q}$ and $i_{\perp q}$ increases under the action of the Lorentz and Coriolis forces when they run away. As a consequence, the two-dimensional PFB arises between energy fluctuations of the Stark effect $\delta U_{St,q} \approx \vec{d}_{e,\perp q} \vec{E}^\Sigma(\vec{r}_{\perp q}, t'_q) + \dots$ at the frequency $\omega_{\perp q}$ perpendicular to the Z axis and of the Zeeman effect $\delta U_{Z,\parallel q} \approx \vec{d}_{m,\parallel q} \vec{B}^\Sigma(\vec{r}_{\parallel q}, t''_q) + \dots$ at the frequency $\omega_{\parallel q}$ along the Z axis in volume (2) at the time moment. Here $\vec{r}_{\perp q=0} \rightarrow \lambda_{+q^*}/4$ and $\vec{r}_{\parallel q=0} \rightarrow \lambda_{+q^*}/2$ are radius-vectors emanating from the origin of coordinates of the molecule perpendicular the Z axis and along the Z axis at the points of electron localization at the time moments t'_q and t''_q .

SELF-ORGANIZATION OF THE NANOPARTICLE ENSEMBLE AND SELF-EXCITATION OF GENERATION

The two-dimensional PFB controls over the velocity of charges $-e_{\perp \parallel q}$ and $i_{\perp q}$ running away in the V-scheme of transitions of molecules and over the transformation of diamagnetic traps into an amplitude-phase profiled zone plate so that the even and odd Fresnel zones in volume (2) "act in phase." The amplitude-phase zone plate is the magneto-optical analog of the "phase" zone plate [11] having different thicknesses of the even and odd zones of the microlens system. The magneto-optical analog allows the phase of the outgoing light wave to be varied smoothly within each Fresnel zone. In this case, in the anomalous region of the weak magnetic multipole transition $k \rightleftharpoons n$ the velocity of energy transfer $\vec{v}_{g\parallel q}$ of the collective field decreases down to the electron velocity $\vec{v}_{g\perp \parallel q} \rightarrow \vec{v}_{g\perp \parallel q^*} \approx \vec{v}_{e,\perp \parallel q^*}$, and the BLW phase velocity $\vec{v}_{p\perp q}$ increases. As a consequence, the steepness of the real component and the absolute value of the imaginary component (susceptibility $-\chi_{d\parallel q^*}$) of the complex refractive index increase on the magnetic multipole transition $k \rightleftharpoons n$.

Since the molecular relaxation times $\tau_{V-V} \approx \tau_{R-T} \approx 10^{-8} \text{c}$, $\tau_{R-R} \approx 10^{-10} \text{s}$ (at atmospheric pressure) is greater than the time of their elastic collision $\tau_{ec} \approx 10^{-11} \text{s}$ [12] and, the more so, than the step $T_{+q}/4$ of energy changes $\delta U_{St,q}$ and $\delta U_{Z,\parallel q}$ in the V-scheme, by the end of the cycle



нии) больше длительности их упругого столкновения $\tau_{ec} \approx 10^{-11}$ с [12] и, тем более, шага $T_{+q}/4$ изменения энергий $\delta U_{st\perp q}$, $\delta U_{z|q}$ по V-схеме, то к концу цикла

$$\Delta t'_{0g^*} = 4 \sum_{q=0}^{q^*} q T_{+q} / 4 \approx 10^{-12} c < \tau_{ec} \leq 10^{-11} c \quad (3)$$

энергия R–V–P движения молекул замораживается до низшего состояния k в (1), а энергия коллектива полей преобразуется в диамагнитную энергию высоковозбужденного магнитного мультипольного состояния, что на порядок увеличивает вероятность перехода $k \rightleftharpoons n$. При этом в "системе" самоорганизуется ансамбль оптически активных наночастиц электрон-ион на подготовленном ММ нежестком переходе $k \rightleftharpoons n$ (1). Ансамбль наночастиц имеет форму многоцилиндрического (по числу зон Френеля) оптического "соленида-резонатора" с электрическим, магнитным и механическим пространственно-временным упорядочением. Ансамбль наночастиц обладает:

$$\Delta t'_{0g^*} = 4 \sum_{q=0}^{q^*} q T_{+q} / 4 \approx 10^{-12} c < \tau_{ec} \leq 10^{-11} c \quad (3)$$

the energy of R–V–P motion of molecules is frozen down to the lowest state k in Eq. (1), and the energy of the collective field is transformed into the diamagnetic energy of the highly excited magnetic multipole state, which increases the probability of $k \rightleftharpoons n$ transition by several orders of magnitude. In this case, the ensemble of optically active electron-ion nanoparticles in the system is self-organized on the prepared nonrigid MM transition $k \rightleftharpoons n$ described by Eq. (1). The ensemble of nanoparticles acquires multi-cylindrical shape (according to the number of the Fresnel zones) of the optical "solenoid-resonator" with the electric, magnetic, and mechanical spatiotemporal ordering. The nanoparticle ensemble possesses:

- the complex refractive index
$$n(\vec{r}_{q^*}, t_{q^*}) = [\epsilon(\vec{r}_{\pm\perp q^*}, t'_{q^*}) \mu(\vec{r}_{\parallel|q^*}, t''_{q^*})]^{1/2} = n_{\pm\perp q^*} - i2\pi\chi_{d\parallel|q^*}(m_D + m_b);$$
- the property of circular birefringence;

- комплексным показателем преломления $n(\vec{r}_{q^*}, t_{q^*}) = [\epsilon(\vec{r}_{\pm q^*}, t_{q^*})\mu(\vec{r}_{\mp q^*}, t_{q^*})]^{1/2} = n_{\pm q^*} - i2\pi\chi_{d\mp||q^*}(m_D + m_b)$;
- свойством кругового двулучепреломления;
- выстроенными проекциями углового орбитального момента $L = m_D M_r \hbar$ наночастиц по вектору $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ поля стоячей волны σ^{\pm} -поляризации (СВЭП) в "соленоиде-резонаторе".

Компоненты коллектива полей $\vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma}$ и $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ в "соленоиде-резонаторе" сдвинуты по времени $T_{+q^*}/4$, а пространственное распределение их амплитуд смещено на $\lambda_{+q^*}/4$ так, что максимумы (пучности) $\vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma}$ совпадают с нулями (узлами) $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ и наоборот. В точке пространства r_{q^*} фазы $\vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma}$ (момент t_{q^*}) и $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ (момент t_{q^*}) совпадают, что указывает на наличие вектора Умова-Пойнтинга $\vec{S} \approx \vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma} \cdot \vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ для поля СВЭП в ансамбле наночастиц.

Совпадение узлов $\vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma}$ и пучностей $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ напряженности (как в резонаторе ЭД-лазера) поля СВЭП связывает движение зарядов $-e_{\pm||q^*}$ и $i_{\pm q^*}$ на каждом $\lambda_{+q^*}/4$ ортогонально зонам Френеля на частоте амплитудной модуляции $\pm\omega_{\pm q^*} \approx \pm\Omega_{L\pm q^*} \approx \text{const}$ и вдоль зон Френеля на несущей частоте $\omega_{\mp||q^*} = \omega_{\mp} \mp \Omega_{||q^*} = \text{const}$ с частотой фазовой модуляции $\mp\Omega_{||q^*} \approx \pm\Omega_{L\pm q^*} \approx \text{const}$.

В момент окончания цикла (3):

- режим двумерной ПОС преобразуется в режим автоколебания энергий (режим spin-flip) между ансамблем наночастиц электрон-ион и СВЭП;
- ансамбль наночастиц резонансно преобразует поле БСВ п-поляризации в векторное соленоидальное (вихревое) поле ММ-излучения σ -поляризации по замкнутому циклу "испускание-поглощение".

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ

Оценку характеристик и свойств ММ-излучения целесообразно начать с характеристики состояния молекулы, электрических и магнитных фотонов. Состояние молекулы характеризуется угловым моментом J и четностью P . Переход молекулы между состояниями регламентируется правилами отбора по моменту J и четности P [13]. Молекула испускает на излучательном переходе квант энергии (фотон) векторного поля со спином $S=1$. Полный угловой момент фотона – векторная сумма $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$, где L – ранг сферических функций Y_{lm} , входящих в состав волновой функции фотона.

- the built-in projections of the angular orbital nanoparticle momentum $L = m_D M_r \hbar$ along the field vector $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ of the standing $s\pm$ -polarized wave (SEPW) in the "solenoid-resonator."

The collective field components $\vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma}$ and $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ in the "solenoid-resonator" are shifted in time by $T_{+q^*}/4$, and the spatial distribution of their amplitudes are displaced by $\lambda_{+q^*}/4$, so that the $\vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma}$ maxima (antinodes) coincide with zero (nodes) $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ and vice versa. At the point of space r_{q^*} the phases of the fields $\vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma}$ (at the time moment t_{q^*}) and $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ (at the time moment t_{q^*}) coincide, which demonstrates the presence of the Umov-Pointing vector $\vec{S} \approx \vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma} \cdot \vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ for the SEPW field in the ensemble of nanoparticles.

The coincidence of the $\vec{E}_{\pm||q^*}^{\Sigma}$ nodes and $\vec{H}_{||\perp q^*}^{\Sigma}$ antinodes (as in the ED laser resonator) of SEPW fields affects the motion of charges $-e_{\pm||q^*}$ and $i_{\pm q^*}$ at each $\lambda_{+q^*}/4$ perpendicular to the Fresnel zones at the frequency of amplitude modulation $\pm\omega_{\pm q^*} \approx \pm\Omega_{L\pm q^*} \approx \text{const}$ and along the Fresnel zones at the carrier frequency $\omega_{\mp||q^*} = \omega_{\mp} \mp \Omega_{||q^*} = \text{const}$ of phase modulation $\mp\Omega_{||q^*} \approx \pm\Omega_{L\pm q^*} \approx \text{const}$.

By the moment of cycle (3) termination:

- the mode of the two-dimensional PFB is transformed into the mode of energy self-oscillations (the spin-flip mode) between the ensemble of electron-ion nanoparticles and the SEPW;
- the nanoparticle ensemble transforms resonantly the p-polarized BLW field into the solenoidal (vertex) vector field of σ -polarized MM radiation in the closed cycle "emission-absorption."

ESTIMATION OF THE RADIATION CHARACTERISTICS

It is expedient to start estimation of the characteristics and properties of MM radiation from the characteristics of the state of molecule and electric and magnetic photons. The state of molecule is characterized by the angular momentum J and parity P . The transition of the molecule between states is regulated by the selection rules for the momentum J and parity P [13]. The molecule emits on the radiative transition the quantum of energy (photon) of the vector field with spin $S=1$. The total angular momentum of the photon is the vector sum $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$, where L is the rank of the spherical functions Y_{lm} entering into the photon wave function.

The photons with orbital momentum $L = J \pm 1$ and parity $(-1)^J$ are called electric or EJ-photons. Photons with the orbital momentum $L = J$ and parity $(-1)^{J+1}$ are called magnetic or MJ-photons. Thus, ED laser



Фотоны с орбитальным моментом $L=J\pm 1$ и четностью $(-1)^J$ называют электрическими или EJ-фотонами. Фотоны с орбитальным моментом $L=J$ и четностью $(-1)^{J+1}$ называют магнитными или MJ-фотонами. Таким образом, лазерное ЭД-излучение – это совокупность электрических фотонов, каждый из которых несет энергию $\hbar\omega$. Лазерное ММ-излучение – это совокупность магнитных фотонов, каждый из которых несет энергию $\hbar\omega_{ph}$, соответствующую кванту магнитного потока $2\pi\hbar c/e$ [Дж/А] по оси Z.

Переход молекул между естественными состояниями ЭД-перехода регламентируется правилами отбора для электрического дипольного момента, ориентированного ортогонально оси Z [12]. Переход ансамбля наночастиц электрон-ион m_D между состояниями приготовленного ММ перехода регламентируется правилами отбора для магнитного дипольного момента, ориентированного по оси Z. Магнитомультипольное излучение σ -поляризации генерируется на частоте приготовленного ММ-перехода в режиме spin-flip с угловым орбитальным моментом $L_{q^*} = m_D M_{Jq} \hbar$ по оси Z.

radiation is a set of electric photons each of which carries the energy $\hbar\omega$. MM laser radiation is an ensemble of magnetic photons each of which carries energy $\hbar\omega_{ph}$ corresponding to the quantum of the magnetic flux $2\pi\hbar c/e$ [J/A] along the Z axis.

The transition of molecules between natural states of the ED transition is regulated by selection rules for the electric dipole moment oriented perpendicularly to the Z axis [12]. The transition of the ensemble of electron-ion nanoparticles m_D between the states of the prepared MM transition is regulated by selection rules for the magnetic dipole moment oriented along the Z axis. At the frequency of the prepared MM transition, σ -polarized magnetomultipole radiation is generated in the spin-flip mode with orbital angular momentum $L_{q^*} = m_D M_{Jq} \hbar$ along the Z axis.

MONOCHROMATICITY

We estimate the monochromaticity of MM radiation based on the photon lifetime $\tau_{phq^*} = \Delta z_{0q^*} / c\gamma_{q^*}$ in the coherence volume ΔV_{q^*} for the given resonator Q-factor [1]. The volume ΔV_{q^*} represents the multicylindrical optical “solenoid-resonator” with regular nonradiative losses [7] $\gamma_{q^*} = (2e^2\Omega_{\perp|q}^2) / (3m_e c^3)$ in the V-scheme. The reason of losses is the deceleration of molecule polarizability fluctuations $\delta\alpha_{\perp q}^C$ on the ED



МОНОХРОМАТИЧНОСТЬ

Монохроматичность ММ-излучения оценим по времени жизни фотона $\tau_{\text{phq}^*} = \Delta Z_{0q^*} / c\gamma_{q^*}$ в объеме когерентности ΔV_{q^*} при добротности Q резонатора [1]. Объем ΔV_{q^*} имеет форму многоцилиндрического оптического "соленида-резонатора" с регулярными безызлучательными потерями [7] $\gamma_q = (2e^2\Omega_{\perp||q}^2) / (3m_e c^3)$ по V-схеме. Причина потерь – торможение колебания поляризуемости $\delta\alpha_{\perp q}^C$ молекул на ЭД-переходе с частотой ω_{-q} и усиление колебания ее диамагнитной восприимчивости $-\delta\chi_{d||q}^C$ с накоплением (поглощением, $\gamma_q = \gamma_{\text{rad}} + \gamma_{\text{disq}}$) диамагнитной энергии на слабом магнитном мультипольном переходе с частотой ω_{+q} .

Добротность резонатора [1] можно оценить как $Q = \omega_{\text{phq}^*} / \delta\omega_{\text{phq}^*}$ – отношение резонансной частоты ω_{phq^*} моды (зоны Френеля с учетом τ_{phq^*}) к ширине линии резонатора $\delta\omega_{\text{phq}^*}$, и как $Q = 2\pi \times (\text{запасенная энергия}) / (\text{энергия, теряемая за период})$. Следовательно, монохроматичность ММ-излучения можно представить в виде

$$\delta\omega_{\text{phq}^*} \approx P_{\text{emisq}^*} / 2\pi U_{\text{storq}^*} \quad (4)$$

Условия эксперимента [6], где получен сигнал переизлучения, приводят к следующей оценке монохроматичности ММ-излучения. Диамагнитная энергия, запасенная ансамблем наночастиц и полем стоячей волны σ -поляризации, равна $U_{\text{storq}^*} \approx 2 \cdot 10^4$ эрг при $\Delta V_{q^*} \approx 0,8 \cdot 10^2 (S \approx 0,8 \text{ см}^2 \text{ и } \Delta Z_{0q^*} \approx 10^2)$. При этом мощность ММ излучения за период $T_{+q^*} = \lambda_{\text{phq}^*} / C \approx 2,31 \cdot 10^{-15}$ с будет равна $P_{\text{emisq}^*} \approx \hbar\omega_{\text{phq}^*} / T_{+q^*} = 1,23 \cdot 10^3$ на частоте $\omega_{\text{phq}^*} \approx 2,71 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$.

Из (4) следует, что пороговая монохроматичность ММ излучения составляет $\delta\omega_{\text{phq}^*} \approx 1,9 \cdot 10^{-2}$.

ПОРЯДОК КОГЕРЕНТНОСТИ [14]

Порядок когерентности ММ излучения оценим по числу молекул m_D , участвующих в самоорганизации ансамбля наночастиц и заполняющих оптический "соленид-резонатор" (2).

Критерием когерентности излучения в газе является соотношение $\vec{k}\vec{v} \cdot \tau_{\text{mil}} \equiv \ell_{\text{mil}} 2\pi / \lambda$ [15]. Поскольку $\vec{v}\tau_{\text{mil}} \approx \ell_{\text{mil}}$, то вопрос о когерентности вынужденных колебаний молекул в теории дисперсии сводится к сравнению ℓ_{mil} с λ . Здесь v и τ_{mil} – скорость и время свободного пробега молекулы; $\ell_{\text{mil}} = 1 / m_b \sigma_{\text{scat}}$ и $\sigma_{\text{scat}} \approx 8\pi k^4 |\alpha(\omega)|^2 / 3 = 3 \cdot 10^{-16}$ – длина свободного пробега и сечение релеевского рассеяния при атмосферных условиях для $\lambda \approx 500$; $\alpha(\omega)$ – поляризуемость непоглощающих ($\gamma = \gamma_{\text{rad}}$) и изолированных молекул.

transition with frequency ω_{-q} and acceleration of the diamagnetic susceptibility fluctuations $-\delta\chi_{d||q}^C$ with accumulation (absorption, $\gamma_q = \gamma_{\text{rad}} + \gamma_{\text{disq}}$) of the diamagnetic energy on weak magnetic multipole transition with the frequency ω_{+q} .

The resonator Q-factor [1] can be estimated as $Q = \omega_{\text{phq}^*} / \delta\omega_{\text{phq}^*}$ – the ratio of the resonant frequency ω_{phq^*} of the mode (the Fresnel zone with allowance for τ_{phq^*}) to the resonator linewidth $\delta\omega_{\text{phq}^*}$ or as $Q = 2\pi \times (\text{stored energy}) / (\text{energy lost for the period})$. Hence, the monochromaticity of MM radiation can be expressed in the form

$$\delta\omega_{\text{phq}^*} \approx P_{\text{emisq}^*} / 2\pi U_{\text{storq}^*} \quad (4)$$

Conditions of experiment [6] where the re-radiation signal was recorded led to the following estimate of the monochromaticity of MM radiation. The diamagnetic energy stored by the nanoparticle ensemble and by the σ -polarized standing wave field in $U_{\text{storq}^*} \approx 2 \cdot 10^4$ is equal to $\Delta V_{q^*} \approx 0,8 \cdot 10^2$ erg (S “0.8 cm² and $\Delta Z_{0q^*} \approx 10^2$). In this case, the MM radiation power at the frequency $\omega_{\text{phq}^*} \approx 2,71 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ stored for the period $T_{+q^*} = \lambda_{\text{phq}^*} / C \approx 2,31 \cdot 10^{-15}$ s will be equal to $P_{\text{emisq}^*} \approx \hbar\omega_{\text{phq}^*} / T_{+q^*} = 1,23 \cdot 10^3$.

From Eq. (4) it follows that the threshold monochromaticity of MM radiation is $\delta\omega_{\text{phq}^*} \approx 1,9 \cdot 10^{-2}$.

COHERENCE ORDER [14]

We now estimate the coherence order of MM radiation from the number of molecules m_D taking part in self-organization of the nanoparticle ensemble and filling of the optical “solenoid-resonator” described by Eq. (2).

The criterion of radiation coherence in a gas is the relationship $\vec{k}\vec{v} \cdot \tau_{\text{mil}} \equiv \ell_{\text{mil}} 2\pi / \lambda$ [15]. Since $\vec{v}\tau_{\text{mil}} \approx \ell_{\text{mil}}$, the question about coherence of stimulated oscillations of molecules in the dispersion theory is reduced to a comparison of ℓ_{mil} with λ . Here v and τ_{mil} are the velocity and the mean free path time of the molecule, respectively; $\ell_{\text{mil}} = 1 / m_b \sigma_{\text{scat}}$ and $\sigma_{\text{scat}} \approx 8\pi k^4 |\alpha(\omega)|^2 / 3 = 3 \cdot 10^{-16}$ are the free path length and the Rayleigh scattering cross section under atmospheric conditions for $\lambda \approx 500$; and $\alpha(\omega)$ is the polarizability of unabsorbing ($\gamma = \gamma_{\text{rad}}$) isolated molecules.

The molecules absorbing on the magnetic multipole transition ($\gamma_q = \gamma_{\text{rad}} + \gamma_{\text{disq}}$) and interacting via the collective of fields $\vec{D}_{\perp||q}^{\Sigma}$ and

$\vec{B}_{\perp||q}^{\Sigma}$ form the relationship $\vec{k}_{+\perp||q} \vec{v}_{D\perp q} \tau_{\text{mil}\perp q} \equiv \ell_{\text{mil}\perp q} 2\pi / \lambda_{+\perp||q}$ that has the meaning of the coherence criterion





Молекулы, поглощая на магнитном мульти-полном переходе ($\gamma_q = \gamma_{rad} + \gamma_{disq}$) и взаимодействуя между собой через коллектив полей $\vec{D}_{\perp|q}^z$, $\vec{B}_{\perp|q}^z$, формируют соотношение $\vec{k}_{\perp|q} \vec{v}_{D\perp q} \tau_{mil\perp q} \approx \ell_{mil\perp q} 2\pi/\lambda_{\perp|q}$, имеющее смысл критерия когерентности ММ излучения. Поскольку $\vec{v}_{D\perp q} \tau_{mil\perp q} \approx \ell_{mil\perp q}$, то вопрос о когерентности ММ-излучения в объеме (2) сводится к сравнению изменений $\ell_{mil\perp q}$ и $\lambda_{\perp|q}$ за время (3). Так как флуктуации $\delta\alpha_{\perp q}^c$ и $-\delta\chi_{d|q}^c$ в молекулах m_D на каждом шаге $\delta t_q \approx T_{+q}/4 = 10^{-15}$ с в поле $\vec{E}_{\perp|q}^z$, $\vec{H}_{\perp|q}^z$ синхронизованы, то $\ell_{mil\perp q}$ и $\lambda_{\perp|q}$ изменяются в объеме (2) ортогонально и вдоль оси Z поля БСВ накачки. Здесь \vec{v}_{m_0} и τ_{m_0} - скорость молекул m_0 в моменты t_q , и время их свободного пробега в окружении уширяющих частиц $m_1 \gg m_0$.

Фотоны ММ-излучения зарождаются в объеме $\Delta V_{m_0} \rightarrow \Delta V_q$ в такой момент t_{m_0} , когда возникшее в каждой молекуле m_D когерентное смещение электрона $-e_{m_0}$ относительно иона i_{m_0} способно к моменту t_q создать анизотропную конфигурацию $\lambda_{m_0}/2$ и λ_{m_0} орбиты электрона $-e_{m_0}$ ортогонально и вдоль зон Френеля. Момент t_{m_0} - начало самоорганизации молекул в диамагнитные ловушки, которые, удерживая заряды $-e_{m_0}$ и i_{m_0} в пределах зоны Френеля $(\lambda_{m_0}/2)/\lambda_{m_0}$ по высоте/толщине, самоорганизуются в ансамбль наночастиц за время (3). Ансамбль наночастиц образует "плоскую микролинзовую систему", расположенную ортогонально оси Z с шагом $\lambda_{m_0}/2 + \delta\lambda_{m_0}/2$ и по оси Z с шагом $\lambda_{m_0} + \delta\lambda_{m_0}$ при интервалах между наночастицами $\delta\lambda_{m_0}/2$ и $\delta\lambda_{m_0}$, соответственно.

Таким образом, условие $m_1 \gg N_{m_0} \gg m_0$, а также моменты t_{m_0} и t_q ограничивают число молекул водяного пара в объеме когерентности ΔV_q (2) до $m_0 - 10^7 - 10^8$ на стартовом состоянии V-схемы переходов. Это число молекул, участвующих в формировании генерации ММ-излучения, определяет m_D порядок когерентности в пространственно-временных точках $\vec{r}_1 t_1, \vec{r}_2 t_2, \dots, \vec{r}_m t_m$ зон Френеля. Для молекул другого типа порядок когерентности будет другой.

НАПРАВЛЕННОСТЬ

Направленность ММ-излучения оценим, учитывая, что наночастицы электрон-ион ансамбля взаимодействуют между собой через коллектив полей \vec{E}_{m_0} , \vec{H}_{m_0} и имеют пространственно-временную когерентность m_0 -го порядка в многоцилиндрическом оптическом "солениоде-резонаторе".

for MM radiation. Since $\vec{v}_{D\perp q} \tau_{mil\perp q} \approx \ell_{mil\perp q}$, the question about the coherence of MM radiation in volume (2) is reduced to a comparison of changes in $\ell_{mil\perp q}$ and $\lambda_{\perp|q}$ during time (3). Since the fluctuations $\delta\alpha_{\perp q}^c$ and $-\delta\chi_{d|q}^c$ of molecules m_D in each step $\delta t_q \approx T_{+q}/4 = 10^{-15}$ s in the fields $\vec{E}_{\perp|q}^z$ and $\vec{H}_{\perp|q}^z$ are synchronized, $\ell_{mil\perp q}$ and $\lambda_{\perp|q}$ change in volume (2) perpendicular and along the Z axis of the BLW pumping field. Here \vec{v}_{m_0} and τ_{m_0} are the velocity of molecules m_0 at the moment of time t_q and their free path time in the medium comprising broadening particles $m_1 \gg m_0$.

Photons of MM radiation arise in the volume $\Delta V_{m_0} \rightarrow \Delta V_q$ at time t_{m_0} at which the coherent displacement of the electron $-e_{m_0}$ with respect to the ion i_{m_0} in each molecule m_D can create by the time t_q the anisotropic configuration $\lambda_{m_0}/2$ and λ_{m_0} of the electron orbit $-e_{m_0}$ perpendicular and along the Fresnel zone. The time moment t_{m_0} indicates the onset of self-organization of molecules into diamagnetic traps that, holding charges $-e_{m_0}$ and i_{m_0} inside of the height/thickness of the Fresnel zone $(\lambda_{m_0}/2)/\lambda_{m_0}$, are self-organized into the nanoparticle ensemble during time (3). The nanoparticle ensemble forms the "flat microlens system" arranged perpendicular to the Z axes with the step $\lambda_{m_0}/2 + \delta\lambda_{m_0}/2$ and along the Z axis with the step $\lambda_{m_0} + \delta\lambda_{m_0}$ for nanoparticle spacing $\delta\lambda_{m_0}/2$ and $\delta\lambda_{m_0}$, respectively.

Thus, the condition $m_1 \gg N_{m_0} \gg m_0$ and also the time moments t_{m_0} and t_q limit the number of water vapor molecules in the coherence volume ΔV_q given by Eq. (2) to $m_0 - 10^7 - 10^8$ in the initial state of the V-scheme of transitions. This number of molecules participating in generation of MM radiation defines the mD th coherence order at spatiotemporal points $\vec{r}_1 t_1, \vec{r}_2 t_2, \dots, \vec{r}_m t_m$ of the Fresnel zones. For molecules of other types, the coherence order will be different.

ORIENTATION

We now estimate the orientation of MM radiation considering that the ensemble of electron-ion nanoparticles interacts through the collective fields \vec{E}_{m_0} and \vec{H}_{m_0} and has the m_0 th order of spatiotemporal coherence in the multi-cylindrical optical "solenoid-resonator."

Pumping p-polarized BLW radiation with the diameter D_q and Gaussian cross sectional intensity distribution at the input of the "solenoid-resonator"



Излучение БСВ накачки π -поляризации с диаметром D_f и гауссовым поперечным распределением интенсивности на входе "соленоид-резонатора" создаст на его выходе пучок ММ излучения σ -поляризации

$$\theta_{MM} = \beta_{MM} \lambda_{MM} / D_f \tag{5}$$

расходимость которого будет меньше дифракционной расходимости лазерного излучения в β_{MM} раз. Здесь $\beta_{MM} = 1/4\pi$ - коэффициент, характеризующий пространственно-временную электрическую, магнитную и механическую упорядоченность наночастиц электрон-ион на подготовленном ММ нежестком переходе в объеме (2).

Корреляционная функция бегущей ММ волны с когерентностью m_D -го порядка равна

$$g^{(m_D)}(\vec{r}_1, t_1, \dots, \vec{r}_{m_D}, t_{m_D}, \vec{r}_{m_D}, t_{m_D}, \dots, \vec{r}_1, t_1) = 1.$$

ЯРКОСТЬ

Яркость пучка ММ излучения с диаметром D_f и углом расходимости θ_{MM} равна

$$B_f = [2 / \beta_{MM} \lambda_{MM}]^2 P_{MM} \tag{6}$$

will create a beam of output σ -polarized MM radiation

$$\theta_{MM} = \beta_{MM} \lambda_{MM} / D_f \tag{5}$$

whose divergence will be less than the diffraction divergence of laser radiation by a factor of β_{MM} . Here $\beta_{MM} = 1/4\pi$ is the factor characterizing spatiotemporal electric, magnetic, and mechanical ordering of the electron-ion nanoparticles on the prepared MM nonrigid transition in volume (2).

The correlation function of the running MM wave with the m_D th order coherence is

$$g^{(m_D)}(\vec{r}_1, t_1, \dots, \vec{r}_{m_D}, t_{m_D}, \vec{r}_{m_D}, t_{m_D}, \dots, \vec{r}_1, t_1) = 1.$$

BRIGHTNESS

The brightness of the beam of MM radiation with the diameter D_f and divergence angle θ_{MM} is

$$B_f = [2 / \beta_{MM} \lambda_{MM}]^2 P_{MM} \tag{6}$$

which is greater than the brightness of ED laser radiation by a factor of $\beta_{MM} = 1/4\pi$ because of the divergence. Here $P_{MM} = W(m_{MM}) / T_{MM}$ is the power of the



что больше яркости лазерного ЭД излучения в $\beta_{p,p} = 1/4\pi$ раз из-за расходимости. Здесь $P_{p,p} = U(\omega_{p,p})/T_{p,p}$ - мощность пучка ММ излучения на выходе из "солениода-резонатора". Энергия ММ излучения зависит от энергии $U(\omega_{p,p})$ БСВ п-поляризации, длины когерентности $\Delta Z_{p,p}$, сечения максимальной зоны Френеля $\pi R_{p,p}^2$ и концентрации наночастиц (молекул)

$$U(\omega_{p,p}) = \Delta Z_{p,p} U(\omega_{p,p}) \pi R_{p,p}^2 n_0$$

Поскольку электрические фотоны поля БСВ п-поляризации преобразуются в магнитные фотоны ММ излучения σ -поляризации в замкнутом цикле "испускание-поглощение", то квантовая эффективность преобразования энергии достигает $\eta_{p,p} = 100\%$.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ

Помехоустойчивость ММ-излучения в атмосфере обусловлена, во-первых, тем, что перенос информации (и энергии) в атмосфере определяется его магнитной компонентой $\vec{H}_{p,p}$, дальное действие которой задано законом Био-Савара $\vec{H}_{p,p} = \alpha_{p,p} \vec{j}_{p,p}$ на оси оптического "солениода-резонатора" (как в солениоде [16]). Здесь $\alpha_{p,p}$ и $\vec{j}_{p,p}$ - номер зоны Френеля и электронный ток на ее поверхности. Отсутствие зависимости поля $\vec{H}_{p,p}$ на оси "резонатора" в зонах Френеля от расстояния r между зарядами $-e_{p,p}$ и $i_{p,p}$ при орбитальном моменте $L_{p,p} = \omega_{p,p} M_{p,p} R$ по оси Z обрекает волновой фронт ММ-излучения на устойчивость перед турбулентностью неоднородности комплексного показателя преломления атмосферы в макромасштабе закона Био-Савара. Угловой орбитальный момент $L_{p,p} = \omega_{p,p} M_{p,p} R$ по оси Z обеспечивает превышение помехоустойчивости волнового фронта лазерного ММ-излучения в атмосфере в $\sim 10^6$ - 10^{10} раз над лазерным ЭД-излучением.

Во-вторых, вероятность магнитодипольных переходов молекул (атомов) в $\sim 10^6$ раз меньше вероятности ЭД-переходов; во столько же раз меньше будет ослабляться интенсивность ММ-излучения $I_{p,p} = 4\pi P_{p,p} / \omega_{p,p}^2$ в атмосфере относительно интенсивности лазерного ЭД-излучения. Эти два качества ММ-излучения позволяют использовать ММ-лазеры в различных оптических системах независимо от погодных условий.

В-третьих, ММ-излучение регистрируется фотоприемником, построенным как на

MM radiation beam at the output from the "solenoid-resonator." The energy of MM radiation depends on the energy $U(\omega_{p,p})$ of the p-polarized BLW, coherence length $\Delta Z_{p,p}$, cross section of the maximum Fresnel zone $\pi R_{p,p}^2$, and concentration of nanoparticles (molecules) as follows:

$$U(\omega_{p,p}) = \Delta Z_{p,p} U(\omega_{p,p}) \pi R_{p,p}^2 n_0$$

Since the electric photons of p-polarized BLW are transformed into the magnetic photons of σ -polarized MM radiation in the closed cycle "emission-absorption," the quantum efficiency of energy conversion reaches $\eta_{p,p} = 100\%$.

STABILITY WITH RESPECT TO NOISE

The stability with respect to noise of MM radiation in the atmosphere is caused, first, by the fact that the information (and energy) transfer in the atmosphere is determined by the magnetic component $\vec{H}_{p,p}$ whose range of action is assigned by the Biot-Savart law $\vec{H}_{p,p} = \alpha_{p,p} \vec{j}_{p,p}$ on the axis of the optical "solenoid-resonator" (as in solenoid [16]). Here $\alpha_{p,p}$ and $\vec{j}_{p,p}$ are the serial number of the Fresnel zone and the electron current on its surface, respectively. The absence of a dependence of the field $\vec{H}_{p,p}$ on the "resonator" axis in the Fresnel zones on the distance r between the charges $-e_{p,p}$ and $i_{p,p}$ for the orbital momentum $L_{p,p} = \omega_{p,p} M_{p,p} R$ along the Z axis predetermines the stability of the wave front of MM radiation with respect to turbulent inhomogeneity of the complex refractive index of the atmosphere on the macroscale of the Biot-Savart law. The orbital angular momentum $L_{p,p} = \omega_{p,p} M_{p,p} R$ on the Z axis provides an increase in the stability with respect to noise of the wave front of MM laser radiation in the atmosphere by factors of $\sim 10^6$ - 10^{10} compared to ED laser radiation.

Second, the probability of magnetodipole transitions of molecules (atoms) is by a factor of $\sim 10^6$ less than the probability of ED transitions; therefore, the intensity of MM radiation $I_{p,p} = 4\pi P_{p,p} / \omega_{p,p}^2$ in the atmosphere will be attenuated less by the same factor compared to the intensity of ED laser radiation. These two characteristics of MM radiation allow MM lasers to be used in various optical systems irrespective of weather conditions.

Third, the MM radiation is recorded with photodetector based on the electro-optical principle and on the magneto-optical principle. In the second case, the photodetector S/N ratio does not depend on the time of day, which provides round-the-clock noise-proof operation of optical systems based on the MM laser in the atmosphere.



электрооптическом принципе, так и на магнитооптическом принципе. Во втором случае величина S/N фотоприемника не зависит от времени суток, что обеспечивает круглосуточную помехоустойчивую работу в атмосфере оптических систем на основе ММ-лазера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В зарубежной и отечественной литературе отсутствуют данные, связанные с генерацией ММ-излучения. Как правило, приводятся результаты формирования спиральных пучков в анизотропной среде резонатора лазера, генерирующего излучение на ЭД-переходе. Волновой фронт ЭД-излучения "рассыпается" (теряет устойчивость) на мелкие вихревые потоки при распространении ЭД-излучения в реальной атмосфере. Процесс "рассыпания" обусловлен интерференцией первичных и вторичных волн на дислокациях, сформированных турбулентностью атмосферы [17].

В рамках классической электродинамики реализовать лазерное ММ-излучение невозможно. Для генерации ММ-излучения необходимо теоретические задачи решать в рамках квантовой электродинамики и экспериментально апробировать концептуальную модель на современной

CONCLUSIONS

In the foreign and domestic literature there are no data on generation of MM radiation. As a rule, results of formation of spiral beams in the anisotropic medium of the resonator of the laser generating radiation on ED transition are presented. The wave front of ED radiation "is splitted" (loses its stability) into small vertex fluxes in the process of ED radiation propagation in the outdoor atmosphere. The process of "splitting" is caused by interference of primary and secondary waves on dislocations generated by the atmospheric turbulence [17].

Within the limits of classical electrodynamics, it is impossible to obtain MM laser radiation. To generate MM radiation, it is necessary to solve theoretical problems within the framework of quantum electrodynamics and to approve the conceptual model on modern technological base. The Open Joint-Stock Company "Superposition" at IAO SB RAS has successfully solved theoretical and experimental problems in stage "0" of R&D Project of Skolkovo Foundation. Stage "1" suggests creation of a theoretical basis and of an MM laser prototype and excitation of generation of MM radiation.

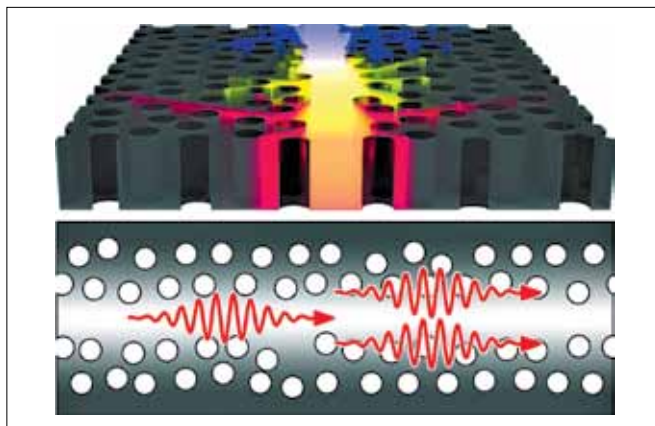
технологической базе. ООО "Суперпозиция" при ИОА СО РАН успешно решило теоретико-экспериментальные задачи стадии "0" НИОКР Фонда Сколково. На стадии "1" предполагается создать теоретическую основу, прототип ММ-лазера и получить генерацию ММ-излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звелто О. Принципы лазеров. – СПб.: Лань, 2008.
2. Способ синтеза оптически активной диаманитной среды. Пат. 2320979. Россия, МПК51 G01N 21/00, H01S 3/094. Лопасов В.П. №2006110006/28; Заявл.28.032006, опубл. 27.03.2008. Бюл. №9.
3. Лопасов В.П. Принципы генерации лазерного излучения на приготовленном магнитодипольном переходе. – Прикладная физика, 2012, № 4, с. 24–33.
4. Лопасов В.П. Оценка характеристик лазерного излучения на приготовленном магнитомультимодальном переходе. – Прикладная физика, 2012, № 5, с. 5–10.
5. Зуев В.Е., Лопасов В.П., Макогон М.М. – ДАН СССР. 1971. т. 199. № 5. с. 1041.
6. Лопасов В.П. – Оптика атм. и океана, 1997, т. 10, № 9, с. 996.
7. Тихомиров А.Б., Пташник И.В., Тихомиров Б.А. – Оптика и спектроскопия, 2006, т. 101, с. 80.
8. Лопасов В.П., Пономарев Ю.Н, Тихомиров Б.А. – Квантовая электроника, 1982, т. 9, № 8, с. 181.
9. Кочанов В.П., Лопасов В.П., Лукьяненко С.Ф. – Известия АН СССР, Сер. Физическая, 1985, т. 49, № 3, с. 516.
10. Ильинский Ю.А., Келдыш Л.В. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. – М.: МГУ, 1989.
11. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. – М.: МГУ, 2004.
12. Фано У, Фано Л. Физика атомов и молекул. – М.: Наука, 1980.
13. Ахизер А.И., Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика. – М.: Физмат, 1959.
14. Лоудон Р. Квантовая теория света. – М.: Мир, 1976.
15. Собельман И.И. К теории рассеяния света в газах. – УФН, 2002, т.172, №1, с.85–90.
16. Физический энциклопедический словарь. – М.: БРЭ, 1995, с.14
17. Абрамочкин Е.Г., Волостников В.Г. – УФН, 2004, т. 174, № 12, с. 1273.

НЕИЗБЕЖНОЕ РАЗУПОРЯДОЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА. ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследователи во всем мире стремятся создать оптические микросхемы, управляемые наноструктурами. Такие схемы смогут применяться в будущих устройствах, работа которых будет зависеть от фотонов, то есть эпоху электроники сменит эра фотоники. Но до сих пор не удавалось создать качественные фотонные структуры, они всегда были слегка разупорядочены. И вот теперь ученые Института Нильса Бора в Дании и Технического университета Дании обнаружили, что несовершенные наноструктуры могут выполнять совершенно новые функции.



Принципиальная схема работы нанолазера

Ученые изучали свойства фотонно-кристаллических GaAs-мембран чрезвычайно малых размеров – шириной 25 мкм и толщиной 340 нм. В мембране вытравливалась матрица отверстий с шагом 380 нм. Отверстия должны были служить встроенными "зеркалами", отражающими свет, излучаемый фотонной микросхемой, т.е. исследователи пытались получить совершенную структуру отверстий, пригодную для управления излучением фотонной схемы. И они сумели превратить такой недостаток фотонной структуры, как ее небольшие нарушения, образуемые в ходе изготовления, в достоинство.

Источник излучения света, образуемый слоем искусственных атомов, излучающих свет, встраивается в фотонный кристалл, который прозрачен как стекло и содержит матрицу небольших отверстий. Излучаемый свет многократно отражается в фотонном кристалле от небольших неупорядоченных отверстий в различных направлениях и вследствие наличия нарушений самопроизвольно захватывается наноструктурой в "плен" и не может покинуть ее. Отраженный отверстиями структуры свет попадает в так называемый волновод – среднюю полосу кристалла, служащую "фотонным треком", регулирующим движение фотонов в кристалле. Это позволяет усилить излучение, что создает хорошие условия для создания высокоэффективных и компактных лазеров. Ученые считают, что открытая ими возможность создания лазера нанометровых размеров позволит реализовать их мечту о создании оптической квантовой связанной технологии и "квантового Интернета", данные которого будут закодированы фотонами.

www.nbi.ku.dk/english/news/news14/unavoidable-disorder-used-to-build-nanolaser