OPTIK KVANT GENERATORLAR KVANT KUCHAYTIRGICHLAR

I.I. Anarboyev
Andijon davlat texnika instituti
Email: iqboljon.anarboyev@mail.ru

Annotatsiya: Lazerdagi generatsiyaning manbai bo‘lib, g‘alayonlantirilgan faol zarraning spontan nurlanishi xizmat qiladi. Spontan nurlanish faol muhit bo‘ylab tarqalganda, g‘alayonlantirilgan zarralar bilan ta’sirlashishi natijasida ularni majburiy (kogerent) nurlanish berdiradi va bu jarayonda elektromagnit nurlanishning kogerent kuchaytirilishi ro‘y beradi. Chegaralangan o‘lchamga ega faol muhit va optik rezonator ko‘zgulari oralig‘ida optik o‘q bo‘ylab tarqalayotgan nurlanishlar maksimal darajada kuchaytiriladi. Bu holda, elektromagnit nurlanishning faol muhitni bir marta o‘tishidagi kuchayishi

Kalit so‘zlar: lazerlar, yorug‘lik, optik kvant generatorlari, kogerent nurlar

Аннотация: Источником генерации в лазере является спонтанное излучение возбуждённой активной частицы. При распространении спонтанного излучения через активную среду, в результате взаимодействия с возбуждёнными частицами, происходит вынужденное (когерентное) излучение, при этом происходит когерентное усиление электромагнитного излучения. Излучение, распространяющееся вдоль оптической оси между активной средой конечных размеров и зеркалами оптического резонатора, усиливается до максимума. При этом усиление электромагнитного излучения за один проход через активную среду составляет

Ключевые слова: лазеры, свет, оптические квантовые генераторы, когерентные лучи

Abstract: The source of generation in a laser is the spontaneous emission of an excited active particle. When spontaneous emission propagates through an active medium, as a result of interaction with excited particles, they emit forced (coherent) radiation, and in this process coherent amplification of electromagnetic radiation occurs. Radiation propagating along the optical axis between the active medium of finite size and the mirrors of the optical resonator is amplified to the maximum. In this case, the amplification of electromagnetic radiation during a single passage through the active medium is

Keywords: lasers, light, optical quantum generators, coherent rays

Kirish

Kvant kuchaytirgichlarda elektromagnit to‘lqinining amplitu-dasini yoki intensivligini oshirishdagi jarayonlarni va uning imkoniyatlarini aniqlash uchun K_0 va to‘yinish intensivligi I_t bo‘lgan faol muhitdan monoxramatik elektromagnit to‘lqinining o‘tish jarayonini ko‘raylik. Kuchaytirgichning kirishdagi elektromagnit to‘lqinning intensivligini I_0 deb belgilaylik. Rezonans bo‘lmagan

ISSN 3030-3907

yo‘qotishlar nolga teng bo‘lgan holda bunday muhitning dx qalin-ligini o‘tgan to‘lqin intensivligining o‘zgarishi quyidagi

$$dI(x)/dx=k(x)\,I(x) \qquad (1)$$

tenglama bilan aniqlanishi mumkin. Intensivlik I ning ortishi va K ning o‘zgarish xarakterini bilgan holda (83) tenglamani boshqa ko‘rinishda keltirish mumkin, ya’ni

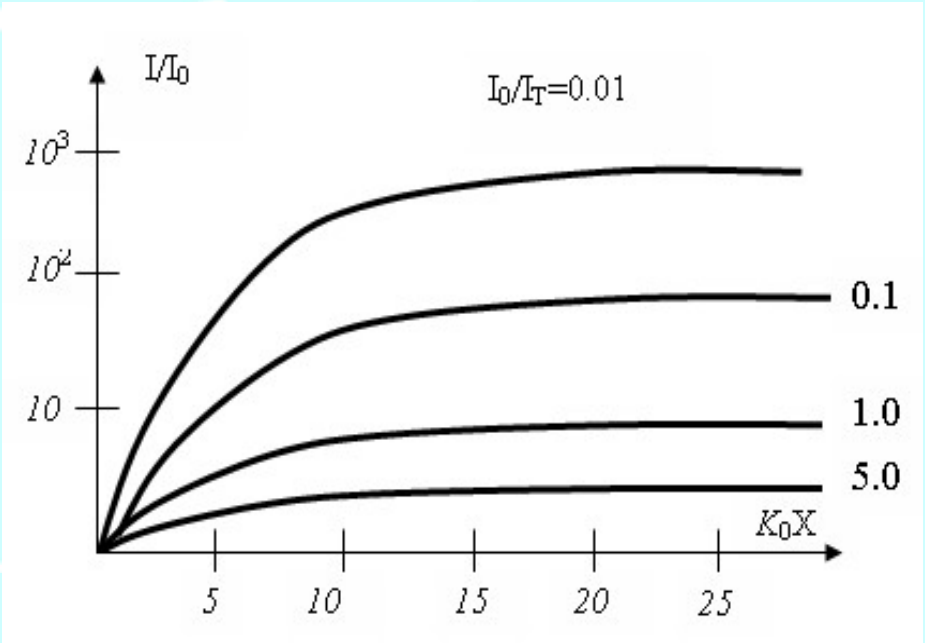
$$(1+I/I_t)\,dI/I=K_0\,dx \qquad (2)$$

Ushbu (x=0 da $I=I_0$) chegaraviy shartni e’tiborga olib, tenglamani integrallasak, muhitning kirishidagi elektromagnit to‘lqinning intensivligi I_0 va x koordinatasidagi intensivligi (x) bilan bog‘lovchi trantsendent tenglamani olamiz;

$$\ln(I/I_0)+(I/I_t)-(I_0/I_t)=K_0x \qquad (3)$$

Ushbu tenglamaning o‘lchamsiz (I_0 / I_t) parametrining turli o‘zgarmas qiymatlarining yechimi 1.2-rasmda keltirilgan[1].

Ushbu 1.2-rasmdan va (3) tenglamadan ko‘rinib turibdiki kuchaytirilayotgan elektromagnit to‘lqinning kichik intensivlik-larida, ya’ni ($I<< I_t$, $I_0<< I_t$ shartlar bajarilganda va majburiy nurlanish jarayoni g‘alayontirilgan sathdagi zarralar soniga ta’sir ko‘rsatmaganda) nurlanishning intensivligi faol muhitni o‘tgan sari eksponentsial ravishda ortib boradi, ammo lekin majburiy o‘tishlar ehtimolligini (~I) g‘alayontirilgan sathni boshqa barcha jarayonlar asosida so‘ndirilishi ehtimolligiga (I_t) nisbatiga bo‘lgan damlash energiyasini kogerent nurlanishga aylantirish effektivligi kichik bo‘ladi, hamda ~I/I_t miqdorni tashkil etadi. Ushbu I/I_t nisbatning miqdori ortgan sari majburiy nurlanishlar jarayoning ahamiyati ortib boradi va



1-rasm. Invers bandlik hosil qilingan muhitdan o‘tayotgan elektromagnit to‘lqin intensivligining o‘zgarishi.

ISSN 3030-3907

I>> I_t shart bajarilganda amaliy jihatdan damlash energiyasining (~I/I+I_t) qismi kogerent nurlanish energiyasiga aylantiriladi[2]. Bu holda intensivlikning o‘sish tezligi kamayadi va faqat faol muhitning tavsiflari bilan aniqlanadigan quyidagi

$$\Delta I/\Delta x = I_t K_o \qquad (4)$$

doimiy kattalikka intiladi.

Yuqorida ko‘rib o‘tilgan mavzularda biz nurlanishning faol muhitdan o‘tishda rezonans bo‘lmagan yo‘qotishlarni e’tiborga olmadik. Real holda ular bor. Birinchidan nurlanish dastasi tarqalish jarayonida difraktsiya natijasida ko‘ndalang kesimi bo‘yicha kengayib boradi va faol muhitdan tashqariga chiqib ketadi. Buning natijasida energiyaning bir qismi yo‘qotiladi.

ADABIYOTLAR TAXLILI

Nurlanish dastasining ko‘ndalang kesimi 2ω bo‘lganda, uning tarqalishdagi yoyilish burchagi $\theta_\alpha = \lambda/2\omega$ kattalikni tashkil etadi. L masofani o‘tgan nurlanish dastasining ko‘ndalang kesimi bo‘yicha radiusi $\theta_\alpha L$ miqdorga ortadi. Demak, qalinligi ~$\theta_\alpha L$ va diametri ~2ω bo‘lgan halqaga tushgan barcha nurlar faol muhitdan tashqariga chiqib ketadi. Ushbu yo‘qotishlarning nisbiy kattaligi ~λ/ω^2 miqdorni tashkil etadi va infraqizil diapazondagi nurlanishlarda maksimal qiymatga erishadi. Ko‘p ishlatiladigan lazer nurlanish-larda (ω~1sm va λ=1¼10mkm) uchun ushbu yo‘qotishlar ~$(0,1¼1)10^{-3}$ sm^{-1} ni tashkil etadi. Bu degani 1m uzunlikdagi faol muhitni o‘tishda nurlanishning difraktsiya natijasidagi yo‘qotishlari 1÷10% oraliqda yotadi. Ikkinchidan kuchaytirgichlarda optik elementlar ham bo‘lib, ularda nurlanish energiyasining bir qismi yo‘qotiladi. Har-bir optik elementda nurlanishning 1% qismi yo‘qolishi mumkin[3].

Real faol muhit ideal bir jinsli muhit bo‘lmaydi va nurlanish bunday muhitni o‘tganda sochilish va refraktsiya natijasida o‘z energiyasining bir qismini yo‘qotishi mumkin. Ushbu yo‘qotishlarning fizik mohiyatini ochib o‘tirmay, ularni bir birlik uzunlikka to‘g‘ri kelgan umumiy $\beta_0[sm^{-1}]$ koeffisient bilan belgilashimiz mumkin.

Ushbu yo‘qotishlar birlik uzunlikdagi faol muhitni o‘tgan nurlanishning $\beta_0 I$ qismni tashkil etadi va intensivlikka chiziqli bog‘lanish bilan ortadi. Yuqorida aytib o‘tilgandek intensivlik ortgan sari kogerent nurlanishning birlik uzunlikdagi faol muhitni o‘tishdagi energiyasining ortishi susayib boradi va nihoyat I_tK_0 kattalikka tenglashib, o‘zgarmay qoladi. Demak kogerent nurlanish faol muhitni o‘tayotganda uning kuchayish va susayish jarayonlari o‘zaro tenglashguncha intensivligi ortib boradi. Shundan so‘ng kuchaytirilayotgan nurlanish intensivligi o‘zgarmay qoladi va o‘zining

$$I_{max}=I_tK_0 / \beta_0 \qquad (5)$$

ISSN 3030-3907

maksimal qiymatiga erishadi.

Bundan tashqari lazer nurlanishi o‘ta monoxromatik bo‘lgani sababli, u kvant kuchaytirgichni o‘tish jarayonida monoxromatiklik xususiyatini yanada yaxshilaydi. Bunga sabab, faol muhitning kuchaytirish koeffisientining qiymati rezonans chastotada maksi-mumga ega bo‘lishi va nurlanish spektrining markaziy qismi chetki qismlariga nisbatan ko‘proq kuchaytirilishidir.

Kirishiga elektromagnit nurlanish beriladigan va uni kuchaytiradigan optik kuchaytirgichlardan farqli o‘laroq, optik kvant generator, radiochastotalar diapazonidagi avtogeneratorlar kabi, optik diapazondagi kogerent elektramagnit nurlanishlarni hosil qiladi. Shuning uchun optik kvant generator yoki lazer, musbat teskari bog‘lanishli qurilma bo‘lib, majburiy nurlanishlar koge-rent kuchaytirish orqali elektromagnit nurlanishni hosil qiladi[4].

Elektromagnit nurlanishni olish uchun faol muhit yoki optik kuchaytirgich optik rezonator ichiga joylashtiriladi va unda faol muhit parametrlaridan kelib chiqqan holda turg‘un elektromagnit to‘lqinlar hosil qilinadi. Kuchaytiruvchi faol muhit va optik rezonatordan iborat bo‘lgan lazerning chizmasi 8-rasmda berilgan.

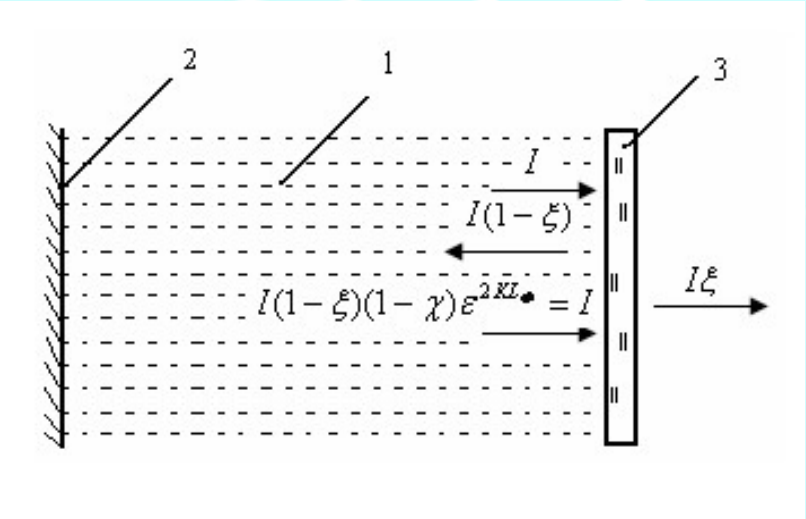
Invers bandlikga ega ishchi 1 muhit undan o‘tayotgan elektromagnit nurlanishni majburiy nurlanish hisobiga kuchaytiradi. Ikki o‘zora parallel joylashgan biri to‘la qaytaruvchi ikkinchisi esa yassi va qisman ξ o‘tkazuv koeffisientiga ega ko‘zgulardan 3 iborat optik rezonator ichida nurlanish chastotalari kuchaytirish chizig‘i kengligi ichida yotuvchi. elektromagnit to‘lqinni hosil qiladi. Uning bir qismini chiqish ko‘zgusi (3) orqali tashqariga chiqariladi.

TADQIQOT USULI

Uzunligi L_f parametrlari K_0 I_t bo‘lgan faol muhit ko‘zgularining oralig‘i L_r, o‘tkazuvchanligi ξ, yo‘qotishlar koeffisienti $\chi \cong 2L_f\beta_0$ga teng optik rezonator ichiga joylash-tirilgan bo‘lsin.

Lazerdagi generatsiyaning manbai bo‘lib, g‘alayonlantirilgan faol zarraning spontan nurlanishi xizmat qiladi. Spontan nurlanish faol muhit bo‘ylab tarqalganda, g‘alayonlantirilgan zarralar bilan ta’sirlashishi natijasida ularni majburiy (kogerent) nurlanish berdiradi va bu jarayonda elektromagnit nurlanishning kogerent kuchaytirilishi ro‘y beradi. Chegaralangan o‘lchamga ega faol muhit va optik rezonator ko‘zgulari oralig‘ida optik o‘q bo‘ylab tarqalayotgan nurlanishlar maksimal darajada kuchaytiriladi. Bu holda, elektromagnit nurlanishning faol muhitni bir marta o‘tishidagi kuchayishi e^{2K0Lf} ni tashkil etadi va bu kuchayish chiqish koeffisienti ξ bo‘lgan ko‘zgudagi hamda optik rezonator ichidagi χ yo‘qotishlardan katta bo‘lsa, optik rezonator ichida elektromagnit maydonning tebra-nishlari paydo bo‘lib, turg‘un holat vujudga keladi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Optik kvant generator-lazerning prinsipal chizmasi.

Bu holdagi K_{ch} kuchaytirish koeffisienti chegaraviy kuchaytirish koeffisienti deyiladi va u quyidagi

$$e^{2KrLf}(1-\chi)(1-\xi)=1 \qquad (6)$$

munosabat bilan aniqlanadi. Uning qiymati $\chi\xi<<1$ shart bajarilganda

$$K_{ch}=\frac{1}{2L_{\phi}}\ln\frac{1}{1-\chi-\xi} \qquad (7)$$

miqdorga teng bo‘ladi.

Bu yerda shuni ta’kidlash lozimki, chegaraviy K_{Ch} kuchaytirish koeffisienti, faol muhitning kuchaytirishni xarakterlovchi K_0 koeffisientdan farqli o‘laroq, real holatdan kelib chiqqan holda turg‘un generatsiya shartlarini belgilaydi va optik rezanatorning xarakteristikasi bo‘lib xizmat qiladi[5].

Shunday qilib, faol muhitning kuchaytirish koeffisienti K_0 chegaraviy kuchaytirish K_{Ch} koeffisientidan katta bo‘lsa, lazerda turg‘un generatsiya boshlanadi va u kogerent elektromagnit tebranishlarni tarqata boshlaydi.

Lazerdan chiqayotgan nurlanish intensivligi optik rezonator ichida chiqish ko‘zgusi tomon tarqalayotgan fotonlar zichligi chiqish ko‘zgusining o‘tkazish koeffisientiga bog‘liq bo‘ladi va quyidagi

$$I=h\nu_0 n_p c\xi/2 \qquad (8)$$

ifoda bilan aniqlanadi.

Nurlanish I intensivligini va faol muhitning kuchaytirishi K koeffisientini fotonlar zichligi bilan bog‘lovchi ifodalarni e’tiborga olib, (8) ifodani quyidagi

$$I=\frac{I_T\cdot\xi}{2}\left(\frac{K_0}{K}-1\right)$$

Ko‘rinishiga keltirish mumkin[6]. Faol muhitning turg‘un holatdagi K kuchaytirish kaeffitsiyentini chegaraviy kuchaytirish K_R koeffisientiga teng bo‘ladi va (8) ifodani e’tiborga olsak quyidagi

ISSN 3030-3907

$$I = \frac{I_T \cdot \xi}{2}\left[\frac{2K_0 L_\phi}{\ln(1-\chi-\xi)^{-1}} - 1\right] \qquad (9)$$

ifodani olamiz.

Quyidagi $2K_{Ch}L_f$ ifodaning kichik qiymatlarida (ya'ni yexr$2K_{Ch}L_f \approx 1+2K_{Ch}L_f$ bo'lganda) (91) formula soddalashadi va quyidagi

$$I = \frac{I_r \xi}{2}\left(\frac{2K_0 L_\phi}{\xi+\lambda} - 1\right) \qquad (10)$$

ko'rinishga keladi.

TAHLIL VA NATIJALAR

Yuqoridagi (34) va (35) ifodalardan ko'rinib turibdiki, ξ (ξ<<χ) kattalikning kichik qiymatlarida lazerdan chiqayotgan nurlanishning intensivligi chiqish ko'zgusining o'tkazish kaeffitsiyenti ortgan sari chiziqli ravishda o'sib boradi va ξ kattalikning (ξ>>χ) shartni bajargan qiymatlarida esa ξ ning qiymati ortgan sari kamayib boradi[7]. Shunday qilib, lazer nurlanishining quvvati nuqtai nazardan chiqish ko'zgusini o'tkazish ξ koeffisientining optimal ξ_{opt} qiymati bor va bu qiymatda lazerdan chiqayotgan nurlanishining quvvati maksimal bo'ladi[8]. Umumiy holda ξ_{opt} ning qiymati raqamli usulda hisoblab topiladi. Xususan kuchaytirish kuchsiz bo'lganda, ya'ni $2K_{ch}L_f << 1$ va exp $(2K_rL_f) \cong 1+2K_{ch}L_f$ da ξ_{opt} ning qiymati hisoblab topish uchun analitik ifoda olish mumkin. Buning uchun νI/νξ ni nolga tenglaymiz va quyidagi

$$\xi_{onm}^2 + 2\chi\xi_{onm} + \chi(\chi - 2K_0 L_\phi) = 0$$

kvadratik tenglamani yechib chiqish ko'zgusini optimal o'tkazish koeffisientini aniqlashimiz mumkin.

Optik rezonator chiqish ko'zgusining optimal o'tkazish koeffisienti

$$\xi_{onm} \approx \sqrt{2K_0 L_\phi \chi} - \chi \qquad (11)$$

ifoda orqali aniqlanadi.

XULOSA

Lazer nurlanishi kogerent nurlanish. Bu kogerentlik xususiyatining birlamchi sababini "lazer" so'zining ma'nosi bildirib turibdi, ya'ni yorug'likni majburiy nurlanish yordamida kuchaytirish demakdir. Majburlovchi yorug'lik nurlanishi va majburlangan yorug'lik nurlanishi aynan bir xil parametrlarga ega bo'lgan nurlanishlardir. Ularning chastotalari, fazalari, tarqalish yo'nalishlari bir xil.

Lazer nurlanishining qutblanganligi elektromagnit to'lqinida elektr maydon kuchlanganlik vektorining yo'nalganligini xarakterlaydi. Agarda yorug'lik dastasining har-bir nuqtasida elektr maydon kuchlanganlik $\vec{E}$ vektori nurlanish tarqalish yo'nalishiga ko'ndalang tekislikda bir to'g'ri chiziq bo'ylab tebransa, bunday nurlanishni chiziqli yoki yassi qutblangan nurlanish deyiladi. Qutblanish

ISSN 3030-3907

tekisliklari o‘zaro ko‘ndalang, fazalar farqi o‘zgarmas kattalikga ega bo‘lgan ikki chiziqli qutblangan nurlanishlarning yig‘indisi elliptik qutblangan nurlanishni beradi.

ADABIYOTLAR

1. M. S. Saidov, B. M. Abdurakhmanov, and L. O. Olimov. // Applied Solar Energy 2007, vol. 43. 4, p.203÷207.

2. Саидов А.С., Лейдерман А.Ю., Маншуров Ш.Т. Особенности поликристаллического кремния, полученного пятикратной переплавкой на солнечной печи. // Гелиотехника, 2010, №2, 35-38.

3. PatentUz IAP 0561. **Termoelektrik material va uni tayyorlash usuli** 29.06.2018. Byul., № 6. B.M. Abduraxmanov, M.M. Adilov. M.X. Ashurov. va boshqalar.

4. Patent FAP20190154 25.02.2021. Granulalangan yarimo‘tkazgichli termoelektrik materiallar tayyorlash usuli Olimov L.O., Anorboev I.I., Mamirov A., Omonboev F.L., Omonboeva M.L.

5. L.O. Olimov, I.I. Anarboyev. Some electrophysical properties of polycrystalline silicon obtained in a solar oven // Silicon. Springer Nature Published: 27 January 2022 volume 14, p.p 3817–3822(№11 Springer, Impact Factor 2,941)

6. L.O. Olimov, I.I. Anarboyev. Some electrophysical properties of polycrystalline silicon obtained in a solar oven // Silicon. Springer Nature Published: 27 January 2022 volume 14, p.p 3817–3822(№11 Springer, Impact Factor 2,941)

7. L.O. Olimov, I.I. Anarboyev, A.M. Mamirov Granullangan yarimutkazgichli termoelektrik materiallar tayyorlash usuli // Uzbekistan Respubliki Fanlar akademyasining maruzalari // 2020 y. №4, bet.20 -24. (№7)

8. L.O.Olimov, I.I.Anarboyev, Issledovaniye mikrostrukturi i elektricheskix svoystv kremniya, poluchennogo chastichnim nagrevom solnechnogo izlucheniya // Andijon Davlat Universiteti Ilmiy Xabarnoma fizika – matematika tatqiqotlari 2021. V 3.I 2 pp 43-47.(№13)

ISSN 3030-3907