

Öz. 2
53
T-85

M.A. TURSUNOV

LAZERLAR ASOSLARI

Darslik



026.2
53
7-85

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

M.A.TURSUNOV

LAZERLAR ASOSLARI

Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi tomonidan 5312900- Lazer yorug'lik texnologiyalari va optoelektronika yo'nalishida tahsil olayotgan talabalar uchun darslik sifatida tavsiya etilgan

**Toshkent
"Shafolat nur fayz"
2023**

UO'K 621.373.8(075)

KBK 32.86-5ya7

T 87

Tursunov M.A. Lazerlar asoslari [Matn] : darslik / M.A. Tursunov. - Toshkent: Shafolat nur fayz, 2023.- 216 b.

Ushbu darslik qattiq jisimli impulsli, uzluksiz gazli optik kvant generatorlarining konstruktiv tuzilishi va asosiy elementlari, ishlash tamoyillari, lazer qurilmalarining ishlatilishi va ularning optik parametrlarini o'lchash usullariga qaratilgan. Darslikda asosan katta e'tibor, lazerlarning optika – mexanik, radioelektron qismlarining o'ziga xos xususiyatlari va texnik parametrlarini o'lchash masalalariga qaratilgan. Shu bilan birgalikda o'quv materiallarini o'zlashtirish uchun maxsus sinov savollari keltirilgan.

Bundan tashqari olingan nazariy bilimlarni yanada mustahkamlash uchun optik kvant generatorlarining parametrlarini o'lchash metodikasi va o'lchov qurilmalardan foydalanish hamda ular yordamida lazer qurilmasining optik parametrlarini o'lchash masalalari keltirilgan.

Darslik, asosan keng kitobxonalarga mo'ljallangan bo'lib, asosan shu soxa mutaxassislari, bakalavrlar, magistrlar, injener, ilmiy xodim hamda lazer texnikasidan turli sohalarda foydalanuvchilar uchun mo'ljallangan.

UO'K 621.373.8(075)

KBK 32.86-5ya7

Taqrizshilar:

B. Egamberdiyev – fizika-matematika fanlari doktori, TDTU professori;

M.S. Yakubov – t.f.d. fanlari doktori, TATU professori;

ISBN 978-9910-9723-5-5

© M.A. Tursunov – 2023

© “Shafolat nur fayz” nashriyoti – 2023

KIRISH

Ushbu darslikda lazerlarning – optik kvant generatorlarining tuzilishi, ularning turlari, ishlash prinsiplari, lazer nurlanishining optik parametrlarini o'lchash kabi masalalar ko'rilgan.

Darslikda asosiy e'tibor: Lazer qurilmasining texnik asoslariga va ularning turlari, tuzilishi, ishlash prinsiplari, uning elementlari va optik sxemalariga, lazer nurlanishining hususiyatlariga va optik xarakteristikalarini o'lchash masalasiga qaratilgan. Darslik, asosan lazer texnikasidan foydalanuvchi metrologiya mutaxassislari, ilmiy hodimlar hamda lazer texnikasi bilan ishlovchi va ulardan turli sohalarda foydalanuvchilar, ilmiy tadqiqot ishlarini olib boruvchi tadqiqotchi mutaxassislar va shu sohada ta'lim oluvchi talabalar (bakalavr, magistrlar) va doktorantlar uchun mo'ljallangan.

Darslikda, lazer nurlanishining energetik parametrlarini o'lchashning kalorimetrik va ponderomotor usullari o'rganilgan bo'lib, bu metodlar, hozirgi kunda tarqalgan birdan-bir lazer generatorlarining energiyasi va elektromagnit to'liq nurlanishining quvvatini o'lchovchi absolyut usullardan, bundan tashqari lazer elektromagnit nurlanishini impulsining quvvatini o'lchashda, fotoelektrik qabul qilgichlar imkoniyatidan foydalanish o'rganilgan.

Shu bilan birga, lazerning kogerent nurlanishining to'liq uzunliklarini, chastotasi, stabilliyi, monoxromativlikligini, hamda impulsli rejimda ishlovchi qattiq jisimli lazerlarning vaqt parametrlarini va ularning kogerentligini, fazoda tarqalishi va polarizatsiyasini aniqlash va o'lchash metodlari keltirilgan.

Shartli belgilar:

- S – kondensator sig‘imi
 d – solishtirma issiqlik sig‘imi
 E – elektr maydoni kuchlanganligi
 F – yuza birligidan o‘tgan bir impulsdagi fotonlar soni
 H – magnit maydoni kuchlanganligi
 L – rezonator uzunligi
 M – optik sistemaning kengayishi (o‘sishi)
 n – muxitning sindirish ko‘rsatkichi
 n_o, n_e – oddiy, doimiy va oddiy bo‘lmagan to‘lqinlarning sinish ko‘rsatkichi
 N_1, N_2 – 1 chi va 2 chi satrdagi joylashish zichligi
 N_f – aktiv markazlarning zichligi
 N_f – Frenel soni
 R_x – polyarizatsiya vektorining komponentlari
 P – bosim, yorug‘lik nuri quvvati
 r – qaytarish koeffitsienti
 R_f – lampalarning qarshiligi
 T – harorat, optik sistemaning o‘tkazuvchanligi
 t_u – impulsning davomiylik vaqti
 t_δ – ushlab turish vaqti
 t_p – fotonlarning rezonator yashash vaqti
 t_l – fotonlarning rezonator o‘tish vaqti
 V – xajm
 α_r – issiqlik almashuv koeffitsienti
 α_m – lyuminessensiya maksimumi chizig‘idagi yutish koeffitsienti
 β – fazaning siljishi
 ϵ – dielektrik o‘tkazuvchanlik
 η – f.i.k.
 Θ_m – sinxronizatsiya burchagi
 Θ – o‘lchamsiz temperatura
 A – yoritgichlar soni
 λ – to‘lqin uzunligi
 v – chastota
 Π – polyarizatsiya darajasi
 ρ – aktiv bo‘lmagan yo‘qotishlar koeffitsienti, moddaning zichligi
 τ – relaksasiya vaqti (tebranishlar vaqti)
 φ – fotonlarning nisbiy zichligi

P – quvvat
 $P(t)$ – bir soniyadagi quvvat
 $P_{o\gamma}$ – o‘rtacha quvvat
 P_m – maksimal quvvat
 P_n – impulsdagi o‘rtacha quvvat
 T_n – qaytarilish vaqti
 Θ_m, Ω – nurning fazodagi tarqalishi
 V – polyarizatsiya darajasi
 ϵ – yutish koeffitsienti
 R – qaytish koeffitsienti
 f_l – linzaning fokus masofasi
 F – energiyaning yuzadagi zichligi yoki quvvati
 I – elektr toki
 R – qarshilik
 U – kuchlanish
 e – zaryad
 K_l – termopara doimiyligi
 I – inersiya momenti
 M – kuchning aylanma momenti
 M_x – tormozlovchi kuch momenti
 χ – sokinlashtiruvchi koeffitsient
 β – sokinlashish darajasi
 F – kuch
 α – o‘tkazuvchanlik koeffitsienti
 k – issiqlik o‘tkazish koeffitsienti
 T_k – kritik temperatura (qaynash temperaturasi)

I. BO'LIM

1. LAZER TEXNIKASI ASOSLARI

1.1. Lazer texnikasining fizik asoslari

Lazerning yoki optik kvant generatorlarining (OKG) fizikaviy asosi – faol muxitdagi atomning majburiy nurlanishini musbat, teskari bog'lanish yodranida kuchaytirish va uning natijasida yorug'lik nurlanishining generatsiyasini (kogerent nurlanishni) olish hisoblanadi.

Termodinamik muvozanatdagi turg'un sistemalarda (tizimlarda), majburiy yutish holati ustun bo'ladi. Majburiy nurlanish holatini yuzaga keltirish uchun esa, termodinamik muvozanatni buzish, ya'ni (yuqori) energetik holatga ega bo'lgan atomlar sonini, past energetik holatga ega bo'lgan atomlar sonidan ko'proq bo'lishini ta'minlashga to'g'ri keladi.

Buning uchun tashqi elektromagnit maydon ta'sirida, muxitdagi aktiv markazlar (atomlar, ionlar, molekular, eksitoplar va boshqalar) past energetik holatdan, yuqori energetik holatga o'tishini ta'minlaydi. Bu ta'sir, ya'ni, elektromagnit to'lqin nurlanishlarining atomlar sistemalari bilan o'zaro ta'siri natijasida, atomlarni energetik uyg'onish jarayoni, ularning energiyani yutish jarayonidan samaraliroq (effektivliroq) bo'lgandagina yuzaga keladi.

Uyg'otilgan energetik sathdagi atomlarning zichligi (N_2 – atomlar soni) asosiy uyg'atilayotgan sathdagi atomlarning zichligidan (N_1 – atomlar soni) katta bo'lishi asosiy faktor bo'lib, nurlanishni kuchayishini yoki majburiy nurlanish jarayonini amalga oshiradi (boshqacha qilib aytganda, muxitda invers holatni sodir etish uchun $N_2 > N_1$ - shart bajarilishi lozim) [1,2].

1.2. Invers muhit

Qattiq jisimli lazerlarda muxitni, ya'ni aktiv elementni invers holatga keltirish, gazozaryadli impulsli lampalar yordamida, ya'ni optik nurlanish yordamida amalga oshiriladi. Impulsli yoritgich lampalaridan chiqqan nurlanishlar, yoritgich devorlaridan qaytib, aktiv element tomon yo'naltiriladi. Yoritgich lampalar o'z navbatida o'zgaruvchan tok manbai, tekislagich va kuchaytiruvchi elementlar va yuqori sig'imli kondensatorlar orqali ta'minlanadi. Impulsli lampalar yoqilishi yoki optik damlash, maxsus yoquvchi qurilma yordamida amalga oshiriladi. Impulsli yoritgich lampalarni ta'minlovchi elektr sxemasining tuzilishi, zaxirada elektr

manbasini ushlab turuvchi sig'im kondensatorlarining hajmiga va ish siklining qanchalik tez qaytarilish chastotasiga qarab aniqlanadi

Impulsi yoritgich lampalarini, elektr manbai bilan ta'minlovchi sxemasining o'ziga xosligi shundan iboratki, bu lampalarni elektr ta'minoti yuqori kuchlanishli, hamda katta impulsi tok, yuqori sig'imli kondensatorlar va boshqa yarim o'tkazgichli qurilma va relelardan foydalanish bilan bog'liqdir [3].

Lazer qurilmalari, elektr energiyasini, uyg'otilgan atomlarning energiyasiga aylantiruvchi jarayoni bo'lib, bu jarayon aktiv element tomonidan amalga oshiriladi. Ko'pgina qattiq jismlar ichida, o'zida invers holat hosil qila oluvchi elementlarga yoqut (rubin) va neodim atomlari qo'shilgan shisha kristall, itriy-alyuminiyli granat hamda flyuoritga disproziy atomlari qo'shilgan kristallar kiradi. Boshqa element kristallari, o'zlarining kam effektiv bo'lganliklari uchun, qattiq jisimli lazer elementlarida, aktiv element sifatida ishlatilmaydilar. Aktiv elementlarda optik damlash yordamida, invers holatni yuzaga keltirish, aktiv elementdan ko'pgina issiqlik energiyasi ajralib chiqishini yuzaga keltiradi, aktiv muhitning fizik karakteristikalari esa issiqlikka bog'liq bo'ladi. Shuni hisobga olib, aktiv element turli yo'llar bilan, har xil tizimlar yordamida sovutib turiladi. Biz o'rganayotgan lazer tizimlarida asosan aktiv element, suyuqlik -suv yordamida sovutiladi.

Invers holatni hosil qilishning turli yo'llari mavjud. Qattiq jisimli lazerlarda, aktiv element atomlarni uyg'otish, yuqori intensivli yoritgich lampalar yordamida amalga oshiriladi. Buning natijasida, ya'ni yorug'lik nurlanishi ta'sirida, atom sistemasi uyg'otilgan energetik holatga o'tadi va radiasion nur chiqarmaydigan yuqori energetik sathga (pog'onaga) o'tishi tufayli, invers holat yuzaga keladi.

Tashqi elektromagnit to'lqin energiyasini yutib, yuqori energetik sathda, invers holatini yuzaga keltira oladigan moddalarga, aktiv element yoki aktiv muhit deb yuritiladi.

Lazerdagi generatsiya holati, elektromagnit maydonda ossillya torlarning, avtomatik ravishda tebranishi kabitdir. Ossillyator deb, elektromagnit maydonining tebranishi natijasida sodir bo'lgan va optik rezonator qaytargich ko'zgulari orasida joylashgan, uch o'lchovli fazoviy tuzilishga ega bo'lgan, turg'un to'lqin holatiga (rezonator modalariga) aytiladi. Qattiq jisimli lazerlarda, avtotebranishlarni energiya bilan ta'minlovchi modalar maydoni, fazoda taqsimlangan bo'ladi. Shu tebranish modalariga qarab, lazer nurlanishining ko'p modaligi va uning kogerentligi hamda uning yo'naltirilganligi aniqlandi. Lazer nur lanish-

larining yuqori kogerentligi va kichik burchak ostida yo'naltirilganligi, generatsiya jaryonida asosan, bir tipdagi elektromagnit to'lqinlarini ajratib olishga bog'liq.

Lazer nurlanishining ko'pgina asosiy xarakteristikalari (yorug'lik impulsining davomiyligi va quvvati, fazoviy taqsimoti va boshqalar) rezonatorida generatsiyaning sodir bo'lishi va uning rivojlanishining kinetikasiga bog'liq. Bu esa o'z navbatida, elektromagnit tebranishlarining ma'lum bir turlarining intensivligini oshishi va o'zaro ta'siriga bog'liq bo'lib, optik rezonatorning yo'qotishlarini o'zgartirish yordamida, generatsiya rivojlanishi kinetikasini boshqarish imkonini beradi.

Yorug'lik nurlanishining impulsini, fazoviy va vaqt bo'yicha taqsimlanishi xarakteristikasiga qarab, rezonatorning yo'qotishlari turlicha bo'lishi mumkin. Masalan, rezonatorni tebranishlarni modulyasiyalash yordamida, ishlash sifatini yaxshilash, aslligini oshirish natijasida, nanosekundli yorug'lik impulsini olish uchun sharoit yaratiladi, bu sharoitda, optik nurlanishining ta'siri jarayonida rezonatorida, generatsiyaga erishib bo'lmaydi (rezonatorning aslligini juda kam bo'lganligi uchun), buning uchun aktiv muhitda, yuqori zichlikka ega bo'lgan, invers holatni vujudga keltiriladi va maksimal invers holatiga erishilgandan so'ng, rezonatorning aslliligi yuqori darajaga, modulyator yordamida ko'tariladi va yuqori quvvatga ega bo'lgan, davomiyligi 10 ~ 30ns bo'lgan, yorug'lik impulsining generatsiyasi hosil bo'ladi.

Lazerning yana bir xarakterli misoli sifatida, nurlanishining asosiy spektriga yaqin joylashgan (modalar) chastotalar bo'lib, ular lazer generatsiyasi impulsining o'zgarishi, modalar tebranishlarning amplitudasi va fazasiga bog'liq bo'ladi [6, 7, 8]. Agar, ushbu kattaliklar o'zgaruvchan bo'lsa, bu xol tasodifiy o'zgarishlar va noxiziq jarayonlar, har turli o'zgarishlarni keltirib chiqaradi. Bu o'z navbatida, generatsiya natijasida sodir bo'lgan, yorug'lik nurlanishining vaqt bo'yicha parametrlarining taqsimotini o'zgarishiga olib keladi. Agar, qo'shni tebranishlar bilan bo'lgan chastota oralig'ini, o'zgarimas holatda ushlab turilmasa va generatsiyada qatnashayotgan bir guruh modalar fazasini o'zgarimas qilinmasa, u holda nurlanishining xarakteristikalari, vaqt bo'yicha ma'lum shaklda o'zgaradi. Bunday rejimda ishlash, modalarni sinxronizatsiyalash yoki fazalarni sinxronlash deb yuritiladi.

Lazer qurilmasining chiqish signali formasi, umumiy holda olganda qaysi modalar ishtirokida, generatsiya amalga oshirilayotganiga bog'liq, bu modalarning fazalari, fazalar nisbiyligiga bog'liq bo'ladi.

Shunday qilib, optik kvant generatorlarining texnik tomondan yaratilishi – aktiv muhitda, invers holatini yaratish, ishtirok etuvchi to‘lqinlar turini shakllantirish va rezonatorning elektromagnit nurlatgichi va aktiv element o‘rtasidagi rezonatorning taqsimotini boshqarish jarayoniga bog‘liq bo‘ladi [2,13]

Yuqori energiyali impulslarni, lazer nurlanishini olish uchun, maxsus optik kvant kuchaytirgichlaridan foydalaniladi. Optik kvant kuchaytirgichlari, oddiy invers muhitdan foydalanishga asoslangan bo‘ladi.

Lazer nurlanishining chastotasini o‘zgartirish uchun, nochiqsiz optikaning turli jarayonlaridan foydalanishga to‘g‘ri keladi. Bularga parametrik xususiyatlar, garmonikalarning generatsiyasi hamda majburiy kombinatsion (sochilish) tarqalish kiradi [8, 9].

Lazer generatorlarini yaratishning texnik imkoniyatlari hamda lazer nurlanishini kuchaytirish va uning generatsiya nurlanishining chastotasini o‘zgartirish orqali, lazer nurlanishining parametrlari va karakteristikasi aniqlanadi. Lazer nurlanishini olish bilan bog‘liq bo‘lgan muammolar, bir xil bo‘lmasdan, biz quyida ko‘rib, o‘rganib chiqayotgan masalalar, qattiq jismlil lazer generatorlari bilan chegaralangan bo‘lib, bu qurilmalar laboratoriyalarda o‘tkaziladigan ilmiy izlanishlarga mo‘ljallangan [8,9].

Aktiv elementlarda, optik damlash yordamida, invers holatni yuzaga keltirish. aktiv elementdan ko‘pgina issiqlik energiyasi ajralib chiqishini yuzaga keltiradi, aktiv muhitning fizik karakteristikalari esa, issiqlikka bog‘liq bo‘ladi. Shuni hisobga olib, aktiv element turli yo‘llar bilan, har xil tizimlar yordamida sovutib turiladi. Biz o‘rganayotgan lazer tizimlarida asosan, aktiv element suyuqlik - suv yordamida sovutiladi [10, 11].

1.3. Tebranishlar turlarini shakllanishi

Lazer nurlanishini shakllantirishida, har turdagi ochiq rezona torlardan foydalaniladi. Har bir turdagi rezonator, o‘z xususiyatiga ega bo‘lib, kvant generatorning asosi bo‘lib hisoblanadi. Optik sxemadagi lazer rezonatorning ikki chetki qaytargichlaridan tashqari, optik sxemaga har xil saralovchi, qutblovchi va yorug‘lik nurlanishini boshqaruvchi elementlar kiritiladi. Lazer nurlanishining to‘lqin frontining o‘zgarishi va to‘lqinlarning modalari tuzilishini o‘zgarishi hamda optik elementlar tayyorlangan materiallarning bir jinsliligiga, uning yuzasiga to‘la va etarli ishlov berilganligiga va elementlarning o‘zaro yustirovkasiga (optik sozlanganligiga) bog‘liq bo‘ladi. Optik rezonator elementlarining sozlanganligiga, lazerlarining chiqish parametrlari, qattiq bog‘liq bo‘ladi.

Lazerlarining issiqlik rejimiga, optik elementlarda paydo bo'ladigan termik kuchlanishlar va ularning bir jinstik emasliklari hamda nurning ikkilanib sinish xususiyatlarini kelib chiqishi va boshqalar ta'sir ko'rsatadi [12, 13].

Lazer nurlanishining, to'liq frontini o'zgarishiga asosiy ta'sir qiluvchi sabablardan biri, optik operatsiya holati bo'lib, bu holat aktiv elementni bir tekis qizimasligidan kelib chiqadi. Bu va boshqa keraksiz holatlardan qutilishning birdan-bir yo'li, optik sxema elementlari va aktiv elementni sovutish bo'lib, generatsiyadan so'ng yoki generatsiyalar orasida elementlar, avvalgi temperatura holatiga qaytishini ta'minlovchi sovutish sistemasidan foydalaniladi. Bu ancha murakkab masala bo'lib, optik generator elementlarini ma'lum chegarada, ishchi temperatura rejimida, saqlab turish imkoniyatiga erishishni talab qiladi.

1.4. O'z-o'zidan nurlanish

Biror atomdagi ikki energetik 1 va 2 sathni ko'rib chiqamiz, ularning energiyalari E_1 va E_2 ($E_1 < E_2$) ga teng. Bu ikki energetik sath, shu muxitga xos bo'lgan, ixtiyoriy chegaraga ega bo'lmagan, ikki sathdan iborat bo'lishi mumkin. Qulaylik uchun, birinchi sathni, asosiy sath deb qabul qilamiz. Faraz qilamiz, moddaning atom (yoki molekulasini) boshlang'ich holatda 2-inchi holat sathida joylashgan bo'lsin, u xolda $E_2 > E_1$ bo'lib, atom 1-sathga o'tishga intiladi. Buning uchun atom o'zidan $E_2 - E_1$ energetik farqni chiqarishga majbur bo'ladi. Bu energiya, elektromagnit to'liqlari bo'lsa, bu jarayon o'z-o'zidan nurlanish deb yuritiladi [21]. U xolda, elektromagnit to'liqini chastotasi ν , bo'lib, Borning 2- postulatiga asosan, quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\nu = (E_2 - E_1) / h \quad (1.1)$$

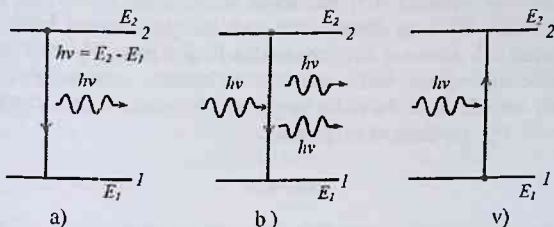
bu yerda, h -Plank doimiysi. Shunday qilib, o'z-o'zidan nurlanish jarayoni, o'zidan energiyasi $h\nu = E_2 - E_1$ teng bo'lgan foton chiqarishi bilan xarakterlanadi (1.1-rasm). Shuni aytib o'tishimiz kerakki, o'z-o'zidan nurlanish jarayoni, atomning bir holatdan, ikkinchi holatga o'tish jarayonining, ikki yo'lidan biri hisoblanadi [11, 14, 15].

Atomning bir energetik holatdan, ikkinchi energetik holatga o'tishi, o'zidan nur chiqarmasdan ham bo'lishi mumkin. Bu xolda, ortiqcha energiya boshqa bir shakilda (energiya farqi), uni o'rab turgan molekularning kinetik energiyasiga aylanishi mumkin [17]. O'z-o'zidan nurlanish jarayonining ehtimolliyigini quyidagicha aniqlash mumkin. Faraz

qilamiz, biron bir t -vaqtda, ikkinchi sathda N_2 atomlar joylashgan (hajm birligida). O'z-o'zidan nurlanish jarayoni uchun, bu atomlarning pastki sathga o'tish tezligi (dN_2/dt) - N_2 ga proporsional bo'ladi, bundan kelib chiqib, shunday ifodalash mumkin:

$$(dN_2/dt) = -AN_2 \quad (1.2)$$

Ko'paytuvchi A , o'z-o'zidan nurlanish jarayonining, sodir bo'lishining ehtimolliyligi bo'lib, Eynshteyn koeffitsienti deb yuritiladi, bu koeffitsient A , birinchi bo'lib Eynshteyn tomonidan termodinamik muloxazalar jarayonida kiritilgan. Kattalik $\tau = 1/A$ ni, o'z-o'zidan nurlanish jarayonining yuzaga kelish vaqti deb aytiladi. A ning qiymati, nurlanish jarayonida ishtirok etuvchilarning bir sathdan, ikkinchi sathga o'tishi bilan bog'liq [15, 17,18].



1.1. - rasm. Uch jarayonning sxematik ko'rinishi:
 a) - o'z-o'zidan nurlanish, b) -majburiy nurlanish,
 v) -nurlanishning yutilishi.

1.5. Majburiy nurlanish

Faraz qilaylik, atom boshlang'ich holatda, yuqori energiyali 2 - sathda joylashgan bo'lsin va atomga, chastotasi formula (1.1) yordamida aniqlanuvchi, elektromagnit to'lqinlari ta'sir etsin. Bunday holatda, tushuvchi to'lqin chastotasi, atomlarning bir-biriga teng bo'lmagan energetik sathdan-sathga o'tishiga bog'liq bo'ladi va tushuvchi nur, atomlarni (2-1) energetik sathga o'tishini ta'minlaydi. Bu xolda (E_2-E_1) energiyalar farqi, elektromagnit to'lqinlarining nurlanishi energiyasi shaklida namoyon bo'ladi hamda tushuvchi to'lqinga qo'shiladi. Bu jarayon esa majburiy nurlanish deb yuritiladi. Majburiy nurlanish va o'z-o'zidan

nurlanish jarayonlari o'rtasida keskin farq bor [18,19]. O'z-o'zidan nurlanish jarayonida atom, elektromagnit to'lqinini o'zidan chiqaradi, uning fazasini boshqa atom tomonidan chiqqan yorug'lik to'lqin fazasi bilan, hech qanday aniq bog'likligi bo'lmaydi, bundan tashqari chiqqan to'lqin, turli tarqalish yo'nalishga ega bo'ladi. Majburiy nurlanish jarayoni, tushuvchi to'lqin asosida amalga oshirilsa, har bir atom tomonidan chiqarilgan nurlanish, bu nurlanish to'lqiniga, bir xil faza bilan qo'shiladi. Tushuvchi to'lqin, chiquvchi to'lqinning tarqalish yo'nalishini ham belgilaydi. Majburiy nurlanish jarayonini, quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi

$$(dN_2/dT)_{maj} = -W_{21}N_2 \quad (1.3)$$

Bu yerda, $(dN_2/dT)_{maj}$ - majburiy nurlanish natijasida yuzaga kelgan sathdan- sathga o'tish tezligi, αW_{21} -majburiy o'tish jarayonining ehtimolliyligi. Formula (1.3) yordamida aniqlanuvchi koeffitsient A ning qiymati kabi, W_{21} ning qiymati ham vaqt birligiga teskari birlik bilan aniqlanadi s^{-1} . Ammo A ning qiymatidan farqi o'laroq W_{21} , na faqat aniq sathdan-sathga o'tish, balki tushuvchi to'lqinning intensivligiga xam bog'liq bo'ladi. Yuza bo'yicha tarqaluvchi to'lqinlar uchun jarayonning ehtimolliyligi, quyidagicha aniqlanadi:

$$W_{21} = d_{21}F \quad (1.4)$$

Bu yerda F - tushuvchi to'lqin fotonlarining oqimi zichligi, d_{21} kattalik yuza birligiga ega bo'lib, shu o'tishning xarakteristikasiga bog'liq bo'ladi (hamda majburiy nurlanish jarayonning yuzasi deb yuritiladi) [19,20].

1.6. Nurning yutilishi

Faraz qilaylik, atom birinchi energetik sathda joylashgan bo'lsin. Agar, bu asosiy sath deb hisoblansa, u xolda atom, unga biron bir tashqi kuch ta'sir etmaguncha, shu sathda qoladi [20.21]. Agar, jismga chastotasi ν ga teng va (1.1) formula bilan aniqlanuvchi elektromagnit to'lqini ta'sir etsa, atomning bu ta'sir natijasida, yuqori 2 sathga o'tish ehtimoli yuzaga keladi. Atomning bir energetik sathdan, ikkinchi energetik sathga o'tishi uchun, atomga ta'sir etuvchi tashqi elektromagnit maydon energiyasi ($E_2 - E_1$) energetik sathlarning energiyalari farqiga teng bo'lishi kerak.

(1.3) formulaga o'xshash, nurlanishning yutilishi ehtimolliyligi - W_{12} , quyidagi tenglama bilan aniqlanadi.

$$dN_1/dt = -W_{12}N_1, \quad (1.5)$$

bu yerda, N_1 - xajm birligidagi 1- energetik sathda joylashgan atomlar soni, bundan tashqari (1.4) formula kabi, W_{12} uchun quyidagini yozish mumkin

$$W_{12} \sim \sigma_{12} F_{12} \quad (1.6)$$

bu yerda, σ_{12} qandaydir qiymatga ega bo'lgan yuza (yutilish yuzasi), uning qiymati aniq sathdan –sathga o'tishga bog'liq [21, 22].

Oldingi bo'limlarda, o'z-o'zidan nurlanish va majburiy nurlanish hamda numi yutilishi jarayonlariga asosiy tushunchalar berib o'tilgan. Bu jarayonlarga, fotonlar tilida quyidagicha izox beriladi (1.1.-rasm):

1. O'z-o'zidan nurlanish jarayonida atom, o'zidan foton chiqarib, 2-sathdan, 1-sathga o'tadi.

2. Majburiy nurlanish jarayonida, tushuvchi foton (2→1) sathga o'tishni yuzaga keltiradi.

3. Nurni yutilishi jarayonida, foton yutiladi va 1-dan 2- ga, ya'ni sathdan-sathga o'tishni ta'minlaydi.

Shuni ham qayd qilib aytib o'tish lozimki, XX-asr boshlarida Eynshteyn ko'rsatishicha, majburiy nurlanish jarayonining va numi yutilish jarayonini sodir bo'lishi ehtimolliyligi bir – biriga teng, ya'ni $\sigma_{21} = \sigma_{12}$. Bir xajm birligidagi, ushbu energetik sathdagi atomlar sonini, atomlarni joylashishi deyiladi [23,24].

1.7. Lazer generatorini ishlash tamoyillari

Faraz qilamiz, biron bir muhitda mavjud bo'lgan ikki N_1 va N_2 atomlar joylashuviga ega bo'lgan energetik sathlarni ni ko'rib chiqamiz. Bunday muhitda z o'qi bo'yicha tarqalayotgan fotonlar oqimi F , zichligiga mos, intensivlikka ega bo'lgan, yassi to'lqin tarqalayotgan bo'lsin. U xolda (1.3) va (1.6)ga muvofiq, yorug'lik oqimining zichligini dF ning o'zgarishi, majburiy nurlanish va numi yutilishi jarayonlari natijasida dz sathda (Rasm 1.2.dagi shtrixlangan xudud) quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi [25,26]

$$dF = SF(N_2 - N_1)dz . \quad (1.7)$$

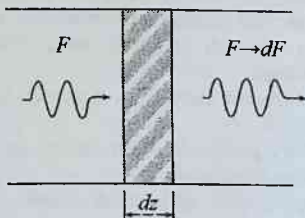
(1.7) tenglama ga ko'ra, agar $N_2 > N_1$ bo'lsa, muhit o'zini kuchaytiruvchi holatdagidek ($dF/dz > 0$), aksincha bo'lsa muxit $N_2 < N_1$ yorug'likni yutuvchi holatda bo'ladi.

Termodinamik mutanosiblik holatida, energetik sathlarda atomlarning joylashuvi Bolsmaning statik qonuniyati asosida aniqlanadi. U xolda ikki sathda atomlarning joylashuvi quyidagicha aniqlanadi [19, 21].

$$\frac{N_2^e}{N_1^e} = \exp[-(E_2 - E_1)/kT] \quad (1.8)$$

Bu yerda k -Bolsman doimiyiigi, T -muhitning absolyut harorati.

Shunday qilib, termodinamik mutanosiblik holatida $N_2 < N_1$ bo'ladi. (1.7) ga ko'ra muxit v chastotali nurni yutadi.



1.2 -rasm. dz qalinlikka ega bo'lgan moddadan, yassi elektromagnit to'liqini o'tganda, fotonlar oqimi F ning zichligini o'zgarishi.

Agar nomutanosiblik (tengsizlik) holatda bo'lsa, u xolda ($N_2 - N_1 > 0$) bo'ladi va muxit kuchaytirgich sifatida ishlaydi. Bunday holatda muxitda invers holat yuzaga keladi va muxit aktiv muxit deb yuritiladi [33].

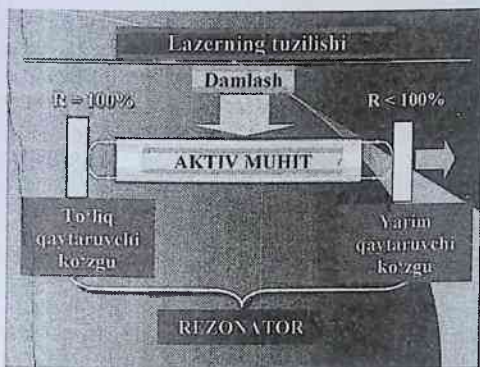
Agar, o'tish chastotasi $\nu = (E_2 - E_1)/h$ O'YUCH- (SVCH) diapozoniga to'g'ri kelsa, u xolda bunday kuchaytirgich mazer deb ataladi. "MAZER" so'zi ingliz tilidan olingan bo'lib, (*microwave amplification by stimulated emission of radiation*) so'zlarining bosh xariflaridan tuzilgan va ma'nosi mikroto'liqlarning majburiy nurlanish yordamida kuchaytirishni anglatadi. Agar o'tish chastotasi ν optik diapozonga to'g'ri kelsa, u xolda kuchaytirgich "LAZER" deb ataladi. Bu ham ingliz tilidan olingan so'zlarning bosh xariflaridan tuzilgan. Nur kuchaytirgichni, generatorga aylantirish uchun, unga teskari bog'lanish tizimini kiritish kerak. Lazerlarda bunday teskari bog'lanish uchun, aktiv muhitni yuqori qaytarish hususiyatiga ega bo'lgan, ikki ko'zgu orasiga joylashtirish kerak bo'ladi. (xuddi Rasm 1.3. dagi kabi, tekis o'zaro parallel ko'zgul orasiga). Bu xolda, yuza bo'ylab tarqaluvchi elektromagnit to'liqini, ko'zgularga

perpendikulyar yoʻnalishda, yoʻnalgan boʻladi va ular navbatma-navbat ulardan qaytib, aktiv muhitdan oʻtishda kuchayib boradi [26,27,28].

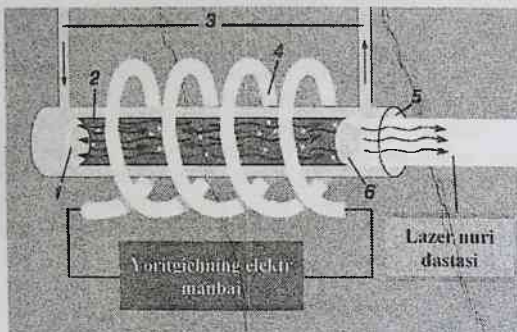
Agar ikki koʻzgudan biri, nurni toʻliq qaytarmasa, u xolda qurilmaning chiqishida, kerakli lazer nurlanishini olish mumkin. Lazer qurilmalarida, generatsiya jarayonida, shunday vaqt momenti yuzaga keladiki, shunday vaqt momentida, aktiv elementning kuchaytirish imkoniyati, undagi energetik yoʻqotishlarni oʻrnini qoplaydi, (masalan, nurning rezonatoridan qaytargich koʻzgular yordamida aktiv elementdan chetga chiqib ketishi bilan bogʻliq yoʻqotishlar va xokazo). (1.7) formula ga asosan, nurning aktiv elementdan bir marta oʻtishida kuchayishi, chiqish va kirishdagi fotonlar oqimi zichligi nisbatiga teng [29, 30]

$$\exp[d(N_2 - N_1)L] \quad (1.9)$$

Bu yerda, L - aktiv muxitning uzunligi. Agar, rezonatorning yoʻqotishlari, faqat koʻzgularning nurlanishni oʻtkazib yuborishi bilan aniqlansa, u xolda generatsiyaning boshlanishi, quyidagi shartning bajarilishiga bogʻliq boʻladi [38].



1.3 -rasm. Lazer qurilmasining sxemasi.



1.4-rasm. Yoqut (Rubin) kristalidan iborat bo'lgan lazer

$$R_1 R_2 \exp[(N_2 - N_1)L] = 1. \quad (1.10)$$

Bu yerda R_1 i va R_2 yorug'lik nurining intensivligi bo'yicha, ko'zgularning nurlanishni qaytarish koeffitsienti .Bu shartdan ko'rinib turibdi ki, generatsiyaning boshlanishi, sathdagi invers holat darajasi qiymati, kri tik qiymatga yaqinlashganda $(N_2 - N_1)_{kr}$ ya'ni sathning kritik inversiyasi, quyidagi tenglik bilan aniqlanadi:

$$(N_2 - N_1) = -L \ln(R_1 R_2) \quad (1.11)$$

(1.11) shartdan shuni aytish munkinki, generatsiyaning boshlanishi, invers holatni $(N_2 - N_1)$ ning, biror kritik qiymatga yaqinlashganida sodir bo'ladi [40]. Kritik inversiya holati yuzaga kelishi bilan, fotonlarning kuchayish jarayoni sodir bo'ladi va generatsiya yuzaga keladi .

Nur kuchaytirgichni generatorga aylantirish uchun, unga teskari bog'lanish tizimini kiritish kerak. Lazerlarda bunday teskari bog'lanish, aktiv muhitni yuqori qaytarish xususiyatiga ega bo'lgan, ikki ko'zgu orasiga joylashtirish orqali amalga oshiriladi[32,34]. Bu xolda, yuza bo'ylab tarqaluvchi elektromagnit to'lqini, ko'zgularga perpendikulyar yo'nalishda, yo'nalgan bo'ladi va ular navbatma - navbat ulardan qaytib, aktiv muhitdan o'tishda, kuchayib boradi .

1.7.1 Damlash (atomlarni qo'zg'algan holatga keltirish) sxemalari

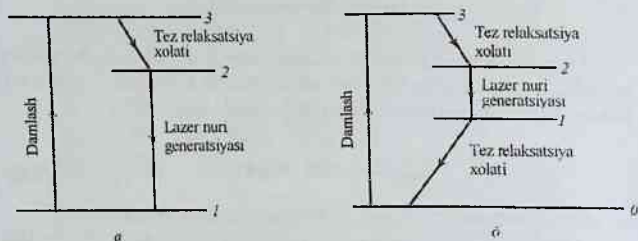
Termodinamik mutanosiblik holatida, energetik sathlarda atomlarning joylashuvi, Bolsmanning statik qonuniyati asosida aniqlanadi. U xolda ikki sathda atomlarning joylashuvi quyidagicha aniqlanadi [19, 21].

$$\frac{N_2^e}{N_1^e} = \exp[-(E_2 - E_1)/kT] \quad (1.12)$$

Bu yerda k -Bolsman doimiyligi, T -muhitning absolyut temperaturasi.

SHunday qilib, termodinamik mutanosiblik holatida $N_2 < N_1$ bo'ladi. (1.7) ga ko'ra, muxit ν chastotali nurni yutadi. Agar nomutanosiblik (tengsizlik) holatda bo'lsa, u xolda ($N_2 - N_1 > 0$) bo'ladi va muxit kuchaytirgich sifatida ishlaydi. Boshqacha qilib aytganda, qo'zg'atuvchi nurni yutish natijasida, yuqori energetik sathga chiqib joydashgan atomlar invers muxit hosil qilishi uchun, ularning soni quyi energetik sathda joylashgan, qo'zg'almagan atomlar sonidan ko'p bo'lishi kerak. Bunday holatda, muxitda invers holat yuzaga keladi va muxit aktiv muxit deb yuritiladi [33].

Aktiv muhitda, invers holatni yuzaga keltirish masalasini ko'rib chiqamiz. Issiqlikning turg'inlik holatida, 1-sathdagi atomlar soni, ikkinchi sathdagi atomlar soniga qaraganda, ko'proq bo'ladi. Bu xolda, tashqi nurni yutish jarayoni, o'z-o'zidan nurlanish jarayoniga qaraganda ko'proq bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, tashqaridan ta'sir etuvchi nur yordamida, 1→2 sathdan-sathga o'tish, 2→1 ga o'tishga qaraganda ko'proq bo'ladi va shunday qilib, invers holat yaratishga imkon tug'iladi [34]. Ammo, bunday mexanizm ishlamaydi, chunki sathlarda atomlarni joylashishi bir-biriga teng bo'lsa, ($N_2 = N_1$) o'z-o'zidan nurlanish va nurni yutish jarayoni bir birini kompensasiya qiladi. Ko'pincha bunday holatni, ikki sathli, to'la qoniqish holati deyiladi [55]. Shunday qilib, ikki sathli tizimda, invers holatni yuzaga keltirib bo'lmaydi. O'z-o'zidan ko'p sathli atomlar tizimdan foydalanilganda, bu masalani echish mumkinmi degan savol tug'iladi. Bu masalani echimini, uch yoki to'rt sathli aktiv elementlardan foydalanganimizda ko'ramiz [46]. Uch sathli lazer tizimida, a) atomlar 1-sathdan, 3-sathga o'tadilar va tezda 3-satzdan 2-sathga o'tadilar hamda 2- va 3-sathlar o'rtasida invers holat yuzaga kelishini ta'minlaydilar. Agar biz, 4 sathli lazer tizimidan foydalansak, b) atomlar tashqi nurni yutishi natijasida, asosiy sathdan (qulaylik uchun nulinchi sath deb qabul qilamiz) uchinchi sathga o'taboshlaydi [35,37].



1.5-rasm. Uch sathli (a) va to'rt sathli (b) lazer sxemalari

So'ngra, uchinchi sathdan tezda, ikkinchi sathga o'tadilar va natijada 2-va 3-sathlar o'rtasida invers holat yuzaga kelishini ta'minlaydilar. Bunday ko'p sathli tizimlarda, generatsiya jarayoni vujudga kelsa, atomlar majburiy nurlanish jarayoni natijasida 2-sathdan 1-sathga so'ngra, nolinchi sathga o'tadilar. Atomlarning uch sathli tizimda 1-sathdan 3-sathga o'tishlari, to'rt sathli tizimda 0-chi sathdan, 3-sathga o'tishlarini damlash jarayoni deb ataymiz. Amalda, damlash jarayonini sodir etishning bir necha yo'li mavjud, (masalan, o'ta yuqori intensivlikka ega bo'lgan nur to'liqini yordamida) [37,38].

1.8. Lazerlarning klassifikatsiyasi

1.8.1 Rubin (yoqut) kristalli

Hozirgi kunda, sanoatda rubin kristalidan tayyorlangan aktiv elementlar sun'iy ravishda olinadi. Ularga texnik talablar va o'lchamlar, o'rnatilgan standart bo'yicha qo'yiladi: OST 3-24-70 va OST 3-25-70.

Keltirilgan standartga qarab, rubin elementlari Jadval 1.1. ko'rsatilgan shaklda tayyorlanadi. Sanoatda Rubin kristallari diametri 3,5 mm dan/6mm gacha, uzunligi 45 dan 240 mm gacha optik o'qining orientatsiyasi (yo'nalishi) 60° dan 90° gacha bo'ladi.

Turning belgisi	Aktiv element
R	
RL	
RL1B	
RL2B	
RLS	
RLO	
RLOL	
RLOL1B	
RLOL2B	

Ko'ndalang kesimi yuzasiga, quyidagicha ishlov beriladi: tozaligi 5-10 klassda ishlov berilib, so'ngra mexanik tarzda sayqallanadi, yuza tozaligi 12 klassdan kam bo'lishi kerak emas, ustki qismi kimyoviy yoki g'adir-budir qilib tayyorlanadi. Yuza kesimlarining o'zaro parallel emasligi R; RL; RL2B turdagi Rubin kristallarida 10^{11} dan oshmaydi. Qo'shilgan Xr atomlari konsentratsiyasiga qarab, Rubin kristallari uch kategoriyaga taqsimlanadi. Bu taqsimot Jadval 1.2da keltirilgan [31, 33, 34]

Aktivatorning energetik qatlamlari diagrammasining, metastabil qatlamdagi yashash vaqtiga bog'liqligi, to'lqin uzunligi va nurlanish chizig'ining kengligini, temperaturaga bog'liqligi, Rubin kristallining yutish spektri va asosiy fizik konstantalar [2,33] ishlarda keltirilgan.

Aktiv kristallardan Rubinning, lazer texnikasida keng qo'llanilishining asosiy sababalaridan biri, kristallning ko'z ko'radigan spektr oblastida generatsiya qilishida, uning o'y temperaturasida ham ishlay olishida, mexanik jixatdan mustahkamligi va yuqori darajadagi energetik chidamliligidadir. Ammo, Rubin kristalli optik jixatdan, tuzilish tomondan, bir jinsli emas, buning sababi, kristallik panjarasidagi defektlar tufayli (dislokasiya, tekislikning sirpanishi va xrom ionlarining bir tekis taqsimlanmaganligi va xokazolar) bo'lishi mumkin. Kristalda defektlarning borligi, unda ichki kuchlanishlarni paydo bo'lishiga sabab bo'ladi. Uch valentli xrom ionlarining, kristall bo'yicha tekis taqsimlanmaganligi, sinish ko'rsatgichini turiligi, kristallik panjarasida deformatsiya va anomal ikkilamchi nur sinishiga olib keladi.

1.2-jadval

Kategoriya		Elementining diametri		Xrom atomlarining o'rtacha konsentrasiyasi og'irligi % da		Sinish ko'rsatgichining o'zgarishi $X \cdot 10^5$		Havo pufakchalari soni va kattaligi		Yuza kesimining umumiy tekis mosligi (interfen siya polosalari soni)
1	8	0,013-0,017	0,6	9	0,2 mm dan katta emas	-	0,3			
2	8	0,018-0,025	0,9	16	0,3mm dan katta emas	-	0,5			
3	8	0,026-0,036	2,7	-	-	-	-			
1	-	-	0,7	15	-	-	0,3			
2	10	0,20-0,028	1,1	25	-	-	0,5			
3	10	0,29-0,040	4,0	-	-	-	-			
1	16	-	1,2	-	-	20	0,3			
2	-	0,024-0,037	1,6	-	-	30	0,5			
3	-	-	9,0	-	-	-	-			

Aktiv elementlarining optik jihatidan bir jinsli emasligi va uning lazer nurlanishi parametrlariga ta'siri, quyidagi ishlarda ko'rib chiqilgan.

Lazer nurlanishining tarqalishiga va to'liq frontining deformatsiyalanishiga, mexanik kuchlanishlar va xrom ionlarining konsentratsiyasining bir tekis taqsimlanmaganligi ta'sir ko'rsatadi [30, 34].

Hozirgi, zamonaviy texnologiya, xrom ionlarini, rubin kristalli yuzasi bo'yicha tekis taqsimlanishini taminlaydi. Rubin kristallini o'stirish jarayonida, kristalda ichki deformatsiya paydo bo'ladi, bu esa kristallning ikki parallel chetki yuzasi, optik jihatdan qaraganda, tarqatuvchi linzaga ekvivalent bo'ladi.

Tekshirishlar natijasida shu aniqlandiki, aktiv elementda ichki mexanik deformatsiya, lazer nurining burchak ostida tarqalishiga, intensivlikning yuza bo'yicha taqsimotiga va modalarning saralanishiga ta'sir ko'rsatadi.

Kristaldagi ichki kuchlanishning taqsimlanishi, kristalda interferensiyasion polosani (yo'lak) o'rmini o'zgartirish, ikkilamchi nur sinishi hususiyatini yuzaga keltiradi, bu esa, o'z navbatida oddiy va nooddiy nurlanishning optik yo'li uzunligini, o'zgarishga olib keladi. Bu quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta(n_0 - n_c) \cdot \ell_a = m_n \cdot \lambda \quad (L13)$$

Bunda n_0 va n_c - sinish ko'rsatkichi oddiy va nooddiy nur uchun. ℓ_a - aktiv elementning uzunligi, m_n - interferensiya tartibi, kristall ichida paydo bo'lgan ikki kuchlanish ξ quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta(n_0 - n_c) = B_\phi \cdot \xi \quad (L14)$$

B_ϕ - fotoelastiklik doimiyligi

Fotoelastiklikning o'rtacha qiymati $B_\phi = 0.9 \cdot 10^{-7}$ sm/kg [44, 45] bo'lganda $\xi = 100$ kt/sm² - ga teng bo'ladi.

Rubin kristallari uchun, ichki kuchlanishlar qoniqarli darajada bo'lib, namunaviy kristalda, bir modal (TEM₀₀) generatsiyani ta'minlaydi. Yuqori sifatli, namunali kristallarda ($\xi < 30$ kg/sm²) teng bo'lib, bitta ko'ndalang modaning generatsiyasini, damlashning katta diapazonida (ostonadan 25% yuqori) olishni imkoniyatini beradi [44, 46]. Mexanik kuchlanishning kattaligi, Rubin kristallida, dislokasiyaning zichligidan va uning butun hajm bo'yicha, taqsimlanishiga bog'liq.

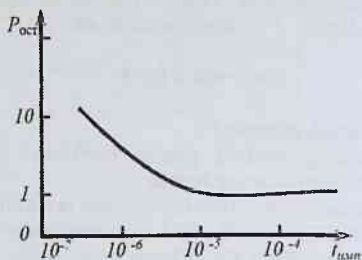
Dislokasiya, Rubin kristallini o'stirish vaqtidagina emas, balki kristallga ishlov berish vaqtida, mexanik ta'sir natijasida ham paydo bo'lishi

mumkin. Mexanik kuchlanish ta'sirida, kristall ikki o'qli bo'lib qoladi, bu esa o'z navbatida ikkilamchi nur sinishiga olib keladi.

Defektlarning sifat jihatidan va miqdoriy harakteri, har bir ishlangan kristall uchun alohida bo'lib, boshqa kristallarda ular bir-biridan farq qiladi.

Rubin kristalli parametrlarini ko'pgina yo'llar bilan, har-bir kristallning o'ziga qarab, ma'lum tekshirishdan so'ng to'g'irlash mumkin. Buning uchun, kristallning uchiga sharsimon shaklda ishlov berish, rezonator ichiga musbat linza o'rnatish, sferik qaytargich ko'zgularidan foydalanish kerak va xokazo. Rubin kristallining energetik parametrlarini chegaralovchi yana bir faktor, uning katta quvvatli nurlanish ta'siriga nisbatan chidamli emasligi bo'lib, ma'lum katta quvvatli generatsiya paytida, kristallning buzilishiga sabab bo'ladi. Bunday buzilish, asosan birinchi navbatda, kristallning ikkala kesik yuzasidan boshlanadi. Kristall tomonidan yutilgan, katta zichlikdagi yorug'lik nuri, undagi mikro yoriqlarda, defektlarda temperaturaning o'sishiga olib keladi va natijada kristall buziladi.

Mexanik ishlov vaqtida, kristallning ikki ko'ndalang kesim yuzasiga yaxshi ishlov berib, yuqori ko'rsatgichda silliqilansa, bu uning chidamliligini oshiradi. Qisqa impulslar diapazonida, kristall yuzasining buzilaboshlanishi R_{ost} quvvatiga proporsional, $1/t_{imp}$ bunda t_{imp} -impulsning davomiyligi vaqti, R_{ost} (buzilish boshlanishining ostonasi quvvati) yuza buzilishi boshlanishining quvvatining qiymati.



1.6-rasm. Kristall yuzasining buzilishi quvvatini (R_{ost}) impuls davomiyligi vaqtiga (t_{imp}) bog'liqligi.

Keltirilgan 1.6 - rasmdagi grafikda ko'rsatilishicha, impuls davomiyligi vaqti, uzun bo'lgan impuls uchun, buzilish ostonasi quvvati o'zgarmaydi va t_{imp} ga bog'liq bo'lmaydi.

Davomiylik vaqti uzun impulslarda, buzilish quvvati R_{ost} taxminan 10^6 Vt/sm² bo'ladi. Qisqa impulsli lazer nurlari uchun t_{imp} -50ns bo'lsa, R_{ost} - 280 MVt/sm² bo'ladi. Asosan, Rubin kristallarining chidamliyligi yuqori bo'lib, uning qiymati $3 \cdot 10^{10}$ Vt/sm² [31,35] bo'ladi.

1.8.2. Neodim ionlari bilan aktivlashtirilgan shisha

Neodim ionlari bilan aktivlashtirilgan, shishali aktiv elementlarning turi va ularning o'lchamlari hamda ularning texnik harakteristikalari, standartlar tomonidan belgilangan: OST 3-31-70 va OST 3-30-70.

Aktiv elementlarning turi, ularning ko'ndalang kesimi yuzasiga va ikki uch tomonining kesim burchagiga qarab ajratiladi.

Aktiv elementning turi va uning to'liq uzunligi $\lambda=586$ nm, yorug'likni yutish ko'rsatgichi n_k ga bog'liq.

Standart holatdagi neodimli aktiv elementning diametri 5-60 mm uzunligi 1200mm gacha bo'ladi. Aktiv elementning sifati, kristalda mavjud bo'lgan pufakchalar va ularning soni, o'lchamlariga qarab, kategoriyaga bo'linadi.

Neodim ionlarning har-xil shishilar tarkibiga qarab, hususiyatlari va ularning nurni yutish spektrlari, lyuminessensiya intensivligining Nd konsentratsiyasiga qarab, vaqtga nisbatan bog'liqligi, [25,27] ishlarda ko'rib chiqilgan.

Shishaning matrisa sifatida, aktiv element materiallarida qo'llanilishi, ularni optik bir jinsli va katta o'lchamlarga ega bo'lgan namunalarini yaratishga imkon beradi. Shishaning bu hususiyatlari, shisha tarkibini aktiv elementlarining, boshqa aktiv elementlarga nisbatan ustunligini va katta chiqish energiyalik lazer generatorlarini yaratishda va optik kuchaytirgichlarni ishlab chiqishda ham qulay ekanligini ko'rsatadi. Ammo, shishali aktiv elementlarning kamchiligi bo'lib, ular yuqori temperaturaga chidamsizligi va issiqlikni o'zidan yaxshi o'tkazmasligidir [18].

Bu hususiyat, hamma qattiq jismlar uchun xos bo'lib, shisha materialidan yasalgan aktiv elementlarda, yanada yaqqol namoyon bo'ladi.

Neodim ionlari bilan aktivlashtirilgan, aktiv shisha elementlarda yorug'likning damlashi va aktiv elementning o'zining nurlanishi ta'sirida, chetki yuzalarining kuyishi, ko'ndalang kesim yuzasining buzilishi, ultrafiolet nurlarini yaxshi yutishi, lampalar effektivligini kamaytiradi [30,36].

Neodimli shishadan yasalgan aktiv elementlarning yana bir kamchiligi, ularning fotokimyoviy turg'unsizligidir. Ultrafiolet nurlar ta'siri ostida,

neodinli aktiv elementlarda, uch valentlik neodim, qayta ikki valentlikka aylanadi va to'liq uzunligi $\lambda=1.06$ mkm bo'lgan nurni yutadi, buning natijasida materiall o'z hususiyatini yo'qotaboshlaydi (qariydi). Bu esa, o'z-o'zidan aktiv elementning generatsiya hususiyatini yo'qotishga olib keladi. Bu muammoni hal qilish uchun, maxsus filtrllovchi aralashmalar va filtlardan foydalaniladi [21]. Buning natijasida ultr fiolet nurlarining ta'siri kamayadi.

Flyuorit. Ikki valentli disproziy bilan aktivlashtirilgan flyuorit kristalli. lazer materiallari uchun xos materiallardan bo'lib, generatsiya boshlanish ostonasining kichikligi, issiqlikka chidamliligi hamda uzluksiz va yuqori chastotada ishlay olishligi bilan ajralib turadi .

Ittriy-alyuminli granat

Kristallning spektroskopik hususiyatlari va uning asosiy fizika-kimyoviy ko'rsatgichlari [26,30, 35,] da ko'rsatilgan.

Bu kristall. nisbatan kichik energiyada, uy temperaturasida ishlaydi. Issiqlikni o'zidan yaxshi o'tkazadi, mexanik jihatidan mustahkam bo'lib, uning bu hususiyatlari, uni yuqori chastotali va uzluksiz generatsiya rejimida ishlatish uchun qulay hisoblanadi. Granatli, aktiv elementlardan foydalanilgan generatorlarda, uzluksiz ish rejimida, chiqish quvvati 220 Vt va Fl.K.ti ~2% teng, chastotasi 5 kGs lik rejimida ishlanganda, o'rtacha quvvati 1 Vt ga teng bo'ladi.

1.8.3. Yarim o'tkazgichli lazer

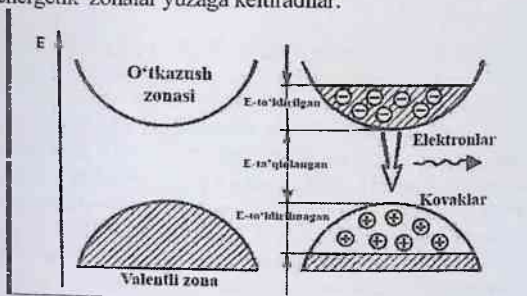
YArim o'tkazgichli lazer 1958 yil sovet olimi N.G.Basov va uning xodimlari, yarim o'tkazgichli materiallarni aktiv muhit sifatida ishlatish imkoniyatlari mavjudligini ko'rsatib berdi. Ular tomonidan, yarim o'tkazgichli materiallardan foydalanilganda, elektor toki energiyasini to'g'ridan-to'g'ri kogerent nur energiyasiga aylantirish mumkinligi, ko'rsatib berildi. Yarim o'tkazgichli lazer qurilmasining ishlash prinsipi, quyidagicha bo'ladi. Kvant teoriyasiga binoan, yarim o'tkazlarda elektronlar, ikki keng energetik yo'lakchalarni egallaydi (Rasm 1.19).

Pastki energetik yo'lak, valentlik zonasini anglatga, yuqori energetik yo'lak, o'tkazuchan zonani anglatadi. Normal toza yarim o'tkazgichda, past temperaturada hamma elektronlar bog'langan bo'lib, valent zonasi chegarasidagi energetik sathda joylashgan bo'ladi. Agar yarim o'tkazgichga elektor toki yoki yorug'lik impulsi ta'sirini ko'rsatsak, u xolda bir qism elektronlar o'tkazuvchan zona ga o'tadi .Bunday o'tish natijasida, valent

zonasida bo'sh o'rinlar yuzaga keladi, bunday bo'sh o'rinlarni fizikada teshiklar (kovaklar) deb yuritiladi. Bu teshiklar, musbat zaryadlar rolini o'ynaydi. Shunday qilib, yarim o'tkazgich valet zonasi va o'tkazuvchan zonalar o'rtasida elektronlarning taqsimlanishi yuzaga keladi. Boshqacha qilib aytganda, yuqorida joylashgan energetik zonada, elektronlarni taqsimlanishi yuz beradi.

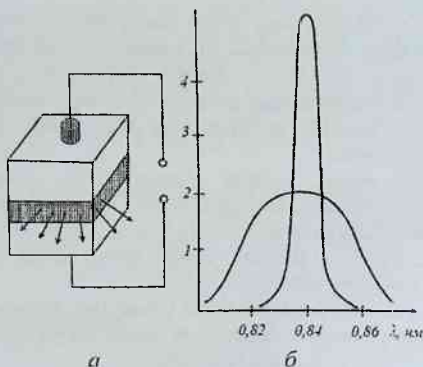
Ba'zi bir arsenid galliyga o'xshash yarim o'tkazgichlarda, elektronlarning o'tkazish zonasidan, qayta valet zonasiga o'tishi va teshiklar bilan birlashishi natijasida yoki turli xil zaryad olib yuruvchilar orasida, rekombinasiya jarayoni yuzaga keladi hamda fotonlarning nurlanishi jarayoni sodir bo'ladi.

Taqiqlangan zona kengligini, yarim o'tkazgichda kamaytirish uchun, yarim o'tkazgichga maxsus aralashma qo'shiladi, ular yarim o'tkazgichda maxsus energetik zonalar yuzaga keltiradilar.



1.7 - rasm. Yarim o'tkazgichli lazerning energetik sxemasi

Invers holatni yuzaga keltirish uchun, turli usullardan foydalaniladi. optik nur yordamida qayta qo'zg'atish yoki elektor toki impulslari yordamidan foydalaniladi [35,].



1.8-rasm. Yarim o'tkazgichli lazer sxemasi
(a) va uning spektral xarakteristikasi (b)

Bu yerda, aktiv element sifatida n-tipdagi arsenid galliy moddasidan foydalanilgan bo'lib, uning konsentratsiyasi $10^{17} - 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ ga teng. Shu materialdan parallelepiped yoki kub shaklidagi material tayyorlanadi, unga yarim o'tkazgichli diod deb aytiladi. Diodning o'lchovlari juda kichkina bo'lib, millimetrlning kichik qismini tashkil etadi. Diod, oltin bilan qoplangan molibden asosga kavsharlanadi va natijada n zona xududi bilan kontakt xosil qiladi, r zona xududi yuzasiga, kumush va oltin qoplama aralashmasi qoplanadi.

Diodning ko'ndalang kesim yuzasi, ko'zgu rolini o'ynaydi, shuning uchun ham ikki yon tomoni juda yaxshi silliqiladi va ular o'zaro parallel qilib tayyorlanadi. Bunday tayyorlangan yarim o'tkazgich, o'z navbatida rezonator rolini ham o'ynaydi. Hosil bo'lgan nurlanish, diodning xuddi shu ishlov berilgan tomonlaridan chiqadi. Yuqori va pastki tomonlar kontakt bo'lib, ular orqali diodga elektor kuchlanishi beriladi. Boshlang'ich vaqitda, dioddan oquvchi tok kuchi katta emas, nurning spektral yo'lak kengligi, etarli darajada keng bo'ladi (1.7.b - rasm), tok o'zining dastlabki qiymatidan yuqori qiymatga etishi bilan, spektral yo'lak kengligi tezda torayadi. Lazer diodi nurlanishining fazoviy ko'rinishi, barg shaklida bo'ladi. Lazer diodi uzluksiz rejimda hamda impulsli rejimda ishlaydi. Bunday lazerning asosiy avzalliklaridan biri, uning chiqishdagi nurni, juda oson modullashtirilganligidir.

Buning uchun, uni ta'minlovchi tokni modullashtirish kerak, shunda chiqishdagi nurlanish, o'sha chastota bilan modullashtirilgan bo'ladi. Aktiv element sifatida, fosfid galiydan, surmali indiy, surmali galiy, arsenid-fosfid-galiya va boshqalardan ham foydalaniladi.

Yarim o'tkazgichli lazerning na'munaviy turi Luch-3 1965 yilda Leypsig yarmarkasida namoyon etilgan. Arsenid galiy kristalli o'lchamlari $0,03 \text{ mm}^3$ bo'lib, u termostat ichida, suyuq azot temperaturasi -196°S da, impulsli ish rejimida, to'lqin uzunligi $0,844 \text{ mkm}$, impuls davomiyligi 2 nks bo'lib, nurning impuls quvvati 10 Vt bo'lgan [11,30,3].

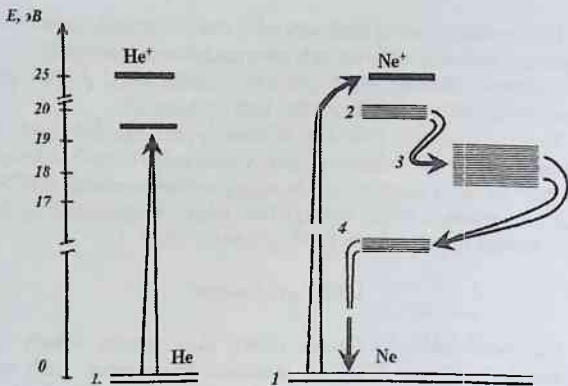
1.8.4. Gazli lazerlar

Gaz bilan ishlovchi lazerlar uchun, aktiv element sifatida gaz aralashmalari yoki par holatidagi moddadan foydalaniladi. Gazli muhit uzluksiz stimullashgan nurlanish olish jarayonini engillatiradi chunki, modda atomlarini qo'zg'algan holatga keltirish uchun, kam miqdorda energiya talab etiladi. Aktiv muhit sifatida birinchi bo'lib, geliy va neon gazlari aralashmalaridan foydalanilgan. Geliy atomi, gazli razryad jarayonida, elektronlar yordamida, qo'zg'algan xolga keladi va asosiy 1 chi sathdan yuqoridagi, 2 chi sathga o'tadi. Geliy atomi, neon atomlari bilan to'qnashganda, yuqorida joylashgan to'rt sathdan biriga o'tadi (Rasm 1.8).

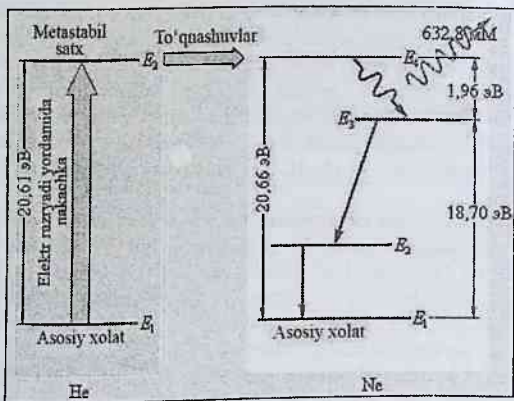
Amaliyotda, ko'pgina texnik sabablar bunday aralashma bosimi. He-Ne lazerining spektral oraliqda ishlashga xalaqit berishi to'g'risida ma'lumot beradi. Shuning uchun, lazer qurilmasining hamma parametrlarini to'liq stabilishtirish natijasida, nisbiy $-\Delta\nu/\nu$ spektral kenglikka, taxminan 10^{-14} – 10^{-15} erishiladi [24,25, 31, 32] bu, nazariy o'lchov qiymatidan 3-4 karra past.

He-Ne lazerining monoxromativligi, bu qurilmaning ko'pgina ilmiy va texnik masalalarni echishda, asosiy qurilma bo'lib ishlashiga asos bo'ladi. Birinchi He-Ne lazeri 1961 yilda yaratilgan. 1.9-rasmda geliy- neon lazerining soddalashtirilgan sxemasi va invers holatni yuzaga keltirish mexanizmi keltirilgan. $E_4 \rightarrow E_3$ sathga o'tish jarayoni, neon atomida damlash natijasida, quyidagicha amalga oshiriladi.

Yuqori kuchlanishli elektor razryadida, elektronlar bilan to'qnashish sababli, geliy atomlarining bir qismi, yuqorida joylashgan metastabil holatga E_2 ga o'tadi. Qo'zg'atilgan geliy atomlari, asosiy holatda turgan neon atomlari bilan noelastik to'qnashadi va unga o'z energiyasini beradi. Neonning E_4 sathi, geliyning metastabil E_2 sathidan, $0,05 \text{ eV}$ yuqorida joylashgan.



1.9-rasm. Geliy-neon gaz aralashmasining energetik sahlari sxemasi.

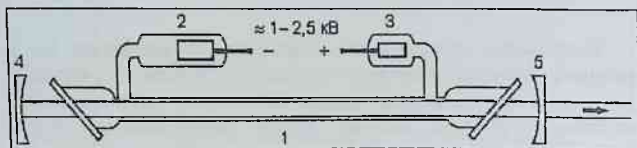


1.10-rasm. He - Ne lazerining nakachka mexanizmi.
To'g'ri strelka bilan neon atomidagi o'z-o'zidan o'tish jarayonlari ko'rsatilgan.

Energiyaning etmagan qismi, to'qnashayotgan atomlarning kinetik energiyasi hisobidan, kompensasiya qilinadi [10]. Neonning E_4 sathida, E_3 sathga nisbatan, invers holat yuzaga keladi va u quyida joylashgan sathlardagi, o'z-o'zidan nurlanish jarayoni sababli kamayadi. Yuqori darajadagi damlash holatida, geliy-neon gazlari aralashmasida, kogerent fotonlarning lavinasifat ko'payishi jarayoni yuzaga keladi. Agar, gazlar aralashmasi joylashtirilgan maxsus kyuveta, nurni qaytaraolish xususiyatiga ega bo'lgan ko'zgular orasiga joylashtirilsa, lazer generatsiyasi yuzaga keladi. Shu sabab, ikki zarrachaning o'zaro to'qnashishi natijasida energiyaning taqsimlanishi, umumiy ichki energiyaning, kichik miqdorda o'zgarishiga olib keladi va neon atomlari 3- yoki 4- sathga emas, asosan 2- sathga o'tib joylashadi. Natijada, 2-sathning yuqori qismida joylashgan atomlar soni qiymati oshib boradi. Neon atomlarining 2- sathdan 3 sathning quyi qismiga o'tishi va 3- sathdan 4- sathga o'tishida, nurlanish vujudga keladi. Nazariy tomondan olib qaralganda, 30dan ortiq o'tish jarayoni mavjuddir. Masalan, 2-sathning o'zi to'rtta sath osti, 3-sath esa 10 sath osti, sathlaridan iborat. Ammo, shu aytib o'tilgan sathlardan faqat 5 tasida, o'tish jarayonida, stimullashgan nurlanish yuzaga keladi, bu nurlanishlar, asosan quyidagi to'liq uzunliklariga to'g'ri keladi: 1,118; 1,153; 1,160; 1,199; 1,207 mkm.

1.10- rasmda, geliy-neon lazerining sxemasi keltirilgan. U, gaz razryadli trubkadan iborat bo'lib, elektrodlariga yuqori chastotali elektor maydoni beriladi, trubkaning ikki uch tomoniga, trubkadan tashqariga, sfera shaklidagi qayturuvi ko'zgu joylashtiriladi. Trubkaning chiqish oynalari, qurilmaning optik o'qiga nisbatan, Bryuster burchagi ostida o'rnatiladi. Bunday joylashtirish, yorug'lik nuri oqimini, optik rezanatorida, ko'p marotaba qaytargich ko'zgulari orasida harakatlanganida, yo'qotishlar qiymatini kamaytirishga olib keladi [21, 26, 31]. Gazli lazer generatsiyasi nurlanishi, yoqutli lazer generatsiyasi nurlanishidan generatsiya rejimi bilan (uzluksiz), yuqori darajadagi monoxromativligi, kogerentligi va kichik burchak ostida tarqalishi bilan farq qiladi. Uning kichik burchak ostida tarqalish, bir burchak minutidan oshmaydi. Bunday lazerning quvvati 0,5-10 mVt bo'lib, ishlash quvvati esa 40-90 Vt bo'ladi.

Zamonaviy, yuqori stabililikka ega bo'lgan geliy-neon lazerlari, monoblok tarzda ishlab chiqariladi. Buning uchun kengayish temperaturasi koeffisieti nulga yaqin bo'lgan, shisha materialidan foydalaniladi.



1.11-rasm. Geliy-neon lazerining sxemasi.

1-geliy-neon aralashmasi solingan shishali kyuveta, elektor manbai ulanganda yuqori kuchlanishli razryad yuzaga keladi, 2-katod, 3-anod, 4-sfera shaklidagi nurni qaytaruvchi ko'zgu 0,1% tushgan nurni o'tkazadi. 5-sfera shaklidagi ikkinchi ko'zgu tushgan nurni 1-2% ni o'tidan o'tkazadi.

Shisha bo'lagida to'g'ri burchakli, parallelepiped shaklidagi kanal ochiladi va uning yon tomoniga, optik kontakt usulida, lazer qurilmasining ko'zgusi yopishtiriladi. Kanal yordamida kyuveta, geliy-neon gaz aralashmasi bilan to'ldiriladi [13, 26, 34]. Shunday monoblok konstruksiya, yuqori mexanik va issiqlik stabililigiga ega bo'ladi. Aktiv element sifatida, amaliyotda barcha inert gazlardan foydalanish mumkin. Xozirda, toza neondan, kriptonidan, ksenondan, argondan, geliy-ksenonli aralashmadan, argon va kislorodli aralashmadan, seziiy paridan, suvdan, simobdan, SO_2 dan va boshqalardan, lazer nurlanishi olirgan.

Zamonaviy gazli-gazodinamik, elektrodinamik va elektrionizatsiyali lazerlar, qattiq jisimli lazerlarga qaraganda, yuqori quvvatga ega bo'lgan lazer nurlanishini generatsiya qiladi (2000 Dj gacha). Ularning F.I.K. yuqori (50%) gacha etadi. Azot va SO gazlari aralashmasi bilan ishlovchi lazerlarning to'liq uzunligi 10,6 mkm bo'lib, ular uzluksiz rejimda ishlaydilar va yuqori (75%) F.I.K.gacha ega.

1970-yillarning o'rtasiga kelib, SSSR va AQSh da, yuqori bosimda (bir necha o'n atmosferada ishlaydigan) SO_2 -lazeri ishlab chiqarildi va ular elektroionizasion lazerlar deb yuritilaboshlandi [34]. Aktiv muhitni yuqori bosimda ishlashi, damlash tizimining prinsipial, murakkab tizimini yaratishni talab qiladi. Bunday lazer tizimida, molekullarni qo'zg'atish, ikki etapda amalga oshirildi. Birinchi etapda aktiv muxit, yuqori quvvatli elektronlar bilan, maxsus elektron kuchaytirgich yordamida, aktiv holatga keltirildi. Bunda, yuqori energiyali elektronlar, aktiv muhitga ta'sir etib, o'z yo'lida uchragan, gaz molekullari bilan to'qnashadi va ularni ionlashtiradi, natijada muhit xajmi bo'yicha, ikkilamchi elektronlar hosil bo'ladi. Bunday,

oldindan ionlashtirish, keyinchalik aktiv muhitda sodir bo'ladigan, bir tekis razryad yonishini ta'minlashga sharoit yaratib beradi. Shunday qilib, elektroionizasion lazerlarni yaratilishi, yuqori quvvatli energiyaga ega bo'lgan lazerlar yaratishda yangi yo'l ochib berdi [25.26 35].

1.8.5. Suyuqlikli lazerlar

Bunday lazerlarning ishchi muhiti bo'lib, ishchi qo'shiluvchi atomlar qo'shilgan, suyuq dielektriklar xizmat qiladi. Ba'zi bir suyuqliklarda, er ishqoriy elementlarni suyultirib, energetik sathlar strukturasi, xuddi qattiq dielektriklardagi kabi, xos strukturaga aylantirish mumkin. Shuning uchun, suyuqlik bilan ishlovchi lazerlarning ishlash prinsipi, qattiq jisimli lazerlarning ishlash prinsiga o'xshash bo'ladi. Suyuqlik bilan ishlovchi lazerlar, qator avzalliklarga ega; brinchidan ularni ishlab chiqarishga hech qanday kristallarni o'stirish kerak emas, ikkinchidan aktiv muhit bilan har qanday xajimni to'ldirish mumkin, bu esa o'z navbatida aktiv muhitni sirkulyasiya natijasida sovutish imkonini beradi va boshqalar. Suyuq aktiv muhitni gadoliniiy, neodim, samariy aralashmalari bilan olish usuli yaratilgan. Tajribada, stimullashgan lazer nurlanishini olish uchun, aktiv muhit, sfera shaklidagi ko'zguli rezonator ichiga joylashtiriladi [26]. Agar, lazer apparati uzluksiz rejimda ishlaydigan bo'lsa, aktiv muhit maxsus sovutish tizimi yordamida sovutiladi. Suyuqlik bilan ishlovchi, aktiv muhitli lazer qurilmalari ko'plab yaratilgan va ular o'rganilgan. Bu lazer yorug'likning 0.5 - 0,58 mkm (spektrning bayrang nur diapazonida) ishlaydi. Bu nurlanish, suvdan yaxshi o'tadi va suvning chuqur joylarini o'rganishda hamda suv osti lokatorlarda ishlatishga mo'ljallangan. Keyingi payitlarda, suyuqlik bilan ishlaydigan lazer qurilmalarini qo'zg'algan xolga keltirishda, qattiq jisimli lazer apparatlari nurlanishidan ham foydalanilmoqda. Bunday holatda, aktiv muhitni qo'zg'atish amalga oshirilganda, maxsus kyuvetaga solingan suyuqlik, rezonator ichiga yonma-yon joylashtiriladi, rezonator ichiga optik zatvor - Kerr yacheykasi ham joylashtiriladi. Bunday qurilma yordamida, lazer nurlanishining impulsli generatsiyasi olingan, nurning quvvati bir necha o'n megavatt bo'lib, generatsiya davomiyligi 3-30ns ga teng [35, 36]. Bu nurlanishning to'lqin uzunligi 0,69mkm ga teng bo'lib, u ma'lum miqdordagi aktiv suyuqlik joylashgan kyuvetaga yo'naltiriladi va natijada kyuvetaning chiqishida, bir necha to'lqin uzunligidagi lazer nurlanishi chiqadi. Bu nurlanishlar chastotasi, kirib kelgan nurlanish chastitasi yig'indisiga yoki ayirmasiga hamda infraqizil diapazonda tebranayotgan molekullar chastotasiga teng.

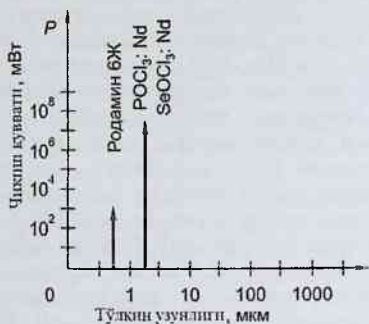
Taqqoslash uchun, nurlarning to'liq uzunliklarini keltiramiz: 0,74 mkm, nitrobenzol – 0,76; 0,85; 0,96 mkm, brom-naftalin – 0,76 mkm, siklogeksan – 0,86 mkm, benzol – 0,74; 0,88; 0,80 mkm. Bu turdagi lazerlarning avzalliklari, ularning to'liq uzunliklarini kyuvetadagi aktiv muhit-suyuqlik aralashmasini, almashtirish orqali o'zgartirish bo'lsa, ularning, ikkita kamchiliklari bor: birinchisi, suyuq aktiv muhitning yuqori lazer intevsivligiga nisbatan, turg'un emasligidadir va ikkinchisi, suyuq aktiv muhitning sinish koeffisientini, generatsiya jarayonida, issiqlikdan o'zgarishidir. Bunday o'zgarish o'z navbatida, generatsiya nurlanishini, rezonator ko'ndalak kesimi bo'yicha, nurlanishni turish o'rni holatini o'zgarishiga olib keladi [36,37]

Suyuqlik bilan ishlovchi lazerlarga bo'lgan qiziqish, ularda aktiv muhitni oson damlash va tizimdagi aktiv muhitni sovutish ishlarini oson amalga oshirish hamda lazer nurlanishi chastotasini tekis o'zgartirish imkoni borligidadir.

Quyida keltirilgan 1.11-rasmda suyuqlik bilan ishlovchi lazerlarning turlari va ularning parametrlari keltirilgan.

Amaliyotda, organik bo'yoqli lazerlar (Dye, Lasers), turli soxalarda keng qo'llanilib kelinmoqda. Turli organik bo'yoqlar yordamida, yuqori monoxromativlikka ega bo'lgan, lazer generatsiyasi to'liq uzunligi diapozonini, bir necha o'n nanometrga o'zgartirish imkoniyatini beradi.

Bunday lazerlar, uzluksiz, impulsli rejimda va impulsli davomiy rejimda ishlay oladi. Lazerning bir impulsdagi energiyasi, yuzlab djoulga, quvvati esa, uzluksiz rejimda, o'nlab Vatt qiymatiga teng bo'ladi.



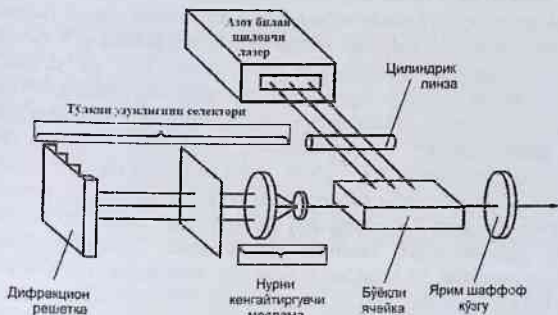
1.12 - rasm. Suyuqlik bilan ishlovchi lazerlarning turlari va ularning parametrlari

Modalar sinxronizatsiyasi rejimida ishlaganda, lazer nurlanishi impulsi davomiyligi, bir necha o'n pikosekund bo'lishi mumkin.

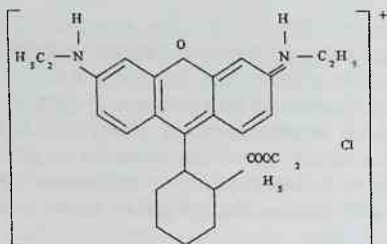
Suyuqlik bilan ishlaydigan lazer qurilmasining sxemasi 1.12 - rasmda keltirilgan. Organik bo'yoqli lazerlarda ishlatilib kelinayotgan organik eritmalar, maxsus organik erituvchilar yordamida tayyorlanadi. Organik bo'yoqlar murakkab birikmalar bo'lib, ular turli kimyoviy bog'lanishlarga ega bo'lib, ko'rish diapozonida, yorug'likni kuchli yutish polosasiga (yo'lagiga) ega.

Quyida, organik bo'yoqlardan rodamin 6G ning strukturaviy formulasi ko'rsatilgan. Bo'yoqlarning molekulariy strukturasi murakkab bo'lib, u o'zida benzolliy (S_6N_6), azotli ($S_4N_4N_2$) birikmalarga ega. Asosan lazer texnikasida, rodamin 6G, organik bo'yog'idan keng foydalaniladi. Rodamin 6G organik bo'yog'ining strukturaviy formulasi, 1.13- rasmda keltirilgan.

Bunday molekula, elektronlarning tebranuvchi, aylanma holatlar uchun ruxsat etilgan energetik qiymatlarga ega. Bu holatlar o'rtasidagi energetik masofa 1...3, 0,1...0,01 va 10^{-3} ... 10^{-4} eV ga teng. Tebranma va aylanma holatlar sathining o'zaro kesishishi natijasida, aniqlangan energetik holatlar uchun, ruxsat etilgan energetik yo'laklar seriyasi vujudga keladi.

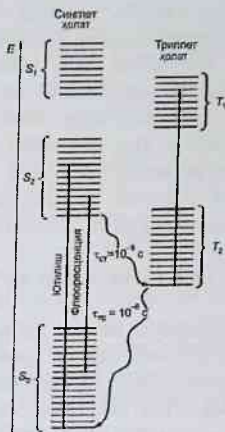


1.13 – rasmda. Suyuqlik bilan ishlaydigan lazer qurilmasining sxemasi



1.14 rasm. Rodamin 6G organik bo'yoq'ining strukturaviy formulasi

Bu holatlarni, ikki gruppaga bo'lish mumkin: Singlet holatlar (S) va triplet holatlar (T). Birinchi gruppaga, spinlari orentatsiyasi holati ($S = 0$) antiparallel bo'lgan holatlar, ikkinchi gruppaga esa, parallel orentatsiyaga ega bo'lgan holat ($S = 1$) kiradi. Har bir elektron holatida, tebranuvchi sathlar seriyasi, (1.14 - rasmda bu sathlar, qora, yorqin rang bilan belgilangan) va aylanma sathlar seriyasi kuzatiladi.) Spinlar bo'yicha tanlov qoidasiga binoan, holatlar orasidagi ruxsat etilgan optik o'tishlar bir xil ($S = 0$), singlent-singlet $S-S$ o'tishlar va $T-T$ triplet- triplet o'tishlarni amalga oshishi mumkin. Bu o'tishlarning katta ehtimolligi mavjud. Normal holatda molekular asosiy S_0 holatda bo'ladi. Optik nurlanishni yutishi natijasida, molekular asosiy S_0 holatdan, tebranma-aylanma holatning S_1 ga o'tadi. Bunday o'tishlar bilan aniqlanadigan yutish spektri, keng yo'lak shaklida namoyon bo'ladi. Yutish yo'lagining spektral holatining maksimumi, orqali bo'yoq rangini, turli moddalar uchun aniqlab beradi va u taxminan 0,3dan 1mkm gacha o'zgaradi. Yutish yo'lagining kengligi, turli bo'yoqlar uchun turli bo'ladi, taxminan 0,2 eV. Optik o'tish natijasida ($S_0 - S_1$) molekula, tebranma, aylanma holatlar jarayonida, S_1 holatdan, relaksasion, nurlanishsiz jarayon natijasida S_1 sathning quyi qismiga o'tadi, bunday termalizatsiya jarayoni juda tez o'tadi, taxminan 1ps davomida. Termalizatsiyalovchi issiqlik tashuvchilar, S_1 holatdan, o'zidan nur chiqarib yoki nur chiqarmay, asosiy holat S_0 ga o'tadi. $S_1 - S_0$ o'tishlar uchun berilgan vaqt taxminan 1ns ni tashkil etadi. Ko'pgina organik bo'yoqlarda, o'zidan nur chiqarish holati, nur chiqarmaslik holatiga qaraganda ko'proq sodir bo'ladi. Suyuqlik bilan ishlovchi lazerning, nur chiqaruvchi elektron holati 1.14 - rasmda tasvirlab berilgan. [38, 43, 45]



1.15 → ras.m. Suyuqlik bilan ishlovchi lazerning elektron holati: *st-singlet triplet komversiya holatining doimiyligi, ts-triplet singlet o'tishining doimiyligi.*

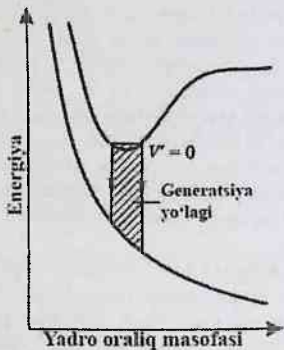
Intensiv optik damlash jarayonida, S_1 sathning quyi sath yo'lagi va S_0 sathning yuqori sathi o'rtasida, invers holat yuzaga keladi. Bu xolda generatsiya jarayoni S_1 va S_0 energetik sathlar yo'laklari orasida, to'rt sathli sxema asosida amalga oshadi. T_1 va T_2 triplet holatlar, generatsiya jarayonida qatnashmaydi, ular generatsiya jarayoniga xalaqit beradi. Organik bo'yoqlar bilan ishlovchi lazerlar, bizda katta qiziqish uyg'otadi, ular to'liq uzunligi, tekis o'zgaruvchan generatorlar sifatida katta ahamiyatga ega. Buni amalga oshirish uchun, dispersion rezonatoridan foydalanishga to'g'ri keladi. Bunga ideal variat-bir modali, bir chastotali rezonatoridan foydalanishdir.

S_0 . S_1 bo'yoqli optik o'tishlar ehtimolligi yuqori bo'lganligi sababli, ularda nurni yutishi va kuchayishi yuqori bo'ladi. Shu sababli bunday lazerlar, yuqori darajada kuchaytirish koeffitsientiga ega bo'lib, aktiv muhitning katta bo'lmagan xajmida ham ishlay oladi - 1 mm^3 . Yuqori intensivlikka ega bo'lgan, damlovchi nurni yutish jarayonida, kichik xajimga ega bo'lgan aktiv muhit tezda qiziy boshlaydi, shuning uchun ishchi aktiv muhit xajmi, doimiy ravishda almashtirilib turilishi kerak bo'ladi, aks xolda generatsiya jarayonida uzilish vujudga keladi. Organik

bo'yoqli lazerlar yordamida, yorug'lik nuri to'liq diapozonining 0,34 dan 1,17 mkm oralig'i to'liq yopilishi mumkin. Xozirgi, zamonaviy lazerlarning foydali ish koeffitsienti - 30% tashkil etadi. Uzliksiz ish rejimida, bunday lazerlarning chiqish quvvati, bir necha vatt bo'lib, impulsli rejimda 10 Vt dan, bir necha megavattgacha etadi. Agar, lazer nurlanishi generatsiyasi davomiylik vaqti, bir impulsda 20ns, qaytarilish chastotasi 200Gs bo'lsa, lazer nurlanishining burchak ostida tarqalishi 2....2,5mrad tashkil etadi. modalar sinxronizasiyasi rejimidan foydalanilganda esa, juda qisqa yorug'lik nurlanishi impulslarini olish mumkin - $3 \cdot 10^{-14}$ s

1.8.6. Eksimer lazerlari

Eksimer lazerlari, molekulyar lazerlar sinfiga kiradi. Bunda, maxsus molkeulalar - eksimerlarning turli elektron holatlar orasidagi o'tishlarda, generatsiya jarayoni yuzaga keladi. Eksimer lazerlari molekulari, ikki elektron sathlari orasidagi o'tish jarayonida ishlaydi. Ularning quyi sathi o'zidan itaruvchi sath atomlaridan tashkil topgan, Eksimer so'zi, qisqa ingliz so'zi bo'lib, exsited dimer (qo'zg'atilgan dimer) so'zini anglatadi. Ikki atomli molekula A_2 , ni ko'rib chiqamiz, Rasm 1.15 da molekulaning asosiy va qo'zg'atilgan holatlarining egri chiziqli potensial energiyasi keltirilgan.



1.16-rasm. Eksimer lazerining energetik sathlari.

Asosiy holat, atomlarning o'zaro itarilishi holati bo'lib, bu holatda molekular mavjud bo'lmaydi (asosiy holatda zarrachalar faqat monomer A- shaklida bo'ladi). Ammo qo'zg'algan holatlarning potensial energiya egri chizig'i, minimumga ega bo'lib, A_2 molekula qo'zg'algan holatda mavjud bo'ladi (qo'zg'algan holatda zarrachalar dimer shaklida- A_2 , mavjud bo'ladi). Bunday A_2 molekular, eksimerlar deb yuritiladi (yoki qo'zg'atilgan demerlar). Taxmin qilaylik, biron-bir xajimda, qandaydur katta miqdorda eksimerlar yuzaga kelgan, u xolda generatsiya, yuqorida joylashgan (bog'langan) holatlar bilan, quyida joylashgan (erkin) holatlar orasidagi (bog'liq-erkin) o'tish jarayonida yuzaga keladi [42, 43, 47].

Eksimer lazerlarining klassik misoli sifatida, Ne_2 lazerini olish mumkin, bu lazer, birinchi eksimer lazerlaridan bo'lib, generatsiya to'lqin uzunligi ($\lambda = 170$ nm).

Eksimer lazerlari, o'ziga xos 3 ta zaruriy xususiyatga ega:

1. Sathlar orasida o'tish jarayoni asosan molekularning turli elektron holatlari o'rtasida amalga oshiriladi, generatsiya to'lqin uzunligi ko'pincha UF diapozoniga to'g'ri keladi.

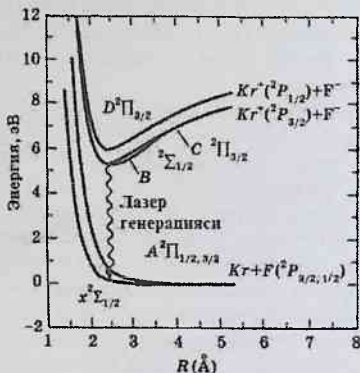
2. Generatsiya natijasida, molekula asosiy holatga o'tishi bilan u, tezda bu holatda mavjud bo'lgan bir-biridan itarilish potentsiali natijasida, dissosiyalanadi. Bu, shundan darak beradiki quyi lazer sathi, doimo bo'sh bo'ladi va generatsiya to'rt sathli sxema asosida, amalga oshiriladi.

3. Asosiy holatda, energetik sathlarning yo'qligi sababli, aniq ajratilgan aylanma - tebranma o'tishlarning yo'qligi sababli o'tish, o'ziga xos xususiyatga ega emas, nisbatan keng yo'lakli bo'ladi ($\Delta\nu = 20-100$ cm^{-1}). Ammo, shuni hisobga olish kerakki, ba'zi bir eksimer lazerlarda, asosiy holatning potensial energiya egri chizig'i, o'zaro itarilishga to'la, to'g'ri kelmaydi va chuqur bo'lmagan minimumga ega bo'ladi. Bunday holatda, o'tish yuqori hog'langan holat sathi va quyi (bo'sh) bog'langan holat sathi, orasida (bog'liq - bog'langan o'tish) sodir bo'ladi [40,].

Asosiy holat, bo'sh bog'langan bo'lganligi sababli, molekula bu holat sathida, tez dissosiasiya jarayonini o'tkazadi yoki o'zi, boshqa gaz aralashmasi molekulari bilan, birinchi to'qnashuv natijasida dissosiyalanadi. Shunga binoan, generatsiya uzluksiz spektorga ega bo'ladi.

Xozir biz, eksimer lazerlari sinfining atomlari, inert (Kg, Ag, Xe) gaz bo'lgan va qo'zg'atilgan holatda, gallogen atomlari (F, SI), bilan qo'shilib ketadi, natijada gallogenidlar va inert gazlardan tashkil topgan eksimer lazerlari yuzaga keladi. Konkrent misol sifatida, ko'rsatishimiz mumkinki, ArF ($\lambda = 193$ nm), KrF ($\lambda = 248$ nm), XeF ($\lambda = 351$ nm) i $XeSI$ ($\lambda = 309$ nm); har biri, UF diapozonida generatsiyani amalga oshiradi [42]. Nima

uchun gallogenidlar va inert gazlari atomlari, oson qo'zg'algan holatga keladi chunki , qo'zg'algan holatda, inert gazlar atomining kimyoviy hususiyati, ishqoriy atomlarga mos keladi. ya'ni ular gallogenlar bilan tez reaksiyaga kirishadi. Bu analogiya shuni ko'rsatadiki, qo'zg'atilgan xolda bog'lanish, ion bog'lanish harakteriga ega bo'ladi, bog'lanish jarayonida, qo'zg'atilgan elektron, inert gaz atomidan, gallogen atomiga o'tadi. Shuning uchun ham bunday holat, bog'langan holat kabi, zaryadni ko'chirish holati ham deyiladi. Xozir biz, KrF lazerini ko'rib chiqamiz, chunki bu lazer eng zarur lazer qurilmalaridan biri bo'lib hisoblanadi.



1.17-rasm. KrF - molekularining energetik holatini aks ettiruvchi, potensial energiyasi egri chizig'i.

Bunda, yuqori lazer sathi zaryadi ko'chirilgan, ion bog'lanishga ega bo'lgan holat bo'lib, agar $R \rightarrow \infty$ intilsa, Kr atomining musbat ioni holatiga, F ionining manfiy holati javob beradi. Shuning uchun, katta $2R$ yadrolar aro masofada, energiya egri chizig'i, Kulon qonuniga bo'yin sunadi. Ikki ion orasidagi o'zaro ta'sir potentsiali, (0,5-1 nm) dan ham uzoq masofaga cho'ziladi, kovalent o'zaro ta'sir holati ustun bo'lganda ham. Quyi holat, kovalent bog'lanishga ega bo'lib, va $R \rightarrow \infty$ sa, kripton atomi, gazning 1S xoltiga, fluor atomining 2P holatiga javob beradi. Generatsiya $V^2\Sigma \rightarrow X^2\Sigma$ o'tish jarayonida sodir bo'ladi va sodir bo'luvchi jarayonnig katta yuzasiga ega bo'ladi [31].

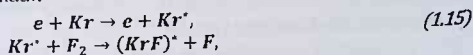
O'tish jarayonida, nur beruvchi elektron, F- atomidan, Kg^+ ioni atomiga o'tadi. Bu o'tishning, zarur bo'lgan spektroskopik xarakteristikalari Jadval 1.3 da keltirilgan.

1.3- jadval

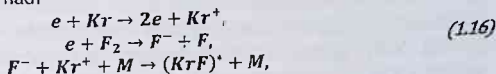
Lazer turi	N_2	$(KrF)^*$
To'lqin uzunligi [nm]	337,1	248
Kesimi [10^{-13} sm^2]	40	0.05
Yuqori holatining yashash vaqti [ns]	40	10
Quyidagi holatining yashash vaqti [μs]	10	
O'tish shizig'ining kengligi [THz]	0.25	3
Parsial bosim [mbar]	40 (N_2)	120 (Kr)
	960 (He)	6 (F_2)
		2400 (He)

Azot va kripton, flor gaz aralashmasi sostavi va lazerning UF o'tishining spektroskopik xususiyatlari.

KrF molekularini vujudga kelishiga javob beruvchi, ikki asosiy qo'zg'atish mexanizmi, F atomlarini qo'zg'atish yoki kripton atomlari ionini qo'zg'atishga javob beradi [40,51]. Razryad elektronlari bilan qo'zg'atilgan Kg atomi, F_2 - flor molekulariga, quyidagi reaksiya natijasida ta'sir ko'rsatadi:

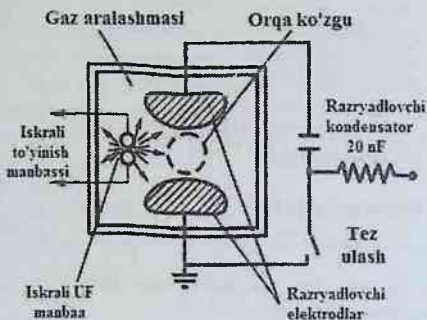


Kripton ionini qo'zg'atish bilan bog'liq usul, quyidagi uch reaksiya orqali ko'rsatib beriladi



Avval Kr va F ionlari yuzaga keladi, so'ngra ularning razryad xududidagi rekombinasiyasi sodir bo'ladi. Energiyani va impulsni saqlanish qonunini bu jarayonda bajarilishi uchun, uchunchi qatnashchining, Ne gazining (bufer gaz sifatida) ishtiroki kerak bo'ladi [23]. Agar, bufer gazning bosimi yuqori bo'lsa, (asosan gaz aralashmasi Kr dan iborat bo'lib, bosimi taxminan 120 mbar, F gazining bosimi 5 mbar va Ne gazining bosimi 2400 mbar) u xolda, jarayon asosan (KrF) kompleksini yuzaga kelishiga bog'liq bo'ladi. Gaz aralashmasi bosimi, atmosfera bosimidan

yuqori bo'lgani uchun, eksimer lazerlari, faqat impuls rejimida ishlaydi. 1.17- rasmda bu turdagi lazerlarning TEA-konfiguratsiyasining umumiy sxemasi ko'rsatilgan.



1.18-rasmda TEA - konfiguratsiyali lazerining umumiy sxematik ko'rinishi keltirilgan (qurilmanning o'qi bo'ylab)

Lazer qurilmasida, gaz oldi ionizatsiyasi uchun, UF – nurlanishidan foydalanamiz, trubka o'qi bo'ylab, iskrali razryad olish uchun, bir necha manbalardan foydalanilgan [34, 37].

1.17-rasmda, keltirilgan ionizatsiya oldi holati, ketma – ket kiska razryadlar vositasida amalga oshiriladi. Katta lazer qurilmalari uchun, ionizatsiya oldi jarayoni uchun, tashqi elektron nuri yoki rentgen qurilmasidan foydalaniladi. Seriyali ishlab chiqarilayotgan eksimer lazer qurilmalarining impuls ketma – ketligi 500Gs gacha va o'rtacha chiqish quvvati 100Vt gacha bo'ladi. Juda katta lazer qurilmalarining o'rtacha quvvati 1 kVt gacha, lazerning FIK (2 – 4%) ga teng bo'ladi.

Eksimer lazerlari, plastik materiallarni ablyasiya qilishda, biologiyada va tibbiyotda, to'qimalarni yuqori aniqlikda kuydirishda, chunki bu materiallar, yorug'likning UF diapozonidagi nurlanishlarni juda yaxshi yutish imkoniyatiga ega. Shuning uchun ham, qisqa nurlanish vaqtga ega bo'lgan impuls ta'sirida, intensiv ablyasiya yuz beradi va materiallar to'g'ridan – to'g'ri, uchuvchi komponentlarga aylanadi [45]. Lazerning bu hususiyati, yuqori aniqlikda, yupqa plastinkalarda teshiklar ochishda, ko'z mikroxirurgiyasida keng qo'llanib kelinmoqda. Litografiya sohasida, ultraviolet nurlanishli manbalar to'lqin uzunligi 248nm bo'lgan, manba

yarim o'tkazgichli mikrochiplarga, submikron o'lchamda ishlov berishda qo'llanib kelinmoqda. Bundan tashqari, eksimer lazerlaridan, bo'yoqli lazerlarni qo'zg'atishda keng foydalanib kelinmoqda, chunki ko'pgina bo'yoqlar, UF diapazon nurlarini yaxshi yutadi.

1.9. Optik rezonatorda kinetik jarayonlarni boshqarish

Bu masala, asosan har xil yorug'lik nurini boshqaruvchi qurilmalar yorug'lik nuri (to'sqichlari) - zatvorlari va yorug'lik nur qaytargichlar) yordamida amalga oshiriladi. Bulardan, keng tarqalgan qurilmalarga: optiko-mexanik, fototrop, elektrooptik yorug'lik zatvorlari, fototrop yorug'lik plyonkalari va elektrooptika, optik-mexanik nur qaytargichlar kiradi. Lazer texnikasida bunday turli turdagi, yorug'lik zatvorlar va nur qaytargichlarning ishlatilishiga asosiy sabab, lazer sistemasining kinetik jarayonini boshqarish bilan bog'liq bo'lgan jarayonlarni, biron-bir alohida olingan boshqaruv elementi yordamida, boshqarib bo'lmastir. Masalan, optiko-mexanik yorug'lik to'sqichlari (svetozatvorlari) asosan rezonator ishlash sifatini oshirishga xizmat qiluvchi, modulyator sifatida ishlatiladi. Ba'zan o'zining kam inersionligi, ularni ishlashga xalaqit beradi. Buning aksi sifatida, p'ezoakustik yorug'lik zatvori qulay bo'lib, rezonator asilliyatini oshirishda, yuqori chastotada modulyasiya qilishda (boshqarishda) ishlatiladi. Fototrop yorug'lik zatvorlari rezonator ish faolligini oshiribgina qolmay, balki kuchaytirgich kaskadlarining o'zaro bog'liqligini yo'qotishga hamda modulyasiya yordamida, bir modalik lazer nurini olishga ham xizmat qiladi. Bundan tashqari, fototrop yorug'lik zatvorlarining, yorug'lik nurini o'tkazishining noxiziq bog'liqliligi yoki fototrop svetozatvorning yorug'lik nuri intensivligiga nisbatan yoritilganligi, generatsiyada qatnashayotgan, rezonatordagi alohida elektromagnit to'lqin modallari fazasini, bir yo'sinda ushlab turishga imkon yaratadi. Buning asosida (samosinxronizatsiya) o'z-o'zini sinxronlash usuli yordamida, davomiyligi pikosekund bo'lgan lazer nurlanishini olish imkoniyatiga ega bo'linadi. Yana fototrop plenkalarining hususiyatlaridan biri, ularni katta diametrli lazer nurlarini boshqarishda juda ham samaradorligidir. Elektrooptik yorug'lik zatvorlar va yorug'lik qaytargichlar yanada katta imkoniyatlarga ega bo'lib, ularga berilgan kuchlanishning kattaligiga qarab, rezonatorni modulyasiyalab ular yuzasiga tushayotgan nurni ma'lum yo'nalishda o'tkazib yuborish yoki qaytarish imkoniyatiga egadirlar. Buning yana avvalgi modulyatorlardan farqi, shundan iboratki, rezonator faolligini oshiruvchi modulyasiyalashni, tashqi signal yordamida amalga

oshirish imkoniyatini berishidir. Nihoyat elektrooptik qurilmalarning bunday o'ziga xos xususiyatlari, lazer nurlanishining polarizatsiyasini boshqarish imkoniyatini beradi. O'z-o'zidan ko'rinib turibdiki elektrooptik qurilmalardan foydalanish uchun, maxsus radioelektron (kerakli elektr impulsini o'zida ishlab chiqaruvchi) sxemadan foydalanish kerak bo'ladi [86].

Yuqorida ko'rib o'tilgan, amaliyotda qo'llanib kelinayotgan yorug'lik nurini boshqaruvchi qurilmalarga elektroportlagichli plenkali yorug'lik zatvorlari, ya'ni shaffof lentasimon, polietilen plenkalariga o'tkazilgan lital plenkalari va yuqori quvvatli elektr toki impulsli yordamida yorishadigan boshqaruv elementlari kiradi [37, 42].

1.10. Lazer nurlanishini kuchaytirish

Lazer nurlanishini kuchaytirish, texnik imkoniyatini yaratish, aktiv elementda invers holatni bunyod etish va invers element muhitida yorug'lik nuri oqimini shakllantirish masalalariga bog'liq bo'ladi. Lazer nurlanishi kuchaytirgichlarining turli turlari mavjud bo'lib, ular invers muhit kattaligi bilan va kuchaytiruvchi muhitda nur oqimining shakllantirish yo'llari bilan bir tomonga yo'naltirilgan, yugurma to'qimli kuchaytirgichlar, ko'p o'tgichli kuchaytirgichlar, rezonatori boshqarila oladigan kuchaytirgichlar va regenerativ kuchaytirgichlarga bo'linadi [38].

Bir tomonga yo'naltirilgan, yugurma to'qimli kuchaytirgichlarning invers muhiti, uzaytirilgan bo'ladi va ularda kuchaytiriluvchi nur, bir yo'nalish bo'yicha yo'naltiriladi. Bunday kuchaytirgichlardan foydalanilganda, kuchaytirgichga yo'naltiriladigan nurning yuza birligi kengaytiriladi. Bunday extiyotkorlik qilinmasa, kuchaytiriluvchi nurning yuza birligidagi zichligi, to'yinish darajasiga etadi va kuchaytiruvchi muhitni buzilishiga olib keladi. Katta kuchaytiruvchi imkoniyatga ega bo'lgan invers muhitni yaratish uchun, bir necha qiyinchiliklarni engib o'tishga to'g'ri keladi. Bularga, kuchaytirish jarayoniga bog'liq bo'lgan kuchli lyuminessensiya (superlyuminassensiya) holati bo'lib, bu holat invers muhitni kuchini kamaytiradi hamda ortiqcha shovqinlarga sabab bo'ladi. Bunday superyuminassensiyani yo'qotish uchun, kuchaytiruvchi invers muhit bir-biridan ma'lum masofada joylashtirilgan, kuchaytirgich kaskadlaridan foydalaniladi va bu kuchaytiruvchi (svetozatvorlar) yorug'likni to'sib turuvchi pardalar bilan ajratilgan bo'ladi. Kuchaytirgich kaskadlarning optik sxemasi ham generatorning optik sxemasiga o'xshagan bo'lib, unda aktiv element va damlash lampasi, maxsus nur qaytargichga

(osvetitelga) joylashtirilgan bo'lib, ularning elektr ta'minoti va yoritgich lampalarning ishlash prinsiplar, lazer generatoriga o'xshagan bo'ladi.

Kuchaytirgich kaskadlaridagi aktiv muhiti, generatorning aktiv muhitiga qaraganda kattaroq bo'ladi. Kuchaytiriluvchi nurning yuza birligi teleskopik sistema yordamida kengaytiriladi. Kuchaytirgichlardan orqaga qaytuvchi nurlardan qutilish uchun, magnitooptik effektga ega bo'lgan optik ventillardan (nurni faqat bir tomonga o'tkazuvchi qurilmadan) foydalaniladi. Bunday extiyotkorlik, o'z navbatida orqaga qaytuvchi nurlard, optik elementlarni ishdan chiqarishidan saqlaydi. Shuni ham aytish kerakki, optik ventillardan foydalanish, kvant generatorlarini bir yo'nalishli, yugurma to'liqintli rejimda ishlash uchun ham maqsadga muvofiq bo'ladi [32].

Ko'p yo'lakli (ko'p kanalli) kuchaytirgichlar, invers muhitni rasional ishlatishga imkon beradi. Bunday kuchaytirgichlardan foydalanilganda, kuchaytiriluvchi nurni shakllantirish uchun va aktiv muhitdan ko'p marotaba foydalanish uchun ham kuchayuvchi nurlar bir-biri bilan kesishmasligi uchun, maxsus optik elementlardan, yassi parallel yoki egri chiziqli ko'zgulardan foydalaniladi va kuchaytiriluvchi nur ko'p marotaba aktiv invers muhitdan to'g'ri va teskari yo'nalishda o'tkaziladi. Yassi parallel ko'zgularni chiziqli kuchaytirgichlarda qo'llash, maqsadga muvofiq bo'lib, egri chiziqli ko'zgulardan esa kuchaytirish holatini to'yinishiga yaqin holatida ishlatgan ma'qul bo'ladi. Bu egri chiziqli ko'zgular, kuchaytirilayotgan nur yuzasini kuchaytirgichdan o'tish jarayonida kengaytiradi. Ko'p kanalli kuchaytirgichlar ko'pgina masalalarni ijobiy echishga yordam beradi va o'z navbatida qo'llaniladigan bir necha optik elementlarni va elektr energiyasini tejaydi [42,43].

Rezonatori boshqariladigan kuchaytirgichlar yordamida, qisqa davrii nur impulslarini, kichik o'lchamli aktiv muhitda, maksimal kuchaytirishda qo'llaniladi. Bu holda kuchaytiriluvchi yorug'lik nuri oqimining kuchaytirgichda shakllantirish, almashib ulagichli rezonator yordamida amalga oshiriladi.

Buning uchun, avval kuchaytirilayotgan nur, rezonator ichiga kiritiladi, nur rezonatorida ko'p marotaba aktiv muhitdan o'tish jarayonida kuchayib, (100% qaytaruvchi ko'zgular yordamida) so'ngra rezonatoridan chiqarib yuboriladi. Kuchaytirgichning spektral yo'lagi, rezonator parametrlari bilan aniqlanadi.

Regenerativ kuchaytirgichlar, kichik aktiv muhitda, nur impulsi davomiyligi qayta va uzluksiz ishlaydigan lazer nurlarini kuchaytirishda ishlatiladi. Bunday kuchaytirgichlarda, kuchaytiriladigan nur oqimini aktiv muhitda shakllantirish, optik rezonatorida, yarim o'tkazgichli ko'zgular

yordamida bajariladi. Bunday regenerativ kuchaytirgichlar, kvant generatorlarining o'z-o'zini qo'zg'atish bo'sag'asida ishlovchi, generatorlari turiga kiradi. Ularning spektral yo'lagi ham rezonatorning parametrlariga bog'liq bo'ladi.

Lazer nurlanishi spektrini o'zgartirish, nohiziq optik jarayonlariga bog'liq bo'ladi. Nohiziq optik jarayonlarning sodir bo'lib o'tishi jarayoni, o'zaro ta'sir etuvchi elektromagnit maydon fazalari nisbati bilan aniqlanadi. Shunday jarayonlar uchun optik ko'payish, chastotalarni aralashuvchi, parametrik o'zgarishlar va boshqalar, ularning o'tish xarakteri asosan elektromagnit maydonlarining o'zaro ta'siri va ularning fazalari nisbatiga bog'liq bo'lib, bu jarayonlarda hal qiluvchi rolni, muhitning dispersiyasi yoki uning tarkibiy qismlariga ajralishi bajaradi [31].

Bunday jarayonlardan, lazer nurlanish spektrini o'zgartirish va amaliyotda foydalanishda, lazer nurlanishining quvvatiga bog'liq bo'ladi.

Lazer nurlanishi garmonikasining generatsiyasi, lazer nurlanishi spektrining o'zgartirishning texnik jihatdan ko'p qo'llaniladigan usullaridan biridir.

Lazer nurlanishining ikkinchi garmonikasini olish, nurlanishni nohiziq optik elementdan o'tkazish yoki uni rezonator ichiga joylashtirish orqali amalga oshiriladi. Agar, nohiziq optik elementni, lazer rezonatori ichiga joylashtirsak, lazerning asosiy optik sxemasi, birlamchi lazer nurlanishidan, uning ikkinchi garmonikasini ajratib olish bilan bog'liq bo'ladi.

Nohiziq optik elementlar, rezonatoridan tashqarida joylashtirilganda, uning effektivligini oshirishning usullari mavjud bo'lib, ulardan foydalanish, biz uchun qiziqarli bo'ladi. Buning uchun, birlamchi lazer nurlanishini silindrik optik element (linza) yordamida, nohiziq optik elementga fokuslab uzatish orqali amalga oshiriladi.

Lazer nurlanishi spektrini o'zgartirishda, nohiziqli jarayonlarning ahamiyati katta bo'lib, ular parametrik generatsiya yordamida, lazer nurlanishi generatsiyasining to'liq uzunligini ravon o'zgartirishi mumkin. Bu holda, nohiziq elementning bo'lishi va undan spektr chastotasini parametrik o'zgartirishda foydalanish, asosiy faktorlardan biri bo'lib hisoblanadi. Bunday holatda nohiziq element, optik rezonator ichiga joylashtirilishi shart bo'ladi.

Parametrik generatorlarda ishlatiladigan optik rezonatorlar, qattiq jisimli kvant generatorlari, optik rezonatorlaridan ko'p farq qilmaydi. Parametrik generatorlarining foydali ish koeffitsientining kichikligi, ulami texnik jihatdan amalga oshirishda, ko'pgina qiyinchiliklar tug'diradi.

Yaxshi o'rganilgan va lazer nurlanishi spektrini o'zgartirishda, keng qo'llaniladigan, boshqa sinf o'zgartiruvchilariga mansub bo'lgan, noiziq optik jarayonga, suyuqlik yoki gaz molekulasi tebranishida sodir bo'ladigan, majburiy kombinatsion tarkalish (MKT) dan foydalaniladi.

MKT jarayoni o'tishi uchun, yaroqli muhit, optik rezonatorga joylashtirilgan bo'lib, damlash, birlamchi lazer nurlanishi yordamida amalga oshirilishi natijasida, kombinatsion tarqalish chastotasida, majburiy nurlanish sodir bo'ladi. Shu kabi MKT-lazerlarda, nurlanishini kuchaytirish uchun, MKT-kuchaytirgichlardan foydalaniladi.

Yana bir qattiq jisimli lazer nurlanishlari chastotasini o'zgartirish uchun, qulay bo'lgan muhit, bu organik bo'yoqlar bo'lib, ulardan amaliyotdan keng qo'llanilib kelinmoqda. Organik bo'yoqlar, qattiq jisimli lazer nurlanishi yordamida qo'zg'atilib, ular yordamida, keng uzluksiz spektrda, generatsiya olish mumkin va lazer nurlanishi chastotasini o'zgartirish mumkin.

Texnik jihatdan MKT-lazerlar va organik bo'yoqlar yordamida ishlovchi lazerlarni, amalga oshirish masalalari va ularning hususiyatlari bizning darsligimizda ko'riladigan masalalar doirasidan tashqarida bo'lib, qiziquvchilar uchun maxsus kitoblar va maqolalarga murojat qilishlari tavsiya etiladi

1.11. Lazer nurlanishining hususiyati

Lazer nurlanishining asosiy hususiyatlari:

1. Nurlanishning yuqori darajada yo'naltirilganligi,
2. Uning monoxromatikligi,
3. Nurlanishning kogerentligi,
4. Nurlanishning yorqinligi.

Nurlanishning yo'naltirilganligining asosiy sababi, aktiv elementning rezonator ichiga o'rnatilganligidir. Rasm 1.3da ko'rsatilganidek, o'zaro parallel ko'zgular orasida, shunday elektromagnit to'lqinlari uchun, kuchayish sharoiti yaratiladiki, bu to'lqinlar, rezonator o'qi bo'yicha yoki unga yaqin yo'nalishda tarqaladi [15, 22, 44].

Monoxromatiklik, asosan quyidagi ikki holatga bog'liq bo'ladi:

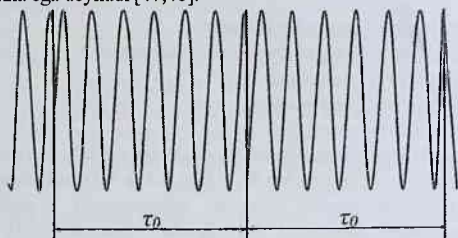
a) (1.1) formuladagi chastotasi ν ga teng bo'lgan elektromagnit to'lqinlarigina, kuchayish imkoniyatiga ega bo'ladi.

b) Ikki o'zaro parallel ko'zguan iborat bo'lgan rezonator, generatsiya faqat, rezonatorning rezonans chastotasida yuzaga keladi.

3. Nurlanishning kogerentligi. Elektromagnit to'liqlari uchun, ikki mustaqil kogerentliklik tushunchasi mavjud bo'lib, bular fazoviy va vaqtiiy kogerentlikdir.

Fazoviy kogerentlikni tushunish uchun, quyidagilarni ko'rib chiqamiz, fazoda joylashgan ikki R_1 va R_2 nuqtalardan vaqtning t_0 momentida ulardan, elektromagnit to'liqining, to'liq fronti o'tsin, $E_1(t)$ va $E_2(t)$ – nuqtalardagi elektor maydon kuchlanishi [45]. Bizning shartga ko'ra, vaqtning t_0 momentida, elektor maydon fazalari farqi qiymati, shu nuqtalarda nolga teng. Agar nuqtalardagi fazalar farqi, vaqt t ning har bir momentida nolga teng bo'lsa, u xolda ikki nuqta o'rtasida to'liq kogerentiylik bor deyiladi. Agar shunday shart, to'liq frontining har bir juftlik nuqtasi uchun bajarilsa, bu to'liq to'la fazoviy kogerentlikka ega deb aytiladi [46].

Vaqt bo'yicha kogerentlik. Buning uchun, vaqtning t va $t + \tau$ momentida, R nuqtadagi elektromagnit to'liqining, elektor maydonini ko'rib chiqamiz. Agar vaqtning shu intervali τ da, maydon tebranishlar fazalari farqi τ vaqtning har bir momentida bir xil bo'lib saqlanib qoisa, τ vaqt oralig'ida vaqtiiy kogerentiylik bor deb aytiladi va to'liq to'liq kogerentlikka ega deb xarakterlanadi. Agar bu shart, vaqt τ ning faqat ma'lum $0 < \tau < \tau_0$, intervalida bo'lsa, unda to'liq qisman τ_0 vaqt bo'yicha kogerentlikka ega deyiladi [47,48].



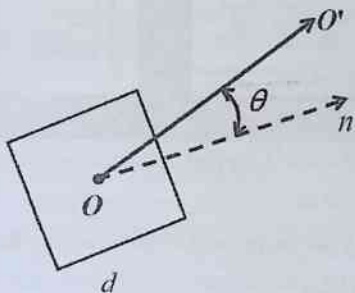
1.19 – rasm. Vaqtiiy kogerentligi τ_0 bo'lgan elektromagnit to'liqini misol sifatida olingan.

1.19- rasmda misol tariqasida τ_0 , vaqtiiy kogerentlikka ega bo'lgan, sinusoidal shakilga ega bo'lgan, τ_0 intervalida sakrab o'zgaruvchi fazaga ega bo'lgan, elektromagnit to'liqini olib ko'rilgan. Vaqt bo'yicha kogerentlik ko'rinib turibdiki, nurlanishning monoxromativligi bilan bog'liq [29, 49].

Shuni qayd qilib aytib o'tish kerakki, vaqtiiy va fazoviy kogerentlik bir-biriga bog'liq emas. Misol qilib shunday elektromagnit to'liqlarini o'tish mumkinki, ular to'la fazoviy kogerentlikka ega bo'lsada, qisman vaqt bo'yicha kogerentlikka ega va teskarisi.

5. **Yorqinlik.** Biron bir manba, yuza birligidan, bir kichik burchak ostida tarqalayotgan elektromagnit to'liqini yorqinligini, nurlanishning quvvati sifatida aniqlaymiz. Yanada aniqroq bo'lish uchun, Q nuqtadagi nuqtaviy manba yuzasining dS elementini ko'rib chiqamiz. (1.20 - rasm)

6.



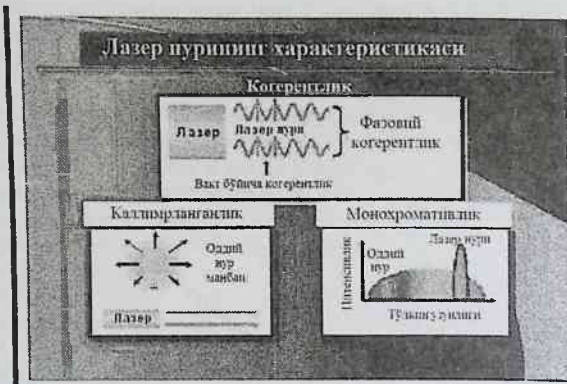
1.20-rasm. Q nuqtadagi elektromagnit to'liqin manbaining yuza yorqinligi

U xolda, dS yuza elementidan, oniy burchak θ ostida, OO' yo'nalishi bo'yicha, tarqalayotgan nurlanish quvvati dP , sferik koordinatani qo'llash yordamida quyidagicha aniqlanadi [51].

$$dP = B \cos \theta \, dS \, dQ \quad (1.17)$$

bu yerda, θ - OO' yo'nalishi bilan yuzaga o'tkazilgan normal R , orasidagi burchak.

Katta quvvatga ega bo'lmagan lazer nurlanishi, (masalan, bir necha millivat) shunday yorqinlikka egaki, u oddiy yorug'lik manbaalardan bir necha karra yorqin bo'ladi. Bu xususiyat, lazer nurlanishining yuqori darajada yo'naltirilganligidandir [47,48].



1.21– rasm. Лазер нurlanishining xarakteristikasi.

I - Bo'lim bo'yicha o'zlashtirish savollari:

1. Invers muhit nima?
2. Tebranishlarni shakllanishi qanday bo'ladi?
3. YOritgichlarning tuzilishi va ularning ishlash prinsipi?
4. Aktiv elementlar va ularning turlari, shakllari, vazifalari?
5. YOritgich lampalar va ularning ishlatilishi?
6. Invers holat nima va u qanday hosil etiladi?
7. O'z-o'zidan nurlanishni tushuntirib bering?
8. Lazer nurlanishining monoxromativligini tushuntirib bering?
9. Nurlanishning kogerentligini tushuntirib bering?
10. Nima uchun lazer nurlanishi kichik burchak ostida tarqaladi?
11. Lazerlarda ishlatiladigan qattiq kristallarning qaysilarini bilasiz, ular qanday tarkibga ega?
12. Lazer rezonatorlari va ularning tuzilishi?
13. Gaz bilan ishlovchi qanday lazerlarni bilasiz?
14. YArim o'tkazgichli lazerlar to'g'risida nimalar bilasiz?
15. Organik bo'yoqlar bilan ishlovchi lazerlar?
16. Ekimer lazerlar?
17. Lazer nurlanishining qanday xususiyatlari bor?
18. Aktiv elementni qanday qilib, qo'zg'algan holatga keltirish mumkin?

II BO'LIM

2. LAZERLARNING OPTIK SXEMASINING ELEMENTLARI

2.1. Optik yoritish tizimlari

Qattiq jisimli lazerlarining, aktiv muhitda invers holatni yaratish uchun, impulsli yoki uzluksiz ishlovchi yoritgich lampalar yordamida, optik damlash amalga oshiriladi. Yoritgich lampalarining effektivligini amalga oshirish uchun, aktiv element, yoritgich kamerasi ichiga joylashtiriladi. Yoritgich kamera, yopiq optik tizim bo'lib, yoritgich lampalaridan taralgan nurlar, maxsus ishlov berilgan kamera ichki devorlaridan qaytib, aktiv element tomon yo'naltiriladi.

Yoritgich kamerasining konstruktiv tuzilishi, yoritgich lampalar turi, ularning soni hamda aktiv element, elementning o'lchamlari va uning yoritgich kamerasida yoritgichlariga nisbatan qanday joylashtirilganligiga, generatorning ishlash rejimiga, yutilgan yorug'lik nurlanishi energiyasining aktiv muhitda taqsimlanishiga qarab aniqlanadi.

Bu esa, o'z navbatida lazer generatoridan chiqqan nurlanish energiyasi-ga va burchak ostida tarqalish karakteristikalariga ta'sir qiladi.

Yoritgich kamerasi lampalaridan taralgan yorug'lik nuri, ideal ravishda aktiv elementda taqsimlanadi. Elektr energiyasining, yorug'lik energiyasiga aylanishining effektivligini pastligi (35-50%) hamda aktiv element tomonidan yutilgan yorug'lik energiyasidan, to'liq foydalanib bo'lmazligi (6-15%) va yoritgich kamerasidagi yo'qotishlar (30-70%)ga, qattiq jisimli lazerning (FIK) foydali ish ko'ffisientini kamayib ketishiga, olib keladi (0,1-5%). Shularni hisobga olib, yoritgich kamerasini tanlash, har bir lazer generatori uchun maxsus qo'yilgan talablarga qarab, olib boriladi.

Misol uchun, bir modali generator uchun, yuqori darajadagi talablar qo'yiladi. Ularning aktiv muhiti uchun, damlash energiyasining aktiv element yuzasi bo'yicha, bir tekis taqsimlanishi va maksimal effektiv yorug'lik berish talab qilinadi.

Katta chiqish energiyasi talab qilingan lazerlar uchun esa, ko'p lampali yoritgich kamerasi zarur, bu kamera yuqori intensivlikdagi yorug'lik oqimi bilan aktiv elementni ta'minlaydi.

Ko'pgina amaliy ishlarni, etarli aniqlik bilan baholash uchun, yoritgichni effektivligi qo'shimcha burchaklarni hisobga olish natijasida, lampadan taralgan nurlanishni to'g'ridan-to'g'ri aktiv elementga yoki bir marotaba yuzadan qaytgandan so'ng, aktiv elementga tomon yo'nalishi

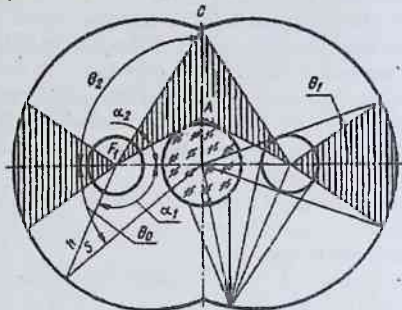
aniqlanadi va bunda avval ko'rib o'tilgan muloxazalar, inobatga olinadi. [1, 4, 7].

Ikki lampali yoritgich sistemasi misolida, analitik metod yordamida yoritgichning effektivligining, geometrik hisobi bajarilgan:

$$\eta_0 = f(a, b, d_a, d_L, e, \Lambda, r_3) \quad (2.1)$$

bu yerda, η_0 -geometrik effektivlik (damlash yorug'lik nuri oqimining aktiv elementga tushgan qismining, butun yorug'lik oqimiga nisbati). a - ellipsning katta yarim o'qi, b - ellipsning kichik yarim o'qi, d_a - aktiv elementning diametri, d_L - lampaning diametri, e - ellipsning eksentristeti, Λ - lampalar soni, r_3 - ko'zgu yuzasining qaytarish koeffitsienti.

Elliptik silindrning har bir elementar yuzasi, o'zida aktiv elementdagi lampa aksini namoyon etadi. o'zgaruvchan kattalashish (yoki kichrayish bilan) h/s nisbatiga proporsional holda bo'ladi. (2.1-rasm)da lampaning, fokus bilan tutashgan aksining o'lchamlari quyidagidan aniqlanadi $d_1 h/s$. Aktiv jismga kelib tushadigan yorug'lik energiyasining bir qismi, quyidagicha aniqlanadi $d_1/d_1 \cdot s/h$. Unda $d_1/d_1 \cdot s/h \leq 1$ chunki, aktiv element, yoritgich lampasidan chiqqan yorug'lik energiyasidan ortiq, energiyani yuta olmaydi. Elleptik qaytargichning, lampaga yaqin joylashgan qismi, lampaning kattalashgan aksini hosil qiladi, shuning uchun lampadan taralgan yorug'lik nurlanishi energiyasining bir qismi, aktiv elementga tushmaydi. Ellipsning boshqa qismi, aktiv elementga yaqin joylashgan qismi, yanada effektivliroq bo'lib, u o'zida lampaning kichraytirilgan aksini hosil qiladi. Shuning uchun bu yuzaga tushgan energiyaning butun qismi, aktiv element yuzasiga tushadi [9, 10, 14].



2.1-rasm. Ikki lampali yoritgichni hisoblash uchun chizma (shtrixlangan yuzaga bo'lagi yorug'lik nurining yo'qotilishiga proporsional).

Yoritgichning geometrik effektivligi, ushbu formula yordamida hisoblanadi:

$$\eta_0 = \int_0^{\pi} \frac{d_a}{d_L} \cdot \frac{s}{h} da = \frac{100}{\pi} \left[\alpha_1 + \int_{\alpha_1}^{\pi} \frac{d_a}{d_L} \cdot \frac{s}{h} da \right] \quad (2.2)$$

Bu yerda α_1 - burchakni aniqlaydi, shu burchak ostida tarqalgan yorug'lik oqimi to'raligicha aktiv element tomonidan yutiladi yoki boshqa so'z bilan aytganda, shu burchak ostida yoritgich lampasining aksi, aktiv element diametriga teng yoki undan kichik bo'ladi.

Shunday qilib, quyidagi tengsizlikdan $(s/h)da = d\theta$

Rasm 2.1.ga qarang, (2.2) formula, quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$\eta_0 = \frac{100}{\pi} \left(\alpha_1 + \frac{d_a}{d_L} \cdot O_0 \right). \quad (2.3)$$

Bu yerda, burchak α_1 quyidagicha ifodalanadi.

$$\cos \alpha_1 = \frac{1}{e} \left[1 - \frac{(1 - e^2)}{2} \left(1 + \frac{d_a}{d_L} \right) \right] \quad (2.4)$$

Ellipsning qaytargich yuzasining bir qismi, lampa orqasida bo'lib, uni biz shaffof emas deb qabul qilamiz. Shuni hisobga olib, burchakni, θ_1 burchagi qiymatiga kamaytiramiz.

U holda,

$$\sin \theta_1 = \frac{d_L}{4ae} \quad (2.5)$$

Bundan tashqari yorug'lik oqimi, rasm.2.1dan, ellips yuzasidan, SF₁ A ga proporsional holda, aktiv elementga tushmaydi, shuning uchun yana α_2 burchagi, α_2 qiymatiga kamayadi.

$$\cos \alpha_2 = \frac{(Z_e/1 + e^2) - \cos \theta_2}{1 - (Z_e/1 + e^2) \cdot \cos \theta_2} \quad (2.6)$$

U holda $\theta_2 = \pi/\lambda$

Shu tuzatishlarni kiritib, hamda qaytarish koeffitsientini hisobga olib, ikki lampali yoritgich uchun geometrik effektivlikni, quyidagi ko'rinishda yozamiz:

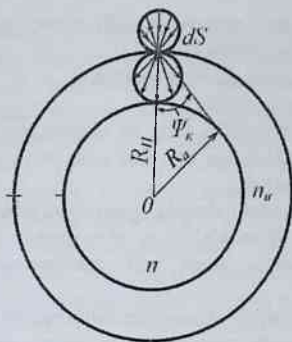
$$\eta_0 = \frac{100}{\pi} \left[(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot r_3 + \frac{d_a}{d_l} \cdot r_3 (\theta_0 - \theta_1) + \arcsin \frac{d_a}{4a_e} \right] \quad (2.7)$$

Formuladagi $d_a/4a_e$ ning qiymati, yorug'lik oqimining aktiv element yuzasiga tushayotgan qismini, ellips qaytargich yuzasidan qaytmagan oqimni, hisobga olgan holdagi kattalik bo'ladi.

Biz yuqorida ko'rib o'tgan usulni, faqatgina ko'p lampalik yoritgichlar emas, balki bir lampalik yoritgichlar effektivligini hisoblash uchun ham bemalol qo'llasa bo'ladi va konkret holdagi yoritgich uchun effektivlikning optimal kattaligini aniqlasa bo'ladi. Aktiv element tomonidan yutiladigan energiyani, nafaqat lampalar hisobiga oshirish mumkin, balki aktiv elementni xalqasimon shaffof dielektrik bilan o'rab olinsa, nur berishning effektivligini yaxshigina oshishi mumkin, buning natijasida, chiquvchi nurlanishning intensivligi oshadi.

Dielektrik xalqaning devorining qalinligi, oddiy nisbiylik bilan keltirilgan rasm orqali aniqlanadi. Rasm 2.2. ko'rsatilishicha, tashqi xalqa radiusi R_s , shunday bo'lishi kerak-ki, tashqi silindr devoriga urunma bo'lgan nur, singandan keyin, R_a - radiusli doiraga urunma bo'lishi kerak.

Agar aktiv element, immersion suyuqlik ichiga joylashtirilgan bo'lsa, yorug'lik berishning effektivligi oshadi. Qilingan taxlillarning ko'rsatishicha, agar aktiv elementning sindirish ko'rsatgichi n bo'lib, u immersion suyuqlikka tushurilsa, optik damlash davomida, diffuziya holatidan taralgan nurlanish tomonidan energiyaning zichligi, radius funksiyasi sifatida o'zgaradi. Aktiv element ichidagi, energiya zichligining kattaligini, tashqi energiya zichligiga nisbati, taxminan n^2 teng bo'ladi. Bu katta qiymat radiusi $R_{it} = R_s/n_s$ -silindr ichida bo'ladi. (R_{it} - aktiv element radiusi).



2.2 – rasm. Aktiv element dielektrik xalqa ichiga joylashtirilgan

2.2-rasmga binoan, kichik yuza dS ga tushayotgan yorug'lik oqimi 2π (ster) chegarasida hamina tomondan keladi, singan nurlar cho'qqi burchagi $2\Psi_k$ ga teng bo'lgan konus bilan chegaralangan bo'lib, konusning ichida fazoviy burchak Ω , quyidagicha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\Omega = 2 \cdot \pi(1 - \cos \Psi_k) \quad (28)$$

Ushbu burchaklar nisbati, quyidagi ko'rinishga ega

$$\frac{2\pi}{\Omega} = \frac{n_u}{n_u - (n_u^2 - 1)^{1/2}} \quad (29)$$

Bu yerda n_u - immersion muhitning sindirish ko'rsatgichi, n uchun $n_u = 1.3-1.7$ bo'lib, bu nisbat taxminan shunday izohlanadi

$$2\pi/\Omega = 1.49n_u \quad (210)$$

Asosan, immersion suyuqlik bir vaqtning o'zida, aktiv elementni sovutish va filtrlash uchun ham ishlatiladi. Immersion suyuqlik, quyidagi xususiyatlarga ega bo'lishi kerak. U katta sindirish koefitsientiga, katta quvvatli yorug'lik ta'siriga bardosh bera olishiga, optik damlash nurini kam yutishi, kam yopishqoqlik va issiqlikni o'zidan yaxshi o'tkazish kabi, xususiyatlarga ega bo'lishi kerak. Katta konsentrasiyali yorug'lik

nurlanishning oqimini, aktiv elementdan olish uchun, suyuqlikning qalinligi taxminan $\sim R_a(n_i - 1)$ teng bo'lishi kerak.

Bu yerda n_i - suyuqlikni sindirish koeffitsienti,

R_a - aktiv elementning radiusi.

YOritgichning effektivligi bilan bir qatorda, optik damlashning bir tekisligi ham katta ahamiyatga ega, natijasida aktiv elementdagi invers holat, shunga bog'liq bo'ladi.

Aktiv elementni damlash davrida, genersiyani (chegaraviy) boshlanish davridan sal yuqori qiymatda, aktiv elementning ko'ndalang kesimi yuzasining hamma qismi emas, balki qisman yuzasi generatsiyada qatnashadi.

Qo'zg'atuvchi nurlanish intensivligini oshib borishi bilan, aktiv element yuzasining generatsiyada ishtirok etuvchi qismi, kengayib boradi va intensivlikning ma'lum qiymatiga kelib, aktiv elementning yuzasi to'liq generatsiyada ishtirok etadi. [9, 10, 14]

2.2. Aktiv elemental

Qattiq jisimli lazerlarida, aktiv element sifatida, aktivlashtirilgan ion kristallari, shisha va organik birlashmalar qo'llanilishi mumkin. Aktivator sifatida, o'tuvchi metallar ionlari, ya'ni er ishqoriy metallar va aktinidlar gruppasi olinadi. Ko'pgina holatlarda aktivator ionlar, izomorf yo'li bilan ion almashish orqali kiritiladi. Aktiv sentrlarning energetik holatining strukturasi, aktivatorlar atomalarining tabiatiga bog'liq bo'ladi. Hozirgi kunda, tayyorlangan aktiv muhitlarning ro'yxati va ularning fizika-kimyoviy xususiyatlari va ularni o'stirish texnologiyalari ilmiy adabiyotlarda keltirilgan [38, 41,]. Yuzdan ortiq aktiv muhitlar, neorganik materiallar, ion tuzilishi asosida yaratilganligi ma'lum. Chunki, aktiv muhit yuqori FIK ni ta'minlashi kerak hamda vaqt bo'yicha stabil ishlashi va kichik burchak ostida nurlanishni tarqatish xususiyatiga ega bo'lishi kerak [16, 18].

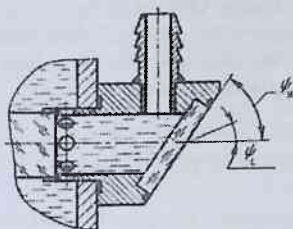
Aktiv elementning yana bir asosiy xususiyatlaridan biri, uning xona temperaturasida ishlash qobiliyati hisoblanadi. Lazer materiallariga qo'yilgan asosiy spektroskopik talablar, ilmiy adabiyotlarda keltirilgan [38, 52].

Hozirgi kunga kelib, keng tarqalgan aktiv elementlardan: Rubin (yoqut), shishaning har-xil turlari, uch valentlik neodim bilan aktivlashtirilgan, itriyli-alyumimli granat, aktivlashtirilgan neodim (IAG), volfram kalsiyli, neodim bilan aktivlashtirilgan shisha va boshqalar.

Azot temperaturasida, energetik parametrlari yaxshi ishlaydigan flyuorit, ikki valentli disproziy bilan aktivlashtirilgan. Bu aktiv elementlarning spektroskopik xususiyatlari har tomonlama o'rganilgan. Aktiv element sifatida, katta impulsli energetik quvvatga mo'ljallangan kvant generatorlarida, asosan rubin va neodim bilan aktivlashtirilgan shisha kristallari keng ishlatiladi [17].

Aktiv elementlarning nurlanish xarakteristikasi, aktiv element materialidan tashqari, aktiv elementning konstruktiv parametrlari va uni yoritgichda maxkam o'rnatish usullariga ham bog'liq. Yaxshi sifatli, katta o'lchovli aktiv elementlarda, juda yuqori bo'lmagan damlash vaqtida, aktiv elementning ikki uchi yuzasida, sirtidan qaytgan nurlar ishtirokida, o'z-o'zidan uyg'onish jarayoni sodir bo'lishi mumkin. Bu esa, aktiv elementda yuqori darajada invers holat yuzaga kelishiga to'sqinlik qiladi.

Aktiv elementning ikki yuzasi sirtida, yuz beradigan nurlanishning qaytishini kamaytirish uchun, ikki yuzani ravshanlashtirish yoki ularni immersion suyuqlikka tushurish kerak bo'ladi, xuddi Rasm 2.3 da ko'rsatilganidek.



2.3 – rasm. Aktiv elementi immersiyal suyuqlikka o'rnatish usuli.

Immersion suyuqlik shunday tanlanadiki, uning sindirish koeffitsienti, aktiv elementning sindirish koeffitsientiga juda yaqin bo'lishi kerak bo'ladi, bu bilan biz, teskari bog'lanishni nolgacha kamaytiramiz. Aktiv elementni bunday usulda mustahkam o'rnatish, ikkala yon yuzasini, katta quvvatli impulslardan yaxshi saqlaydi va aktiv elementni ikkala yuzasini ravshanroq qiladi.

Shisha oynaning qiyalik burchagini Ψ_H quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\Psi_H = \arccos \left(\frac{n_c}{n_i} \sqrt{1 + n_i^2} \right) \quad (2.11)$$

n_s shishaning sindirish ko'rsatgichi, n_i –immersion suyuqlikning sindirish ko'rsatgichi Bu holda generatordan chiquvchi nurlanishning og'ish burchagi quyidagicha teng bo'ladi

$$\psi_L = \arcsin \frac{n_s \left(\sqrt{n_n^2 - n_s^2} - n_i \cdot n_s - 1 \right)}{n_i (1 + n_s^2)} \quad (2.12)$$

Ko'rib o'tilgan usullar cheklangan bo'lib, ularni impuls energiyasining (taxminan $100 \text{Dj}/\text{sm}^2$) gacha bo'lgan qiymatda qo'llash mumkin. Yuqori quvvatli, katta energetik zichlikka mo'ljallangan aktiv elementlar uchun, ikkala yon yuzasi kichik burchak ostida kesilgan ($2^0 - 5^0$) yoki Bryuster burchagi ostida kesilgan, aktiv elementlardan foydalaniladi.

2.3. Optik elementlar

Lazer nurlanishini intensivligining fazodagi taqsimoti, spektral tarkibi, yo'naltirilganligi va boshqa xarakteristikalari asosan rezonatorni tashkil etuvchi optik elementlar bilan aniqlanadi. Rezonatorni optik elementlari sifatida – ko'zgular, rezonans qaytargichlar, prizmalar, prizmalı blokklar, diaframlar va boshqalardan foydalanish mumkin.

2.3.1. Ko'zgu

Ma'lumki, rezonatorni ko'zgularida nurlanishning yutilishi va sochilishi bilan bog'liq bo'lgan yo'qotishlar minimal bo'lishi. ularning nurlanishga hamda mexanik va klimatik ta'sirlarga chidamliligi, ba'zi xollarada, qaytarish koeffitsienti juda katta bo'lishi lozim.

Parametrik generatorlar uchun mo'ljallangan ko'zgular, bundan tashqari yana keng yo'lakli spektrga ega bo'lishi kerak. Lazer texnikasida, metall yoki dielektrik qoplamali yassi (tekis), silindrsimon, sferik va asferik ko'zgulardan foydalanib kelinmoqda. Ularning yuzasi dielektrik yoki metall qaytargichli qoplama bilan qoplanadi. Metall qoplamali qaytargichli ko'zgularning kamchiliklari bo'lib, agar qaytaruvchi yuza alyuminiy yoki kumush bo'lsa, qaytarish koeffitsienti (90-95%) bo'ladi, yuzaga qoplangan alyuminiy qatlami, mexanik jixatdan chidamsiz bo'ladi. Shuning uchun, uni ustidan dielektrik parda bilan himoyalanaadi. Kimyoviy yo'l bilan eritmadan, ko'zgu yuzasiga o'tkazilgan kumush, yuqori mexanik

chidamlilikka ega bo'lib, ular generatorning yuqori quvvatli nurlanishiga ham chidamli bo'ladi. Metall qoplamali ko'zgularda yo'qotishlar katta bo'lib, ular (10-15%)ni tashkil etadi va juda katta kuchli nurlanishlar ta'siridagina, o'z ish sifatini yo'qotadi. Yuzaga beriladigan dielektrik parda ko'zguga, yuqori qaytarish ko'effitsientini beradi (100 % gacha) va juda kam miqdorda nurlanishni yutib qoladi [3,4].

Dielektrik ko'zgular podlojkaga (asos materialiga) ketma-ket yuqori va kam sindirish ko'effitsientiga ega bo'lgan, qatlamlarni birin-ketin o'tkazish yo'li bilan olinadi. Asos material sifatida, shisha, kvars va boshqa shaffof lazer materiallarini ishlatish mumkin. Dielektrik ko'zgular, quyidagi yo'l bilan tayyorlanadi: yuqori vakuumda, termik par yo'li bilan, florli magniy MgF_2 ni, kimyoviy yo'l bilan qorishmadan va kislorod atmosferasida, katod changlashuvi yordamida olinadi. Qaytargich yuza sifatida ishlatiladigan materiallar chegaralangan bo'lib, hozirgi kunda oltingugurtli rux ZnS va florli magniy MgF_2 dan foydalanib kelinmoqda. Asos materiallarining (podlojka) yuzasiga yuqori darajadagi tozalik ko'rsatgichi bilan ishlov beriladi. Misol uchun 99% qaytarish ko'effitsientiga ega bo'lgan yuzani olish uchun, $\lambda=0,7$ mkm bo'lgan holda qaytaruvchi yuzaning tekisligi, 50A dan katta bo'lishi mumkin emas bo'lib, yuzaga qayta ishlov berish talabi $1/150\lambda$ dan kam bo'lmashligi kerak.

Asos materialga dielektrik sirt o'tkazishdan oldin, yaxshilab, toza yuviladi va keyinchalik yuza, elektron yoki ionlar bilan yuqori vakuumda bombardirovka qilinadi. Dielektrik sirtini asosga mustahkam o'rnatish olishi uchun va adgeziyani yaxshi bo'lishi uchun, asosga avvalroq krokus bilan ishlov beriladi.

Dielektrik sirt, katta quvvatli nurlanish ta'siri ostida kuyadi yoki asosdan ko'chadi. Yuza sirtining chidamliligi, yuza sirtiga o'tkazilgan materialning chidamliligi va uni o'tkazish texnologiyasiga bog'liq bo'ladi [21, 24, 25].

Rubinli lazer generatorlari uchun tayyorlangan dielektrik sirtli ko'zgularning, lazer energiyasi quvvatiga chidamlilik darajasi Jadval 2.1.da ko'rsatilgan. Jadvalda keltirilgan quvvat zichligining qiymatidan, yuza bo'yicha olingan o'rtacha quvvat zichligi, 4 marta kam.

2.1-jadval

Qoplama sirtning turi	Sirt yuzali o'tkazish usuli	Chidamlilik quvvat zichligi MVt/sm ²
SiO ₂ qoplamali sirt silliqqlangan Sappirli asosda	Katodli changlatish yo'li bilan	230
15-qatlamli dielektrik ko'zgu	Vakuumda parlatish yo'li bilan	90
SiO ₂ qoplamali sirt silliqqlangan Sappirli asosda	Katodli changlatish yo'li bilan	180

Qoplama sirtning chidamliligi, uning qoplamalari soniga va asosning yuzasiga sirt o'tkazilayotgandagi temperaturasiga bog'liq bo'ladi. Bundan tashqari, olingan materiallarning tozaliliga, undagi defektlarga, qoplama sirt mikrokristallarining orientatsiyasiga ham bog'liq bo'ladi. Eng optimal yuza sirti qatlami, 5-6 qavat bo'ladi, bundan ortiq sirt qatlami, yaxshi natijalar bermaydi. Tajribalardan ma'lum bo'lishicha, qo'rg'oshin oksidining sindirish koeffitsienti, rux sulfatning sindirish koeffitsientidan yuqori bo'lganligi sababli, qo'rg'oshin oksidli sirt qoplamali ko'zgu, yuqori darajada qaytarish koeffitsientiga ega bo'ladi. Shuning uchun, qo'rg'oshin oksididan foydalanilganda yuzani qoplovchi sirtning qatlami ham kamroq bo'lishi mumkin [6,11].

2.2-jadvalda qo'rg'oshin oksidli ko'zgularda ishlatilganda, rubinli lazer generatorining erkin generatsiyasi rejimida, oksidli yuza sirtini, energiya zichligiga chidamliligi ko'rsatilgan.

2.2-jadval

Qavatli soni	Qaytarish koeffitsienti % larda*	Energiyaning chegarasi* Dj/sm ²	Qaytirish koeffitsienti % larda**	Energiyaning chegarasi** Dj/sm ²
1	40	680	44	2100
5	86	500	90	1400
7	95	360	97	1300
9	97	320	99	640

Qatlamli sirt -200°S temperaturada, asosning yuzasiga o'tkazilgan* .

Qatlamli sirt -200°S temperaturasida, asosning yuzasiga o'tkazilgan** .

Qo'rg'oshin oksidi bilan qoplangan sirtning chidamliligi past darajada bo'lishining sababi, qo'rg'oshinning past temperaturada erishiga bog'liqdir (-888°S)

Dielektrikli qoplamali sirtning, energetik quvvat zichligiga chidamliligi, unga ta'sir qilayotgan lazer nurlanishining impuls davomiyligiga bog'liqdir. Masalan, vakuumda dielektrik sirtga ega bo'lgan ko'zgu to'lqin uzunligi $\lambda=1060 \text{ nm}$, impulsning davomiylik vaqti $t=600 \text{ mks}$ bo'lsa, uning chidamlilik energiyasi chegarasi 2000 Dj/sm^2 . Agar impulslarning davomiylik vaqti 30 ns bo'lsa, quvvat zichligi chegarasi 30 MVt/sm^2 bo'ladi. Agar impuls davomiyligi vaqtini ns dan, mikrosekundgacha oshirsak, quvvatning zichlik chegarasi dielektrikli ko'zgu uchun 1000 marta oshadi [11, 30, 31]

2.4. Rezonansli yorug'lik qaytargich

Rezonatorning chiqish ko'zgusi sifatida bir qator hollarda, rezonansli qaytargichdan foydalaniladi. Rezonansli qaytargich yuzasi, tekis o'zaro parallel bo'lgan, shaffof shisha, tekis plastinkalardan iborat bo'lib, yuzasiga hech nima qoplanmaydi. Plastinkalar o'zaro havo bo'shliqlari bilangina chegaralangan bo'ladi. Shunday plastinkali reflektorlarga tushgan nurlanish ko'p marotaba plastinka yuzalaridan qaytadi va natijada hosil bo'lgan interferension hodisa, uning qaytarish koeffitsientini generatsiya nurlanishi chastotasiga bog'liq qilib qo'yadi. Sistemaning maksimal qaytarish koeffitsienti, qalinligi bir xil bo'lgan va bir xil havo bo'shlig'i masofasi orasida joylashgan, soni butun toq sondan tashkil topgan $\lambda_0/4$ (λ_0 - nurning vakuumdagi to'lqin uzunligi) quyidagi tenglik bilan aniqlanadi:

$$\lambda_{max} = \left(\frac{1 - n^{2m_n}}{1 + n^{2m_n}} \right)^2 \quad (2.13)$$

Bu yerda, m_n - plastinkalar soni.

Qaytish koeffitsientining qiymati plastinkalar soniga va sindirish ko'rsatgichini bog'liq.

Qaytish koeffitsientining qalinligi D bo'lgan birgina plastinadan iborat bo'lib, yuzaga tushuvchi nurlanishning chastotasiga (ν) bog'liqligi, quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$R(\nu) = \frac{4r \sin^2(2\pi n D \nu)}{(1 - r)^2 + 4r \sin^2(2\pi n D \nu)} \quad (2.14)$$

va o'z nabatida nurlanish, chastotaning davriy funksiyasi hisoblanadi. Qo'shni qaytarish maksimumlari bilan oralig' masofa (intervali) quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta v_p = (2nD)^{-1} \quad (2.15)$$

Qaytarish ko'effitsientining ko'p plastinali qaytargichga bog'liqligi murakkab funksiya bo'lib, uning harakteri plastinalar soniga bog'liq bo'lib, to'rt plastinalar nazariyasi yordamida aniqlanadi yoki optikaning yupqa plastinkalar uchun sodda tenglamalari yordamida EXM yordamida echiladi [27].

SHuni aytib o'tish kerak-ki, ikkita plastinali qaytargich uchun, chastota intervalining taxminiy hisobidan foydalansa bo'ladi. Ikkita plastinali qaytargich uchun qalinligi $D_1=2\text{mm}$ ($n \approx 1,79$) va havo oralig'i $D_2 = 25\text{mm}$, asosiy maksimumlar bilan chastota intervali (oralig'i) to'lqin uzunligi $\lambda=6943\text{A}^\circ$ bo'lsa, $\Delta\gamma_1 = (2 \cdot D_1^{-1}) = 0,67 \text{ A}^\circ$, qo'shimcha maksimumlar aro interval $\Delta\gamma_2 = (2n \cdot D_2)^{-1} = 0,069 \text{ A}^\circ$ ga teng bo'ladi. Hisoblangan kattalik taxminiy bo'lib, aniq metodlar yordamida hisoblangan kattalikdan 10% ga farq qiladi [28].

Qaytarish ko'effitsientining hisoblangan qiymatini olish uchun, rezonansli qaytargichni tayyorlashda, yupqa plastinkalar qalinligi bir-biridan farqi, $\lambda/8$ dan katta bo'lmasligi kerak, aks holda, asosiy maksimumlarning qaytarish hususiyati kamayib ketadi. Plastinalar qalinligining bir tartibda o'zgarib borishi yoki havo oralig'ining o'zgarishi, qaytish ko'effitsienti maksimumining chastotasini siljishiga olib keladi.

Agar yupqa plastinkalarning tayyorlash aniqligi yoki plastinalar aro qo'yiladigan xalqalarning aniqligi $\lambda/4$ dan kam bo'lsa, bunday optik sistemaning qaytarish ko'effitsienti, hamma yuzalarning frenel qaytarish ko'effitsienti yig'indisiga teng bo'ladi. Bunday qurilma optikada stopa deb yuritiladi va rezonatorlarda, chiqish qaytargichlari sifatida ishlatiladi, qachonki rezonatorda ishtirok etayotgan to'lqin modalarini saralash zaruriyati bo'lmasa.

Ko'pgina, yupqa plastinalardan tashkil topgan qaytargichlar, yuqori quvvatli generatsiya nurlanishlari uchun chidamli bo'ladilar. Jadval 2.3.da, ba'zi optik materiallarning buzulishining energetik chegarasi keltirilgan. Jadval 2.4.da esa, shishadan yasalgan optik elementlarning yuzasining chidamligi, yuzasining qayta ishlash sifatiga bog'liqligi va yuzaga rubin

lazerining asosiy, ko'ndalang yo'nalgan tipdagi, tebranishlari modulyasiyasining, generatsiyaga ta'siri keltirilgan.

2.3-jadval

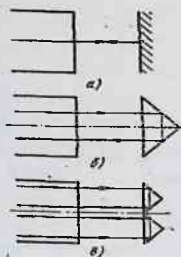
Shishaning tipi	To'liq uzunligi mkm da	Erkin generatsiya vaqtidagi buzilish chegarasi		Monoimpulslik rejimdagi buzilish chegarasi		Adabiyotlar
		Energiya zichligi Dj/sm ²	Quvvat zichligi Vt/sm ²	Energiya zichligi Dj/sm ²	Quvvat zichligi Vt/sm ²	
Eritilgan kvars	0,69	-	-	220	1,4*10 ¹⁰	[30]
Kron	0,69	-	-	133	0,89*10 ¹⁰	[31]
Oq kron	0,69	-	-	350	50*10 ¹⁰	[31]
Borosilikatli kron	0,69	-	-	500	71*10 ¹⁰	[32]
Og'ir baritovli kron	0,69	-	-	500	71*10 ¹⁰	[32]
Kron	0,69	-	-	40	0,56*10 ¹⁰	[37]
Baritovli kron	1,06	15000	16,5*10 ⁶	-	-	[38]
Og'ir kron	1,06	13 500	14*10 ⁶	-	-	[38]
Og'ir flint	1,06	7 000	8,7*10 ⁶	-	-	[38]
Flint	1,06	100000	11,7*10 ⁶	-	-	[39]
Engil flint	1,06	9200	9,5*10 ⁶	-	-	[39].
	1,06	7 500	-	-	-	[40]

2.4-jadval

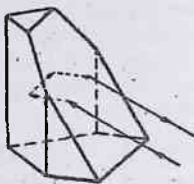
Material	Yuzaga ishlov berish sifati	Yuza buzilishi chegarasi, Dj/sm ²
Shisha K-8	Nihoyatda toza polirovka	190±25
Shisha K-8	Oddiy mexanik polirovka	87±8
Shisha K-8	Shlifovka	9±0,6

2.5. Prizmalar

Prizmalar, optik sxemalarda keng qo'llaniladigan elementlardan bo'lib, ularning qo'llanilish imkoniyatlari keng. Teng yonli prizmalardan, tarqalish burchagi kichik bo'lgan nurlanishlar bilan ishlaganda, ularni qoplama sirt yuzali qaytargichlar, o'rinda ishlatsa bo'ladi. Bu holda, prizmaning katet qirralarida yuz beradigan, nurlanishni to'la ichki qaytarish hususiyatidan foydalaniladi. Bunday prizmalardan foydalanilganda, lazer rezonatorining quvvat zichligini oshirish imkoniyati tug'iladi. Shuning uchun ham yana prizmada sodir bo'ladigan, tushayotgan nurlanishning juft marta prizma yuzasidan qaytishi, uni orqaga qaytgan nurlanish uchun sezilmas qilib qo'yadi. Bunday hususiyat, prizmani generatsiyasi modulyatsiyalangan lazer qurilmalarida, keng qo'llanilishiga imkon beradi. Chunki, bunday generatorlarning rezonatorlarida, quvvat zichligi katta bo'lib, optik elementlarning katta chidamlilikka ega bo'lishini taqazzo qiladi. Shu kabi prizmalardan optik rezonatorida foydalanish, aktiv element yuzasining ko'ndalang kesimi bo'yicha, lazer nurlanishining zichligini bir tekis taqsimlanishiga hamda nurlanishning ko'p marotaba aktiv element bo'ylab, bitta yo'ldan borib kelishini ta'minlashga sabab bo'ladi. Optik prizmaning qo'llanilishi, Rasm. 2.4 da ko'rsatilgan. Optik qaytargichli ko'zguni, bitta yoki ikkita prizma bilan almashtirilsa Rasm 2.4 *a, b, v* ga o'xshab. *u* holda prizma o'rtasidagi nurlanish, prizma chetidagi nurlanish bilan o'rin almashadi va natijada rezonatorida, aktiv elementning ko'ndalang kesimi, teng yuzasi bo'yicha, energiya zichligi, bir xil o'rtacha qiymatga ega bo'ladi hamda aktiv elementdagi mavjud bo'lgan nojinishlikni o'rmini to'lg'izadi [12.28].



2.4-rasm. Rezonator elementlari
a) ko'zgu, b) teng yonli prizma
v) ikkita teng yonli prizma



2.5-rasm. Briyuster burchagi
ostida kesilgan prizma

Agar prizma, piramidaga xos ko'rinishda bo'lsa, Rasm. 2.5dagi kabi, u holda, nurlanishning qaytish vaqtida energiyaning 8-9% yo'qotiladi. Bu holatni yo'qotish uchun, prizmaning oldingi yuza tekisligi, Bryuster burchagi ostida kesiladi, u holda prizma, selektivlik hususiyatiga ham ega bo'ladi.

Rezonator elementlari sifatida, prizmalarga qo'yiladigan talablar shundan iboratki, tushayotgan nurlanishning yo'nalishi, qaytayotgan nurlanishning yo'nalishi kabi bo'lishidir. Agar, teng yonli prizmaning to'g'ri burchakli burchagi, kattaligi biron xatolik δ bilan tayyorlangan bo'lsa, u holda prizmadan chiqayotgan nurlanish, kichik og'ish burchagi $\Delta\Psi$ bilan prizmadan chiqadi.[39]

Agar, nurlanish, kirish yuzasiga normal (\perp) burchak ostida tushsa, u holda,

$$\Delta\Psi = 2n\delta \quad (2.16)$$

bu yerda, n - sindirish ko'rsatkichi.

Bryuster burchagi ostida kesilgan prizma uchun

$$\Delta\Psi = 2n^2\delta \quad (2.17)$$

Prizmalarni ishlab chiqarishda, uning to'g'ri burchagi, burchagining manfiy xatosi chegarasi, quyidagidan aniqlanadi.

$$\delta \leq \frac{d_a}{8n^2\sqrt{2}L} \quad (2.18)$$

Bu yerda, d_a - aktiv element diametri; L -rezonatorning uzunligi; n - prizmaning sindirish ko'rsatkichi.

Prizmani to'g'ri burchagini ishlash jarayonida beriladigan kichik xatolikka ruxsat, manfiy qiymatga ega bo'lishi, maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki bunday holda, prizma, m_{qay} qiymatiga bog'liq bo'lmaydi.

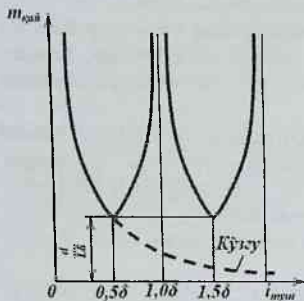
m_{qay} -nurlanishning rezonatoridan chiqishdan oldingi qaytishlari soni. Rezonator, prizma va ko'zgdan iborat bo'lsa, m_{qay} quyidagicha aniqlanadi

$$m_{qay} = d_a / L \cdot \delta \quad (2.19)$$

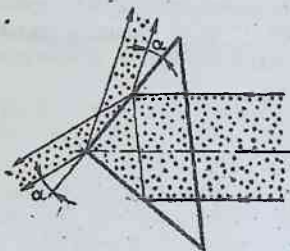
Ikki yassi ko'zguli rezonator uchun, Bryuster burchagi ostida tushayotgan nurning qaytish soni, keltirilgan formula yordamida aniqlanadi

$$m_{qay} = d_a / 2L i_{tush} \quad (2.20)$$

Tushuvchi va qaytuvchi nurlanishlarning o'zaro bog'liqligi, grafik usuli yordamida rasm 2.6. da keltirilgan.



2.6-rasm. Rezonatoridagi nurlanishning qaytish sonining, nurlanish bilan rezonator o'qi orasidagi burchakka bog'liqligi



2.7-rasm. Teng tomonli prizmaning nurni qaytarish inkoniyati

2.6-rasmdagi egri chiziqning punktir qismi, yuzasi yassi ko'zguli rezonatorga qarashli bo'lib, uzilmagan qismi esa, yuzasi yassi ko'zguli va prizmalı rezonatorga qarashli. Grafikdan ko'rinishicha, agar $i_{\text{пад}} = \delta$ bo'lsa, u xolda, prizmalı rezonatorida burchak xatolik qiymati 2σ bo'lib, berk yo'llar hosil bo'ladi va nurlanish rezonatorning yon tomonlaridan chiqib ketolmaydi. Yana shu ham ko'rinib turibdiki, prizmalı rezonatorga 2σ dan kam burchak ostida kirib kelayotgan nurlar, yuzasi yassi ko'zguli rezonatoridagi nurlanishga nisbatan, taxminan uch marta ko'proq, o'tish harakatlarini bajarib, rezonatoridan chiqadi.

Prizmaning qaytarish hususiyati, qirradi atrofida aylanishi bilan tez o'zgaradi (Rasm 2.7). Bunday tuzilishli prizmada, prizmaning to'la ichki qaytish burchagi atrofida, uning qaytarish hususiyati o'zgarishi ko'rsatilgan. Tushish burchagining bir necha gradusga o'zgarishi bilan, prizmaning qaytarish hususiyati ham bir necha foizdan to 100% gacha o'zgarishi mumkin. Qaytarish koeffitsientini bir tekisda o'zgartirish orqali, optimal qiymatga ega bo'lgan, ish rejimini o'rnatish mumkin.

Optik prizmadan, bir xil intevisivlikka ega bo'lgan va qarama-qarshi yo'nalish bo'yicha tarqalyotgan, ikkita yorug'lik nurlanishi chiqadi. Nurlanishning fazoviy tarqalishi, yo'nalish bo'yicha siqilgan bo'ladi, perpendikulyar qitraga nisbatan qiymati tga ga proporsional bo'ladi.

To'liq ichki qaytarishga ega bo'lgan prizmalarda, nurlanishning juda katta quvvat zichligida, birinchi navbatda, prizmaning asosan to'liq

qaytarish hususiyatiga ega bo'lgan yuzalari emirila tushayotgan Eksperimental tadqiqotlarning ko'rsatishicha, prizmani yorug'lik oqimiga nisbatan ma'lum usulda joylashtirilganda, bunday emirilishlarni cheklab o'tish mumkin bo'ladi. Yuzaga tushuvchi va qaytuvchi nurlanishlar, qaytaruvchi ishyuza yaqinida turg'un to'lqinlar hosil qiladi. Tushuvchi va qaytuvchi elektromagnit to'lqinlarning elektr vektorlarni kuchlanganliklar fazoda, geometrik qo'shilish nuqtasida, tushuvchi to'lqining elektr maydoni kuchlanganligi vektori \vec{E} bilan, prizma katetining qirrasiga (tushish yuzasi bilan) $\sim 45^\circ$ burchak hosil qilsa, qo'shilish nuqtasida, maydonning kuchlanganligi $\sqrt{2}|\vec{E}|$ ga teng bo'ladi. Agarda, elektr vektori \vec{E} ning yo'nalishi, prizma kateti teng yon qirrasiga parallel bo'lsa, u holda elektr maydonning kuchlanganligi, qo'shilish nuqtasida, $2 \cdot |\vec{E}|$ qiymatga ega bo'ladi. Lazer nurlanishi tarqalishi burchagini kamaytirish uchun, prizma qaytargichlardan foydalanish mumkin. Avtorlar tomonidan, romb shaklidagi prizmaning ishi o'rganilgan bo'lib, bu prizma yordamida, kirib kelgan nurlanish, prizma yuzasidan to'rt marta, prizmaning eng katta qaytarish qiymatiga ega bo'lgan, yaqin burchak ostida qaytadi.

Qaytarish yuzasiga tushayotgan nurlanishlar, kichik burchak ostida bo'lsa, prizma yuzasidan o'rt marta qaytish natijasida o'z kuchini yo'qotadi. Romb shakldagi prizmani rezonatorida ishlatilsa, yorug'lik oqini zichligi ko'payadi

Prizma qaytargichlar, ikkita prizma shaklida yasalgan bo'lib, yuqori qalinligi (2mm) bo'lgan, immers muhit (suv yoki metanol) bilan ajratilgan. Prizmaga kirgan yorug'lik nurlanishi, to'liq nur qaytish hususiyati buzilganligi uchun, muhitni ajratuvchi chegara yuzasidan, qarama-qarshi tomonga yo'nalgan ikki nurlanishga ajraladi va prizma ichida aylanib, yana prizmadan chiqish oldidan bir-biriga qo'shiladi. Prizmaga kirayotgan nurlanishga, parallel chiqayotgan nurlanish, prizma ichida, toq marta yuzadan qaytib yoki juft marta yuzadan qaytib chiqadi. Mana shu prizma bloklaridagi farqqa qarab, ularning o'ziga xos hususiyatlari aniqlanadi. Agar nurlanish, prizma ichida juft marta urilib qaytsa, qaytgan nur, ko'ndalang yo'nalish bo'yicha ikkiga ajralmaydi, aks holda, ya'ni toq marotaba yuzaga urilib qaytadi, u holda nurlanish, ko'ndalang yo'nalishda ikkiga ajraladi. Bu hususiyat yordamida, biz prizmaga tushgan nurlanishni ko'ndalang modasini, selektiv ajratish imkoniyatiga ega bo'lamiz. Shunday qilib, qaytarish koeffitsienti qiymatini, suyuqlikni sindirish koeffitsienti ko'rsatgichini o'zgartirish natijasida yoki prizmaga tushayotgan kiruvchi nurlanishni, tushish burchagini o'zgartirilgan holda o'zgartirishimiz mumkin. Bunday qaytargichlarni tayyorlash juda moxirlik va extiyotkorlik

bilan olib boriladi, ayniqsa ikki yuza orasidagi suyuqlikni germetik holda ushlab qolish ham oson bo'lmaydi [22].

Bu qaytargichda, prizmalar yupqa havo qatlami bilan (qalinligi to'liq uzunligi chegarasidagi) bir-biridan ajratilgan bo'ladi. Prizma blokiga tushayotgan nurlanish, Bryuster burchagi ostida yuzaga kiradi va ikki nurlanishga bo'linadi. Ulardan biri, yuzadan qaytib, prizma blokidan tushuvchi nurlanishga nisbatan, to'g'ri burchak ostida chiqib ketadi, ikkinchisi esa havo qatlamidan o'tib, prizmadan tushuvchi nurlanishga parallel holda chiqib ketadi.

2.6. Diafragmalar

Katta quvvatga mo'ljallanmagan lazer rezonatorlarida, nurlanish o'tmaydigan, metalldan yasalgan, teshikchali diafragmalar ishlatiladi. Yuqori quvvatli generatorlarda, metall diafragmaning tirqishi atrofida, metall materialining emiriilishi sodir bo'ladi. Shuning oldini olish uchun, tirqish konusli sfera shaklida yasalib va yaxshilab silliqlanib, katta qaytarish koeffitsienti qiymatiga qadar ishlov beriladi.

Katta quvvatli lazer generatorlari uchun, shisha va kvardan ishlangan diafragmalar ishlatilib, nurlanish o'tuvchi tirqishga sferali konussimon shakl beriladi.

Diafragmaning kirish tomoni yassi, chiqish tomoni esa konus shaklida bo'ladi. Bu konus shaklidagi yuza, tushuvchi nurlanishni, to'la ichki qaytarish burchagi ostida qaytaradi.

2.7. Rezonatorlar

Interferometr Fabri-Peroni rezonator sifatida, optik kvant generatorlarida qo'llanilganda, uning yordamida yo'naltirilgan kogerent lazer nurlanishini olish imkoniyatiga ega bo'lamiz.

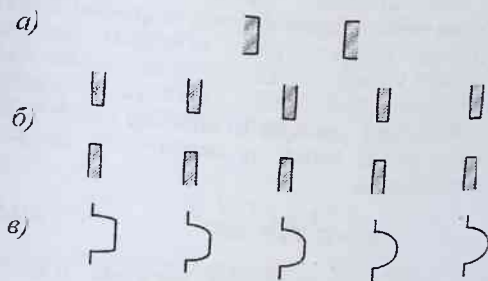
Yassi parallel yuzali Fabri-Pero interferometridan tashqari, optik rezonatorlarda, yuzasi sfera shaklida va parabolik shaklida tayyorlangan interferometrlardan ham foydalaniladi. Elektromagnit to'liqinni, lazer rezonatorida nazariy jixatdan qaraganda, uni bo'lingan qator uch indeksga bog'liq bo'lgan, bir necha funksiya sistemasi sifatida tasavvur etish mumkin. Har biri, aniq bir turdagi to'liqin tebranishlari, to'liqin modasiga ta'luqli bo'lib, TEM_{mnq} bilan belgilanadi. Katta harflar tagidagi birinchi ikki indeks elektromagnit maydonning ko'ndalang strukturasi (ko'ndalang tebranuvchi to'liqin) – TEM_{mn} . Har bir ko'ndalang to'liqin uchun, bir necha

bo'ylama to'liqin to'g'ri keladi. Bu to'liqlar bir-biridan, rezonator uzunligi bo'ylab joylasha olgan $\frac{1}{2} \lambda$ to'liqlarni (yarim to'liqlar) soni bilan ajralib turadi. Bu tebranishlar q-indeksi bilan belgilanadi. Har bir tipdagi tebranishlarning o'zining chastotasi bo'lib, V_{min} bilan belgilanadi.

Generator va uning rezonatorida ishtirok etuvchi bo'ylama to'liqlar modasi, lazerlarda aktiv element va rezonatorning lyuminessensiya chizig'i kengligi bilan aniqlanadi. Bu to'g'risida ko'p adabiyotlar, monografiyalar hamda obzorlar mavjud [18,19,21].

Biz quyida, rezonatoridagi elektromagnit maydonning ko'ndalang va bo'ylama strukturasi aniqlovchi faktorlarni ko'rib chiqamiz.

Ko'ndalang tebranishlar strukturasi, nurlanishning difraksiyasi, ko'zgu va yuzalardan qaytarish natijasida sodir bo'ladigan va nurlanish aperturasini chegaralovchi, elementlardagi diffrakcion yo'qotishlar bilan bog'liq bo'ladi. Elektromagnit maydon to'liqinining, optik rezonatorida taqsimlanishini birinchi bo'lib, Gyugens-Frenel o'rganib chiqqan.



2.8 - rasm. Interferometr Fabri-Pero (a), uzatuvchi muhit analogi (b) maydonning ko'ndalang yuza bo'ylab taqsimoti sxemasining qaytarqich ko'zgularidan nurlanishning qaytish sonini oshishiga qarab (v).

Agar biz, ko'zgu o'lchamlarini to'liqin uzunligiga nisbatan juda katta deb faraz qilsak, rezonatoridagi elektromagnit maydon kuchlanganlik vektori \vec{E} , ko'ndalang joylashgan holatga juda yaqin bo'lsa va bir tekislikda qutblangan bo'lsa, u holda firqish A orqali, yoritilgan maydon u_p Frenel zonasida, yuza integralli orqali aniqlanadi

$$U_p = \frac{jk}{4\pi} \int_A U_a \frac{e^{-jkR}}{R} (1 + \cos X) \cdot dS \quad (2.21)$$

Bunda u_r - tirqishdagi maydon, k - muhitdagi tarqalish doimiyliqi; R - tirqishdan kuzatish joyigacha bo'lgan masofa; X - tirqishning yuzasiga o'tkazilgan normal bilan radius -vektor orasidagi burchak.

Rezonator ko'zguvidan qaytgan nurlanish va boshqa ko'zguvidan qaytgan nurlanish, elektromagnit maydoni bilan bog'liq bo'ladi va (2.21) formula bilan aniqlanadi. Nurlanishning ko'p marta rezonatoridagi harakati va ko'zgulardan ko'p marotaba nurlanishning qaytishi natijasida, elektromagnit maydoning taqsimoti qisman o'zgaradi va vaqt o'tishi bilan statsionar holatga keladi. 2.8.v rasmda statsionar holat sxematik ravishda ko'rsatilgan bo'lib, bu holatning boshlang'ich taqsimoti, bir jinsli bo'lgan holga, mansub bo'ladi. Qaytish jarayonida, elektromagnit maydonning taqsimlanishi, chetki qismlarida, markaziy qismga nisbatan tezroq o'zgaradi. Ko'pgina qaytishlar natijasida, yorug'lik maydoni, chetki qismda, juda kichik qiymatga ega bo'lib qoladi va natijada chetki difraksiyon yo'qotishlar deyarli kamayib ketadi. Umuman olganda rezonatorida nurlanishning d -marta borib kelishi davomida, statsionar holat o'rnatilganda, maydonning qaytargich ko'zgulardagi taqsimoti, kompleks doimiylik aniqligi bir xil bo'ladi va shunday kelib chiqqan holda, quyidagicha yozish mumkin.

$$u_p = (1/Z_R)^d \cdot v(R) \quad (2.22)$$

Bu yerda $v(R)$ - qaytargichlardan qaytganda, o'zgaraydigan taqsimlash funksiyasi bo'lib, interforometning normal turdagi tebranuvi deyiladi. Z_{RC} kompleks doimiylik bo'lib, bu fazoviy koordinatlarga bog'liq emas. Natijada (2.22) va (2.21) formulalardan foydananib integral tenglama olamiz

$$v = Z_R \int_A kv dS, \quad (2.23)$$

Unda

$$K = \frac{jk}{4\pi R} (1 + \cos X) \cdot e^{-jkR}, \quad (2.24)$$

Bu tenglamani analiz qilganda agar, $(r_3^2/\lambda L) \ll (L/r_3)^2$ shart bajarilsa (r_3 - ko'zgu radiusi; L - ko'zgu orasidagi masofa, λ - nurlanishning to'lqin

uzunligi bo'lsa) ko'zgular o'lchami va ularning orasidagi masofa kombinatsiyasini aniqlashda, asosiy, birdan-bir kerakli parametrlar bo'lib, Frenel soni hisoblanadi. $N_{\phi} = (r_3^2/\lambda L)$ taxminan, Frenel zonalar soniga teng bo'lib, bir ko'zguga, ikkinchi ko'zgu markazidan qaraganda ko'rinadi. Har xil turdagi rezonatorlar uchun, tenglama (2.23) echilishi va yana umumiy tahlil qilish masalalari bir necha avtorlar tomonidan ko'rib chiqilgan bo'lib, biz quyida, biz uchun qiziqarli bo'lgan va optik generatorlar parametrlari va lazerlarning optik sxemasini hisoblash uchun kerakli ma'lumotlar va hisoblarning natijasidan foydalanamiz [21, 33, 34].

Ko'p sonli optik rezonatorlarning ichidan, biz uchun qiziqarli va bilishimiz kerak bo'lgan rezonatorlarga, sharsimon va yassi yuza ko'zguli rezonatorlar kiradi.

Sharsimon ko'zguli rezonatorlarda, ko'zgularning ixtiyoriy egrilik radiusi R_1 va R_2 bo'lib, ular bir-biridan L masofada joylashgan bo'lib, bu sistema turg'un yoki turg'un bo'lmagan optik sistemani o'zida namoyon etadi.

Turg'un sistemalarda, qaytargich ko'zgulardan qaytuvchi nurlanishning, davriy fokuslanishi bo'lib turadi. Turg'un bo'lmagan sistemada nurlanish, ko'zgulardan qaytgan sari kengayib boradi. Sistemaning turg'unligining asosiy sharoitlaridan biri, rezonatorda nurlanishning davriy fokuslanib turish holati bo'lib, rezonatorning analogi sifatida quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$0 < \left(1 - \frac{L}{R_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{L}{R_2}\right) < 1 \quad (2.25)$$

2.9-rasmda diagramma keltirilgan bo'lib, uning o'qlari bo'yicha quyidagi qiymatlar qo'yilgan: $g_1 = 1 - (L/R_1)$ va $g_2 = 1 - (L/R_2)$ bo'lib, ular yordamida, ixtiyoriy sharsimon ko'zguga ega bo'lgan rezonatorning, turg'unlik holatini, grafik usul yordamida baholash ko'rsatilgan. Grafikda turg'un holat (shtrixlanmagan) giperbola bilan chegaralangan bo'lib, keltirilgan tenglama bilan aniqlanadi:

$$\left(1 - \frac{L}{R_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{L}{R_2}\right) = 1 \quad (2.26)$$

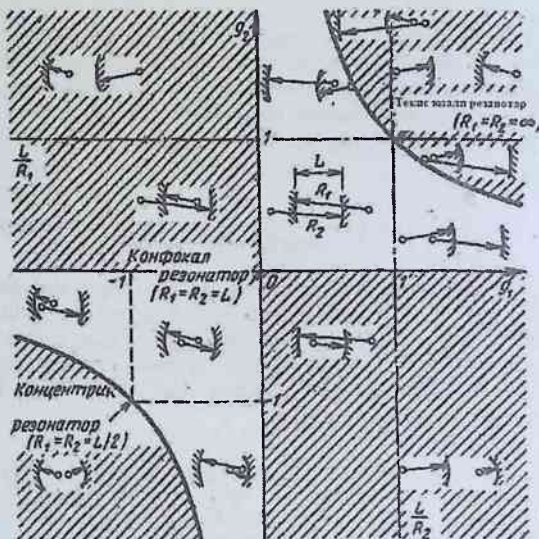
To'liq modalari maydoni turg'un bo'lmagan rezonatorlarga nisbatan, turg'un rezonatorlarda sistema o'qi yaqinida kuchliroq jipslashgan bo'ladi.

Shuning uchun ham turg'un bo'lmagan rezonatorlarda, turg'un rezonatorlarga qaraganda difraksiyon yo'qotishlar ko'p bo'ladi [6].

Bir xil tur va shakldagi ko'zgular, ular orasidagi masofaga qarab, turg'un yoki turg'un bo'lmagan rezonatorlar hosil qilinadi. Turg'un holatdan turg'un bo'lmagan holatga o'tishning tezligi Frenel soniga bog'liq bo'ladi. Silliq o'tish holati esa, Frenel soni kichik bo'lgandagina bo'ladi.

Rezonatorning turg'un bo'lmagan holatga o'tishi bilan nafaqat, difraksiyon yo'qotishlarning absolyut qiymati ko'payadi, undan tashqari, rezonatoridagi boshqa yo'qotishlarning xissasi ham oshadi. Turg'unlik diagrammada, koordinata boshi, egrilik radiusining qiymati bir xil bo'lgan konfokal sistemaga to'g'ri keladi.

Bunda difraksiyon yo'qotishlar, Frenel soni uchun ham bo'ladi. Konsentrik ($R_1=R_2=L/2$) (bitta umumiy markazli) va yassi yuzali ($R_1=R_2=\infty$) rezonator turg'unlik chegarasida joylashgan bo'lsin.



2.9- rasm. Lazer rezonatorining turg'unlik diagrammasi (rezonatorning turg'un bo'lmagan holati shtrixlangan)

Ikkita botiq ko'zguli yoki biri botiq, ikkinchisi qabariq ko'zguli rezonatorlar ham turg'un yoki turg'un emas tizimni vujudga keltirishi mumkin, bu ularning ko'zgularining egrilik radiusi hamda ular orasidagi masofaga bog'liq bo'ladi. Bitta ko'zgusi qabariq, ikkinchi ko'zgusi botiq bo'lgan rezonator, xuddi sharsimon, ikki ko'zguli rezonatorga o'xshab, bir-biridan $2L$ masofada joylashgan ko'zgular kabi, maydon strukturasi yuzaga keladi. Ikkala ko'zgusi botiq rezonator, turg'un bo'lmagan sistema vujudga keladi.

Shunday qilib, turg'un va turg'un bo'lmagan rezonatorlar, asosan uch karakteristikalar bilan bir-biridan farq qiladi. Sodir bo'lishi mumkin bo'lgan turdagi, tebranishlarni spektr taqsimoti, ma'lum turdagi tebranishlar uchun, mavjud bo'lgan har xil yo'qotishlar, rezonator ichidagi har xil turdagi tebranishlarning hajmi kabilardir [35].

2.8. Turg'un rezonatorlar

Rezonatoridagi har xil turdagi to'lqin tebranishiga ta'luqli yorug'lik nurlarining, intensivlik bo'yicha taqsimlanishi, murakkab harakterga ega. Har moda to'lqin tebranishlari uchun, intensivlikning yuza bo'yicha taqsimlanishi, nurlanishning burchak ostida tarqalishi, ularning ko'ndalang tebranuvchi to'lqin modalariga bog'liqligi, har to'lqin modalarining tartibi va to'lqinlarning tarkibiga qarab, har xil bo'ladi. Eng pastki turdagi tebranishlar, asosiy moda tebranishlari deb yuritiladi va ular intensivlikni yuza bo'yicha taqsimlanishi, gaussimon taqsimlanishga o'xshagan bo'ladi. Bunday nurlanishning diametri, ko'zgular diametri qiymatining maksimal intensivlik qiymatidan, e marta kamaygan qiymatida olinadi. Gauss taqsimoti bo'yicha, intensivligi taqsimlagan nurlanish dastasi eng kichik, asosiy diametr qiymatiga qarab, torayib boradi, bu holda, to'lqin frontining fazasi, yassi yuza bo'yicha joylashgan bo'ladi (2.10- rasm). Hosil bo'lgan nurlanish dastasi, giperbola bo'lib, uning asimptotalari, o'qqa nisbatan quyidagi burchak ostida egilgan bo'ladi

$$\theta_r = 2\lambda/(\pi d_0). \quad (2.27)$$

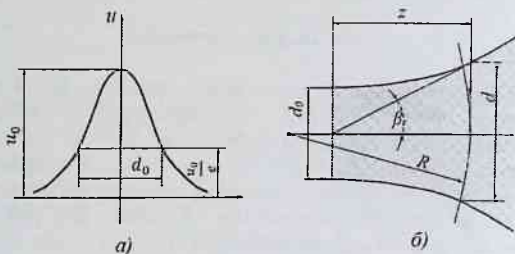
Bu burchak uzoq zonadagi asosiy moda uchun difraksiya burchagiga teng bo'ladi. 2.11- rasmda ko'zgulari radiusi R , d_0 , β , har xil egrilikka ega bo'lgan, turg'un rezonatorning sxemasi keltirilgan. Bunday rezonatorning ko'zgulari yuzasi to'lqin frontining rezonatoridagi modalari fazasiga mos keladi.

Nurlanishni asosiy modalarining, ko'zgu yuzasidagi diametrlari $2d_1$ va $2d_2$ bo'lsa, uning rezonator ichidagi minimal diametri quyidagicha aniqlanadi:

$$d_1^4 = 4 \left(\frac{\lambda R_1}{\pi} \right) \cdot \frac{R_2 - L}{R_1 - L} \cdot \frac{L}{R_1 + R_2 - L} \quad (2.28)$$

$$d_2^4 = 4 \left(\frac{\lambda R_2}{\pi} \right) \cdot \frac{R_1 - L}{R_2 - L} \cdot \frac{L}{R_1 + R_2 - L} \quad (2.29)$$

$$d_0^4 = 4 \left(\frac{\lambda}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{L(R_1 - L)(R_2 - L)(R_1 + R_2 - L)}{(R_1 + R_2 - 2L)^2} \quad (2.30)$$

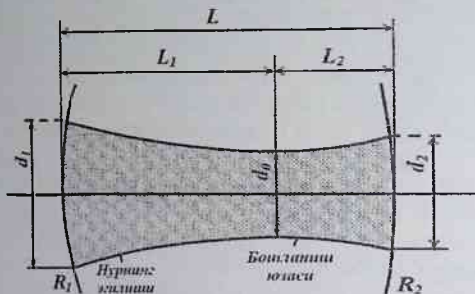


2.10-rasm. Asosiy modaning elektromagnit maydonining taqsimlanishi (a) va nurlanish dastasining parametrlari (b).

Ko'zgu tekisliklari orasidagi masofa l_1 va l_2 bo'lsa va $d=d_0$ bo'lsa, ular quyidagi tengliklar bilan aniqlanadi:

$$l_1 = \frac{L(R_2 - L)}{R_1 + R_2 - 2L}, \quad (2.31)$$

$$l_2 = \frac{L(R_1 - L)}{R_1 + R_2 - 2L}. \quad (2.32)$$



2.11-rasm. Har xil egrilik radiusiga ega bo'lgan, ko'zguli rezonatoridagi, modaning parametrlari.

Umuniy kichik yo'qotishlarga ega bo'lgan rezonatorlar uchun, rezonans chastotalari spektri, quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\nu}{\nu_0} = (q + 1) + \frac{\beta}{\pi}. \quad (2.33)$$

Bu yerda, ν - modaning rezonans chastotasi, β - rezonator tuzilishiga bog'liq bo'lgan faza surilishi (fazoviy siljish). Xalqasimon, yumaloq ko'zgularning katta oraliqdagi N_ϕ , g_1 va g_2 ning 1ga yaqin qiymatlari uchun fazani surilish qiymati:

$$\beta = (2m + n + 1) \arccos \sqrt{g_1 \cdot g_2} \quad (2.34)$$

N_ϕ va q ning boshqa qiymatlari uchun, fazaning surilish qiymati murakkab ko'rinishga ega bo'ladi.

Yo'qotishlar γ Frenel soniga (N_ϕ) va modalar tartibi bog'liq bo'ladi. Bu bog'liqlikning harakteri rezonatorlar turlariga qarab har xil bo'ladi. Konfokal rezonatorlar uchun, chastotalar spektri quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{\nu}{\nu_0} = (q + 1) + \frac{1}{2}(m + n + 1) \quad (2.35)$$

Har xil tartibdagi tebranishlar uchun yo'qotishlarning qiymati Frenel soniga bog'liq bo'lib quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi [36, 39] :

$$\gamma = \frac{2\pi(8\pi N_f)^{2m+n+1} e^{-4\pi N_f}}{G(m+1)G(m+n+1)} \cdot \left[1 + 0 \left(\frac{1}{2\pi N_f} \right) \right] \quad (2.36)$$

Bu yerda, $G(m+1)$, $G(m+n+1)$ - gamma funksiyalar.

Konfokal rezonator ichidagi ko'zgular yuzasidagi nurlanishning diametri kichik bo'lib, u ko'zgu o'lchamlariga bog'liq emas: $d_1 = d_2 = \sqrt[3]{\lambda L} / \pi$, $d_0 = \sqrt[3]{\lambda L} / 2\pi$. Bunday holat, konfokal rezonatorlarning amaliyotda kam ishlatilishiga olib keladi, chunki rezonator aktiv elementining ishlatilish koeffitsienti bunday rezonatorlarda yuqori bo'lmaydi.

Yassi yuza ko'zguli rezonatorlarda, nurlanishning yuzasi, ko'zgu yuzasi o'lchamiga yaqin bo'ladi, shuning uchun, yassi ko'zgu yuzali rezonatorlarda, aktiv element hajmi to'la ishlatiladi.

Har xil tartibdagi tebranishlar uchun, fazaning surilishi va yo'qotishlar, quyidagicha aniqlanadi.

$$\beta = (M_\phi / 4\delta)\gamma \quad (2.37)$$

$$\gamma = 8K_{mn} \frac{8(M_\phi + \delta)}{[(M_\phi + \delta)^2 + \delta^2]^2} \quad (2.38)$$

Bu yerda, $\delta=0.824$; $M_\phi = \sqrt{8\pi N_\phi}$; K_{mn} - n -chi tartibli Bessel funksiyasining $(m+1)$ -chi noli. Bu formulani ham konfokal rezonatorlardagiga o'xshab, Frenel sonining kichik qiymatlari va yo'qotishlar kam bo'lgan xollarga qo'llab bo'lmaydi.

Yassi ko'zguli rezonatorlar tuzilishi tomonidan sodda va ularni tebranishlar soni axamiyatga ega bo'lmagan xollarda ishlatish qulay bo'ladi. Bundan tashqari, yassi parallel ko'zguli rezonatorlarda, ajratib olingan ma'lum turdagi tebranishlar foydali hajmini boshqa rezonatorlarga qaraganda to'liq egallaydi. Bu o'z navbatida, invers muhitni effektivligini oshiradi.

2.9. Turg'un bo'lmagan rezonatorlar

Yuqorida ko'rib o'tilgan turg'un holatli rezonatorlarni, turg'un holati chegarasida, ularning ko'zgulari orasidagi masofali o'zgartirish yo'li bilan yoki ko'zgularning egrilik radiusini oshirish bilan, turg'un bo'lmagan rezonatorlar holatiga olib kelishi mumkin. Bu holdagi turg'un bo'lmagan rezonatorlardan nurlanishni chiqarib olish uchun, rezonatorning bir qaytaruvchi ko'zqusini, yarim o'tkazuvchi qilib tayyorlanadi. Turg'un

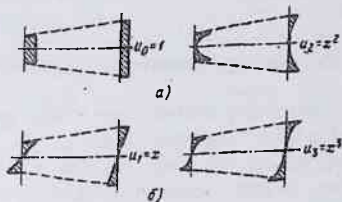
bo'lmagan holatli rezonatorlar uchun, difraksiyon yo'qotishlar, hamma turdagi tebranishlar uchun tezda oshib ketadi.

Katta difraksiyon yo'qotishga ega bo'lgan rezonatorlar ham o'ziga qiziqish uyg'otadi. Bu holat, o'zida xalqa shaklida nurlanishni rezonatoridan olib chiqish imkoniyatini beradi. Bunday holatda, qaytargich ko'zgulardan bir-necha marta qaytgan nurlanish yuzasi kengaya boradi va oxirgi qaytishida shunday o'lchamga etadiki, uning o'lchamlari rezonatorning bir qaytargich oynasining diametridan oshib ketadi va rezonatoridan chiqib ketadi. Bunday, xalqasimon yo'l bilan rezonatoridan nurlanishni chiqib ketishiga yana difraksiyon yo'l ham deb yuritiladi.

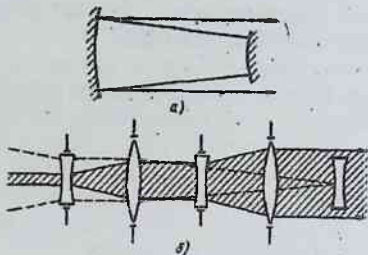
Turg'un bo'lmagan rezonatorlarda, turg'un rezonatorlarga nisbatan birinchi geometrik yaqinlashuvda, past tipdagi modalar energiyasini o'rtacha yo'qotishi kattaligining, ko'zgudan bir marta qaytgandagi (ko'zgu o'lchamlari va ko'zgu formasiga bog'liq bo'lmagan holdagi) qiymati, quyidagicha aniqlanadi [17,38].

$$\gamma = 1 \pm \frac{1 - \sqrt{1 - (g_1 \cdot g_2)^{-1}}}{1 + \sqrt{1 - (g_1 \cdot g_2)^{-1}}} \quad (2.39)$$

(2.39) formuladagi "+" belgisi g ning qiymati turg'unlik diagrammasining birinchi va uchunchi kvadrantidagi qiymatlari uchun bo'lib, "-" belgisi esa, qolgan ikki kvadrantidagi qiymati uchun mo'ljallangan.



2.12-rasm. Turg'un bo'lmagan rezonatoridagi birinchi to'rt turdagi tebranishlar uchun maydonning taqsimlanishi: a-simmetrik, b-antisimmetrik



2.13-rasm. Teleskopik rezonator (a) va uning ekvivalent sxemasi (b).

Turg'un bo'lmagan rezonatorlarning rivojlangan turlaridan biri teleskopik rezonatorlardir. Ular, o'qlari usma - ust tshuvchi ikki ko'zgulni bo'lib, ulardan biri qavariq ($R_2 > 0$), ikkinchisi botiq bo'lib ($R_2 = - [2L + R_2]$) bunday rezonatorning chiziqli kattalashishi $M = 1 + (2L/R_2)$ teng bo'ladi.

Rasm 2.13.da, teleskopik rezonator va uning ekvivalent sxemasi keltirilgan. Agar, yassi yuzali rezonatorida, ko'p karra ko'zgudan nurlanishni qaytishi natijasida, to'lqin frontining qo'zg'alishi, optik sxemaning chellaridagi difraksiyadan bo'lsa, teleskopik rezonatorida, yorug'lik nurlanishi energiyasi, bir necha bor qaytish natijasida, kichik markaziy uchastka yuzasidan kengaya boradi. Qachonki, nurlanish yuzasi ko'ndalang kesimi, ko'zgul o'lchamlariga tenglashib qolganda, difraksiyaning ta'siri, nurlanishning ko'ndalang tarkibining shakllanishiga o'z ta'sirini ko'rsatadi [40, 41].

2.10. Lazer qurilmalarining rezonatorlari

Real lazer rezonatorining to'ldirilmagan boshqa generatorlardan farq qiluvchi asosiy faktorlari quyidagilardan iborat:

1) Optik aktiv muhitni bir jinsli emasligi va boshqa elementlar materiallarida bor bo'lgan nomukammalliklar, qoldiq deformatsiya, nurlanishning sochilish markazlarining mavjudligi va xokazo.

2) Optik damlashning bir tekis bo'lmaganligi natijasida aktiv muhitda sodir bo'ladigan xodisalar.

3) Aktiv elementning ko'ndalang kesim yuzasi bo'ylab inversion holat taqsimotining bir tekis emasligi.

4) To'yinish holatining ta'siri va xar turdagi tebranishlarning rivojlanishi.

5) Rezonator elementlarini sozlashning aniqligi.

Ko'pgina sabablar natijasida, katta burchak ostida tarqalish va ko'pgina bo'ylama to'lqinlarning tebranishi vujudga keladi. Katta burchak ostida tarqalish asosan, rezonatoridagi ko'ndalang to'lqinlarning ko'pligi, optik muhitning bir jinsli emasligi natijasida, to'lqin frontining o'zgarishi natijasida bo'lishi mumkin. To'lqin frontining o'zgarishiga ko'pincha modalar deformatsiyasi ham deb aytiladi.

Lazer rezonatorining hamma elementlari ichida, eng katta optik bir jinslik emasligi, aktiv elementlarda bo'ladi.

Aktiv element materiallari ichida asosan, Rubin kristallida bunday bir jinslik emasligi, sirpanish tekisligi, kuchlanishning bir tekis taqsimlanmaganligi bo'lsa, N_d^{+3} ionlari bilan aktivlashtirilgan shisha kristallari, o'zining yuqori bir jinsligi bilan ajralib turadi. Agar, rubin kristallidan, difraksion tarqalishga ega bo'lgan, yassi to'lqin o'tsa, to'lqinning amplituda-fazasining o'zgarishi nurlanishning burchak ostida tarqalishining sezilarli kattalashida ko'rinadi, bu esa o'z navbatida kristaldagi mikro kuchlanishlarning mavjudligini tasdiqlaydi. Aktiv elementning optik bir jinslik emasligi, lazer nurlanishining modalari turiga ayniqsa, ko'ndalang tipdagi tebranishlarning seleksiyasiga ta'sir qiladi. Agar, biz rezonatorida, aktiv element sifatida, optik bir jinsli rubin kristallidan foydalansak, ko'zgulari yassi yuzali, parallel rezonatorida, turg'un holdagi bir modali rejim (TEM_{00} tipdagi) generatsiyasini olamiz. [42, 43] ishlarda har xil turdagi nurlanishni tarqalishiga sabab bo'luvchi manbalar (yuzaning siljishi, bloklar o'rtasidagi chegaraning bo'linishi va boshqalar) to'laligicha o'rganilgan. Shuni ham aytib o'tish kerakki, yassi yuzali rezonatorlarda nurlanish yuzasi, optik elementlarda bo'lgan bir jinslik emasligi yaqqol nomoyon bo'ladi. Tajribadan ma'lum bo'lishicha, yassi yuzli rezonatorlarda, ko'pincha ko'ndalang to'lqin modalarining yuqori tartibliylari ishtirok etadi, bu esa o'z navbatida, rezonator yo'qotishlarini biroz kamaytiradi.

Aktiv elementlardagi temperaturaning oshib ketishi bilan bog'liq bo'lgan, sindirish koefitsientining o'zgarishi, elementlarning geometrik shaklini o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan, fotoelastiklik hususiyati, optik bir jinslik emasligiga olib keladi.

Lazer elementlarining optik karakteristikalari, temperaturaga bog'liqligi, tadqiqot ishlarida, har tomonlama o'rganilgan [37,43].

Temperatura natijasida sodir bo'ladigan bir jinslik emasligi asosan, aktiv elementlarda bo'lib, boshqa elementlardan farqli, faqat lazer nurlanishining generatsiyasi davomida emas balki, optik damlash davomida ham issiqlik ta'sirida bo'ladi. Neodim shishali lazerda, damlash impulsi

oxiriga kelib, burchak ostida tarqalishining qiymati, ikki martaga ko'paygan, Rubin kristalli rezonatorida esa 3-5 martagacha ko'paygan. Bu kabi holatlar, lazer generatorlarining davriy ish rejimida yoki uzluksiz ish rejimida ishlagan vaqtda bundan ham katta bo'lishi mumkin. Bunday holatlarda optik bir jinslik emasligi muayyan holatga kelgan bo'ladi va rezonatorga to'g'irlash elementlaridan (linza) kiritilib, ro'y bergan o'zgarish tekislanadi. To'lqin frontidagi o'zgarishini to'g'irlash uchun, rezonatorida modulyasiya qiluvchi elementlardan foydalaniladi, u holda lazer generatsiyasi vaqtini qisqarishi sababli, bu vaqt ichida, temperaturaning damlash davridagi o'zgarishi, aktiv element bo'ylab taqsimlanishga ulgurmaydi. Lazer generatorida, termik ta'simi butunlay yo'qotish masalasi juda murakkab bo'lib, bu masala har bir generator uchun, uning hususiyati, aktiv element materiallari hamda optik sxemaning barcha elementlarini hisobga olgan holda, lazer generatorining ishlash rejimiga qarab, zaruriy choralar ko'riladi.

Aktiv muhitda kuchlanishning to'yinish holati erkin generatsiya rejimida asosiy ko'ndalang modaga, deformatsiya jixatidan ko'pam ta'sir ko'rsatmaydi.

Agar, generator aktiv modulyasiya rejimida ishlayotgan bo'lsa, nurlanishning katta kuchayish holatida, to'yinish holati, modalarni o'zgarishiga sabab bo'ladi. Bunday o'zgarishning o'sishi Frenel sonining o'sgani sari ortib boradi.

Kuchlanishning to'yinish holati ayniqsa, bo'ylama to'lqin modalarining generatsiyasiga katta ta'sir ko'rsatadi.

2.11. Bo'ylama to'lqin turlarini seleksiyasi

Fabri-Pero interferometrda, difraksion yo'qotishlar kam bo'lib, Frenel soni katta qiymatga ega bo'lganda, bir jinsli yassi to'qinlarining rezonans holati yuzaga keladi. Bu to'lqinlar rezonatorni o'qi bo'ylab ikki yo'nalishda ma'lum burchak ostida tarqaladi. Bunday holatda rezonatorida turg'un to'lqinlar hosil bo'ladi. Bunday bo'ylama tebranishli to'lqinlarning rezonans holati sharoiti, quyidagicha bo'ladi:

$$q\lambda = 2L \cdot \cos\theta_r \quad (2.40)$$

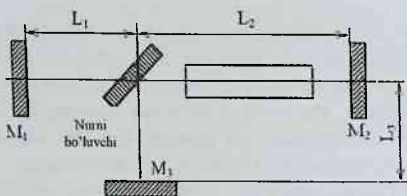
Bunda, q –butun son, θ_r nurlanishning yo'nalishi va rezonator o'qi orasidagi burchak. Bo'ylama to'lqinlar modalari orasidagi chastota intervali $\Delta\nu = (2L)^{-1}$ ga teng. Bunday ko'p miqdordagi bo'ylama to'lqinlarning Fabri-Pero interferometrda va aktiv muhitda generatsiya qilish imkoniyati,

muhitning aktiv markazlarining, turg'un to'qinlarning fazoviy bir jinslik emasliklariga bog'liq bo'ladi. Aktiv markazlar, modalar to'planida, moda fotonlari bilan o'zaro ta'sirdan so'ng, intensiv ravishda energiyasini yo'qota boshlaydilar. Modalar bog'lamida joylashgan aktiv markazlar, bu moda maydonida hech qanday aktiv ish bajarmaydilar. Bu markazlar boshqa to'lqin modalari uchun energiya manbai bo'lib hisoblanadilar.

Bo'ylama to'lqinlar modalarini seleksiyasi uchun effektiv yo'llardan biri qo'shimcha interferometr Fabri-Pero rezonatori ichiga joylashtirib, chastotalar filtri sifatida ishlatilishi maqsadga muvofiq bo'ladi. Qaytarish koeffitsientining qo'shni maksimum va minimumlarning chastotali intervallari $\Delta\nu_p = (2nD)^{-1}$ ga teng, D ning qiymati, quyidagicha tanlab olinadi. Etalon plastinalaridan birining doimiyligi, lyuminessensiya chizig'i kengligiga yaqin bo'lib, ikkinchisi liyuminessensiya maksimumida joylashgan rezonatorning qo'shni bo'ylama to'lqin modasini kamaytirish uchun etarli qaytarish koeffitsientiga ega bo'lishi kerak.

Rezonans qaytargichli rezonator, tuzilishi jixatidan murakkab rezonatorlardan bo'lib hisoblanadi. Murakkab rezonatorlarning bir turi, o'zaro bog'langan rezonatorlar bo'lib hisoblanadi. Ularning rezonatoridagi ikki qaytaruvchi ko'zgularidan tashqari, orasida kamida bitta qo'shimcha qaytarish elementi bo'ladi. Bunday sistemaning chastotalari ketma-ketligi ekvivalent (bir xil oraliq masofada emas bo'lib), har-xil tipdagi tebranishlarning kuchayish koeffitsienti rezonator tuzilishiga bog'liq bo'ladi. Rezonator uzunligini va o'rtadagi ko'zguning o'tkazish koeffitsientini tanlab olinib, qolgan chastotali to'lqinlarga imkon bermasdan, bitta chastotada generatsiya olishga harakat qilinadi. Yana murakkab rezonatorlardan biri, Maykelson turidagi interferometrlil rezonatorlardir.

Rezonatorning mos keluvchi chastotalari uchun L_2+L_1 va L_2+L_3 nurlanishni bo'luvchi sistemada, yo'qotishlar yo'q. Sistemaning mos keluvchi chastotalari uchun kuchaytiruvchi muhitning oraliq elkasi L_2 yoki ikki bir hil darajada kuchaytiruvchi muhitning oraliq elkasi L_1 va L_2 . $L_1=L_3$ bo'lganda, yo'qotishlar sistemaning o'tkazish koeffitsienti miqdoricha quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:



2.14-rasm. Maykelson turdagi interferometri li murakkab rezonator, M_1 , M_2 , M_3 - ko 'zgar.

$$T_{\text{botluv}} \approx \sin^2(\pi/m) \approx (\pi/m)^2 \quad (2.41)$$

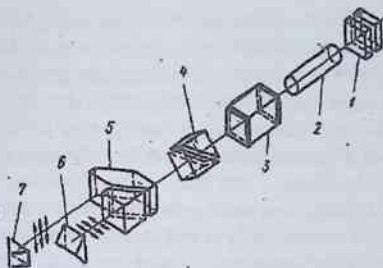
Bu yerda m -uzun rezonatoridagi aksial modalarining soni.

Agar kuchaytiruvchi muhit L_1 yoki L_3 elkada joylashgan bo'lsa va rezonatorning eng kichik uzunligi L_2+L_3 yoki L_1+L_2 bo'lsa, rezonatoridagi yo'qotishlar quyidagi tenglikdan aniqlanadi.

$$T_{\text{botluv}} = 4 \frac{\sin^2(\pi/m)}{1 + (4\pi/m)^2} \approx \frac{4(\pi/m)^2}{1 + 4(\pi/m)^2}$$

Bunday turdagi optik sistemalar, 3-4 marta katta selektivlikka ega bo'ladi. Sistemada nurni bo'luvchi element sifatida, polarizasion prizmadan foydalanish mumkin bo'lib, uning nurni o'tkazish o'qi, nurning polarizatsiya tekisligiga nisbatan 45° burchak ostida bo'ladi. 2.15- rasm. Bu sistemaning yo'qotishlari ham (2.41)- formula yordamida hisoblab topiladi.

Moda maydonlarining fazoviy bir jinslik emasligi tufayli yo'qotishning yo'li, rezonatorida hosil bo'lgan turg'un to'lqinlar rejimidan, rezonatorida bir tomonga yo'nalgan taqsimotli, yuguruvchi to'lqinlar rejimiga o'tish bo'ladi. To'lqin modalari maydonning fazoviy bir jinslik emasligi tufayli yo'qotishning ma'lum bo'lgan usullaridan biri, aktiv markazlarni rezonator o'qi bo'yicha yo'nalgan, turg'un to'lqinlariga nisbatan aralastirishdir.



2.15-rasm. Lazer optik sistemasining ikki bo'lakli rezonatori, 1-rezonansli qaytargich; 2-rubinli aktiv element; 3-KDP kristalli asosida ishlangan elektrooptik zatvor; 4-Glan-Fuko prizmasi; 5-ajratuvchi polyarizasion prizma; 6 va 7-teng yonli prizmalar keltirilgan.

Buni amalga oshirishning ikki yo'li bor: aktiv elementni mexanik tarzda aralashtirib yoki rezonator uzunligini o'zgartirmagan holda, aktiv elementdan turli tomonga, sindirish ko'rsatgichini teskari fazada modulyasiya qilish natijasida amalga oshiriladi [21, 30, 42].

2.12. Ko'ndalang to'lqin modalarini seleksiyasi

Nurning burchak bo'yicha tarqalishini va generatsiyada mavjud bo'lgan ko'ndalang kesimli tebranishlar va ularning deformatsiyasini kamaytirish uchun, har xil yo'llardan foydalaniladi.

Ideal aktiv muhitda va bir jinsli damlashda, modalar deformatsiyasi juda kichik bo'ladi. Generatsiyada mavjud bo'ladigan modalar soni asosan, difraksiya tufayli va noselektiv yo'qotishlarining nisbatiga bog'liq bo'ladi.

Burchak osti seleksiyasining eng oson va sodda yo'llaridan biri, kichkina yuzali diafragmadan foydalanish va uning yordamida Frenel sonini kamaytirishdir. Rezonatorga diafragmani joylashtirilsa, har hil tipdagi tebranishlar uchun difraksiyon yo'qotishlarning absolyut qiymati oshadi.

Ammo, diafragma yordamida eksperiment yo'li bilan diafragma o'lchami tanlab olinib, aktiv elementni optik bir jinslik emasligi effektiv seleksiyasini va boshqa elementlardagi xam bir jinslik emasligi seleksiyasini ham amalga oshirish mumkin. Diafragmadan foydalanilganda, lazer impulsi formasining uzgarishini, lazerning modulyasiya rejimida, nurlanishning kuchayishi, to'yinishi natijasida modalar sostavining

uzgarishini, hamda kichkina yuzali rezonatorning ko'zgulari, turli shaklda bo'lsa ham diafragma yordamida bitta ko'ndalang tipdagi tebranishni, ajratib olish mumkin bo'ladi. Amaliy tomondan qaraganda, diafragma, nurlanishni o'tkazmaydigan plastinkadagi kichik tirqishdan iborat. Diafragmani effektivligini oshirish, diafragmani o'tkazish koeffitsientini sekin-asta kuchsizlanuvchi fil'tr sifatida, diafragma radiusi o'lchamiga qarab, ajratib olingan tipdagi tebranishlarni, ma'lum qonun buyicha taqsimlanishini amalga oshiriladi. Bu nuqta nazardan qaraganda, p'ezooptik effekt asosida, elektrooptik yorug'lik zatvorlaridan (svetozatvorlardan) foydalanish natijasida, boshqariluvchi diafragmalarni yaratish, ancha qiziqarli bo'lib ko'rinadi.

P'ezooptik boshqariluvchi diafragmada, nurlanishning yuza bo'yicha o'tishini taqsimlash mumkin, masalan asosiy ko'ndalang turdagi tebranishlar uchun, bunday diafragmadan foydalanishda, elektrooptik yorug'lik qaytargichga, davriy elektr kuchlanishi ulanib, uning natijasida kristallda mexanik tebranishlar uyg'otiladi, diafragma rolini fototrop yorug'lik qaytargich o'ynaydi. Fototrop yorug'lik qaytargichni diafragma sifatida ishlatilganda, uning nurlanishni o'tkazish koeffitsientining, yorug'lik yuzasiga nisbati, nohiziq bog'lanishda ekanligi hisobga olinadi.

Burchak seleksiyasi usuli, Frenel sonini kamayishiga asoslangan metodlaridan biri bo'lib, u rezonator uzunligini uzaytirishga asoslangan [14.33]. Ammo, rezonator uzunligini uzaytirganda, aberasiya ham oshadi, bu esa o'z navbatida, difraksion yo'qotishlarni o'sishiga olib keladi va bu o'zgarishlar esa, generatsiya qilinayotgan nurlanishning quvvatini pasayib ketishiga olib keladi. Bu turdagi seleksiya metodidan foydalanishga xalaqit beruvchi parametrlar, rezonator uzunligiga bo'lgan talablar bo'lib, u generator nurlanishining diametri o'lchamiga bog'liq bo'ladi. Rezonatorning uzunligi, nurlanish dastasining ko'ndalang kesim yuzasi radiusi kvadratiga proporsional holda oshib boradi va dastaning radiusi 0.5 sm bo'lganda uni amalga oshirib bo'lmaydi. Yorug'lik nurlanishini diametrining o'lchashda, bu usuldan foydalanilganda, ishlatilgan diafragma diametri, yorug'lik nurlanishi diametri o'lchamidan, sal kattaroq bo'ladi.

Burchakli seleksiya usulini, rezonator ichiga, kichik qiyalikda o'rnatilgan Fabri-Pero interferometri yordamida ham amalga oshirish mumkin. Bunday selektorning ishlashi Fabri-Pero interferometrining lazer nurlanishining o'tkazish koeffitsientini nafaqat to'liq uzunligiga, balki lazer nurlanishining tarqalish yo'nalishiga ham bog'liq bo'ladi. Agar, burchakli seleksiya usulidan, nurlanishning ikki yuza tekisligi bo'yicha seleksiyalash kerak bo'lsa, u holda ikkita interferometr foydalanishga to'g'ri keladi.

Yana bir burchakli selleksiyalash usuli- bu ikki muhit chegarasida nurlanishning qaytish koeffitsientini, tushish burchagining chegarviy burchak - to'la ichki qaytish burchagiga yaqinligiga asoslangan. Buning uchun, bir yoki ko'p marta to'la ichki qaytarish burchagiga, yaqin burchak ostida qaytaruvchi prizmadan foydalaniladi, bu holda nurlanishning qaytarish koeffitsientining, tushish burchagiga bog'liqligi sezilarli darajada kuchli bo'ladi.

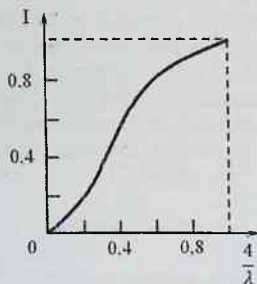
Har hil tipdagi tebranishlarning difraksion yo'qotishlarining orasidagi farqini oshirishning effektiv yo'llaridan biri, lazer rezonatorlarining barqaror ishlashi darajasini boshqarishdir - bu lazer rezonatorining ko'zgulari orasidagi masofani o'zgartirish orqali malga oshiriladi. Bunda rezonatorida sharsimon, yarim sharsimon ko'zgulardan foydalaniladi. Rezonatorni ishlashini barqaror holatdan (turg'un to'lqin) barqaror bo'lmagan (turg'un bo'lmagan to'lqin) holatga o'tkaziladi. Turg'un bo'lmagan holatga o'tganda burchakli selektorlardan foydalanishning effektivligini oshiradi. Masalan, agar burchakli seleksiya kichik diametrlri diafragma yordamida amalga oshirilayotgan bo'lsa rezonatorning turg'un bo'lmagan holatida diafragma diametrini kattalashtirish imkonini beradi [32,47].

2.13. Optik - mexanik yorug'lik to'sqichlari (zatvorlari)

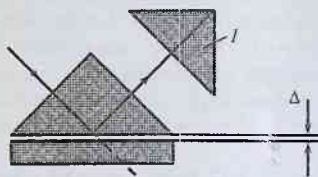
Qattiq jisrni lazerlarda, qisqa va katta quvvatli impulslarni olish uchun maxsus qurilmalardan foydalaniladi, bu qurilmalar yordamida rezonatorning yo'qotishlarini boshqariladi. Bunday qurilmalar yorug'lik to'sqichlari (o'tkazgichlari) deb yuritilib, ularni boshqarish usullariga qarab, bir necha turlarga bo'linadi.

Optik-mexanik yorug'lik to'sqichlari, optik elementlarning joyini o'zgartirish orqali, nurlanishning o'tishi va qaytishini yoki nurlanish tarqalayotgan sirtning mexanik deformatsiyasi yo'li bilan boshqaradilar. Yorug'lik oqimini to'sib qo'yuvchi to'sqichlari yupqa metall disk shaklida bo'lib, tez harakatlanuvchi elektr dvigatelining o'qiga o'rnatilgan bo'ladi. Yassi parallel yuzali rezonatorida aylanuvchi disk, Bitta o'kda joylashgan ikkita linzaning fokal masofadagi yuzasiga o'rnatiladi. Sferasimon ko'zguli rezonatorida, nurlanishning millimetrdan kichik yuzagacha toraygan joyiga, disk o'rnatiladi. Yorug'lik to'sqichlarini yoqib, o'chirish vaqti, bir necha mikrosekundga teng bo'ladi va diskning o'qi atrofida aylanish tezligi va yorug'lik nurlanishining diametri (diskdagi tirqishdan to aylanish o'qigacha) yordamida aniqlanadi.

Katta quvvatli yorug'lik impulslari ta'sirida bunday to'sqichning diafragmasi chetlari emirilishi va havoda uchqun paydo bo'lishi mumkin. Shuning uchun ham bu turdagi to'sqichlari amaliyotda keng qo'llanilmaydi. 2.16-rasmda yupqa havo qatlamining, ikki muhit chegarasidagi qaytarish imkoniyati keltirilgan bo'lib, nurlanishni qaytarish imkonini 0 dan 1 gacha. Bunday qaytargichning ishlash prinsipi 2.17- rasmda ravshan ko'rsatib berilgan. P'ezoelektrik plastinkaga berilgan boshqaruvchi kuchlanishning ta'siri natijasida, uning qalinligi va oraliq masofa Δ o'zgaradi. Havoning qalinligi va boshqaruvchi kuchlanishning qiymati shunday tanlab olinadiki, kuchlanish berilgan vaqtda, plastina va prizma orasidagi havoning qalinligi (zazor) 0 ga teng bo'ladi [37,38].



2.16 - rasm. Qaytatchi nurlanishning intensivligini havo qatlami qalinligiga bog'liqligi (to'lqin uzunligi birligida λ)



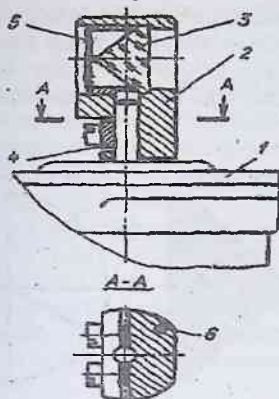
2.17 - rasm. Optik-mexanik kontaktli yorug'lik nur to'sqich sxemasi

Prizma-tonning (1) holatiga qarab, kuchlanish berilganda, nur to'sqich ochiladi yoki yopiladi.

Bunday konstruksiyaning o'ziga xos tomoni, to'sqichning sekin-asta ochilishi [(5-10)·10⁻⁶s] hamda optik kontaktdagi molekullarning katta kuchidir. Ikkita shisha plastinkalarning bir-biridan ajratib olish uchun, (20-50) kg/sm² kuch talab qilinadi. Bu tipdagi nur to'sqichlari ham amaliyotda keng qo'llanilmaydi. Ba'zi bir hollarda, to'sqich o'rni o'zining o'rtacha o'rnatilgan holati atrofida tebranib turuvchi (o'zgaruvchan magnit maydoni ta'sirida) ko'zgulardan ham foydalanilsa bo'ladi.

Nur to'sqichlar ichida, amaliyotda keng o'rin olgan nur to'sqich bu aylanuvchi prizmalı yoki ko'zguli nur to'sqichdir. Bunday optik-mexanik

to'sqichlarda asosan prizma-tomdan foydalaniladi, chunki prizmalı to'sqich yuqori darajada, katta quvvatli lazer nurlanishining ta'siriga chidamli bo'ladi. Optik-mexanik to'sqichning aylanuvchi prizma-tom bilan tuzilishi 2.18-rasmda ko'rsatilgan. Yuqori tezlikda aylanadigan elektr dvigateli o'qiga, 1 prizmani ushlab turuvchi oprava, 2 to'liq ichki qaytarish imkoniyatiga ega bo'lgan prizma 3 o'rnatiladi. Prizmani ushlab turuvchi oprava, maxsus moslama 4 bilan dvigatel o'qiga mahkamlanadi.



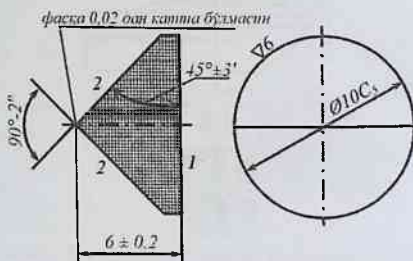
2.18-rasm. Aylanuvchi prizmalı, optik-mexanik, nur to'sqich.

To'sqich elementlari, prizma 3 va opravaning tomi 5, maxsus kley ED6-8 bilan o'rnatiladi.

To'sqichda asosiy e'tibor shunga qaratiladiki, prizmaning o'rnatib, mahkamlanish holati shunday tanlab olinadiki, prizmaning og'irlik markazi aylanish o'qiga to'g'ri kelsin. Bunday holda, prizma ta'sir etuvchi markazdan qochuvchi kuchlar, katta qiymatga ega bo'lmaydi. Prizmaning qirasi, tom 5 ning aylanishi bilan dvigatel o'qiga, perpendikulyar qilib mahkamlanadi. Bunday zatvor uchun prizma, K-S markali shisha yoki eritilgan kvardan, maxsus ishlov berilib tayyorlanib, yura va qimolarga chuqur o'lmosli silliqlash usuli bilan, qayta ishlov beriladi. Prizmani tayyorlash jarayonida, shunga alohida e'tibor qaratish kerakki, to'g'ri burchakli prizmaning charxlangan qirra-ning (daskasi) qalinligi, o'lmosli bo'lishi kerak. Prizmani ushlab turuvchi moslama, maxsus to'g'ri burchakli qirra o'rnatiladigan joyiga, yaxshilab o'lmosli bo'lishi kerak.

silliqlangan bo'lishi kerak, chunki prizma qirrasidan o'tgan yorug'lik, moslama yuzasidan qaytishi zarur, aks holda moslama zararlanadi.

Bunday nur to'sqichlarning tuzilishi, maxsus talablarga javob beradigan darajada ishlanishi kerak. Agar, og'irlik markazini aylanuvchi o'qqa nisbatan, perpendikulyarlik holati (sentirovkasi) to'g'ri bo'lmasa, bu hol dvigatel podshivnigini va konstruktsiya elementlarining, vibrasiya va shovqin natijasida muvozanatsizlikka olib keladi. Muvozanatsizlik ayniqsa katta tezlikda prizma aylanayotganda, kichkina xato ham ortiqcha keraksiz bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlarni yuzaga keltiradi, bunday holat maqsadga muvofiq emas. Ikki hil muvozanatsizlik mavjud: dinamik va statik.



2.19-rasm. Dinamik moslashuv

Statik muvozanatsizlik aylanuvchi qism og'irlik markazining, aylanuvchi o'qqa nisbatan surilganligidan kelib chiqadi. Bu holda aylanish o'qi, inersiya o'qiga parallel bo'ladi (Rasm 2.19). Dinamik muvozanatsizlik, inersiya o'qini aylanish o'qiga nisbatan aylanib ketganligidan kelib chiqadi, bu holda og'irlik markazi, aylanish o'qida yotadi 2.19-rasm. Dinamik muvozanatsizlik, faqat aylanish vaqtida paydo bo'ladi.

Aylanish tezligining oshib borishi bilan, tayanch nuqtalariga nisbatan dinamik yuklamaning muvozanatlashtirilgan massaning kuchi, aylanish soni kvadratiga proporsional ravishda oshib boradi. shuning uchun optik-mexanik to'sqich ning har bir qismlari va bo'laklari dinamik balansirovka qilinib moslashtiriladi.

Muvozanatsizlikning miqdoriy qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$F_s = m_g R_g \omega_g^2. \quad (2.42)$$

Bu yerda F_s - markazdan qochma kuch; m_g - muvozanatlashtirilgan yukning massasi; R_g - muvozanatlashtirilgan yuk o'rnatilgan nuqtaning radiusi;

$$m_g = G_g/g ; F_s = (G_g/g) \cdot R_g \omega_g^2 = (\omega_g^2/g) \cdot (G_g R_g) \quad (2.43)$$

Bu yerda, G_g - muvozanatlashtirilgan yukning og'irligi; g - og'irlik kuchining tezlanishi; $\omega_g = \pi \cdot n_g/30$ aylanish chastotasi, n - 1 sekunddagi aylanishlar soni. Dvigatel o'qiga prizma yoki ko'zguni konsol o'rnatishni (Rasm 2.18.da keltirilgan) aylanish tezligi 30.000 aylan/min bo'lganda, to'sqichdan foydalanishni amalga oshirish, maqsadga muvofiq bo'ladi. Bunda, yorug'lik nuri yuzasining o'lchami diametri 10 mm gacha bo'ladi. Bundan yuqori tezliklarda konstruksiyaning ishonchli ishlashi uchun maxsus podshivniklarning turlari ishlatiladi.

Konstruksiya qism va bloklarining temperaturaning katta diapazonida normal ishlashi uchun va podshivniklarning tez aylanganidagi tebranishlarini (bienie) minimal holatga keltirish uchun valga podshivniklar kichkina kenglikda (0,001-0,004) mm o'rnatiladi. Shunday nozik talablarni bajarish uchun, har bir qurilmada, alohida moslashtirish ishlari olib boriladi. Prizmaning bunday katta tezlikda aylantirish uchun, maxsus elektrodvigatellardan foydalaniladi.

Optik-mexanik nur to'sqichgichli rezonatorni (ishlash sifatini oshirish uchun) modulyasiya qilishda, prizmaning optimal o'ringa joylashtirishdan foydalanishda, yana nur to'sqich uchun qo'yilgan talablar - tez ishgat tushishi va yo'qotishlar kichik bo'lishi talab qilinadi.

Nur to'sqichgich ishini sinxronizatsiyalash uchun lazerni impulsli lampalarni yonishidan boshlab, aylanuvchi prizmaning holatini aniqlash maqsadida, fotoelektrikli, elektromagnitli va elektroiskralli mexanizmlardan foydalaniladi.

Fotoelektrik metodni qo'llanganida, prizmati rotorga, ko'zga o'rnatiladi va prizmaning ma'lum holatida fotopriyomnik ko'zgunidagi yorug'lik nuri bilan yoritiladi. Ko'zgu maxsus kichik quvvatli yorug'lik manbai bilan yoritiladi. Fotopriyomnikning o'rnini (holatini) o'zgartirish orqali, aylanuvchi prizma holatiga nisbatan elektr signalini o'qitib kelishini boshqarish mumkin.

Elektromagnit usulidan foydalanilganda, dvigatel rotoriga deymir magnit o'rnatiladi va oraliq yonidan o'tayotgan vaqtida selencidning zanjirini yoqadi va uning o'ramlarida impulsli tok vujudga keladi.

Elektruchqunli metoddan foydalanilganda, yuqori kuchlanishli zanjirda elektr impulsi vujudga keladi. Bu impulslı tok metallardan ishlangan do'nglikning uchqun chiquvchi oraliqdan o'tayotgan vaqtida paydo bo'ladi. Metall do'nglikli xalqa, aylanib turuvchi prizmaning ushlab turuvchi moslamasiga o'rnatirilgan bo'ladi.

Optik-mexanik nur to'sqichgichlar bir necha kamchiliklariga qaramasdan (shovqin, vibrasiya, kichik F.I.K.) generatsiyasi boshqariladigan lazer qurilmalarida keng qo'llanila boshladi. Ularning tuzilish, konstruksiyasining nisbatan soddaligi va sozdashning osonligi, ishonchiligi hamda keng spektral va temperatura diapazonida ishlash imkoniyatlari ularni keng qo'llanilishiga imkon beradi.

Optik-akustik to'sqichning ishlash prinsipi ultratovushli to'lqinlarni muhitdan o'tganida uning sindirish koeffitsientining o'zgarishiga asoslangan. Opto-akustik to'sqich kremniy yoki kvarts yordamida tayyorlanadi. Opto-akustik to'sqich IAG lazeri bilan ishlashda ancha qulay, chunki lazer generatorining to'lqin uzunligi $\lambda=1,06$ mkm va undan katta qiymalari uchun shaffof (kremniy yoki kvarts) va kichkina yo'qotishga ega bo'ladi. Lazer generatorini modulyasiya rejimidan, uzluksiz rejimda ishlashga o'tkazish uchun, o'zgartgichga (preobrazovatel) ulangan yuqori chastotani uzib qo'yish etarli buladi.

IAG lazerlarining uzluksiz ish rejimida ishlashi ularning aktiv elementlari hususiyatiga bog'liq bo'ladi.

Bu tipdagi to'sqichgichlar, lazer generatorining modalarni sinxronizatsiyalash rejimida ishlashga mo'ljallangan [40, 43, 47].

2.14. Fototrop yorug'lik to'sqichlar

Fototrop svetozatvorlar - (nurlanishni to'suvchi maxsus to'sqichlar), optik materiallar nurlanishni rezonansli-yutilishiga asoslangandirlar. Lazer texnikasida asosan shunday materiallar ishlatiladiki, ularning nurlanishni o'tkazish hususiyatlari yorug'lik nurlanishi intensivligining ortishi bilan oshib boradi. Bunday materiallardan lazerdagi kuchaytirgich kaskadlarini o'zaro bog'liqligini kamaytirish maqsadida va lazerlarning rezonatorining aslliligini modulyasiyalashda qo'llaniladi.

2.14.1. Fototrop yorug'lik to'sqichlarning tuzilishi

Amaliyotda, suyuqli va plenkali fototrop yorug'lik to'sqichlaridan foydalaniladi. Suyuqli fototrop yorug'lik to'sqichlari, kvartsdan yoki

shishadan ishlangan kyuveta bo'lib, ular rezonansli yutuvchi moddaning eritmali aralashmasidan iborat bo'ladi. Kyuveta qalin shishadan yoki kvardan xalqa shaklidagi, ikkita parallel yuzali plastinkadan iborat bo'lib, xalqa bilan optik kontakt usulida birlashtirilgan. Xalqaning chet tomonida, kichkina tirqishcha bo'lib, shu tirqishcha orqali eritma aralashmasi qo'yiladi.

Eritma quyilgandan keyin, tirqishcha maxsus shishadan yoki fotoplastdan yasalgan probka bilan yopiladi. Kyuvetaning detallariga, chuqur optik kontaktga o'tkazilmasdan oldin, maxsus ishlov beriladi, yuzaning toza va aniqligi 1 ta polasagacha ($N=1.0$) bo'lib, xatosining aniqligi 0.2 polasagacha ($\Delta N=0.2$) bo'ladi. Kyuvetaning kiruvchi oynasining paralleligi (5-10) sekund oralig'ida bo'ladi. Kyuveta uchun K-8 markali shisha ishlatiladi. Fototrop muhit qo'yiladigan yuzaning oraliq masofasini qalinligi (1-3mm) atrofida bo'ladi. Fototrop muhit quyilgan yuzaning qalinligi oshishi bilan, organik krasitelda -majburiy kombinasion sochilish (MKS) va majburiy Mandelshtamp-Bryullen sochilishlar (MMBS) natijasida yo'qotishlar ko'paya boradi. Undan tashqari kyuveta qalinligi yupqa bo'lsa va nurlanish Bryuster burchagi ostida tushsa nurlanishning siljishi juda kam bo'ladi.

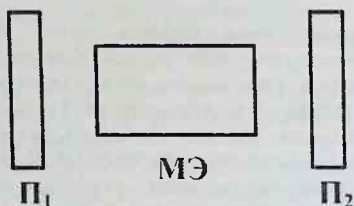
Bunday suyuqlikli fototrop yorug'likto'sqichlar, nanosekundli va pikosekundli impulslar olishda ishlatiladi. Ular, rezonansli yutuvchi muhitni konsentrasiyasini tanlashda va boshqa maqsadlar uchun qo'llaniladi.

Plyonkali yorug'likto'sqichlarning tuzilishi, uning yuqori quvvatli lazer nurlanishning ta'siriga nisbatan barqaror emasligi bilan aniqlanadi. Shu sababli xar bir (yoki bir qancha) ta'sirdan keyin plenkani ish soxasini o'zgartirilib turiladi. Bunday holda hech qanday qo'shimcha sozlash qilinmaydi. Fototrop plyonkalarni yaratish texnologiyasi murakkabligi tufayli tajribada ularning konsentrasiyasini tanlash imkoniyatini bermaydi va bu faqat ishlab chiqarilayotgan plyonkalardan keraklilikini tanlash bilan chegaralanadi. Shunga qaramasdan ular optik generatorlarining kuchaytiruvchi kaskadlari orasidagi bog'lanishni yo'qotishda qo'llashga etarli bo'ladi. Fototrop plyonkalarining asosiy yutuqlari shundan iboratki ular yordamida katta ko'ndalang kesim yuziga ega bo'lgan yorug'lik nurlanishini boshqarish mumkin [44, 45].

2.15. Elektrooptik nur to'sqichlarlar

Elektrooptik nur to'sqichlar qattiq jism yoki suyuqlik moddalaridagi chiziqli (Pockels yorug'likto'sqichlari) yoki kvadratlil (Kerr yorug'lik

to'sqichlari) elektrooptik effektga asoslangan. Elektrooptik yorug'lik to'sqichlar ikki o'zaro kesishgan polarizatorlaridan tashkil topgan bo'lib, ular orasida elektrooptik yoki modulyasion element joylashtirilgan bo'lib u elektr maydoni bilan boshqariluvchi fazali plastinkani rolini o'ynaydi.



2.20-rasm. Nur to'sqichning optik sxemasi
 P_1 -polyarizator; ME- modulyasiyalovchi
 (elektrooptik) element; P_2 -polyarizator

Yorug'lik to'sqichning asosiy parametrlari polarizatorning va elektrooptik elementning harakteristikasiga bog'liq. Elektrooptik materiallar va yorug'lik to'sqichlarining ko'pgina hususiyatlari [47] da ko'rib chiqilgan. Biz yorug'lik to'sqichning lazer texnikasida ishlatiladigan hususiyatlarini quyida muhokama qilamiz [48, 49].

2.16. Pokkels effektiga asoslangan elektrooptik elementlar

Elektrooptik elementlarni tayyorlashda, keng miqyosda elektrooptik xususiyati yuqori bo'lgan $\overline{42m}$ sinfiga qarashli kristallardan foydalaniladi. Ular elektrooptik hususiyatiga ega xozirgi zamonaviy texnologiyalar asosida yaxshi optik-mexanik harakteristikaga ega bo'lgan kristallarni o'stirish imkoniyatini beradi. Bunday kristallar sinfiga shunday kristallar: digidrofosfat kaliy kristallari [KN_2RO_4 (KDP)]; digidrofosfat ammoniy [$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (ADP)]; digidrafosfat rubidiy [RbH_2PO_4 (RDP)]; deyerilash-tirilgan digidrofosfat kaliy [KD_2PO_4 (DKDP)]ga shunga o'xshash boshqa kristallar kiradi: $\text{ND}_4\text{D}_2\text{PO}_4$ (DADP); $\text{NH}_4\text{H}_2\text{AO}_4$ (ADA); KH_2ASO_4 (KDA); SSH_2ASO_4 (SDA); RbH_2ASO_4 (RDA) - bu kristallar, amaliyotda keng qo'llanilmasada ammo, ularning hususiyatlari yorug'lik to'sqichlarni tayyorlovchi mutaxassislarda qiziqish uyg'otadi.

Materiallarning optik indikatrilarini tahlil qilishning ko'rsatishicha, agar elektromagnit maydon kristallning optik o'qi OZ bo'ylab yo'nalgan

bo'lsa kristall ikki o'qli hususiyatiga ega bo'ladi va o'qlar OX' va OY' bilan, kristallning kristallografik o'qlari OX va OY orasidagi burchak, 45° teng bo'lganida, sindirish ko'rsatkichi yangi o'qlar bo'ylab quyidagi qiymatga teng bo'ladi:

$$\begin{aligned} n_x &\approx n_0 + 1/2 n_0^3 r_{63} E \\ n_y &\approx n_0 - 1/2 n_0^3 r_{63} E . \end{aligned} \quad (2.44)$$

Bu yerda n_0 -oddiy nurning sindirish ko'rsatkichi, r_{63} - elektrooptik doimiylik.

Agar, nurlanish optik o'q OZ bo'ylab yo'nalgan va uning polyarizatsiya tekisligi OX yo'nalishi bo'yicha bo'lsa, u holda kristalda ikkita o'zaro perpendikulyar polyarizatsiya komponentlari bir hil amplitudalik va har hil tezlikdagi nurlanish xosil bo'ladi. ℓ - masofani o'tgandan keyin, komponentlar fazasi farqi G ga teng bo'ladi;

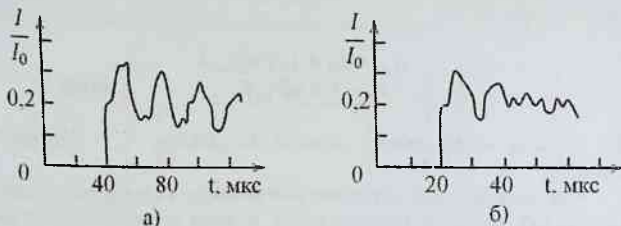
$$G = \frac{2\pi\ell}{\lambda} (n_x - n_y) = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 \cdot r_{63} \ell E = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 \cdot r_{63} U = \pi \frac{U}{U_{\lambda/2}} . \quad (2.45)$$

Kattalik $U_{\lambda/2} = \lambda/2n_0^3 r_{63}$ yarim to'lqin kuchlanishi qiymatiga teng.

Elektr maydonning shunday o'zaro orientatsiyasi bilan, nurlanishning yo'nalishi va uning asosiy o'qlarga nisbatan polyarizatsiyasiga bo'ylama chiziqli elektrooptik effekt deyiladi. Bo'ylama elektrooptik effekt o'zining amaliyotdagi o'rnini KDP kristall asosidagi elektrooptik elementlarda topdi. Nurlanishning asosiy o'qqa nisbatan boshqa yo'nalish orientatsiyasi va polyarizatsiyasida yorug'lik to'sqichlarning ishlashiga kristaldagi tabiiy ikkilanib sinish xodisasi muxim ta'sir ko'rsatadi. Bo'ylama elektrooptik effektgga asoslangan, modulyasiya qiluvchi elementning tuzilishi to'g'riburchakli yoki dumaloq yuzli sterjen shaklida bo'ladi. Z o'qi bo'yicha uzunligi ko'ndalang kesim yuzasi bo'yicha olingan diametriga nisbatan (2-2.5) marta uzunroq bo'ladi (2.21-rasm).

Ikkita elektrodga, elektr kuchlanishi berish bilan, kristalda elektr maydoni hosil bo'ladi va kristallning tuzilishiga qarab, birinchi kristalda nurlanishni o'tishi uchun yumaloq yuza (2.21.a-rasm), ikkinchi kristalda esa, nurlanishni o'tishi uchun to'g'rito'rtburchakli yuzadan foydalaniladi (2.21.b-rasm). Kristalda elektr maydonining bir jinsli tarqalmaganligi natijasida, kristalda p'ezoelektrik kuchlanish yuzaga keladi va kristaldagi to'lqin kuchlanishining, radial yo'nalish bo'yicha o'zgarish sodir bo'ladi.

Kristallning ikki yon yuzasiga, yuza tekisligi tozaligi 14 klass bo'yicha ishlov beriladi, yon yuzalarining o'zaro parallelligi $5 \cdot 10''$ bo'ladi.



2.21 - rasm. To'g'riburchakli elektor impulsi yordamida ochiluvchi nur to'sqichning, nur o'tkazishining vaqtga bog'liqligi
 a - o'lchamlari $24 \times 24 \times 50 \text{ mm}^3$ bo'lgan KDP elementining bo'ylama elektrooptik effektiga asoslangan, modulyasiyalovchi element; b - o'lchamlari $10 \times 10 \times 36 \text{ mm}^3$ bo'lgan KDP elementining bo'ylama elektrooptik effekti ga asoslangan, modulyasiyalovchi element; Elektor impulsi amplitudasi qiymati $-3,5 \text{ kV}$.

Ko'rib o'tilgan, birlamchi yoki "asosiy" elektrooptik effektidan tashqari, modulyasion element hususiyatlariga, ikkilamchi "yolg'on" elektrooptik effekt, katta ta'sir ko'rsatadi. Bu effekt, unga elektr maydoni ta'sirida va teskari p'ezoeffekt natijasida, kristallning deformatsiyasiga sabab bo'ladi. Bu deformatsiya, sindirish ko'rsatkichining optik indikatrasi, qo'shimcha o'zgarishiga olib keladi. Deformatsiyani, kristallning elektrooptik hususiyatiga ta'siri o'rganilgan, KDP tipidagi kristallar uchun, tashqi elektr maydonining, $[001]$ o'q bo'yicha yo'nalishi va elektrooptik doimiylikning yig'indisi, quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$r_{63} = r'_{63} + d_{63}p_{66} = r'_{63} + d_{63}c_{66}\pi_{66} \quad (2.46)$$

r_{63} - mexanik erkin kristallning elektrooptik koeffitsienti, r'_{63} - mexanik qisilgan kristallning elektrooptik koeffitsienti, asosiy elektrooptik effektga teng; $d_{66}p_{66} = d_{36}c_{66}\pi_{66}$ - elastik optik effektini, harakterlovchi kattalik bo'lib, u o'z navbatida d_{66} - p'ezoelektrik modul va elastik optik koeffitsient p_{66} va suyuqlikning elastik qattqlik doimiyliqi, c_{66} hamda p'ezooptik koeffitsient π_{66} bilan aniqlanadi. Agar, elektr maydonining o'zgarish vaqti, kristallning muvozanat holatiga qaytishi vaqtdan kam bo'lsa, kristallda

elastik to'liqlar paydo bo'ladi. Maydonning tez o'zgarishining, kristallga ta'siri, KDP kristallari uchun keng o'rganilgan.

P'ezoelektrik tebranishlarning, elektrooptik doimiylikning yig'indisiga ta'siri, garmonik elektr kuchlanishi natijasida bo'lib, har tomonlama o'rganilgan.

Lazer yorug'lik to'sqichlarining modulyasion elementlari, to'g'ri burchakli elektr impulslari fronti qiyaligi 10^{-2} – 10^{-8} bo'lib, impulsning doimiyliigi 0,1mks dan bir necha millisekundgacha bo'ladi. Shu munosabat bilan, birinchi darajali ahamiyatga ega bo'lgan tebranishlar emas, balki bu tebranishlarni so'ndiruvchi kristalldagi o'tuvchi jarayonlar, ahamiyatga egadir. Eksperimentlar natijalarining ko'rsatishicha, yorug'lik to'sqichidan o'tgan impulsning boshlang'ich qismida, gorizontol maydon bo'lib, so'ngra katta amplitudali murakkab tebranishlar – (bir necha murakkab garmonik tebranishlarning qo'shilishi natijasida) sodir bo'ladi.

KDR kristalldagi to'liq siljishi tezligi $1.8 \cdot 10^5$ sm/s ga teng bo'lib, vaqt bo'yicha olingan xarakteristika yordamida hisoblangan. Z-o'qiga perpendikulyar bo'lgan, yuzadagi kristallning o'lchamlarini bilib, tushayotgan nurlanishning ko'ndalang kesimi yuzasini o'lchamlarini aniqlab va uning kristallning geometrik o'qiga nisbatan holatini bilgan holda, yorug'lik nurlanishi impulsining, maksimal davomiyligini aniqlash mumkin.

Kristallda, yorug'lik nurlanishi impulsining buzilmagan uchastkasi uzunligining davomiyligi, bir necha mikrosekund bo'ladi, undan so'ng yorug'lik nurlanishi impulsi, kristalldagi tebranyotgan to'liq natijasida buziladi. Tebranishlar amplitudasi va uning spektri, kristallning turiga, modulyasiya qiluvchi elementning geometrik tuzilishi va o'rnatilishi usuliga bog'liq bo'ladi.

Modulyasiyalovchi element KDRda, lazer nurlanishining o'tishi natijasida sodir bo'lgan, bo'ylama elektrooptik effekt ta'sirida, temperaturaning radial gradienti paydo bo'ladi.

Bunday temperatura gradientining paydo bo'lishi, qo'shimcha fazalar farqining hosil bo'lishiga olib keladi, bu farq quyidagicha aniqlanadi.

$$G_T = \frac{2\pi n_0^3}{\lambda} \int_0^l a_{66}(x, y, z) \cdot dz.$$

Bu yerda, $a_{66} = P_{66} \cdot \epsilon_6$; ϵ_6 - deformatsiya.

Amaliyotning ko'rsatishicha, bu qo'shimcha fazaning farqi, ayniqsa bir impulsli generatorda kichkina bo'lib, lazerning ishi rejimiga ta'sir o'tkazmaydi.

Hozirgi kunda, kristallar KDDR; RDR; ADR; DKDR, nur qaytargich materiallari uchun bo'lgan talablarni qoniqtiradi.

Bulardan KDR va DKDR kristallari, lazer yorug'lik to'sqichlarini tayyorlovchi asosiy materiallar bo'lib hisoblanadi.

SHu kristallar yordamida, lazer nurlanishini boshqarish masalalari, spektrning 0,4 dan 1,2 mkm oraliq intervalida, o'z echimini topadi. Bu kristallarning asosiy kamchiligi, lazer nurlanishini kam yutib, uni kam o'tkazishidir.

Bizda, yuqori elektrooptik koeffitsientiga ega bo'lgan kristallar qiziqish uyg'otadi. Bularga masalan:

$BaTiO_3; S_{2x}Ba_{1-x}Nb_{2x}O_3; K_{0,6}Zr_{0,4}NbO_3; K_aTa_xNb_{1-x}O_3; KSr_2Nb_5O_{15}$ kiradi.

Bu kristallar, uy temperaturasida ham elektrooptik effekt hususiyatiga ega bo'lib, ularning elektrooptik effekti, KDR kristallinikidan yuqori qiymatga ega. Animo, ularni lazer generatsiya nurlanishini boshqarish uchun qo'llash masalasi, oxirigacha echilmagan. Kristallardan, $3m[LiNbO_3; LiTlO_3]$ klassidagi elementlarni, lazer qurilmalarida qo'llanilishi to'g'risida [38.51] ishlarda ma'lumot berilgan.

Lazer nurlanishi yo'nalishi bilan, kristallografik o'qning, o'zaro qo'l keladigan varianti, bu elektr maydonning, OZ o'qga perpendikulyar bo'lib, nurlanishning optik o'q bo'ylab tarqalishidir.

Optik indikatriza yuzasi tekisligining, OZ o'qiga perpendikulyarligi ellips bo'lib, uning asosiy o'qlari, kristallografik o'qlar OX va OY ga nisbatan burilib, γ burchak hosil qiladi $tg2\gamma = E_x/E_y$. Agar E_x/E_y nisbiyligi o'zgarsa, ellipsga aylanadi.

Elektrooptik effektning qiymati, fazalar farqi G bilan harakterlanadi va faqat $|E|$ ga bog'liq bo'ladi:

$$G = (2\pi/\lambda) \cdot n_0^3 \cdot r_{22} \cdot E \cdot \ell, \quad (2.48)$$

Bu yerda, $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$

Elektr maydonining har bir yo'nalishi uchun, yorug'lik nurlanishi polarizatsiyasiga to'g'ri keladigan, yo'nalishni bilish kerak.

Masalan $E_y=0$ bo'lsa, nurlanish OX yoki OY o'qlari yo'nalishi bo'yicha, agar $E_x=0$ bo'lsa, nurlanishning polyarizatsiya tekisligi, o'qlar OX va OU bilan 45° burchakni tashkil qilish kerak. Kristallar $LiNbO_3$ (JH) va $LiTaO_3$ (JT) asosiy kamchiliklari ularning yorug'lik nurlanishining katta zichliklarida, sinish ko'rsatgichini o'zgarishidir. $LiNbO_3$ kristalli yorug'lik diapazonining 0,35 dan 6 mkm oralig'ida tiniq bo'lib, yorug'likni o'tkazadi. Bu kristallar asosan IK-diapazonda (infra qizil) ishlashga mo'ljallangan (boshqa lazer kristallari masalan rubin kristali uchun ishlatib bo'lmaydi). Ma'lumotlarga ko'ra, $LiNbO_3$ kristallarini, lazer generatorining chastotafi rejimida ishlatish mumkin. Boshqa kristallardan, α -kvars kristallini eslatib o'tish, maqsadga muvofiqdir. Bu kristall, o'zining kichik elektrooptik effektivligiga qaramasdan, o'zining optik sifatini yuqoriligi bilan ajralib turadi. Kvars kristallida, ko'ndalang elektrooptik effektidan foydalanish mumkin. Ammo, uning kuchli optik aktivligi ta'siri, elektrooptik effekt natijasida, katta kuchlanishlarda, kvars kristalli yordamida, modulyasiya qilish imkoni beradi. Kvarsning optik aktivligini yo'qotish uchun, lazer nurlanishi yo'nalishini, optik o'qqa nisbatan kichik burchak ostida $5-7^\circ$ yo'naltirish kerak bo'ladi. Bunday yustirovkani buzish, natijada doimiy faza farqini yuzaga kelishiga olib keladi [29, 33,].

2.17. Kerr effektiga asoslangan elektrooptik elementlar

Modulyasion elementlarga, simmetriya markazi yo'q, chiziqli elektrooptik effektga ega bo'lgan kristallardan tashqari, kvadratli elektrooptik effektga ega bo'lgan, kristallardan tayyorlangan modulyasion elementlar ham kiradi. Bunday kvadratli effektga ega bo'lgan kristallar gruppasiga: perovekitlar AVO_3 va suyuqliklar—nitrobenzol $C_6H_5NO_2$ va serauglerod CS_2 kiradi.

Nur qaytargichlarda, modulyasion element sifatida, kvadratli effektga ega bo'lgan elementlarni ishlatishning qiziq tomoni shundaki, bunday elementlarda tabiatan, ikkilamchi nurning sinish hususiyati yo'qligidir. Nur qaytargichlarni, lazerlar rezonatorida, qayta optik bog'lanishni hosil qilish uchun, kvadratli effektli elementlarni ishlatish o'rinli bo'ladi, chunki berilgan maydon kuchlanishiga, fazalar farqining bog'liqligi mavjud. Bunday gruppada kristallaridan (KTN)—tantalat-niobad va titanat bariy ($BaTiO_3$) lar, yuqori kvadratli effektga ega. Fazalar farqini, har hil variantdagi maydon yo'nalishi va kristallografik o'qlar uchun, optik indikatorni analiz qilib, onsongina aniqlash mumkin.

$$\sum_{ijk l} \left(\frac{1}{n_0^2} \delta_{ij} + r_{ijk} E_k + Q_{ijkl} P_k \cdot P_l \right) x_i \cdot x_j = 1 \quad (2.49)$$

Bu yerda P_k -polarizatsiya vektori komponenti, $\sigma_{ij} = 0$ agar $i \neq j$; $\sigma_{ii} = 1$ agar $i = j$ bo'lsa. Bunday kristallar uchun, tenzor koeffitsienti Q_{nm} ning noldan farqli koefitsientlari quyidagilar:

$$\begin{aligned} Q_{1111} = Q_{2222} = Q_{3333} = Q_{1122} = Q_{2211} = Q_{1133} = Q_{3311} = Q_{12} \\ Q_{1212} = Q_{2323} = Q_{3131} = 1/2 Q_{44} \end{aligned} \quad (2.50)$$

SHuning uchun, XY tekisligida tarqalayotgan va OZ o'qiga 45° burchak ostidagi tekislikda polarizatsiyalangan hamda yo'nalishi, elektr maydoni yo'nalishiga mos bo'lgan yorug'lik nurining, kristall uzunligi bo'yicha fazalar farqi G , quyidagiga teng bo'ladi:

$$G = \left(\frac{\pi}{\lambda} \right) \cdot (Q_{11} - Q_{12}) \cdot n_0^3 P^2 \ell \quad (2.51)$$

Agar, kristallga qo'shimcha o'zgarmas maydon bilan ta'sir ko'rsatilsa, E_{sm} uning ta'sirida, muhitda Z o'qi yo'nalishi bo'yicha, R_{sm} ga teng, doimiy polarizatsiya ro'y beradi. Agarda, modulyasiya qiladigan maydon qiymati, muhit maydoni qiymatidan kichik bo'lsa, ya'ni $\epsilon \cdot E \ll P_{sm}$ bo'lsa, shunday yozish mumkin bo'ladi:

$$\begin{aligned} G = G_{sm} + G_m \\ = \frac{\pi \cdot n_0^3}{\lambda} (Q_{11} - Q_{12}) P_{sm}^2 + \frac{2\pi \cdot n_0^3}{\lambda} (Q_{11} - Q_{12}) \epsilon \cdot P_{sm} E \cdot \ell \end{aligned} \quad (2.52)$$

$(Q_{11} - Q_{12}) P_{sm}$ - qiymatiga chiziqli, effektiv elektrooptik koeffitsient deyiladi. Qo'shimcha maydon ta'sirida paydo bo'lgan fazalar farqi doimiy-ligi shunday tanlab olinadiki, bunda modulyasion harakteristika, katta nishablikka ega bo'ladi:

$$G_{sm} = (2m + 1) \pi / 2 \quad (2.53)$$

bu yerda, m - butun son. Doimiy polarizatsiyaga R_{sm} ga ega bo'lgan kristall uchun, yarim to'liq balandligidagi kuchlanish, quyidagiga teng:

$$U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{2 n_0^3 (Q_{11} - Q_{12}) \cdot P_{sm} \cdot \varepsilon_0 l_k} \quad (2.54)$$

Bu yerda, $\varepsilon_0 = (dp/dE)_0$ - ish nuqtasidagi dielektrik doimiylik. ℓ_k - maydon yo'nalishi bo'yicha kristallning o'lchami. (2.54) dan ko'rinishicha, $U_{\lambda/2}$ qiymati R_{sm} ning qiymatiga, teskari proporsional, bu yerda, berilgan o'zgarmas maydon qiymati E_{sm} ga teng. Kristallardagi kvadratik effekt, perovekitlar gruppasining kelajagini ko'rsatib, nafaqat rezonatorni umumli ishlashini boshqarishi, balki musbat yoki manfiy qayta bog'lanishni tashkil etishi mumkin. Bu turdagi kristallarda modulyasiya parametri, modulisasiya qiluvchi elementlarning temperaturasi ga bog'liq bo'lib, kristallning Kyuri nuqtasi, bu kristallar ishlash temperaturasi xududiga yaqin yoki shu xudud ichida bo'ladi. Modulyasion element sifatida ishlatilayotgan suyuqliklar, kvadratik elektrooptik effektga ega bo'lib, elektr maydon kuchlanishi berilgunga qadar, izotrop muhit hususiyatiga ega bo'ladi, elektr maydoni ta'sirida esa, ular optik o'qli kristall hususiyatiga ega bo'ladi. Bu optik o'q, maydon yo'nalishi bo'ylab yo'nalgan bo'ladi. Bunday holatda, suyuq muhitda, nurlanishning tarqalishi tezligi, uning polarizatsiyasiga bog'liq bo'ladi. Nurlanishning, optik o'q bo'ylab yo'nalgan polarizatsiyasi va optik o'qqa perpendikulyar tekislikdagi, polarizatsiyasi komponentlari orasidagi fazaning farqi, ℓ masofa o'tgandan keyin, quydagiga teng bo'ladi:

$$G = (2\pi \ell / \lambda) \cdot (n_e - n_o) = 2\pi B_k \ell E^2 \quad (2.55)$$

Bu yerda, B_k - Kerr doimiyligi.

Polarizatsiyalangan nur komponentlari va ularning sinish ko'effitsientining farqini, Xavelok nisbati yordamida, oddiy (n_o) va oddiy bo'lmagan (n_e) nurlarning sinish ko'rsatkichi farqi va suyuqlikning elektron maydoni ta'sir etmagan holdagi sinish ko'rsatkichidan, foydalanib aniqlanadi n_c :

$$-(n_c - n_o) = 2(n_o - n_i) \quad (2.56)$$

Ko'rib chiqilgan suyuqliklar orasida, yuqori kvadratik effekt hususiyatiga ega bo'lgan suyuqlik, nitrobenzol $C_6H_5NO_2$ bo'lib, bu suyuqlik uchun Kerr doimiylikining qiymati, boshqa suyuqliklarga qaraganda 100 marta katta qiymatga ega bo'ladi. Lazer nurlanishi to'liq uzunligi $\lambda = 7000$ Å bo'lsa, Kerr doimiyligi $3.6 \cdot 10^{-10}$ sm/V. Kerr doimiyligi, nitrobenzolning

tozaligiga bog'liq bo'ladi. Nitrobenzol suyuqligi uchun, undan elektr tokining o'tishi uchun, kerak bo'lgan kuchlanish kattaligi $(5 \div 10) \cdot 10^4$ V/sm (proboy kuchlanishi). Nitrobenzol, tiniq suyuqlik bo'lib, uning yorug'lik nurlanishi uchun, tiniqlik diapazoni 0,45 dan 1,1 mkm gacha bo'ladi. Kerr doimiyligi, nitrobenzol suyuqligining temperaturasi ham bog'liq bo'ladi:

$$B_k = \frac{n_j - 1}{n_j} \cdot \left(\frac{\mu}{kT} \right)^2 \cdot \frac{1}{5\lambda} \quad (2.57)$$

Bu yerda μ - dipol momentining doimiyligi; h - Bolsman doimiyligi. Temperaturaning oshishi bilan $20-40^\circ\text{S}$, V_k ning qiymati ham, har bir gradus (1°s) uchun, 1,2% oshib boradi.

Kuchlanishning, yarim to'lqin kattaligidagi, Kerr yacheykasidagi qiymati, quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{\lambda/2} = \sqrt{\frac{d_k^2}{2B_k \cdot l}} \quad (2.58)$$

Bu yerda, d_k - Kerr yacheykasi elektrodleri orasidagi masofa.

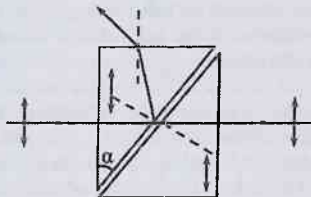
Kerr yacheykasi, germetik usulda ishlangan kyuveta bo'lib, u metall dan, shisha yoki kvardan ishlangan bo'ladi. Elektrodleri maxsus metall yoki nikeldan tayyorlanadi. Kyuvetaning ichidagi bo'shliq, nitrobenzol bilan to'ldiriladi, kyuvetani mahkamlovchi materiallar, kimyoviy ta'sirga chidamli materiallardan tanlab olinadi.

Kerr yacheykasining elektrodleri orasidagi masofa 8mm, elektrodlerin nurlanish bo'ylab o'lchamlari 6 sm, yacheyka tashqarisidan berilgan kuchlanishning yarim to'lqin qiymati 25 kv ni tashkil etadi. Kerr yacheykasi tuzilishining murakkabligi va ishlatishga qulay emasligiga qaramasdan, lazerlar rezonatorlarining ishini, samarasini oshirishda va ularda qayta bog'lanishini amalga oshirishda, keng qo'llanilib kelinmoqda. Lazer generatorini boshqaruvchi intensivlikning qiymatini, yacheykada oshib borishi bilan, Kerr yacheykasida, nurlanishning majburiy kombinatsion sochilishi yuzaga keladi, bu esa nurlanishning spektral tuzilishini o'zgartiradi, bu hol, yacheykani ishlatish imkoniyatini chegaralaydi. Kerr yacheykasining boshqa kristall modulyatorlardan afzalligi shundaki, unda boshqaruvchi elektr impulslarining ixtiyoriy qiymatida, p'ezooptik effekt bilan bog'liq o'zgarishlar bo'lmaydi. Kerr yacheykasiga, to'g'ri burchakli elektr impulsi ta'sir etsa, Kerr yacheykasi tomonidan o'tkazib yuborilgan nurlanish, nurlanish impulsi davomiyligi qanday bo'lishidan qat'iy nazar, to'g'ri burchakli shaklni saqlab qoladi [39, 40, 43].

2.18. Polyarizatorlar (Qutblagichlar)

Yuqorida ko'rib o'tilgan modulyasion elementlar, svetozatvorlar uchun zarur komponentlaridan biri, polyarizasion qurilmalar hisoblanadi. Katta quvvatli lazerlar uchun, har qanday polyarizatoridan foydalanib bo'lmaydi. Masalan, klassik polyarizatorlardan Arens polyarizatori, Vollaston va Nikol polyarizatorlardan, yuqori quvvatli lazerlar uchun foydalanib bo'lmaydi, chunki ularning kontaktlari, Kanada balzami bilan kleylangan bo'lib, yuqori quvvatli lazer nurlariga bardosh bera olmaydi. Agar Glan-Fuko prizmasidan foydalansak, bu prizmada kleylangan kontaktlar yo'q. Uning ikkita island shpatidan tayyorlangan prizmasi, bir-biridan havo qatlami bilan ajratilgan. Island shpatidan tayyorlangan Glan-Fuko prizmasi, optik o'q yo'nalishiga bog'liq bo'lib, u birlamchi nurlanish qiymatini 52% o'tkazishi mumkin (island shpatidagi yutilishni hisobga olinmaganda).

Svetozatvorlar uchun eng mos keladigan polyarizator, bu Archard-Taylor polyarizatori bo'lib, u Glan-Fuko polyarizatorining boshqa turi hisoblanadi. Nurlanishni yuqori o'tkazish qiymatiga ega bo'lishi uchun, Archard va Taylor, Glan-Fuko polyarizatorini o'zgartirib, ya'ni prizmalarning optik o'qlarini, kiruvchi qirrasiga parallel joylashtiriladi (2.22- rasm).



2.22-rasm. Archard-Taylor polyarizatori

Nurning havo bo'shlig'i chegarasi bilan hosil qilgan tushish burchagi polyarizatorida, ichki to'la qaytish burchagidan katta bo'lsa oddiy, agar tushish burchagi, ichki to'la qaytish burchagidan kichik bo'lsa, oddiy bo'lmagan nurlarga ta'luqli bo'ladi. To'lqin uzunligi diapazoni 0,2-2 mkm bo'lsa, island shpati uchun oddiy nurning sinish ko'rsatkichi, ko'rsatilgan chegarada $n_o = 1.903 \div 1.621$ gacha o'zgaradi, oddiy bo'lmagan nur uchun esa, $n_e = 1.576 \div 1.473$, gacha bo'ladi va shuning uchun, nurning ichki to'la qaytishi burchagini, oddiy nur uchun mos keladigan sindirish ko'rsatkichi

1,903-1,621 intervalida olinadi. Polyarizatsiyalangan nur uchun, kirishdagi, oraliqdagi va chiqishdagi yo'qotishlar qiymati ~ 12% ni tashkil etadi.

2.5-jadvalda, island shpatida, nurlanishning yutilishi qiymatlari keltirilgan. Jadvaldan ko'rinishicha, rubinli va neodimli lazer nurlanishlari uchun, I-kategoriya island shpatidan tayyorlangan prizmalar mos keladi, ammo I kategoriyali island shpati, o'zining katta quvvatlarda ishlashiga, to'la kafolat bermaydi. Island shpati tarkibidagi turli tabiiy aralashmalar, uning chidamliyligiga aks ta'sir ko'rsatadi.

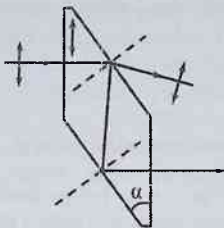
2.5- jadval

Shpami markasi	Yutishi % sm			To'liq uzunligi o'lchash birligi mkm
	1-ya kategoriya	2-ya kotegoriya	3-ya kotegoriya	
Shpatning markasi (turi)				
ISH-U	50	55	60	0,22
ISH-V	10	20	30	0,4
ISH-M	1	3	10	0,7

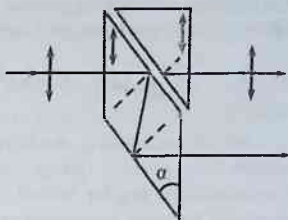
Kuchli, lazer nurlanishi ta'sirida, yuz beradigan buzilishlar, kichkina yoriqlar va pufakchalar shaklida bo'ladi. Hozirgi kunda ham island shpatini tanlab olishning birdan-bir yo'li, unga katta intensivga ega bo'lgan nurlanish yordamida olib boriladi.

Ba'zi hollarda, polyarizatorlardan foydalanish har tomonlama qulay bo'ladi. 2.23-rasm va 2.24-rasmlarda ko'rsatilgan polyarizatorlarning, Archard-Taylor prizmasidan avzalliklari shundaki, ularda birgina rombsimon prizmadan foydalaniladi. Romb shaklidagi prizma, tuzilish tomonidan sodda va qulay hisoblanadi. Romb shaklidagi prizma-polyarizator ham Archard-Taylor prizmasi kabi bir qiymatda α burchakka ega. Rombsimon prizma nurlanishning bir komponentning 88,4%; ikkinchisining 0,05% o'tadi [38, 39, 41].

Rombsimon prizmaning asosiy kamchiligi, uning Archard-Taylor prizmasiga nisbat, kam chidamliyligidir. Bu prizmada, nurlanish prizma qirrasidan qaytib, kesilish zonasini tashkil etadi, bu zonada nurlanishning zichligi, ikki baravar katta qiymatga ega bo'ladi. 2.24-rasmda ko'rsatilib, polyarizatsiyalangan nurlanishning ikkala komponentasi (n_0 va n_1) ishlatiladi.



2.23-rasm. Rombosimon polyarizator



2.24-rasm. Nurlanishni bo'luvchi polyarizasion prizma

Bu, nurlanishni bo'luvchi polyarizasion prizma bo'lib, u ikki prizma kombinatsiyasidan tashkil topgan. Birinchisi, rombsimon polyarizator prizma ikkinchisi, Archard-Teylorning uch qirrali prizmasidan tashkil topgan. Yutilishni hisobga olmaganda bu prizma, o'zidan bir yo'nalishda 88,2% bir turli nurlanish komponentasini, ikkinchi yo'nalishda 86,4% ikkinchi nurlanish komponentasini o'tkazadi. Ba'zi hollarda, polyarizasion element sifatida, Bryuster burchakli stopa yoki Bryuster burchagi ostidagi prizma ham ishlatiladi.

2.19. Nur to'sgichlarning asosiy harakteristikalari va elementlarni yustirovkasiga (sozlashga) bo'lgan talablari

Nur to'sgichlarning eng zarur harakteristikasi, modulyasiyalovchi harakteristika hisoblanadi yoki boshqacha qilib aytganda yorug'lik nurini o'tkazishning elektr maydon qiymatiga bog'liqligi deb aytiladi.

Nur to'sgichlarning modulyasion harakteristikasi, quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{I}{I_0} = \sin^2 \frac{G}{2} \quad (2.59)$$

Modulyasion elementdagi fazalar farqi, bo'ylama chiziqli elektrooptik effekt holatiga asoslangan xolda, quyidagiga teng bo'ladi.

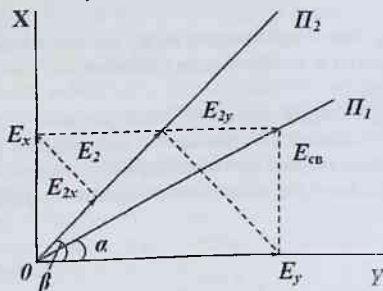
$$G = \pi U / U_{\lambda/2} \quad (2.60)$$

Modulyasion elementdagi fazalar farqi, bo'ylama kvadratik elektrooptik effektga asoslangan holda quyidagiga teng.

$$G = \pi U^2 / U_{\lambda/2}^2 \quad (2.61)$$

Nur to'sgichlarning modulyasion harakteristikalari birinchi bo'lib, elektrooptik element turiga va elektr maydonning, uning ichida taqsimlanishiga bog'liq bo'ladi. Bu faktorlar, yarim to'liqin kuchlanishi qiymatini va uning temperaturaga, to'liqin uzunligiga, p'ezoeffekt ta'siriga, modulyasion elementdagi yo'qotishga va o'zaro kesishgan polyarizatordagi yo'qotishlarga bog'liqligini ko'rsatadi. Bulardan tashqari modulyasion harakteristikaga, nur to'sgich elementlarining o'zaro yustirovkasi ham etarli ta'sir ko'rsatadi. Yustirovkaning, ikki hil turdagi buzilishi bor: Nur to'sgichning optik o'qi atrofida, elementlarning aylanishi va svetozatvor elementlarining gorizonta va vertikal tekisliklardagi burilishidan iboratdir [45, 46].

E_{sv} – elektromagnit maydon amplitudasining, polyarizator P_1 dan o'tgandagi qiymati (Rasm 2.20 qarang) E_x va E_u kristalda x va u yo'nalishi bo'yicha amplitudaning tarkibiy qismi. E_{2x} ; E_{2u} - amplituda E_x va E_u ning polyarizator P_2 o'tkazish yo'nalishi.



2.25-rasm. Nurlanish qaytargichidan o'tgan lazer nurlanishi intensivligining, elektro-magnit maydon kuchlanishining tarkibiy qismi.

2.25-rasmda, yorug'lik nurlanishi tebranishlari amplitudasining E_{sv} kristalloptik o'qlari yo'nalishi va polyarizatorlar o'tkazish yo'nalishiga proeksiyasi ko'rsatilgan. Elektr maydon kuchlanishi vektori, polyarizator P_1 o'tadi va kristallik plastinkasida, asosiy kristallo-grafik o'q yo'nalishi

bo'ylab, ikki tarkibiy qismga E_x va E_u ga bo'linadi. Kristallik plastinkasidan o'tgandan so'ng, tebranishlar E_x va E_u da, o'tish yo'lida farq G yuzaga keladi, va ular, P_2 polarizatoriga kiradi.

Π_2 plastinkasidan o'tgandan so'ng, elektr maydonining tarkibiy qismi E_x va E_u ning, tebranishlar proeksiyalari teng bo'lib, ular n_1 plastinka yo'nalishi bo'yicha va n_2 plastinkaning o'tkazish yo'nalishi bo'yicha o'tadi. Bunday sistemaning o'tkazishi quyidagicha bo'ladi.

$$\frac{I}{I_0} = \cos^2(\beta - \alpha) \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2 \frac{G}{2} \quad (2.62)$$

Tenglikdagi birinchi qism, polarizatorlar orasidagi burchak qiymatiga bog'liq bo'ladi va o'tish yo'li farqi G ga bog'liq bo'lmaydi. Nurlanish qaytargichlari uchun $\beta - \alpha = \pi/2 \pm \Delta\varphi$, bu yerda $\Delta\varphi$ - optik o'q atrofida svetozatvor polarizatorlari uchun ruxsat berilgan kattalikdagi yustirovkaning buzilishi qiymati. Polarizatorning o'tkazishi, agar $\Gamma=0$ teng bo'lsa, u holda,

$$\frac{I}{I_0} = \cos^2(\pi/2 \pm \Delta\varphi) = \sin^2 \Delta\varphi \quad (2.63)$$

bo'ladi. Shunday qilib $\Delta\varphi$ ning qiymati, yopiq nurlanish qaytargichning o'tkazishi mumkin bo'lgan qiymat bilan belgilanadi. Agar mumkin bo'lgan o'tkazish qiymati 0,5% bo'lsa $\Delta\varphi = 4^\circ$ bo'ladi.

Agar, $\beta - \alpha = \pi/2$ bo'lsa, polarizator yustirovkasining buzilishi natijasida, nur o'tkazish imkoni bo'lmasa, u holda KDP kristallining modulyatsiyalovchi elementida, bo'ylama elektrooptik effektdan foydalaniladi. Burchak α , polarizatorning o'tkazish yo'nalishi bilan, $Z=0$ tekislikdagi, optik indiktrisasining asos o'qlaridan biri orasidagi burchakdir. Bu holda $\alpha = (\pi/4) \pm \Delta\alpha$. $\Delta\alpha$ - KDR kristallining kristallogra - fik o'qlari va polarizatorning o'tkazish o'qlari orasidagi yustirovkasining buzilishi qiymati uchun, berilgan mumkin bo'lgan qiymat. Bu holda,

$$\frac{I}{I_0} = \cos^2 2\Delta\alpha \sin^2 \frac{G}{2} \quad (2.64)$$

$G=\pi$ bo'lsa, svetozatvor ochliq bo'lib, svetozatvordagi yustirovkning buzilishi natijasidagi yutilish qiymati, shunday aniqlanadi:

$$T_{yutit} = \sin^2 2\Delta\alpha \quad (2.65)$$

Agar $\Delta\alpha = 3^\circ$ bo'lsa, $T_{yutit} = 0.5\%$ bo'ladi. Archard-Taylor polarizatsion prizmasining gorizontal va vertikal tekisliklardagi yustirovkasining buzilishi, svetozatvorning o'tkazish va yutish xususiyatlariga ta'sir o'tkazmaydi. Yorug'lik nurlanishi yo'nalishiga nisbatan, modulyasiyalovchi elementning yustirovkasini buzilishi, katta ahamiyatga ega bo'lib, nurlanish qaytargichning o'tkazish qiymati kattaligi, na faqat nurlanishning yo'nalishi hamda elektrooptik elementning optik o'qi orasidagi burchakka, balki yana yustirovka buzilgan tekislikning, optik o'q joylashgan tekislik va kristallografik o'qlardan biri bilan bo'lgan, burchak kattaligiga bog'liq bo'ladi. Bo'ylama elektrooptik effektiga asoslangan, modulyasiyalash elementi kristalli KDRda, Z o'qi va nurlanishning yo'nalishi orasidagi burchak Θ kichkina bo'lsa, tenglamadan nurlanishlar orasidagi o'tish yo'li farqi Γ , quyidagicha aniqlanadi: [48, 52].

$$G = \frac{2\pi n_0^3 r_{63} E l}{\lambda} + \frac{\pi l}{\lambda} \frac{n_0^2 - n_e^2}{n_e^2} n_0 \theta^2 = \pi \frac{U}{U_{\lambda/2}} + G_0 \quad (2.66)$$

Agar, nurlanishning yo'nalishi XOZ tekisligida, Z o'qiga nisbatan, Θ burchakka og'sa va yustirovka XOZ va EZ tekisliklarida buzilsa, o'tish yo'li o'rtasidagi farq G_0 , nolga teng bo'ladi.

2.20. Optik ventillar

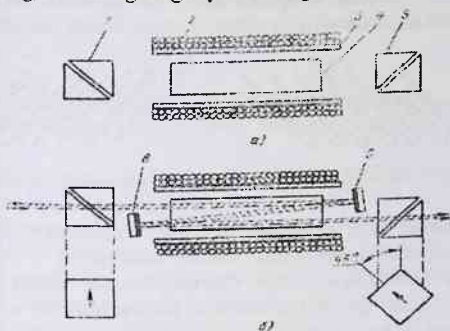
Yuuruvchi to'qinli lazerlarda yoki optik kuchaytirgichlarda, optik ventillar xizmatidan foydalaniladi. Ular, lazer nurlanishini faqat bir tomonga o'tkazib yuboradi. Optik ventillarning ishlashi, Faradey effektidan foydalanishga asoslangan. Faradey effekti, magnit maydonida ba'zi moddalardan yorug'lik nurlanishining o'tishi natijasida, nurlanishning polarizatsiya tekisligining burilishi xususiyatiga asoslangan. Optik ventil, ikkita polarizatoridan iborat bo'lib, ular orasiga, maxsus xususiyatga ega bo'lgan element joylashtiriladi. Bu elementning xususiyatiga, Faradey effekti yordamida erishiladi. Faradey effekti asosida, polarizatsiya tekisligining burilish yo'nalishi, magnit maydon yo'nalishiga bog'liq bo'lib, nurlanishning tarqalish yo'nalishiga bog'liq bo'lmaydi. Polarizatsiya tekisligining, tabiiy burilishidan farqli ravishda, ba'zi moddalarda burilish burchagidan, nurning o'tib, qaytishdagi yo'nalishini o'zgartirishi sabli, yuzaga kelgan burilish burchagi qiymati, kompensasiya qilinmay, balki bir- biriga

qo'shiladi. Polyarizatorlarning asosiy tekisliklari, bir-biri bilan 45° burchak ostida bo'ladi, shuning uchun birinchi polyarizatoridan o'tgan nur to'liqini, ikkinchi polyarizatoridan o'tganda, o'z kuchini yo'qotmaydi qaytib (o'zaro burchak 45° ligicha qolsa), o'z yo'nalishini o'zgartirgan nurlanish to'liqini, ikkinchi polyarizatoridan o'tadi ammo, birinchi polyarizator uni o'tkazmaydi, bunga sabab Faradey effekti hisoblanadi.

Chiziqli-polyarizatsiyalangan nur uchun, Faradey effekti quyidagi ko'rinishda berilgan:

$$\theta_H = W_B H l, \quad (2.67)$$

Bu yerda θ_H - polyarizatsiya tekisligining burilish burchagi gradusda;
 W_B - Verde doimiyligi, nur tarqalayotgan modda uchun;
 H - nur yo'nalishi bo'yicha magnit maydon kuchlanganligi;
 l - nurning, raodldagi o'tgan yo'l uzunligi.



2.26-rasm. Optik ventillar.

a - bir maratta o'tishli; σ - uch maratta o'tishli; 1 va 5 - polyarizatorlar (Archard-Teylor prizmasi), 2 - elektromagnit o'rani, 3 - magnitsiz materialdan ishlangan karkas, 4 - katta Verde doimiyligiga ega bo'lgan shisha sterjen, 6 - 100% qaytaruvchi ko'zgu.

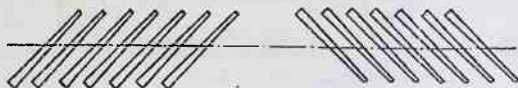
Ventilning optik sxemasi, 2.27- *a, b* rasmda ko'rsatilgan. Kichkina diametrli, nurlanish yuzasi kichkina uzunlikka ega bo'lgan, ishlovchi modda va kichik magnit maydonda ishlovchi qurilma uchun, ko'p maratta o'tkazuvchi ventildan foydalanish qulay.

Polyarizatorlar sifatida, optik ventil sifatida Archard-Taylor prizmasidan foydalanilsa bo'ladi. Ammo, bunday prizmalarni katta aperturali nurlanishlar dastasi uchun (≥ 25 mm) ishlatish juda qimmat bo'lib, katta prizmalarni ishlash texnologik tomondan qiyinchilik tug'diradi.

Yuqori darajadagi polyarizatsiyaga ega bo'lgan nurlanishni kam yutishi va katta quvvatli nurlanishlar uchun chidamli element bo'lib, stopa plastinkalari hisoblanadi. Stopaning materiallari va plastinkalar soni quyidagi nisbat asosida tanlab olinadi:

$$P = \frac{1 - (2n/n^2 + 1)^{4m_p}}{1 + (2n/n^2 + 1)^{4m_p}} \quad (2.68)$$

bu yerda P-stopaning polyarizatsiyalash darajasi; m_p - plastinalar soni Bryuster burchagi nishabligida; n - sinish koeffitsienti. Rasm 2.27 da, plastinalarning stopada joylashishi ko'rsatilgan. Plastina yuzalari bir-biriga nisbatan (kichik 1° burchakka og'ishtirilgan) burchak ostida bo'lib, to'g'ri yo'nalgan va bir necha bor qaytgan nurlarning tarqalishiga imkon bermaydi.



2.27-rasm. Stopada plastinalarning joylashish sxemasi

Plastinalarning 2.27 -rasmda ko'rsatilgan tartibda joylashuvi, nurning ko'ndalang siljishini oldini oladi. Bunday sistemaning, polyarizatsiyalanmagan nurni o'tkazish qiymati, 0,4 ga teng. Faradey effekti yordamida, mustaqil hususiyatga ega bo'lgan element, tuzilish jihatidan tekis parallel yon yuzaga ega bo'lgan va yon yuzasi $\lambda/4$ yuza tekisligida silliqdashirilgan tiniq, shaffof sterjendan tashkil topgan. Ventillarni ishlab chiqarishda asosiy qiyinchilik, materiallarni tanlab olish bo'ladi. Chunki Verde doimiyliigi, to'liq uzunligining oshishi bilan kamayadi ($W_n = A/\lambda^2$, bu yerda A-materiallarga bog'liq bo'lgan doimiylik). Ayniqsa, materiallarni nurning infraqizil diapazonidagi xududida ishlaydiganlarini tanlab olish, ancha qiyinchilik tug'diradi. Ventillar uchun ko'proq to'g'ri keladigan materiallardan shisha hisoblanadi. Uning yordamida, ichki yutilish jarayonini kamaytirish mumkin va ichki kuchlanishlar natijasida sodir bo'ladigan nurning ikkilamchi sinish hususiyati effektini kamaytirish va boshqalardir. Faradey effekti tomonidan olib qaraydigan bo'lsak, yaxshi

hususiyatga ega bo'lgan materiall sifatida, qo'rg'oshinli shishani olishimiz mumkin. Faradey magnit maydoniga asosiy yuqori talab, yuqori magnit induksiyasi (2,5-10 kGs), magnit maydonning bir xilligi (nurning yo'nalishi va yuzasi bo'yicha), optimal o'lchovlari, og'irligi, maksimal quvvati va sovutishga bo'lgan talablar hisoblanadi. Tajribadan ma'lum bo'lishicha, magnit maydonining bir xilda bo'lish talabi, $\Delta H/H = \pm 4\%$ ga teng bo'ladi. Har qanday elektromagnitlar, o'zgarmas tok manbayidan foydalanganda, doimiy magnitni, azot temperaturasigacha sovutish talab qilinadi. Bu asosan, magnitdan yuqori darajada issiqlikni chiqishi bilan bog'liq (H^2 -proporsional holda). Ammo, impulsli lazerlarda, doimiy magnit o'rniga, impulsli optik ventillardan foydalansa bo'ladi. Bunday ventillar uchun, havoli o'zak va impulsli manbali solinoiddan foydalaniladi. Optik ventilning effektivligi, nurni to'g'ri va teskari yo'nalishda o'tkazish koeffitsienti hamda yo'qotishlar natijasi va o'zaro bog'liqlikni echish koeffitsienti bilan aniqlanadi. Ko'pincha, bog'liqsizlik koeffitsientining qiymati (26-30)db va yo'qotishlar qiymati (1,2-1,4)db. Nurlanishning aperturasi qancha katta bo'lsa, bog'liqsizlik koeffitsienti shuncha kichik bo'ladi [49, 52, 53].

II - Bo'lim bo'yicha o'zlashtirish savollari:

1. Boshqariladigan elektrooptik zatvorlar, ularning turlari va ishlatilishi?
2. Oddiy va g'ayrioddiy nurlar nima, ularning kelib chiqishi va bir-biridan farq qiluvchi hususiyatlari?
3. Optik kvant generatorlarining rezonatori va uning elementlari?
4. Mexanik nur to'sqichning tuzilishi va ishlash prinsipi?
5. Pokkels effektiga asoslangan elektron-optik elementlar?
6. Kerr effektiga asoslangan elektrooptik elementlar
7. Optik ventillar to'g'risida nimalar bilasiz?
8. YOrug'lik nurining qutiblanishi to'g'risida nima bilasiz?
9. Qutiblagichlar nima va ular qanday ishlaydi?
10. Optik rezonatorlarning turlari.
11. Optika mexanik nur to'sqichning qanday turlarini bilasiz?
12. Elektrooptik qaytargichlar va ularning turlari.
13. Optik rezonatorlarda pikosekundli impulsleri shakillantirish.
14. Optik kvant kuchaytirgichlarning turlari.
15. Optik kvant kuchaytirgichlarning ishlash prinsipi.
16. Regeneratsiya kvant kuchaytirgichlari
17. CHiziqli va nochiziqli qaytarigichlar

18. Optik ko'zgular va ularning turlari
19. Optik sistemani sozlash (yustirovka) usullari
20. Optik rezonatorni sozlash usullari
21. Optik ko'zgularning og'ish burchagini o'zgartiruvchi mexanizmining tuzilishi.
22. Prizmalar, ularning turlari va vazifalari qanday amalga oshiriladi?
23. Optiko-mexanik nur to'sqichlar qanday bo'ladi va ularning ishlatilishi?
24. Fototrop znur to'sqichlar nima va ularning tuzilishi?
25. Elektrooptik nur to'sqichlar nima, ularning turlari va ishlash prinsiplarini so'zlab bering?
26. Qutiblagichlar nima va ulardan nima maqsadda foydalaniladi. ularning turlari, tuzilishi?
27. Nur to'sqichlarning optik sxemasi va ularning tuzilishi?
28. Optik kvant generatorlarining ishlash rejimlarini tushuntirib bering?
29. Nima sababdan lazer nurlaishini majburiy nurlanish deyiladi?
30. Archard-Teylor prizmasini tuzilishi va ishlatilishi?
31. Kerr yacheykasining tuzilishi va ishlash prinsipi ?

III BO'LIM

3. OPTIK REZONATORLARNI BOSHQARUVI

3.1.1. Nanosekundli impulslarni olish

Impulslar davriy uzunligi bir necha nanosekundan, bir necha o'n nanosekundgacha bo'lgan lazer impulslarini, oddiy optik sxema yordamida olish mumkin.

Bunday lazerlarning rezonatori 100% tekis parallel yuzli va yarim o'tkazgichli ko'zgulardan va ular orasida joylashgan fototrop svetozatvor hamda aktiv elementdan iborat.

Bunday ikki komponentli sistemada, generatsiyani rivojlanish kinetikasiga, aktiv elementdagi majburiy energetik sathga o'tishlar va fototrop zatvorda nurning rezonansli yutilishidan tashqari, aktiv muhitdagi inversiya qiymatining kattaligiga, optik damlash va o'z-o'zidan o'tishlar jarayoni ta'sir ko'rsatadi. Generatsiya jarayonining balans tenglamasi, bir modali yaqinlashuvda, tenglamalar sistemasi yordamida fotonlarning zichligi F va aktiv energetik

sathlardagi invers holatining farqi $N=N_2 - N_1$ hamda rezonansli-yutuvchi muhitdagi holat $M=M_2-M_1$ ikki qavvatli model sifatida olingan. Ikkala muhit uchun $N_0=N_1+N_2$; $M=M_1+M_2$ bo'ladi. U holda:

$$\frac{d\phi}{dt} = \left(\frac{\sigma_n l_n}{t_1} N - \frac{\sigma_m l_m}{t_1} M - \frac{\gamma}{t_1} \right) \phi + \left(a_n \frac{N_0 + N}{\tau_n} + a_m \frac{M_0 + M}{\tau_m} \right) \quad (3.1)$$

$$a_{n,m} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \Delta\nu_{n,m} \nu / \eta_{n,m},$$

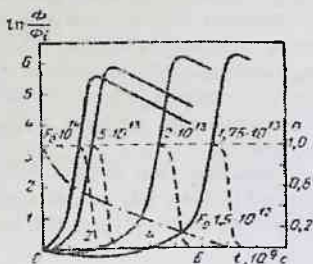
$$\frac{dN}{dt} = -2 \frac{\sigma_n l_n}{t_1} N \phi - \frac{N_0 + N}{\tau_n} + \omega_p (N_0 - P) \quad (3.2)$$

$$\frac{dM}{dt} = -2 \frac{\sigma_m l_m}{t_1} M \phi - \frac{M_0 + M}{\tau_m} \quad (3.3)$$

Bu yerda, σ_n, σ_m - aktiv va rezonansli muhitdagi yutish yuzasi, τ_n, τ_m ikkala muhitning yuqori energetik qavatidagi o'z-o'zidan (spontapn) o'tish vaqti, t_1 - fotonning rezonatoridan o'tish vaqti a_n va a_m - ikkala sistemadagi o'z-o'zidan nurlanishning qanday qismi rezonatoridagi to'lqinlar tebranishida qatnashishi koeffitsientini ko'rsatadi. $a_{n,m}$ - V hajmdagi tebranishlar soni, $\Delta\nu_{n,m}$ - nurlanish yo'lagi kengligi, $\eta_{n,m}$ - lyuminessensiyaning kvant chiqishi, ω_p - damlash yordamida, aktiv muhit zarrachalarini

uyg'otish ehtimolligi. Tenglamalar sistemasi (3.1)-(3.3) analitik holda echimga ega emas bo'lib, tenglamalarni sanoqli echimi va bir necha zarur amaliy ma'lumotlar keltirilgan.

3.1-rasmda olingan, fotonlar zichligi qiymatini va invers holatini vaqtga nisbatan bog'liqligini, fotonlarning har xil boshlang'ich zichliklarga bog'liqligi keltirilgan. Tenglamalar (3.1)-(3.3) dan ko'rinib turishicha, o'z-o'zidan uyg'onish uchun bo'lgan shart, $\sigma_n l_n N - \sigma_m l_m M - \gamma \geq 0$ agar, generatsiyaning boshlanish vaqtidagi yorug'lik nurlanishining intensivligi, fototrop muhitning energetik qavatidagi invers holatning kamayishi M ga teng bo'lsa, yoki boshlang'ich invers holatning darajasini ko'tarilishi N , optik damlash quvvatining oshishiga teng bo'lsagina bajariladi.



3.1-rasm. Fotonlar soni va invers holatning vaqtga nisbatan bog'liqligi

Damlash quvvatini belgilash uchun, o'z-o'zidan uyg'onish sharti bajarilishi (o'z-o'zidan nurlanishiga qarang), fotonlarning boshlang'ich zichligiga bog'liq bo'ladi. Damlash natijasidagi o'z-o'zidan energetik qavatlarga o'tish jarayonini hisobga olmasdan va $L \approx l_n$ va $l_n \gg l_m$ deb hisoblab, tenglamalar (3.1)-(3.3) dan, rezonatoridagi fotonlar zichligini, ma'lum invers holat uchun bo'lgan nisbiylikni olish mumkin va uning yordamida, ko'rilayotgan sistemaning, ba'zi kerakli parametrlarini aniqlash mumkin.

$$\phi = \phi_i + \frac{N_i}{2\beta} \ln \frac{N}{N_i} - \frac{N_i}{2a} \left[1 - \left(\frac{N}{N_i} \right)^a \right] + \frac{N_i}{2} \left(1 - \frac{N}{N_i} \right) \quad (3.4)$$

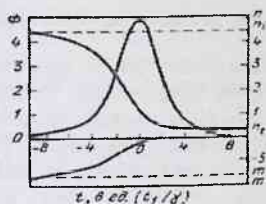
$$M = \frac{N_i}{2a} \left(\frac{N}{N_i} \right)^a \quad (3.5)$$

Bu yerda, $\alpha = \frac{\sigma_m}{\sigma_n}$; $\beta = \frac{\sigma_m c t_1}{v \gamma} N_i$;

Φ_i va N_i - boshlang'ich vaqtdagi fotonlar zichligi va invers holat. Agar $\alpha \gg 1$ bo'lsa, rezonatoridagi fotonlarning maksimal zichligi quydagicha aniqlanadi:

$$\Phi_{max} = \Phi_i + \frac{1}{2} N_i - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta} \ln \beta \right) \quad (3.6)$$

Rezonatoridagi fotonlar zichligining, vaqt bo'yicha o'zgarishi va aktiv element va yutuvchi muhitdagi invers holatning qiymati, 3.2-rasmda ko'rsatilgan [20,21].



3.2-rasm. Rezonatoridagi fotonlar zichligining vaqt bo'yicha o'zgarishi va aktiv element va yutuvchi muhitdagi invers holatning qiymati

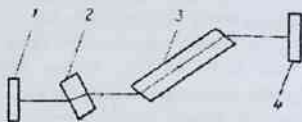
Aktiv element va rezonansli yutuvchi muhitning invers holatini hamda rezonatoridagi fotonlar zichligini, vaqtga bog'liqligi t_1/γ . Optik damlashning o'zgarish qiymatining chegarasini, bir impulsli generatsiyaga to'g'ri kelishi, har xil rezonansli yutuvchi muhitining konsentrasiyasida, juda katta qiymatga ega emas. Optik damlash quvvatini oshirish bilan rezonatorida bir emas ikki, uch va undan ortiq yorug'lik impulslari generatsiyada qatnashishi mumkin, agar damlash quvvati kamaytirilib borsa, oxiri generatsiya to'xtaydi. Xuddi shunga o'xshash voqea, aktiv element temperaturasini oshirib borishi bilan ham sodir bo'ladi. Asosan olganda, rezonatorida tebranishlarning kuchayishi, optik damlashning bir tekis ishlamasligidan va aktiv element temperaturasining, generatsiya impulsi boshlanish momentining, impulsli lampalar yonishi vaqtiga nisbatan, stabil bo'lmisligi natijasidir. Bundan tashqari, generatorning stabil ishlamasligiga, fototron muhitning tiniqlik karakteristikasining vaqt o'tishi bilan hamda fotoximik

reaksiyalar natijasidagi, o'zgarishi ham sabab bo'ladi. Yana shuni ham bilish kerakki, fototron muhitning harakteristikalari, ko'ndalang kesim yuzasining har bir nuqtasi uchun bir xil bo'lishi mumkin, ammo aktiv muhitda, optik damlashning bir tekis emasligi sababli, bir tekis bo'lmashligi ham mumkin. Bunday holat, generatsiya impulsining fazoviy struktura taqsimini, vaqtga nisbatan murakkab bog'lanishiga olib keladi. Chunki, generatsiya invers holatning tarkibi, bir jinsli emasligi natijasida, ko'ndalang kesim yuzasining har bir nuqtasida, har xil vaqtda boshlanib, har xil vaqtda tugashi mumkin. Bundan tashqari, fototron zatvorning yorug'likni o'tkazishi, nurning intensivligiga va aktiv elementda, invers holatning bir tekis emasligining, noxiziq bog'liqligi, ko'ndalang tebranuvchi, bir modali to'lqinlarning seleksiyasini yuzaga kelishiga imkon beradi [20-22].

3.1.2. Pikosekundli impulslarni olish

Pikosekundli impulslarni olish uchun, lazer rezonatorida, bir necha aksial to'lqinlarni uyg'otish kerak bo'ladi. Svetozatvorning tiniqlanish holatining relaksasiya vaqti, ba'zi spontan shovqinlarning intensivligidan ta'sirlanishiga bog'liq bo'ladi. Bunday impulslarni olishning birinchi sharti, optik rezonatorida, qaytargich sirtli yuzaga ega bo'lmagan elementlardan foydalanish bo'ladi. Eng foydali va qulay usullardan biri, optik elementlarning yuzalarini, Bryuster burchagi ostida, tushayotgan yorug'lik nurlanishiga nisbatan joylashtirilgan bo'ladi 3.3-rasm.

Ikkinchi sharti, rezonatorida tiniqlashish holati relaksasiyasi, qisqa vaqtga teng bo'lgan, nur qaytargichdan foydalanish bo'lib, bunda impulsning uzunlik vaqti 10^{-11} - 10^{-12} s jarayonida, yorug'lik nurlanishi impulsini siqish imkoniyatiga ega bo'lishi kerak. Bunday bo'lishi uchun, uyg'otilgan molekullarning relaksasion vaqti, generatsiya impulsi vaqtiga teng bo'lishi kerak.



3.3-rasm. Lazerining pikosekundli impulslar olish uchun mo'ljallangan optik sxemasi. 1-100% qaytartuvchi ko'zgu; 2-fototronli nur qaytargich; 3-aktiv element; 4-yarim o'tkazuvchi ko'zgu.

Nur qaytargich, aktiv muhitining, tiniqlashish holatining relaksasiyasi, avval qandaydir oraliq holatga ega bo'lgan bo'lsa, so'ngra yana avvalgi holatga qaytadi. Bunday qaytish mexanizmi, polimetinli bo'yoqlarga xos bo'lib, ular yordamida, impuls davomiyligi vaqti 10 ps bo'lgan lazer impulsini olish mumkin. Lazerlar va optik sxemalarning parametrlari, fazalarning o'zaro muvofiqligi harakteriga va shartiga bog'liq bo'ladi. Bu maqsadda, fototron nur qaytargichlarning rezonator ko'zgulariga nisbatan joylashish holati, katta ahamiyatga ega bo'ladi. Impuls maksimumlari va ularning intensivligi, nur qaytargichlarning qanday joylashganligiga bog'liq bo'ladi (3.3-rasmga qarang). Fototron to'sqichning joylashishi $X=L/m$ (L - lazer rezonatorning uzunligi, m -butun son, X - to'sqichning 100% li ko'zgu-gacha bo'lgan masofasi) impulslar ketma-ketligi chastotasini oshishiga $f_d = mf_i$ olib keladi, bu yerda $f_i = s/2L$ [31]. Nur qaytargichning joylashish o'rnini $X/L = O$ bo'lishi, praktik tomondan qulay bo'lib, maksimal zichlikka ega bo'lgan, nur dastasini olish imkonini beradi.

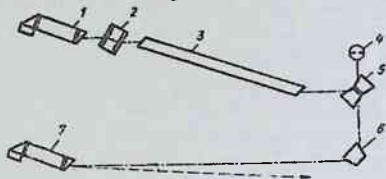
Bunday holda, N_m -sinxronizatsiyalashgan modalar amplitudasining, impuls davomiyligi t_u , quyidagi nisbat orqali aniqlanadi:

$$t_u \approx \frac{2.78 \cdot 2L}{\pi \cdot c N_m} \approx \frac{0.88}{c 2\Delta\nu_r} \approx \frac{2t_1}{N_m} \quad (3.7)$$

bu yerda, $2\Delta\nu_r$ - generatsiya spektrining to'liq kengligi: $t_1=L/s$

Bunday holatda, quvvatning maksimal cho'qqisi, sinxronizatsiyalashgan o'rtacha quvvatga qaraganda N_m marta ko'tariladi. Bu usul yordamida, Rubin kristalli uchun ($2\Delta\nu_r \approx 10 \text{ sm}^{-1}$) bo'lib, $t_u \approx 3 \cdot 10^{-12} \text{ s}$ bo'ladi, neodim kristalli lazer uchun ($2\Delta\nu_r \approx 250 \text{ sm}^{-1}$) bo'lib, $t_u \approx 10^{-13} \text{ s}$ bo'ladi. Lazer nurlanishi, yarim o'tkazgichli ko'zgu-dan chiqishda, ketma-ket impulslar dastasini tashkil etadi, ular orasidagi interval, rezonator-dan fotonlar o'tish vaqtining, ikkiga ko'paytirilgan vaqtiga teng bo'ladi. Agar impulslar ketma-ketligini o'rtacha intensivligini, hamma egallangan interval bo'yicha olsak, lazer nurlanishi intensivligi, rezonatorni modulyasiyalash natijasida olingan, davomiylik vaqti, o'nlab nanosekundga teng bo'lgan impuls-ga teng bo'ladi. Bitta impulsni ajratib olish uchun, impulslar ketma-ketligi dastasini, elektrooptik to'sqichdan o'tkazish kerak bo'ladi, bu nur to'sqich, iskarali ryazryadnik yordamida, bir impulsning o'tishi vaqtida, ochiladi, ammo boshqa impulslar o'ta olmaydi. Bundan bosqqa, bir pikosekundli impulsni ajratib olishning usulidan foydalanish uchun, shunday rezonator xizmatidan foydalanish kerak bo'ladi, bunday rezonator-dan kerakli vaqtda, zaxiradagi yorug'lik nurini ajratib olish imkon

bo'radi. Bir pikosekundlik impulsni ajratib olishda, quyidagi optik sxemadan foydalaniladi, bu sxemada elektrooptik qaytargichlardan foydalaniladi. 3.4-rasmda ko'rsatilgan.



3.4-rasm. Bir pikosekundlik impulsni olish uchun qo'llaniladigan lazerning optik sxemasi. 1,7-Prizma-tomlik elektrooptik qaytargichlar; 2-fototron svetozatvor, 3- aktiv element; 4- nur iskrali razryadnik; 5- yuzasi tushuvchi murga Bryuster burchagi ostida bo'lgan 90° -li buruvchi prizma; 6-ikki 90° -li buruvchi prizmadan tashkil topgan, orasidagi havo bo'shlig'i qalinligini o'zgartirish imkoniyati bo'lgan murni bo'luvchi blok.

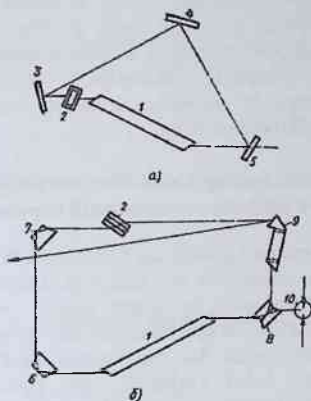
Bunday optik sxemada, hamma elementlarning chiqish yuzalari, nur yo'nalishiga nisbatan, Bryuster burchagi ostida joylashtirilgan bo'ladi.

Lazer rezonatorining optik sxemasi, ikkita elektrooptik qaytargichlardan tashkil topgan bo'lib, qaytargichlarning yon qirasiga, prizma-tom joylashtirilgan, yana fototrop nur qaytargich, aktiv element va buruvchi prizmalardan tashkil topgan.

Nurning bir qismini, rezonatordan olib, prizmalar orasidagi kichik havo bo'shlig'idan o'tkaziladi, uni boshqarish natijasida, nur-iskrali razryadnik elektrodlari orasidan nur o'tkaziladi va nurni o'tkazish hususiyatini boshqarish mumkin bo'ladi. Rezonatorning asilliyliги yoqish, boshqariluvchi nur qaytargich orqali amalga oshiriladi.

Agar, rezonator ichidagi pikosekundli impulsning kattalik qiymati, nur-iskrali razryadnikni ishlashiga etarli bo'lsa, u holda, elektr impulsi yordamida razryadnik, ikkinchi boshqariladigan qaytargichni ishga tushiradi va uning yordamida, yorug'lik impulsi rezonatordan chiqariladi. Boshqariluvchi, elektrooptik qaytargichlar yordamida, yana boshqa optik sxema variantidan foydalanib, pikosekundlik impulsni olish imkoniyatiga yuzaga keladi, masalan doira shaklidagi rezonatorning, optik sxemasi yordamidan foydalanib, 3.5-rasmda, lazer qurilmasining, doira shaklidagi optik sxemasi ko'rsatilgan bo'lib, uning yordamida, pikosekundli impulsni olish mumkin [32,36].

3.5-rasmda ko'rsatilgan generatorda, yarim o'tkazgichli ko'zgdan, pikosekundli impulslar dastasi chiqadi. Elektrooptik zatvorlarni qo'llash, bizga doira shaklidagi sxemani amalga oshirishga imkon beradi va natijada bir pikosekundlik impuls olamiz (3.5- b rasm).



3.5-rasm. Doira shaklidagi optik rezonatorlar:
 a- pikosekund impulslar dastasini olish uchun; b- bir pikosekundli impulsni olish uchun; 1- aktiv element; 2-fototron svetozatvor; 3;4.-100% qaytarguvchi ko'zgular; 5-yarim o'tkazuvchi ko'zgu; 6,7-90°li biruvchi prizmalar, kiruvchi yuzali nur yo'nalishiga Bryuster burchagi ostida bo'lgan; 8-nur bo'luvchi blok, ikkita 90°li biruvchi prizmadan tashkil topgan bo'lib, ular orasidagi havo bo'shlig'i qalinligini o'zgartirish imkoniga ega; 9-o'tkazuvchi elektrooptik qaytargich chiquvchi yuzali murga nisbatan Bryuster burchagi ostida bo'lgan; 10-nur iskarali razryadnik.

Bunday lazerlarda elektroptik qaytargich, generatorming ish rejimini o'zgartiradi. Avval nur, yopiq doira ichida rivojlanadi va maksimal qiymatga erishgandan so'ng, rezonatoridagi elektroptik qaytargich, yig'ilgan energiyani, bir pikosekundli impuls shaklida, sistemadan chiqarib yuboradi [23, 25].

3.2. Lazer rezonatorlarini elektrooptik boshqaruv

Elektrooptik nur qaytargichlar va boshqariladigan elektrooptik qaytargichlardan foydalanib, lazerlarni turli ish rejimida ishlashiga erishish mumkin. Elektrooptik qurilmalar, nurni o'tkazishi (yoki qaytarishini) boshqaruvchi kuchlanish qiymatiga qarab, quyidagi ishlarni amalga oshirishi mumkin: rezonator faolliyilgini oshirish natijasida, [33.34]; modalar sinxranizatsiyasi yordamida, pikosekundli impulslar generatsiyasini olinadi, [35.36] impulslar parametri, tashqi musbat yoki manfiy qayta bog'lanish yordamida boshqariladi.

3.2.1. Rezonatorning ishlash darajasi asilliyilgini tezda bog'lash natijasida, nanosekundli impulslarni olish

Optik kvant generatorlarining asilliyilgini, tezda bog'lab oshirish ishi prinsipini, shunday tushuntirish mumkin. Agar, lampa yordamida damlash vaqtida, rezonatorning asilliyiligi kichik bo'lsa, (yoki misol tariqasida rezonatorning qaytargich ko'zgularidan biri olib qo'yilgan bo'lsa) u holda generatsiya uchun belgilangan shart bajarilmaydi. Damlash davomida, aktiv elementning invers holati kuchayadi, shu paytda, tezda rezonator asilliyilgini oshirsak, (yoki faraz qilamizki rezonatorning ikkinchi ko'zgusi o'z joyida, tezda paydo bo'lib qolsa) u holda, bu generatsiya jarayoni o'z-o'zidan nurlanish natijasida, bir necha vaqt davomida t_3 (ushlab turish vaqti) generatsiyaning chiziqli o'sishi vujudga keladi va so'ngra generatsiya nochiqiq ravijida rivojlanib, aktiv muhit to'yinish holatiga keladi. Vaqtning har bir momentida, rezonator nurlanishning intensivligining oshishi va so'ngra kamayish holati bo'lib turar ekan, nurlanishning bir qismini, rezonator ko'zgularining biridan tashqariga chiqariladi, [37] ishda ko'rsatilishicha, chiqish energiyasi uchun, quvvatning cho'qqi qiymati va monoimpulsning rivojlanishi uchun, ushlab turish vaqtini (vermya zaderjki) ko'rsatish uchun, uch qavatli tenglamalar sistemasidan foydalaniladi va u quyidagicha ifodalanadi:

$$E = (\gamma_n / 2\gamma)(n_i - n_f)N_0 h\nu V \quad (3.8)$$

$$P = \gamma_n \varphi N_0 h\nu V / \gamma t_1 \quad (3.9)$$

$$t_3 = \frac{t_1}{a_0 l (n_i - n_p)} \ln \left(1 + \frac{n_i - n_p}{200 \varphi_i} \right) \quad (3.10)$$

Bu yerda, n -nisbiy invers holat, u teng $(N_2 - N_1)/N_0$, N_1 va N_2 - asosiy va qo'zg'atilgan holatdagi atomlar soni; $N_0 = N_1 + N_2$; t_1 -rezonator dan fotonlarni o'tish vaqti; $n_i = \gamma' \alpha_a t$; l - aktiv elementning uzunligi; α_0 - aktiv element yorug'lik nurlanishining maksimum nurlanish liniyasidagi yutish koeffitsienti; γ -to'la yo'qotishlar (tarkibiga foydali γ_p , zararli γ_v) (γ_v -optik sxema elementlaridagi yutilish va sochilishlar bilan aniqlanadi); $\gamma_p = 1/2 \ln R_1 R_2$; R_1 va R_2 - chetki qaytargichlarning qaytarish koeffitsiyenti; n_p, n_f boshlang'ich va oxirgi nisbiy invers holat, tenglik bilan shunday bog'langan:

$$n_p \ln \frac{n_f}{n_i} = n_f - n_i \quad (3.11)$$

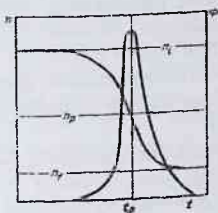
Kattalik φ - ning qiymati, quydagicha aniqlanadi.

$$\varphi = \varphi_i + \frac{1}{2} \left[n_p \ln \frac{n}{n_i} - n - n_i \right] \quad (3.12)$$

bu yerda, $\varphi = \frac{F}{N_0}$, F - rezonator dagi kvantlar zichligi.

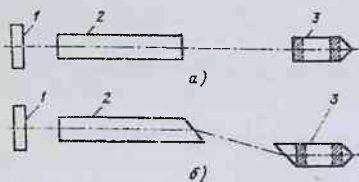
$$\varphi_i \approx \frac{n_p}{n_i} \cdot \frac{1 + n_i}{8\pi\tau_1} t_R \Omega \quad (3.13)$$

Bu yerda, τ_1 - qo'zg'atilgan holatning yashash vaqti; Ω - lazer nurining oniy (teles) burchagi; $t_R = l/\gamma$ rezonator da kvantning yashash vaqti. Monoimpulsli nurlanish quvvatining, vaqtga nisbatan bog'liqligi, murakkab harakterga ega bo'lib, ular EXM yordamida hisoblanishi mumkin. 3.6-rasmda fotonlar zichligining va invers holatning vaqtga nisbatan bog'liqligi ko'rsatilgan.



3.6-rasm. Invers holat va fotonlar zichligining vaqtga bog'liqligini, rezonator asilliyiligini tezda oshishga bog'liqligi.

Lazer rezonatori asilliyilgini tezkor modulyasiyasi, elektrooptik nur to'sqichlar va qaytargichlar yordamida amalga oshiriladi. Lazer sxemasida, nur to'sqichlarni ishlatilishining maqsadga muvofiqligi, sxemada, maxsus tuzilishiga ega bo'lgan (masalan, sfera shakldagi) yoki maxsus dielektrik qoplamli, ko'zgulardan foydalanish imkoniyati mavjudligidandir. Agar, oxirgi qaytargichida prizma-tom ishlatilgan bo'lsa, u holda 3.7-rasm a, b da ko'rsatilgan elektrooptik qaytargichlardan foydalanish kerak bo'ladi.

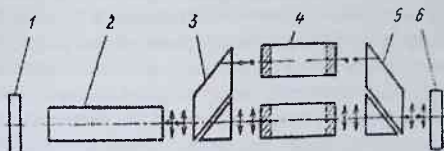


3.7-rasm. Lazerlarining elektrooptik qaytargichli optik sxemasi: a- yon yuzasi to'g'ri burchakli elementlar; b- yon qirra yuzasi nurgaga nisbatan Bryuster burchagi ostidagi elementlar 1-yarim o'tkazgichli ko'zgu; 2- aktiv element; 3- elektrooptik qaytargich.

Har xil turdagi elektrooptik qaytargichlarning ishlatilishining sababi, quyidagi faktorlarga bog'liq bo'ladi: aktiv element lyuminessent nurlanishining polarizatsiyalanganligi yoki polarizatsiyalanmaganligiga, rezonatorning temperaturaga bog'liq bo'lgan talablariga, chiqish parametrining stabililliyigiga va xokazo. Frenel effekti ta'sirida, optik elementlarning chetki yuzalaridan qaytuvchi nurlanishning, zararli ta'sirini kamaytirish maqsadida, optik sxema elementlari, nurlanishga nisbatan Bryuster burchagi ostida joylashtirilgan bo'lishi kerak (3.7-rasm b). Shu holdagina damlash jarayonida, maksimal invers holatga erishish, generatsiya jarayonida optik sxema elementlari yuzasidan, qaytgan nurlanishlar yo'qotishini, minimum qiymatiga erishish mumkin.

Berilgan ma'lumotlarga ko'ra, o'lchamlari 120 mm x 8 mm li rubin kristalli va IFP-1200 turdagi yoritgich lampa yordamida, damlash jarayonida, rezonatoridan generatoridan nurlanishning chiqish energiyasi 2-3 Djga teng bo'lgan, lazer generatsiyasini olish mumkin. Parametrlari boshqariluvchi qaytargichlar xususiyati, bir necha gers chastotali ish rejimida, bir necha ming impulsdan keyin ham yomonlashmaydi. Bunday optik sxema, lazerlarining davriy ish rejimi, yuqori chastotali impulslar

ketma-ketligida ishlashga mo'ljallangan bo'lib, impulslar energiyasi $0,3-0,5$ Dj bo'lsa, bu generator uzoq muddat ishlab beradi. Chiquvchi impulslar polarizatsiyasini boshqarish, 3.8-rasmda ko'rsatilgan optik sxemada yordamida, amalga oshiriladi.



3.8-rasm. Lazerlarning generatsiya polarizatsiyasini boshqariladigan optik sxemasi: 1-yarim o'tkazgichli ko'zgu; 2-aktiv element; 3-5, nurlanishni ikkiga bo'luvchi polarizasion prizmalar; 4-elektrooptik modulyator 6-100% qaytarguvchi ko'zgu.

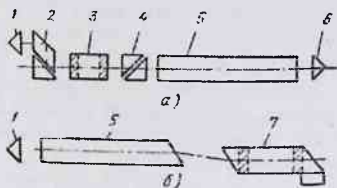
Bu sxemada, ikkala elektrooptik elementga, bir vaqtning o'zida boshqaruvchi elektr impulslari beriladi va natijada polarizatsiyalanmagan yorug'lik nurlanishining generatsiyasi olinadi. Agar boshqaruvchi elektr impulslari, elektrooptik elementlarga ketma-ket berilsa, u holda chiquvchi nurlanishning polarizatsiyasi boshqa-boshqa tekislikda bo'ladi. Avtorlar tomonidan ko'rsatib o'tilishicha [27, 29,38,], polarizatsiyalanmagan yorug'lik nurlanishi energiyasi, polarizatsiyalanmagan yorug'lik nurlanishi impulsi energiyasidan, deyarli farq qilmaydi. Lazerlarda, elektrooptik modulyasiya natijasida olinadigan impulslarning davriy vaqti 10-30 n.s. bo'ladi. Elektrooptik modulyasiyalı lazerlarning boshqa generatoridan farqi shundaki, yorug'lik impulsi generatsiyasi vaqtining aniqligi va nurli damlash yordamida, faqat impulslı nurlanishning generatsiyasini olish bilan farqlanadi. Yana qiziqarli ish rejimlaridan biri, rezonator asilliyligini birin-ketin oshib borishi holati. Bu holda, boshqaruvchi kuchlanishning qiymatini o'zgartirib, bir necha ketma-ket kattalikda, ketma-ket impulslar olish mumkin. Rezonator asilliyligini, yana bir qiziqarli usuli shundaki, avval asilliylik chegarasi qiymati kattaligida yoqiladi, so'ngra kuchsiz yorug'lik impulsi paydo bo'lishi bilan butunlay yoqiladi. Bu rejimda, lazerda monoimpulsini olish, amalga oshiriladi, fototrop nur qaytargichlar yordamida va shu bilan birga, bir modali lazer impulsini olish imkoniyati tug'iladi.

3.2.2. Lazerlar rezonatoridagi energiyani chiqarishda, nanosekundli impulslarni shakillantirish

Lazerlar rezonatorida yig'ilgan energiyani, rezonatoridan tashqariga chiqarish uchun, rezonator asilliyiligini invers holati, aktiv elementda maksimumiga chiqqanida va rezonatorida energiya zichligi maksimumga etganida, nurlanishni tashqariga chiqarib yuborish natijasida erishiladi [25]. Bu jarayonini shunday izohlash mumkin. Damlash lampasini yoqilishi, invers holatning, aktiv elementda yuqori darajaga chiqishi va aktiv elementning rezonatorida joylashganligi sababli, aktiv elementda qo'zg'atilgan atomlarining engriyasi, elektromagnit energiyasiga aylanadi va rezonator uzra taqsimlanadi. Elektromagnit energiyasi qiymatining rezonator ichida, maksimal darajaga etganida, generatsiya sodir bo'lib, to'plangan energiya, yarim o'tkazgichli ko'zgdan tashqariga chiqadi. Energiyaning rezonatoridan chiqish vaqti, rezonator uzunligining ikki barovariga teng bo'ladi, ya'ni yorug'lik nuri impulsining davomiyligi $2L/s$ ga teng bo'ladi. Nazariy ishlar chegarasidan chiqmagan holda, chiqish energiyasi E_p va uning quvvati P_p rezonatoridagi har xil yo'qotishlarni hisobga olmaganda, quyidagicha aniqlanadi:

$$E_p = N_0 V \varphi_{hv}, \quad (3.14)$$

$$P_p = E_p / 2t. \quad (3.15)$$



3.9-rasm. Rezonatorida to'plangan energiyani chiqaruvchi lazerning optik sxemasi.

a- elektrooptik svetozatvor bilan; b- elektrooptik qaytargich chiqish yuzasi murga nisbatan Byuster burchagi ostida bo'lgan; 1,6- prizma -tom; 2- ajratuvchi polyarizatsion prizma; 3- elektrooptik modulyator; 4- Archard-Taylor prizmasi; 5- aktiv element; 6- elektrooptik qaytargich.

Yorug'lik nuri impulslari fronti, nurning ko'ndalang kesimi yuzasining har bir nuqtasida, rezonatorning ochilish vaqti bilan aniqlanadi. Generatsiya, nurlanish yuzasi kesimining har xil nuqtasida, oldinma-keyin rivojlanishi, nurlanish zichligining yuza bo'yicha taqsimlanishi, rezonatorning ochilish vaqtiga ta'sir qiladi. Bunday lazerlar tarkibida nur to'sqichlar, maxsus polarizatorlar va elektrooptik qaytargichlar bo'ladi. 3.9-a rasmda, rezonatoridagi yig'ilgan energiyani chiqaruvchi, optik sxema keltirilgan.

3.9-b rasmda, lazerlarning optik sxemasi keltirilgan bo'lib, unda elektrooptik qaytargichning kirish yuzasi, nurlanish yo'nalishiga nisbatan, Bryuster burchagini tashkil qiladi va uning yon qirrasiga, prizma-tom o'rnatilgan. Bunday sxemada, elementlar yuzasidan qaytuvchi, frenelning qaytuvchi to'lqinlari sababli, paydo bo'lgan yo'qotishlarning yo'qligi uchun, olingan impulslar yo'qotishsiz, sof holda bo'ladi. 3.9-a rasmda esa, elementlar yuzasidan qaytuvchi Frenel to'lqinlari, yorug'lik nurlanishi impulsning ohirida, dum sifatida paydo bo'ladi [20, 21, 23].

3.2.3. Modalar sinxronizatsiyasi natijasida, pikosekundlik impulslarning shakllanishi

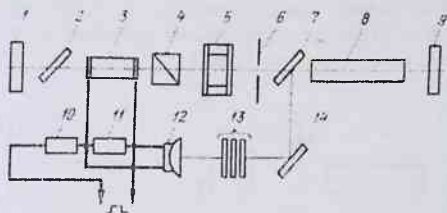
Yuqorida aytib o'tilgan, pikosekundli lazer impulslarini olish usullaridan farq qilib, pikosekundli impulslarni modalar sinxronizatsiyasi yordamida, rezonatorning generatsiya jarayonida, davriy modulyasiya qilish usuli bilan olish mumkin. Olib borilgan izlanishlarni ko'rsatishcha, tashqi davriy modulyasiya natijasida va 20ta modani fazirovkasi natijasida olingan impulsning davriy vaqti $5 \cdot 10^{-10}$ s ga teng bo'ladi. Nazariy jihatdan olib qaralganda, impulslarning rivojlanish jarayoni ikki davrdan iborat. Birinchi davr mobaynida, impulslarning davriy vaqti qisqaradi. Bir-biriga moslashgan fazalar natijasida, ikkinchi davrda impulslar kengayadi, bu fazalarning moslashuvining yo'qolishi natijasida sodir bo'ladi. Impulslar energiyasining o'zgarishi yoki o'rtaacha nurlanishning quvvatini o'zgarishi, lazer nuri intensivligi asilliyiligini modulyasiyasi natijasida bo'ladi. Optimal holat shundan iboratki, maksimal o'rtaacha quvvat bilan, minimal davriy uzunlik bir vaqtda bo'lganda, pikosekundlik impulslar vujudga keladi. Tashqi davriy modulyasiyaning chastotasi, aksial modalar chastotasi intervaliga, teng qilib olinadi. (Aksial modalarning orasidagi chastota intervali, yorug'lik nuri tezligini rezonator uzunligining ikki barovarga bo'linganiga teng) rezonator asilliyiligini oshirish bilan, uning natijasida davriy modulyasiya yo'qotishlari, impulsning rezonatoridan har bir o'tishda, uning formasi kuchayishi, yo'qotishlar modulyasiyasi va dispersiya o'zgaradi.

Modalarning sinxronizatsiya qilish, keyinchalik pikosekundlik impulslarni rezonatoridan tashqariga chiqarish uchun, eng to'g'ri keladigan optik sxemalardan biri bo'lib, optik elementlar yuzasi, nurga nisbatan Bryuster burchagi ostida o'rnatilgan optik sxemadan iborat bo'ladi, unda boshqaruvchi elektrooptik qaytargichlardan foydalaniladi. Bunday optik sxemada, bo'ylama to'lqin modalarini ajratuvchi, selektiv elementlarning yo'qligi, ko'p sonli oksial tebranishlarning, fazirovkasinini amalga oshirishga imkon beradi. Sxemada, ikki yoki undan ortiq boshqariluvchi elektrooptik qaytargichlardan foydalanib, rezonator asilliyilgini yoqish, modalar fozirovkasi uchun, davriy modulyasiyadan foydalanish va impulsni rezonatoridan chiqarish ishlarini bajarish mumkin. Rezonatoridan chiqarilgan kichik intensiv nurlanishining kuchi, nur-iskrali zaryadlovchini ishlatishga etarli bo'lganida, zaryadlovchi ishga tushib, elektr impulsni hosil qiladi, uning natijasida, boshqaruvchi kaytargichlardan biri, generatsiya nurlanishini rezonatoridan chiqarish rejimida ishlayci va natijada, pikosekundlik impuls, rezonatoridan tashqariga chiqadi. Bunday optik sxemalarni ishlab chiqish uchun, eng qulay va to'g'ri keladigan optik sxema, o'zida elektrooptik qaytargichli, yon tomoni yuzasida qaytargich prizma-tom bo'lib, uning yon yuzasi, Bryuster burchagi ostida nurga nisbatan bo'lishi kerak. Bir boshqariluvchi qaytargich, rezonator asilliyilgini yoqish uchun va davriy moludyasiyani ishga tushirish uchun, elektrodlar kerakli kuchlanish bilan ta'minlanishi imkonini yaratadi. Ikkinchi boshqariluvchi qaytargich, pikosekundli impulsni rezonatoridan tashqariga chiqishni ta'minlaydi [19, 32, 34].

3.2.4. Tashqi qayta bog'lanish yordamida, impulslar parametrlarini boshqarish

Yuqorida ko'rib o'tilgan lazerni boshqarish usullarida, elektrooptik qurilmalar maksimal holatda yoki minimal holatda bo'lib, nurni o'tkazadilar yoki o'tkazmasdan qaytaradilar. Bunday holda, yerug'lik impulsni generatsiyasi parametrlari asosan, rezonator harakteristikasiga va aktiv elementga bog'liq bo'ladi. Ba'zi bir hollarda masalan, impulsning shakli va nur impulsning davomiylik vaqtini boshqarish uchun, elektrooptik qurilmaning nurni o'tkazishi yoki qaytarishi, nurning intensivligi qiymatiga qarab o'zgaradi. Buni amalga oshirish uchun, tashqi zanjir yordamida yoki musbat qayta bog'lanish natijasidan foydalaniladi. Qayta bog'lanish zanjiriga, elektrooptik qurilmadan tashqari, har xil optik elementlarga (nurni bo'luvchi, filtrlar) nurni qabul qiluvchi qurilmalarga (fotoelementlar, nur

iskrali razryadniklar) va hamda qayta bog'lanish zanjirini ishini effektivligini oshiruvchi va nurlanish impulsleri parametrlarini aktiv boshqarishni ta'minlovchi, elektron qurilmalar kiradi (3.10-rasm). Lazerlarning tashqi manfiy bog'lanishli zanjiri uchun, nazariy va amaliy olingan ma'lumotlar mavjud. Manfiy qayta bog'lanish, asosan lazerlaridagi cho'qqili rejimni yo'qotish uchun va yorug'lik nurlanishining tekis yuzali impulslarini olish uchun qo'llaniladi. Masalan, Rubin kristalli lazer asilliyli modulyasiyasi, tashqi manfiy bog'lanish yordamida olib borilgan, bu optik sistemaning parametrlari quyidagicha: generatsiya impulsi davomiyliqi vaqti 700 ns, nurlanish spektri kengligi $3 \cdot 10^{-2} \text{sm}^{-1}$, impulsning energiyasi 50mdj, impuls cho'qqisining tekislasligini 10%. Lazerda chorak to'liqni nur to'sqichdan foydalanilgan bo'lib, u KDRdagi bo'ylama elektrooptik effektaga asoslangan bo'lib, nurlanish spektrini siqish uchun, optik kyuvetadagi ftalozianit vanadiy aralashmasini nitrobenzoldagi eritmasidan foydalanilgan.



3.10-rasm: Mikrosekundli impulslar olish uchun, ishlatiladigan lazerning tashqi manfiy bog'lanishli sxemasi.

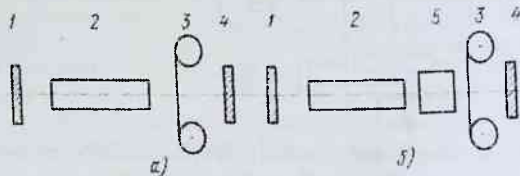
1, 9, 14- ko'zgular, 2-chorak to'liq uzunligidagi plastinalar; 3-KDR li kristall (z o'q bo'yicha); 4-polyarizatorlar; 5-fototromur to'sqich; 6-diffragma 7-shisha plastinkalar; 8-aktiv element; 10-11-rezistorlar; 12-koaksial fotoelement, 13-svetofiltrlar.

Tashqi qayta bog'lanish zanjiriga, koaksial fotoelement o'rnatilgan. Generatsiya jarayonining kichik inerasionligini, aktiv elementdagi yuqori kuchlanishni va fotonlarning rezonator ko'zgulari orasidan o'tish vaqtining kichikligini hisobga olib, signalni paydo bo'lish va zanjiridan o'tish vaqti 1 nanosekunddan ortiq bo'lishi kerak emas va fotopriyomnik elektron qurilmakari keng polosali bo'lishi kerak. Musbat qayta bog'lanishdan, modalarni sinxronizatsiyalashda va pikosekundli impulslarni shakillan-

tirishda foydalaniladi. Bundan tashqari, musbat qayta bog'lanishdan, bir modali lazer generatsiya nurlanishini olishda ham foydalaniladi [18, 31].

3.3. Elektrportlovchi plyonkali nur qaytargichli optik sxemalar

Elektrportlovchi plyonkali nur qaytargich yordamida hamma to'liq uzunligidagi yorug'lik nurlari bilan ishlashi mumkin, uning asos materiali, yorug'lik nurini yutmaydigan bo'lishi shart. Bunday nur to'sqichning optik sxemasi (Rasm 3.11. a) berilgan. Plyonka 3-5^o burchak ostida rezonator o'qiga nisbatan perpendikulyar tekislikda joylashtiriladi. Nur to'sqich plyonkasining tinqlashuvchi, damlash lampasining yonish vaqti bilan sinxronizatsiya qilinadi va invers holatning maksimal darajasi, plyonkani tinqlashuv holati bilan bir vaqtda sodir bo'ladi. Nur to'sqich plyonkasi generatsiyaning quvvatli, impulsni o'tkazib yuboradi. Shu vaqtda, quvvatli generatsiya impulsiga erishgan, bir necha erkin generatsiya impulslari ham hosil bo'ladi, bu jarayon damlash lampasining yoritish hususiyati tugagunga qadar, davom etadi. Bunday erkin generatsiyada impulslar ketma-ketligini olib tashlash uchun, optik sxemaning, kombinasion sxemasidan foydalaniladi. (3.11-b rasm), bu sxemada, plyonkali nur to'sqich bilan birga, fototron nur to'sqich ham ishlatiladi.



3.11-rasm. Lazerning optik sxemasi

a- elektrportlovchi plyonkali nur to'sqich; b-fototronli va elektrportlovchi nur to'sqich; 1,4- yarim shaffov va to'la qaytaruvchi ko'zgular, 2-aktiv muhit, 3-elektrportlovchi plyonkali nur to'sqich; 5-fototron nur to'sqich.

Ikki ta, neodim aktiv elementli (lazer), fototron nur to'sqich bilan ajratilgan va 100% qaytargich ko'zgudan, plyonkali nur qaytargich bilan to'silgan optik sxema keltirilgan. Bunday optik sxemali generatorning, quvvati lazer impulsining generatsiyasi energiyasi 130 dj bo'lib, impuls davomiyligi vaqti 40ns bo'lgan. Shundan ko'rinib turibdiki, plyonkali nur

to'sqichlar, elektrooptik nur to'sqichlar kabi, rezonator asilliyligini bir zumda yo'qish imkoniyatiga ega bo'lib, lazer generatorlarida, ulardan ham keng foydalaniladi [18, 21].

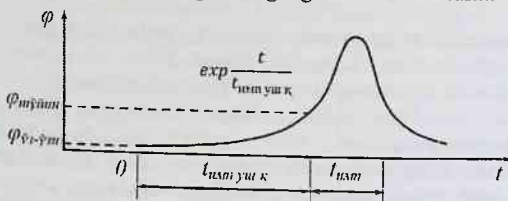
3.4. Modalar seleksiyasi sxemasi

Optik rezonatorning sxemasi, selektiv elementlar uchun asosiy kriteriy bo'lib, aktiv muhitni kuchayishi nisbati bilan, rezonatorida ajratib kuchaytiriluvchi va yo'qotilishi kerak bo'lgan turdagi tebranishlar orasidagi yo'qotishlar hisoblanadi. Aktiv muhitning kuchayishi, ajratib olingan turdagi tebranishlar qiymati, ketgan yo'qotishlardan katta bo'lishi kerak. Bunday holat, kichik kuchaytirish darajali sistemalarda, asosan hal etiladi. Buni hal etish uchun, uzluksiz damlashli generatorlardan, impulsli damlashli generatorlardan, erkin geperasiya rejimiga yaqin energetik ostonada ishlaydigan lazer sxemalaridan foydalanish kerak. Bunday generatorlarda modalarning seleksiyasi, maxsus seleksiyalovchi elementlarsiz amalga oshiriladi[24]. Rubin yoki granatli, uzluksiz damlash bilan ishlaydigan va rezonator asilliyligi modulyasiyasi, aylanuvchi ko'zgu asosida bo'lib, ko'ndalang tebranishli modalar TEM_{00} seleksiyasiyasi, diametri 2mm bo'lgan aktiv element orasida, amalga oshiriladi. Impuls damlashli va katta kuchlanishli generator rezonatorida, doim ko'pgina sonli bo'ylama va ko'pgina sonli ko'ndalang turdagi tebranishlar bo'ladi. Bunday ko'p modal holatni yo'qotish uchun, ba'zi yo'qotilishi kerak bo'lgan tebranishlar, rezonator asilliyligini kamaytirish orqali erishiladi. Generator selektivligining effektivligi, nafaqat ba'zi bir turdagi tebranishlar uchun balki, rezonator asilliyligini farq qilishi, bundan tashqari lyuminessensiyaning spontan shovqinlariga aloqador bo'lgan, generatsiyaning rivojlanishi kenetikasiga ham bog'liq bo'ladi.

Bu ikki faktorning ta'siri [22] ishda o'rganilgan bo'lib, bundan ma'lum bo'lishicha, impulslar generatsiyasi rezonator asilliyligini tez yoqilishi, ikki etapga bo'linadi: generatsiyaning chiziqli rivojlanishi, elektromagnit maydon amplitudasining eksponensial ravishda o'sishi bilan harakterlanadi. Generatsiyaning chiziqli rivojlanishi, invers holatni kam miqdorda o'zgarishiga sabab bo'ladi. Chiziqli rivojlanish vaqti, (generatsiyani ushlab turish vaqti) rezonatoridagi kuchayish va yo'qotishlar bilan bog'liq bo'lib, qiymati bir necha o'n nanosekunddan, bir necha mikrosekundgacha bo'ladi. Generatsiyaning nochiziq rivojlanishi xududida, invers muhitda saqlangan energiya hisobiga, yorug'lik nurlanishi impulsi shakllanadi va aktiv muhitda nurlanishning kuchayishini, to'yinish holatiga olib keladi.

3.4.1. Fototrop nur to'sqichli sxemalarda modalar seleksiyasi

Fototrop nur to'sqichli lazerlarda, shunday holat yuz beradiki, generatsiya jarayonida nur to'sqichning tiniqlashuvi natijasida, damlash energiyasining boshlanish qismi ostonadan boshlanadi. Fototron nur to'sqichli lazer generatorining impulsi, quyidagi shakilga ega bo'ladi. 3.12-rasm.

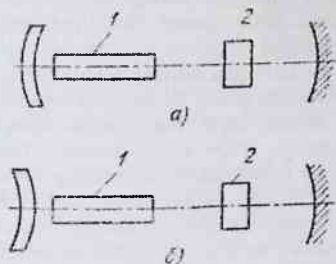


3.12-rasm. Lazerning asllyligi, modulyasiya qilingan impulsi shakli. (Koordinata o'qi bo'yicha siqilgan masshtab $\varphi_{0'yu'}/\varphi_{0'z-o'zidam} = 10^{12} \div 10^{15}$)

Generatsiyani rivojlanishining boshlanishi, spontan nurlanishlar shovqin darajasida φ_{sp} boshlanib, yorug'lik nurining zichligi, ba'zi bir turdagi tebranishlar uchun, eksponensial ravishda o'sadi va bu o'sish vaqtning davomiyligi $t_{imp,ush}$ ga teng. Qachonki, rezonatorida yorug'lik nurlanishi zichligi qiymati darajasigacha $\varphi_{10^{15}}$ ($\varphi_{10^{15}} \approx 10^{15} \varphi_{0'z-o'zidam}$) bo'lsa, u holda rezonatorida saqlab qo'yilgan energiya, ya'ni lazer generatsiyasi impulsi paydo bo'ladi, bu qisqa muddatli impuls vaqti $t_{imp} = 10 \div 100$ ns ga teng bo'lib, yorug'lik nurlanishi zichligining o'sish vaqtidan 10 marra kichik bo'ladi. Shu vaqt ichida, yorug'lik nurlanishi impulsi davom etadi. Yorug'lik nurlanishii zichligining o'sish vaqti $t_{imp,ush}$ -boshlang'ich invers holat darajasiga va aktiv hamda fototrop muhitlarning qo'zg'atilgan holatining, relaksasiya vaqtiga bog'liq bo'ladi. Nazariy va eksperimental ishlarning natijasini ko'rsatishicha, fototrop nur to'sqichlar generatorida, $t_{imp,ush}$ -impulsining rivojlanish vaqti quyidagi qiymatga ega bo'ladi $\sim 2 \div 4$ mks, rezonatoridan fotonlarning o'tish soni $m_{pr} = t_2/t_1$ taxminan $\sim 10^3$ qiymatga etadi (t_1 -fotonlarning rezonatoridan bir marra o'tgan vaqti). To'sqichning tiniqlashuvi vaqti t_{pr} da, ikki turdagi modalar quvvati nisbati, quyidagicha aniqlanadi [21]:

$$\frac{P_n(t_{pr})}{P_m(t_{pr})} = \left(\frac{r_{1n} \gamma_n}{r_{1m} \gamma_m} \right)^{m_{pp}} \quad (3.16)$$

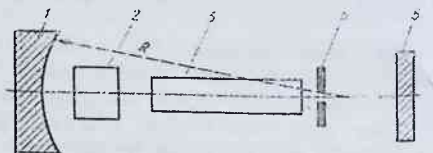
bu yerda r_{1n}, γ_{1n} va r_{2m}, γ_{2m} — n -chi va m -chi modalar uchun qaytarish va yo'qotish koeffitsientlari. Uzunligi 0,5 m bo'lgan rezonator uchun, ikki qo'shni modalar nurlanishi zichligi nisbati, taxminan 10 ga teng bo'lib, yo'qotishlardagi farq 0,1% tashkil etadi. Bu miqdordagi rezonator yo'qotishlari, real rezonatorlarida bo'ylama va ko'ndalang to'lqin modalari orasida bo'ladi. Diafragmali turg'un rezonatorlarning har bir turida, bir jinsli aktiv element va fototrop nur to'sqichli rezonatorlarda, tebranishlar modasi seleksiyasini amalga oshirib, bir modal lazer nurlanishi generatsiyasini olish mumkin, ishda konsentrik va botiq-qovariq ko'zguli turg'un rezonatorlardan foydalanilgan, 3.13.-rasmga qarang. Bunda aktiv element sifatida, yon qirralari 90° — to'g'ri burchak yuzali, Rubin kristallidan foydalanilgan, uning uzunligi 75 mm, diametri 65 mm bo'lib, rezonatorning uzunligi 54 sm bo'lgan. Rezonator ko'zgularining radiusi 5m.



3.13-rasm. Optik kvant generatori. a-konsentrik rezonator; b-qavariq – botiq ko'zguli rezonator; 1-aktiv element; 2-fototrop to'sqich.

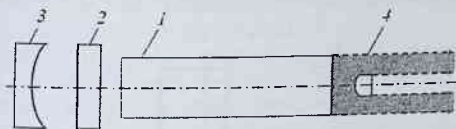
Olib borilgan ishlar natijasiga ko'ra, modalarni seleksiyalash maqsadida diafragmadan foydalanish mumkin. Ammo bir modal tebranishli to'lqinlar generatsiyasini olishda, diafragmaning roli, masalani hal qiluvchi faktor emas. Olib borilgan izlanishlarning [23-25,26] ko'rsatishicha, simmetrik optik damlashdan foydalanilganda, ya'ni spiral tuzilishdagi lampalar, tebranishlar seleksiyasini sharoitini biroz yaxshilaydi, keyinchalik qo'llanilgan optik sxema tarkibida, yarim konsentrik rezonatorlardan foydalanilgan (ko'zgu radiusi $R=30$ sm) va fototrop nur to'sqichni, aktiv kristall Rubin bilan sferasimon ko'zgu orasiga joylashtirilganda, tekis yuzali ko'zgu o'rnida, kvarsdan ishlangan qalinligi 10 mm bo'lgan plastinadan foydalanilgan. Optik sxema ichiga, aktiv

element Rubin bilan kvars plastinka orasiga diametri 0,8-1 mm bo'lgan diafragma o'rnatilgan. Rubin kristalining o'lchamlari uzunligi $\ell=120$ mm, diametri esa $\Phi=7$ mm bo'lgan. Lazerning nurlanish spektri kengligi 100 MGs bo'lib, impulsning davriy uzunligi $\tau=8$ ns bo'lgan. Generatorning nur taratish burchagi, difraksiya burchagiga teng bo'lgan. Quyidagi optik sxemada, tekis yuzali parallel rezonatordan va fototron nur to'siqchidan foydalanilgan. Aktiv element sifatida, yuqori optik sifatli Rubin kristalidan foydalanib, kristalning ikkala yon qirralari yuzasi, parallel qilib tayyorlangan bo'lib, uzunligi $L=10$ sm rezonatorda ishlatilgan diafragmaning diametri $\Phi=2$ mm bo'lgan. Natijada bir modali TEM₀₀ tebranishlar generatsiyasi olingan, energiyaning fazoviy taqsimoti, toza gauss taqsimotiga o'xshagan bo'lib, impulsning quvvati $2mVt$ bo'lgan. Ba'zi bir hollarda, modalar seleksiyasi effektivligini oshirish maqsadida, rezonator holatini, turg'un bo'lmagan holat tomon surishdan foydalaniladi, bu holda rezonatorda ishlatilgan diafragmaning diametri kattaroq qilib olinadi [27]. Bu usulda, aktiv element sifatida Rubin va Neodimli shisha kristallaridan foydalanilgan. Rezonator ko'zgulari sifatida, qavariq va botiq yuzli ko'zgulardan foydalanilgan, ularning radiusi $R_1=3m$; $R_2=0.5m$ bo'lib, ko'zgular orasidagi masofa radiusi R_2 dan katta bo'lgan. Bir modali lazer nurlanishi, botiq ko'zgu orqali rezonatordan tashqariga chiqarilgan. Diafragmaning kattaligi, 0,25-0,4 sm bo'lgan. Bunday parametrlar yordamida olingan bir modali lazer nurlanishining quvvati, impulsda 0,04 Dj ga teng bo'lgan. Shunga o'xshash natija, yarim konsentrik rezonator yordamida (3.14-rasm) ko'zgular orasidagi masofani $L=(1.1+1.2)R$ miqdorigacha uzaytirib, rezonatorni turg'un bo'lmagan holatga keltirib olingan.



3.14-rasm. Yarim konsentrik rezonatorli lazer. (rezonatorni turg'un bo'lmagan holat tomon siljitish ko'zgul orasidagi masofani uzaytirish hisobiga amalga oshirilgan) 1- 100% qaytaruvchi ko'zgu; 2-fototrop nur to'siqch; 3- aktiv element; 4- diafragma; 5- yarim o'tkazuvchan ko'zgu.

Bunday holat ya'ni rezonator ish rejimini turg'un bo'lmagan holatga o'tkazib olish usuli, aktiv elementning bir jinsliligiga bog'liq bo'ladi. Bunday usuldan foydalanilganda, turg'un bo'lmagan rezonatorida difraksiyon effektidan foydalanib, nurlanishni tashqariga chiqarish usulidan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi va yaxshi natija beradi. Bunday rezonatoridan foydalanilganda, nurlanishning yo'nalish diagrammasini, tekis parallel ko'zguli rezonatorga nisbatan, siqish mumkin bo'ladi. 2.14-rasmda lazer rezonatorini turg'un bo'lmagan ish holatini, diffraksiya usuli yordamida, nurlanishni rezonatoridan tashqariga chiqarish usulidan foydalanilgan [28], aktiv element sifatida, o'lchamlari katta bo'lgan neodimli shisha kristalidan foydalanilgan.



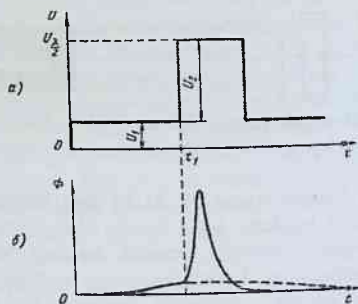
3.15-rasm. Teleskopik rezonatorli lazer. 1-aktiv element; 2-fototropnur to'sqich; 3, 4-100% qaytaruvchi ko'zgular.

Generatsiya impulsi energiyasi 30 Dj teng bo'lgan, nurlanishning difraksiyon tarqalish burchagi 4-ster bo'lib, tekis yuzali rezonatornikiga qraganda anchagina nurlanishni tarqalish burchagi toraygan. Bundan tashqari, monoimpulsning davomiyligi vaqti qisqargan, bunday holat rezonatorning tuzilish konfiguratsiyasiga bog'liq bo'ladi va uning siqilish mexanizmi, aktiv elementning ko'ndalang kesimi yo'nalishi bo'yicha bo'ladi. Bunday teleskopik rezonatorli lazer chemaci 3.15- rasmda ko'rsatilgan.

3.4.2. Elektrooptik boshqaruvli sxemalarda modalar selekssiyasi

Generatsiyaning uzoq vaqt rivojlanishini, magnitooptik va elektrooptik boshqariluvchi rezonatorlar yordamida olish mumkin. Rezonatorda o'tishlar sonini oshirish, optik ventil yordamida, rezonator asilliyligini sekin oshirib borish, Faradey effektiga asoslangan bo'ladi. solenoid yordamida, razryad tokining optimal qiymati va uning shaklini tanlab olish orqali, rezonatoridagi nurlanishning o'tish soni oshiriladi, generatsiyaning chiziqli rivojlanishi jarayonida, o'tishlar soni 700 ga teng bo'lsa, Rubin kristalidan foydalanilganda o'lchamlari - $16 \times 200 \text{ mm}^2$ va rezonator uzunligi 1 m bo'lsa,

generatorning nurlanish spektri, taxminan $4 \times 10^2 \text{ sm}^{-1}$ ga teng bo'ladi. Bo'ylama to'liqin tebranishlarini seleksiyasi uchun qaytargichlarning biri o'miga, tekis yuzali plastinadan va ko'ndalang turdagi diafragmadan foydalaniladi. Ammo lazer impulsining energiyasi va quvvati, bu rejimda ishlaganda, 2 barobar kam bo'ladi. Shunday qilib, modalar seleksiyasi optik ventillik rezonatorida, kattagina energetik yo'qotishlarga sabab bo'ladi. Modalar seleksiyasi uchun, yuqori imkoniyatlar elektrooptik boshqaruvli generatorlarda bo'ladi, ular yordamida rezonator asilliyligini sekin-asta oshirib boriladi. Bundan tashqari lazerlarda, bir modali generatsiya olish, elektrooptik nur to'sqichda, elektr kuchlanishi impulsi qiymatini ketma-ket oshirib borish. invers holatning aktiv elementdagi maksimal darajasiga etgan vaqtida bo'ladi. 3.16-rasmda, elektrooptik to'sqichga berilgan, elektr impulsi kuchlanishning diagrammasi berilgan va lazer generatsiyasi impulsi ko'rsatilgan.



3.16-rasm. Kuchlanish impulsi shakli (a) va generatorning yorug'lik impulsi (b) asilliyligini pog'onali oshiruvchi, elektrooptik modulyasiyali rezonator

3.16-rasmdan ko'rinishicha, rezonator asilliyligini oshirib borish, ikki etapda amalga oshiriladi. Birinchi etapda asilliylik oshirilganda, kuchsiz bir modali yorug'lik impulsi shakllandi va yorug'lik nurlanishi impulsi maksimal qiymatga erishgan vaqtida, zatvoriga kuchlanish berilib, uni maksimal ochilishiga majbur qilinadi va natijada generatsiya rivojlanib bir modali, quvvatli lazer impulsi hosil qiladi. Bunday generatorning optik sxemasi 3.17-rasmda ko'rsatilgan. Asilliylikni pog'onali modulyasiyasidan, generator uchun seleksiyalovchi sistemaning hususiyatlari kriteriyasidan, ikki qo'shni tipdagi tebranishlarning rivojlanishining turli vaqtdan,

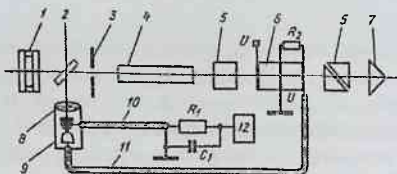
tajribada foydalanish mumkin. Ikki qo'shni modalarning rivojlanish vaqti-ning farqi, impuls davomiyligi vaqtiga teng yoki undan, impuls davomiyligi vaqti qiymatidan, $\tau/2$ yarimi qiymatiga ko'p bo'lsa, ivers muhitidagi saqlangan energiya, bitta modaning rivojlanishi uchun sarflanadi.

Qo'shni modalarning rivojlanishi o'rtasidagi farq quyidagicha ifodalanadi [37].

$$\Delta t = t_3 \frac{\Delta \gamma}{\alpha_0 t_1 - \gamma} \quad (3.17)$$

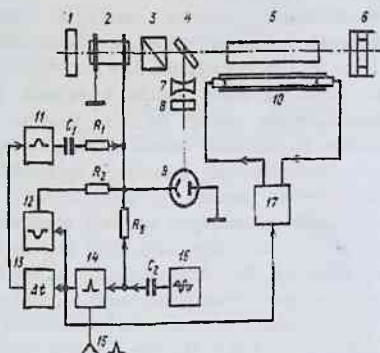
Bu yerda Δt - impuls davomiyligi kattaligining yarim qiymatiga ($\tau/2$) teng kattalik; $\Delta \gamma$ - qo'shni modalarning yo'qotishlari farqi; γ - rivojlantirilayotgan moda tebranishlarining yo'qotishlari.

Lazerlar qurilmalarida, modalar seleksiyasi uchun asilliylikni oshirishda, elektrooptik modulyasiyasidan foydalanilganda, p'ezoelektrik tebranishlarni paydo bo'lishi imkoniyatini ham hisobga olish kerak, chunki ular elektrooptik kristallga, elektr impulsi berilganda, paydo bo'ladi. P'ezooptik tebranishlarning paydo bo'lishi, yuqorida aytib o'tilgan jarayonni, generatsiya rivojlanishini buzadi natijada, modalar seleksiyasini amalga oshiruvchi elementlarning hususiyati yomonlashadi. P'ezooptik halaqitlarni yo'qotishning boshqa yo'llaridan biri, svetozatvorning elektrooptik elementlarini geometriyasi va ularni o'rnatish usullariga ham bog'liq bo'ladi, bu rezonatorning asilliylikni pog'onali oshirish usuli qo'llanganda, sodir bo'ladi. Pog'onali usul bilan, asilliylikni oshirishning keyingi rivojlanishi, rezonator bilan, tashqi musbat aloqa bog'lash natijasida bo'lib, bunday usul qo'llanganda, rezonatori boshqarishda, p'ezoshurning paydo bo'lish ehtimoli yo'qoladi. Bo'ylama to'lqin modalarini seleksiya qilishda, rezonansli qaytargichidan foydalaniladi, ko'ndalang to'lqin modalarning seleksiyasi, p'ezooptik diafragma yordamida amalga oshiriladi. Bunday turdagi rezonatorning optik sxemasi, 3.18-rasmda keltirilgan. Bu turdagi optik generatorming tarkibida 98% li qaytarish ko'zguisi va rezonansli qaytargich bo'lib, u ikki kvars plastinkasi - 6dan, (qalinligi 14 mm bo'lib, plastinalar o'rtasidagi oraliq masofa 7 mm). iborat. Rezonatorning uzunligi 80 sm, aktiv element sifatida rubin yoki shisha kristallari - 5dan foydalanilgan, uzunligi 80 mm, diametri 8 mm bo'lgan.



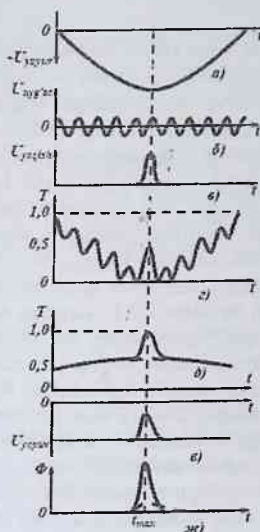
3.17-rasm. Pog'onali elektrooptik modulyasiya asillikligiga ega bo'lgan lazerning optik sxemasi

1-rezonansli qaytargich; 2-nurni cheklatish plastinasi; 3-diafragma; 4-aktiv element; 5-polyarizatsiyalovchi prizma; 6-elektrooptik kristall; 7- prizmatom; 8-razryadnik oralig'iga nurni fokuslab beruvchi linza; 9-razryadnik; 10-zaryadlovchi kabel; 11- razryadlovchi kabel; 12-ta'minot manbai.



3.18-rasm. P'ezooptik diafragmalı va musbat qayta bog'lanishli, bir-chastotali lazer generatorining sxemasi.

Aktiv elementni optik damlash uchun kvarslı - IFP-800 turdagi lampadan foydalanilgan. Rezonatorning asilliyigini modulyasiya qilishda, chorak to'liqin uzunligidagi yorug'lik nur to'sqichidan va Archard - Teylor polarizatori 3dan foydalanilgan. (3.19- e rasmda), kuchlanishning paydo bo'lishi, lazer rezonatorida yorug'lik nurlanishini paydo bo'lishiga bog'liq bo'ladi.



3.19-rasm. Elektrooptik elementning boshqaruchi kuchlanishning diagrammasi, nur qaytargichning generatsiya impulsini o'tkazishi

a da, $U_{yopuvchi}$ - yopuvchi kuchlanish; *b* da, $U_{yug'otuvchi}$ - elektrooptik elementdagi p'ezoelektrik tebranishlarni uyg'otuvchi kuchlanish; *v* da, U_{yoqish} - asilliylikni sekin yoqish uchun sinxron tarzda beriladigan kuchlanish; *g* - nur to'sqichning o'tkazishi; *d* - nur to'sqichning, vaqtning t_{maks} nuqtasi yaqinida o'tkazishi, kattalashtirilgan masshtabda; *e* - qayta bog'lanish natijasida kuchlanishning o'zgarishi, *j* - generatsiya impulsining formasi (qayta bog'lanish mavjudligida, qayta bog'lanish yo'qligida).

3.19-rasmda, lazer generatsiyasining yorug'lik impulsi ko'rsatilgan. Misol qilib, bir modali lazer impulsi olingan bo'lib, energiyasi 0,1-0,15 Dj neodimli shisha kristallida, 0,15-0,2 Dj rubin kristallida olingan. Impuls davomiyligi vaqti 30 ns, ketma-ketlik chastotasi esa 0,5 Gs bo'lgan. DKDR kristallidan foydalanilgan, o'lchamlari (10x10x40mm) bo'lib z o'qi bo'ylab kesilgan va Archard-Taylor polyarizatoridan - 3dan foydalanilgan. DKDR kristallining yon tomoniga, belbog' shaklidagi elektrodlar kumush pasta yordamida o'rnatilgan bo'lib, bu elektrodlar yordamida nur to'sqich, lazer

nurlanishining bir qismi, tekis yuzali parallel plastinkalar - 4 yordamida, noaksial fotoelement (FEK-09) - 9 tomon yo'naltirilgan, fotoelementning katodi, kristall - 2 ning elektrodlariga bog'langan. Musbat qayta boshlanishning kattaligi, plastinka - 4 ning burilishi, manfiy linza 7, hamda neytral va rangli svetofiltorlar 8 yordamida boshqarilgan. Kristall 2 ga. kondensator $-S_2$ va rezistor- R_3 orqali sinusoidal kuchlanish, generator 16 (G3-7A) yordamida berilgan. Shu kuchlanish natijasida, sinxronizatsiya amalga oshirilgan va boshqaruvchi kuchlanish, nur to'sqich va blok 17 ga ulanadi so'nga damlash lampasi - 10 yoqiladi. Buning uchun sinusoidal kuchlanish - 14, blokda ketma-ket qisqa impulsarga aylantiriladi va ulardan ajratib olingan bir impuls - 15 kirishga ulanadi va ishga tushirib yuboruvchi signal berilgandan so'ng, 14 blokdan chiqqan impuls yordamida, lazer generatori ishini, boshqa sistemalar bilan sinxronizatsiya qilinadi. Ishga tushirib yuboruvchi signal kelishi bilan, impulsi lampalar - 17 yonadi va bir vaqtning o'zida -12 blok yordamida, rezistor - R_2 orqali fotoelement- 9 katodiga va kristall - 2 elektrodiga manfiy kuchlanish U_{yop} (kolokol shaklidagi impuls davomiylik vaqti 1 ms) elektrooptik nur to'sqichni yopadi va lazerda, o'z-o'zidan uyg'onish sodir bo'lishini olidini oladi. Rasm 3.19.da, aktiv muhitning maksimal invers holati vaqtida, nur to'sqichga boshqaruvchi kuchlanish sxemasi - 13 yordamida, blok 11 va S_1 kondensator va R_1 rezistor orqali musbat impuls U_{och} (elektrooptik zativorni ochuvchi) kuchlanishi beriladi. 11 blokda ishlab chiqarilgan impulsning davomiylik vaqti, generator - 16 dan kelgan sinusoidal kuchlanish U_{yop} ning davriga to'g'ri keladigan (3.19- b rasm). U_{yop} , U_{och} kuchlanishlar va nur to'sqichning qayta bog'lanish kuchlanishi ta'sirida nurlanishni o'tkazib yuboriladi. 3.19 - g va 3.19 - d rasmda, nur to'sqichning nurlanishni o'tkazib yuborishi, kattalashgan masshtabda t_{maks} nuqtasi yaqinida ko'rsatilgan [16-19].

3.4.3. Optik kvant kuchaytirgichlari

Nazariya asoslari. Invers muhitidan nurlanish o'tganda, uning kuchayishi bilan nazariy jixatdan tanishmiz, fotonlar zichligini saqlanishni tenglamasi $\Phi(x,t)$ va invers holat zichligini $N(x,t)=N_2-N_1$, qandaydir t vaqtda, x -nuqtada, materiallarda yutilish sababli yo'qotishlar va nurlanishning sochilishini yo'q deb, faraz qilib, ($\rho=0$) deb, ikki sathli model uchun, fotonlar zichligining saqlanish tenglamasi, shunday ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{d\phi(x,t)}{dt} + c \frac{d\phi(x,t)}{dx} = c\sigma N(x,t) \cdot \phi(x,t) \quad (3.18)$$

$$\frac{dN(x,t)}{dt} = -2c\sigma N(x,t) \cdot \phi(x,t) \quad (3.19)$$

Bu yerda, σ - nurni ko'ndalang yutilishi; s - vakumdagi yorug'lik nuri tezligi; N_1 va N_2 - asosiy va qo'zg'atilgan holatdagi aktiv atomlarning zichligi; Bunday noxiziq tenglamalar, umumiy holda taxlit qilinmaydi. To'g'ri burchakli impuls uchun, impuls davriy vaqti uzunligi τ , bo'lsa, echim quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\frac{\phi(x,t)}{\phi(0)} = \left[1 - (1 - e^{-\sigma N t x}) \cdot e^{-2\sigma\phi(0) \cdot c \left(t - \frac{x}{c} \right)} \right]^{-1} \quad (3.20)$$

$\Phi(0) = \Phi(x=0, t=0)$ - fotonlar zichligi $x=0$ boshlang'ich vaqtda bo'lib, impuls davomiyligi vaqtida τ_0 o'zgarmaydi deb hisoblaymiz. Aktiv muhitda yorug'lik nurlanishining o'tgan yo'lga qarab, yorug'lik impulsining kuchayishini quyidagicha yozamiz.

$$G = \frac{1}{2\sigma\phi(0)c\tau_0} \ln \left[1 + (e^{2\sigma\phi(0)c\tau_0} - 1) \cdot e^{\sigma N t x} \right] \quad (3.21)$$

Har bir optik materialda, nurlanishning yutilishi va sochilib tarqalishi materialning bir jinsli ekanligidan bo'lib, ular yo'qotishlarga olib keladi, shu yo'qotishlarning ta'sirini aniqlash uchun, tenglama (3.20)ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{\partial\phi(x,t)}{\partial t} + c \frac{\partial\phi(x,t)}{\partial x} = c(\sigma N - \rho) \cdot \phi(x,t) \quad (3.22)$$

bu yerda, ρ - materialdagi aktiv bo'lmagan yo'qotishlar. Tenglama (3.19) va (3.22) taxlili uchun, quyidagi ko'rinishdagi formulani kiritish kerak, koordinatasi x nuqtada joylashgan kuchaytirgichning yuza birligidan, τ - vaqt ichida o'tgan, impulsdagi fotonlarning to'la sonini aniqlaymiz.

$$F(x) = \int_0^x c\Phi(x,t)dt \quad (3.23)$$

U holda, tenglik (3.19) ni (3.22) ga ko'yib va (3.23) ni hisobga olib, quyidagi ifodani olamiz:

$$\frac{dF(x,t)}{dx} = -\frac{1}{2}[N(x,t) - N_i] - \rho F(x) \quad (3.24)$$

Bu yerda, $N_i = N(x,t=0)$ - kuchlanishni boshlanish vaqtidagi invers holat. Invers holat $N(x,t)$ integrallash yo'li bilan (3.24) va (3.19)ni hisobga olib, N_i va $F(x)$ orqali, quyidagi ko'rinishga keladi.

$$N(x,t) = N_i e^{-2\sigma F(x)} \quad (3.25)$$

Formula (3.25) ni (3.24) ga qo'yib, quyidagi differensial tenglamani olamiz:

$$\frac{dF(x)}{dx} = \frac{N_i}{2}[1 - e^{-2\sigma F(x)}] - \rho F(x) \quad (3.26)$$

Bu nochiyiq differensial tenglama, umumiy holda hisoblash usuli bilan echiladi. Ammo, ba'za bir taxminlarning asosida, kerakli bog'lanishlarni olish mumkin. Lazer nurlanishining kichik zichligini taxminan $e^{-2\sigma F(x)} = 1 - 2\sigma F(x)$ deb olsak, u holda tenglama (3.26) echimi quyidagicha bo'ladi:

$$F(x) = F_0 e^{(\sigma N_i - \rho)x} \quad (3.27)$$

Bu yerda, F_0 - kuchayishga qadar, impulsdagi fotonlar soni. Tenglik (3.27)dan ko'rinishicha, kichik kattalikdagi impulslar, kuchaytirguvchi muhitdan o'tish davomida, eksponensial holda kuchayadi (chiziqli kuchayish rejimi). $F(x)$ ning katta qiymatlarida, taxmin qilamiz $e^{-2\sigma F(x)} \rightarrow 0$ deb, tenglama (3.26)ni quyidagi holga keltiramiz:

$$\frac{dF(x)}{dx} + \rho F(x) - \frac{N_i}{2} = 0 \quad (3.28)$$

Tenglamani integrallab, quyidagi ko'rinishga keltiramiz.

$$F(x) = \frac{N_i}{2\rho} - \frac{N_i}{2\rho} \cdot e^{-\rho x} + F_0 \cdot e^{-\rho x} \quad (3.29)$$

Fotonlar sonini impulsda oshishi bilan, $N_i/2\rho$ -maksimal qiymatiga tomon intiladi, bu qiymat, impulsdagi fotonlarning to'yingan holati bo'ladi. Yuqorida muhokama qilingan masalalar va natajalar, to'rt sathli aktiv element uchun va ulardagi o'tish holatlari sistemasi uchun ham to'g'ri bo'lib qoladi. Faqat tenglama (3.19) ning o'ng tomonidagi ko'paytma 2 ni, ko'paytma 1 ga almashtiriladi. Formula (3.29) dan ko'rinishicha, energiyaning maksimal zichligi, yo'qotishlar kattaligi r va invers holat N_i ga bog'liq bo'ladi. Rubin kristalli uchun, invers muhit saqlagan energiya 2.5 Dj/sm^3 bo'lib, yo'qotishlar qiymati $\rho = 0.02 \text{ sm}^{-1}$ bo'lsa, kuchaygan impulsning maksimal energiya zichligi 62.5 Dj/sm^2 ga teng bo'ladi. Neodimli shisha kristalli aktiv element uchun esa, invers muhit saqlagan energiyasi 1 Dj/sm^3 bo'lib, yo'qotishlar qiymati $\rho = 0.003 \text{ sm}^{-1}$ bo'lsa, energiyaning maksimal zichligi 333 Dj/sm^2 bo'ladi [18, 19, 22].

3.4.4. Yorug'lik nurini kuchaytirish uchun invers holatni hosil qilish

Nurlanishni kuchaytirish uchun zarur bo'lgan sharoit, aktiv muhitda yuqori darajadagi invers holatini yaratish va uni ushlab turish kerak bo'ladi. Invers holatni yaratish va katta koeffitsientli kuchlanishga erishishning o'ziga xos qiyinchiliklari bor bo'lib, u ham bo'lsa aktiv muhitning turg'un emasligidadir. Aktiv muhitning invers holatini pasaytiruvchi jarayonlardan biri, o'z-o'zidan nurlanish (superlyuminessensiya) jarayonidir.

Superlyuminessensiya har bir aktiv elementda invers holat bo'lgan jarayonda bo'lib, yuqori darajali invers holatni yaratishga xalaqit beradi va yuqori fon paydo bo'lishiga sabab bo'ladi. Superlyuminessensiya kuchlanishning katta koeffitsientlarida ($20^3 \cdot 10^4$) o'zini yaqqol nomoyon qiladi. Bu holda, uning rubin va neodimli kristallarda, intensivligi kuchayadi va yo'nalishi, impulsi formasi o'zgaradi. Ba'zi bir hollarda superlyuminessensiya energiyasi impulsi 100 Dj bo'lib, impulsning davomiylik vaqti $\sim 100 \text{ mks}$ bo'ladi. Bundan tashqari aktiv elementda, juda yuqori kuchayish

ko'effitsientiga erishilgan vaqtda superlyuminessensiyaning gigant impulsi vujudga keladi. Agar fotonlar aktiv elementdan bir marta o'tganda, ularning kuchayishi shu darajaga boradiki, aktiv elementning, aktiv zarrachalarining ko'p qismi nurlanadi. Gigant superlyuminessensiyani olishning shartlari quyidagicha ifodalanadi:

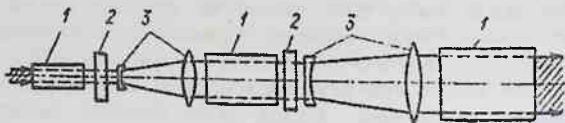
$$k \frac{t_0}{t_{qo'zg'}} \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{\Omega_{eff}}{2\pi} > 1, \quad (3.30)$$

bu yerda, $t_{qo'zg'}$ -zarrachalarining qo'zg'algan sathda yashash vaqti, t_0 - fotonning aktiv muhitdan o'tish vaqti; N_1 va N_2 boshlang'ich invers holat va ishchi yuqori sathdagi invers holat; Ω_{eff} muhit geometriyasiga bog'liq bo'lgan lyuminessensiyaning effektiv fazoviy burchagi. Formula (3.30) dagi shart bajarilish ostonasida, bir necha t_0 ga teng bo'lgan yorug'lik impulslari vujudga keladi va ostonadan o'tgandan keyin esa superlyuminessensiyaning impulsi davomiylik vaqti t_0 ga intiladi. Etarli yuqori kuchlanish vaqtlarida, superlyuminessensiya nurlanishida, qayta bog'lanish natijasida parazit generatsiya ham kuzatiladi, bu asosan nurlanishning aktiv elementda tarqalishidan hosil bo'ladi. Bu effektui yo'qotish uchun, aktiv element immersion qavat bilan qoplanadi, bu qoplama nurlanishni yaxshi o'ziga yutadi. Superlyuminessensiya va parazit generatsiyadan qutilish uchun va katta kuchlanish ko'effitsientiga ega bo'lish uchun ham kuchaytirgichlar ketma-ket joylashgan bo'ladi, lazer kuchaytirgichlari o'rtasida bog'liqlik bo'lishi kerak emas. Bunday bog'liqlikni yo'qotishning eng soddagina usullaridan biri, kuchaytirguvchi lazer kaskadlarini iloji boricha bir-biridan uzoqroq qilib joylashtirish kerak bo'ladi, buning natijasida ular orasidagi fazoviy burchak kichkinalashadi va parazit generatsiyaning rivojlanishiga yo'l qo'ymaydi. Bu o'z navbatida noqulay va katta geometrik o'lchamlar talab qiladi. Bundan boshqa effektiv yo'llaridan biri, kuchaytirgich kaskadlar o'rtasidagi bog'liqlikni olib tashlash uchun, har turdagi nur to'sqichlardan (fototron, elektrooptik, elektroportlovchi plenka) foydalanish hisoblanadi. Kuchaytirguvchi kaskadlarning orasidagi bog'liqlikni fototron nur to'sqichlar yordamida amalga oshirilganda, ular aktiv elementlar bilan birga, ikki komponentli kuchaytirguvchi va yutuveni muhit sifatida namoyon bo'ladi hamda yorug'lik impulslari intensivligiga nisbatan ostona hususiyatiga ega bo'ladi. Agar elektrooptik nur to'sqichlardan, kuchaytirgich kaskadlarni bog'liqligini yo'qotishda foydalanilsa, ular faqat yorug'lik impulsining o'tish vaqtida ochiladi. Elektroportlovchi plenka yopiq holatda hech qanday nurlanishni o'zidan o'tkazmaydi, ammo

ochilgandan so'ng, ular qayta yopilmaydi. Bir tomonlama nurlanishni o'tkazish uchun, kuchaytirgich sistemalarida optik bog'lanishni olib tashlash uchun, Faradey effektidan foydalaniladi. Kuchaytirgichli kaskadlarning, kuchaytirish ko'effitsienti yuqori bo'lmasa ham kuchaytirgich kaskadlarida geometrik o'lchamlari katta bo'lgan aktiv elementlardan, foydalaniladi. Ayniqsa oxirgi chiquvchi kaskadning o'lchamlari, boshqalaridan farq qiladi va uzunligi va ko'ndalang kesim yuzasining kattaligi bilan ajralib turadi. Ularda bir necha parazit jarayonlar, optik damlash vaqti bilan bir vaqtda sodir bo'ladi. Aktiv elementlarni, neodimli shisha kristallni himoyalash uchun, uning ustiga samariy aralashmasi qo'shib ishlangan shishali ekrandan foydalanamiz yoki nitrat samariyini glisrindagi eritmasi bilan qoplanadi [28-30].

3.4.5. Bir tomonga yo'nalgan, yuguruvchi to'lqinlarning kuchaytirgichi

Bunday kuchaytirgichlar asosan bir-biri bilan optik bog'lanishi bo'lmagan kuchaytirgich kaskadlaridan iborat bo'ladi. Ulardan kuchaytirilayotgan nurlanish, bir yo'nalishda o'tadi. Bu turdagi kuchaytirgichlarda invers muhitdan kam foydalaniladi, chunki bir yo'nalishli yuguruvchi to'lqinlar, chiziqli ravishda kuchaytiriladi. Ularning chiqish energiyasi, kuchayishni to'yinishidan yoki aktiv elementni parchalanishi sababli chegaralangan bo'ladi. Shu sababalarni hisobga olgan holda, birinchi kaskadlarning aktiv elementlarining kesim yuzasi, kichikroq qilib olinadi. Bu bilan optik damlash energiyasi, bekorga aktiv elementlarning katta hajmida, invers holat yaratmaslik uchun tejaladi. Nochiziq kuchlanish xududiga o'tishda va maksimal energiyani kuchlanish zichligi qiymatiga yaqinlashganida, yorug'lik nurlanishining diametri kattalashtiriladi (bu bilan aktiv elementning yuzasi proporsional ravishda kattalashadi) va natijada maksimal energiya qiymati olinadi. Bu turdagi operatsiya bir necha bor ma'lum chegaragacha qaytarilishi mumkin. Chunki, aktiv muhitni optik damlash qiyinlashadi, bunga sabab aktiv elementning kesim yuzasining katta o'lchamligi bo'ladi (3.20-rasm). Nazariy va eksperimental tekshiruvlar va kuchlanish jarayoni ustida, izlanishlar olib borilgan [31-33].

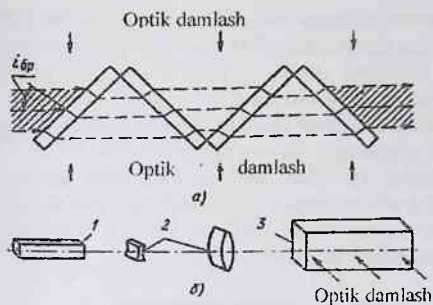


3.20-rasm. Yuquruvchi to'liqinli kuchaytirgich
1-aktiv element; 2-nur to'sqich; 3-teleskop, nur yuzasini kengaytiruvchi.

Yuqorida olib borilgan izlanishlarning ko'rsatishicha, quyidagi effekt aniqlangan. Yuqori quvvatga ega bo'lgan yorug'lik impulsining maksimumi, nochiziq muhit bo'lib, yuqori nurlanish tezligida harakatlanadi. shuni hisobga olib, yorug'lik nurlanishi quvvatini oshirishning yangi usuli ya'ni yorug'lik impulsi davomiyligi vaqtini nur to'sqich yordamida, yorug'lik to'liqinining oldi frontini shakillantirish natijasida, qisqartirish yo'li bilan oshirish usuli, taklif etildi. Katta quvvatli kuchaytirguvchilar kaskadini tuzilishi va ularni bir necha nur to'sqichlar bilan ajratilishi va aktiv elementlar yuzasini bir-biriga monad qilib tanlash yoki tabiiy ravishda nurlarni tarqalishini hisobga olib, teleskop yordamidan foydalanilganligi ko'rsatilgan. Aktiv elementlarning qirra yuzalari, Bryuster burchagi ostida qirqilgan bo'lib, bunday kuchaytirgichlar sistemasi yordamida, lazer impulslari davomiylilik vaqti bir necha pikosekund bo'lgan, energiyasi 500 Dj bo'lgan generatsiya olingan. Bunday yuqori darajadagi lazer nurlanishi energiyasi, bir necha kuchaytirguvchi kesim yuzasi, katta aktiv element kaskadlar yordamida olingan. Katta o'lehamli aktiv elementlar bilan ishlagandagi, qiyinchilik asosan, ularni bir tekis aktivlashtirish masalasi bo'ladi. Yumaloq sterjen shaklidagi aktiv elementlarning kesim yuzasini katta o'lehamligidan foydalanilganda, yorug'lik nurlanishi konsentrasiyasini kamayishini hisobiga olish kerak bo'ladi. Kuchaytirguvchi kaskadlarning yuzasini kattalashtirishning bir usuli, kuchaytiriluvchi nurga nisbatan, burchak ostida joylashtirilgan diskardan foydalanishdir.

Agar, disklar suyuq muhitda joylashgan bo'lsa, ularni burchaklari ixtiyoriy tarzda bo'lishi mumkin. Agar, ular havoda joylashgan bo'lsa, yon qirralardan qaytgan nurlanishning yo'qotishini hisobga olib, ularni Bryuster burchagi ostida kuchaytiriluvchi nurlanishga nisbatan joylashtiriladi. Disklarni o'rnatish, parallel yoki zigzaksimon qilib joylashtiriladi. Bunday diskarni optik damlash, yon tomondan amalga oshiriladi (3.21-a rasm) kabi. Bunday sxemaning kamchiliklaridan biri, konstruksiyasining murakkabligi hamda kuchaytirguvchi kaskadlarning katta o'lehamligidadir.

3.21-b rasmda ko'rsatilishicha, kuchaytiriluvchi nurlanishning ko'ndalang kesimi yuzasini kengaytirish uchun, silindrsimon teleskopdan foydalanilgan, buning uchun aktiv element to'g'ri burchakli yuzaga ega bo'lib, o'lchamlari yon tomondan optik damlashni amalga oshirishga imkon berishi kerak.



3.21-rasm. Tekis, aktiv elementli, chiquvchi, kuchaytirguvchi kaskadlar

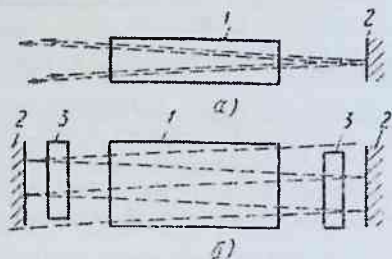
a-zigzaksimon joylashgan tekis (kvadrat yoki xalqa shaklidagi) plastinkalar; b-to'g'ri to'rt burchak yuzali aktiv elementli kuchaytirguvchi kaskadlarni muvofiqqlashtirish; 1-kuchaytirgichning aktiv elementi; 2- nurlanishni yuzasi kengaytiruvchi silindrik yuzasi; 3-chiquvchi kuchaytirgichning aktiv elementini, yon tomondan damlash amalga oshiriladi.

Bunday kuchaytirguvchi kaskadlar, shunday tanlab olinishi kerak-ki, aktiv elementning yon tomon ko'ndalang kesimi yuzasining, bir birlik yuzasiga to'g'ri kelgan energiyaning kattaligi, aktiv element ishlangan materialning parchalanishi uchun mo'ljallangan energiya miqdoridan, oshib ketishi kerak emas bo'ladi. Kuchaytirguvchi bu tipdagi (to'g'ri to'rt burchak yuzali) aktiv elementlar va silindrsimon teleskoplar nafaqat kuchaytirguvchi kaskadlarda, yuguruvchi to'lqinlarni kuchaytirish uchun, balki boshqa kuchaytirgichlar bilan birgalikda ham qo'llanilishi mumkin.

3.4.6. Ko'p o'tish yo'lakli optik kuchaytirgich

Bu turdagi optik kuchaytirgichlarda, nurlanish birin-ketin, tekis parallel yoki egri chiziqli ko'zgulardan qaytib, aktiv elementdan ko'p marta o'tadi.

Bu turdagi kuchaytirgich, chiziqli yoki nochiziqli impulslarni kuchaytirishda effektiv hisoblanadi. Kichik quvvatli, chiziqli impulslarni kuchaytirish maqsadida ko'p yo'lakli kuchaytirgichlardan, tekis parallel yuzali ko'zgularidan foydalaniladi. Chiziqli kuchaytirish rejimida, boshlang'ich invers holat, impulsni o'tishida deyarli o'zgar olmaydi, bu esa bir invers muhitdan bir necha marta foydalanishga imkon beradi. Bu rejimda nurlanish aktiv elementdan o'tib, ko'z gudan qaytib, o'z yo'nalishini teskari tomonga o'zgartirib, yana qatib aktiv muhitdan o'tadi, bunday o'tishlar ko'p marta qaytarilishi mumkin, faqat superflyuminessensiya vujudga kelishidan ehtiyot bo'lish kerak. Shu maqsadda, aktiv element bilan qaytargich ko'z gular orasiga nur to'sqichlarlar o'rnatiladi. Bu esa o'z navbatida ko'p yo'lakli kuchaytirgichlar tuzilishini murakkablashtiradi. Juda katta qiymatli kuchaytirishga mo'ljallangan kuchaytirgichlar uchun, ikki, uch marta ko'p kuchaytirgichdan o'tadigan sistema uchun, optik nur to'sqich xizmatidan foydalanulmagan holda ham ishlash mumkin.



3.22-rasm. Ko'p o'tish yo'lakli optik kuchaytirgich
 a- ikki o'tish yo'li kuchaytirgich, b- ko'p o'tish yo'llik kuchaytirgich 1-aktiv
 element; 2-100% qaytaruvchi ko'zgu; 3-nur qaytargichlarlar.

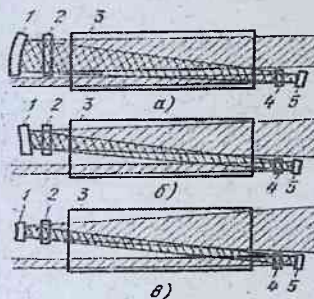
Tekis parallel yuzali ko'z gularidan, ko'p yo'lakli kuchaytirgichlardan kichik yuzali nurlanishni kuchaytirishda foydalanish mumkin. Bunday kuchaytirgichlarning asosiy kamchiligi, invers muhitdan to'la foydalanmaslik bo'lib, bunga sabab invers muhitga kirayotgan va undan chiqib, ko'z gudan qaytib, qayta kirayotgan nurlanishning traektoriyalarini boshqa-boshqa ekanligidir. Bundan tashqari, ko'p yo'lakli kuchaytirgichlar bilan ishlash va rezonator ichida nurlanishni boshqarish, ancha mohirlik va mehnatni talab qiladi. Shularni hisobga olib, katta kuchlanish koefitsientiga ega bo'lgan energiya zichligini olish uchun, ko'p yo'lakli va teskari parallel ko'z guli kuchaytirgich o'rniga, boshqariladigan rezonatorli kuchaytirgich-

lardan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi. 3.22- a rasmda, uch o'tish yo'lakli, qavariq botiq ko'zguli kuchaytirgichning optik sxemasi ko'rsatilgan.

Agar, qavariq va botiq yuzli ko'zgular fokusi, o'zaro mutanosib bo'lsalar, bunday uch o'tishli yo'lak kuchaytirgichi, teleskopik kuchaytirgich ham deyiladi. Bunday kuchaytirgich, nurlanishning tarqalish burchagini kamaytiradi va shu vaqtning ichida, nurlanishning ko'ndalang kesim yuzasi, bir necha barobar kattalashtiriladi (kattalashtirish, teleskopning kattalashtirish hususiyatiga bog'liq bo'ladi).

Ko'p yo'lakli kuchaytirgichlarning boshqa turi, bu qavariq-qavariq ko'zguli kuchaytirgichlar bo'lib, bu ko'zgular kuchayuvchi parallel nurlanish dastasini, tarqatuvchi nurlanish dastasiga aylantiradi. Bunday kuchaytirgichda, nurlanish dastasi birinchi qaytargichdan qaytgandan so'ng, burchak ostida tarqala boshlaydi va ikkinchi qaytarilishidan so'ng, tarqalish burchagicha o'zgaradi. (3.23- b rasmi).

Ko'zgular radiuslari nisbatiga qarab, keyingi qaytishlarda, tarqalish burchagi kamayishi yoki kattalashishi mumkin. (3.23- v).



Rasm 3.23. Egri chiziqli, silindrsimon ko'zguli, uch o'tish yo'lakli kuchaytirgichlar:

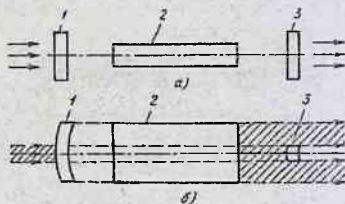
- a) - teleskop tarzda joylashtirilgan qavariq-botiq ko'zgu;
 b)-qavariq-qavariq ko'zgu; v)-tekis qavariq ko'zgu; 1,3-ko'zgular;
 2,4-svetozatvorlar; 4-aktiv element.

Bunday kuchaytirgichda, kuchaytiriluvchi nurlanishning energiyasining zichligi, aktiv muhitning kuchaytirish qiymati, qavariq-qavariq sistemali ko'zgularning kattalashtirish imkoniyatiga bog'liq bo'ladi. Hamma egri

chiziqli ko'zguli, ko'p o'tish yo'lli kuchaytirgichlarda, maksimal invers holatni aktiv elementda olish uchun, qaytarguvchi ko'zgular optik jixatdan, aktiv elementga bog'liq bo'lmaydilar, shuning uchun eng qo'l keladigan optik elementlar, fototron yoki elektrportlovchi plenkali svetozatvorlar bo'ladi [26,35,38,43].

3.4.7. Regenerativ optik kuchaytirgich

Regenerativ optik kvant kuchaytirgichlarda, kuchaytirish rejimi, musbat qayta bog'lanish yordamida amalga oshiriladi. Regenerativ kuchaytirgichning optik sxemasi, ikkita yarim o'tkazgichli ko'zgudan iborat bo'lib, ularning o'tkazish koeffitsienti r_1 va r_2 bo'lib, ular orasiga aktiv element joylashtirilgan bo'ladi. Kuchaytiriluvchi nurlanish r_1 ko'zgu orqali kirib, ko'p marta r_1 va r_2 ko'zgulardan qaytib, aktiv elementda kuchayib, yarim o'tkazuvchi ko'zgu orqali rezonatoridan chiqadi (3.24- a rasm).



3.24-rasm. Regenerativ optik kuchaytirgichlar

a) - tekis parallel rezonatorli regenerativ kuchaytirgich; 1,3- yarim o'tkazgichli ko'zgular; 2-aktiv element; b)-regenerativ kuchaytirgich.

Regenerativ kuchaytirishni, ikki turdagi rezonatorlardan foydalanilganda ham (turg'un va turg'un bo'lmagan rezonatorlardan) amalga oshirish mumkin. 3.24- b rasmda, teleskopik rezonatorli regenerativ kuchaytirgichni optik sxemasi keltiriladi. Bunda nurlanishning kuchayishi bir vaqtni o'zida, nurlanishning kesim yuzasini keganyishi va invers muhitning nurlanishni kuchayishi jarayonida, aktiv element hajmining ko'pgina qismini qatnashishidir.

Regenerativ kuchaytirgichlar, bir yo'lakli kuchaytirgichga qaraganda ko'proq lazerga o'xshab ketadi, chunki bu kuchaytirgichning generatorga o'xshab o'zining rezonatori bor. Shunga ko'ra, regenerativ kuchaytirgichlarning kuchaytiriluvchi nurlanishning spektoriga nisbatan, tanlash

hususiyati bor. Regenerativ kuchaytirgichlar uzluksiz yoki impulsli generatsiya nurlanishini kuchaytirish imkoniyatiga ega. Regenerativ kuchaytirgichlardan, lazerlar impulslerini kuchaytirishda foydalaniladi. Regenerativ kuchaytirgichlar dan foydalanib, bir chastotali spektor liniyasi kengligi 0.005 sm^{-1} bo'lgan lazer nurlanishi kuchaytirilgan. Birlamchi (asosiy) generatordagi va regenerativ kuchaytirgichdagi bo'ylama to'lqinlar modasi orasidagi masofa 0.008 sm^{-1} teng bo'lgan. Kiruvchi signalning intensivligi 10^{-2} Vt/sm^2 bo'lib, chiqishdagi intensivlik 10^8 Vt/sm^2 gacha kuchaytirilgan, ammo nurlanishining yo'nalish diagrammasi yomonlashgan, $2 \cdot 10^{-4}$ dan $1.5 \cdot 10^{-4}$ radiangacha. Regenerativ kuchaytirgichlardan kuchsiz, uzluksiz ishlaydigan yoki impulsli rejimda ishlaydigan, impulsning davomiylig vaqti ancha uzunroq bo'lgan nurlanishlarni kuchaytirishda foydalanib, energiyaning katta qiymat largacha oshirish mumkin.

3.4.8. Boshqariladigan rezonatorli kuchaytirgich

Kuchsiz yorug'lik signallarini, davomiylig vaqti, fotonning rezonator-dan o'tish uchun sarflangan vaqtning, ikki barobaridan ham kam vaqtga ega bo'lgan signallarni kuchaytirishning effektiv usuli, boshqariluvchi rezonatorli kuchaytirgichlar bo'lib hisoblanadi (ko'p yo'lakli rezonatorli kuchaytirgich). Bu qurilma, optik kvant generatoriga o'xshagan bo'lib, uning ko'zgularining o'tkazish va qaytarish koeffitsientlari 0 dan 1 gacha bo'lgan oraliqda sakrab [37], generatsiya jarayonidan oldin va keyin o'zgaradi. Kuchaytiriluvchi signalni, kuchaytirgichga kirish vaqti davomida, kirish ko'zgesi ochiq bo'lib, chiquvchi ko'zgu yopiq bo'ladi. Kuchaytiriluvchi signal, kuchaytirgich kaskadning rezonatoriga kirib bo'lgandan keyin, kiruvchi ko'zgu yopiladi va rezonator ichida kuchaytirish jarayoni davom etadi va intensivligi ma'lum darajagacha kuchaytirilgan yorug'lik signali, chiqish ko'zgesi ochilishi bilan rezonator-dan chiqadi. Rezonator-dagi, har bir vaqt birligi uchun energetik balans, ikki sathli sistema uchun, shu ko'rinishda yoziladi:

$$E = E_0 + \frac{h\nu}{2} V \left[(N_1 - N) + N_0 n_p \ln \frac{N}{N_1} \right] \quad (3.31)$$

bu yerda, E_0 , E - kuchaytiriluvchi va kuchaygan yorug'lik nuri energiyasi; N_1 , N - kuchlanish boshlanishidagi va oxiridagi invers holat zichligi; N_0 - aktiv sentrlar zichligi; V - aktiv element hajmi; n_p - invers

holatning cho'qqi darajasiga teng, γ/α_a (γ -rezonatoridagi yo'qotishlar, α_a -aktiv elementning uzunligi; α_0 -lyuminissensiya chizig'i markazidagi aktiv muhitning yutish koeffitsiyenti). Aktiv elementda saqlangan energiyaning bir qismi, rezonatorda yutilish, sochilish v rezonator elementlaridagi boshqa yo'qotishlarga sarf bo'ladi. Energiyaning bu qismi (E_{nom}) quyidagicha aniqlanadi:

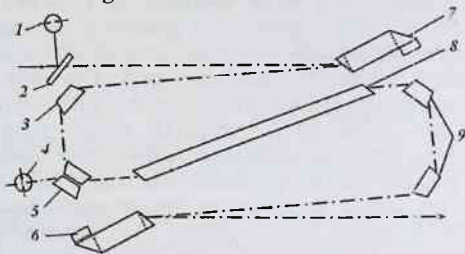
$$E_{nom} = N_0 V h \nu \frac{n_p}{2} \ln \frac{N}{N_i} \quad (3.32)$$

Kuchaytirilgan nurlanishni rezonatoridan chiqishdagi maksimal energiyasi va impulsining davomiylik vaqti, shu ifoda bilan aniqlanadi:

$$E = \frac{1}{2} (n_l - n_p) x V N_0 h \nu; \quad \tau = 2 \frac{L}{c} \quad (3.33)$$

Impuls formasining kuchaytirilish natijasida, shaklning o'zgarishini analiz qilish uchun (3.22) dan foydalanamiz $f(x) = \int_0^t e^{\Phi(x,t)} dt$ (x -nuqta yuzasidan (t) vaqtda o'tgan fotonlar soni)

Boshqariluvchi rezonatoridan amaliy maqsadda foydalanish uchun, har turli elektrooptik qurilmalardan va yorug'likning uchqunli razryadniklaridan foydalaniladi. Bu maqsad uchun, elektrooptik qaytargichlardan foydalanish maqsadga muvofiq bo'lib, ular yordamida har turli kuchaytirgichlarning optik sxemalarini amalga oshirish mumkin bo'ladi.



3.25-rasm. Rezonatori boshqariladigan kuchaytirgich:

1,4-nur uchkanli razryadniklar; 2-yorug'lik nurini bo'luvchi plastinka; 3,9- 90° lik buruvchi prizmalar, kirish yuzasi Bryuster burchagi ostida bo'lgan chiqaruvchi nurga nisbatan; 5- ikkita 90° buruvchi prizmalar orasida havo bo'shlig'i bor bo'lib, nurni qisman o'tkazishni ta'minlaydi; 6,7-elektrooptik, prizma-timli qaytargichlar; 8-aktiv element.

3.25- rasmda, ikki elektrooptik qaytargichli kuchaytirgichning optik sxemasi ko'rsatilgan (bu kuchaytirgichlarning kirish yuzasi Bryuter burchagi ostida, nurlanishga nisbatan bo'lib, yon tomoniga prizma-tom o'rnatilgan), qaytargichlarning orasiga esa, aktiv element joylashtirilgan hamda Bryuster burchagi ostida kiruvchi nurlanishga nisbatan joylashgan buruvchi prizmalardan foydalanilgan. Kuchaytirgichga kirish oldidan nurlanish bo'linadi va bir qismi nurlanish, uchqunli razryadnikka tushadi, razryadnik ishga tushib, elektrik signal, elektrooptik qaytargichni ishga tushiradi, qaytargichdan qaytgan nurlanish, kuchaytirish rezonatoriga kiradi [1, 7].

Ikkinchi nurlanish, uchqunli razryadnik rezonatordan chiqish oldida, yarim o'tkazgichli ko'zgu oldida joylashgan bo'ladi. Bunday kuchaytirgich, yorug'lik impulsi shaklini buzmasdan kuchaytirish imkoniga ega bo'ladi. Yorug'lik nurlanishi impulsining davomiylilik vaqti, bir necha pikosekunddan to fotonlarning rezonatordan o'tish vaqtini, ikkiga ko'paytirilgan vaqt davomiyligicha bo'ladi.[21, 22, 23].

3.5. Ikkinchi garmonikani olish uchun qo'llaniladigan optik sxemalar

Lazer nurlanishining birlamchi chastotasini, ikki marotaba ko'paygan chastotasini olish, nurlanishning kristall bilan chiziqli o'zaro ta'siri, reaksiyasining o'ziga xosligi shundan iboratki, muhitdan tarqalayotgan to'lqin polarizatsiyasi, elektr maydonning kuchlanishi ta'sirida, sezilarli darajada o'zgaradi. Bu masala, nazariy jihatdan qator monografiya va obzorlarda muhokama qilingan. Hozirgi kunda ikkinchi garmonika generatsiyasini amalga oshirish uchun, ishlatilsa bo'ladigan kristallarning bir necha turi ma'lum bo'lib, bunday kristallarning effektivligi yuqorilari saliga, quyidagi kristalografik sinfga kiruvchi 42m kristallarni ko'rsatib o'tamiz. (KDR:ADR; va boshqalar); segnetoelektrik perovskitlar ($LiNbO_3$, $LiTaO_3$ va boshqalar) volfram bronza strukturali kristallar

($Ba_2NaNb_5O_{15}$ va boshqalar); geksagonal-piramidal struktura ko'rinishidagi kristallar ($LiIO_3$ va boshqalar) va yana boshqa klassga kiruvchi piyezoelektrik hususiyatga ega bo'lgan kristallar kiradi. Zamonaviy texnologiyalar asosida, bu turdagi kristallarning katta hajmdagi, yaxshi optika mexanik harakteristikaga ega bo'lganlarini o'stirish mumkin. Amaliyot praktikasida ishlatish uchun va katta quvvatli garmonikalar generatorini yaratishda, effektivligini katta emasligiga qaramasdan, KDR

kristalidan foydalanib kelinmoqda. Ikkinchi garmonikani generatsiyasi uchun ishlatiladigan, nochiziq element kristalli, fazalar mutanosibligi yo'nalishi bo'yicha kesilgan bo'lib, (boshqacha qilib aytganda sinxronizm yo'nalishi bo'yicha) kristallning butun hajmi bo'yicha nurlanishning tarqalishi davomida, birlamchi nurlanishni ikkinchi garmonikaga aylantiradi. Nurlanishning sinxronizm yo'nalishiga, birlamchi nurlanish polarizatsiyasi yo'nalishi hamda ikkinchi garmonika nurlanish polarizatsiyasi yo'nalishi bog'liq bo'ladi. Fazalar aro mutanosiblikning o'zaro ta'siri natijasidagi sharti, asosiy to'lqin bilan uning ikkinchi garmonikasining sinish ko'rsatgichlarining o'zaro tengligi hisoblandi, ya'ni $n_o(\omega) = n_e(2\omega)$. Sinxronizatsiya burchagi θ_{sn} quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\cos^2 \theta_{sn} = \frac{1 - n_e^2(\omega)/n_o^2(2\omega)}{1 - n_e^2(\omega)/n_o^2(\omega)} \quad (3.34)$$

bu yerda $n_o(\omega)$, $n_o(2\omega)$ va $n_e(\omega)$, $n_e(2\omega)$ - asosiy va ikkinchi garmonika uchun oddiy va oddiy bo'lmagan nurlanishning tarkibiy qismlari uchun sinish ko'rsatgichi KDR kristalida. rubin kristali generatsiyasi nurlanishi uchun $\theta_{ev} = 50^\circ 49'$, neodim shishali kristallar uchun $\theta_{ev} = 41^\circ 31'$ ga teng. Ikkinchi garmonika chiqish nurlanishi quvvatining burchak θ_{sn} va φ ga bog'liqligi, ikkinchi garmonikani chiqishining maksimal qiymati, $\varphi = 45^\circ$ bo'lgan holda amalga oshiriladi. Ikkinchi garmonikaning effektivligi asosiy nurlanish polarizatsiya tekisligining, ikkinchi garmonika polarizatsiya tekisligiga nisbatan perpendikulyar holatdiligiga bog'liq bo'ladi. Bu holda nurlanishning $00 \rightarrow e$ ta'siri, ikkinchi garmonika olishda, tekis parallel yuza effektivligini ko'rsatadi. Ikkinchi turdagi o'zaro ta'sir, muhit bilan $O_i \rightarrow e$ o'rtasida bo'ladi [88,89] ular o'rtasidagi fazalar mutanosibligini quyidagi ko'rinish orqali olamiz:

$$\frac{n_o(\omega) - n_e(\omega)}{2} \geq n_e(2\omega) - n_e(\omega) \quad (3.35)$$

bu yerda, burchak θ_{sn} bu holatda quyidagi formula yordamida hisoblanadi [88].

$$\cos^2 \theta_{sn} = \frac{2[n_e(2\omega) - n_o(\omega) - n_e(\omega)]}{n_e(\omega)[1 - n_e^2(\omega)/n_o^2(\omega)] - 2n_e^2(\omega)[1 - n_e^2(\omega)/n_o^2(2\omega)]} \quad (3.36)$$

KDR kristalli uchun, nurlanishning maksimal ikkinchi garmonikaga aylanib chiqishi $\varphi = 0$ bo'lgan holatda amalga oshadi. Aytib o'tish kerakki, rubin kristallari uchun (3.26) shart bajarilmaydi, neodimli shisha kristallari uchun taxminan $\theta_m \approx 59^\circ$ ga teng bo'ladi. Polyarizatsiyalanmagan yorug'lik nuri uchun $O_e \rightarrow I$ nurlanishning ta'siri asosiy faktor bo'lib, ikkinchi garmonika olishda polyarizatsiyalanmagan nurlanish uchun bosh rolni o'ynaydi. Agar, birlamchi tushuvchi nurlanish polyarizatsiyalanmagan bo'lsa, uning polyarizatsiya tekisligi, kristall KDR ning kristallografik o'qiga nisbatan ma'lum nisbatda orientirlangan bo'lishi kerak bo'ladi [38, 39, 40].

3.5.1. Ikkinchi garmonika olishda silindrsimon optikadan foydalanish

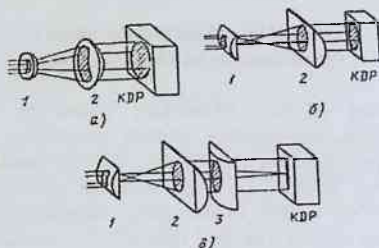
Nurlanishning ikkinchi garmonikasi intensivligi, sinxronizatsiya burchak tekisligida, nurlanishning tarqalish yo'nalishiga bog'liq bo'lib, nurlanishning perpendikulyar tekislikdagi, burchak ostidagi tarqalishiga bog'liq bo'lmaydi. Silindrsimon linza yordamida, nurlanishni fokuslasak, nurlanishni zichligi oshadi va lazerning sinxronizatsiya tekisligidagi tarqalish burchagi qiymati o'zgaradi. Optimal F.I.K. qiymatini olish uchun linzaning fokus uzunligining qiymatini to'g'ri olish kerak. Bu fokus uzunligi, quyidagi sharoitni hisobga olgan holda, olinadi $\alpha_k = \theta_l - \theta_m$, bu yerda α_k fokusirovka qilinmagan nurlanishning, sinxronizatsiya yo'nalishiga, eng chetki nurlanishni og'ish burchagi: θ_l - kristallning optik o'qi bilan fokuslangan eng chetki nurlanishning o'zaro tashkil qilgan burchagi, shunday ko'rinishda aniqlanadi.

$$\cos \theta_1 = \cos \theta (2 \cos \beta - 1) \quad (3.37)$$

burchak β , fokusirovka tekisligida nurlanishning yig'ilishini aniqlaydi. $\operatorname{tg} \beta = d/f$, bu yerda d - nurlanishning diametri; f - linzaning fokusi uzunligi. Linzaning fokus uzunligi $00 \rightarrow e$ va $O_e \rightarrow e$ nurlanishi uchun har xil bo'ladi. Olib borilgan tajribalarning ko'rsatishicha, diametri 10 mm bo'lgan nurlanish uchun, uning tarqalish burchagi $2\alpha_k = 2'$ bo'lsa, $O_e \rightarrow ef$ uchun $f = 150 \text{ mm}$ va $00 \rightarrow ef$ uchun esa, $f = 600 \text{ mm}$ ekanligi aniqlangan. Shundan ko'rinib turibdiki, bir xil sharoitda $O_e \rightarrow e$ komponentali nurlanishlar uchun, fokusi uzunligi 4 marta va undan kichikroq kichik bo'lgan, linzadan foydalanishga to'g'ri keladi. Shunga o'xshash, uzunligi 40 mm bo'lgan

kristallda fokus uzunligi $f=380 \text{ mm}$ bo'lgan silindrsimon linza yordamida olingan, fokuslanmagan lazer nurlanishidan foydalanilgan.

Olib borilgan optik sxemalar ustidagi nazariy va amaliy izlanishlarning ko'rsatishicha, teleskopik sistemalar nurlanishni yuzasi bo'yicha hamma yo'nalishlarda bir xil kattalashtirishga ega bo'lgan hususiyatlari yordamida (3.26- *a* rasm) va ikki o'zaro perpendikulyar tekislikdagi, har xil qiymatda kattalashtirilishi, sistemaning F.I.Kini oshirish imkonini bermaydi. (3.26- *b* rasm) chunki silindrsimon linzalar nurlanishning tarqalish burchagini kamaytirish bilan birga, nurlanishning zichligini kamaytirib yuboradi (3.26- rasm).



3.26-rasm. Lazer nurlanishi strukturasi va fazoviy shakllanishining optik sxemalari:

a- teleskopik, aksial-simmetrik sistema; *b*- silindrsimon linzalardan tashkil topgan teleskopik linza; *v*- silindrsimon fokuslovchi linzadan tashkil topgan teleskopik sistema.

3.26-*v* rasmda, ko'rsatilgan optik sxema, ko'rsatilgan kamchiliklarni yo'qotib, nurlanishning zichligi bilan tarqalish burchagi orasidagi optimal nisbiylikni belgilab beradi. Bu sistemaning tuzilishi: ikki silindrsimon linzadan tashkil topgan, teleskopik sistema shunday joylashtirilganki, nurlanishning kesim yuzasi, kristallning asosiy tekisligida kattalashsin, uchinchi teleskopik linza yorug'lik nurlanishini, kristallning asosiy tekisligiga, perpendikulyar tekislikda fokuslasin. Amaliy tomondan nurlanishning bunday shakllanishi, ikkita linza yordamida amalga oshiriladi, birinchi linza manfiy silindrsimon bo'lib, ikkinchisi musbat sferasimon bo'ladi.

Neodim shisha kristalli asosida ishlovchi lazerning quvvati 20 Mvt/s^2 bo'lib, uning nurlanishining tarqalish burchagi $2'$ bo'lgan, generatsiyasining

ikkinchi garmonikasi, uzunligi 5 sm bo'lgan KDR kristali yordamida, optik sxemada, amalga oshirilgan. Bunday sistema ishlatilganda, ikkinchi garmonika olish generatsiyasining F.I.K ti 70% etgan [35,42, 43].

3.5.2. Lazer rezonatorida ikkinchi garmonika generatsiyasini olish

Ikkinchi garmonikani olish uchun, lazer rezonatorini ichiga nohiziq o'zgartuvchi kristal joylashtiriladi. Bu rezonatorning bir ko'zgusi, asosiy nurlanishni 100% qaytarish xususiyatiga ega bo'lib, ikkinchi ko'zgu esa ikkinchi garmonika nurlanishini to'la o'tkazib yuboradi. Bu holatda rezonatordan ikkinchi garmonika nurlanishining hammasi chiqarib yuboriladi.

Erkin generatsiya rejimi uchun yozilgan tezlik tenglamalari, ikkinchi garmonika nurlanishining chiqish quvvatini, generatorning parametrlariga (ichki yo'qotishlar koeffitsienti, damlash tezligi lyuminissensiya vaqti, aktiv zarrachalarning umumiy soni va boshqalar) bog'liqligini aniqlab beradi. Nohiziq elementlarning rezonator ichida joylashganligi, nafaqat ikkinchi garmonika olishga olib keladi, balki impuls shaklini ham o'zgartiradi. Rezonator ichidagi yo'qotishlarning nohiziq, asosiy nurlanish quvvatiga bog'liqligi, ichki manfiy qayta bog'lanishni keltirib chiqaradi. F.I.K. ning lazer quvvatiga qarab, chiziqli bog'liqligiga, rezonatordagi yo'qotishlar, ikkinchi garmonika olishda, katta bo'lmagan holda, balans tenglamasining, fotonlarning nisbiy zichligi φ va invers holat n ga nisbati, quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \left(\frac{n}{n'_p} - 1 - \frac{a\varphi}{\gamma_6} \right) \varphi \quad (3.38)$$

$$\frac{dn}{dt} = -2 \frac{n}{n'_p} \varphi \quad (3.39)$$

bu yerda, φ va n - fotonlar zichligi va invers holat kattaligining aktiv zarrachalar N_0 zichligiga nisbati; $n'_p = \gamma_B / \alpha_0 \ell$ - rezonatorda fotonlarning zichligining, nurlanishning ikkinchi garmonikaga aylanmagan holdagi, pik qiymati vaqtidagi, nisbiy invers holat. Vaqt birligining ko'rinishi $T = t_1 / \gamma_6$ (t_1 -fotonlarning rezonatordan bir marta o'tgan vaqti), rezonator asilliyiligini yoqilish vaqtidan boshlab hisobga olinadi. Boshlang'ich vaqtda $n=n_0$, fotonlar zichligi φ_0 , -o'z-o'zidan nurlanish bilan aniqlanadi, u kam bo'lsa $\varphi_0 \approx 0$ bo'ladi.

Shunday taxmin qilamizki, aktiv elementda invers holatning taqsimoti, rezonator o'qi bo'ylab tarqalayotgan to'lqinlarning tekis yuzasiga yaqin va generatordagi, bitta bo'yлама turdagi tebranishlar generatsiya chastotasi, aktiv elementning lyuminessensiya maksimumiga to'g'ri keladi. Unda tenglamalar (3.38) va (3.39) analitik echimiga ega bo'lib, ikkinchi garmonikaning rezonator ichidagi kerakli parametrlarni aniqlashga imkon beradi. Tenglamalardan vaqtni olib tashlab, birinchi darajali, chiziqli differensial tenglamani olamiz, uning echimi esa, quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\varphi(n) = C_n^k - \frac{n_p'}{2k} - \frac{n}{2(1-k)}, \quad (3.40)$$

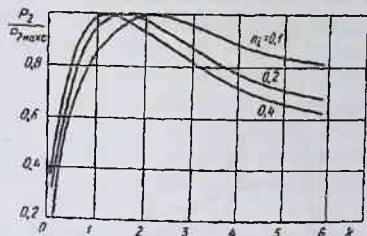
bu yerda, S - o'zgarmas kattalik bo'lib, moddaning boshlang'ich invers holati va n_p' -ning qiymati orqali ifodalanadi. $k = a/2\alpha_0 l$. Formula (3.40) dan agar $d\varphi/dt = 0$ bo'lsa, fotonlarning rezonatoridagi cho'qqi zichlig qiymati φ_p va asosiy nurlanishning ham maksimal cho'qqi quvvati qiymati P_0 aniqlash mumkin.

$$P_0 = N_0 h\nu c S \ell \varphi_p / L \quad (3.41)$$

$$\varphi_p = n_1 (u - v) / 2k \quad (3.42)$$

bu yerda, S -aktiv elementning kesim yuzasi; L -rezonator uzunligi; s -yorug'lik nurining tezligi; $u = (k - kv + v)^{1/k}$; $v = n_p' / n_1$. Ikkinchi garmonika nurlanishining maksimal cho'qqi quvvati, quyidagi tarkibiy kesimdan iborat bo'lib P_2 (γ_{mp} - numri ikkinchi garmonikasini olishda yo'qotishlar summasi va quvvat R_0 ning yo'qotishlar summasi yig'indisidan) teng bo'ladi.

3.27-rasmida, hisoblar natijasi keltirilgan P_2/P_{2max} ning, k parametrlar qiymatiga nisbatan, invers zichlik n_1 ning bir necha boshlang'ich qiymatlarida: $N_0 h\nu = 4.65 \text{ Dj/sm}^3$, $S = 0.5 \text{ sm}^2$, $l = 8 \text{ sm}$, $L = 75 \text{ sm}$, $\gamma_v = 0.15$ maksimum $P_{2max}(k)$ ning mavjudligi invers holatining oshishi bilan, k ning kichik qiymatlari tomon siljishi, parametrlari: a - proporsionallik koeffitsienti, ikkinchi garmonika nurlanishi quvvati va asosiy chastota, quvvatining kvadratlari orasida optimal qiymat borligini ko'rsatadi.



3.27-rasmda n_1 ning har xil qiymatlarida $P_2/P_{2\max}$ ning parametrlariga bog'liqligi

1) $P_{2\max} = 2.5 \text{ MVt}$; 2) 25.5 MVt ; 3) 150 MVt

Ikkinchi garmonika energiyasining zichligi, quyidagiga teng:

$$E_2 = \frac{Y_6}{2} \left[(n_i - n_f) + n_p' \ln \frac{n_f}{n_i} \right] N_0 h \nu V \quad (3.43)$$

bu yerda, n_i - invers holatning qoldiq qismi bo'lib, uni quyidagi nisbiylikdan aniqlaymiz:

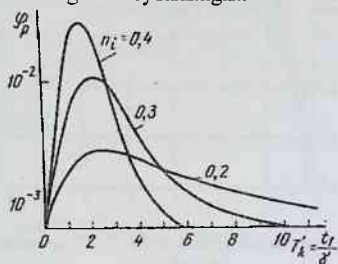
$$\left(\frac{n_f}{n_i} \right)^k \left[\frac{\nu}{2k} + \frac{1}{2(1-k)} \right] + \frac{\nu}{2k} = \frac{n_f}{n_i} \cdot \frac{1}{2(1-k)} \quad (3.44)$$

Agar, $k \neq 1$

Yuqorida tanlab olingan parametrlarning qiymatlari asosida olib borilgan integral hisobning natijasining tenglama (3.38), (3.39)da, grafik usuldagi generatsiya impulsi shaklining ko'rinishi 3.28-rasmda berilgan.

Yuqorida aytib o'tilgan hisoblash usuli bilan, rezonator ichidagi nurlanishni o'zgaruvchi energetik parametrlarini aniqlash uchun, proporsionallik koeffitsienti α ni, ikkinchi garmonika quvvati, asosiy garmonika chastotasi quvvatining kvadratini bilish kerak bo'ladi. O'zgartirishning F.L.K qiymatini 1% dan oshmasligini hisobga olib, Kleyman nisbatidan foydalanamiz. F.L.K.ning katta qiymatlarini olishda, hisoblash natijalaridan foydalanish mumkin. Optik rezonator sxemasi berilgan bo'lib, aktiv element sifatida IAG dan, noxiziq element sifatida,

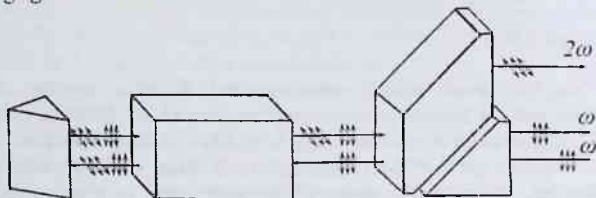
uzunligi $L=10\text{mm}$, sinxronizm burchagi 30° bo'lgan L, I_0 , dan va prizmatom hamda dielektrik ko'zgudan foydalanilgan.



3.28-rasm. Nochiziq elementli rezonatoridagi asosiy chastota nurining impulsi formasi (E.X.M. yordamida hisoblang)

Ko'zguning to'liq uzunligi $\lambda=1.06\text{ mkm}$ bo'lsa, qaytarish koeffitsienti $R=99.8\%$ bo'lib, $\lambda = 0.53\text{mkm}$ uchun esa, qaytarish koeffitsienti $R=15\%$ ni tashkil etadi.

Ikkinchi garmonika nurlanishining rezonatordan to'la chiqarish uchun, yorug'lik nurlanishini fazoviy ikki polarizatsiya tekislikka bo'luvchi, ortogonal tarqatuvchi polarizasion prizmalar yordamidan foydalanamiz. Asosiy va ikkinchi garmonika nurlanishi polarizatsiyasining ortogonal yo'nalishi, nurlanishlar komponenti $00 \rightarrow \ell$ tipdagi nurlanishning o'zgarganida bo'ladi.



3.29-rasm. Nochiziq qaytargichning optik sxemasi.

Nochiziq kristall, polarizatsiyalovchi prizmalar, ko'zgu bular hammasi nochiziq qaytargich hisoblanadi. Bunday qaytargichning optik sxemasi 3.29-rasmda ko'rsatilgan. Bunga, asosiy garmonika chastotasi, maxsus

polyarizasion-bo'luvchi prizmadan o'tib, nohiziq sinxronizm yo'nalishi bo'yicha kesilgan $00 \rightarrow \ell$ komponenta nurlanishlarga ta'sir etuvchi kristall kiradi. Nurlanish prizma-tomdan qaytib, ikkinchi marta nohiziq kristaldan o'tib, asosiy chastota nurlanishi va ikkinchi garmonika nurlanishi, ikki o'zaro perpendikulyar tekislikda polyarizatsiyalanadi, yana qaytib prizma-bo'luvchiga boradi, prizma asosiy nurlanishni o'tkazib yuboradi va ikkinchi garmonika nurlanishini sxemadan chiqarib yuboradi. Nohiziq qaytargichlarni, har turli rezonatorlarda va har turli modulyasiyada olishda ishlatilsa bo'ladi [37,43].

Shunday qilib, rezonatorda maxsus fokuslovchi elementlardan foydalanmay, ikkinchi garmonika generatsiyasini yuqori F.L.K ga erishib bo'lmaydi hamda impuls formasini ham boshqarib bo'lmaydi. 3.29- rasm.

3.6. Optik sxemalarni yustirovkasi

Lazerlarning, optik konstruksiyasini ishlab chiqishda, optik sxema elementlarining o'zaro joylashishiga va ularning orentasiyalariga etarli darajada ahamiyat berish zarur bo'ladi. Optik elementlarni o'zaro joylashishi, har xil darajada sistemaning energetik, spektral parametrlariga ta'sir qiladi. Tekis, parallel yuzali rezonatorga maksimal asilliylik, ko'zgularning nihoyatda o'zaro parallelligiga bog'liq bo'ladi. Chunki, optik o'qqa nisbatan parallel yo'nalgan nurlanishlar, rezonatoridan ko'p marta o'tadi, agar ko'zgular o'zaro parallel bo'lmasa nurlanishning rezonatoridan o'tishlari soni chegaralangan bo'ladi. Olib borilgan tekshirishlarning natijasiga qarab, shuni aytib o'tish kerakki, ko'zgularning og'ish burchagi, bir necha sekund bo'lsa, bu rezonatorida generatsiyaning bo'lmasligiga olib kelishi mumkin.

Bu mulohazalar, yuqori fazoviy, bir jinsli aktiv muhitlar uchun o'rinalidir. Masalan, tekis parallel ko'zgu yuzali lazerlarga nisbatan, rezonator ko'zgularining yustirovkasini buzilishi, qattiq jisimli lazerlarda, ularning generasion harakteristikalariga ta'siri, o'rganib chiqilgan. Bunda, eksperimental ravishda generatsiya nurlanishining harakteristikasi, aktiv elementning sifatiga, rezonator turiga va qaytaruvchi ko'zgularning qaytarish koeffitsientiga va optik elementlarning yustirovkasi buzilishiga qarab, o'zgarishi ko'rsatilgan.

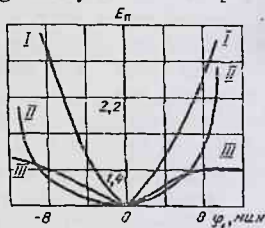
Lazerlarning, turli turdagi, aktiv elementlari parametrlari, sifat tomonidan umumiy bo'lib, lazerning optik elementlarining yustirovkasiga bog'liq bo'ladi.

Ularning sanoq jixatidan olingan harakteristikalari, umuman har xil bo'lib, asosan aktiv elementning sifati va uning bir jinsliligiga bog'liq

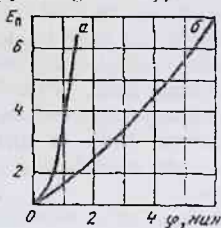
bo'ladi. Qattiq jisimli lazerlardan, ularni amaliyotda qo'llanilishiga qarab kristallar: Rubin va Neodimli shisha to'g'risida gapiradigan bo'lsak, optik elementlar yustirovkasining aniqligiga katta ahamiyat beriladi.

3.30-rasmda, har xil sifatli rubin kristallari uchun, damlash energiyasi ostonasining, ko'zgular og'ish burchagiga nisbatan bog'liqligi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinishicha, I-egri chiziq, rubin kristallining yuqori optik sifati, na'munaviy aktiv elementi uchun bo'lib, damlash energiyasi ostonasining o'sishi, ko'zgulardagi juda kichik og'ish burchagiga ham bog'liq (3.31-rasm).

I va II-egri chiziq rubin kristallining sinish ko'rsatgichi grandlenti 2-3 marta katta bo'lgan elementi uchun bo'lib, bu kristallning o'zida yustirovka buzilgan xududlari bor, shunga qaramay damlash ostonasi o'zgarmasdan qolgan. II va III-egri chiziq, rubin kristallining optik sifati past darajali elementiga ta'luqli bo'lib, bu kristallar, ko'zgular yustirovkasini buzilishiga ahamiyatsiz bo'ladilar.[47,48. 49].

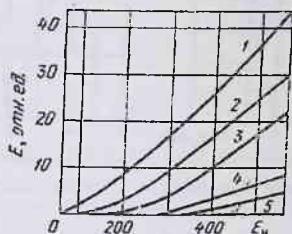


3.30-rasm. Har xil sifatli rubin kristallining ko'zgulari og'ish burchagiga, damlash energiyasining ostona qiymatining bog'liqligi



3.31-rasm. Damlash energiyasining rezonator ko'zgulari og'ish burchagiga bog'liqligi. Neodim shishali aktiv element uchun. a)- yon yuzasisilliqlangan, b)- yon yuzasi tiniq emas qilib ishlangan.

Neodim shishali generatorlar uchun, ularni yuqori darajada optik bir jinisligi tufayli, generatsiyasi ko'zgular energiyasi, ko'zgular yustirovka sifatiga juda bog'liq bo'ladi. Yustirovkaning buzilishi, nafaqat generatsiya energiyasi ostonasiga, balki generatsiyani harakterlovchi egri chiziqning nishabliligiga ham ta'sir qiladi (3.32-rasm) va natijada f.i.k. tushib ketadi.

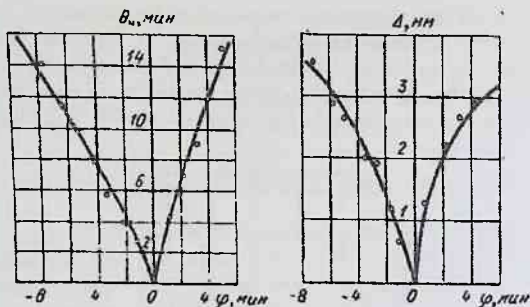


3.32-rasm. Rezonator ko'zgulari og'ish burchagiga qarab, generatsiya ostonasi energiyasining, damlash energiyasiga bog'liqligi.

Ko'zgular, quydagi og'ish burchagiga og'diriladi: 1-5^o; 2-15^o; 3-30^o; 4-1^o; 5-15^o. Neodim shishali generatorlarda, yustirovka burchagining buzilishi, burchak intervali 0-1 bo'lsa, generatorning ostona energiyasi 3 marta o'zgaradi, xuddi shunday sharoitda, rubin kristali uchun, generatorning ostona energiyasi 1% ga yaqin o'zgaradi. Rezonator ko'zgularining tekis parallel yuzliyligi, sferasimon ko'zgulariga nisbatan, yustirovkaning buzilishiga, o'ta sezgir bo'ladi. Bundan tashqari, damlash jarayonida, aktiv elementning bir tekis qizimasligi natijasida, har xil ichki deformatsiyalar kelib chiqadi. Aktiv elementning markaziy qismi, qattiqroq qizib ketadi, yon qirra yuzasi sferasimon shaklga keladi. Yustirovkasi buzilgan rezonatorlarda nurlanishning yo'nalishi ham o'zgaradi.

3.33-rasmda ko'rsatilishicha, ko'zgularning burilishi bilan, nurlanishning yo'nalishi, unga nisbatan o'tkazilgan normal bilan mos keladi va yustirovkasi buzilgan ko'zgu tomon [burchak θ_n] ga og'adi, natijada yaqin zonadagi nurlanishning maksimumi siljiydi [Δ].

Bu bog'liqliklar son jixatidan 3.33-rasmda, grafik usulda ko'rsatilgan. Nurlanishni siljishining kattaligi qiymatini aniqlashda, ko'zgu diametriga va ko'zgu o'rnatiladigan moslamaning (opravaning) o'lchamlariga e'tibor berish kerak bo'ladi.



3.33-rasm. Ko'zgular og'ish burchagiga qarab, nurning yo'nalishi va siljishining bog'liqligi. θ_n -nurning yo'nalishini o'zgarishi; Δ -nurning siljishi.

Shuning ham hisobga olish kerakki, ko'zgular yustirovkasi buzilganda, lazer nurlanishining tarqalish burchagi ham yustirovka buzilgan tomonga qarab kattalashadi. Nurlanishga perpendikulyar yo'nalish bo'yicha esa, o'zgarmasdan qoladi. Yustirovkaning buzilishi, kattaroq burchak ostida bo'lsa, nurlanish alohida diskret yo'nalishlar bo'yicha tarqaladi.

Ko'zgular orasidagi og'ish burchagini bir necha minutga o'zgarishi, geperasiyada qatnashayotgan tebranishlar sonini va turini sezilarli darajada o'zgartirib yuboradi va ular orasidagi interval oraliq'i stabilashadi.

Tekis, parallel yuzali rezonator, 100% qaytaruvchi ko'zgu o'rnida, prizma-tomondan foydalanish mumkin. Bu holda, qo'shimcha talablar vujudga keladi, ya'ni prizma qirrasining, aktiv element kristallografik o'qiga nisbatan orientatsiyasi talab etiladi.

Bunga sabab, rubin kristalli kristallografik o'qining, rezonator o'qiga nisbatan normal holatida, rezonator yuqori bo'lmagan damlashda vaqtida, energiyasi 100% li, chiziqli - polyarizatsiyalangan nurlanishlar generatsiyasi olinadi. Yuqori energiyalik damlashda esa, polyarizatsiya darajasi tushib ketadi.

Agar vektor \vec{E} , to'lqin tebranishining prizмага tushuvchi tekisligi, prizma qirrasidan α burchak xosil qilsa, n katet qirralaridan ikki marta qaytgandan keyin r va b komponentlar orasida fazolar farqi vujudga keladi δ , shundan so'ng chiziqli - polyarizatsiyalangan to'lqin, elleptik polyarizatsiyali to'lqinga aylanadi [51,52,53].

Agar, shunday deb taxmin qilsak, prizmaning qaytarishini r_e qaytargichiga ekvivalent deb olsak, va chiziqli-polyarizatsiyali to'liq alimpitudasi, qaytishiga qadar E_1 bo'lsa va shu polyarizatsiyaga ega bo'lgan komponentning amplitudiyasi qaytgandan so'ng E_2 bo'ladi u holda:

$$r_e = (E_2/E_1)^2 \quad (3.45)$$

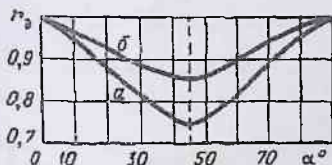
burchak α ning va fazoning siljishi δ ga nisbatan natijaviy amplitudasi, quydagi ko'rinishiga ega bo'ladi:

$$E_2 = E_1 \sqrt{\cos^4 \alpha + \sin^4 \alpha + 2 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \cdot \cos \sigma} \quad (3.46)$$

$$r_e = \cos^4 \alpha + \sin^4 \alpha + 2 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \cdot \cos \sigma \quad (3.47)$$

Shisha va saffiradan tayyorlangan prizma uchun, r_e qiymatining bog'liqligi 3.34-rasmda ko'rsatilgan.

Prizmaning va uning yuzasiga tushayotgan tebranishlar vektori \vec{E} ning yo'nalishi, prizma qirrası bilan 45° li burchak tashkil etsa, unda prizma minimal qaytarish hususiyatga ega bo'ladi.



3.34-rasm. Prizmaning ekvivalent qaytarish kattaligining chiziqli-polyarizatsiyali yorug'lik nurlanishi \vec{E} ning tebranish tekisligining, prizma qirrası bilan tashkil qilingan burchagiga bog'liqligi a)-saffir; b)-shisha;

Shunday qilib, damlash energiyasi yuqori bo'lmaganda, anizotrop materiallardan tayyorlangan to'g'ri burchakli prizma, agar uning qirrası kristallografik rubin kristallining o'qi bilan 0° yoki 90° burchak hosil qilsa, ko'zguga ekvivalent bo'ladi. Yaxshilab yustirovka qilinganda, energiyaning yo'qotish 2% dan ko'p bo'lmaydi. Energiyaning eng ko'p yo'qotilishi, prizma qirrası bilan, aktiv elementning kristallografik o'qi 45° burchak tashkil etgan holda yuz beradi [46, 47].

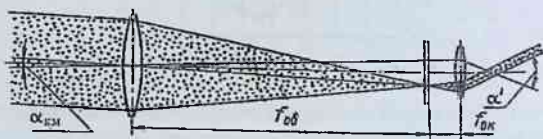
3.6.1. Lazerni yustirovka qilish (sozlash) usullari

Lazerning optik elementlarini yustirovka qilish va ularni o'zaro joylashishini tekshirish, ularni ishlatish jarayonida har xil usullar bilan amalga oshiriladi.

Avtokollimasion usul [11,17]. Rezonatorning optik elementlarini, aktiv elementi va ko'zgularini yustirovka qilishning uch krest usuli. quydagidan iborat:

Avtokollimator yordamida yustirovka jarayonida, ketma-ket eng uzoq masofada joylashgan, nur o'tkazmaydigan ko'zgudan boshlab, ko'zgudan qaytgan krestini, aktiv elementining oldingi yon qirasi yuzasidan qaytgan krest bilan va chiqish ko'zgasidan qaytgan krestlarni birini ustiga, biri joylashtirilgan. Bunday metodning aniqligi, avtokollimatorning kattalashtirish imkoniyatiga bog'liq bo'ladi. Agar, ikkita uzoqda joylashgan nuqta, avtokollimatorning ob'ektivining ko'rish markazidan α_{km} burchak ostida ko'rinsa va bu burchak, shu optik sxema uchun ohirigi qiymat bo'lsa, u holda uning kattaligi quydagicha aniqlanadi (3.35-rasm). Sistemaning kattalashtirish qiymati $M = \alpha / \alpha_{km}$. Ko'zni ko'rib ajrata olish kuchi $\alpha = 60''$ sistemaning ko'rish kuchi $\alpha_{km} = 60'' / M$, avtokollimator uchun $M = f_{ob} / f_{ok}$ bu yerda, f_{ob} - ob'ektivning fokus masofasi; f_{ok} - okulyarning fokusi masofasi. u holda.

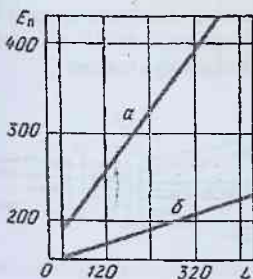
$$\alpha_{km} = (60'' / f_{ob}) \cdot f_{ok} \quad (3.48)$$



3.35-rasm. Avtokollimorda nurlanishning yurishi.

Shunday qilib, ob'ektiv fokusi 200 mm, okulyari 20mm bo'lgan avtokollimator, rezonator ko'zgularini o'zaro parallelligini $6''$ xatolik bilan yustirovka qila oladi. Bunday usul bilan yustirovka qilinganda, aktiv elementning sinish koefitsienti gradienti natijasida, nurining og'ishini ko'ra olmaydi va defektlarni yustirovka orqali tuzatib bo'lmaydi. Shuning uchun, aktiv elementdan o'tayotgan nurlanish, o'zining boshlang'ich yo'nalishidan og'adi va ko'zga qandaydir burchak ostida tushadi. Bu burchakning

qiymati, aktiv element materiallarning sifatiga bog'liq bo'ladi, masalan rubin kristalli uchun uning qiymati, bir necha minutgacha etadi. Rezonator ko'zgularini aniq o'rnatish uchun, avtokallimator krestini, nur o'tkazmaydigan ko'zgdan qaytgan tasvirni bir nuqtada, ustma-ust joylashtiriladi. Bu usul praktikada, Neodim shishali kristallarda keng qo'llaniladi. Rubin kristallik optik geperatorada, ko'zgulardan qaytgan tasvir, kristallning bir jinsli emasligi tufayli xiralashib qoladi va qaytgan tasvirni aniq, birini ustiga birini rushirishda qiyinchilik tug'iladi. Agar kristall diametri 12-15 mm dan kichkina bo'ladigan bo'lsa, ko'rish maydoning chegaralanganligi va yorug'lik nurlanishining ingichka va uzun kristallda etarli darajada emasligidan, yanada ko'proq qiyinchiliklar tug'iladi.

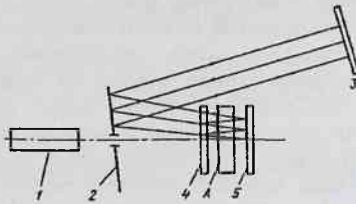


3.36-rasm. Damlash energiyasining ostonasini, ko'zgulor orasidagi masofajaga bog'liqligi.

Har xil sozlovchi usulini qo'llaganda: A-uchta krest usuli: turli elementlardan birin ketin nurni o'tkazib, sozlash usuli deyiladi.

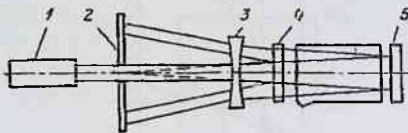
3.36-rasmida ko'rsatilgan grafikka qarab, rubin kristali rezonatorlarini yustirovka qilish usuliga qarab, har xil damlash energiyasining ostonasini qiymatida, generatsiyasini aniqlash mumkin.

Optik richak usuli sxemasi 3.37-rasmida keltirilgan. Kichik burchak ostida tarqaluvchi gazli lazer 1 nurlanishi, kichik diafragmadan o'tib, rezonatorga kiradi va 4,5 ko'zgulardan qaytib, 2-ko'zgdan qaytib, ekranga tushadi. Ekranda yorug' nuqtalar paydo bo'ladi. Shu paytda, nuqtalar ekranda yo'qolsa va diafragmadan o'tib, nur bilan birlashtirish yustirovka amalga oshirilgan bo'ladi.



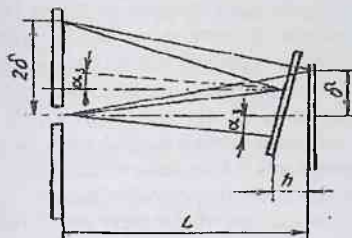
3.37-rasm. Optik richag usuli yordamida rezonatorni yustirovka qilish sxemasi. (A-aktiv element).

3.38-rasmda yustirovkaning interferension usuli ko'rsatilgan bo'lib, bu usul avtokallimasion usulidagi qiyinchiliklarni chetlab o'tadi va yaxshi ko'rinishdagi yuqori ochiqlikni amalga oshiradi.



3.38-rasm. Interferension usul bilan rezonatorni yustirovka qilish sxemasi

Bu usul shundan iboratki, lazer nurlanishi 1. ekrandagi kichik teshikdan o'tib, manfiy linza 3dan o'tib, rezonatorning ko'zgulari 4 va 5ni yoritadi. Ekranda ikkita dog' ko'rinadi, bu dog'larni birini ustiga biri joylashtirilsa, interferension chiziqlar hosil bo'ladi. Ekranda ko'ringan interferension rasm shakli, interferension xalqalardan iborat bo'ladi. Bu xalqalarning markazi, yorug'lik manbaiga nisbatan belgilanadi. Agar, qaytaruvchi yuzalar, o'zaro parallel bo'lsalar, yuzalarning parallel emasligini interferension xalqalarning markazining yorug'lik manбайдan siljishiga qarab aniqlanadi (3.39-rasm).



3.39-rasm. Interferension usul bilan yustirovka qilingandagi nurning yurishi.

Ko'zgularning og'ish burchagini, quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin:

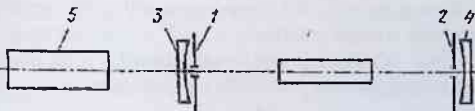
$$a_3 = \frac{h\sigma}{2(L-h)L} \quad (3.49)$$

agarda $L \gg h$ bo'lsa,

$$a_3 = \frac{h\sigma}{L^2} \quad (3.50)$$

Interferension usul, ko'zgular o'zaro parallelligini $5''$ aniqlik bilan yustirovka qiladi.

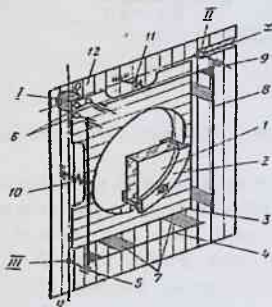
Agar, optik rezonator sferasimon ko'zgulardan iborat bo'lsa, u holda ularni yustirovakasi, aktiv elementsiz quyidagicha amalga oshiriladi. (3.40-rasm). Ko'zgularga imkon qadar, yaqin qilib ekran o'rnatiladi va ekran markazida kichkina teshik teshiladi 1 va 2. Chiquvchi 3 va uzoqda joylashgan 4 ko'zguga, ekrandagi teshikdan o'tgan gazli lazer nuri tushadi, 5 ko'zgu, 4 ko'zguni og'dirish bilan ko'zgudan qaytgan lazer nuri teshikchaga tushiriladi, ko'zgu 3 ni sozlash oldingiga o'xshagan bo'ladi. Lazer nuri ketma-ket 4 va 3 ko'zgulardan qaytib ekrandagi teshik 2ga tushiriladi va shu bilan rezonator yustirovka qilingan bo'lib hisoblanadi.



3.40-rasm. Sferasimon ko'zguli lazer yustirovakasining sxemasi.

Shu ishlardan keyin, aktiv element ko'zgular orasiga o'rnatiladi va uning joylashish holatini o'zgartirish natijasida, uning yon yuzalaridan qaytgan lazer nurlanishini ekrandagi teshik orkali o'tkazishga harakat qilib moslashtiriladi. bunday yustirovka amallarini bajarish uchun, yustirovka mexanizmlaridan foydalaniladi. Bu mexanizmlar juda ham sezgir bo'lib, optik elementlarni o'rganishga etarli aniqlikka ega bo'la oladi. ko'zgularni yustirovka qilish mexanizmi 3.41-rasmda ko'rsatilgan.

Kuzgu 1, tutqich 2 bilan qo'zg'aluvchi asos 3ga o'rnatilgan. Ikki elkali richag 4, 5 va 6 prujinali vintlar bilan asos 3 bilan bog'langan. ikki elkali richag 8 ham asos 3 bilan tekis prujinalar yordamida mahkamlangan. Asos 3 ning holati, hamda ko'zgu 1ning holati, uchta nuqta 1,2,3 ning (bir biriga nisbatan 90 lik burchak ostida o'rnatilgan) holati bilan aniqlanadi. Sharik (1) 12 flanesdagi, 5 vintning sferasimon uchi, prizma shaklidagi ariqchaga (12 flanesdagi) kiradi. 3-asos bilan kuchli bog'lanishni, ikki slindrasimon prujina yordamida amalga oshiradi.



3.41-rasm. Ikki o'zaro perpendikulyar o'qlar atrofida, ko'zgular og'ishini ta'minlovchi mexanizm sxemasi.

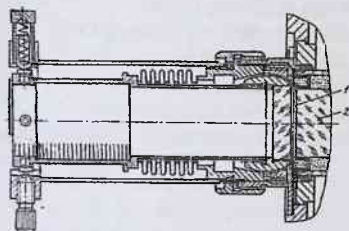
Ko'zgularning og'ishi, ikki o'zaro perpendikulyar yo'nalishda, o'qlar ox va oy atrofida amalga oshiriladi. Vint 5 avvalgi og'ishni, vint 6 esa, ohirgi aniqlikni o'rnatishni amalga oshiradi, kuzgularning og'ish burchagini, quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin:

$$a_3 = \frac{l_3 t_v}{l_2 t_1} \quad (3.51)$$

bu yerda, t_v - aniq o'rnatuvchi vint qadami, l_1 - vint 5 o'qidan sharik markazigacha bo'lgan masofa; l_2 - vint 6 o'qidan, richag 4 ning aylanish o'qigacha bo'lgan masofa; l_3 - 5 vint o'qidan, richag 4 ning aylanish o'qigacha bo'lgan masofa. Bu konstruksiyada, yanada yuqori sezgirlikni amalga oshirish mumkin. Buning uchun, qo'pol vint asosini, aylanuvchi ikki elkali richag asosiga o'rnatish kerak bo'ladi, u holda $l_3=0$ va ko'zguning og'ish burchagini quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

$$a_3 = \frac{l_4(l - \cos \arctg t_v/l_2)}{l_1} \quad (3.52)$$

bu yerda, l_4 - flanes bilan richagning aylanish o'qi orasidagi masofa



3.42-rasm. Ko'zguni og'dirish mexanizmi. 1-ko'zgu; 2-aktiv element;

3.42-rasmda, ko'rsatilgan yustirovka qiluvchi mexanizm, germetik holatni ta'minlaydi, shuning uchun aktiv elementning yon uchi qirrasini, qo'shimcha mustahkamlashga xojat yo'q.

Aktiv element yon qirrasini 2 bilan, ko'zgu yuzasi 1 ning orasidagi immersiya, aktiv element yon qirrasini yuzini katta quvvatli generatsiya paytida parchalanib ketishdan saqlaydi hamda ikki muhit chegarasidan qaytgan nurlanishlar quvvatini kamaytiradi [40,47-49].

III-bo'lim bo'yicha o'zlashtirish savollari:

1. Bo'ylama tebranishli to'lqinlarning seleksiyasi qanday?
2. Ko'ndalang tebranishli to'lqinlarning seleksiyasi qanday amalga oshiriladi?
3. Lazer rezonantlarini elektrooptik boshqaruv.
4. Modalar seleksiyasi haqida tushuncha.

5. Ikkinchi garmonikani olish usullari.
6. ADR, KDR, DKDR lar to'g'risida nima bilasiz?
7. Ikkinchi garmonikani olishda qanday optik sxemalardan foydalaniladi.
8. YOrug'lik nurlanishini polyarizatsiyasi to'g'risida nima bilasiz?
9. Polyarizatorlar nima va ular qanday ishlaydi?
10. Optik rezonatorlarning turlari.
11. Optik stopaning tuzilishi.
12. Elektrooptik qaytargichlar va ularning.
13. Optik rezonatorda pokosekundlik impulslarni shakillantirish.
14. Optik kvant kuchaytirgichlar.
15. Optik kvant kuchaytirgichlarning turlari.
16. Optik kvant kuchaytirgichlarning ishlash prinsipi.
17. Regeneratsiya kvant kuchaytirgichlari
18. Ikkinchi garmonika generatsiyasi va uning f.i.k.
19. Chiziqli va nochiziq qaytarigichlar
20. Opik ko'zgular va ularning turlari
21. Optik sistemaning yusteroverka qilish usullari
22. Optik ko'zgularning og'ish burchagini o'zgartiruvchi mexanizmnning tuzilishi.

IV BO'LIM

4. OPTIK KVANT GENERATORLARI PARAMETRLARINI O'LGHASH BO'YICHA NAZARIY USLUBIY QISM

4.1. Lazer nurlanishining xarakteristikalarini o'lchash

Kvant radiofizikasi, hozirgi zamonaviy fizikasining ilmiy va texnika sohasida, borgan sari keng va effektiv qo'llanilib kelinmoqda. Lazer texnikasi mamlakatimizning xalq xo'jaligiga chuqur kirib bormoqda. Ular materiallarni qayta ishlashning yangi texnologiyalarida, optik bog'lanish liniyalarida, kosmosda va suv ostida masofani aniqlashda, kompyuter tizimlarining ishlash jarayoni tezligini oshirishda hamda ularning xotira sig'imini oshirishda ayniqsa tibbiyot va harbiy sohada keng miqyosida qo'llanib kelmoqda. Shuning uchun kvant qurilma va apparatlarning parametrlarini to'g'ri o'lchash, bu sohaning progressiv rivojlanishi uchun muhim ahamiyatga ega. Bu masalaning muvaffaqiyatli echilishi, metrologik ishlar darajasi, etalonlar va na'munaviy o'lchov qurilmalari va o'lchov texnikasi holatiga bog'liqdir. Ko'pgina qilingan ishlarga qaramasdan hozirgi kunda, ilmiy-texnik adabiyotlarida kvant elektronikasi generatorlarining parametrlarini o'lchashning metrologik masalalari kam aks ettirilgan, bu esa o'lchash ishlarini olib borishda va parametrining terminalogiyasida va ularning fizikaviy aniqlashda va baholashda noaniqliklar keltirib chiqaradi. Bu darslikda, shu masala bo'yicha nashr qilingan ilmiy materiallardan foydalanib, hamda o'zimizning kvant generatorini parametrlarni o'lchash yuzasidan olib borilgan tajriba ishlari va malakamizga tayanib umumlashirilgan. Kitobda lazerlarning energetik va fazoviy-vaqt parametrlarini o'lchashni keng tarqalgan usullari ko'rib chiqilgan va o'lchov apparatlarining tuzilishi va ularning tavsifi adabiyotlarda berilgan ma'lumotlar asosida attestasiya qilingan. Avtorlarning original ishlari, natija va ma'lumotlariga qarab, parametrlar aniqlanib, tasdiqlanadi hamda asosiy o'lchash texnikasi metodlari va apparatlari, xatoliklari manbai aniqlanadi. Ushbu bo'linda lazerlarning energetik parametrlarini o'lchash metodlari va o'lchovchi apparaturalar keltirilgan. Kalorimetrik va ponderamotor o'lchash usullari tubdan o'rganilgan. Bu metodlarga asoslangan o'lchov apparatlari va qurilmalarining tavsifi keltirilgan. Shu bilan birga fotoelektrik signallarni qabul qiluvchi datchiklarning ishlatish imkoniyatlari va impulsi quvvatni o'lchash metodlari keltirilgan hamda kogerent nurlanishning to'lqin uzunligini, nurlanishning chastotasi, monoxromatikligi, lazerlar

impulslarining vaqt parametrlari, kogorentligi va nurlanishning tarqalishi. polarizatsiyasini o'lash metodlari keltirilgan [16,41,43].

Lazerlar ilm-fan va texnikasining ko'pgina masalalarini echishda qo'llanib kelinmoqda. Lazer generatorlarining asosiy xarakteristikalari shartli ravishda ikki guruppga bo'linadi: energetik va fazoviy-vaqt.

4.1.1. Lazerlarning fazoviy-vaqt xarakteristikalari

To'lqin uzunligi, mkm	0.3-10,6 (300 gacha)
Chiqishdagi nurning diametri (optik elementlarni qo'llanilmasdan) mm	2-50
Tarqalish burchagi, rad	10^{-3} -0,5
Polyarizatsiyasi	99,99 gacha
Spektr kengligi, Gs	10^2 - 10^8
Impulsning davomiylig sek	$2 \cdot 10^{-9}$ - 10^{-2}
CHastotaning stabillik nisbati	10^{-6} - 10^{-8}
Impulsning qaytarilish chastotasi Gs.....	$0/10$ - 10^4 gacha
Kogerentlik uzunligi	0,5-500

4.1.2. Lazerlarning energetik parametrlarini o'lash

Uzluksiz nurlanishning quvvati, vt	10^{-5} - 10^2
O'rtacha quvvati, vt	10^{-3} - 10^3
Oliy quvvat, vt	1 - 10^{10}
Energiya, dj	10^{-3} - 10^3

Lazerlar bir to'lqin uzunligida ishlaydi. Hozirgi kunda to'lqin uzunligi asta-sekin o'zgaradigan, lazer generatorlari ham yaratilgan. Lazer generatorlarining to'lqin uzunligi, nanometrler yoki mikrometrler bilan o'lchanadi. Tebranishlar chastotasini, to'lqin uzunligi va nurlanish tezligini aniqlash orqali topiladi. Masalan, rubin kristalli lazer to'lqin uzunligi 0,6943 mkm bo'lsa, chastotasi $4,3209 \cdot 10^{14}$ Gs ni tashkil etadi. Hozirgi kundagi

to'liq uzunligini o'lchash texnikasi, klassik optika usulidan olingan bo'lib, to'g'ridan-to'g'ri to'liq chastotasini o'lchaydigan qurilma ishlab chiqilgan yo'q. Shuni aytish kerak-ki, chastota birligi, generatsiya chizig'i kengligini aniqlashda qulay bo'lib, generatsiya nurlanishining chastotasini, nisbiy stabiligini aniqlashda keng qo'llaniladi. Lazerlarning nurlanishlari bir-biriga yaqin chastotalarda bo'lib, ma'lum chastota, interval oralig'ini to'lg'azadi. Bu esa nurlanish spektri kengligini va nurlanishning modasining strukturasi tuzilishini harakterlaydi.

Optik generatorming chiqish quvvati R , generatorming energetik xarakteristikasini ko'rsatib, Umov-Poynting vektori bilan aniqlanadi. Lazer quvvatini o'lchovchi priborlar, optik quvvat qiymatini o'zgarmas tok etalonlari yoki issiqlik va mexanik qiymatlar birligi qiymatlariga keltirish imkoniga ega bo'ladilar. Ko'pgina, lazer generatorlari impulsli nurlanish manbai bo'lib, impulslar orasida katta vaqt intervaliga ega bo'ladilar.

Ular uchun qulay harakteristika, energiya E bo'lib, yorug'lik nurlanishining bir impuls davomidagi energiyasi hisoblanadi va quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$E = \int_{t=0}^{t_u} P(t) \cdot dt \quad (4.1)$$

bu yerda, $P(t)$ – nurlanishning t vaqtdagi oniy quvvati, t_u – generatsiyaning tugash vaqti. Boshqa turdagi generatorlar uchun, boshqa energetik harakteristikadan foydalanamiz.

Lazer nurlanishining impulsli-modulyasiyalangan o'rtacha quvvatidan foydalanamiz:

$$Rsr = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} P(t) \cdot dt, \quad (4.2)$$

Generatorming bir impulsli generatsiyasi vaqtidagi nurlanishning maksimal pik quvvati P_m

$$P_m = P_{max}(t) \quad (4.3)$$

va impulsning o'rtacha quvvati

$$P_{or.-imp} = \frac{E}{\tau_i} \quad (4.4)$$

bu yerda τ_i – impuls davomiyligi vaqti.

Lazer nurlanishining fazoviy taqsimlanishi, quvvat zichligining nurlanish yuzasi bo'yicha taqsimlanishi orqali harakterladi va nurlanish quvvatining oniy burchak ostidagi taqsimlanishi (yo'nalish diagrammasi) orqali aniqlanadi. Ko'p holatlarda lazer, parallel nurlanishiga yaqin, nurlanish dastasini generatsiya qiladi, bu nurlanishlar burchak ostida tarqalish bilan harakterlanadi. Hamma optik generatorlar uchun, bu xarakteristika birdek yuqori aniqlikda aniqlanmaydi.

Har bir holat uchun, alohida o'lchov sharoitidan kelib chiqib, intesivlik qiymatining yarmidagi nurlanish izi o'lchami hisoblanib, energiyaning o'zgarmas qiymatida, har bir yuza diametrlarining nisbati aniqlanib baholanadi. Lazerlarining yana bir asosiy hususiyatlaridan biri, nurlanishning kogerentligi hisoblanadi.

Kogerentlik – bu nurlanishning elektro-magnit hususiyatidir. Bu hususiyat, elektromagnit maydonni harakterlovchi qiymatlarni o'zgarishining korrelyasiyasi natijasida, nurlanishning interferensiyasi holatida namoyon bo'ladi. Maydon, bu fazoviy koordinata va vaqtning funksiyasi bo'lib, fazoviy va vaqt kogerentligi to'g'risida so'z yuritiladi. Elektromagnit maydonning tanlab olingan fazoviy nuqtadagi parametrlarining korrelyasiyasi, kuzatilgan vaqt mobayni vaqtini kogerentlik deb tushunsa bo'ladi. [11,13,15-17].

Kogerentlik uzunligi esa, ikki teshikdan o'tgan nurlanishning o'tgan yo'lining farqi orqali aniqlanadi, bu holda nurlanishning interferensiyasi namoyon bo'ladi. Nurlanishning kogerentlik darajasi, interferension chiziqlar ko'rinishi aniqligiga proporsional bo'ladi. Shunday qilib, kogerentlik darajasi, lazer nurlanishi interferogrammasini, densitometr orqali oson aniqlanadi. Lazer larining yana bir zarur parametrlaridan biri, nurlanishning polarizatsiyasi hisoblanadi. Bu hususiyat, elektromagnit to'lqinining, elektr maydon vektorini, holatini harakterlaydi. Nurlanishning polarizasion holati, quyidagicha harakterlanadi (chiziqli, aylanma, elliptik) va polarizatsiya jarayonining darajasi bilan, bu esa polarizatsiya komponentlari intesivligining, nurlanishning umumiy intesivligiga nisbati bilan aniqlanadi. Hozirgi kunda, keng tarqalgan lazerlar konstruksiyasi, ish rejimi va chiqish harakteristikalariga qarab uch kategoriyaga bo'linadi:

1. Uzlusiz rejimda ishlaydigan lazerlar.

Eng keng tarqalgan optik generatorlar, elektr razryadi yordamida, qo'zg'atilgan gazli generator hisoblanadi. Bunday generatorlar saffiga (Ne-Ne) geliy va neon gazlar aralashmasi bilan ishlaydigan optik generator kiradi. To'lqin uzunligi 0,6328; 1,15 va 3,39 mkm bo'lib, ular ko'zgulular va trubka yuzalarining materiallariga bog'liq bo'ladi. Bunday generatorlarning

chiqish quvvati 1 dan 100 mvt bo'lib, nurlanishning tarqalish burchagi, bir necha minutni tashkil etadi, diametri – 1.5 mm. Argon gazi bilan ishlovchi lazer, spektrning ko'k-bayrang diapazonida ishlaydi. Uning quvvati bir necha vattga teng bo'lsa, malekulyar gaz SO_2 da ishlaydigan lazerning to'liq uzunligi - 10,6 mkm bo'lib, quvvati kilovatt va undan yuqori bo'ladi.

2. Bir impulsli lazerlar.

Bu generatorlarning ish rejimida impulslar orasida katta pauza bo'lib, har bir impulsni o'lchash nuqtai nazaridan, bir impuls deb qabul qilinadi. Optik generatorlarda aktiv element, qattiq jism bo'lib, bunday element sifatida rubin ($0,05\% Sr^{3+}$ atomlari va monokristall Al_2O_3) yoki neodim atomlari qo'shilgan ($5-7\% Nd^{3+}$) shisha ishlatiladi. Ularning to'liq uzunligi 0,694 va 1,06 mkm ga teng bo'ladi. Rubinli aktiv elementning o'lchamlari $\varnothing 12 \times 120$ mm; chiqishdagi maksimal energiya 10-30 dj, impuls davomiyligi 1 m sek. Katta o'lchamli kristalldan foydalanilganda, maksimal energiya 100-300 dj va undan ortiq bo'lishi mumkin. Generator rezonatori asilliyiligi boshqariluvchi yoki modulyasiyalangan rejimda ishlovchi generatorlarda, damlash jarayoni yopiq rezonatorida olib boriladi va bunda o'z-o'zini qo'zg'atish sharti bajariladi. Yuqori darajadagi invers holat vujudga kelishi bilan, rezonator ochiladi va qo'zg'atilgan ionlar tezda o'zidan nulanish chiqaradilar (o'n yoki bir necha nanosekund) generatsiya davom etadi. Rezonator asilliyiligini boshqarish uchun, to'la ichki qaytarish hususiyatiga ega bo'lgan prizmadan, 100 % qaytaruvchi ko'zgu sifatida foydalaniladi, (prizma 20-60 ming ob/min tezligida aylanadi). Bunday generatorlarning oniy quvvati, o'n yoki yuzlab megavatt bo'lib, qo'shimcha kuchaytirgich bloklaridan foydalanilganda esa, bir necha gigavatt quvvatga ega bo'ladi. Bunday generator impulsleri nurlanishining tarqalish burchagi 30 dan oshmaydi.

3. Impulsi-modulyasiyalangan nurlanishli lazerlar.

Bunday lazer qurilmalari keng tarqalgan bo'lib, impulsi-modulyasiyalangan lazer nurlanishini gazli va qattiq jismlar muhitidan olish mumkin. Ko'pincha, yarim o'tkazgichli lazerlarda foydalaniladi. Generatorlarda damlash jarayoni, impulsli tok yordamida amalga oshiriladi. Yarim o'tkazgichli, ikki yuzasi silliqlangan element, optik rezonatorni tashkil etadi va shu yuza orqali impulsli tok yordamida damlash olib boriladi. Impulslar ketma-ketligi 10^2-10^4 gs, generatsiya impulsning oniy qiymati bir necha vattga teng bo'lib, impuls davomiyligi $\sim 10^{-6}$ sekga (masalan GaAs kristallida), nurning tarqalish burchagi bir necha o'n gradusga teng [18-19,20].

Bu generatorlarning asosiy farqli tomoni, ularning foydali ish koeffitsienti yuqoriligi bo'lib, 50 % va undan yuqori qiymatni tashkil etadi. Bundan tashqari, rubin kristalli lazer konstruksiyasi ma'lum bo'lib, ularning impuls ketma-ketligi chastotasi bir necha o'n gers va o'rtacha chiqish quvvati bir necha o'n vattga teng bo'lib, asosan texnologik maqsadlarda ishlatiladi. Lazerning qo'llanilishini keng miqyosda o'sishiga, nohiziq optika texnikasini o'rganish va undan foydalanish sabab bo'ldi, uning yordamida lazer nurlanishining to'liq uzunligini o'zgartirish va asosiy nurlanishning garmonikalarini olish imkoniyati amalga oshirildi. Asosiy nurlanishning garmonikalarini olishda, maxsus sharoitda, o'zgarish koeffitsientining yuqori qiymatlarini olish mumkin (bir necha o'n foiz). Amaliyotda keng qo'llaniladigan generatorlarning garmonikalari: neodimli shisha kristallining ikkinchi garmonikasi to'liq uzunligi $\lambda=0,53$ mkm, rubin kristallining ikkinchi garmonikasi to'liq uzunligi $\lambda=0,347$ mkm. Keyingi paytlarda yanada keng, qo'llanilayotgan lazer nurlanishlari, spektrning ma'lum intervalida, to'liq uzunligini bir tekis o'zgartiruvchi lazer generatorlari bo'lib, ular asosan nohiziq optik muhitning parametrik kuchayishini o'rganishda qo'llanib kelinmoqda. Shu bilan birgalikda, keyingi paytda lazerlar, effektiv holda golografiyada, interfrension ko'rinish holatini uch o'lchamli foto shaklini rasimga olishda ishlatib kelinmoqda. Mutaxassislarning aytib o'tishlaricha, yarim o'tkazgichli kvant generatorlaridan EXM da foydalanish, ularning karakteristikalarini tubdan o'zgartiradi va prinsipial yangi hotira sistemasini yaratish imkonini beradi. Qattiq va o'ta qattiq moddalarga texnologik jihatidan qayta ishlov berishda, optik lokasiyada, optik bog'lanishda, ilmiy tekshirish ishlarida, tibbiyotda, qurilishda, o'ta aniqlikda o'lchaydigan o'lchov texnikasida, lazerlar texnikasidan foydalanib kelinmoqda. Shuning uchun ham lazerlarning asosiy karakteristikalarini aniqlash masalasi va ularni yuqori aniqlikda va ishonchilikda o'lchash, hozirgi kunning aktual va muhim masalalardan biri bo'lib hisoblanadi.

4.2. Lazerlarning energetik parametrlarini o'lchash usullari

Lazerlarning chiqish energetik karakteristikalari muhim parametrlar bo'lib, ular orqali optik generatorlarning effektivligi aniqlanadi. Energetik parametrlarni to'g'ri o'lchash uchun, o'lchash metodlari va na'munaviy anjomlarga ega bo'lish va o'lchov birliklari asosida aniqlanadigan (vatt, djoul) va etalon hamda metodik fizmalar va vositalar yordamida hamma spektral diapozonda, lazerlarning parametrlari amaliyotda, o'lchov tizmlari

yordamida aniqlanadi. Hozirgi zamonaviy lazer texnikasining holatiga mos bo'lgan harakterli diapazonlar: 10^6 vt dan yuz va ming vattgacha bo'lib, lazer uzluksiz ish rejimining va modulyasiyalangan nurlanishning o'rtacha quvvati 10^5 jouldan to ming joulgacha (erkin generatsiya rejimida) etadi. Bir impulsli lazerning boshqariladigan rezonator asilliyiligi holatida, bir impulsdagi quvvati, bir necha yuzdan to ming megavatt quvvatgacha etadi. Bu ko'rsatilgan quvvat diapozonini, kichik darajali quvvat yoki energiyaga shartli ravishda bo'lish mumkin: 0,1 vt dan va 1 dj gacha, 100 vt dan va 100 dj gacha, bir necha 100 vt dan ,bir necha 100 dj gacha. Lazer spektral diapozoni butun optik oblastni o'z ichiga oladi, ultrabinafsha xududidan to uzoq infraqizil xududigacha va undan submillimetrlri to'liqin uzunligi xududigacha kirib boradi [24,25,30,].

Lazerlarning energetik parametrlarini o'lchashda, hozirgi kunda fotoelektrik, kolorimetrik va ponderomotor usullaridan foydalaniladi. Keyingi paytda, yangi fizik effektlarga asoslangan moddalardagi nochiziq jarayonlardan foydalanilmoqda. Fotoelektrik qurilmalar juda sezgir bo'lib, ularni kalibrovka (sozlash) qilish qiyin bo'ladi hamda ish jarayonida stabilligi kichik bo'ladi. Shuning uchun ulardan indikator sifatida yoki nisbiy o'lchash ishlarida foydalaniladi. Nochiziq jarayonlardan, lazerning energetik parametrlarini o'lchashda foydalanish katta qiziqish uyg'otadi, ular yordamida yangi o'lchov usullari yaratishda, lazer impulsi quvvatining hamma qiymat birliklarida o'lchov ishlarini olib borish uchun, klassik usullardan foydalanish, juda qiyinchilik tug'dirganda yoki iloji bo'lmagan hollarda foydalaniladi. Ammo, yuqorida aytib o'tilgan usullar yordamida, o'lchov asboblari yaratish imkoniyati borilgini va bu imkoniyatlar natijasida, o'lchov qurilmasini yaratishning tasdiqlash uchun ko'pgina fizikaviy qonuniyatlar asosida izlanishlar olib borilib, bu effektlarni aniqlab, o'lchov qurilmalarini kalibrovka qilish yo'llari topildi. Hozirgi kunda, lazer energiyasini va quvvatini absolyut usullar yordamida o'lchovchi qurilmalar, kalorimetrik va ponderomotor usullariga asoslangan. Kalorimetrik usuldan foydalanilganda, nurlanishning issiqlik energiyasi ta'sirida, qabul qiluvchi element va uning issiqlik energiyasini o'zgarishiga (termoparaning E.Yu.K. yoki issiqlik qarshiligining o'zgarishiga) olib keladi.

Ponderomotor usuldan foydalanilganda, qabul qiluvchi elementda nurlanishning bosimi o'lchanadi. Bu ikki usul yordamida, optik nurlanishning energiyasi va quvvati o'lchov sistemasining parametrlari orqali yoki energiya va quvvatni qiymati o'rmini oluvchi kattalik yordamida aniqlanadi. Kalorimetrik usul yordamida o'lchovchi qurilmaga misol qilib, IMO-Ini olsak, uning yordamida nurlanishning optik quvvati yoki

energiyasi o'lanadi. Biometrik priyomniklar tuzilish jihatidan sodda bo'lib, yuqori sezgirlikka ega va tez ishlash qobiliyatiga hamda stabililikka ega, shu hususiyatlari bilan, kichik quvvatga ega bo'lgan lazerlarini o'lhaydigan, asboblari ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Bunday priyomniklar, ko'prik sxemali o'lchov sxemalari bilan birga ishlatiladi. Ponderomotor usulining kelajagi bor bo'lib, yuqori energiya va quvvatli lazer nurlanishini o'lhaydigan apparat va qurilmalarni yaratishda qo'l keladi. Ammo, bu holda qurilma va apparatlarning ishlatish uchun, maxsus sharoitlar talab etiladi, chunki bu qurilmalar vibrasiyaga juda sezgir bo'ladi, shuning uchun ham bu qurilmalar na'munaviy o'lchov asboblari sifatida ishlatiladi. Lazerlarining chiqish parametrlarini o'lhaydigan qurilmalarni yaratishda, ayniqsa rezonatorining asilliyliги boshqariladigan generatorlarni o'lchash, qo'shimcha qiyinchiliklar keltirib chiqaradi: [17,19,21,31,].

A) Yuqori impulsli quvvatga ega bo'lgan nurlanishlar, priyomnik elementi yuzasini, intensiv qizib ketishi natijasida, buzilishiga olib keladi, generatsiya vaqti millisekundli impulslar uchun;

B) Yorug'lik nuri impulsining turg'unligi, qisqa vaqtiyligi oddiy fotopriyomniklardan foydalanishga imkon bermaydi, bu fotopriyomniklarning vaqt bo'yicha impulslarni ajrata olishi imkoni 10-1000 n.sek intervalida bo'ladi.

C) 4.1- jadvalda lazerlarning quvvati va energiyasini o'lchovchi qurilmalar keltirilgan, bu o'lchov qurilmalari, turli firmalar tomonidan ishlab chiqilgan.

Qurilma- ning modeli	Qurilma- ning turi	Ishlab chiqarilgan firma	To'liq uzunligi <i>nkm</i>	Maksimal quvvat <i>vt</i>
Radiometr 580	Vakuumli fotodiod	Egg	0,2-1,2	10^{10}
690	Kalorimetr	PRD	0,25-4,0	1 (uzluksiz quvvat); quvvat zichligi 2 vt/sm^2
6621	Bolometr	PRD	0,25-4,0	0,1(uzluksiz quvvat); quvvat zichligi 2 vt/sm^2
RN-1	Kalamush ini	WES	0,26-3,1	-
100	Konus	FRg	0,3-1,1	$3 \cdot 10^8$
107	Konus	FRg	0,3-1,1	10^9
YM-630	**	GSF	0,3-20,0	$2,5 \cdot 10^8$
LA-31	Fotodiod	RAY	0,35-1,1	-
560	Kreml fotodiod	Egg	0,35-1,13	0,5
362 A	Konus	MO	0,4-2,0	-
362 V	Konus	MO	0,4-2,0	-
362 S	**	MO	0,4-2,0	-

4.1-jadval

Maximal energiya d_f	Sezgirligi d_f da	Vaqtlik o'sishi <i>nsek</i>	Vaqtini o'sishi <i>nsek</i>	Apert urasi <i>mun</i> da	Hatolik % da
10^4	10^{5*}	1	1	15,6	8
-	-	$25 \cdot 10^9$	-	15,6	5
-	-	$15 \cdot 10^9$	-	9,4	5
50	0,625	-	$20 \cdot 10^9$	25	20
300	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^9$	$80 \cdot 10^9$	25	5
10^3	$0,055 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^9$	$10 \cdot 10^9$	50	5
0,5	-	-	-	6,25	10
$3 \cdot 10^3$	$0,8 \cdot 10^{-6}$	1	-	44	2**
-	$0,5^*$	4	15	3	10
0,2- 5,0	-	-	-	12,5	10
2-20	-	-	-	18,5	10
20-50	-	-	-	25	10

362 D	"	MO	0,4-2,0	-	$50 \cdot 10^3$	-	-	-	25	10
K-J2	Suyuqlikli	KOR	0,53-1,06	$3 \cdot 10^9$	100	$31,3 \cdot 10^6$	$30 \cdot 10^9$	-	25	3**
K-J3	Suyuqlikli	KOR	0,53-1,06	$3 \cdot 10^9$	500	$5 \cdot 10^6$	$30 \cdot 10^9$	-	25	3**
K-J4	Suyuqlikli	KOR	0,53-1,06	$3 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^5$	$30 \cdot 10^9$	-	50	3**

* Belgilangan qiymat birligi a/vt bilan o'lchanadi.

4.3. Lazerlar energiyasi va quvvatini o'lovchi kalorimetrli qurilmalar

Optik generatorlarning quvvati va energiyasini o'lovchi kalorimetrli qurilmalar ikki gruppaga bo'linadi: o'zgaruvchan temperaturali kalorimetrlar va o'zgarmas temperaturali kalorimetrlar.

O'zgaruvchan temperaturali kalorimetrlarda issiqlik energiyasining ajralib chiqishi, temperatura yuklamasining oshishiga olib keladi. Bu holda energiyaning ko'pgina qismi, tashqi muhitga chiqib ketadi va indikator qurilmasiga ta'sir etmaydi.

O'zgarmas temperaturali kalorimetrlarda (izotermik kalorimetrlarda) yuklamadan issiqlik energiyasining ajralib chiqishida, energiya yutiladi (masalan modda fazasini boshqa fazaga o'tish jarayonida) bu energiyaning miqdori ajralgan issiqlik energiyasiga teng bo'ladi. Shunday qilib, yuklamada quvvatning har hil taqsimlashga qaramasdan, issiqlikni yo'qotish holati ro'y bermaydi va indikator qurilmasiga ta'sir ko'rsatmaydi.

Kalorimetrdagi issiqlik jarayonini misol sifatida, o'zgaruvchan temperaturali kalorimetrda ko'ramiz.

Issiqlik sig'imi tenglamasining, issiqlik manbaining, yuklamaning massasi bo'ylab, bir tekis taqsimlanish holatidagi ko'rinishi, quyidagicha bo'ladi:

$$C \frac{dT(t)}{dt} + \alpha T(t) = \varepsilon P(t) \quad (4.5)$$

bu yerda, S – yuklama materialining issiqlik sig'imi; α – tashqi muhit bilan issiqlik almashinish koeffitsienti; ε - yuklamaning yutish koeffitsienti; T – tashqi muhit bilan, yuklama temperaturasining o'zaro farqi; R – tushuvchi optik quvvat.

Tenglama (4.5) ning chap qismidagi birinchi qo'shiluvchi, yuklamaning qizishini aniqlaydi, ikkinchisi esa, issiqlikni tashqi muhitga chiqib ketishini aniqlaydi. Tenglama (4.5) ning doimo ta'sir etuvchi quvvat R_0 uchun, boshlang'ich sharti $T(0)=0$ bo'lgan holat uchun echimining ko'rinishi:

$$T(t) = \frac{\varepsilon P_0}{\alpha} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}}) \quad (4.6)$$

bu yerda $\tau_n = \frac{C}{\alpha}$ - yuklamaning davomiylik vaqti.

Turg'un holat uchun, agar $T \rightarrow \infty$; u holatda kiruvchi va tashqi muhitga chiquvchi quvvat o'rtasida, dinamik tenglik vujudga keladi. Yuklamaning qizish temperaturasi, yutilayotgan quvvatga nisbatan proporsional bo'ladi va tashqi muhit bilan issiqlik almashinishiga teskari proporsional bo'ladi:

$$T_0 = \frac{\varepsilon P_0}{\alpha} \quad (4.7)$$

Kalorimetrik yuklamaning issiqlik rejimini ko'rib chiqamiz, unga to'g'ri burchak shakldagi optik impuls ta'sir etganda va impulsning vaqt bo'yicha davomiyligi, yuklamaning doimiylik vaqtdan juda kichik bo'ladi. Impulsning davomiyligi τ_n vaqtida, yuklama ma'lum temperaturagacha qiziydi.

$$T_{max} = \frac{\varepsilon R i}{\alpha} \left(1 - e^{-\frac{\tau_n}{\tau_n}} \right) \quad (4.8)$$

$\tau_1 \ll \tau_n$ - bu holatni hisobga olib, formulaning eksponentasini qator bo'yicha yoyamiz va yoyish qatorining ikkita hadi bilan chegaralanamiz.

U hoida,

$$T_{max} = \frac{\varepsilon E}{C} \quad (4.9)$$

bu yerda, $E = R_n \tau_n$ - lazer impulsining energiyasi.

Olib borilgan tahlillarning ko'rsatishicha formula (4.9) impulsining hohlagan shakli uchun mo'ljallangan bo'lib, faqat impulsning davomiyligi yuklamaning doimiylik vaqtdan kichik bo'lishi kerak bo'ladi. (4.7) va (4.9) formulalar kalorimetrik metod yordamida lazer quvvati va energiyasini o'lehashda, asosiy nisbatlar bo'lib hisoblanadi [37,39,43,44.].

4.4. Optik quvvat va energiyani o'lehovchi kalorimetrlarning tuzilishi

Ko'pgina optik quvvat va energiyani o'lehovchi kalorimetrlari o'lehangichlarda, konus yoki shar shaklidagi yutuveli quruq yuklamadan foydalaniladi. Bunday yuklamaning issiqlik temperaturasi termometr, termistr yoki bolometrlar yordamida aniqlanadi. Yutuveli yuklama sifatida, qurilmada ichi bo'sh ko'mirli (uglerodli) konusdan foydalanilgan. Konusning temperaturasini ko'tarilishi, uchta bir hil termistrlar yordamida

aniqlanadi. Bu termistrlar asos yaqinida joylashgan bo'lib, ko'prik sxemasiga ulangan bo'ladi. Boshqa kalorimetrlri o'lehangchida, yutuvchi yuklama sifatida misdan ishlangan, asosida diafragnalari bo'lgan, bo'sh konusdan foydalanilgan bo'lib, konusning ichki qismi qoraytirilgan bo'ladi. Yutuvchi yuklama, maxsus dielektrik tortib tutuvchiga, vakuumli bo'shliqda osib qo'yilgan (vakuum 10^{-1} mm simob ust) qurilmaga saqlanib kirish oynasi o'rnatilgan.

Yuklamadagi temperaturaning o'zgarishi, platinali termopara va ko'prik sxemasi yordamida o'lehanadi. Qurilmaning o'lehash hatoligi 10^{-2} % dan ortiq emas. Energiya va quvvatni o'lehovchi original tuzilishiga ega bo'lgan qurilma to'grisida ma'lumotlar [39,40,43] keltirilgan.

Bunday qurilmada, yutuvchi yuklama sifatida bolometrik elementdan (ingichka, izolyasiya qilingan mis sim o'ramidan tashkil topgan, kumush bo'sh yuzaga tartibsiz joylashtirilgan va diametri bo'yicha kalibrovka qilingan elementdan iborat) foydalaniladi. Bu qurilmaning sezgirligi 10^{-2} dj, o'zgarmas vaqti [16] 10^{-1} sek. teng. Yanada o'ziga hos bir qator hususiyatlarga ega bo'lgan konstruksiyali bolometr, VNINFTRI tomonidan ishlab chiqilgan. Bolometrik element slyudali yoki kvarslı yupqa asosga, (qalinligi 20-200 mkm) nikeldan ishlangan yupqa, plyonka sifat spirali o'rnatilgan, bu spiraling qalinligi 0,1 mkm, kengligi 100 mkm bo'lib, spiral o'ramining bir-biridan joylashish masofasi 50 mkm ga teng. Spirali maxsus dielektrik qoplama bilan qoplangan, bu qoplamaning qalinligi 1 mkm bo'lib, uning yuzasiga oltin yuritilib qoraytiriladi va buning natijasida yutish koeffitsienti 98 % etkaziladi.

Qabul qiluvchi bolometr yuzasining diametri 9,5 mm, qarshiligi 1400 Om, sezgirligi 0,1 Om/MVt dan kam emas, o'zgarmas vaqti 1,8 sek teng bo'ladi.

Bolometr passiv termostatga o'rnatiladi. Bunday bolometrik priyomnikning diapazoni $5 \cdot 10^{-5}$ dan $1 \cdot 10^{-1}$ Vt, umumiy hatoligi 12 %dan ko'p emas bo'lib, yanada kamaytirsa bo'ladi. 4.2-jadvalda mostlar M3-8, MZ-AA, M4-3 larning optik diapozonda ishlaydigan priyomniklar bilan qo'llanilishi o'rganib chiqilgan va ularning o'lehash jarayonidagi yo'l qo'yan hatoliklari keltirilgan. Kalorimetrlı o'lehangchılarda, lazer energiyasi va quvvatini katta, orta va kichik darajasi uchun, oquvchi suyuqlikli kalorimetrlarning hizmatidan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bunday kalorimetrlarda ajralib chiqqan issiqlik energiyasi, suyuqlik xqami bilan tashqariqa olib chiqib ketiladi.

Ko'priklar M3-8 va M3-8A ning bolometrik priyomnik maketining parametri

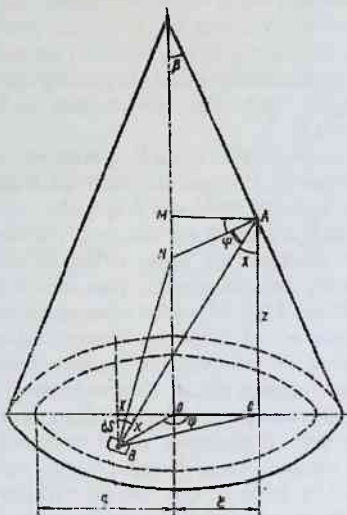
Diyazonlar	Ko'priklar M3-8 va M3-8A						Priyomnik				
	O'lcham oralig'i, mvt		Hatolik, %				Bolometri qizish quvvati mvt	Bolometrii stabilmasligi natijasida kelib chiqqan qo'shimcha hatolik mkvt	Nominal qarshilik Om	Sezgirligi om/mvt	Issiqlik o'tkazuvchilik kofli mvt/s
	asosiy	qo'shimcha	Asosiy	qo'shimcha	qo'shimcha	qo'shimcha					
1	1-3-10	0,1-0,3	±1.5	±(10-1) ±(4-2.5)	±1	±(10-1) ±(4-1.5)	20	5	320	0,076	16,8
11	10-30-100	1-3	±1.5	±(4-2.5)	±1	±1.5	150	20	330	0,077	17,2
111	100-300-1000	10-30	±1.5	±(4-2.5)	±1	±1.5	1200	200	210	0,044	19,1

Izoh. Haroratni kompensatsiyalovchi priyomnikli ko'priklarning o'rnatish vaqti ≤ 15 sek. O'lchash vaqti 30 sek.

Bu esa, o'z navbatida qizish effektini aniq qayd qilish uchun qulaylik tug'diradi. Yutilgan energiya quvvati, suyuqlikning temperaturasi darajasini o'zgarishini, kirish va chiqish vaqtidagi taqvi bilan aniqlanadi. Buning uchun, issiqlikni olib chiqib ketuvchi suyuqlikning issiqlik sig'imi, uning zichligi, suyuqlikning sarfi va umumiy issiqlik o'tkazish ko'effitsienti, yuzaning issiqlik o'tkazish effektivligiga bog'liq bo'ladi. (Viroyuznaty nauchno-issledovatel'skiy institut fiziko-texnicheskix i radiotexnicheskix izmereniy (VNMMFTRI)) da OPK-1 — kalorimetrl, suyuqlik o'lehgich ishlab chiqilgan bo'lib, bu o'lehgich yordamida uzluksiz va impuls-modulyasiyalangan lazer quvvatini 0,1 dan 100 vt gacha bo'lgan oraliqda o'lehash mumkin, qurilmaning o'lehash jarayonidagi hatoligi 5-10 % ni tashkil etadi, yorug'lik spektrining 0,1-1,1 mkm oraliq'ida ishlashga mo'ljallangan [13, 14, 17].

Lazerning nanosekundli impulsli energiyasni o'lehash uchun mahsus, ikkita kalorimetrl o'lehgich qurilmasi ishlab chiqarilgan bo'lib, energiyani o'lehash diapazoni 0,001 dan 5 dj gacha, impuls davomiyligi $2 \cdot 10^{-8}$ sek teng. Birinchi o'lehgich mis ichi bo'sh sferadan iborat bo'lgan yuklamadan iborat, sharning ichki yuzasi diffuziyali qaytarguvchi yuza bilan qoplangan bo'lib, nurlanish dastasi, qisqa fokusli linza yordamida shakllangan holda kiradi. Sfera ikki radial termoparalar batareyasiga osib o'rnatiladi, termoparalar esa mis metallidan ishlangan maxsus o'rnatgichga o'rnatiladi. Bu o'rnatgich termostatga o'rnatiladi. Lazerning impulsli nurlanishi, shar (sfera) yuzasiga tushadi. Kalorimetr yorug'lik energiyasini 0,001 dan 0,3 dj gacha oraliqda o'lehaydi, o'lehash jarayonidagi hatolik $\pm(4\% \cdot 2 \cdot 10^{-5})$ dj ga teng. O'lehovning yuqori chegarasi, yuklamaning nurlanish ta'siriga nisbatan chidamliyligiga bog'liq bo'ladi. O'lehash diapazoni 0,05 dan 5 dj gacha bo'lgan oraliqqa mo'ljallangan suyuqlikli kalorimetr bo'lib (LJK-1), qabul qiluvchi element mislik silindr shaklida ishlangan bo'lib, maxsus eritma bilan to'lg'azilgan bo'ladi, silindr ichiga spiral shakldagi o'ram o'rnatilgan. Kalorimetning o'lehash jarayonidagi hatolik miqdori $\pm(7\% + 1 \cdot 10^{-2})$ dj. O'rtacha va undan yuqori darajadagi impuls energiyasini o'lehashda, [44] ishda keltirilgan suyuqlikli kalorimetrd, energiyani yutuvchi yuklama o'mida qalinligi 6mm bo'lgan kumush bilan orqa devori qoplangan yacheykadan foydalanilgan. Yacheyka maxsus eritma bilan to'lg'aziladi, bu suyuqlikning konsentrasiyasi 6mm uzunlikda, lazer nurlanishining 99,6 % yutadi. Yacheyka oldi tomonidan kvars plastinka bilan yopilgan, hamma yuklama massiv latunli issiqlik ekraniga joylashtirilgan bo'lib, temperaturaning o'sishi kalibrovka qilingan

termopara yordamida o'lanadi, termopara yacheykaning orqa devoriga o'ratiladi. Qurilma 0,01 dan 30 dj gacha bo'lgan energiyani va 200 M vt/sm² quvvat zichligini o'lchashga mo'ljallangan. Kalorimetrning o'lchash jarayonida yo'l qo'ygan hatoligi ±2% tashkil etadi. IMO-1 – kalorimetri 4.1- rasm (Xarkov davlat universiteti tomonidan) ishlab chiqarilgan [22, 24, 28].



4.1-rasm. Kalorimetr IMO-1 (oldidan ko'rinishi)

Qurilma o'lchov elementi va kalibrlovchi blokdan tuzilgan, o'lchov elementiga ikkita bir hil seksiyadan iborat bo'lgan, misdan ishlangan konussimon absolyut qora jism o'ratilgan. Seksiyalar orasiga termoparalar (100 ta mis-konstantali) o'ratilgan bo'lib, ular yordamida temperaturani konuslardagi o'rtacha o'sishi o'lchanadi. Har bir seksiya, isituvchi spiralga ega bo'lib, konus ichiga joylashtirilgan spirallar, nixrom sim o'ramidan iborat bo'lib, sinning diametri, o'ram qadamiga teng qilib olingan, bu o'ramlar konus o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lib, optik nurlanish uchun shaffol emas. Termoparadan kelgan signal kuchaytirilib, chiquvchi tok sovutuvchi

elementlar orqali o'tkaziladi, issiqlik ekranini sovutilib, oldingi temperaturadan qiymatiga tenglashtiriladi. Sovutish elementlaridan o'tgan tok qiymati, yutilgan quvvat qiymatiga proporsional bo'ladi. Qurilmaning aniqlik darajasi $\pm 0,5\%$ o'lchash oralig'i diapazonida 1-50 mV, to'lqin uzunligi $\lambda=6328\text{\AA}$ teng 0,1-rasm.

Issiqlik oqimini konveksiya natijasida kamayishini, yupqa yopqidan ishlangan oyna bilan yopilgan qurilma yordamida aniqlanadi. Qurilmaning differensial sxemasi, issiqlikdan saqlaguvchi metallidan ishlangan ekran bilan tashqi muhitdan himoyalangan. O'lchovchi indikator sifatida tashqi M95 yoki F116 turdagi galvanometrdan foydalanilgan. Kalibrovka qilish qismida, stabilashtiruvchi to'g'irlagich yordamida kalibrovkalovchi tok manbaidan foydalanilgan. O'lchash oralig'i energiyasi 10^{-2} dan -10 dj bo'lib, quvvati $10^{-4}-10^{-1}$ vT ga teng. Narkov davlat universitetida, kalorimetrlarning quruq yuklamali yangi turlari ishlab chiqarilgan bo'lib, ular o'rtacha va yuqori darajali chiqish quvvatiga va energiyaga ega bo'lgan lazerlar uchun mo'ljallangan. Qurilma KOD-10 o'lchash elementidan, kalibrovka va indikasiya blokidan hamda elektromexanik yopuvchi qurilmadan iborat. O'lchov elementining asosi, konus shaklidagi modellar 1: 7 bo'lib, absolyut qora jism sifatida bo'ladi va optik energiya konus devorlari tomonidan yutiladi. Konusning ichki devori nikel metalli bilan yupqa qalinlikda qoplangan bo'lib, bu bilan uning energiyani infraqizil diapazonida yutish hususiyatini kuchaytiradi. Konusning qizish darajasi, ko'p miqdordagi ketma-ket ulangan termoparalar 2, 6 (700-800 dona) yordamida aniqlanadi. Termoparaning konus yuzasi bilan o'zaro kontakti juda yaxshi bo'lishi shart. Qurilma differensial sxema asosida, ikkita bir-biriga qaragan bir xil konuslardan yig'ilgan. Konuslar bo'ylab isituvchi elementlar joylashtirilgan bo'ladi. Qurilmani kalibrovka qilish vaqtida, yuklamani doimiy vaqti τ_n va termoparaning EYUK aniqlanadi.

Qurilmaning asosiy texnik xarakteristikasi

To'lqin uzunligi diapazoni	0,4-11 mkm
Impulsi energiyani o'lchash oralig'i	3,10;30;100;300 dj
Quvvatni o'lchash oralig'i	3,10;30;100;300 vT
Kirish diametri	15mm
O'lchash jarayonidagi hatolik	$\pm 10\%$

Asosiy hatoliklar

Quruq yuklamali kalorimetrlarning o'lchash jarayonidagi hatoliklar manbaini ko'rib chiqamiz:

$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}$ - yuklamaning yutish koeffitsientini aniqlashdagi xatolik

$\frac{\Delta \mu}{\mu}$ - issiqlikni yo'qotishni ekvivalent emasligi natijasida kelib chiqqan xatolik

$\frac{\Delta T}{T}$ - kirish oynasining o'tkazish koeffitsientini aniqlashdagi xatolik

$\frac{\Delta E_{el}}{E_{el}}$; $\frac{\Delta P_{el}}{P_{el}}$ - energiya va quvvatni aniqlashdagi va kalibrovka qilishdagi xatolik

$\frac{\Delta \varphi}{\varphi}$ - hisoblashdagi xatolik.

Qurilmani kadibrovka qilishdagi hatolik, impulsli energiya uchun aniqlik darajasi, kondensator sig'imini va undagi kuchlanishni aniqlashga bog'liq bo'lib, quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\frac{\Delta E_{el}}{E_{el}} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2} \quad (4.10)$$

Katta sig'imlarni o'lchash usullaridan biri (kalibrovka qilish uchun) ma'lum qarshilik orqali, sig'imni razryadlanish vaqtini aniqlash usuli hisoblanadi va maksimal o'lchov hatoligi $\pm 2\%$ tashkil etadi. Kuchlanish esa, oson va aniq o'lchanadi $\pm 0.5\%$ xatolik bilan. Bu esa energiyani o'lchashning umumiy hatoligini tashkil etadi.

$$\frac{\Delta E_{el}}{E_{el}} = \pm 2,2\% \quad (4.11)$$

Elektr quvvatini o'lchashdagi xatolik, quyidagicha aniqlanadi

$$\frac{\Delta P_{el}}{P_{el}} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2} \quad (4.12)$$

Qarshilikni o'lashda yo'l qo'yilgan hatolik $\pm 0.1\%$ tokni o'lashdagi hatolik esa $\pm 0.5\%$ tashkil etadi, u holda

$$\frac{\Delta P_{et}}{P_{et}} = \pm 1\% \quad (4.13)$$

tashkil etadi.

Hisoblashni bajarishdagi hatolik, indikatorning shkalasining uzunligiga, og'ish kattaligi hamda nolning dreyfiga bog'liq bo'ladi.

Masalan mikroampermetr M95 shkalasi 100 bo'limli bo'lsa, shkalaning 1/3 qismiga og'sa, nol holati dreyfi $\pm 1\%$ atrofida bo'ladi. Bu hatolik ikki marta namoyon bo'ladi, kalibrovka va o'lash jarayonida.

Optik energiya va quvvatni o'lash jarayonidagi hatolikni aniqlash, quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\frac{\Delta E}{E} \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \mu}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E_{et}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta \Psi}{\Psi}\right)^2} \quad (4.14)$$

$$\frac{\Delta P}{P} \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \mu}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{P_{et}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta \Psi}{\Psi}\right)^2} \quad (4.15)$$

O'lash jarayonidagi asosiy hatolik bo'lib, issiqlik yo'qotishning ekvivalent emasligidan kelib chiqadigan hatolik hisoblanadi. Bu hatolikni izometrik kalorimetr yordamida olib tashlab, o'lash jarayoni aniqligini oshirishi mumkin [23, 29,30].

4.5. Lazer nurlanishining energetik karakteristikalarini o'lovchi ponderomotorli o'lgachlar

Ponderomotorli o'lgachlarda, nurlanishning mexanik ta'siridan foydalaniladi. D.Maksvell va P.N.Lebedev elektromagnit tebranishlarning jisimga bosim ta'sirini ko'rsatishini, amaliyotda isbotlab berdilar. Bu bosim ta'siri juda kichik bo'lib, ularni juda sezgir datchiklar yordami bilan yuqori aniqlikda o'lash mumkin. YOrug'lik bosimini o'lash uchun, turli turdagi datchiklardan (sig'imli, p'ezoelektrik va boshqa) foydalaniladi, ko'pincha aylanma tarozi ham bu maqsadda ishlatiladi. Osma yoki tortib turuvchi simga, qabul qiluvchi element o'zak (sterjen) o'rnatiladi. Osma

sinning bir uchiga og'irlikni muvozanatga keltiruvchi yuklama, ikkinchi tomonining o'rtasiga indekator vazifasini bajaruvchi ko'zgu o'rnatiladi.

Yorug'lik nuri, qabul qiluvchi element yuzasiga tushib, elementda aylantiruvchi moment yuzaga keltiradi va natijada osma sim bir necha burchakka buriladi. Bu burchak, indekator ko'zglasiga tushgan yorug'lik nurlanishining og'ishi bilan o'lchanadi. Nazariy mexanikadan bizga ma'lum bo'lishicha, qattiq jismini o'z o'qi atrofida aylanishida, unga ta'sir etuvchi hamma kuchlar momentlari summasi, jism inersiya momentining burchak tezlanishi ko'paytmasiga teng bo'ladi.

$$I \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \sum_{i=1}^n M_i \quad (4.16)$$

Qurilmaning harakatlanuvchi qismiga, quyidagi momentlar ta'sir ko'rsatadi:

A) qabul qiluvchi elementga yorug'lik nurlanishining bosimi orqali, yuzaga kelgan aylantiruvchi moment – M

B) osma sinning aylanishi bilan bog'liq bo'lgan, qarshi ta'sir ko'rsatuvchi moment $M_\alpha = -W_\alpha$. Bu yerda W – osma sinning qattiqligi

V) harakatni tormozlovchi (to'xtatuvchi) kuch momenti

$$M_x = -\chi \frac{d\alpha}{dt} \quad (4.17)$$

χ – tinchlanish koeffitsienti

Bu ta'sir etuvchi momentlar qiymatini, formula (4.16) ga qo'yamiz va quyidagi ko'rinishga kelimiz.

$$I \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \chi \frac{d\alpha}{dt} + W\alpha = M \quad (4.18)$$

Uzluksiz optik quvvatning sistemaga ta'siri natijasida, qurilma qandaydir ma'lum α_0 burchagiga og'adi va yangi holatdagi tenglik o'rnatiladi. U holda, tenglama (4.18) quyidgi qo'rinishga keladi.

$$W\alpha_0 = M \quad (4.19)$$

Tenglik holatida

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{d\alpha}{dt} = 0 \quad (4.20)$$

teng bo'ladi.

Uzluksiz optik nurlanish quvvati ta'siridagi og'ish burchagini, shunday aniqlaymiz.

$$\alpha_0 = \frac{M}{W} \quad (4.21)$$

Agar, qabul qiluvchi elementga tushayotgan optik yorug'lik impulsi davomiylik vaqti, sistemaning o'zining tebranish vaqtidan anchagina kam bo'lsa, u holda, sistema ballistik rejimda ishlaydi va impuls ta'sir etgan vaqt τ ichida, sistemaning o'z inersionligi tufayli, og'ishga imkoni bo'lmaydi. Shu vaqt uchun tenglama (4.18), quyidagi ko'rinishda yoziladi.

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \chi \frac{d\alpha}{dt} = M \quad (4.22)$$

tenglama (4.22) ni 0 dan τ_u oralig'ida integrallab

$$I \frac{d\alpha}{dt} + \chi \alpha = \int_0^{\tau_u} M(t) \cdot dt \quad (4.23)$$

tenglamaning ikkinchi hadida, α ning qiymati nulgga teng bo'lgani uchun

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{1}{I} \int_0^{\tau_u} M(t) \cdot dt \quad (4.24)$$

Impuls ta'siri vaqti tugagandan keyin, harakatlanuvchi sistema quyidagi qonun asosida harakatlanadi.

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \chi \frac{d\alpha}{dt} + W\alpha = 0 \quad (4.25)$$

Boshlang'ich shartlari:

$$\alpha_{t=0} = 0; \quad \frac{d\alpha}{dt}_{t=0} = \frac{1}{I} \int_0^{\tau_u} M(t) \cdot dt \quad (4.25)$$

(4.25) tenglamaning echimiga ko'ra, sistemaning maksimal burchakka og'ishi, aylantiruvchi moment bilan quyidagicha bog'langan:

$$\alpha_{max} = \frac{N}{\sqrt{IW}} \int_0^{\tau_u} M(t) \cdot dt \quad (4.27)$$

Bu yerda,

$$N = \begin{cases} \exp\left(-\frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \arctg \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}\right) & \text{agar } \beta < 1 \\ \exp\left(-\frac{\beta}{\sqrt{\beta^2-1}} \arctg \frac{\sqrt{\beta^2-1}}{\beta}\right) & \text{agar } \beta > 1 \end{cases} \quad (4.28)$$

$$\beta = \frac{X}{2\sqrt{IW}} - \text{sistemaning tenglanish darajasi}$$

Sistemaning aylantiruvchi momenti M nurlanishning quvvatiga proporsional bo'lsa, $\int_0^{\tau_u} M(t) \cdot dt$ - og'ish burchagining kattaligi, impulsning energiyasiga proporsional bo'ladi. Shunday qilib, tenglamalar (4.27) va (4.21) dan, og'ish burchagi α_0 , yorug'lik nurlanishi quvvati R_{gr} , maksimal og'ish burchagining α_{max} kattaligiga, impulsli nurlanishning energiyasiga proporsional bo'ladi [27,44].

4.6. Ponderomotor o'lchagichdagi manfiy qayta bog'lanish

Ponderomotor o'lchagichlar o'z tuzulishiga qarab, har xil turtki va tebranishlarga nisbatan sezgir bo'ladi. Ayniqsa bunday holat, yuqori quvvat va energiyani o'lchovchi va o'lchovchi elementi, juda ingichka simga tortib, osib qo'yilgan o'lchagichlar uchun ta'luqli bo'ladi. Bunday ingichka, osma simlar, sistemaning tebranish vaqtini oshishiga sabab bo'ladi va o'lchov ishlarini olib borishni qiyinlashtiradi. Qurilmani sezgirlik darajasini, har xil turtki va tebranishlarga ta'sirini kamaytirish uchun, uni tinchlanish darajasini oshirish kerak. Sistemaning tebranish vaqtini kamaytirish uchun, unga qayta manfiy bog'lanishni kiritish kerak bo'ladi [32, 33, 35]. Bu esa o'z navbatida sistemaning tinchlanish darajasini oshiradi va sistemaning katta bo'lmagan inersionligini saqlab qoladi. Qayta manfiy bog'lanish, sistemaga quyidagicha kiritiladi.

Qabul qiluvchi element moslamasi bilan, magnitaelektrik sistemaga mahkamlanadi. Burilish burchagining ish holatini aniqlash uchun, sistemada lampochkadan foydalaniladi. Sistemada, indikator ko'zgu va ikki fotorezistorlar hamda ko'prik sxemasidan foydalaniladi. Fotorezistorlar, indikator bilan diogonal holatda, ko'prik sxemasiga ulanadi. Boshlanish vaqtida harakatlanuvchi sistema holati, shunday o'rnatiladiki, fotorezistorlarning yoritilganligi bir hil bo'lib, ko'prik balans holatga keltiriladi va ko'prikdan diogonal bo'ylab tok o'tmaydi.

Yorug'lik nurlanishi qabul qiluvchi elementga tushishi bilan, harakatlanuvchi sistema buriladi, fotorezistorlarning yoritilganligi holati o'zgaradi va ko'prik diogonal bo'ylab tok paydo bo'ladi. Shu tokning bir qismi, ramkaga uzatiladi va uni boshlang'ich holatga qaytishiga sabab bo'ladi. Bunday turdagi sistema, galvanomaetrik moment kompensatori sifatida, o'zini namoyon qiladi. Bu sistemaning hususiyati va dinamik xarakteristikasi [33] da to'liq o'rganilgan. Sistemaga, manfiy qayta ulanishni kiritilishi, tortib turuvchi simlarning tarangligini kuchaytirish bilan ekvivalent hisoblanadi. Bu bilan sistemaga huddi "elektr mustahkamlik" – W_{el} kiritilgandek bo'ladi. Bu mustahkamlik, mexanik mustahkamlikka qo'shilib ketadi. Chiqish indikatorining og'ish kattaligi, sistemaning og'ish burchagiga proporsional bog'liqlikda bo'ladi. Shuning uchun formulalar (4.25), (4.27) nisbatlarni, kichik o'zgarishlar bilan sistema uchun, qayta manfiy bog'lanish kiritilgan sistemaga, qo'llash mumkin bo'ladi.

Uzluksiz quvvat uchun,

$$i_0 = \frac{2Rr \cdot K}{cW_e} \cdot P; \quad (4.29)$$

Impulslı energiya uchun,

$$i_{max} = \frac{2RrN_1K}{c\sqrt{I+W_e}} \cdot E, \quad (4.30)$$

bu yerda, I - chiqish indikatorining og'ish kattaligi;

K – optik sistema indikator qiymatini o'zgartirish koeffitsienti: $W_e = W' + W_{el}$

Formula (4.30) dagi koeffitsient N o'miga, koeffitsient N_1 ni ishlatilishidan maqsad, harakatlanuvchi sistemaning inersionligini va chiquvchi indikator fotorezistorining inersionligini hisobga olish bo'lgan. Qayta ulanishli qurilmaning kalibrovka qilish (yoki sozlash), aylantiruvchi momentlarni bir-biriga taqqoslash orqali, ya'ni optik quvvat ta'siri natijasida yoki impuls energiyasi natijasida va ramka orqali uzluksiz yoki impulslı

tokning oqishi natijasida, vujudga kelgan momentlarning ta'siriga qarab sozlanadi. Galvanometr ramkasining tok ta'siri, ramkaning tok ta'siri natijasida i_r og'ishi burchagi kattaligi va undan oqib o'tgan tokka teng [27]:

$$\alpha_0 = \frac{\Psi}{W} \cdot i_r, \quad (4.31)$$

bu yerda, Ψ - magnitoelektrik sistemaning oqim ta'siri
 W - tortib turuvchi simlarning mustahkamligi

Sistema ramkasining tok o'tishi natijasidagi (zaryad o'tishi) maksimal og'ishi, shunday aniqlanadi:

$$\alpha_{max} = \frac{\Psi N}{\sqrt{IW}} \cdot q \quad (4.32)$$

Agar galvanometr ramkasidan tok i_r yoki zaryad q o'tayotgan bo'lsa, ponderomotor o'lchagichning chiqish indikatorining og'ish kattaligi, shu tartibda aniqlanadi:

O'zgarmas tok uchun,

$$i'_0 = \frac{\Psi K}{W_z} \cdot i_r; \quad (4.33)$$

zaryad uchun,

$$i'_{max} = \frac{\Psi N_1 K}{\sqrt{IW_z}} \cdot q. \quad (4.34)$$

Formulalar (4.29) va (4.33) bir-biriga taqqoslaymiz.

Agar $i_0 = i'_0$ bo'lsa, u holda tok i_r va optik quvvat R , chiquvchi indikatorlarda bir xil kattalikdagi og'ishni ta'minlaydi.

U holda,

$$P = \frac{c\psi}{2R \cdot r} \cdot i_r = \alpha i_r \quad (4.35)$$

(4.30) va (4.34) formulalarni taqqoslab, quyidagi hulosaga kelamiz va energiya E ni quyidagicha aniqlanaymiz:

$$E = \frac{c\psi}{2Rr} \cdot q = \alpha q \quad (4.36)$$

SHunday qilib, o'lchash amalini bajarish uchun, kalibrovchi ko'paytirgich - a va tok - i_r yoki zaryad - q ni bilish kerak, chunki bu birliklar, chiqish indikatori huddi quvvat - R yoki energiya - E ning ta'siri ostida, qancha harakatlanisa (yoki burchak qiymatiga og'sa) ular ta'sirida ham shuncha miqdorga harakatlanadi. Magnitoelektrik oqim ta'siri ψ ni aniqlash uchun, vebermetrdan (M199 turdagisidan) foydalanamiz. Vebermetr, galvanometr ramkasiga ulanadi va so'ngra ma'lum burchakka buraladi. Ramkaning harakati natijasida, EYUK vujudga keladi. Bu EYUK ning absolyut kattaligi, quyidagiga teng bo'ladi:

$$e = \psi \frac{da}{dt} \quad (4.37)$$

Vebermetrga kuchlanish impulsi keladi:

$$F = \int e \cdot dt = \psi a \quad (4.38)$$

F - vebermetrning ko'rsatgan qiymati
Bundan

$$\psi = \frac{\Phi}{a} \quad (4.39)$$

Sxemadagi tok manbai va kuchlanishni, bo'lish koeffitsientiga ega bo'lgan bo'luvchidan, tok - i_r ning qiymati olinadi. Zaryad - q kondensatorida yig'iladi va ko'rsatilgan formula yordamida, hisoblanadi:

$$q = cu \quad (4.40)$$

bu yerda, s - kondensatorning sig'imi; u - kondensator zaryadlanishi mumkin bo'lgan kuchlanish qiymati [37, 39, 42].

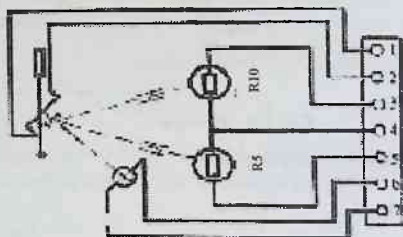
4.7. Lazer nurlanishining quvvati va energiyasini o'lchovchi ponderomotorli o'lchagichlarning tuzilishi

Lazerlar quvvati va energiyasini o'lchovchi ponderomotor o'lchagichlar, Xarkov davlat universitetining radio o'lchash kafedrasidan ishlab chiqilgan bo'lib, bu apparat, o'lchash elementi joylashtirilgan qism va indikasiya blokidan iborat.

O'lchash qism, harakatlanuvchi sistema, fotoelektrik kuchlanishli galvanometr \emptyset 117 dan iborat.

Qabul qiluvchi element, sapirdan ishlangan diskadan iborat bo'lib, uning diametri 19 mm, qalinligi 0,4 mm. Harakatlanuvchi sistema, massiv mis korpus ichiga o'rnatiladi. Mis korpusning yorug'lik nurlanishi kirishi va

chiqishi uchun mo'ljallangan teshikchasiga, sapirdan ishlangan oyna o'ratiladi. Qabul qiluvchi elementning, qarama-qarshi tomonida joylashgan teshikcha orqali, mikrometrik vintning, burovchi vinti joylashtirilgan bo'lib, vint yordamida, yorug'lik oqimi ta'siri o'zgarishini va galvometr ramkasini to'g'rilashni imkoni bo'ladi. Burilish burchagining qiymatini hisoblash uchun, elka uzunligi va mikrometr vinti yordamida, aniqlanadigan masofadan foydalaniladi. Harakatlanuvchi sistemaning burilish burchagini o'lchashda, Ø117 kuchatirgichdan foydalaniladi.



4.2-rasm. O'lchash blokining sxemasi

O'lchovchi blok, indikasiya bloki bilan kabel orqali bog'lanadi va qayta bog'lanish signali ramkaga keladi va fotoblok lampasini hamda fotorezistorni ta'minlaydi. Indikasiya blokida: ta'minlovchi, stabillovchi, tekislagich, fotoblok lampalari, hamda qayta bog'lanish sxemasiga kiruvchi R_k va R_D qarshiliklariga ega bo'lgan ko'prik, kirish indikatori G va qurilmani nol holatini o'rnatuvchi elektr sxema (R_5 - R_{16} qarshiliklardan iborat ko'prik) va qarshilik R_N joylashgan bo'ladi 4.2-rasm.

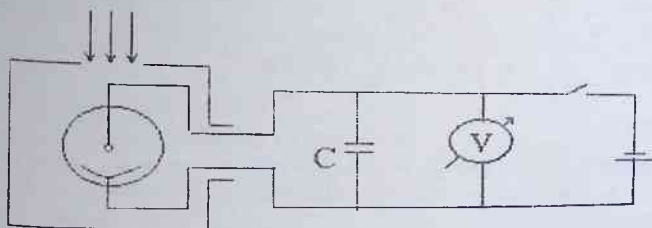
Qurilmaning asosiy texnik xarakteristikalarini

To'liq uzunligi oraliq diapazoni	0,4-4 mkm
Quvvatni o'lchash kattaligi	3-10-30-100-300 vt
Energiyani o'lchash kattaligi	10-30-100-300 dj
Kirish oynasining diametri	15 mm
Uzluksiz quvvatni o'lchashdagi kattalikni aniqlash, vaqti	10 sek
Impulslu energiyani o'lchashdagi kattalikni ko'rsatish vaqti	2 sek

[31] ishda, kichik siljishli, buraluvchi mayatnikli va elektr yordamida kalibrovka qilinuvchi radiotexnik sxema ko'rsatib berilgan. Tebranuvchi sistema – buraluvchi mayatnik – mis yuzasiga, kumush yuritilgan plastina, volfram sim yordamida osib qo'yilgan. Sistemaning dinamik diapazoni 0,5-100 dj energiyani 1 minut davomida o'lchashga mo'ljallangan bo'lib, bu vaqtga sistemaning o'zining tebranishlari 15-26 sek. ham kiradi. Generatorning impulslarni kalibrlovchi qurilma sifatida, kutuvchi multitebratkichdan foydalaniladi. Multitebratgich, to'g'ri burchakli impulslar hosil qiladi, impulslarning davomiyligi vaqti 1 va 2 sekund bo'ladi. Sistemani tinchlanishi uchun, o'sha kalibrlovchi generator impulslaridan foydalaniladi, generator ma'lum vaqtda, tormozlovchi impulslar yuboradi. Sistemaning tinchlanishi uchun 4-6 tormozlovchi impulslar kifoya qiladi. Bunday va shu kabi ponderomotorli o'lchovchi qurilmalar yordamida, yorug'lik nurlanishining uzluksiz quvvatini o'lchash mumkin. Buning uchun lazer nurlanishi, chastota yordamida modulyasiya qilinadi, bu chastota, buraluvchi mayatnikning tebranish chastotasiga teng bo'ladi [47, 48,49].

4.8. Fotoelektrik usul

Fotoelektrik usul yordamida, o'lchash ishlarini olib borishda, qabul qiluvchi element o'mida, vakuumli fotoelementlardan va fotoko'paytirgichlardan foydalaniladi. Keyingi vaqtlarda, yarim o'tkazuvchi foto-priyomniklar ishlab chiqarildi, ular optik spektrning ko'rish va infraqizil diapazonida, lazerlarning impulsi energiyasini va uzluksiz quvvatini o'lchash imkoniyatini beradi. 4.3-rasmda, o'lchagichning sodda konstruksiyasi keltirilgan [16,36,40].



4.3-rasm. Lazer nurlanishini o'lchaydigan fotoelektrik indikatorning sxemasi

Sig'im S, elektr manбайдan, ΔU qiymatigacha zaryadlanadi (kalit yopilganida). O'lchash ishini boshlashdan oldin, elektr manbai uzib qo'yiladi. Fotokatod, impulsli nurlanish yordamida yoritilganidan keyin, fotoelementdan tok oqib o'tadi $i(t)$ va sig'im S dan esa zaryad q oqib chiqadi. Bu zaryad, yorug'lik impulsi ta'siri davomida oqqan fototokning, integrali qiymatiga teng bo'ladi:

$$q = \int_0^{\tau} i(t) \cdot dt \quad (4.41)$$

bu yerda, τ - yorug'lik nurlanishi impulsining davomiyligi. Zaryad q ni aniqlash uchun elektrostatik voltmetrdan foydalaniladi va sig'im S dagi impuls boshlanishi oldidan va impulsdan keyingi kuchlanishning farqi o'lchanadi:

$$q = C\Delta U = \int_0^{\tau} i(t) \cdot dt \quad (4.42)$$

Agarda tok $i(t)$ ning qiymati, fotoelementga tushuvchi nur intensivligi I ga chiziqli bog'liq bo'lsa, u holda

$$i = RI \quad (4.43)$$

bu yerda, R – fotoelementning sezgirligi

Agar, nurlanish impulsi energiyasini E ga teng deb qabul qilsak, u holda:

$$E = \int_0^{\tau} I \cdot dt = \frac{1}{R_0} \int_0^{\tau} i(t) \cdot dt = \frac{C}{R} \Delta U \quad (4.44)$$

Shunday qilib, kondensatordagi kuchlanishning, impuls ta'sir vaqtida o'zgarishi, impuls energiyasiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Qabul qiluvchi element (priyomnik) karakteristikasining, to'g'ri chiziqli uchastkasida, o'lchov ishlarini o'tkazish uchun, fotokatod yuzasiga tushayotgan yorug'lik nurlanishi oqimini kamaytirish uchun, neytral filtrlardan foydalanamiz.

Qurilmaning sezgirligini oshirish maqsadida, qabul qiluvchi element sifatida fotoko'paytirgichlardan (fotomnojiteldan) foydalanish mumkin [37]. Fotosezgir element toki, kondensator yordamida integrallashtiriladi va detektor bilan o'lchanadi. Sezgir fotoelementni, to'yinish holati darajasiga etmasligi va uning yuzasini shikastlanmasligi uchun, yorug'lik nurlanishi oqimini kuchsizlantirish maqsadida, neytral filtrlardan foydalaniladi. Bu filtrlar, avvalroq kalibrovka qilinadi. Chiqish signali qiymati 4v bo'lsa, bu sxemada impuls energiyasi $1,2 \times 10^{-5}$ dj.bo'ladi. Qurilma yordamida energiya 10^{-3} -1dj diapazonida o'lchanadi. Shunga qaramasdan, bu qurilmaning ham o'ziga muvofiq kamchiliklari bor [30, 31,44];

a) priborda ishlatiladigan, kalibrovka qilingan filtrlar kichik energiyali nurlanish uchun mo'ljallangan 10^{-3} -1 dj.

b) har bir filtni alohida kalibrovka qilib bo'lmaydi, chunki filtrlar gruppasida, kichik yorug'likni qaytish xususiyati kuzatiladi.

v) kalibrovka usulining kamchiligi, nurlanishning fazoviy bir hilda taqsimlanmaganligi va detektorning hamma uchastkasi hisobga olinmaganligidadir. Agar, kuchsizlantiruvchi filtr o'miga, nurlanishni diffuziyali-tarqatuvchi yuzadan foydalanilsa, yuqoridagi kamchiliklarni yo'qotish mumkin [40]. Yuzasi S ga teng bo'lgan detektorning, ochiq sirtiga tushayotgan yoyilgan yorug'lik nurlanishining intensivligi R_s quyidagicha aniqlanadi:

$$R_s = P_0 \frac{S}{2\pi R^2} \quad (4.45)$$

bu yerda R_0 – lazer nurining boshlang'ich quvvati; R – qabul qiluvchi elementdan, nurni yoyuvchi yuzagacha bo'lgan masofa.

Agar, katta quvvatli nurlanish bilan ishlanganda, bu masofani uzaytirish kerak bo'ladi va natijada qabul qiluvchi detektorning haraktristikasini to'g'ri chiziqli qismida, o'lchash ishlarini o'tkazish imkoniga ega bo'lamiz va fotokatodni, kuchli, quvvatli nurlanishdan saqlab qolamiz. Shunday qilib, qurilma boshqalariga qaraganda quyidagi avzalliklarga ega bo'ladi:

a) bunda nurlanishni qabul qiluvchi yuza, ideal diffuziyali qaytargich yordamida, detektor harakteristikasini chiziqli qismida, ishlash imkoni yaratiladi;

b) u juda sodda bo'lib, energiyaning katta va kichik qiymatlari o'lchashda qo'llanilishi mumkin (6-10 dj);

c)qurilmada, nurlanish dastasining, bir tekis yuza bo'yicha taqsimlanganiga va detektorning yuzasidagi, issiq yoki sovuq nuqtalarning borligiga, o'lchash jarayonida ahamiyat berilmaydi.

O'lchash jarayoni [36-40] ishlarda ko'rsatib o'tilganidek, etarli darajada aniq va qulay emas, chunki o'lchovchi voltmetr ideal chiziqli harakistikaga ega bo'lmaganligi va o'zining inersionligi natijasida, yuqori chastotadagi impulslar seriyasini o'lchash uchun, undan foydalanib bo'lmaydi. [41] ishda ko'rsatib o'tilishicha, yuqorida aytib o'tilgan kamchiliklarsiz ishlaydigan qurilmada, nurlanishni qabul qiluvchi element sifatida F5 qurilmasidan foydalanilgan. Bu qurilmada, integral zanjirdagi kuchlanishning o'zgarishi, yorug'lik nurlanishi impulsi energiyasiga proporsional bo'ladi va maxsus elektron sxema yordamida, impulslar seriyasini proporsional ravishda, yorug'lik energiyasiga aylantirib beradi. So'ngra raqamli voltmetr yordamida, nafaqat lazer impulsi energiyasi, balki impulsning maksimal oniy quvvati qiymatini ham o'lchash mumkin bo'ladi. Raqamli voltmetr shkalasi, energiya birligi va quvvatiga nisbatan mos holatda (graurovka qilingan) moslashtirilgan. Sxemaning sezgirlik darajasi, raqamli voltmetr shkalasining kichik bir bo'laki 1 vt va 10^{-4} dj ga teng qilib olingan.

Fotoelektr metodidan, tashqi foto effektli elementlardan, o'lchash ishlarida foydalanilganda, optik spektrning ko'z ko'ra oladigan spektr uchastkasida ishlatiladi. Bunday pribor va qurilmalar juda katta sezgirlikka va kichik inersionlikka ega bo'ladi, $\tau = 10^{-9}$ sek. Ammo, bu qurilmalardan, uzluksiz rejimda ishlaydigan va impulslar seriyasini, katta chastotada qaytaradigan generator nurlanishini o'lchashda foydalanib bo'lmaydi. Shulami hisobga olib, shunday yorug'lik energiyasini qabul qiluvchi elementlarni ishlab chiqarishda, ularning ishlash vaqti, impulslarning davomiylik vaqti bilan tenglashtiriladi va sezgirliги to'liq uzunligining keng diapazonida ishlash imkoniga ega bo'lgan. o'lchov apparatlarini yaratish kerak bo'ladi. Spektrning infraqizil xududi uchun, yanada perespektiv qabul qiluvchi element (priyomnik) sifatida, yarim o'tkazgichli materiallardagi, ichki fotoeffekt hususiyatli elementlardan foydalanish, maqsadga muvofiq bo'ladi. [43, 44,48].

Yarim o'tkazgichli priyomniklar kam inersionli (10^{-4} - 10^{-6} sek) bo'lib, ularning karakteristikalari uzoq vaqt nurlanish ta'siriga chidamli bo'ladi. Ammo, yarim o'tkazgichli priyomniklarning dinamik diapazonini, unchalik katta bo'lmaganligi, ularni lazer texnikasi parametrlarini o'lchashdagi effektivligi kam bo'lib, ulardan foydalanish uchun, maxsus nurlanishni kuchsizlantiruvchi moslamalardan foydalanish kerak bo'ladi.

Hozirga kelib, spektrning infraqizil spektrida foydalanish uchun, yangi texnologiyalar asosida, materiallar ishlab chiqarilgan. Bularga antimonid va arsenid indiy, selenli qo'rg'oshin, qo'rg'oshin sulfat, germaniy va boshqa sezgirligi to 10 m μ va undan yuqori bo'lgan (masalan rux bilan legirlangan germaniy) materiallar, lazerlar haarakteristikalarini o'lchashda qo'llanilib kelinmoqda [47,49].

4.9. Impulsdagi quvvatni o'lchash

Impulsi yoki impulsi-modulyasiyalangan rejimda ishlovchi lazerlar, optik lokasiya va o'zaro bog'lanishda, nochiziq optika hodisalarini o'rganishda va lazer nurlanishlarini moddalarga va boshqalarga ta'sirini o'rganishda ishlatilganligi sababli, ularning nafaqat energiyasini yoki nurlanishining o'rtacha quvvatini o'lchash hamda impulsdagi quvvatni o'lchash ham kerak bo'ladi. Impulsdagi quvvat to'g'risida avval ham so'z yuritilganligiga qaramasdan yana takror eslatib qo'yamiz.

Nurlanishning impulsi haarakteristikasini aniqlashda, uchta parametрни bir-biridan farqini bilish kerak bo'ladi:

1) Nurlanishning oniy quvvati, ya'ni nurlanishning t vaqtdagi, generatorning chiqish ko'zqusidan, r – masofadagi quvvati. Bu kattalik, oqim zichligi quvvatining integrali sifatida, Umov-Poyinting vektorining skalyar ko'paytmasini $[\vec{E} \cdot \vec{H}]$ radiusi r bo'lgan yarim shar, lazerning chiqish ko'zqusini o'rab turuvchi yuzasiga nisbatan o'tkazilgan, normal vektor birligi bilan aniqlanadi:

$$P(t) = \int_S ([\vec{E} \cdot \vec{H}] \cdot \vec{n}) \cdot ds \quad (4.46)$$

bu yerda \vec{E}, \vec{H} - elektr va magnit maydonining kuchlanishi, bu maydon lazer nurlanishi tomonidan yuzaga kelgan, yuza o'lchami S bo'lgan shar; \vec{n} - shar yuzasiga normal bo'lgan birlik vektor.

Lazer nurlanishi, kichik burchak ostida yo'nalgan bo'ladi, shuning uchun sharda S_1 yuzani aniqlaymiz va bu yuzadan tashqarida, \vec{E} va \vec{H} vektorlarining qiyamati hisobga olmas darajada, kichik bo'ladi. U xolda,

$$P(t) = \int_{S_1} ([\vec{E} \cdot \vec{H}] \cdot \vec{n}) \cdot ds \quad (4.47)$$

2) Nurlanishning maksimal oniy (pik) quvvati, oddiy ekstremumni topish yo'li bilan aniqlanadi.

$$P(t) = P_{\max} \text{ agar } \frac{dP(t)}{dt} = 0 \text{ va } \frac{d^2P(t)}{dt^2} < 0 \quad (4.48)$$

Agar $R(t)$ ning qiymati aniqlangan bo'lsa, u holda R_{\max} qiymatini topish qiyin bo'lmaydi;

3) Impulsdagi nurlanish quvvati, real generator tomonidan chiqqan impulsli nurlanishning quvvati.

Impulsli radiotexnikada aniqlanishiga o'xshab, lazer nurlanishining impulsli davomiylik vaqti, $R(t)$ ning, ikki qiymat o'rtasidagi vaqt bilan, ya'ni $P(t) = R_{\max}$ (bir maksimumli impuls uchun) aniqlanadi.

$$\tau_{0.5} = t_2 - t_1, \text{ agar } P(t_1) = P(t_2) = \frac{P_{\max}}{2} \quad (4.49)$$

Bir impulsli nurlanishning energiyasi

$$E = \int_{t=0}^{\infty} P(t) \cdot dt \quad (4.50)$$

Impulsning quvvati esa, quyidagicha aniqlanadi,

$$P_{\text{imp}} = \frac{E}{\tau_{0.5}} \quad (4.51)$$

Impulsi-modulyasiyalangan nurlanish uchun, uning o'rtacha quvvati $P_{o'rt}$ va impulsning qaytarilish davri T bo'lsa, impulsning quvvati quyidagicha aniqlanadi

$$P_{\text{imp}} = P_{o'rt} \frac{T}{\tau_{0.5}} \quad (4.52)$$

bu yerda, $\frac{T}{\tau_{0.5}}$ - impulslar ketma-ketligi zichligi.

Shuni ham aytib o'tish lozimki, lazerning ko'rsatilgan parametrlarini o'lchash texnikasi va usullari, ishlash rejimiga qarab va o'lchanadigan

parametrga qarab turlicha bo'lishi mumkin. Bir impulsli va impulsimodulyasiyalangan, impulslarni o'lhaydigan qurilmalar, bir-biridan farq qiladi. Haqiqatan ham bir impulsli generator, generatsiyasi parametrini o'lchash uchun, o'lchov apparatlarini, o'lchanadigan signal bilan sinxronizatsiyalash kerak bo'ladi. Bunday ishlarni bajarishda, eslab qoluvchi ossilogrammalardan, bir impulsli ossilogrammani sur'atga olish va bu foto sur'atlarni qayta ishlash yoki yakka impulslarni o'lchash uchun, pik qiymatlarni o'lchovchi voltmترلardan foydalaniladi. Ayniqsa, bir impulsli lazer impulsini modulyasiyalashtirilgan asilliyliigi, generatsiya impulsining nanosekundli impulsdan, pikosekundli impulsga o'tgandagi harakteristikasini o'lchash, texnik jihatdan yanada murakkablashadi.

Impulsi-modulyasiyalangan generatsiya nurlanishi uchun, tashqi sinxronizatsiya kerak bo'ladi. o'lchash ishlarini olib boruvchi apparatlar uchun impulsni o'lchash, asosan statik kattalikni aniqlashga qaratilgan bo'ladi, ossillograf ekrani yoki pik qiymatni o'lchovchi voltmetr shkalasi yordamida aniqlanadi yoki zamonaviy fotoo'zgartigichlar yordamida o'lchanadi.

4.10. O'lchash metodlari

Lazerlarning, impulsli harakteristikasini laboratoriyada o'lchash uchun, alohida aniqlash usulidan foydalaniladi. Impuls formasi signalini, kichik inersion fotoo'zgartirgichlar yordamida, ossillograf orqali va impuls energiyasi ossilogrammasini qayta ishlash va energiyani o'lchash qurilmasini ko'rsatgan qiymati natijasiga qarab, aniqlanadi. Bu usulning qulayligi shundaki, u fotoo'zgartigich va optik sxema elementlarini absolyut kalibrovka qilishni talab etmaydi. Faqat, ossillografda qabul qilingan signalni yoyish tezligini aniqlash va nurlanishning quvvatini, priborning qabul qiluvchi elementiga tushayotgan kattaligiga qarab, chiziqli og'ishi aniqlansagina kifoya bo'ladi. Nurlanishning u o'qi bo'ylab og'ishi, u holda shunday aniqlanadi:

$$y = \alpha P(t) \quad (4.53)$$

bu yerda, α -doimiy koeffitsient, u holda ossilogramma ostidagi yuza, quyidagicha aniqlanadi:

$$S = \int_0^{t \gg \tau_u} y dt = \alpha E. \quad (4.54)$$

bu yerda, E – impuls energiyasi.

$$\alpha = \frac{S}{E} = \frac{\int y dt}{E} \quad (4.55)$$

Shundan kelib chiqqan holda,

$$P(t) = y(t) \cdot \frac{E}{\int_{t=0}^{t \gg \tau_u} y(t) \cdot dt} \quad (4.56)$$

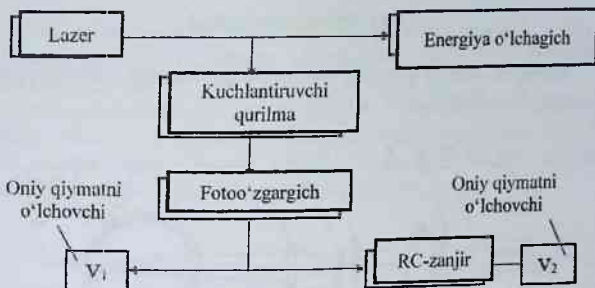
Shunday qilib, agar $a = \text{sonst}$ bo'lsa, oniy quvvatni va maksimal oniy quvvatni o'lchash uchun hamda impulsdagi quvvatni o'lchashda, impuls formasini va energiya qiymatini bilish, etarli bo'ladi.

Ikkinchi usulida, fotoo'zgartgichning chiqish signalini, absolyut birlikdagi qiymti o'lchanadi. Fotoo'zgartgichning o'zgartirish koeffitsienti va attenyuator yordamida, kichik signalini qiymatini, pasaytirish darajasi aniqlanadi:

$$P(t) = \frac{A}{S} \cdot U(t - \Delta) \quad (4.57)$$

bu yerda $U(t)$ - chiqiuvchi kuchlanish qiymati - v; S - fotoo'zgartgichning o'zgartirish koeffitsienti (shu to'lqin uchun) $A = \frac{P_{RX}}{P_{chiq}}$ attenyuatorning signalni pasaytirish darajasi; Δ - apparatning vaqt bo'yicha ushlab turishi.

Shuni ham aytib o'tish kerakki, yuqori quvvatli impuls uchun. ish rejimida o'zgartgichning, o'zgartirish koeffitsientini o'lchash shart emas. Bunday hollarda, nisbatan sodda sxemalardan foydalaniladi va maksimal oniy quvvat o'lchanadi. Sxemaga, o'zgartgichni chiqishidagi quvvatning, eng cho'qqi kattaligini o'lchovchi voltmeter joylashtiriladi. Attenyuatorning kuchsizlantirish darajasi ham nisbiy o'lchashlar yordamida aniqlanadi (kolorimetr va foto qabul qiluvchi elementlar va boshqalar yordamida).



4.5-rasm. Maksimal oniy quvvat qiymatini o'lchashga asoslangan, ikki pik qiymatni o'lchovchi voltmetr lar usul yordamida energiyani o'lchovchi qurilmaning blok-sxemasi

4.5-rasmdan ko'rinib turishicha, fotoo'zgartgichdan chiqqan signal, ikkita yuqori quvvatni o'lchaydigan voltmetrga uzatiladi, ularning biriga RS-zanjir orqali ($RS \gg \tau_1$). U holda formula (4.57) foydalanib,

$$P_{max} = \frac{A}{S} U_1 \quad (4.58)$$

RS-zanjirdan chiqishdagi kuchlanishning qiymati

$$U_2 = \frac{1}{RC} \int_{t=0}^{t \gg \tau_n} U(t) \cdot dt = \frac{1}{RC} \cdot \frac{S}{A} \int_{t=0}^{t \gg \tau_n} P(t) \cdot dt = \frac{1}{RC} \cdot \frac{S}{A} \cdot E \quad (4.59)$$

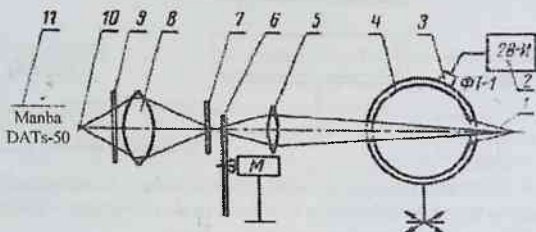
U holda,

$$P_{max} = \frac{E U_1}{RC U_2} \quad (4.60)$$

Energiyani o'lchovchi qurilmadagi, ko'rsatilgan qiymatni yuqoridagi formulaga qo'yib, R_{max} ning kerakli qiymatini aniqlaymiz. Bu usulning avzalligi shundaki, kuchlanishlar nisbati $\frac{U_1}{U_2}$ qiymatini aniqlash, absolyut qiymatlarni aniqlashdagidan ko'ra aniqroq bo'ladi [27, 53].

4.11. O'lchash texnikasi

Yorug'lik impulsi quvvatini o'lchovchi qurilmaning umumiy sxemasi 4.6-rasm da keltirilgan.



4.6-rasm. Impuls quvvatini o'lchovchi o'lchagichning umumiy sxemasi. 1-lazer; 2-attenyuator; 3-integrator; 4-fotoo'zgartgich; 5-qayd qiluvchi sxema; 6-energiya o'lchagich.

Optik kvant generatorlarining, yuqori quvvatli impulslari quvvati va energiyasini o'lchashda, nurlanishni qabul qiluvchi fotoo'zgartgichlarning ishchi yuzasini kuchli nurlanish ostida buzilishidan saqlash uchun, genarator nurlanishini kuchsizlantiriladi. Shuning uchun lazer va fotoo'zgartgichlar o'rtasiga, attenyuator joylashtiriladi.

Attenyuatorlar sifatida, frenel qaytargichlaridan, (havo va dielektrikning bo'linish oralg'ida) foydalanish mumkin. Attenyuatorlarga bo'lgan umumiy talabalar asosan, tushayotgan nurlanishni intensivligini pasaytirgichning holatini o'zgarmas bo'lishidir. Ko'pgina holatlarda, agar o'lchagichning dinamik diapazoni katta bo'lmasa, nurlanishni kuchsizlantiruvchi attenyuatorni yo, asta-sekin pog'onama-pog'ona, bir tekis pasaytirishi kerak bo'ladi. Ko'pgina fotoo'zgartgichlar, bir tekis bo'lmagan karakteristik zonaga ega bo'ladi, shuning uchun ular yordamida, to'g'ridan-to'g'ri nurlanishning oniy quvvatini o'lchab bo'lmaydi $P(t)$. Shuning uchun, fotoo'zgartgichlardan to'g'ri foydalanish uchun, qo'yshimcha element, nurlanish yuzasi bo'yicha integrator kirgazish kerak bo'ladi. Natijada, chiqishda nurlanish oqimining teng meyorli oqimi olinadi. Bu oqim, faqat kirish nurlanishining to'la quvvatiga bog'liq bo'ladi. Bunday integrator sifatida, diffuziyali qaytaruvchi plastinkadan foydalaniladi. Lazer nurlanishi, fotoo'zgartgichdan uzoqroq masofada (nurlanishning ko'ndalang kesimi o'lehamidan ko'p marta katta masofada)

o'atiladi. Attenyuator va integratorlar nurlanishning kuchini, kuchsizlantirishda qo'llaniladi, shuning uchun ham ularni bir elementda joylashtirish mumkin.

Fotoo'zgartgichlar tushuvchi nurlanishni, elektor signaliga aylantirib beradilar. Shuning uchun ham ularning o'zgartirish koeffitsienti chiziqli. stabil bo'lishi kerak, hamda impuls davomiyligi vaqtiga nisbatan inersionligi vaqtining qiymati, kichkina bo'lishi kerak.

4.3-jadval

Fotoelement	Katodning yuzasi, sm^2	Sezgirligi mka/mm	Spektr diapazoni mm	τ_p , sek.	Chiziqli tok, A	Manbarning kuchlanishi V
FEK-08	176	40-80	380-650	$5 \cdot 10^{-9}$	Do11 Do60	1000 5000
FEK-09	12,6	10-30	380-1300	$3 \cdot 10^{-10}$	Do7 Do16	1000 2000
FEK-13	1,43	40-80	380-650	$5 \cdot 10^{-11}$	Do1,5 Do4,0	1000 2000
FEK-15	16,43	10-30	380-1300	$5 \cdot 10^{-11}$	Do1,5 Do4,0	1000 2000

Fotoo'zgartgichlar, tashqi fotoeffekt hususiyatidan (fotoelement. fotokuchaytirgich) lazer impulsi xarakteristikasini o'lchashda, keng qo'llanilib kelimnoqda. Keng ko'lamlı koksial fotoelementlarni FEK [50] ishlab chiqarilishi, ularni effektiv amaliyotda qo'llanilishiga imkoniyat yaratdi. Bunday fotoelementlarning modifikatsiyasi, quyidagi 4.3- jadvalda keltirilgan.

Sanoatda ko'plab ishlab chiqariladigan. foto ko'paytirgichlar modifikatsiyasi: FEU-36, FEU-15B, FEU-28 va boshqalar. lazer nurlanishining qisqa vaqtli, nanosekundli impulslarini vaqt jixatidan aniqlashga imkon beradi. Hozirgi zamonaviy foto ko'paytirgichlarning yangi turlari. yorug'lik impulsining 10^{-10} - 10^{-13} sek ga teng bo'lgan, davomiylik vaqti juda qisqa impulslarni o'lchashga imkoniyat yaratadi. Fotoelementlarning asosiy kamchiliklariga, ularning spektral diapazonini torligi va shu diapazonga o'zgartirish koeffitsientining bog'liqligi hisoblanadi.

Bu o'rinda fotodiodlar va fotoqarshiliklar ham keng qo'llaniladi, yarim o'tkazgichlarda, ichki fotoeffektdan foydalaniladi. Bunda, fotonlar ta'sirida, elektron-kovak juftligi hosil bo'ladi. Fotodiod va fotoqarshiliklarning ishchi spektral diapazoni, ishlab chiqarilgan moddaning hususiyatiga, ishlab

chiqarish texnologiyasi va ishchi temperaturasiga bog'liq bo'ladi. Hozirgi kunga kelib, optik fotoo'zgartgichlar sifatida shaffof, nochiyq kristallardan foydalanish imkoniyati tug'ildi [58]. Bunday kristallar qatoriga, yuqori optik mustahkamlikka ega bo'lgan KDR-120 mvt/sm², ADR-600 mvt/sm² ega bo'lgan kristallar kiradi. Bunday kristallarning ishchi spektral diapazoni, fotopriyomniklarinikiga qaraganda keng bo'ladi.

Shunday qilib, lazerlarining to'liq uzunligi, impulsning davomiylik vaqti va nurlanishining quvvatiga qarab, turli fotoo'zgartgichlardan foydalaniladi. [4,5,11,16,40].

Amaliyotda keng qo'llanilayotgan va keng tarqalgan fotoo'zgartgichlar quyidagi 4.4-jadvalda keltirilgan:

4.4-jadval

Qurilma	Qo'llanilgan effekt	Spektral diapazon mkm	Inersionlik sek	CHiqish toki a	Nurga chidamliyligi
Fotoelement FEK	Tashqi foto effekt	0,3 – 1,2	5·10 ⁻¹¹ 5·10 ⁻¹¹	3 1	Yuqori emas
Foto – qarshilik Fotodiod	Ichki foto effekt	2-7 Sovutilmaydi 20-30 Sovutiladi 77-4,2°K	10 ⁻⁹ –10 ⁻¹⁰	0,1	O'rtacha
Piropriyomnik Tez xarakterlanuvchi bolometr	Issiqlik yordamida qizdirish	Juda keng	10 ⁻⁶ –10 ⁻⁷	Kichik	O'rtacha
-	Noiziq optik effekt	Keng	10 ⁻⁶ –10 ⁻⁸	Kichik	Yuqori

IV-bo'lim bo'yicha o'zlashtirish savollari:

1. Optik kvant generatorining parametrlari?
2. Lazer generatoring energiyasi va quvvatinin o'lchash usullari?
3. Lazer energiyasi va quvvatini o'lchovchi o'lchagichlar?
4. Fotoelektrik usul nima?
5. Impulsdagi quvvatni o'lchash?
6. O'lchash usullari?
7. O'lchash texnikasi?

1. Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения. М.: Энергоатомиздат, 1990.- 256 с.
2. Волоконно-оптические датчики. Под ред. Э. Удда. М.: Техносфера. 2008. – 520 с.
3. Towards a Bright Future for Europe. Strategic research agenda in photonics. 2006
4. The Photonics Dictionary. Laurin Publishing Co Inc., USA, 2004. 6. Photonics: a UK strategy for success", July 2006 7. Фотоника. Словарь терминов. Изд. РАН. 2004
5. Лейкин А. Я., Соловев В. С., «Измерительная техника», 1970, №9 1967.
6. Конохов В. К.- Кулевский Л. А., Прохоров А. М. Энергетические и спектральные характеристики импульсной ксеноновой лампы ИФП-5000. Журнал прикладной спектроскопии, 1964, т. 1, № 1.
7. Королев Э.А., Хазов Л.Д. Расчет схем питания импульсных ламп для накачки твердотельных ОКГ. Журнал прикладной спектроскопии, 1967, т. 6,
8. Карасик В.Э., Сахаров А.А. Лазерная оптико-электронная лаборатория МГТУ им.Н.Э. Баумана. Лазер Информ, выпуск №3 (402), февраль 2009 г.
9. Лейкин А. Я., Соловев В. С., «Измерительная техника», 1970, №9
10. Лебедев Л.Ф. Зарядное устройство с балластным дросселем для импульсных источников света. «Светотехника», 1969, №3
11. Вакуленко В. М., Иванов Л. П. Зарядная цепь емкостного накопителя с удвоением напряжения. ПТБ, 1970, № 5.
12. Вакуленко В. М. Эффективная схема питания импульсных ламп. Журнал прикладной спектроскопии, 1970, т. 13, №3.
13. Королев Э. А., Хазов Л. Д. Расчет схем питания импульсных ламп для накачки твердотельных ОКГ. Журнал прикладной спектроскопии, 1967, т. 6, № 4.
14. Лейкин А. Я., Соловев В. С., Зимокосов Г. П., Труды ВНИИФТРИ. М., Изд-во стандартов, 1967, № 90 (150).
15. Л а н д с б э р г Г. С., Оптика, М: « ФИЗМАТЛИТ », 2003, 848 стр

16. Месяс Г. А., Насибо в А. С., Кремнев В. В. Формирование наносекундных импульсов высокого напряжения. Изд-во «Энергия», 1970. 372стр
17. Фонг. Оптический вентиль импульсного действия с длиной волны 1,06 мкм. «Приборы для научных исследований», 1970, № 10.
18. Методы расчета оптических квантовых генераторов, под ред. Б. И. Степанова, т. 2, Изд-во «Наука и техника», Минск, 1968.
19. Дианов Э. М., Прохоро в А. М. ДАН СССР, 1970, т. 192, № 3, стр. 531.
20. Ананев Ю. А. УФН, 1971. т. 103, № 4. стр. 705.
21. Белостоский Б. Р «Основы лазерной техники» Изд-во «Высшая школа», 1972.420стр.
22. Белостоский Б. Р. В сб. «Квантовая электроника». Изд-во «Советское радио», 1971, № 5, стр. 77.
23. Ritus.A.I.,Manenkov.A.A. Pisma v JETP, t.6,№1 str.927,1967.
24. Белостоский Б. Р. Тепловой режим твердотельных оптических квантовых генераторов непрерывного действия. Изд-во ЛДНТП, 1970. 350 стр
25. Ровинский Р.Э.Мощные технологические лазеры. 2005 год. - 103с.
26. Труды ВНИИФТРИ. М. Изд-во стандартов,1967,вып 90 (150)
27. Блох.А.Г.Основы теплообмена излучением. М-Л.Госенергоиздат 1962.
28. Тарасов Л.В. Введение в квантовую оптику. Уч. пособие. 2-э изд. 2008 год.
29. Спрингер Справочник лазеров и оптики. 2007 год. 1342 стр. ст Григорянс
30. Либенсон, Яковлев, Шандыбина. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Част 1. Механизмы поглощения и диссипации энергии в веществе. ИТМО, 2005 год. 85 стр.
31. В.П. Вейко, Э.А. Шахно Сборник задач по лазерным технологиям. 2007 год. 67 стр.
32. А. Г., Казарян М. А., Лябин Н. А. Лазеры на парах меди: конструкция, характеристики и применения. 2005. 312 стр.
33. В.П. Вейко. Технологические лазеры и лазерное излучение. 2007 г. 52стр
34. Б.Салех, М. Тейх. Оптика и фотоника принципы и применения Изд-во Интеллект. Долгопрудный 2012 г.754 стр Перевод с англ. В.Л.Дербова.

35. Ровинский Р.Э. Мощные технологические лазеры. 2005 год. - 103 стр.
36. Тарасов Л.В. Введение в квантовую оптику. Уч. пособие. 2-э изд. 2008.
37. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. М.: Техносфера, 2004. - 592 с.
38. Ермаков О. Прикладная оптоэлектроника. М.: Техносфера, 2004. - 416 с.
39. Hoffman M., Voges E. Bulk silicon micromachining for MEMS in optical communication systems // Micromach. Micro eng. 2002. V. 12. P. 349.
40. Сидоров А. И., Никоноров Н.В. Материалы и технологии интегральной оптики. Уч. пособ. СПб: Изд. СПб ГУ ИТМО, 2009, 107 с.
41. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2004. - 496 с.
42. Ораевский А. Н. Волны шепчущей галереи // Квант. эл. 2002. Т. 32, № 5. С. 377.
43. Климов В. В. Наноплазмоника. М.: Физматлит, 2009, 480 с. 20. Сидоров А. И. Наноплазмоника и плазмоника. Уч. пособ. СПб: ГЭТУ, 2009. - 80 с
44. Маликов, Р.Ф. Основы математического моделирования [Электронный ресурс]: учебное пособие / Р.Ф. Маликов. - Электрон. дан. - Москва: Горячая линия-Телеком, 2010. - 368 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5169>. - Загл. с экрана. <https://e.lanbook.com/reader/book/5169/#1>
45. Розанов, Н.Н. Диссипативные оптические солитоны. От микро- к нано- и атто- [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.Н. Розанов. - Электрон. дан. - Москва: Физматлит, 2011. - 536 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5289>. <https://e.lanbook.com/reader/book/5289/#1>

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
Shartli belgilar.....	4
I. BO'LIM. 1. Lazer texnikasi asoslari.....	6
1.1. Lazer texnikasining fizik asoslari.....	6
1.2. Invers muhit.....	6
1.3. Tebranishlar turlarini shakllanishi.....	9
1.4. O'z-o'zidan nurlanish.....	10
1.5. Majburiy nurlanish.....	11
1.6. Nurning yutilishi.....	12
1.7. Lazer generatorini ishlash tamoyillariq.....	13
1.7.1 Damlash (atomlarni qo'zg'algan holatga keltirish) sxemalari.....	17
1.8. Lazerlarning klassifikatsiyasi.....	18
1.8.1. Rubin (yoqut) kristalli.....	18
1.8.2. Neodim ionlari bilan aktivlashtirilgan shisha.....	23
1.8.3. Yarim o'tkazgichli lazer.....	24
1.8.4. Gazli lazerlar.....	27
1.8.5. Suyuqlikli lazerlar.....	29
1.8.6. Eksimer lazerlari.....	36
1.9. Optik rezonatorlarda kinetik jarayonlarni boshqarish.....	41
1.10. Lazer nurlanishini kuchaytirish.....	42
1.11. Lazer nurlanishining hususiyati.....	45
II BO'LIM. 2. Lazerlarning optik sxemasining elementlari.....	49
2.1. Optik yoritish tizimlari.....	49
2.2. Aktiv elemental.....	54
2.3. Optik elementlar.....	56
2.3.1. Ko'zgu.....	56
2.4. Rezonansli yorug'lik qaytargich.....	59
2.5. Prizmalar.....	62
2.6. Diafragmalar.....	66
2.7. Rezonatorlar.....	66
2.8. Turg'un rezonatorlar.....	71
2.9. Turg'un bo'lmagan rezonatorlar.....	74
2.10. Lazer qurilmalarining rezonatorlari.....	76
2.11. Bo'ylama to'lqin turlarini seleksiyasi.....	78

2.12. Ko'ndalang to'liqin modalarini seleksiyasi.....	81
2.13. Optik – mexanik yorug'lik to'sqichlari (zatvorlari).....	83
2.14. Fototrop yorug'lik to'sqichlar.....	88
2.14.1. Fototrop yorug'lik to'sqichlarning tuzilishi.....	88
2.15. Elektrooptik nur to'sqichlarlar.....	89
2.16. Pokkels effektiga asoslangan elektrooptik elementlar.....	90
2.17. Kerr effektiga asoslangan elektrooptik elementlar.....	95
2.18. Polyarizatorlar (Qutblagichlar).....	99
2.19. Nur to'sgichlarning asosiy harakteristikalari va elementlarni yustirovkasiga (sozlashga) bo'lgan talablar.....	101
2.20. Optik ventillar.....	104
III BO'LIM. 3-Optik rezonatorlarni boshqaruvi.....	109
3.1.1. Nanosekundli impulslarni olish.....	112
3.1.2. Pikosekundli impulslarni olish.....	116
3.2. Lazer rezonatorlarini elektrooptik boshqaruv.....	
3.2.1. Rezonatorning ishlash darajasi asilliyligini tezda bog'lash natijasida, nanosekundli impulslarni olish.....	116
3.2.2. Lazerlar rezonatoridagi energiyani chiqarishda, nanosekundli impulslarni shakillantirish.....	120
3.2.3. Modalar sinxronizatsiyasi natijasida, pikosekundlik impulslarning shakillanishi.....	121
3.2.4. Tashqi qayta bog'lanish yordamida, impulslar parametrlarini boshqarish.....	122
3.3. Elektrportlovchi plyonkali nur qaytargichli optik sxemalar.....	123
3.4. Modalar seleksiyasi sxemasi.....	125
3.4.1. Fototrop nur to'sqichli sxemalarda modalar seleksiyasi.....	126
3.4.2. Elektrooptik boshqaruvli sxemalarda modalar seleksiyasi.....	129
3.4.3. Optik kvant kuchaytirgichlari.....	134
3.4.4. Yorug'lik nurini kuchaytirish uchun invers holatni hosil qilish.....	137
3.4.5. Bir tomonga yo'nalgan, yuguruvchi to'liqlarning kuchaytirgichi.....	139
3.4.6. Ko'p o'tish yo'lakli optik kuchaytirgich.....	141
3.4.7. Regenerativ optik kuchaytirgich.....	144
3.4.8. Boshqariladigan rezonatorli kuchaytirgich.....	145
3.5. Ikkinchi garmonikani olish uchun qo'llaniladigan optik sxemalar.....	147

3.5.1. Ikkinchi garmonika olishda silindrsimon optikadan foydalanish.....	149
3.5.2. Lazer rezonatorida ikkinchi garmonika generatsiyasini olish.....	151
3.6. Optik sxemalarni yustirovkasi.....	155
3.6.1. Lazerni yustirovka qilish (sozlash) usullari.....	160
IV BO'LIM. 4-Optik kvant generatorlari	
parametrlarini o'lchash bo'yicha nazariy uslubiy qism.....	167
4.1. Lazer nurlanishining xarakteristikalarini o'lchash.....	167
4.1.1. Lazerlarning fazoviy-vaqt xarakteristikalari.....	168
4.1.2. Lazerlarning energetik parametrlarini o'lchash.....	168
4.2. Lazerlarning energetik parametrlarini o'lchash usullari.....	172
4.3. Lazerlar energiyasi va quvvatini o'lchovchi kalorimetrli qurilmalar.....	177
4.4. Optik quvvat va energiyani o'lchovchi kalorimetrlarning tuzilishi.....	178
4.5. Lazer nurlanishining energetik xarakteristikalarini o'lchovchi ponderomotorli o'lchagichlar.....	185
4.6. Ponderomotor o'lchagichdagi manfiy qayta bog'lanish.....	188
4.7. Lazer nurlanishining quvvati va energiyasini o'lchovchi ponderomotorli o'lchagichlarning tuzilishi.....	191
4.8. Fotoelektrik usul.....	193
4.9. Impulsdagi quvvatni o'lchash.....	197
4.10. O'lchash metodlari.....	199
4.11. O'lchash texnikasi.....	202
ADABIYOTLAR.....	205

MA.TURSUNOV

LAZERLAR TEXNIKASI

Darslik

Muharrir: – S.A. Dustnazarova
Musahhili: – D.X. Usmanova
Dizayner: – D.R. Fozilov
Kompyuterda
sahifalovchi: – M.Sh. Fozilov



Nashirlik faoliyatini boshlagani haqida vakolatli
davlat organini xabardor qilgani to'g'risida
TASDIQNOMA № 3991

2023-yil 16-avgustda bosishga ruxsat etildi
Bichimi 60x84. 1/16. Times New Roman garniturası.
Ofset bosma. Shartli bosma tobog'i 13,5 Adadi 100 nusxada.

Toshkent shahar, Uchtepa tumani, Maxorat-71



Matbaa faoliyatini boshlagani haqida vakolatli
davlat organini xabardor qilgani to'g'risida
TASDIQNOMA № 0034

“Shafolat nur fayz” MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent shahar, Olmazor tumani, Nodira-19
Telefon +99899 993-83-36