

O'zbekiston Respublikasi
Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
Andijon davlat universiteti
Fizika-matematika fakulteti

Лазер физикаси фанидан

Маъруза матн

Тузувчи: проф. С. Зайноббидинов

2016

Лазер технологияси

Кириш. Лазер – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – (усиления света в результате вынужденного излучения) – Мажбурий нурланиш туфайли ёруғликнинг кучайиши – Олтин квант генератори.

Ёруғликнинг кучайиш ғалаёини А.Эйнштейн башорат қилган. Ёруғликнинг ўша пайтларида маълум бўлган ютилиш ва ўз-ўзидан нурланиш жараёнларидан ташқари яна резонанс квантлар чиқариш жараёни ҳам бўлиши кераклигини ва бу ёруғлик квантлари қўғолон атом ёки молекула билан таъсирлашиб, ўзига мос квантли ёруғлик ҳосил қилиши мумкинлигини айтган ва шу туфайли ёруғлик квантлари қўзғолон атоми ёки молекула билан таъсирлашиб, ўзига мос квантли ёруғлик ҳосил қилиши мумкинлигини айтган ва шу туфайли ёриғлик кучайишини ҳисоблаб чиққан.

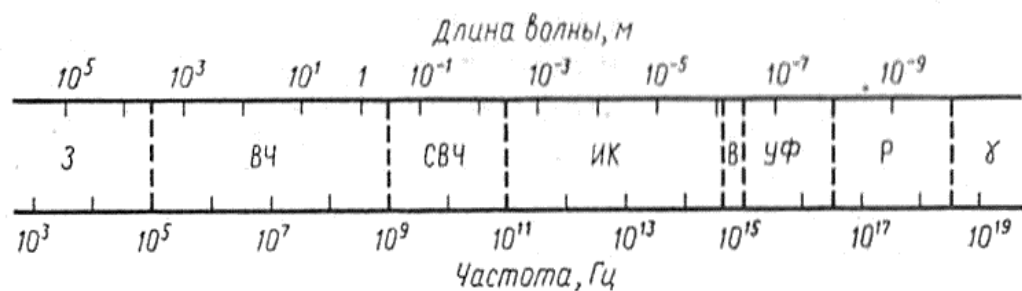
Квант системаларда ёруғликнинг ютилиши ва чиқарилиши.

Ёруғликнинг тўлқин табиатидан маълумки, у маълум бир частота ν ва тўлқин узунлиги билан таърифланади.

$$\lambda = c/\nu \quad (1)$$

c - ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги.

Электромагнит тўлқинлар частотаси кенг диапазонда бўлгани учун, уни одатда бир неча соҳаларга бўлинади.



1-расм. Электромагнит тебранишларни частота ва тўлқин узунликларининг спектрлари. 3-товуш частотаси, ВЧ- юқори частоталар, СВЧ- ўта юқори частоталар, ИК- спектри инфрақизил оралиғи, В- кўринадиган бўлими, УФ- ультрабинафшали спектр, Р- рентген нурланиши, γ-квантлар.

Электромагнит тўлқинларнинг энергетик характеристикаси – уларнинг электромагнит энергиясининг хажмий зичлиги ҳисобланади.

$$\tilde{\rho} = \int_0^{\infty} \rho_v dv = (E^2 + H^2)/8\pi \quad (2)$$

ρ_v – частотавий нурланишнинг хажмий зичлиги Дж/(см³Гц).

E ва H-тўлқиннинг электрик ва магнит майдонларининг ўрта квадратик кучланганлиги.

Электромагнит тўлқинларнинг модда таъсири унинг интенсивлиги I билан белгиланади. Электромагнит майдон ва I ўзаро қуйидагича боғланишга эга

$$E = (4\pi I/\epsilon)^{1/2} = a_0 \sqrt{I} \quad (3)$$

Одатда ёруғлик квант энергиясини $U=h\nu$ кўринишида белгилаш қулайроқ. H- Планк доимийси $-6,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Бундай белгилашлар туфайли монохроматик ёруғлик интенсивлиги

$$I = h\nu n_p c \quad (4)$$

n_p -фотонлар зичлиги. У ҳолда спектрал зичлик

$$\rho_v = 8\pi \nu^2 kT/c^3 \quad (5).$$

Тажрибаларда бу ифода $h\nu \ll kT$ ($k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/к; $T=300$ к) бўлгандагина тўғри бўлишини кўрсатди (ν -жуда кичик)

$$\rho_v = \frac{8\pi \nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{(e^{kT}-1)} \quad (6) \quad \text{формула эса барча } \gamma \text{ ёки } \lambda \text{ ларда тажриба}$$

натижаларини жуда тўғри ифода этар экан (Планк формуласи).

А.Эйнштейн 1916 йили шу формулани квант тасаввурлар асосида исботлаш учун квант системаларда бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтишда одатдаги ўз-ўзидан ва нурланишсиз ўтишлардан ташқари мажбурий

нурланишли ўтишлар бўлиши кераклигини айтди. Квант системаларда электромагнит тўлқинлари таъсирида мажбурий ўтишлар ҳам бўлиши мумкин.

Инверс тўлдирилган муҳитлар ҳосил қилиш.

Лазерларда фотонлар ютилиш туфайли йўқолиши ва мажбурий нурланишда пайдо бўлишини ифодаловчи тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{dn_p}{dt} = c \frac{dn_p}{dx} = \sigma_2 c N_2 n_p - \sigma_{12} c N_1 n_p \quad (3.1)$$

N_1 ва N_2 - ϵ_1 ва ϵ_2 ҳолатлардаги заррачалар зичлиги. Аввалгиларни ҳисобга олиб

$$\frac{dn_p}{dt} = \sigma_2 (N_2 g_1 - N_1 g_1) n_p = k n_p \quad (3.2)$$

кўринишида ёзиш мумкин. Бундаги

$$K = \sigma_2 (N_2 g_1 - N_1 g_1) \quad (3.3)$$

актив муҳит коэффиценти дейилади.

$n_p \sim I$ бшлгани учун

$$\frac{dI}{dx} = \sigma_0 k I \quad (3.4)$$

деб олиш мумкин.

$k > 0$ бўлса муҳитда барча ёруғлик кучаяди.

$k < 0$ бўлса яъни $N_2 g_1 - N_1 g_1$ да ёруғлик сусаяди.

Демак, ёруғликнинг кучайиши фақат N муҳитдаги энергетик сатҳларда термодинамик мувозанат бўлмаган, юқоридаги сатҳ пастдагига нисбатан кўпроқ тўлдирилган бўлганда вужудга келади. Бундай муҳит инверсион тўлдирилган муҳит дейилади.

Оптик усулда – ёруғлик ёрдамида ишчи қисмида актив заррачалар юқориги сатҳга чиқарилади.

Газоразряд усулида – газ разряди ёрдамида заррачалар фаоллиштирилади ва улар бошқа заррачалар билан тўқнашиб инверс муҳит ҳосил қилади.

Газодинамик усул – юқориги ва пастки энергетик сатҳларнинг релаксация вақтлари ҳар хил бўлганда, қиздирилган жисм кескин кенгайтирилганда тўлдирилиш фарқи юзага келади.

Кимёвий усулда инверс ҳолат номувозанатий кимёвий реакциялар туфайли вужудга келади.

Квант кучайтиргичлар

Мажбурий ўтишлар, бошқача қилиб айтганда электромагнит тўлқинларни кучайтириш демакдир. Лазерларни актив қисми бу асосан ёруғликни кучайтиргич бўлиб, ишлаш принципи электрон кучайтиргичга ўхшашдир. Бу кучайтириш асосан тўлқинни резонанс муҳитдан ўтганда юз беради. Муҳитни кучайтириш коэффициенти K_0 ва бошланғич интенсивлик I_0 деб олсак, x масофани ўтишидаги

$$dI/dx = K(x)I(x) \quad (3.27)$$

I ни ортиши билан K ни ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда

$$\left(1 + \frac{I}{I_0}\right) = K_0 dx \quad (3.28)$$

$x=0$ да $I = I_0$ бўлган ҳолат учун интегралласак

$$\ln(I/I_0) + (I/I_s) - (I_0/I_s) = K_0 x \quad (3.29)$$

бу тегламани I/I_0 ни ҳар хил қийматлари учун расмда келтирилган. Бундан кўринишича

$I \ll I_0$, $I_0 \ll I_s$ ва мажбурий кучланиш заррачалар нисбатига сезиларли таъсир этмаётганда бу боғланиш экспотенциал характерга эга

$$I(x) = I_0 \exp(K_0 x) \quad (3.30)$$

Мажбурий ўтишлар эҳтимоллиги (∞I_s) ни активлашган сатҳни синдириш эҳтимоллиги (∞I_s) га нисбати билан белгилашувчи когерент нурланиш

самарадорлиги бу ҳолда катта эмас. I/I_s ни ортириш билан мажбурий нурланиш орта боради ва $I \gg I_s$ да қўзғатиш энергияси ($\sim I/(I+I_s)$) тўласи билан нурланиш энергиясига айланади.

Оптик квант генераторлар (лазерлар)

Квант кучайтиргичдан фарқли равишда квант генераторлари нурланиш манбалари ҳам ҳисобланади. Оптик квант генераторлар индустирланган квант ўтишлари мавжудлиги натижасида ҳосил бўлган электромагнит тебранишларни кучайтирувчи мусбат қайта боғланишли ўз-ўзидан тебраниш тўлқинлари ҳосил қилувчи система (ёки лазер) ҳисобланади. Генерация учун зарур бўлган қайта боғланиш лазернинг актив муҳитини шу муҳит хусусиятларига мос ҳолдаги электромагнит тўлқинлар ҳосил қилувчи ҳақиқий резонаторга жойлаштириш йўли билан ташкил этилади. У ҳолда резонатордаги ички йўқотишлар $\chi \approx 2L_a\beta_0$

Бу системада тебранишлар ҳосил қилиш манбайи актив муҳитдаги заррачаларнинг қўзғалиши туфайли ўз-ўзидан нурланиш ҳисобига бўлади. Ҳосил бўлган квантлар актив муҳитда ўзига ўхшаган мажбурий электромагнит тебраниш квантларини вужудга келтиради. Резонатор чегараларидан қайтган нурлар бошқа мажбурий ўтишлар ҳосил қилиб квантларни қўпайишига олиб келади.

Лазер резонаторлари

P – маълум бир частота ва шаклга эга бўлган ташқи кучлар таъсирида максимум амплитудали тебранишлар ҳосил қилувчи система.

Резонатор турғун электромагнит тўлқинлар ҳосил қилувчи оптик система бўлиб, мажбурий нурланиш жараёнлари учун зарур бўлган юқори интенсивликдаги нурланишлар ҳосил қилишга хизмат қилади. Резонаторлар ёруғлик квантлари яшаш вақтини узайтиради ва мажбурий нурланишларнинг спектрал характеристикаларини ҳам шакллантиришга хизмат қилади яъни уни частотасини бошқаради.

Энг содда резонатор – Фабри – Перо резонатори икки ясси параллел кўзгулардан иборат. Тўлқинлар акс этган дифраксион йўқотишларни камайтириш учун кўпроқ битта ёки иккита сферик кўзгулардан фойдаланилади.

Лазер нурини фокуслаш

Кўп ҳолларда лазерни чиқишидаги нурланиш қуввати маълум бир технологик вазифани бажариш учун етарли бўлмай қолади. Узлуксиз лазерларда бу қувват $\vec{S} = P/\pi\tau_{\min}^2$ атрофида бўлади.

Юзага тушаётган қувватни орттириш учун уни фокуслаш талаб қилинади. Фокуслашган нур тўпламининг 2 мин радиусли юзадаги ўртача қуввати

$$\vec{S} = P/\pi\tau_{\min}^2$$

Бу юза радиуси деганда лазер нурланиши қуввати P ни ёки уни максимал интенсивлиги S_0 ни асосий φ қисми $\tau_p(\varphi)$ мужассамлашган ёки $\tau_s(\varphi)$ ўлчамларни тушунилади. Одатда $\tau_p(0.84)$, $\tau_s(e^{-2}) = \tau_p(0.86)$ ёки $\tau_s(e^{-1}) = \tau_p(0.63)$ шартларни бажарилганда фокуслаш қўлланилади.

Қаттиқ жисмлар асосидаги лазерлар.

Қаттиқ жисмлар лазерларда электроактив киришма атомлари мавжуд бўлса, уларни ионлари энергетик сатҳларини ёруғлик (оптик) нурлари ёрдамида инверс тўлдириш ҳосил қилинади. Қаттиқ жисмларда ўтиш элементлари ва нодир ер атомлари киришма атомларининг тўлмаган ички электрон қобикларининг бўлиши ва уларни энг сиртқи электрон қобиғи билан экранланган ҳолда бўлиши бу номларни инверс тўлдиришни осонлаштиради. Бундай лазерлар самарали ишлаши учун улар:

- Катта кучайтириш коэффициентиغا эга бўлиши;

- Оптик жихатдан бир жинсли;
- Механик мустахкам ва иссиқликка чидамли;
- Технологик ишловларга қулай;
- Оптик нурлаштиришга мойил;
- Катта ўлчамли актив қисмлар тайёрлаш имконига эга;
- Иссиқлик ўтказувчанлиги юқори бўлиши керак.

Бу талабларга жавоб берувчи актив элементлар сони чекланган бўлгани учун қаттиқ жисмли лазерлар турлари ҳам чекланган. Амалда кўпроқ рубин, ойна ва иттрий -аоминийли гранатдан ясалган лазерлар ишлатилади.

Неодимли шиша асосидаги лазерлар.

Бу турдаги лазерларда 4 сатҳ ишлайди. Неодим ионлари қўзғотувчи лампа нури таъсирида осонгина электроионларини юқорига сатҳга ўтказди. Бу сатҳда уларни яшаш вақти $\tau_0 \approx 10^{-7} - 10^{-11}$ с. Бунинг натижасида қўзғолган заррачалар нурланишсиз $^4F_{3/2}$ сатҳга ўтади $10^{-4} - 10^{-3}$ с вақт давомида бу заррачалар пастки лазер сатҳи $I_{14/2}$ ўтади ва бу ўтишда $\lambda = 1,06$ мкм ли лазер нурланиши ҳосил бўлади. Пастки лазер сатҳи асосий сатҳдан $2,2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$ га юқори бўлгани учун, унда заррачалар осонгина ($\tau_0 \approx 10^{-7} \cdot 10^{-8}$ с) асосий $I_{9/2}$ сатҳга ўтиб, $I_{11/2}$ ни бўшатади ва шу усулда лазер сатҳлари инверсиясини таъминлайди. Шишада рубинга нисбатан кўпроқ микдорда неодим ионлари тўпланиши имкони бор ($\sim 10^{20} \div 10^{21} \text{ см}^{-3}$). Шунинг учун неодим атомларининг 5-10% қўзғотилганда (ионлашганда) кучайтириш коэффициенти $\sim 1 \text{ см}^{-1}$ бўлиши мумкин. Шиша матрица асосидаги лазерларни яна бир устуворлиги – катта ўлчамли диаметри 5-10 см узунлиги 2 м ли актив элементлар тайёрлаш мумкинлиги. Бу эса 4 катта энергияли нурланиш импульслари олиш имконини беради. Бу лазерлар нурланиш энергияси диапазони кенглиги ($1/10^3_{\text{Дгел}}$) ва арзонлиги билан рубин асосида лазерлардан устувор.

Яримўтказгичли лазерлар.

Яримўтказгичли асосидаги лазерларда нурланиш электрон ва ковакларнинг рекомбинацияси туфайли юз беради. Бунинг учун яримўтказгич модда тақиқланган соҳасида энергия сатҳлари ҳосил қилиш керак. Бу сатҳларни инверс тўлдириш учун қуйидаги усуллардан фойдаланилади.

1. p - n ўтишни тўғри йўналишда улаб ток ташувчиларни (киритиш) қилиш;

2. Яримўтказгични кучли когерент электронлар дастаси билан нурлантириш орқали қўзғотиш;

3. Ярим ўтказгични кучли когерент электромагнит ёруғлик квантлари билан қўзғотиш $\sim$ оптик дамлаш;

4. Кучли электр майдони эффектидан фойдаланиб кўплаб ток ташувчиларни (лавинный) қўзғотиш ёки туннел ўтиш ҳосил қилиш;

Амалда кўпроқ инжекция усулидан фойдаланишади.