ЛАЗЕРЛАР ПАРАМЕТРЛАРИНИ ҲИСОБЛАШНИНГ ЭҲТИМОЛЛИК УСУЛИ

Г.М.Мўминова, С.З.Зайнобидинов, М.О.Қўчқарова, М.Э.Хомидов

Мақолада лазерларнинг фаол қисмидаги энергетик сатҳларнинг зарядлар билан эгалланганлик даражаси ва сатҳлараро зарядлар ўтиш эҳтимолликларини ҳисоблашнинг қулай усули таклиф этилган.

Калит сўзлар: *лазер, когерент нур, фаол муҳит, эҳтимоллик усули, энергетик сатҳ, релаксацион ўтиш, адьюнкт.*

В статье предложен наиболее оптимальный метод определения степени заполнения энергетических уровней и вероятностей межуровневых переходов зарядов в активной части лазера.

Ключевые слова: *лазер, когерентная света, активной часть, вероятностный метод, энергетических уровень, релаксационный переход, адъюнкт.*

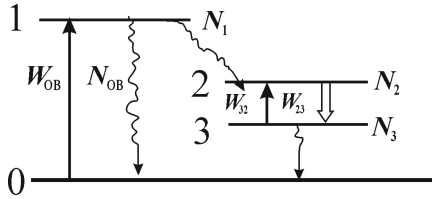
This article proposes the method for determining the optimal degree of filling of the energy levels and the probability of inter-level transition charges in the active laser.

Key words: *laser, active part, energy level, probability method, relaxation period, adjunct, coherent rays.*

Лазерлар – аниқ бир тўлқин узунлигига эга бўлган ёруғлик нурларини ҳосил қилувчи квант генераторидир. Бундай ёруғлик нурларини ҳосил қилиш, уларни кучайтириш, ингичка бир нур дастасини ҳосил қилиш жараёнлари лазер қурилмаларида амалга оширилади. Аввало, когерент нурланишлар ҳосил қилиниши лозим. Одатда, бу жараён киришма атомли яримўтказгичларда, икки ёки ундан ортиқ модда атомларидан иборат аралашмали газ, суюқлик ёки шу миқдорда бегона атомлари бўлган қаттиқ жисмларда ҳосил қилиниши мумкин. Мана шундай электромагнит тўлқинларни ҳосил қилувчи ва кучайтирувчи квант генераторлари фаолиятини тадқиқ қилишда уларнинг фаол муҳитда тарқалиши ва атроф муҳит билан ўзаро таъсирлашувини таърифловчи тенгламалар тузиш ва ечиш талаб этилади. Бундай электромагнит тўлқинлар табиати Максвелл тенгламалари ёки қўйилган масалага мослаштирилган соддароқ ҳолдаги тўлқин тенгламалари ёрдамида аниқланиши мумкин. Бу усул классик усул дейилади. Агар нурланишнинг фаол қисми квант назариясининг элементлари орқали, нурланишнинг тарқалиши ҳам квант методлари билан характерланса – бундай усул лазерларнинг квант назарияси дейилади.

Учинчи усул – лазерлар назариясининг энг содда варианти – жараёнларни таърифлашнинг эҳтимоллик усули. У жуда аниқ натижалар бермайди ва ҳисоблашлар учун яна қўшимча маълумотлар талаб этилса ҳам, ҳисоблашларнинг нисбатан соддалиги туфайли амалда кўпроқ қўлланилади. Бу усул натижалари етарли бўлмаган ҳолатларда классик ва квант назариялари аралаш қўлланадиган яримклассик усулдан фойдаланиш мумкин [1].

Эҳтимоллик усули асосини фаол соҳа энергетик сатҳларининг тизими ҳамда бу сатҳлараро зарядлар ўтиш эҳтимолликларининг аниқ эканлиги ташкил этади (1-расм).



У ҳолда E_i энергияли i энергетик сатҳнинг зарядлар билан эгалланганлик даражаси N_1 нинг вақт бўйича ўзгариши

$$\frac{dN_1}{dt}\sum_{j\neq i}W_{ji}N_i - N_i\sum_{j\neq i}W_{ij} \qquad (1)$$

С.З.Зайнобидинов *– АДУ физика кафедраси профессори, физика-математика фанлари доктори;*
М.О.Қўчқарова *– шу кафедра ассистенти;*
Г.М.Мўминова *– АДУ физика мутахассислиги магистранти;*
М.Э.Хомидов *– АДТИ ассистенти.*

кинетик тенглама билан ифодаланади. Бунда W_{ji}- заррачанинг j - энергетик ҳолат E_j дан E_i ҳолатга ўтишининг тўлиқ эҳтимоллиги, W_{ij} - тескари ўтиш, яъни E_i дан E_j га ўтиш эҳтимоллиги.

Бу тенглама i энергетик сатҳдаги заррачалар ўзгариши балансини таърифлагани учун баланс тенгламаси дейилади. W нинг тўлиқ ўтиш эҳтимоллиги дейилишига сабаб, у нурланишли (мажбурий) ва нурланишсиз (ўз-ўзидан) ўтишлар эҳтимоллигини белгилайди. Нурланишли ўтишлар, одатда, ўз-ўзидан ўтиш (эҳтимоллиги А коэффициент билан аниқланади) ва мажбурий ўтиш (эҳтимоллиги B_{ij} ва B_{ji}) бўлиши мумкин**.** Иккинчи хил ўтишлар – E_j – E_i энергияси атрофдаги молекулаларга кинетик энергия сифатида узатиладиган релаксацион ўтишлар d_{ij} ва d_{ji} лардан иборат. Шундай қилиб, бу эҳтимолликларни қуйидагича ифодалаш мумкин: [2]

$$\begin{array}{ll} W_{ji} = A_{ji} + B\,J_{ji} + d_{ji} & j>1\ Да;\ W_{ji} = B_{ji} + d_{ji};\ j<I\ Да \\ W_{ij} = B_{ij} + d_{ji} & W_{ij} = A_{ij} + B_{ij} + d_{ij} \end{array} \qquad (2)$$

Агар $\tau_{сп}$ - ўз-ўзидан, $\tau_{маж}$ - мажбурий, $\tau_{нурсиз}$ - нурланишсиз ўтиш вақтлари деб белгиласак, берилган сатҳ учун тўла ўтиш вақти қуйидагича бўлади:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{сп}} + \frac{1}{\tau_{маж}} + \frac{1}{\tau_{нурсиз}}$$

Бунда τ - заррачанинг берилган сатҳдаги тўла яшаш вақти. (1) ва (2) ифодалар биргаликда стационар ҳолатлар учун ($dN_i/dt=0$) ечилганда, j- ҳолатнинг зарядлар билан эгалланганлик даражаси қуйидагича бўлади:

$$N_j = N_0 \frac{A_{nj}}{D} \qquad (3)$$

Бунда A_{nj} – тенгламалар системаси ечимлари детерминантининг адьюнкти, D – унинг аниқловчиси [3] .

Икки сатҳли тизим учун аниқловчи D ни сатҳлараро ўтиш эҳтимоллиги P билан алмаштириб, уларнинг зарядлар билан эгалланганлик даражалари учун қуйидагича ифодаларни ҳосил қиламиз:

$$N_1 = \frac{N_0 P_{21}}{P_{12} + P_{21}};\ N_2 = \frac{N_0 P_{12}}{P_{12} + P_{21}} \qquad (4)$$

Айтиш лозимки, уч сатҳли тизим учун икки сатҳнинг нисбий тўлдирилганлиги D ни ҳисоблашни талаб этмайди, чунки:

$$\frac{N_3}{N_2} = \frac{P_{12}P_{23} + P_{13}P_{21} + P_{12}P_{23}}{P_{32}P_{12} + P_{32}P_{13} + P_{31}P_{12}} \qquad (5)$$

Шу усулда 4 сатҳли тизим учун ҳам N_i тенгламалар ечимини топиш мумкин. Бунинг учун ўтишларнинг тўлиқ эҳтимолликлари – P_{ik} ларни аниқлаш зарур.

Кўп сатҳли тизимлар стационар ҳолатлари учун ечим жуда мураккаб бўлиб кетиши маълум. Бу ҳолда ечимни соддалаштиришнинг асосий усулларидан бири асосланган ҳолда сатҳлар сонини камайтириш бўлиши мумкин. Бундан ташқари, кўрилаётган шароитларда ўтиш эҳтимолликларининг айримлари нисбатан кичик бўлса, уни тушириб қолдириш ҳисоб натижалари аниқлигига сезиларли таъсир қилмаслиги мумкин [4].

Ностационар ($dN_i/dt\neq0$) ҳолатлар учун (1) тенгламалар ечими ночизиғий тенгламалар тизимига айланади ва ҳисоблашлар анчайин қийинлашади. Бундан ташқари, мажбурий ўтишлар эҳтимоллиги бу ўтишларнинг сабабчиси бўлган фотонлар зичлигига боғлиқ. Сатҳлараро ўтишларда фотонларни ютиш ёки чиқариш ҳолатлари юз бериши мумкин [5]. Шунинг учун ҳам (1) тенгламалар тизими фотонлар зичлигининг ўзгаришини ҳисобга олувчи қуйидаги тенглама билан тўлдирилиши лозим:

$$\frac{dp_{ij}}{dt} = \nu\left[\frac{B_{ij}h\omega_i}{\nu}(\mathrm{N_i} - \mathrm{N_j}) - \mathrm{K_{ij}(t)}\right] \qquad (6)$$

бунда, $\rho_{ij}=\rho(\omega_{ij}) - i$ ва j сатҳлараро резонанс частоталарда нурланиш энергияси зичлиги; $K_{ij}(t)$-ω_{ij} частотадаги вақтга боғлиқ бўлган йўқотишларни кўрсатувчи коэффициент.

Шундай қилиб, лазерлардаги асосий жараёнлардан бири бўлган нурланишларнинг ҳосил бўлишини белгиловчи катталиклар – сатҳларнинг зарядланган заррачалар билан эгалланганлик даражалари N_i, улар ўртасидаги ўтишлар эҳтимолликлари P_{ij} ларни стационар ($dN_i/dt=0$) ва ностационар ($dN_i/dt\neq0$) ҳолатлардаги ечимларини (4) ва (6) ифодалар ёрдамида аниқлаш энг қулай ва содда усулдир.

Лазерларнинг фаол қисми уч ва ундан ортиқ сатҳли тизимдан иборат бўлган ҳолларда сатҳлараро ўтиш эҳтимолликларининг тўлиқ эҳтимолликдаги ҳиссаси салмоғига қараб, улар сонини камайтириш орқали стационар ҳолатлар учун N ва P ларнинг қийматларини аниқлаш мумкин экан.

Адабиётлар:

1. Звелто О. Принципы лазеров.- М.: Мир, 1990
2. Zhijun Yuan , Qihang Lou , Jun Zhou , et al.// optics & Laser technol.-2009.-V.41.-NO.4.-P.380-383.
3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике.- М., 1966
4. Лисоченко В.Н., Канакова Р.В., Каноплев Б.Г. и др.// ФТП.-2010.-т.44.-вып.3-с.326-329.
5. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике.- М.: Наука, 1988

2014 йил 8 декабрда қабул қилинган,
(Тақризчи: проф. И.Каримов)