ГЕНЕРАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НОВОГО ТИПА ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУКОЕМКИХ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ.

ЧАСТЬ II*

В. П. Лопасов¹, д. ф. - м. н.,
И. В. Ивонин², д. ф. - м. н.

¹Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева
СО РАН, Томск

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

Для коммуникационных, аэрокосмических и атмосферно-оптических устройств необходимо использовать лазерное излучение с устойчивым волновым фронтом. Турбулентность атмосферы искажает волновой фронт излучения при его распространении, особенно на больших трассах, превышающих 1–5 км. В этом кроется недостаток лазеров, построенных на электродипольных (ЭД) переходах. С точки зрения устойчивости волнового фронта в атмосфере актуальны лазерные каналы магнитомультipoльного (ММ) излучения на ММ электронном переходе. Физическая основа такого лазера была описана в первой части статьи. Во второй части статьи описан режим spin-flip генерации лазерного ММ излучения и области его применения.

Новое представление генерации излучения базируется на физике лазера, состоящего из двух элементов: молекулярный газ и бигармоническое излучение (БИ) накачки с экстремальными характеристиками.

2.4. Специфика системы "коллектив полей + молекулярный газ" ("КП+МГ")

Система "КП+МГ" самоорганизуется в ансамбль диамагнитных наночастиц электрон-ион после заполнения объема когерентности (1) молекулами H_2O при концентрации $\sim 10^{16} \text{ м}^{-3}$. Концентрация N_2 должна быть на 7 порядков больше.

* См. Фотоника, том 12 (№ 1), 2018. В. П. Лопасов, И. В. Ивонин. Генерация лазерного излучения нового типа для решения наукоемких прикладных задач. Часть I. DOI: 10.22184/1993-7296.2018.69.1.44.52

GENERATION OF A NEW-TYPE LASER RADIATION FOR SOLVING KNOWLEDGE-BASED APPLIED PROBLEMS.

PART II*

V. P. Lopasov¹, Dr. of Sc. (Phys. & Math.), I. V. Ivonin²,
Dr. of Sc. (Phys. & Math.)

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

²National Research Tomsk State University, Tomsk,
Russia

It is necessary to use laser radiation with a stable wavefront for communication, aerospace and atmospheric-optical devices. The turbulence of the atmosphere distorts the wavefront of radiation as it propagates, especially on large paths exceeding 1–5 km. The disadvantage of lasers built on electric dipole (ED) junctions lies in this. The laser channels of magnetomultipolar (MM) radiation on the MM electronic transition are relevant from the point of view of the stability of the wave front in the atmosphere. The physical basis of such a laser was described in the first part of the article. A spin-flip mode for generating laser MM radiation and its application area are described in the second part of the article.

A new representation of laser radiation is based on the physics of laser consisting of two elements: molecular gas and biharmonic pumping radiation (BR).

2.4. Specific manner of the "collective of fields + molecular gas" system ("CF+MG") system

The self-organization process of the "CF+MG" system into an ensemble of diamagnetic electron-ion nanoparticles is formed after the volume of coherence (1) is filled by molecules of H_2O at a concentration of $\sim 10^{16} \text{ м}^{-3}$. The concentration of N_2 should be 7 orders of magnitude more.

* Photonics, v.12(№1), 2018. V. P. Lopasov, I. V. Ivonin. Generation of a new-type laser radiation for solving knowledge-based applied problems. Part I. DOI: 10.22184/1993-7296.2018.69.1.44.52

В этом случае среднее расстояние между молекулами H_2O составляет $\sim 10^{-6}$ м, которое свет проходит за $1,5 \cdot 10^{-14}$ с. Этого времени достаточно для запуска механизма двумерной ОС в молекулах H_2O системы "КП+МГ". При этом поле бигармонического излучения (БИ) имеет когерентность первого порядка в пространственно-временных (ПВ) точках (r_1, t_1) , (r_2, t_2) с корреляционной функцией связи первого порядка $g^{(1)}(r_1, t_1, r_2, t_2)$ [8]. Так как расстояние между молекулами H_2O велико, то для изучения процессов в системе "КП+МГ" достаточно сначала изучить одно столкновение молекул H_2O и N_2 , и учесть среднюю энергию $\bar{W}$ молекул H_2O в объеме (1). Затем результат упругого столкновения, найденный для одной молекулы H_2O с учетом возмущающего БИ накачки, можно усреднить для получения аналогичного результата для молекул H_2O , ориентированных случайным образом относительно N_2 .

$$\Delta t'_{0q} \cdot 2 \sum_{q=0}^{q^*} q T_{+q} / 4 \approx 10^{-12} \text{ s} \leq \tau_{\text{ECM}} \approx 10^{-11} \text{ s} \quad (6)$$

молекула H_2O сместится только на 10^{-10} . То есть, молекулу H_2O можно рассматривать неподвижной в пространстве, но увеличивающей тензор гирации $g_{q=0} \rightarrow g_{q^*}$ на этапе упругого столкновения τ_{ECM} с молекулой N_2 (6).

В этом приближении силы Лоренца, Кориолиса и механизм двумерной нелокальной ОС на каждом шаге $T_{+q}/4$ этапа (6) [14]:

1. разделяют заряды валентного электрона $-e$ и иона i молекул H_2O по состояниям КВ перехода (5) ортогонально и вдоль оси Z когерентного БИ накачки;
2. приготавливают ММ электронный переход с однородно уширенным контуром в области КВ перехода $4_{-3q}^{\oplus}(000)E \rightleftharpoons 5_{-4q}^{\oplus}(103)$ за счет ПВ дисперсии $n'_{\perp||q^*}$ коллектива полей;
3. формируют комплексный показатель преломления оптически активного ансамбля диамагнитных наночастиц электрон-ион

$$n(r_q, t_q) = n'_{\perp||q^*} - i2\pi \chi''_{d||\perp q^*} (m_D + m_b) \quad (7)$$

с функциональной связью Re и Im частей на подготовленном ММ переходе.

3. ФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ММ ИЗЛУЧЕНИЯ ВКЛЮЧАЕТ:

1. низкочастотный (стартовый) ЭД и высокочастотный магнитный мультипольный (рабо-

In this case, the mean distance between molecules of H_2O is $\sim 10^{-6}$ m, light passes it during $1,5 \cdot 10^{-14}$ s. This time is enough for launching the mechanism of 2D feedback in the molecules of H_2O of the "CF + MG" system. The BR field has here the coherence of the first order at the spatial-temporal (ST) points (r_1, t_1) , (r_2, t_2) with the correlation function of the first order $g^{(1)}(r_1, t_1, r_2, t_2)$ [8]. As the distance between the molecules of H_2O is great, then to study the processes in the "CF+MG" system, it is enough, at first, to study one collision of the molecules H_2O and N_2 and take into account the average energy $\bar{W}$ of the molecules H_2O in the volume (1). Then one can average the result of elastic collision revealed for one molecule H_2O taking into account the exciting pumping BR for obtaining analogous result for the molecules H_2O randomly oriented relatively to N_2 .

In addition, at the stage of elastic collision

$$\Delta t'_{0q} \cdot 2 \sum_{q=0}^{q^*} q T_{+q} / 4 \approx 10^{-12} \text{ s} \leq \tau_{\text{ECM}} \approx 10^{-11} \text{ s} \quad (6)$$

The molecule H_2O is displaced for only 10^{-10} m. That means, one can assume the molecule of H_2O to be fixed in space but increasing the tensor of gyration $g_{q=0} \rightarrow g_{q^*}$ at the stage of elastic collision τ_{ECM} with a molecule of N_2 (6).

In this approximation, the Lorentz and Coriolis forces and the mechanism of two-dimensional non-local feedback at each step $T_{+q}/4$ of the stage (6) [14]:

1. separate the charges of the valence (bound) electron $-e$ and ion i of the molecule H_2O according to the states of the VR transition (5) orthogonally and along of the Z axis of the coherent pumping BR;
2. prepare the MM electron transition with a uniformly broadened contour in the range of the VR transition $4_{-3q}^{\oplus}(000)E \rightleftharpoons 5_{-4q}^{\oplus}(103)$ due to ST variance $n'_{\perp||q^*}$ of the collective of fields;
3. form the complex refractive index

$$n(r_q, t_q) = n'_{\perp||q^*} - i2\pi \chi''_{d||\perp q^*} (m_D + m_b) \quad (7)$$

of the optically active ensemble of diamagnetic electron-ion nanoparticles with functional relation of Re and Im parts at the prepared MM transition.

3. THE PHYSICAL BASIS FOR THE GENERATION OF LASER MM RADIATION INCLUDES:

1. 1) low-frequency (starting) ED and high-frequency magnetic multipole (working) HF transitions, combined by a lower state into a V circuit,

чий) КВ переходы, объединенные низшим состоянием в V-схему;

2. самоорганизацию системы "КП+МГ" в ансамбль диамагнитных наночастиц на ММ электронном переходе с потенциальной "ямой", приготовленной на электронной поверхности в области высоковозбужденного состояния колебательно-вращательного (КВ) перехода;
3. механизм двумерной ОС между энергиями квадратичных эффектов Штарка и Зеемана при экстремальных условиях на систему "КП+МГ" (2);
4. самовозбуждение генерации ММ излучения на частоте приготовленного ММ перехода в момент времени, когда на его высоковозбужденном уровне накоплена пороговая диамагнитная энергия.

Математическое описание физической основы ММ лазера требует разработки КЭМД подхода к формированию комплексного показателя преломления оптически активного ансамбля диамагнитных наночастиц электрон-ион (7).

В физической основе генерации лазерного ММ излучения лежат два принципа [30, 31] и экстремальные условия (2) на систему "КП+МГ".

1. Принцип "когерентной суперпозиции" квантовых состояний [30], в частности, трех состояний V-схемы КВ переходов молекулы H_2O в коллективе полей, состоящем из электрических и магнитных компонент поля упругого столкновения молекул H_2O и N_2 , поля БИ накачки и поля релеевского рассеяния. Принцип "когерентной суперпозиции" применим и к микрочастицам, и к макроскопическим объектам. Одна из формулировок для молекул гласит: "если система может находиться в различных состояниях, то она может одновременно находиться сразу в двух (и более) состояниях".

Взяв в качестве отдельных состояний молекулы пространственные координаты ее центра масс, получим: молекула может находиться одновременно во всех точках пространства, т.е. быть "размазанной" во всем когерентном ПВ континууме.

2. Принцип Ферма в волновой оптике гласит [31]: луч света движется из начальной точки в конечную точку по такой траектории, которая минимизирует затраченное время. Минимизация времени при прохождении света в среде происходит за счет нано- или фемтоупорядочения тензоров

2. 2) the self-organization of the "CF+MG" system into an ensemble of diamagnetic nanoparticles on a MM electronic transition with a potential "well" prepared on the electron surface in the region of the highly excited state of the KV transition,
3. 3) the mechanism of the 2D OS between the energies of the quadratic Stark and Zeeman effects under extreme conditions on the "CF+MG" system (2),
4. 4) self-excitation of the generation of MM radiation at the frequency of the prepared MM transition at the time when the threshold diamagnetic energy is accumulated at its highly excited level.

Mathematical description of the physical basis of MM laser requires development of the QEMD approach to formation of the complex refractive index of the optically active ensemble of diamagnetic electron-ion nanoparticles (7).

Generation of the laser MM radiation is based on two physical principles [30, 31] and critical conditions (2) for the "CF+MG" system.

1. The principle of "coherent superposition" of the quantum states [30], in particular, three states of the V-diagram of VR transitions of the molecule H_2O in the collective of fields consisting of electric and magnetic components of the elastic collision field of the molecules H_2O and N_2 , the BR pumping field and the Rayleigh scattering field. The principle of "coherent superposition" is applicable to both microparticles and macroscopic objects. One formulation for molecules says: "if the system can be in different states, it can simultaneously be in two or more states at the same time".

Taking as the individual states of the molecule the spatial coordinates of its mass center, we obtain that the molecule is capable of taking different positions in space. More precisely, the molecule can be instantaneously at all points of space, i.e. be "smeared" in the entire coherent spatial-temporal (ST) continuum.

1. The Fermat principle in wave optics says [31]: a light ray moves from the initial point to the final point along a trajectory that minimizes the time spent. Minimization of time when light passes through the medium occurs due to nano- or femto-ordering of electric $\epsilon(r, t)$ and magnetic $\mu(r, t)$ permeability tensors [29].

The technology of generation of the MM radiation is based on the open self-organization of the "CF+MG"

электрической $\epsilon(r, t)$ и магнитной $\mu(r, t)$ проницаемости [29].

Технология генерации ММ излучения базируется на открытой самоорганизации системы "КП+МГ" в ансамбль наночастиц электрон-ион при экстремальных условиях (2). Условия (2) заданы так, что в системе одномоментно реализуется и принцип Ферма, и принцип "когерентной суперпозиции" для молекулярного газа (H_2O+N_2) в объеме когерентности БИ накачки (1). В молекулах H_2O по V-схеме создается зависимость вероятности рабочего КВ перехода не только от амплитуды, поляризации и разности ω_{-q} , суммы ω_{+q} частот компонент $E_{\perp}^B$, $H_{\perp}^B$ БИ накачки, но также от перекрестных слагаемых $B_{\parallel\perp q}^C$ и $D_{\perp\parallel q}^C$ компонент индуцированных дипольных моментов (3), (4). Одномоментно (при асимметрии $I_{1q}/I_{2q} \neq 1$) по V-схеме переходов реализуется амплитудно-фазовая модуляция [32], которая для поля БИ накачки становится внутренней знакопеременной $\pm A_{\perp}$ и $\mp \Phi_{\parallel}$ модуляцией на каждом четверть периоде $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$ с средней несущей частоты БИ накачки (рис. 7).

Шаг поля БИ накачки, равный $T_{+q}/4 \sim \hbar/I_0 \leq 10^{-15}$ с, позволяет использовать эффект нелокальности отклика валентного электрона для управления

system into an ensemble of electron-ion nanoparticles under critical conditions (2). The conditions (2) are given in such a way that the Fermat principle and the "coherent superposition" principle for the molecular gas (H_2O+N_2) in the coherence volume of the BR pumping (1) are realized simultaneously in the system. In molecules H_2O , according to the V-diagram, the dependence of the probability of a working VR transition not only on the amplitude, polarization and difference ω_{-q} , the sum ω_{+q} of the frequencies of the components $E_{\perp}^B$, $H_{\perp}^B$ of the BR pumping is created, but also on the cross terms $B_{\parallel\perp q}^C$ and $D_{\perp\parallel q}^C$ of the components of the induced dipole moments (3), (4). Simultaneously (at asymmetry $I_{1q}/I_{2q} \neq 1$), the amplitude-phase modulation is realized in the V-diagram of the transitions [32], which for the BR pumping field becomes the internal sign-variable $\pm A_{\perp}$ and $\mp \Phi_{\parallel}$ modulation on every quarter of the period $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$ of the average carrier frequency of the BR pumping (Fig. 7).

The step of the BR pumping field equal to $T_{+q}/4 \sim \hbar/I_0 \leq 10^{-15}$ s makes it possible to use the non-locality effect of the response of valence electron of the molecule for controlling operation of the feedback between the energies of the quadratic Stark and Zeeman effects in time and space (1). Here $2I_0 = e^4 m / 2\hbar^2$

работой ОС между энергиями квадратичных эффектов Штарка и Зеемана во времени и в пространстве (1). Здесь $2I_0 = e^4 m / 2\hbar^2$ – единица энергии для ионизации атома водорода [23]. Эффект нелокальности отклика состоит в том, что валентный электрон молекул H_2O , прибывая в точку r_q из точки r'_q за $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$, приносит память о действии на него векторной суммы и электрических $E_{\parallel q}^\Sigma$, и магнитных $H_{\perp q}^\Sigma$ компонент коллектива полей в точке r'_q .

Механизм двумерной ОС корректирует заданную асимметрию интенсивностей БИ накачки через перекрестные слагаемые $B_{\perp q}^C$ и $D_{\perp q}^C$ в (3), (4) для разных точек объема (1) на каждом шаге $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$. При этом увеличивается скорость преобразования нулевого узла (от $I_{1q=0}/I_{2q=0}=1$) пересечения компонент $E_{\parallel q}^\Sigma$ и $H_{\perp q}^\Sigma$ в седлообразный узел (до $I_{1q}/I_{2q\pm 1}$).

В молекулах H_2O самосогласуются динамики:

1. состояний КВ переходов (5);
2. поперечно-продольного нелокального управления движением электрона $-e$ коллективом полей;
3. поперечно-продольных составляющих вектора Умова-Пойнтинга $J \sim E_{\parallel q}^\Sigma H_{\perp q}^\Sigma$ относительно оси Z БИ накачки.

Нелокальная нелинейность $J \sim E_{\parallel q}^\Sigma H_{\perp q}^\Sigma$ проходит по контуру двумерной ОС на этапе (6) и, связывая молекулы H_2O в зонах Френеля объема (1), нелинейно увеличивает вероятность магнитного мультипольного (рабочего) КВ перехода (5).

Самоорганизация молекул H_2O в ансамбль наночастиц сопровождается взаимозависимостью ПВ дисперсии $Re \, n'_{\parallel q^*}$, диамагнитной восприимчивости $Im \, -\chi''_{d\parallel q^*}$ и диамагнитной энергии $\tilde{W}_{Z\parallel q}$ на рабочем КВ переходе $4_{-3q}^{\oplus}(000)E \leftrightarrow 5_{-4q}^{\oplus}(103)$.

Как следствие, механизм двумерной нелинейной и нелокальной ОС на этапах (6):

1. анизотропно накапливает в молекулах H_2O "квантовую поляризационную" диамагнитную восприимчивость $-\chi_{d\parallel q^*}$ [33], тензор гирации $g_{q=0} \rightarrow g_q$ и диамагнитную энергию $\tilde{W}_{Z\parallel q}$ на высоковозбужденном состоянии рабочего КВ перехода;
2. запускает самоорганизацию системы "КП+МГ" в ансамбль электрон-ион, связанный полем стоячей волны s поляризации (СВЭП). Ансамбль электрон-ион приобретает форму многоцилиндрического "соленоид-резонатора" [13, 14, 34] за счет фемтосекундного упорядочения тензоров электрической

Рис. 7. Бигармоническое излучение накачки p поляризации
Fig. 7. Biharmonic pumping radiation of p polarization

is the unit of energy for the ionization of the hydrogen atom [23]. The non-locality effect of the response is that the valence electron of the molecules H_2O , arriving to the point r_q from the point r'_q in time $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$ s, brings the memory of the action of the vector sum of both electric $E_{\parallel q}^\Sigma$ and magnetic $H_{\perp q}^\Sigma$ components of the collective of fields at the point r'_q on it.

The mechanism of the two-dimensional feedback corrects the given asymmetry of the BR pumping intensities through the cross terms $B_{\perp q}^C$ and $D_{\perp q}^C$ in Eq. (3) and Eq. (4) for different volume (1) points at each step $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$. In this case, the rate of transformation of the zero node (from $I_{1q=0}/I_{2q=0}=1$) of the intersection of the components $E_{\parallel q}^\Sigma$ and $H_{\perp q}^\Sigma$ into a saddle-shaped node (up to $I_{1q}/I_{2q\pm 1}$) increases.

The following dynamics are self-coordinated in the molecules H_2O :

1. The states of the VR transitions (5);
2. Crossing- longitudinal non-local control of the electron $-e$ motion by the collective of fields;
3. Crossing-longitudinal components of the Umov-Poynting vector $J \sim E_{\parallel q}^\Sigma H_{\perp q}^\Sigma$ relatively the Z-axis of the BR pumping.

At the stage (6), the non-local non-linearity $J \sim E_{\parallel q}^\Sigma H_{\perp q}^\Sigma$ passes along the contour of the two-dimensional feedback and, connecting the molecules H_2O in the Fresnel zones of the volume (1), non-linearly increases the probability of the magnetic multipole (working) VR transition (5).

Self-organization of the molecules H_2O into an ensemble of nanoparticles is accompanied by inter-

$\varepsilon(r_{\parallel q}, t'_q)$ и магнитной $\mu(r_{\parallel q}, t''_q)$ проницаемости молекулярного газа;

3. формирует фазу зарождаемой волны ММ излучения на частоте $\omega_{+q} \rightarrow \omega_{Xq^*}$ в каждом профиле СВЭП для нечетных зон Френеля (мод "соленида-резонатора"). В каждом профиле СВЭП к нечетным зонам добавляется фазовый набег π и заставляет четные и нечетные зоны Френеля "работать в фазе" относительно точки P_X , расположенной на оси Z далеко за пределом "соленида-резонатора" – квантовый аналог гиперлинзовой системы [35].

То есть, механизм двумерной ОС, резонансно усиливая гиротропное свойство молекул, преобразует на этапе (6) через нелинейный сомножитель $J \sim E_{\parallel q}^{\Sigma} H_{\parallel q}^{\Sigma}$ энергию коллектива полей на частотах $2\omega_{-q}$, $2\omega_{+q}$ и энергию электронно-вращательно-колебательного движения молекул H_2O в их пороговую диамагнитную энергию $\tilde{W}_{Z\parallel q^*}$ на частоте $2\omega_{Xq^*} = 2\omega_{+q^*}$.

При этом, величина пороговой диамагнитной энергии $\tilde{W}_{Z\parallel q^*}$ зависит от энергии коллектива полей, возмущающих молекулы H_2O с заданным шагом $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$ с, а также от V-схемы КВ переходов в процессе самоорганизации системы "КП+МГ" в ансамбль диамагнитных наночастиц электрон-ион на этапе (6).

4. КВАНТОВО-ЭЛЕКТРО-МАГНИТО-ДИНАМИЧЕСКИЙ (КЭМД) ПОДХОД К ГЕНЕРАЦИИ ММ ИЗЛУЧЕНИЯ

4.1. Факторы, играющие ключевую роль в КЭМД подходе на этапе (6)

1. Упругое столкновение молекул N_2 и H_2O и V-схема КВ переходов, которое реализует:
 - понижение симметрии молекул H_2O за счет роста тензора гирации $g_{q=0} \rightarrow g_{q^*}$;

dependence of the ST variance $Re\ n'_{\parallel q^*}$, diamagnetic susceptibility $Im\ -\chi''_{d\parallel q^*}$ and the diamagnetic energy $\tilde{W}_{Z\parallel q^*}$ at the working VR transition $4_{-3q}^{\oplus}(000)E \rightleftharpoons 5_{-4q}^{\oplus}(103)$.

As a consequence, the mechanism of two-dimensional non-linear and non-local feedback at the stage (6):

1. anisotropically accumulates the "quantum polarization" diamagnetic susceptibility $-\chi_{d\parallel q^*}$ [33], the gyration tensor $g_{q=0} \rightarrow g_{q^*}$, and the diamagnetic energy $\tilde{W}_{Z\parallel q^*}$ at the highly excited state of the working VR transition;
2. launches the self-organization of the "CF+MC" system into an electron-ion ensemble bound by a standing wave field of the s polarization (SWSP). The electron-ion ensemble takes the shape of a multi-cylindrical "solenoid-cavity" [13, 14, 34] due to the femto-second ordering of the tensors of electric $\varepsilon(r_{\parallel q}, t'_q)$ and magnetic $\mu(r_{\parallel q}, t''_q)$ permeability of the molecular gas;
3. form the phase of the incipient wave of ММ radiation at a frequency $\omega_{+q} \rightarrow \omega_{Xq^*}$ in each SWSP profile for odd Fresnel zones (the "solenoid-cavity" mode). In each SWSP profile, a phase shift π is added to the odd bands and causes the even and odd Fresnel zones "to work in phase" relatively to the point P_X located on the Z axis far beyond the "solenoid-cavity" threshold, it is the quantum analog of the hyperlenses system [35].

That is, the mechanism of the two-dimensional feedback, resonantly amplifying the gyrotropic property of the molecules, at the stage (6) it transforms the energy of the collective of fields at the frequencies $2\omega_{-q}$, $2\omega_{+q}$ and the energy of the electron-rotational-vibrational motion of the molecules H_2O into their threshold diamagnetic energy $\tilde{W}_{Z\parallel q^*}$ at the frequency $2\omega_{Xq^*} = 2\omega_{+q^*}$ through the nonlinear factor $J \sim E_{\parallel q}^{\Sigma} H_{\parallel q}^{\Sigma}$.

In this case, the threshold diamagnetic energy $\tilde{W}_{Z\parallel q^*}$ depends on the energy of the collective of fields

- знакопеременную $\pm A_{\perp}$ и $\mp \Phi_{\parallel}$ модуляцию на каждом четверть периоде $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$;
 - рост "квантовой поляризационной" диамагнитной восприимчивости $-\chi_{d\parallel\perp q^*}$ [33].
2. Закон Био-Савара обеспечивает устойчивость напряженности магнитного поля $H_{\parallel q^*} = k_1 4\pi n_{flq^*} j_{nf\perp q^*}$ вдоль оси соленоида. [36].
В частности, обеспечивает устойчивость напряженности магнитного поля вдоль оси многоцилиндрического (по числу зон Френеля) оптического "соленоида-резонатора", самоорганизованного в системе "КП+МГ" в форме стоячей волны с поляризации (СВЭП). Здесь $k_1 = 1/c$ в системе Гаусса, n_{flq^*} и $j_{nf\perp q^*}$ – число витков (длин волн $\lambda_{xd^*} = \lambda_{+q^*}$ ММ излучения) на длине "соленоида-резонатора" и электронный ток на участках $\lambda_{xd^*} = \lambda_{+q^*}$ в каждой зоне Френеля.
3. Сложение компонент коллектива полей $JE_{\perp\parallel q}^{\Sigma}$ и $H_{\perp\parallel q}^{\Sigma}$ с полем молекул H_2O к фазовому сопряжению поля сферической волны БИ π поляризации с полем релеевского рассеяния по петле обратной связи в области аномальной ПВ дисперсии $n'_{\perp\parallel q^*}$ света на КВ переходах (5).

При этом все зоны Френеля "работают в фазе" относительно точки P_X , расположенной на оси Z далеко за пределом многоцилиндрического "соленоида-резонатора".

4. Разница между свойствами электрического и магнитного фотона [37] открывает возможность spin-flip генерации ММ излучения на частоте приготовленного ММ электронного перехода.

В этом случае используется следующее обстоятельство. Полный момент электрического фотона равен $J = L + S$ – векторная сумма спинового $S = 1$ и орбитального L моментов, где L не что иное, как ранг сферических функций Y_{lm} , входящих в состав волновой функции фотона, имеющего четность $(-1)^l$. Полный момент магнитного фотона, имеющего четность $(-1)^{l+1}$, совпадает с орбитальным моментом $J = L$. Спин магнитного фотона $S = 1$ неявно присутствует в моменте L как элемент ранга сферических функций.

Экстремальные условия (2), влияющие на взаимодействие магнитного фотона с валентным электроном молекулы H_2O , ориентируют спин фотона $S_f = 1$ и спин электрона $s_e = \pm 1/2$ между собой относительно оси Z ММ излучения на этапе упру-

perturbing the molecules H_2O with a given step $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$ s, and also on the V-diagram of the VR transitions during the self-organization of the "CF+MG" system into an ensemble of diamagnetic electron-ion nanoparticles at the stage (6).

4. QEMD APPROACH TO GENERATION OF THE MM RADIATION

4.1. The following factors play a key role in the QEMD at the stage (6):

1. Elastic collisions of the molecules N_2 and H_2O and the V-diagram of the VR transitions provide:
 - decrease of the symmetry of the molecules H_2O due to the increase of the gyration tensor $g_{q=0} \rightarrow g_{q^*}$;
 - sign-variable $\pm A_{\perp}$ and $\mp \Phi_{\parallel}$ modulation at each quarter-period $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$;
 - increase of the "quantum polarization" diamagnetic susceptibility $-\chi_{d\parallel\perp q^*}$ [33];
2. The Biot-Savart law provides stability of the magnetic field strength $H_{\parallel q^*} = k_1 4\pi n_{flq^*} j_{nf\perp q^*}$ along the solenoid axis [36].
In particular, it provides stability of the magnetic field strength along the axis of a multi-cylindrical (according to the Fresnel zones number) optical "solenoid-cavity" self-organized in the "CF + MG" system in the form of SWSP. Here $k_1 = 1/c$ in the Gauss system, n_{flq^*} and $j_{nf\perp q^*}$ is the number of turns (wavelengths of ММ radiation) on the "solenoid-cavity" length and the electron current in the sections $\lambda_{xd^*} = \lambda_{+q^*}$ in each Fresnel zone.
3. The addition of the components of the collective of fields $JE_{\perp\parallel q}^{\Sigma}$ and $H_{\perp\parallel q}^{\Sigma}$ to the field of the molecules H_2O leads to a phase conjugation of the field of the BR spherical wave with p polarization with the field of Rayleigh scattering along the feedback loop in the range of the anomalous ST variance of $n'_{\perp\parallel q^*}$ light at the VR transitions (5).

Рис. 8. Наночастица электрон-ион – нанорезонатор
Fig. 8. Electron-ion nanoparticle – a nanoresonator

того столкновения (6). При этом силы Лоренца, Кориолиса и двумерной ОС управляют движением –е в процессе резонансного нелинейного усиления спин-орбитального взаимодействия на каждом шаге $T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$ с этапа упругого столкновения (6).

Как следствие, в момент окончания этапа (6):

1. тензор гирации молекул H_2O достигает порогового значения $g_{q=0} \rightarrow g_{q^*}$;
2. спин валентного электрона молекул H_2O и спин магнитного фотона выстраиваются между собой $\uparrow\downarrow$ относительно оси Z БИ накачки;
3. орбита валентного электрона каждой молекулы H_2O в каждой зоне Френеля достигает размера $\lambda_{xd^*} = \lambda_{+q^*}$ вдоль оси Z и размера $\lambda_{xd^*} = \lambda_{+q^*}/2$ ортогонально оси Z;
4. каждая наночастица электрон-ион приобрела статус квантового нанорезонатора на своем участке диапазона 250–900 нм (рис. 8);
5. приготовлен ММ электронный переход с пороговой диамагнитной восприимчивостью $-\chi_{d||+q^*}$ и пороговой диамагнитной энергией $\bar{W}_{Z||+q^*}$ наночастиц электрон-ион;
6. "соленид-резонатор" с оптически активным ансамблем диамагнитных наночастиц электрон-ион в форме СВЭП на частоте ММ электронного перехода $2\omega_{xq^*} = 2\omega_{+q^*}$ приобрел свойство многоцилиндрического "шланга с резьбой" при шаге $\lambda_{xd^*} = 2\pi/k$;
7. реализована полная ПВ когерентность ММ излучения порядка $m_D J_m n_Z$ [14]; n_Z – число зон Френеля в объеме (1) при полудлине волны ММ излучения $\lambda_{xd^*}/2$;
8. сформирована дополнительная потенциальная "яма" на электронной поверхности молекул H_2O в области высоковозбужденного состояния рабочего КВ перехода. Простран-

Рис. 9. Дополнительная потенциальная "яма" на электронной поверхности молекулы

Fig. 9. Additional potential "well" on the electron surface of the molecule

In this case, all Fresnel zones "work in phase" relatively to the point P_x located on the Z axis far beyond the "solenoid-cavity".

4. The difference between the properties of the electric and magnetic photons [37] opens the possibility of spin-flip generation of ММ radiation at the frequency of the prepared ММ electronic transition.

The total momentum of the electric photon is equal to $J=L+S$, which is the vector sum of the spin $S=1$ and the orbital L momentums, where L is nothing else than the rank of the spherical functions Y_{Lm} that are part of the wave function of a photon having parity $(-1)^L$. The total

ственное вырождение энергии по магнитным J_m – подуровням снято в потенциальной "яме" (рис. 9);

9. наночастицы электрон-ион в зонах Френеля приобрели единую меру, равную:

- длине волны ММ излучения $\lambda_{xd^*} = \lambda_{+q^*}$,
- длине нанорезонатора $\lambda_{xd^*} = \lambda_{+q^*}$ вдоль оси Z "соленоида-резонатора",
- полудлине $\lambda_{xd^*}/2$ ортогонально оси Z в каждой зоне Френеля.

Диамагнетизм оптического "соленоида-резонатора" реализовался за счет макроскопического управления движением валентного электрона молекул H_2O в модах (зонах Френеля) до пороговых пространственно-временных скоростей.

Оптически активная среда в "соленоиде-резонаторе" приобретает свойство фотонной жидкокристаллической (ЖК) среды и свойство сверхпроводника с абсолютной диамагнитной восприимчивостью $\chi_{d||\perp q^*} \approx -1/4\pi$ [38]. Ансамбль диамагнитных наночастиц электрон-ион имеет ПВ упорядоченность комплексного показателя преломления (7) с коэффициентом $\beta_{\perp||q^*} \approx -1/4\pi$.

4.2. Режим spin-flip генерации лазерного ММ излучения

Диамагнитные наночастицы электрон-ион m_D во всех зонах Френеля оптического "соленоиде-резонатора" имеют взаимозависимость Re и Im частей комплексного показателя преломления (7) и контур линии излучения в виде δ -образной функции (рис. 10).

Вдоль оси Z "соленоида-резонатора" на частоте $\lambda_{xd^*} = \lambda_{+q^*}$ приготовленного ММ электронного перехода самовозбуждается генерация лазерного ММ излучения σ поляризации в режиме spin-flip $\downarrow\uparrow$ с характеристиками, сформированными взаимозависимо.

5. СРАВНЕНИЕ СХЕМ, МЕХАНИЗМА И РЕЖИМА ГЕНЕРАЦИИ ЭД И ММ ИЗЛУЧЕНИЯ

Схема ЭД лазера включает:

1. Λ -схему ЭД переходов (рис. 11),
2. активную среду, резонатор и накачку,
3. механизм ОС, реализующий в резонаторе лазера процесс взаимодействия между фотонами генерации и активной средой.

Генерация ЭД излучения самовозбуждается на одной из частот резонатора ω_r в момент достижения на естественном ЭД переходе $2 \Rightarrow 1$ пороговой инверсии населенностей (рис. 11).

Схема ММ лазера включает:

Рис. 10. ММ переход с контуром линии в виде d-образной функции

Fig. 10. MM transition with the line contour in the form of d-shaped function

momentum of a magnetic photon having parity $(-1)^{J+1}$ coincides with the orbital momentum $J=L$. The spin of the magnetic photon $S=1$ implicitly presents in the orbital momentum L as an element of the rank of spherical functions.

Under critical conditions (2), which affect the interaction of the magnetic photon with the valence electron of the molecule H_2O , the photon spin $S_f=1$ and the electron spin $s_e=\pm 1/2$ are oriented relatively to the Z axis of the MM radiation at the stage (6). At each step

Рис. 11. Схема генерации излучения на ЭД переходе лазера на рубине

Fig. 11. Diagram of generation of radiation at a natural ED transition of ruby laser

Рис. 12. Схема самоорганизации ансамбля наночастиц и генерации ММ излучения

Fig. 12. Diagram of self-organization of the ensemble of nanoparticles and generation of MM radiation

1. упругое столкновение рабочей (H_2O) и уширяющей (N_2) молекулы,
2. низкочастотный (стартовый) ЭД переход и высокочастотный магнитный мультипольный (рабочий) КВ переходы, объединенные нижним уровнем в V-схему,
3. механизм двумерной ОС между энергиями квадратичных эффектов Штарка $\delta W_{St \perp \| q=0}$ и Зеемана $\delta \tilde{W}_{Z \perp \| q=0}$ в молекуле.

В объеме (1) реализуется открытая самоорганизация системы "КП+МГ" в оптически активный

$T_{+q}/4 \leq 10^{-15}$ of the stage (6), the Lorentz, Coriolis, and two-dimensional feedback forces control the motion – e for resonant nonlinear amplification of the spin-orbit interaction.

The moments of ending the stage (6) is:

1. the gyration tensor of the molecules H_2O has reached the threshold value $g_{q=0} \rightarrow g_{q*}$;
2. the spin of the valence electron of the molecules H_2O and the spin of the magnetic photon have ordered between each other $\uparrow\downarrow$ relatively to the Z-axis of the pumping BR.

ансамбль диамагнитных наночастиц электрон-ион на подготовленном ММ электронном переходе в области рабочего КВ перехода. Ансамбль наночастиц электрон-ион приобретает форму многоцилиндрического оптического "соленида-резонатора" за этап (6).

Момент окончания этапа (6): в области высоко-возбужденного состояния рабочего КВ перехода сформирована дополнительная потенциальная "яма" (рис. 8) с пороговой диамагнитной восприимчивостью $\chi_{d||q}''$ и пороговой диамагнитной энергией $\tilde{W}_{Z||q}$ наночастиц электрон-ион в многоцилиндрическом "солениде-резонаторе" на подготовленном ММ электронном переходе.

Генерация ММ излучения (рис. 8) самовозбуждается в многоцилиндрическом оптическом "солениде-резонаторе" в режиме spin-flip на частоте подготовленного ММ электронного перехода $2\omega_{Xq} = 2\omega_{+q}$. Характеристики ММ излучения сформированы взаимозависимо.

6. СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ММ ИЗЛУЧЕНИЯ

Поле БИ накачки p поляризации со сферическим поперечным распределением интенсивности на входе диамагнитной фотонной ЖК среды, направленное вдоль зон Френеля, создаёт на выходе пучок ММ излучения σ поляризации с расходимостью

$$\theta_{||q} \approx \chi_{d||q} \lambda_{Xq} / D_{q}, \quad (8)$$

на порядок меньше дифракционной расходимости лазерного ЭД излучения накачки. Здесь использован коэффициент $\chi_{d||q} \approx 1/4\pi$, характеризующий полную (электрическую, магнитную и механическую) пространственно-временную упорядоченность наночастиц электрон-ион в виде диамагнитной фотонной ЖК среды на подготовленном ММ электронном переходе.

Высокая помехоустойчивость ММ излучения в атмосфере обусловлена тем, что между диамагнитной фотонной ЖК средой, коллективом полей и зонами Френеля самоорганизовалась жесткая функциональная связь относительно точки P_x , расположенной на оси Z далеко за пределом "соленида-резонатора".

В этом случае закон Био-Савара с компонентой $H_{||q}$ ММ излучения вдоль оси Z распространяется на все зоны Френеля многоцилиндрического оптического "соленида-резонатора" и на все молекулы m_D , стартовавшие из состояния k' молекул H_2O .

- the orbit of the valence electron of each molecule H_2O along ($\parallel$) the Z -axis has reached the size $\lambda_{Xd} = \lambda_{+q}$, and the size $\lambda_{Xd} = \lambda_{+q}/2$ orthogonally the Z -axis in each Fresnel zone;
- each electron-ion nanoparticle has become a quantum nanoresonator at its part of the range 250–900 nm, see Fig. 8.
- the ММ electron transition with the threshold diamagnetic susceptibility $-\chi_{d||q}$ and the thresholds diamagnetic energy of electron-ion nanoparticles $\tilde{W}_{Z||q}$ has been prepared;
- the "solenoid-cavity" with optically active ensemble of diamagnetic nanoparticles in the form of SWSP at the frequency of ММ electron transition $2\omega_{Xq} = 2\omega_{+q}$ has taken the property of multi-cylindrical "threaded hose" with the step $\lambda_{Xd} = 2\pi/k$;
- the full ST coherence of ММ radiation of the order $m_D J_m n_Z$ has been realized [14]; $m_D J_m n_Z$ is the Fresnel zones number in the volume (1) at the half-wavelength of the ММ radiation $\lambda_{Xd}/2$;
- an additional potential "well" is formed on the electron surface of the molecules H_2O in the range of the highly excited state of the working VR transition. The spatial degeneracy of the diamagnetic energy with respect to the magnetic energy J_m -sublevels is relieved in the potential "well", Fig. 9.
- the electron-ion nanoparticles have taken a unit measure equal to:
 - the wavelength of ММ radiation $\lambda_{Xd} = \lambda_{+q}$,
 - the nanoresonator length $\lambda_{Xd} = \lambda_{+q}$ along the Z -axis of the "solenoid-cavity" and
 - the half-length $\lambda_{Xd}/2$ orthogonally $\perp$ the Z -axis in each Fresnel zone.

The diamagnetism of the optical "solenoid-cavity" is caused by the macroscopic control of the motion of the valence electron of the molecules H_2O in the modes (Fresnel zones) up to the threshold spatial-temporal velocities.

The optically active medium in the "solenoid-cavity" acquires the property of a photonic liquid-crystal (LC) medium and the property of a superconductor with absolute diamagnetic susceptibility $\chi_{d||q} \approx -1/4\pi$ [38]. The ensemble of diamagnetic electron-ion nanoparticles has a ST ordering of the complex refractive index (7) with a factor of $\beta_{||q} \approx -1/4\pi$.

4.2. Spin-flip generation mode of the laser ММ radiation

Diamagnetic electron-ion nanoparticles m_D in all Fresnel zones of the optical "solenoid-cavity" have the interdependence of the Re and Im parts of the complex

Из оценок работы [39, 40] следует: характеристики ММ излучения превышают характеристики ЭД излучения от 1 до 7 порядков величины. При этом ММ излучение имеет когерентность $Co = m_D J_m n_z$ высокого порядка, винтовой фронт и большой орбитальный магнитный/механический момент $L = m_D J_m n_z \hbar$, рис. 12.

Минимальная помехоустойчивая трасса волнового фронта ММ излучения в атмосфере равна произведению длины волны ММ излучения $\lambda_{xd} = \lambda_{+q}$, умноженной на полную ПВ когерентность высокого порядка $Co = m_D J_m n_z$. То есть, минимальная помехоустойчивая трасса ММ излучения в атмосфере равна $\ell = \lambda_{xd} m_D J_m n_z$.

Для ММ излучения на $\lambda_{xd} = 693,38$ нм в области КВ магнитного мультипольного перехода $H_2O 4_{-3q}^{(000)}E \rightleftharpoons 5_{-4q}^{(103)}$ получим минимальную помехоустойчивую трассу:

$$\ell = 10^7 \cdot 5 \cdot 694,38 \text{ нм} \cdot 28801 \approx 34,719 \cdot 28,801 \cdot 10^3 \text{ м} \approx$$

$$\approx 999,94 \text{ км при } m_D \approx 10^7, J_m = 5,$$

$$\Delta z_{\parallel q} = c/\delta\omega = 3 \cdot 10^{10} / 50 \cdot 10^6 = 6 \text{ м, } n_z = 28801,$$

$$2r_{nf\perp q} = 1,0 \text{ см.}$$

После образования потенциальной "ямы" и пороговой диамагнитной энергии $\tilde{W}_{Z\parallel q}$ на высоковозбужденном состоянии приготовленного ММ электронного перехода, реализуется генерация ММ излучения σ поляризации на частоте $\omega_{xq} = 2\pi/T_{xq}$ в "солениде-резонаторе".

Поле БИ накачки p поляризации, заполняя на каждом периоде $T_{xq} = 2\pi/T_{xq}$ "соленид-резонатор" и приготавливая в нём диамагнитную энергию, выталкивает из него поле ММ излучения s поляризации с диамагнитной энергией. То есть, генерация ММ излучения состоит из двух взаимосвязанных частей:

1. spin-flip $\uparrow\uparrow$ генерация ММ излучения σ поляризации на частоте ω_{xq} с диамагнитной энергией $\tilde{W}_{Z\parallel q}$ и
2. spin-flip $\uparrow\downarrow$ заполнение "соленида-резонатора" полем БИ накачки p поляризации с образованием диамагнитной энергии $\tilde{W}_{Z\perp q}$ на приготовленном ММ электронном переходе.

Монохроматичность ММ излучения можно представить в виде

$$\delta\omega_{xq} \approx P_{emisq} / 2\pi U_{storq} \quad (9)$$

refractive index (7) and the radiation line contour in the form of a δ -shaped function, Fig. 10.

Along the Z-axis of the "solenoid-cavity" at the frequency $\lambda_{xd} = \lambda_{+q}$ of the prepared ММ electron transition, generation of the ММ laser radiation with σ polarization is self-excited in the spin-flip mode $\uparrow\uparrow$ with the dependently formed characteristics.

5. COMPARISON OF DIAGRAMS, MECHANISM AND GENERATION MODE OF ED AND MM RADIATION

Physical basis of the ED radiation includes:

1. Λ -diagram of the Ed transitions (Fig. 11);
2. active medium, cavity and pumping;
3. feedback mechanism realizing the process of interaction between the photons of generation and the active medium in the cavity.

Generation of the ED radiation is self-excited at one of the frequencies of the resonator ω_r at the moment when the threshold population inversion has been reached at the natural Ed transition $2 \Rightarrow 1$, Fig. 11.

Physical basis of ММ radiation includes:

1. elastic collision of a working molecule (H_2O) with a broadening molecule (N_2);
2. a low-frequency (*initial*) ED transition and a high-frequency magnetic multipole (*working*) VR transitions combined into a V-diagram by the lowest state;
3. mechanism of two-dimensional feedback between the energies of quadratic Stark $\delta W_{St\perp q=0}$ and Zeeman $\delta W_{Z\perp q=0}$ effects in the molecule H_2O under critical conditions (2).

An open self-organization of the "CF+MG" system is realized in the volume (1) in an optically active ensemble of diamagnetic electron-ion nanoparticles on a prepared ММ electron transition in the range of the working VR transition. The electron-ion nanoparticle ensemble takes the form of a multi-cylindrical "solenoid-cavity" during the stage (6).

The end of stage (6): an additional potential "well" with the threshold diamagnetic susceptibility $\chi''_{d\parallel q}$ and the threshold diamagnetic energy $\tilde{W}_{Z\perp q}$ of electron-ion nanoparticles in the "solenoid-cavity" on the prepared ММ electron transition is formed in the range of the highly excited state of the working VR transition (Fig. 8).

Generation of the ММ radiation (Fig. 8) is self-excited in a multi-cylinder optical "solenoid-cavity" in the spin-flip mode at the frequency of the prepared ММ electron transition $2\omega_{xq} = 2\omega_{+q}$. The characteristics of the ММ radiation are formed dependently.

В (9) добротность резонатора [1] задана как $Q = \omega_{Xq^*} / \delta\omega_{Xq^*}$ - отношение частоты ММ излучения к ширине линии $\delta\omega_{Xq^*}$ на приготовленном ММ переходе $4_{-3q}^{(000)}E \rightleftharpoons 5_{-4q}^{(103)}$ (рис. 10) и как $Q = 2\pi \cdot (\text{запасенная энергия}) / (\text{энергия, теряемая за период } T_{Xq^*})$.

Диаманитная энергия, запасенная ансамблем наночастиц в поле стоячей волны ММ излучения σ поляризации, равна $U_{\text{storq}} \approx 2 \cdot 10^4$ эрг при $T_{Xq^*} = 2\pi / T_{Xq^*}$ и $\Delta V_{q^*} \approx 0,8 \cdot 10^6 \text{ см}^3$ ($S \approx 0,81 \text{ см}^2$, $\Delta z_{0q^*} \approx 10^2$ и $m_D \approx 10^7$) [41, 42]. Для полихроматического лазерного излучения накачки [41, 42] получим в резонаторе лазера мощность ММ излучения $P_{\text{emisq}^*} \approx \hbar \omega_{Xq^*} / T_{Xq^*} = 1,23 \cdot 10^3$ Вт на периоде $T_{Xq^*} = \lambda_{Xq^*} / c \approx 2,31 \cdot 10^{-15}$ с. Из (9) следует, что пороговая монохроматичность ММ излучения на выходе из резонатора равна $\delta\omega_{Xq^*} \approx 1,9 \cdot 10^{-2}$ Гц.

Так как энергия коллектива полей накачки движется только по замкнутой V-схеме переходов (5), где практически исключены потери диаманитной энергии, то открывается возможность получить эффективность накачки ~100%.

Характеристики поля ММ излучения описываются корреляционной функцией $g^{(Co)}(r_1, t_1, \dots, r_{Co}, t_{Co}; r_{Co}, t_{Co}, \dots, r_1, t_1) = 1$ порядка $Co = m_D J_m n_z$ [8]: оценка приведена в [39].

1. Рабочий диапазон 250–900 нм.
2. Эффективность накачки ~100%.
3. Монохроматичность ~1 Гц.
4. Расходимость меньше дифракционной ~ в $1/4\pi$ раза.
5. Пространственное разрешение ≤ 1 см.
6. Орбитальный магнитный/механический момент до $10\,000\,000 \hbar$.
7. Превышение устойчивости волнового фронта над волновым фронтом ЭД излучения до $10\,000\,000$ раз.
8. Энергия ММ излучения определяется энергией БИ накачки.

7. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ММ ИЗЛУЧЕНИЯ

7.1. Коммуникационная и аэрокосмическая области

1. Высокоустойчивая высокоскоростная (≥ 2 Тб/с) связь при достоверности 10^{-9} на трассах Земля-Космос-Земля с любой точкой земного шара.
2. Высокоточная ($\leq 1 \text{ см}$) навигация объектов на трассах Земля-Космос-Земля.
3. Единая лазерная система управления низкоорбитальными и геостационарными КА в режиме реального времени.

6. PROPERTIES AND CHARACTERISTICS OF THE MM RADIATION

The pumping BR field with π polarization with spherical cross-section intensity distribution at the inlet of the diamagnetic photon LC medium directed along the Fresnel zones creates at the outlet a beam of MM radiation with σ polarization and the divergence

$$\theta_{\perp lq^*} \approx \chi_{d\perp lq^*} \lambda_{Xq^*} / D_{q^*}, \quad (8)$$

which is one order of magnitude less than the diffraction divergence of the pumping ED radiation. The coefficient $\chi_{d\perp lq^*} \approx 1/4\pi$ is used here, which characterizes the total (electric, magnetic and mechanic) spatial-temporal ordering of the electron nanoparticle in the form of a diamagnetic photon LC medium on the prepared MM electron transition.

The high noise resistance of MM radiation in the atmosphere is caused by the fact that a rigid function relatively the point P_x located on the Z-axis far beyond the "solenoid-cavity" is self-organized between the diamagnetic photonic LC medium, the collective of fields, and the Fresnel zones.

In this case, the Biot-Savart law with a stable component H_{lq^*} of MM radiation along the Z axis extends to all Fresnel zones of the multi-cylindrical optical "solenoid-cavity", and to all molecules m_D H_2O that started from the state k' .

It follows from the estimates of [39, 40] that the characteristics of the MM radiation are 1 to 7 orders of magnitude greater than the characteristics of the ED of radiation. In this case, the MM radiation has coherence of high order $Co = m_D J_m n_z$, a screw front and a large orbital magnetic/mechanical moment $L = m_D J_m n_z \hbar$, Fig. 12.

The minimum noise-resistant trace of the wave front of MM radiation in the atmosphere is equal to the product of the wavelength of the MM radiation $\lambda_{Xd^*} = \lambda_{+q^*}$ and the full-order ST coherence of a high order $Co = m_D J_m n_z$. That is, the minimum noise-resistant trace of MM radiation in the atmosphere is $\ell = \lambda_{Xd^*} m_D J_m n_z$.

For the MM radiation at $\lambda_{Xd^*} = 693.384 \text{ nm}$ in the range of the VR magnetic multipole transition of H_2O $4_{-3q}^{(000)}E \rightleftharpoons 5_{-4q}^{(103)}$ we obtain a minimum noise-resistant trace:

$$\ell = 10^7 \cdot 5 \cdot 694.38 \text{ nm} \cdot 28801 \approx 34.719 \cdot 28,801 \cdot 10^3 \text{ m} \approx 999.94 \text{ km at } m_D \approx 10^7, J_m = 5,$$

$$\Delta z_{lq^*} = c / \delta\omega = 3 \cdot 10^{10} / 50 \cdot 10^6 = 6 \text{ m}, n_z = 28801,$$

$$2r_{nf\perp lq^*} = 1,0 \text{ cm}.$$

4. Утилизация "космического мусора" на орбите КА.
5. Мониторинг чрезвычайных ситуаций на суше, на воде и под водой.
6. Лазерно-магнитное упрочнение аэрокосмического материала.
7. Высокоточная диагностика движения околоземных аппаратов и подводных объектов.
8. Лазерно-магнитная защита турбинных лопаток и космических материалов износостойким покрытием и др.

7.2. Медицинская область

1. Высокочастотная высокоточная магнитно-резонансная терапия онкозаболеваний, артритов и артрозов путем накопления диамагнитной энергии объектом заболевания.
2. Высокоточное высокочастотное лечение глазных заболеваний путем накопления диамагнитной энергии больным объектом.

7.3. Атмосферно-оптическая область

1. Высокоточное измерение электро- и магнитодинамических параметров молекул..

After the formation of a potential "well" and the threshold diamagnetic energy $\tilde{W}_{Z\parallel\perp q^*}$ in the highly excited state of the prepared MM electron transition, the generation of MM radiation with σ polarization is realized at a frequency of $\tilde{W}_{Z\parallel\perp q^*}$ in the "solenoid-cavity".

The BR pumping field with π polarization, filling a "solenoid-cavity" at each period $T_{Xq^*} = 2\pi/T_{Xq^*}$ and preparing a diamagnetic energy in it, pushes out of it the field of MM radiation with σ polarization with the diamagnetic energy. That is, generation of MM radiation consists of two connected parts:

1. spin-flip $\downarrow\uparrow$ generation of MM radiation with σ polarization at the frequency of ω_{Xq^*} with diamagnetic energy $\tilde{W}_{Z\parallel\perp q^*}$ and
2. spin-flip $\uparrow\downarrow$ filling of the "solenoid-cavity" by the BR pumping field with π polarization with formation of the diamagnetic energy $\tilde{W}_{Z\parallel\perp q^*}$ on the prepared MM electron transition.

One can write the monochromatic MM radiation in the form

$$\delta\omega_{Xq^*} \approx P_{emisq^*} / 2\pi U_{storq^*}. \quad (9)$$

2. Высокоточное измерение состава и состояния молекулярной атмосферы.
3. Высокоточная диагностика состояния атмосферы, поверхности Земли и Луны.
4. Высокоточный мониторинг состояния каналов солнечно-земной связи и определение величины магнитных бурь, влияющих на состояние человека, оптическую погоду и на работу наземно-космических систем связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

До последнего времени в мировой литературе не обсуждались явления, в которых коллектив полей $E_{\parallel q}^{\Sigma}$, $H_{\perp q}^{\Sigma}$ и молекулярный газ при экстремальных характеристиках были бы компонентами единого квантово-электромагнитодинамического процесса, порождающего генерацию ММ излучения с аномальными магнитооптическими свойствами. Длина волны фотона такого излучения много больше размера рабочей молекулы (т.е. размера, определяющего ее форм-фактор; для ядер этот размер совпадает, конечно, с ее "радиусом"), но совпадает с размером наночастицы электрон-ион. В самое последнее время появилось предположение, что динамический процесс может синтезировать диамагнитную среду и световые поля [41, 42]. Экстремальные характеристики коллектива полей и молекулярного газа могут обеспечить также самоорганизацию шаровой молнии и формирование ее свойств [34]. В работе [43] этот процесс использован при разработке ММ метода высокочувствительной диагностики молекулярного состава атмосферы. Показано, что чувствительность ММ метода на четыре порядка превышает чувствительность метода лазерно-индуцированной флуоресценции.

Сравнение результатов расчета самоорганизации молекул в ансамбль электрон-ион, выполненное в рамках S-теоремы и по критерию роста радиуса нелокальности отклика валентного электрона молекул в коллективе полей, позволяет сделать вывод, что КЭМД подход к генерации ММ излучения вполне адекватен оценкам его характеристик [13, 40]. Результат оценки [39] указывает на то, что ММ излучение обладает качественно новым уровнем устойчивости волнового фронта при когерентности высокого порядка, малом ослаблении интенсивности на больших атмосферных трассах и большой магнитной индукцией в различных объектах.

Механизм двумерной ОС корректирует внутри- и межмолекулярное движение электрона

Q-factor of the cavity [1] is used in Eq. (9), which is set as $Q = \omega_{Xq}^* / \delta\omega_{Xq}^*$ the ratio of the frequency of MM radiation to the line width $\delta\omega_{Xq}^*$ on the prepared MM transition $4_{-3q}^{\oplus}(000)E \rightleftharpoons 5_{-4q}^{\oplus}(103)$ (Fig. 10) and as $Q = 2\pi \cdot (\text{accumulated energy}) / (\text{energy lost during the period } T_{Xq}^*)$.

The diamagnetic energy accumulated by the ensemble of nanoparticles in the standing wave field of MM radiation with σ polarization is $U_{\text{storg}}^* \approx 2 \cdot 10^4$ erg at $T_{Xq}^* = 2\pi / T_{Xq}^*$ and $\Delta V_{q^*} \approx 0,8 \cdot 10^6$ cm³ ($S \approx 0,81$ cm², $\Delta z_{0q^*} \approx 10^2$ and $m_D \approx 10^7$) [41, 42]. For the polychromatic pumping laser radiation [41, 42] we obtain the power of the MM radiation $P_{\text{emisq}}^* \approx \hbar\omega_{Xq}^* / T_{Xq}^* = 1,23 \cdot 10^3$ W in the laser cavity on the period $T_{Xq}^* = \lambda_{Xq}^* / c \approx 2,31 \cdot 10^{-15}$ s. It follows from Eq. (9) that the threshold monochromaticity of the MM radiation at the outlet from the cavity is $\delta\omega_{Xq}^* \approx 1,9 \cdot 10^{-2}$ Hz.

Since when the energy of the collective of the pumping fields is moved along a closed V-diagram of the transitions (5), the channels for the loss of diamagnetic energy are practically eliminated, it becomes possible to obtain the pumping efficiency of $\sim 100\%$.

Characteristics of the field of MM radiation are described by the correlation function $g^{(Co)}(r_1, t_1, \dots, r_{Co}, t_{Co}; r_{Co}, t_{Co}, \dots, r_1, t_1) = 1$ of order $Co = m_D J_m n_Z$ [8]: estimate is present in [39].

1. Working range 250–900 nm.
2. Efficiency of pumping $\sim 100\%$.
3. Monochromaticity ~ 1 Hz.
4. Divergence less than diffraction $\sim$ by the factor of $1/4\pi$.
5. Spatial resolution ≤ 1 cm.
6. Orbital magnetic/mechanic momentum up to 10 000 000 $\hbar$
7. Exceeding of the wave front stability. Over the wave front of ED radiation up to the factor of 10 000 000.
8. Energy of MM radiation is determined by the pumping BR energy.

7. APPLICATIONS OF THE KNOWLEDGE-BASED LASER MM RADIATION

7.1. Communication and aerospace applications

1. High-stable high-speed (≥ 2 Tb/s) communication with reliability of 10^{-9} on the Earth-Space-Earth routes with any point of the Earth.
2. High-precision (≤ 1 cm) navigation of objects on the Earth-Space-Earth paths.
3. United laser control system for low-orbit and geostationary space vehicles in real time.

и иона и изменяет энергетическую и геометрическую структуру рабочих молекул за время, меньше длительности их упругого столкновения с уширяющими молекулами. Этот механизм укладывается в рамки теории взаимодействия света с веществом [23] и косвенно подтверждается результатами:

- исследования динамики анизотропного столкновения молекул [44, 45];
- внутримолекулярной квантовой динамики [46];
- фазового контроля спонтанного излучения [47];
- безынверсного усиления излучения путем изменения фазы управляющего поля [48];
- неразрушающих квантовых измерений [49].

Следующими этапами развития исследований являются:

1. КЭМД расчет самоорганизации ансамбля электрон-ион на подготовленном ММ электронном переходе с генерацией на его частоте ММ излучения,
2. прямая экспериментальная проверка предложенного способа генерации ММ излучения и
3. применение ММ излучения для решения наукоемких коммуникационных, аэрокосмических, атмосферно-оптических, медицинских и иных задач.

Авторы благодарны С.Н. Багаеву за обсуждение работы на Ученом совете ИЛФ СО РАН и С.М. Кобцеву за обсуждение работы в НИ НГУ, В.Г. Багрову и А.А. Рухадзе за консультации и полезные дискуссии, В.Н. Черепанову и Р.Р. Валиеву за аналитику системы "коллектив полей+молекулярный газ".

Ранее работа была поддержана Фондом Сколково № КТИТ-11 от 18.09.2012 и ТРИНЦ Томской области в 2014г

ЛИТЕРАТУРА

29. Кильдишев А. В., Шалаев В. М. // УФН. 181. № 1. 2011, 50.
30. Дирак П. Принципы квантовой механики. Глава I. Принцип суперпозиции. – М.: Мир, 1979.
31. Фейнман Р, Лейтон Р, Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. – М.: Мир, 1963, т. 3. Гл. 26.
32. Физический энциклопедический словарь. – М.: БРЭ, 1995.
33. Вонсовский С. В. Магнетизм. – М.: Наука, 1971.
34. Lopaov V. P. // Plasma Physics Reports. 37. 13 (2011). 10998.
35. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика. – М.: МГУ (2004) 458
36. Физический энциклопедический словарь. – М.: БРЭ, 1995, 54.
37. Физический энциклопедический словарь. – М.: БРЭ, 1995, 826.
38. Физический энциклопедический словарь. – М.: БРЭ, 1995, 157.

4. Utilization of "space debris" on the space vehicle orbit.
5. Monitoring of emergency situations on land, on water and under water.
6. Laser-magnetic hardening of aerospace material.
7. High-precision diagnostics of the motion of near-Earth vehicles and underwater objects.
8. Laser-magnetic protection of turbine blades and space materials with wear-resistant coating.

7.2. Medical applications

1. High-frequency high-precision magnetic resonance therapy of oncological diseases, arthritis and arthrosis by means of accumulation of diamagnetic energy by a diseased object.
2. High-precision high-frequency treatment of eye diseases by means of accumulation of diamagnetic energy in a diseased object.

7.3. Atmospheric-optical applications

1. High-precision measurement of electro- and magnetodynamic parameters of molecules, etc.
2. High-precision measurement of the composition and state of the molecular-aerosol atmosphere.
3. High-precision diagnostics of the state of the atmosphere, the Earth's and the Moon's surfaces.
4. High-precision monitoring of the state of the channels of the solar-terrestrial communication and determination of the magnitude of magnetic storms affecting the human condition, optical weather and the operation of terrestrial and space communication systems.

CONCLUSION

Until recently, the phenomena were not discussed in the world literature, where the collective of fields E_{llq}^{Σ} , H_{llq}^{Σ} and the molecular gas under extreme macroparameters would be the components of a united QEMD process that produces the generation of MM radiation with anomalous magneto-optical properties. The photon wavelength of such radiation is much larger than the size of the working molecule (that is, the size determining its form-factor, for nuclei this size coincides, of course, with its "radius"), but coincides with the size of the electron-ion nanoparticle. Most recently, it has been suggested that a dynamic process can synthesize a diamagnetic medium and light fields [41, 42]. Extreme macroparameters of the collective of fields and molecular gas can also provide self-organization of ball lightning and the formation of its properties [34]. This process was used in [43] for the development of the MM method of highly sensitive

39. **Лопасов В. П.** Оценка характеристик лазерного излучения на приготовленном магнитодипольном переходе // Прикладная физика. № 5. (2012) 5–10.
40. **Лопасов В. П.** // Фотоника. № 3(45). (2014) 54.
41. **Лопасов В. П.** Пат. 2320979. Россия. Заявл. 28.03.2006, опубл. 27.03.2008. Бюл. 9.
42. **Лопасов В. П.** Заявка № 2016126813 на патент РФ от 04.07.2016
43. **Лопасов В. П.** // Прикладная физика. № 6 (2011) 22–27.
44. **Salam A.** // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 33. (2000) 2181–2193.
45. **Salam A.** // Phys. Rev. A. 73. (2006) 013406
46. **Буренин А. В.** Симметрия квантовой внутримолекулярной динамики. – Нижний Новгород: ИПФ РАН. (2012) 415.
47. **Paspalakis E., Knight P. L.** // Phys. Rev. Lett. № 81. (1998) 293.
48. **Anton M. A. et al.** // Phys. Rev. At. № 69. (2004) 023801.
49. **Брагинский В. Б.** Развитие методов квантовых измерений // УФН. 175. № 6. (2005) 621.
29. **Kil'dishev A.V., Shalaev V. M.** // Usp. Fiz. Nauk. 181. No. 1. (2011) 50.
30. **Dirak P.** Principles of Quantum Mechanics. Chapter 1. Superposition Principle. – М.: Mir, (1979) 27.
31. **Feynman R., Leighton R.B., Sands M.** The Feynman Lectures on Physics (1963). V 3. Chapter 26.
32. Physical encyclopedic dictionary. BRE, Moscow (1995) 429.
33. **Vonsovskii S. V.** Magnetism. Nauka, Moscow (1971) 71.
34. **Lopasov V. P.** // Plasma Physics Reports. 37. 13 (2011) 10998.
35. **Akhmanov S.A., Nikitin S. Yu.** Physical Optics. – М.: State University Publishing House (2004) 458.
36. Physical encyclopedic dictionary. – BRE, Moscow (1995) 54.
37. Physical encyclopedic dictionary. – BRE, Moscow (1995) 826.
38. Physical encyclopedic dictionary. – BRE, Moscow (1995) 157.
39. **Lopasov V. P.** // Prikl. Fiz. No. 5. (2012) 5–10.
40. **Lopasov V. P.** Conceptual Model of Magnetomultipole Laser // Fotonika. No. 3 (45). (2014) 54.
41. **Lopasov V. P.** Technique for Synthesis of Optically Active Diamagnetic Medium. Patent 2320979. Russia. Submitted 28.03.2006, published 27.03.2008. Bull. 9.
42. **Lopasov V. P.** Technique of self-organization of optically active ensemble of diamagnetic electron-ion nanoparticles. Submission No. 2016126813 for patent of RF, 04.07.2016.
43. **Lopasov V. P.** Method for Monitoring of molecules of a Medium due to Their Dynamic Self-Organization into an Electron-Ion Ensemble // Prikl. Fiz. No. 6 (2011) 22–27.
44. **Salam A.** On the contribution of the diamagnetic compiling term to the two-body retarded dispersion interaction // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 33. (2000) 2181–2193.
45. **Salam A.** Intermolecular interaction in a radiation field via the method of induced moments // Phys. Rev. A. 73. (2006) 013406.
46. **Burenin A. V.** Symmetry of Quantum Inter-Molecular Dynamics. Institute of Applied Physics RAS, Nizhniy Novgorod (2012) 415.
47. **Paspalakis E., Knight P. L.** // Phys. Rev. Lett. No. 81. (1998) 293.
48. **Anton M. A. et al.** // Phys. Rev. At. No. 69. (2004) 023801.
49. **Braginskii V. B.** // Usp. Fiz. Nauk. 175. No. 6. (2005) 621.

diagnostics of the molecular composition of the atmosphere. It is shown that the sensitivity of the MM method is four orders of magnitude greater than the sensitivity of the laser-induced fluorescence method.

Comparison of the results of the calculation of the self-organization of molecules into an electron-ion ensemble performed within the framework of the S-theorem and based on the growth criterion of the non-locality radius of the response of the valence electron of molecules in the collective of fields allows us to conclude that the QEMD approach to the generation of MM radiation is quite adequate to the estimates of its characteristics [13, 40]. The result of the estimate [39] indicates that the MM radiation has a qualitatively new level of stability of the wave front for coherence of high order, a small attenuation of the intensity on large atmospheric paths and a large magnetic induction in various objects.

The mechanism of the two-dimensional feedback corrects the intra- and intermolecular motion of the electron and ion and changes the energy and geometric structure of the working molecules during time shorter than the duration of their elastic collision with the broadening molecules. This mechanism fits within the framework of the theory of interaction of light with matter [23] and is indirectly confirmed by the results:

1. studies of the dynamics of an anisotropic collision of molecules [44, 45];
2. intra-molecular quantum dynamics [46];
3. phase control of spontaneous radiation [47];
4. non-inert amplification of radiation by changing the phase of the control field [48];
5. non-destructive quantum measurements [49].

The next stages of research development are:

1. QEMD calculation of the self-organization of the electron-ion ensemble on the prepared MM electron transition with generation of MM radiation at its frequency;
2. direct experimental verification of the proposed method for generating MM radiation; and
3. application of MM radiation for solving science-intensive communication, aerospace, atmospheric optical, medical, and other problems.

The authors thanks S.N. Bagaev for discussion of the result of the work at the Academic Council of the Institute of Laser Physics SB RAS and S.M. Kobtsev for a discussion of the results of the work, V.G. Bagrov and A.A. Rukhadze for consultations and useful discussions, V.N. Cherepanov and R.R. Valiev for the analytics of the "field collective + molecular gas" system.

The work was supported by the Skolkovo Foundation No. KTIT-II on 18.09.2012 and TRINC of the Tomsk Region in 2014.