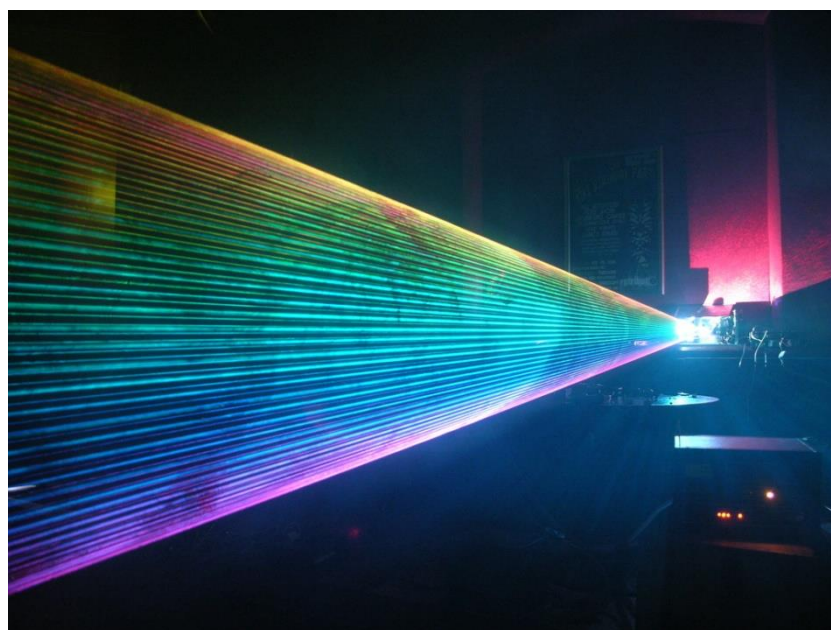


LAZERLAR FIZIKASIDAN LABORATORIYA ISHLARI



GULISTON

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI**

GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI

R. ELMURODOV., I. MARIPOV.

**LAZERLAR FIZIKASIDAN
LABORATORIYA ISHLARI**

(Uslubiy qo‘llanma)

Guliston – 2021

Mualliflar: Elmuradov.R, Maripov.I

Ushbu o'quv – metodik qo'llanmada Guliston davlat universiteti “Axborot texnologiyalari fakulteti” 5A140200-Fizika” magistraturasi o'nalishi bo'yicha magistrilar uchun mo'ljallangan bo'lib, “Lazer fizikasidan ” laboratoriya ishlarining tavsiylari keltirilgan. Har bir laboratoriya ishi bo'yicha nazariy qism , bajariladigan ishning mohiyati, ishni bajarish tartibi,o'lchanishi lozim bo'lgan fizik kattaliklar hisoblash ifodalari, shuningdek, olingan natijalarning xatoliklarini aniqlash, ularning o'lchamlarini to'g'ri topish kabi vazifalar talaba oldiga qo'yilgan.

Uslubiy qo'llanma 5A140200-“Fizika” ta'lim yo'nalishida tahsil olayotgan magistrilar uchun mo'ljallangan.

Taqrizchilar: O'ZMU “Umumiy fizikasi” kafedrasida dotsenti
f.m.f.n.Raxmonov G'.T

Uslubiy qo'llanma “Axborot texnologiyalari fakulteti”, “Fizika” kafedrasining
(“__” 2021 yil “__” –son bayonnoma) yigilishida muhokama qilingan.

Uslubiy qo'llanma “Axborot texnologiyalari” fakulteti o'quv-uslubiy Kengashi tomonidan (“__” 2021 yil “__” - son bayonnoma) tavsiya etilgan.

Uslubiy qo'llanma Guliston davlat universiteti o'quv-uslubiy Kengashi tomonidan (“__” 2021 yil “__” - son bayonnoma)tasdiqlangan.

Universitet o'quv-uslubiy Kengashi raisi: _____

SO‘Z BOSHI

Ushbu qo‘llanma Guliston davlat universiteti “Fizika” kafedrası professor o‘qituvchlarining ko‘p yillik ish tajribalari asosida yozilgan bo‘lib, “Kadrlar tayerlash Milliy dasturi” da belgilangan, oliy ta‘lim muassasalarida raqobatbardosh etuk mutahassislar tayerlash, ularni rivojlangan horjiy mamlakatlar ta‘limidagi ijobiy tajribalarga, yngi innavatsion pedagogik tehnologiylarga tayangan holda, talabalarning barcha yo‘nalishdagi aniq fanlar bo‘yicha mutahassis bo‘lib yetishishida, eng avvalo, fundamental fanlardan biri bo‘limsh fizika fanini chuqur egallagan bo‘lishi muhim ahamiyt kasb etadi.

“Lazerlar fizikasi” fani, tabiatdagi fizikaviy hodisalar haqidagi umumiy qonunlarni ochib beradi. Ushbu fanning qamrovi juda keng bo‘lib, o‘z ichiga atom va molekulalarni spontan va majburiy nurlanishlarini kvant nazariylar asosida o‘rganadi. Yorug‘lik nurlarini kuchaytirish hodisalarini ifodalovchi qonunlarni ochib beradi.

Fanning asosiy vazifasi – bu bir tomondan tabiat va tehnikadagi fizik hodisalar mohiytini fundamental tushunchalar orqali tushuntirish bo‘lsa, ikkinchi tomondan nazariy bilimlarni talabalar kelgusida oladigan mutahassisliklari bo‘yicha yzaga keladigan muammo-larning, jumladan, tehnologik sikllarda, turli sharoitlarda, yorug‘lik nurlarini kuchaytirish hodisalariga tegishli masalalarni echishda, ularning fizik modelini yaratish yo‘lidagi bilimlarini shakllantirishdir.

KIRISH

Hozirgi zamon fan – texnikasining rivojlanishida fizika fanining ahamiyati kattadir. Shuning uchun oliy o‘quv yurtlarida yuqori malakali mutaxassislar tayyorlashda fizika fanini o‘qitish o‘ziga yarasha ahamiyat kasb etadi.

Optika kursidan laboratoriya mashg‘ulotlari o‘tkazishda quyidagi maqsadlar:

a) bo‘lajak mutaxasislarga asosiy fizikaviy qonunlarni va hodisalarni chuqurroq o‘zlashtirishga yordamlashish;

b) talabalarni ilmiy tekshirish ishlariga ijodiy yondoshish, eksperimental usulni to‘g‘ri tanlay bilish, fizikaviy kattaliklar qiymatlarini o‘lchash va ularni formulalar vositasida tekshirishga o‘rgatish.

FIZIKAVIY KATTALIKLARNI O‘LCHASH VA XATOLIKLAR NAZARIYASI XAQIDA QISQACHA MA’LUMOTLAR

1. Fizikaviy kattaliklarni o‘lchash. *Biror-bir kattalikni o‘lchash deganda bu kattalikning birlik sifatida qabul qilingan bir jinsli etalon kattalik bilan solishtirilib, undan necha marta katta yoki kichikligini bilish tushuniladi.* Fizikaviy kattaliklarni absolyut aniq o‘lchab bo‘lmaydi. Fizikaviy kattaliklarni o‘lchash jarayonida o‘lchov asboblarning tuzilishiga xamda kuzatuvchining sezgi organlarining sezgiriligiga bog‘liq ravishda o‘lchash natijalari ma‘lum xatoliklar bilan aniqlanadi. Topilgan natijalar o‘lchanayotgan kattaliklarning taqribiy qiymatini beradi. O‘lchashda ro‘y beradigan xatoliklar ikki guruxga bo‘linadi: *sistemali va tasodifiy xatoliklar.*

a) sistemali xatoliklar. Bunday xatoliklar odatda tajriba o‘tkazilguncha aniqlanishi mumkin bo‘lgan xatoliklardir. Ular asosan ishlatiladigan asboblarning ayrim kamchiliklari tufayli yuz beradi va ayni bir kattalikni takroriy o‘lchashlar jarayonida ularning qiymatlari doimo bir xil bo‘ladi. Masalan, masshtabli chizg‘ich shkala bo‘limlarining bir xil emasligi, kapillyar naycha diametrining uning turli qismlarida turlicha bo‘lishi, elektr o‘lchov asboblari strelkalarining nol qiymatidan siljib qolganligi va x.k.lar sistemali xatoliklarning paydo bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Sistemali xatoliklardan ko‘p xollarda ularni o‘lchov asbobi ko‘rsatishiga tuzatma sifatida xisobga olish yo‘li bilan yoki o‘lchov asboblarni etalon o‘lchov asboblari bilan solishtirish natijasida qutilish mumkin.

b) tasodifiy xatoliklar o‘lchash jarayonining turli bosqichlariga ta’sir etuvchi aloxida sabablar oqibatida paydo bo‘ladigan xatoliklardir. Masalan, o‘lchov asboblarning ko‘rsatishidagi noaniqliklar, sezgi organlarimizning nomukammalligi va tashqi (temperatura, bosim, namlik va x.k.) muxitning o‘lchash jarayoniga uzluksiz ta’siri tufayli paydo bo‘ladigan xatoliklar shular jumlasidandir. Bu xatoliklarni tajriba oldidan e’tiborga olishning imkoniyati yo‘q. Bunday xatoliklarni butunlay yo‘qotib bo‘lmaydi, lekin ularning sonini minimal qiymatgacha kamaytirish mumkin. Tasodifiy xatoliklarning extimollik qonuniyatlariga bo‘ysunishi ularning o‘lchanayotgan kattalikning xaqiqiy qiymatini o‘z ichiga oladigan chegaraviy qiymatlarini aniqlash imkonini beradi. Eksperimentatorlarni e’tiborsizligi tufayli vujudga keladigan xatoliklar **qo‘pol xatoliklar** deyiladi. Masalan o‘lchov asboblarning shkalasidan noto‘g‘ri yozib olish yoki, noto‘g‘ri bajarish kabilar.

2. Bevosita o'lchash jarayonidagi xatoliklarni aniqlash. Fizikaviy kattalikning bevosita o'lchash natijasida topilgan qiymati uning xaqiqiy qiymatidan u yoki bu tomonga og'gan bo'lishi mumkin. Fizikaviy kattalikning uning xaqiqiy qiymatiga yaqin bo'lgan qiymatini olish uchun o'lchashlar bir necha marta takrorlanib, natijalarning o'rtacha arifmetik qiymati topiladi. Kattalikning o'rtacha arifmetik qiymati uning xaqiqiy qiymatiga yaqinroq bo'ladi.

Masalan, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ lar ayrim o'lchashlar natijasi bo'lsa, bundan o'lchanayotgan kattalikning o'rtacha qiymati:

$$X_{o'r} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \quad (1)$$

Bu yerda n - o'lchashlar soni.

O'rtacha qiymatdan xar bir ayrim o'lchash natijasi qiymatining farqi *ayrim o'lchashlarning absolyut xatosi* deyiladi va u

$$\Delta x_1 = |x_{o'r} - x_1|$$

$$\Delta x_2 = |x_{o'r} - x_2|$$

$$\Delta x_3 = |x_{o'r} - x_3|$$

.....

$$\Delta x_n = |x_{o'r} - x_n|$$

ifodalar yordamida aniqlanadi. So'ngra absolyut xatolikning o'rtacha arifmetik qiymati aniqlanadi:

$$\Delta X_{o'r} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots + \Delta x_n}{n} \quad (2)$$

O'lchashlar sifatini to'la tavsiflash uchun o'lchashning nisbiy xatoligi aniqlanadi. Ayrim o'lchashlar absolyut xatoliklarining o'rtacha arifmetik qiymatiga nisbati

$$x_1 = \frac{\Delta x_1}{x_{o'r}}, x_2 = \frac{\Delta x_2}{x_{o'r}}, x_3 = \frac{\Delta x_3}{x_{o'r}}, \dots, x_n = \frac{\Delta x_n}{x_{o'r}}$$

ifodalar yordamida aniqlanib, bu kattaliklar *ayrim o'lchashlarning nisbiy xatoliklari* deyiladi.

O'rtacha absolyut xatolik $\Delta x_{o'r}$ ning o'rtacha qiymat $x_{o'r}$ ga nisbati

$$\delta = \frac{\Delta x_{o'r}}{x_{o'r}} \quad (3)$$

ga *o'rtacha nisbiy xatolik* deyiladi va uning foizlardagi qiymati

$$\delta = \frac{\Delta x_{o'r}}{x_{o'r}} \cdot 100\%$$

ifoda yordamida xisoblanadi. O'lchanayotgan kattalikning xaqiqiy qiymati

$$x_{haq} = x_{o'r} \pm \Delta x_{o'r} \quad (4)$$

yordamida aniqlanadi.

Laboratoriya ishlarini bajarishda nisbiy xatolikning qiymati 3 - 5% oralig'ida bo'lishi kerak. Nisbiy xatolikning qiymati 0,5 % dan oshmaydigan o'lchashlar yetarli darajada sifatli o'lchashlar xisoblanadi.

3. Laboratoriya ishlarini bajarish. Har bir laboratoriya ishini bajarish quyidagi tartib asosida olib boriladi:

3.1. Ushbu qo'llanmada berilgan laboratoriya ishining tafsiloti diqqat bilan o'qib, chiqiladi va puxta o'zlashtiriladi.

3.2. Laboratoriya ishlarini bajarish uchun kerak bo'ladigan asbob-uskunalar bilan tanishgandan so'ng qo'llanmaga muvofiq asboblarni o'rnatish yoki qurilmani yig'ishga kirishiladi. Ba'zida ishlar tayyor qurilmada bajariladi.

3.3. Kuzatish va o'lchash ishlari bajariladi. Ishning bu qismi juda ma'suliyatli bo'lib, uni bajarishda, ushbu qo'llanma ko'rsatmalariga qat'iy amal qilish kerak. Barcha o'lchash natijalari xar bir ish uchun ko'rsatilgan jadvalga yoziladi.

3.4. O'lchash natijalari ishlab chiqiladi, ya'ni o'lchanayotgan kattaliklar ishchi formulalar yordamida topiladi va uning nisbiy xatoligi foiz xisobida aniqlanadi.

4. Bajarilgan laboratoriya ishi bo'yicha xisobot tayyorlash.

4.1. Ishning nomi va tartib raqami yoziladi.

4.2. Ishning maqsadi. Bunda bajarilgan laboratoriya ishida tajriba yo'li bilan aniqlanishi kerak bo'lgan fizik kattalik ko'rsatiladi.

4.3. Ishchi formula. Bunda aniqlanishi kerak bo'lgan kattalikning xisoblab topilgan ishchi formulasi va formulaga kirgan kattaliklarning nomi, shuningdek topilishi kerak bo'lgan kattalikning o'lchov birligi SI sistemada ko'rsatiladi.

4.4. Jadval yoki grafik. Bunda jadvalga o'lchash natijalari va xisoblab topilgan kattaliklar, absolyut va nisbiy xatoliklarning qiymatlari yoziladi. Agar qo'llanma bo'yicha talab qilinsa, fizik kattaliklarning bog'liqlik grafigi chiziladi.

4.5. Xulosa. Xulosada tajribadan olingan natijaning mazmuni qisqacha bayon qilinadi.

ESLATMA. Ish yuzasidan tayyorlangan xisobotni aloxida varaqqa yozish mumkin.

Hisobotni yozish formasi oxirgi varaqdagi "Ilova"da berilgan.

Laboratoriya ishlari № 1

FABRI-PERO INTERFEROMETRI, SPEKTRAL QURILMASINI YUSTIROVKA VA FOKUSIROVKA QILISH.

Kerakli asboblari:

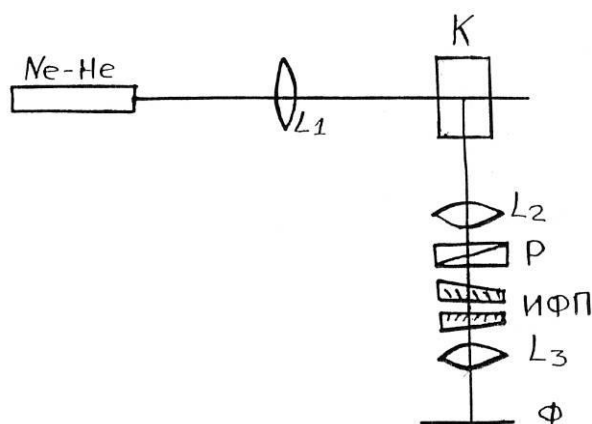
Yorug'lik manbai He-Ne lazeri, penta-prizma, kondensor linza, kollektorli obektiv, optik truba, Fabri-Pero interferometri, ochiltirguvchi (proyavitel) va mustaxkamlovchi (zakrepitel) va fotoplyonka.

Ishning maqsadi:

Optik elementlarni yustirovka qilish sirlarini o'rganish. Fabri-Pero interferometrini yustirovka qilish. Interferension manzaralarni fotoplyonkaga qayd qilish. Interferension manzaralarni dispersion egriligini chizish va o'rganish.

ASBOB TO'G'RSIDA MA'LUMOT

Har xil qutblanishdagi sochilgan nurlarning spektrini o'rganish uchun kerak bo'ladigan asbobning sxemasi 1- rasmda ko'rsatilgan. Biz bu ishni bajarib shu tipdagi asboblarni yustirovka qilish sirlarini o'zlashtirib olamiz. Bu ishni 5 yetapga bo'lish mumkin:



1- rasm. Asbobning sxemasi.

- (1) Elementlarni bir optik o'q bo'ylab joylashtirish ; (2) kollimator kamera obyektlarini fokusirovka qilish; (3) Fabri-Pero interferometrini yustirovka qilish, (4). Spektrlarni fotoplyonkaga qayd qilish; (5) Interferension manzaralarning dispersion egriligini tuzish.

1 bosqich: Asbobni yustirovka qilish (optik elementlarni bir optik o'q bo'ylab joylashtirish).

Odatda yustirovka qilishdan oldin (optik elementlarni balandlik markazini bir xil balandlikda joylashtirish kerak). Lazerning korpusi

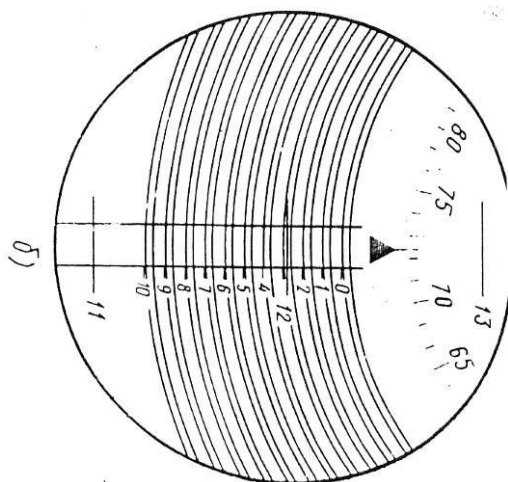
gorizontal joylashtirilgan bo'lishi shart. Lazer korpusini qat'iy gorizontal qilib joylashtirilgan bo'lishi kerak. Lazer korpusini qat'iy gorizontal qilib joylashtirish ichiga suv to'ldirilgan bir-biriga rezina trubasi bilan ulangan shisha trubkasidan foydalaniladi, ya'ni lazer nuri trubkadagi suv satxi bilan parallel qilib qo'yiladi. Keyinchalik stolikka pentaprizma joylashtiriladi. Agar pentoprizma tushuvchi nurga nisbatan perpendikulyar qilib joylashtirgan bo'lsa, u yorug'lik nurini 90^0 ga buradi.

Pentaprizmani to'g'ri joylashtirish uchun optik satxdan foydalaniladi. Pentoprizma to'g'ri joylashtirilganligiga ishonch hosil qilgandan keyin ekranda 2 belgi qo'yiladi. Shundan keyin qolgan optik elementlar qaytgan 2 nur bo'yicha yustirovka qilinadi.

Agarda 2 nur bo'ylab joylashtirilgan optik elementlar orqali o'tgan nur 2 belgiga tushsa optik elementlar to'g'ri joylashgan bo'ladi. Optik elementlarni to'g'ri joylashtirib, harakatga keltiruvchi vintlar yordamida amalga oshiriladi.

2 bosqich: Obyektivlarni yustirovka qilish.

Obyektivlarni yustirovka qilish uchun pentaprizma o'rniga ichiga suyuqlik to'ldirilgan kyuveta joylashtiriladi. Suyuklikni shunday tanlab olish kerak bunda, nur kyuveta orqali o'tganda (2-rasm) yaxshi sochilishi va 90^0 burchak ostida qaraganda ko'rinishi kerak.



2- rasm. IZA-2 okulyarning kuzatish maydoni

Bunday suyuqlik sifatida sovunning suvdagi eritmasini ishlatish mumkin. Muxitda ko'rinayotgan «SHNUR» yorug'lik bo'lishiga erishish uchun uni L_1 , kondensor linza yordamida fokusirovka qilish kerak. Shuningdek uni ham bir belgi bo'yicha joylashtirish kerak.

L_2 kollimator obyektivini fokusirovka qilish uchun 1 nurni L_2 linzaning fokusida joylashtirish kerak. Bunday holda L_2 obyektiv optik

o'qiga parallel bo'lgan yorug'lik dastasini hosil qiladi va kollimator vazifasini bajaradi.

Kollimator obyektivini fokusirovka qilish uchun, cheksizlikka to'g'irlangan ko'rish trubkasidan foydalaniladi. (agarda uzoqda joylashgan predmet ko'rinsa biz kuzatish trubkasi cheksizlikka to'g'irlangan deymiz). Obyektivni optik o'q bo'ylab siljitib nur chiqarayotgan sterjenni ko'rish trubkasida aniq ko'rinishiga erishiladi va shundan keyin L_2 obyektiv relsga maxkamlanadi. (Shunga e'tibor berish kerakki 2 nur belgidan siljimasligi kerak).

Shundan keyin L_3 kamerali obyektivni fokusirovka qilinadi. Agarda \emptyset fokal tekisligida nur tarqatayotgan sterjenning aniq tasviri hosil qilinsa kamerali obyektiv fokuslangan deb hisoblanadi. Bu yerda ko'pol fokusirovkani aniq fokusirovkadan ajratish muxim ahamiyatga ega.

Ko'pol fokusirovka uchun linzadan yoki optik trubkadan foydalanish mumkin. Bunda linza yoki optik trubkani fokal tekisligida tirqishning chekkasiga tug'ri olinadi. Keyin noniyusli mikrovint yordamida obyektivning kameradagi holatli topiladi. Bu xolda «ShNUR» tirqishning chekkasi bilan bir vaqtda aniq ko'rinishi kerak.

Aniq fokusirovka qilish uchun nur tarqatayotgan «ShNUR» ni fotografik qayd qilish kerak. Buning uchun bir xil ekspozitsiyada kameraning xar xil holatlarida

16: 16,2: 16,4: 16,8 : 17 : 17,2 : 17,4.

nur tarqatuvchi shnur plyonkaga qayd qilib olinadi. Shundan keyin plyonkaga ishlov berilib undan keyin eng aniq tasvir aniqlanadi., aytaylik shu tasvir 17 shkalaga tug'ri kelsin. Shundan keyin keyingi rasmlar juda kichik qadamlarda 16,9 : 17 : 17,1. Amalga oshiriladi. Eng aniq tasvir biz izlayotgan aniq fokusirovka bo'ladi.

3 bosqich: Fabri-Peri interferometrini yustirovka qilish.

Aniq interferension manzara hosil qilish uchun interferometrning ko'zgusi yuqori aniqlik bilan bir-biriga parallel joylashtirilishi kerak. Ko'zgularni aniq parallel joylashtirish uchun uchta prujinali vintlardan foydalaniladi. Fabri-Pero interferometri ko'zgulari orasidagi masofa 02-2 sm gacha bo'lsa yustirovkani istalgan yorug'lik manbani yordamida amalga oshirish mumkin.

Fabri-Pero interferometrini yustirovka qilishda He-Ne lazeri ideal yorug'lik manbayidir, Chunki lazerning nurlanish chizig'i juda nozikdir.

a). FPI da plastinkalarni joylashtirishning eng ko'p tarqalgan usuli bu cheksizlikka lokallangan polosalarning bir xil naklonini kuzatish usulidir. Agarda plastinlar qat'iy parallel joylashgan bo'lsa unda xalqa cheksizlikka lokallashtirilgan bo'ladi. Buni ko'z bilan yoki optik truba yordamida kuzatish mumkin. Bunda optik truba cheksizlikka to'g'irlangan bo'lishi

kerak. Agarda plastinkalar parallel bo'lsa, ko'zni plastinka bo'ylab xarakatlantirsak xalqaning diametri o'zgarmay qoladi. Agarda plastinkalar bir-biri bilan qandaydir bir burchak ostida joylashgan bo'lsa, ko'zni yuqoridan pastga qarab xarakatlantirsak xalqaning kengayishini ko'ramiz, teskari tomonga xarakatlantirganimizda esa sistema o'rtasiga qarab xalqalarning qislishini kuzatamiz. Agarda platinkalar bir-biri bilan parallelligi kamgina buzilsa, xam ko'zni xarakatlantirganimizda xalqalar navbatma-navbat paydo bo'ladi, yoki yo'qolib ketadi. Shuning uchun yustirovka qiluvchi vintlar yordamida ko'z butun plastinka yuzasi bo'ylab xarakatlanganda kuzatilayotgan manzarani o'zgarmligiga erishiladi.

b). Plastinkalar orasidagi masofa 2-5 sm gacha o'zgartirilsa, interferometr bilan kuzatuvchi masofani xam o'zgartirish kerak.

Bu xolda shunday holatga erishish mumkinki, bunda birinchi xalqa yoki birinchi xalqaning bir qismi kuzatish maydonini butunlay qoplashi mumkin. U xolda boshni ozgina xarkatlantirib darxol parallellik buzilganligini kuzatish mumkin. Yustirovka qilishning bu usuli plastinlar orasidagi masofa 5 sm gacha bo'lganda juda qo'l keladi.

v). Agarda plastinlar orasidagi masofa juda kichik (0,1-02 sm) bo'lsa yustirovka qilish uchun bir xil qalinlikdagi plastina yuzasiga lakallashtirilgan polosalardan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

4 bosqich: Interferension xalqalarni suratga olish.

Agarda FP interferometri va spektral asbob butunlay yustirovka qilinmagan bo'lsa, interferension manzaralar xar xil ekspozisiyada va xar yoritilganlikda bir nechta rasmga olinadi. Agarda manzara juda yoritilgan bo'lsa u xolda kameraning oldiga loyka eritmali kyuveta yoki neytral filtr qo'yib rasmga olish kerak.

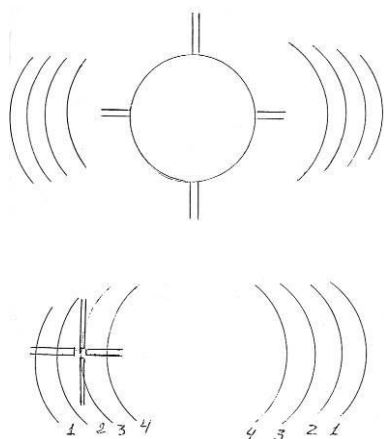
5 bosqich: Interferension manzaralarning dispersiya egriligini tuzish.

Ishning bu qismini bajarish uchun IZA-2 komparatorining ish metodi bilan tanishib chiqish kerak. Komparator bu chiziqlar orasidagi masofani o'lchash uchun xizmat qiladi. Buning uchun presizasion shkala va spektrogrammadan foydalaniladi. Komparatorida spektrogrammani kattalashtirib kuzatish uchun mikroskop va shkalani kuzatish uchun spiralli okulyarli mikrometrli mikroskop mavjud. Uzunligi 150 mm bo'lgan shkala shisha plastinkaga tushirilgan, bitta bo'limlarining qiymati 0,1 mmga teng. Shkala joylashgan stolik qo'l bilan ancha ko'pollik bilan sijitiladi, aniq sijitish mikrometr yordamida amalga oshiriladi.

Millimetrning undan bir qismi bevosita shkaladan hisoblaniladi, yuzdan va mingdan bir ulushlari esa spirali okulyarli mikrometr yordamida aniqlanadi. Bunday asbob yordamida chiziqlar orasidagi masofani 1-2 mkm aniqlikda o'lchash mumkin. 3-rasmda okulyarning kuzatish

maydoni ko'rsatilgan. Bu yerda sifrlangan uzun shtrixlar millimetr shkalasini tashqil qiladi.

Mikroskopni yustirovka qilishda tubusning uzunligi o'zgarishiga qarab obyektivning shunday kattalashtirishiga erishish kerakki, bunda ikkita qo'shni shtrixlar orasidagi masofa birinchi va oxirgi spirallar orasidagi masofaga teng bo'lishi kerak. Bu xolda spiral bir o'ramining qiymati va qo'zgalmas shkalaning bir delansining qiymati 0,1 mm ga teng bo'ladi. Aylana shkalaning bo'limi esa 0,001 mmga teng bo'ladi.



3-rasm. Komparator shkalasidagi hisoblar.

O'lchash o'tkazish uchun maxovikni burab shkalani shunday burash kerakki, unda o'ramlar zonasida joylashgan millimetrli shkalaning shtrixi o'ramlarga yaqin bo'lgan spiralning o'ramlari bilan chiziqlarining o'rtasida bo'lishi kerak. Hisob uchun indeks bo'lib qo'zgalmas shkalaning nolinch shtrixi xizmat qiladi.

2-rasmda «12» shtrix nolinch shtrixdan bir nechta ulushga o'tib turibdi, «V» shtrix esa nolinch shtrixga yetmay turibdi.

Bu yerda hisob 12 mm va «12» shtrixdan nolinch shtrixgacha bo'lgan ulushi bo'ladi. Bizning bu xolimizda ulushning qiymati ikkiga teng. Millimetrning qolgan yuzdan va mingdan bir ulushini aylana shkaladan aniqlab olamiz. Demak natijaviy hisob 12,27, 25 mm ga teng. Spektrogrammani shunday joylashtirish kerakki, spektrning siljishi kuzatish maydonida asbobning dispersiyasi yo'nalishi bilan bir xil yo'nalishda bo'lishi kerak. Buning uchun okulyarning gorizont ipini spektral chiziqlarning oxiriga to'g'irlab olinadi. Komparatorning stolchasini siljitganda okulyarning ipini gorizontalligi buzilmasligi kerak.

Spektrogrammani ulchash uchun plyonka ikkita plastinka oralig'iga qisqich yordamida qisiladi. Spektrogrammaning ko'rinishi va uni chiziqqa tug'ri joylashtirish kuzatish maydonining yoritilganligiga bog'liq. Agarda

kuzatish maydoni bir xil yoritilgan bo'lsa olingan natijalar shuncha aniq bo'ladi. O'ta yoritilgan yoki juda kam yoritilganlik natijalar aniqligini kamaytiradi.

Kattalashtirishni tanlash

Chiziqlarni yuqori aniqlikda to'g'irlashga qarab ayrim optik kattaliklari mavjud. Agar chiziqlar qancha nozik va qancha siyrak bo'lsa, shuncha ko'p kattalashtirish maqsadga muvofiq. O'ta kattalashtirishda o'lchashlar o'tkazish xam maqsadga muvofiq emas, chunki bunda emulsiyaning ayrim nuqtalari xam ko'rinib qoladi. Bu esa ko'zimizning shu nuqtalarning maksimumini aniqlashi yomonlashadi. Bu nuqtalar (zerna) esa spektral chiziqlar ichida joylashgan bo'ladi. Shuning uchun olgan hisobotimizda xatolik juda katta bo'ladi.

O'lchash texnikasi

Chiziqning holatini tug'ri ulchash uchun uni mikroskopning namunaviy holatiga mos qilib joylashtirish kerak. Buning uchun okulyarda iplar sistemasi (nitey) mavjud bo'lib bu iplar yordamida chiziqning holatli to'g'irlanadi.

Keraklixa kattalashtirish tanlab olingandan keyin, mikroskop okulyarini shunday joylashtirish kerakki, unda okulyar iplar juda aniq ko'rinishi kerak. Shundan keyin istalgan bir nozik spektral chiziq okulyar iplari orasiga joylashtirilib mikroskopning trubkasini optik o'q bo'ylab siljitib, spektral chiziqlarning aniq tasviri hosil qilinadi. Agarda iplar bilan spektral chiziqlarning tasviri ustma-ust tushmasa, okulyarga nisbatan o'zgartirilsa ip chiziqqa nisbatan siljiydi. Bunday parallaktik siljishni mikroskopni foksirovkasini o'zgartirib to'g'irlash mumkin.

Uzoqdan yoki yaqindan ko'radigan talabalar ko'z oynakda ishlamasliklari kerak, ko'zni korreksiya qilish okulyarni foksirovka qilish orqali amalga oshiriladi.

Dispersion egrilikni chizish

3-rasmda ko'rsatilgan shaklda okulyarning iplari ko'rsatilgan. 4-rasmda holatga plyonkani xarakterga keltirib erishiladi. Keyinchalik komparator shkalasidan mos kelgan qiymat yozib olinadi. Bu nuqta hisob olishning boshlanish nuqtasi bo'ladi. Koretkani kichik qadam bilan siljitib, chap gorizontal riskani xalqalar markazdan chapda joylashgan.

«2», «3», «4» xalqalarga to'g'irlash va xalqalar markazidan ungda joylashgan «4, «3», «2», «1» xalqalar mos ravishda ung gorizontal riskga to'g'irlash kerak. Interferension xalqalarning radiusini aniqlash uchun chap va o'ng tomondagi bir xil nomerli xalqalarning orasidagi farq va shu qiymatlarning modeli ikkiga bo'linib olinadi.

Shundan keyin xalqaning radiusini interferometrining chiziqli dispersiyasidan bog‘liqlik grafigini tuzish kerak.

ADABIYOTLAR

1. Zaydel A.N. i dr. Texnika i praktika spektroskopii. M., nauka 1976g
2. Malo’shev V.I Vo’vedenie v eksperimentalnuyu spektroskopii M., nauka 1979g
3. Optika i atomnaya fizika. Novosibirsk nauka 1983g

NAZORAT SAVOLLARI

1. Ishning maqsadi.
2. Obyektiv qanday qilib foksirovka qilinadi.
3. Spektral asboblarning vazifasi va ularning qo‘llanilish sohalari.
4. Fabri-Pero interferension etalonining dispersiya sohasi nima?
5. Fabri-Pero etalonining ajrata olish qobiliyati qanday aniqlanadi?
6. Interferension xalqalarning radiusi qanday qilib o‘lchanadi?
7. Komparatorning ishlash prinsipi.

Laboratoriya ishlari № 2

BALANS TENGLAMALARI YORDAMIDA LAZERNING ISHLASH TAMOYILLARINI O'RGANISH

Ishning maqsadi: uch va to'rt bosqichli nasos sxemalari bilan lazerlarning ishlash tamoyillarini o'rganish.

Aksessuarlar: shaxsiy kompyuter, "Laser" dasturi. Adabiyot: [1, 2].

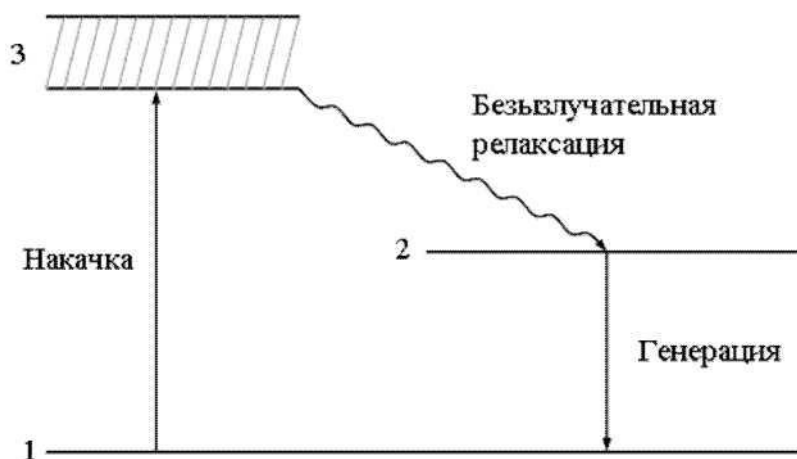
NAZARIY KIRISH

Lazerni yuz beradigan jarayonlarni tavsiflashda asosan yarim klassik yondashuv qo'llaniladi. Ushbu yondashuvning mohiyati shundaki, elektromagnit maydon klassik Fizika doirasida Maksvell tenglamalari yordamida tasvirlanadi va atomlarning xatti-harakati Schrödinger tenglamasi asosida kvant mexanik tarzda ko'rib chiqiladi. Umuman olganda, elektromagnit maydonning kuchlanish vektorlari amplitudasi va atom davlatlarining amplitudasi vaqt va koordinatalarga bog'liq. Biroq, lazerga xos bo'lgan jismoniy jarayonlarning sezilarli soni muvozanat tenglamalarining yondashuviga asoslangan soddalashtirilgan nazariyadan foydalanib, tushunilishi va miqdoriy tavsiflanishi mumkin. Ushbu tenglamalarda elektr va magnit maydonlarning kuchlanish vektorlari o'rniga elektromagnit energiyaning volumetrik zichligi yoki fotonlar soniga proporsional ishlatiladi va kompleks miqdordagi atom davlatlarining amplitudalari o'rniga ularning modullarining kvadratlarini yoki atomlarning tegishli darajalarining aholi soniga mutanosib foydalanadi. Bundan tashqari, bu miqdorlarning o'rtacha miqdori rezonator ichidagi mekansal koordinatalar orqali amalga oshiriladi. Bunday soddalashtirilgan yondashuv bilan lazerning ishi vaqtga bog'liq bo'lgan oddiy differensial tenglamalar tizimi, turli darajadagi atomlar soni va rezonatoridagi fotonlar soni bo'lgan o'zgaruvchilar yordamida tavsiflanishi mumkin. Ushbu yondashuvning afzalligi shundaki, u lazer ishining sodda va aniq ta'rifini beradi.

Oddiylik uchun, lazerning faol muhiti nasos sohasida faqat bitta assimilyatsiya chizig'i bilan tavsiflanadi. Bundan tashqari, lazer faqat bitta rezonator modasida ishlab chiqariladi deb hisoblaymiz. Shakl bo'yicha. 1.1 lazer ishining uch bosqichli sxemasi ko'rsatilgan.

N_1 , N_2 , N_3 orqali navbati bilan 1, 2, 3 darajalarida atomlarning konsentratsiyasini va rezonatoridagi fotonlar sonini belgilang-m orqali.

lazerning faol muhitining iflos markazlari 1 darajasidan 3 darajasiga o'tadi, undan tez gevsheme 2 darajasiga ko'tariladi. Keyin taxminan $N_3 \rightarrow 0$ qo'yishingiz mumkin.



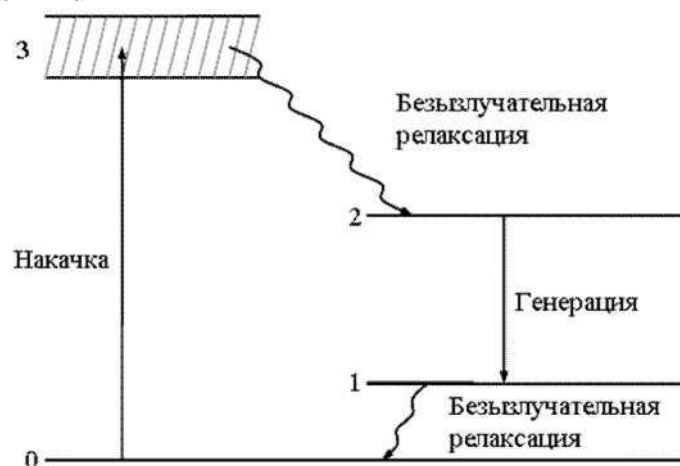
Kineticheskie uravneniya, opiso'vayuhie balans chisla fotonov i chisla chastits v rezonatore, pri sdelanno'x predpolozheniyax imeyut vid:

Tenglama (1.1-1.3), N-faol muhitda aralashmalarning atomlarining to'liq kontsentratsiyasi, q qiymati-barqaror nasosning tezligi, o'lchami [Q] q 1 G' C. umumiy holda, Q q Q(t). Mahsulot qn1 (QN0) - belgilaydi bir vaqtning o'zida 1 darajasidan 3 darajasiga o'tishni amalga oshirgan atomlar soni. Xuddi shu tenglamalarda b-majburiy nurlanish tezligi (emilim), ya'ni rezonatorida joylashgan bitta foton asosida bir vaqtning o'zida chiqarilgan (so'rilgan) fotonlar soni. Bmn2 mahsuloti-majburiy nurlanish tufayli 2 darajasidan 1 darajasiga o'tadigan atomlarning sonini aniqlaydi. Ta qiymati-yuqori lazer darajasining hayot vaqti.

Tenglama (1.3) da, V0-faol muhitda moda bilan shug'ullanadigan hajm. Umuman olganda, u rezonatorning hajmiga mos kelmaydi. T0 qiymati-rezonatoridagi fotonning hayot vaqti. V0BMN2 atamasining ma'nosi BMN2 atamasining ma'nosiga o'xshaydi. V0n2 mahsuloti-ushbu modani yaratishda ishtirok etadigan 2 darajasidagi faol atomlar sonini aniqlaydi.

Lazer uchun, to'rt bosqichli sxema ustida ishlash (FIG. 1.2) 0, 1, 2, 3 darajalarida atomlarning kontsentratsiyasi yuqorida muhokama qilingan holatga o'xshash bo'lib, N0, N1, N2, N3 sifatida belgilanadi. Ushbu sxemada 3 darajasidan 2 va s darajalariga tez nursiz yengillik mavjud

1 darajasida navbati bilan 0 darajasida. Shuning uchun, avvalgidek, N1 " N3 " 0 ni taxminan qabul qilish mumkin



Shakl. 1.2. Faol lazer muhitini nasosning to'rt bosqichli sxemasi. Ushbu holatda kinetik tenglamalar quyidagi shaklga ega:

$$N_0 \dot{Q} N_2 \dot{q} N, \quad (1.4)$$

Tenglama, (1.4-1.6) N-faol muhitda aralashmalarning atomlarining to'liq kontsentratsiyasi, q qiymati-barqaror nasosning tezligi, o'lchami [Q] q 1 G' C. umumiy holda, Q q Q(t). Qn1 (QN0) mahsuloti-atomlar soni,

bir vaqtning o'zida 0 darajasidan 3 darajasiga o'tishni amalga oshirdi. Xuddi shu tenglamalarda b-majburiy nurlanish tezligi (emilim), ya'ni rezonatorida joylashgan bitta foton asosida bir vaqtning o'zida chiqarilgan (so'rilgan) fotonlar soni. Bmn2 mahsuloti majburiy nurlanish tufayli 2 darajasidan 1 darajasiga o'tadigan atomlarning soni. Ta qiymati-yuqori lazer darajasining hayot vaqti. Tenglama (1.6) da, V0 faol muhitda moda bilan band bo'lgan hajmdir. Umuman olganda, u rezonatorning hajmiga mos kelmaydi. T0 qiymati-rezonatoridagi fotonning hayot vaqti. V0BMN2

atamasining ma'nosi BMN2 atamasining ma'nosiga o'xshaydi. V_0 mahsuloti-ushbu modani yaratishda ishtirok etadigan 2 darajasidagi faol atomlar soni.

Faol lazer muhitini nasosning to'rt bosqichli sxemasida 1 darajasi joylashmaganligi sababli, tenglama (1.5) va tenglama (1.2) o'rtasidagi farq shundaki, ikkinchisida BMN1 ning qo'shimcha a'zosi mavjud bo'lib, bu majburiy assimilyatsiya tufayli 1 darajasidan 2 darajasiga qadar bir vaqtning birligiga o'tadigan atomlarning soni. A'zo V_0 BMN1, bu tenglama

(1.3) tenglamadan farq qiladi (1.6), xuddi shunday ma'noga ega va majburiy assimilyatsiya jarayonlari tufayli faol lazer muhitini nasosning uch bosqichli sxemasida rezonatorida fotonlarni yo'qotish uchun javobgardir.

B, V_0 , ta va t_0 qiymatlarini qanday aniqlash mumkinligini ko'rib chiqing o'lchangan lazer parametrlari.

Fotonlarning volumetrik zichligi elektr maydon kuchlanishi vektorining kvadratiga o'rtacha optik salınımlar davriga proporsional bo'lgani uchun, modaning hajmi taxminan nisbatdan topish mumkin:

$$V_0 = \int_{V_a} [E(x, y, z) / E_0]^2 dx dy dz,$$

bu erda V_a -faol muhit hajmi, $E(x, y, z)$ - kuchlanish amplitudasi rezonatorning tasodifiy nuqtasida elektr maydon va E_0 uning maksimal qiymati.

Ikkita sferik nometall rezonatorida elektr maydoni qarama-qarshi yo'nalishda tarqalgan ikkita elektromagnit to'lqinni qo'llash natijasida yuzaga keladi. Agar bunday to'lqinning bir passga singishi kichik bo'lsa, natijada paydo bo'lgan to'lqin taxminan tik turgan deb hisoblanishi mumkin. Shuning uchun, ifodada (1.7) $e(x, y, z)G'E_0$ funksiyasining haqiqiy qismini olish kerak, bu erda $E(x, y, z)$ -

Gauss nurining kompleks amplitudasi, rezonatorning chegaralarida egrilik radiusi nometall egrilik radiusiga to'g'ri keladi. Misol uchun, agar R_1 oynalarining egrilik radiusi R_2 rezonator l uzunligidan ancha katta bo'lsa, u holda

Gauss nurining radiusidagi o'zgarishlarni e'tiborsiz qoldirish mumkin, ya'ni $a(z) \approx a_0$ va shamolning to'lqin old tomoni tekis, ya'ni $R(z) \approx R(0)$ q th uchun olinishi mumkin. Bunday holda, biz modaning 00 mavzusi uchun:

$$V_a = 2\pi \int_0^l \int_0^\infty \exp(-2r^2/a_0^2) \cos^2[kz - \eta(z)] r dr dz \approx \pi a_0^2 l / 4,$$

bu erda a_0 -rezonatorning markazida Gauss nurining radiusi, l-faol muhitning uzunligi. Umuman olganda, modaning hajmi funktsiya uchun aniq ifodani ishlatib, son jihatidan hisoblanishi mumkin

Rezonatorida indikatsiyalangan radiatsiya (absorbsiya) tezligi va fotonning hayot vaqti uchun ifoda quyidagi oddiy fikrlarga asoslangan holda olinishi mumkin. Faol muhitning dz qatlami orqali to'lqin o'tishi bilan uning intensivligi D_i q st(N2 -

N1)IDS qiymatiga o'zgaradi, bu erda i - rezonator modasining chastotasiga o'tishning kesimi. Shuning uchun, uzunligi $2L$

ushbu o'zgarish quyidagicha bo'ladi $\Delta I = \left\{ \exp[2L(N_2 - N_1)l] - 1 \right\} I$. o'tkazish ko'effitsientlari va ko'zgular uchun yo'qotish ko'effitsientlari, nisbiy

Ti-ichki nisbiy ko'effitsienti o'tish uchun yo'qotishlar. Keyin rezonatorning to'liq o'tishi uchun intensivlikning to'liq o'zgarishi:

$$\Delta I = \left\{ (1 - a_1 - T_1)(1 - a_2 - T_2)(1 - T^2) \times \exp[2L(N - N_1)l] - 1 \right\} I. \quad (1.9)$$

Bundan tashqari, ko'zgular va ko'effitsientlardagi yo'qotishlar kichikdir, shuning uchun $1 \gg T_1, 1 \gg T_2, 1 \gg T^2$, $1 \gg a_1, 1 \gg a_2$, bu erda $1 \gg T_1, 1 \gg T_2$, bu erda $1 \gg T^2$. Bundan tashqari, o'tish uchun logaritmik yo'qotishlarni kiritish kerak:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= -\ln(1 - T_1), \\ \gamma_2 &= -\ln(1 - T_2), \\ \gamma_i &= -[\ln(1 - \beta) + \ln(1 - T_i)], \end{aligned}$$

kattalik uchun bu ibora I sifatida qayta yozilishi mumkin:

$$\Delta I = \exp\left\{ 2[\beta(N_2 - N_1)l - \omega] \right\} I, \quad (1.11)$$

$$\gamma = \gamma_i + \frac{1}{2}(\gamma_1 + \gamma_2) \quad (1.12)$$

o'tish uchun to'liq logaritmik yo'qotishlar Qo'shimcha shartni kiritamiz:

Eksponent funksiyasini tenglama (1.9) da kuchli qatorga aylantiramiz. B natijada biz ifoda olamiz:

$$\Delta I = 2[\beta(N_2 - N_1)l - \omega]$$

So'zning har ikkala qismini (1.14) vaqt oralig'ida ajratamiz

(1.14) yorug'lik to'lqini rezonatorning to'liq o'tishini amalga oshiradigan t , ya'ni. kattalik bilan $t \gg T, 2L \gg \text{stat } C$, bu erda $1 \gg \text{stat-stat-stat } 1, 1, a$ -faol muhitning sinishi indeksidir. Keyin, yondashuvdan foydalanib $it \gg dt$, biz olamiz $M \sim I$, keyin tenglamalar solishtirish (1.3) va (1.15), yoki (1.6) va (1.15), unda $n_1 \gg 0$, topish: Bu erda $v, 1, 1, 1, v_0$ -rezonator rejimining samarali hajmi. Ta ning qiymati energetik sath 2 ning tabiiy kengligi bilan belgilanadi. Agar Mtt uzellari ma'lum bulsa, rezonatorning ikki ko'zgusidan biri orqali chiqish kuvvatini aniqlash qiyin emas. Haqiqatan, (1.12) formulalarga ko'ra, (1.16) ni yozish mumkin: bu erda

rezonator rejimining effektiv xajmini aniqlash. Ta ning qiymati

energiya darajasi 2 tabiiy kengligi bilan belgilanadi. Agar Mtt uzellari ma'lum bo'lsa, rezonatorning ikki ko'zgudan biri orqali chiqish quvvatini aniqlash qiyin emas. Haqiqatan, (1.12) formulalarga ko'ra, (1.16) ni yozish mumkin:

Agar bu ifoda (1.3) yoki (1.6) tenglamaga almashtirilsa, u holda $c \ll 2 \text{ m}$ $G \ll 2l$ radiusli fotonlarning rezonatoridan ko'zgu orqali ketish tezligi ekanligini ko'rish oson

2. Shuning uchun mirror 2 orqali chiqish quvvati quyidagiga teng:

$$N_1(0) = N, N_2(0) = 0, M(0) = M_0.$$

Faol muhitning to'rt darajali nasosli davri bo'lgan lazer uchun yozish mumkin:

$$N_0(0) = N, N_2(0) = 0, M(0) = M_0,$$

bu erda N_0 -pastki er sathida atomlarning dastlabki konsentratsiyasi 1, M_0 spontan emissiya modellashtirish rezonator fotonlar dastlabki kichik soni

Differensial tenglamalarni sonli echish uchun (1.1) □ (1.3), (1.4) □ (1.6) o'lchamsiz miqdorlarga o'tish tavsiya etiladi. Buning uchun vaqt, energiya, konsentratsiya va boshqalar., ma'lum bir vazifa shartlari asosida tanlanadi. Lazerli misoldan foydalanib o'lchamsiz miqdorlarga o'tishni ko'rib chiqing faol o'rta to'rt darajali nasos elektron. Asosiy qadriyatlar

uning uchun quyidagilar mavjud: rezonatoridagi fotonning umrboqiyiligi.

-davlat barqaror lazer operatsiya □ da rezonator

t_0 , dagi fotonlar soni

M_c , ning konsentratsiyasi

vaqtning boshlangich momentida er sathidagi atomlartushunuvchi N

M ning qiymatini topish uchun (0) tenglamaga $m \& ni$ quyamiz, (1.6)

$$M_c = V_0 B t_0 M N_2.$$

(1.22) tenglamaning (1.4), (1.5) tenglamalar bilan birgalikdagi echimi lazer operatsiyasining statsionar rejimida 2 va 0 sathlardagi atomlarning konsentratsiyalarini aniqlash imkonini beradi

Bu ifodalarni endi (1.22) tenglamaga almashtirib, topamiz: bu erda Q_0 -bu noaniq nasos tezligining eng yuqori qiymati. Uzluksiz lazer uchun $q(t)$, q_0 , konst, Faol o'rta to'rt darajali nasos tutashuv bilan nd kristallar: misol sifatida, bu qog'oz y3al3o12 asoslangan yagona-rejimi uzluksiz lazer modelini hisoblaydi. Y3al3o12 ga xos parametrlarning sonli qiymatlari: lazer Nd: sindirish ko'rsatkichi kristall Y3al3o12: Nd n.1.816, lazerli nurlanishning to'lqin uzunliginio'rganish q 1064 nm,

bushlikning uzunligi l uzayishi l uzayishi 0,5 m , aktiv muxitning uzunligi l uzayishi 7,5 sm, xamda uzayishi nd3 Q n ionlar nd3 Q n ionlar 6.4 ionlar 1019 sm ionlar 3, ionlarning yuqori lizing sathining umrboqiyiligi Nd3 Q ta uziluvchan 0.23 ms, ion hosil qilish rejimining y3al3o12 chastotasida o'tish kesimi: Nd lazer

□ □ 3.5 □ 10 □ 19 sm² to'liq kirish yo'qotish uchun passajirdaboshqa1. 2 yuzaga 10 yuzaga 4, eniga moda rezonator markazida lazer nurlanishi hosil qilishi 0 yuzaga 6 mm, tezlik kaboshqaboshqaboshqa 0 q 0.1 s-1. Bu qog'ozda y3al3o12: Nd ga asoslangan lazer uchun yuqorida berilgan parametrlarning son qiymatlaridan foydalanib kinetik tenglamalarni echish, nisbiy teskari populyatsiya vaqti $(N_2 - N_1)(t)$ va avlod chiqish quvvati $P(t)$ ga bog'liqliklarni olish mumkin.

ISh TARTIBI

1. $N(t)$ bog'liqliklarni olish va uch va to'rt lazerli lazerlar uchun ishlab chiqarish quvvatini baholash usuli nazariyasini o'rganing
- balans tenglamalarini tahlil qilish va hal etishga asoslangan faol muhitning nasos davri.
2. Dasturni ishga tushirish (lazer fayli. exe). Lazer qurilmasining sxematik diagrammasini va dasturning ishchi oynasida keltirilgan lazer energetik sathlari diagrammasini o'rganing. Ularni ish daftaringizga chizing.
3. Dastur ishchi oynasining tegishli maydonlariga bu ishning tavsifida yuqorida berilgan y3al3o12:Nd lazer parametrlarining qiymatlarini kiriting.
4. Kursorni dasturning ishchi oynasida "to account" opsiyasiga joylashtiring va "Enter" tugmasini bosning. "Grafika" opsiyasiga o'ting va "Enter" tugmasini bosning.
5. Nisbiy teskari populyatsiyaning vaqtga bog'liqliklarini (N_2-N_1) (t) va avlodning vaqt bo'yicha chiqish quvvatini ifodalovchi olingan ma'lumotlarni y3al3o12:nd ga asoslangan lazer parametrlarining belgilangan qiymatlarida saqlang.
6. Olingan bog'liqliklarni "Origin" amaliy dasturlar paketida tuzing.
7. Olingan bog'liqliklarni tahlil qiling. Lazer chiqish vaqtining qiymatlarini statsionar rejimga, chiqish quvvatining qiymatlarini va statsionar rejim uchun nisbiy teskari populyatsiyaning qiymatini aniqlang.
8. 4, 0.2, 0.3, 0.4 s-1 nasos tezligi qiymatlari uchun 1-bandda tasvirlangan amallarni takrorlang. Natijalarni oldingi olingan natijalar bilan taqqoslang. Xulosa qiling.
9. Tahlil natijalari va xulosalarni ish hisoboti shaklida rasmiylashtirish.

3-laboratoriya ishi

YARIM O'TKAZGICHLI LAZERNING ISHLASH PRINSIPLARINI O'RGANISH

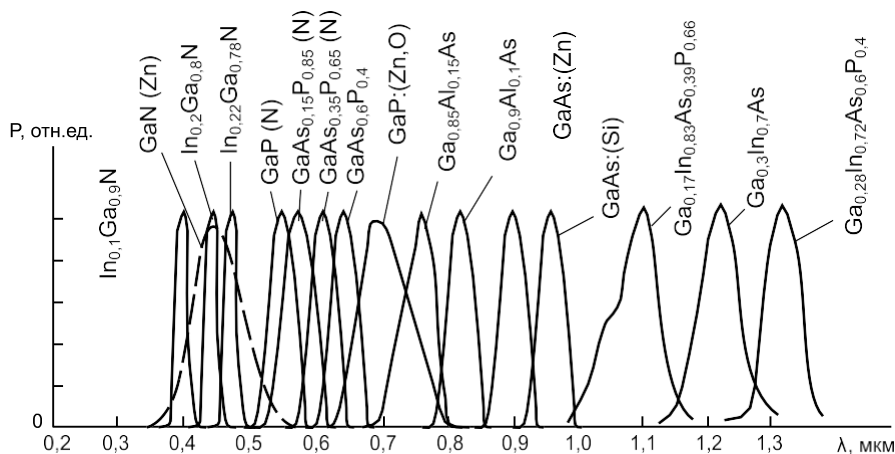
Ishning maqsadi: yarim o'tkazgichli lazerning ishlash prinsipini o'rganish va yarim o'tkazgichli lazerning nurlanish quvvatini ineksiya tokiga eksperimental bog'liqligini olish.

Aksessuarlar va butlovchilar: yarimo'tkazgich lazer, elektr metr. Referatlar: [1-8]

NAZARIY KIRISH

1963 yilda Jores Alferov va Gerbert Kremer yarim o'tkazgichli geterostrukturalar nazariyasini mustaqil ishlab chiqdilar, keyinchalik yarim o'tkazgichli lazerlarni yaratishga asos bo'ldi. Birinchi yarim o'tkazgichli lazerlar, deb nomlangan "injection", gallium arsenide bir yarimo'tkazgich kristalli 1962 yilda amalga oshirildi. Hozirgi vaqtda in'eksion lazerlar elektr energiyasini kogerent optik nurlanish energiyasiga aylantirish uchun oddiy, ixcham va yuqori samarali qurilmalar bo'lib, ular keng amaliy dasturga ega. Yarim o'tkazgichli lazer-elektr toki o'tkazilganda kogerent nurlanish hosil qiluvchi optoelektron qurilma. Yarim o'tkazgichli lazerlarning ko'pchiligi lazer diodlari bo'lib, unda p-n birikish mintaqasida elektr nasos yordamida populyatsiya inversiyasi yaratiladi. Shu bilan

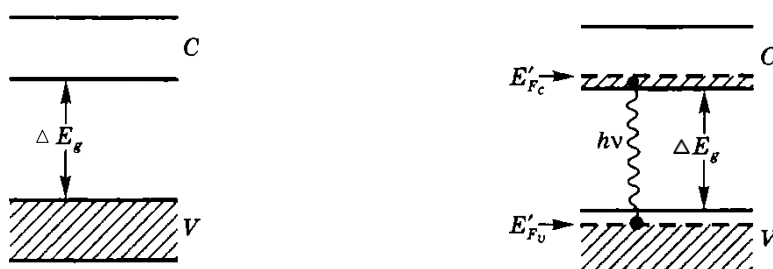
birga, shunday yarim o'tkazgichli lazerlar ham mavjudki, ularda optik nasos natijasida lazer generatsiyasi sodir bo'ladi. Hozirgi vaqtda yarim o'tkazgichli lazerlar aloqa tizimlarida, sanoatning turli sohalarida, ilmiy tadqiqotlarda, oddiy iste'mol buyumlarida, jumladan, musiqa markazlarida, kompakt disklarda (CD va DVD-ROM) ultra katta sig'imli romlarda keng qo'llanilmoqda. Yarim o'tkazgichli lazerlarning bunday keng qo'llanilishi ularni elektr toki bilan to'g'ridan-to'g'ri nasos bilan ta'minlash imkoniyatidan kelib chiqadi. Yarim o'tkazgichli lazerlar yuqori samaradorligi bilan ajralib turadi va keng spektral diapazonda ishlaydi. Yarim o'tkazgichli lazer generatsiyasining to'lqin uzunliklariga mos spektral diapazon 2.1-rasmda ko'rsatilgan.



2.1. Turli xil lazer diodlarining spektral xarakteristikalarini yarim o'tkazgichli materiallar

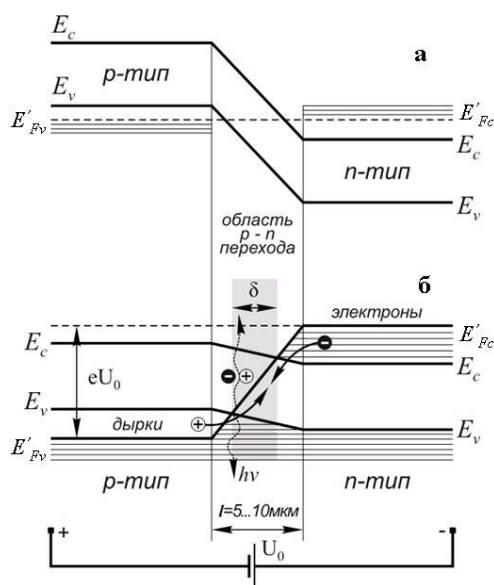
Yarimo'tkazgichli lazerning fizik asoslari

Yarimo'tkazgich kristallarning tuzilish xususiyatlari ularda energetik holatlar zonalarining mavjudligiga olib keladi. Yarim o'tkazgichli kristallarda elektronlarning energetik holatlari ma'lum energiyaga ega bo'lgan holatlar bilan ifodalanmaydi, balki keng polosalar-energetik zonalar orqali ifodalanadi (rasm. 2.2). Ruxsat etilgan energetik zonalar (valent tasma va o'tkazish polosasi) bir-biridan kenglikdagi polosali bo'shliq bilan ajralib turadi. Tarmoqli bo'shliqning kattaligigako'pligi yarimo'tkazgichning eng muhim xususiyatlaridan biridir. Kristallning solishtirma o'tkazuvchanligini va uning temperaturaga bog'liqligini hamda yarim o'tkazgichning shaffoflik oralig'ini aniqlaydi.



2.2-rasm. Energetik zonalar diagrammasi va yarim o'tkazgichli tuzilishdagi rekombinatsiya-nurlanish jarayonini tasvirlash.

Yarim o'tkazgichli lazerlarning ishlash prinsipini FIK yordamida juda sodda tushuntirish mumkin. 2.2 (a, b), yarimo'tkazgichning valent polosasi V va o'tkazuvchanlik polosasi S ni ko'rsatib, energetik bo'shliq bilan ajratgan. Mulohazaning soddaligi uchun yarimo'tkazgich t q o k temperaturada deb faraz qilaylik. 2.2 a). Bundan ayrim elektronlar valent banddan qandaydir mexanizm bo'yicha o'tkazish bandiga ko'chgan deb faraz qilaylik. Juda qisqa vaqtdan so'ng (~ 1 ps) o'tkazish polosasidagi elektronlar shu zonaning eng past bo'sh sathlariga o'tadi. Bu holda valent bandning yuqori qismida joylashgan elektronlar ham valent bandning eng pastki sathlariga o'tib, shu tariqa bu zonaning yuqori qismida "teshik" lar qoldiradi (uz. 2.26). Shakl ichida kesilgan chiziqlar. 2.2 b. o'tkazuvchanlik tasmasi uchun Fermi sathini E'_{fc} va shunga mos ravishda valent tasmasi uchun E'_{fv} ni ko'rsating. Temperaturadagi E'_{fc} va E'_{fv} sathlar t q o K mos zonaning Fermi sathi uchun quyidagi holatlarni elektronlar to'liq egallagan va undan yuqoridagi holatlarni bo'sh bo'lgan energiyani aniqlaydi. Agar o'tkazuvchanlik bandidan elektron qayta valent bandga o'tib, teshik bilan rekombinatsiya qilinsa, rekombinatsiya-emissiya jarayoni sodir bo'ladi, natijada an'anaviy yorug'lik chiqaruvchi diodlarda (LED, yoki LED qisqartmasiga ega bo'lgan) spontan nurlanish tarqaladi. Muayyan sharoitlarda yarim o'tkazgichli tuzilmalarda majburiy rekombinatsion nurlanish jarayoni sodir bo'lib, lazer hosil bo'lishini ta'minlaydi. 2.3-rasmda p-n o'tishning tipik energetik diagrammasi keltirilgan. O'tkazuvchanligi har xil bo'lgan ikki yarim o'tkazgichli tuzilmalar orasidagi kontakt p-n birikmaning paydo bo'lishiga olib keladi. Bu holda elektronlar teshik o'tkazuvchanlikka ega zonaga, teshiklar esa elektron o'tkazuvchanlikka ega zonaga diffuziyalanib, natijada hajm zaryadi p va potentsiallar farqi VD Fermi sathlarining har xil o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan hududlarda mos kelishini ta'minlaydi.



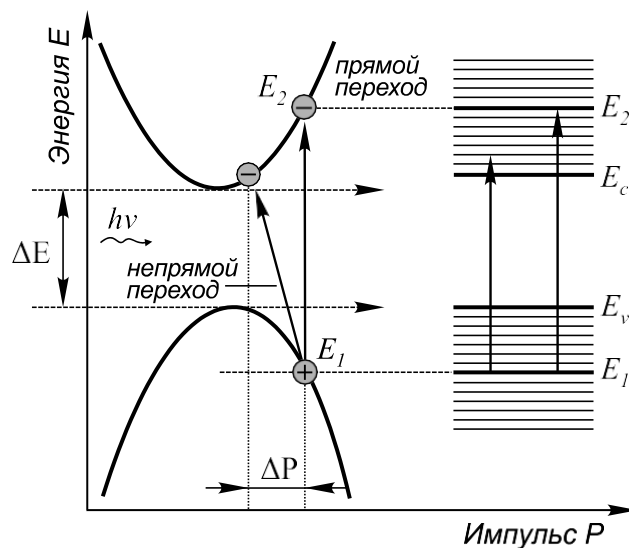
2.3-rasm. Energiya diagrammasi: a) nol ko'chishda degenerat p-n birikish; b) p-n birikish uchun tarmoqli bo'shliq kengligiga solishtirma musbat kuchlanish qo'llanilganda darajali ko'chish.

Termodinamik muvozanatda elektronlar va teshiklar p-n birikma orasida mavjud bo'lgan potensial to'siq tufayli bir-biri bilan rekombinatsiya qila olmaydi. Agar p-n to'siqqa oldinga yo'nalishda tashqi kuchlanish qo'llanilsa, potensial to'siq kamayadi

(rasm. 2.3 b). Shu bilan birga, elektronlar oqimi va ijobiy teshiklar qarama-qarshi yo'nalishlarda paydo bo'ladi. O'tkazish bandidagi erkin elektronlar valent bandga, valent banddan teshiklar esa o'z navbatida o'tkazish bandiga suriladi. Natijada 2.3 B-rasmda ko'rsatilgan teskari populyatsiyaga ega tor zona hosil bo'ladi.

Teskari populyatsiyaga ega bo'lgan balka qalinligi asosan p-tip aralashmalar bilan doplangan qatlamdagi elektronlarning diffuziya doimiysi D va rekombinatsiya vaqti bilan aniqlanadi. Diffuziya doimiysi $D \approx 10^{-2} \text{ sm}^2 \text{ G}^{-1}$ va kompleksliq 10^{-8} s bo'lgan GaAs strukturasi uchun aktiv muhitning qalinligi d kompleksli 1 mkm.

Radiatsiya generatsiyasi aholi inversiyasi yaratilgan hududda elektronlar va teshiklar rekombinatsiyalanganda sodir bo'ladi. Agar kvant energiyasiga ega bo'lgan nurlanish $E_c - E_v < E_D < E'_c - E'_v$ shartni qanoatlantirsa, bu mintaqada faqat o'tishlar induksiyalanishi mumkin o'tkazuvchanlik tasmasing to'ldirilgan holatlaridan valent tasmaning shipidagi erkin holatlariga pastga yo'nalgan. Agar degenerat yarim o'tkazgich optik rezonatorga joylashtirilsa, unda chiqadigan fotonlar kristaldan yana va yana o'tib, har safar fotonlarning yangi "ko'chkilari" ni yaratadi, keyin har bir o'tish bilan rezonatorlarning rezonans xususiyatlari tufayli yangi fotonlar energiyasining chastota diapazoni torayadi. Agar elektron-teshik juftining rekombinatsiyasi fononning qo'zg'alishi yoki yutilishi bilan kechmasa, bunday elektronni valent bandga o'tishi bevosita deyiladi (rasm. 2.4). Bu holda, oldin va o'tish keyin elektronning momenti saqlash qonuniga muvofiq teng zarba bo'lishi kerak. Bilvosita o'tishlarda nurlanishning yutilishi $\nu \sim \text{uzayishi } G \sim h$ fononning qo'zg'alishi yoki yutilishi, ya'ni $E_F \sim h$ energiyasining bir qismi bo'lgan yarim o'tkazgich kristall panjarasining tebranishi bilan kechadi, bu erda ν -panjaraning tovush tebranishlari chastotasi.



2.4-rasm. Yarim o'tkazgichda bevosita va bilvosita o'tishlar, P - mos keluvchi impuls kristall panjaraning tebranishlari

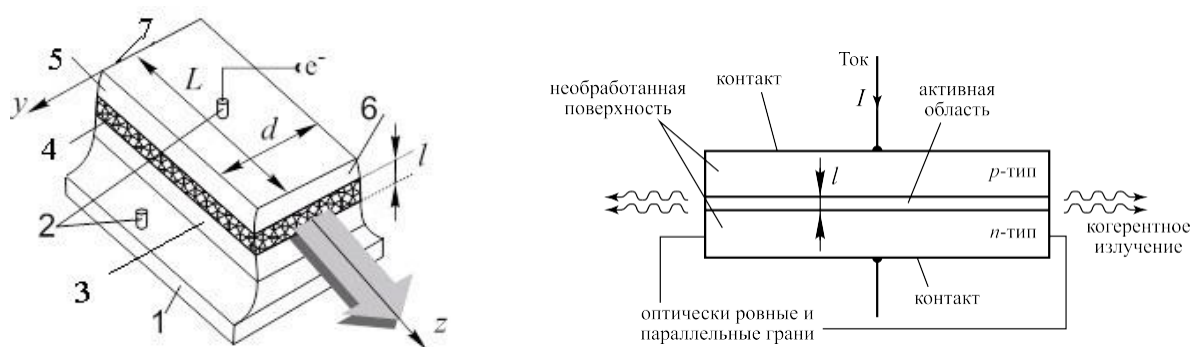
Rekombinatsiya uchun to'g'ridan-to'g'ri o'tishlarda elektron va teshik deyarli teng, ammo qarama-qarshi impulslarga ega bo'lishi kerak.

$$\rho \quad \rho = \quad \rho$$

Uchta zarracha ishtirokida radiatsion o'tishlar ehtimoli ikkitadan past bo'lgani uchun, shuning uchun to'g'ridan-to'g'ri bandli bo'lmagan yarim o'tkazgichlarda radiatsion rekombinatsiya ehtimoli doimo bevosita bandlilarga nisbatan kam bo'ladi. Shunday qilib, optoelektron qurilmalar uchun spektral diapazoni fundamental yutilish mintaqasida yotadigan to'g'ri chiziqli energetik tuzilishga ega yarim o'tkazgichli birikmalardan foydalangan ma'qul Sof, tozalanmagan yarim o'tkazgichli materiallarda bir vaqtning o'zida elektronlar va teshiklarning degenerasiyasini olish deyarli mumkin emas. Agar kristallga donor elektronlarni berib, ma'lum aralashmalar kiritilsa (sathi o'tkazish polosasi ek ning pastki qismiga yaqin joylashgan), u holda n-tip yarim o'tkazgich yaratilishi mumkin. Vaziyat p-tip yarimo'tkazgichda o'xshash bo'lib, uning atomlari akseptor elektronlarni valent bandi ev qirrasida yaqinida energetik sathlar hosil qiluvchi qabul qiladi. Nopoklik yarim o'tkazgichlarda elektronlar yoki teshiklarning degenerasiyasi yarim o'tkazgichning doping darajasini nazorat qilish orqali osongina olinadi.

Majburiy o'tishlar tufayli nurlanish orttirmasi yarimo'tkazgich kristalldagi yo'qotishlariga teng bo'lgan minimal tok Ostona deyiladi. P-n kavsh qaytarishdagi inversiya holati kavsh qaytarishdagi elektr maydoni qanchalik yuqori bo'lsa, ya'ni bu kavsh qaytaruvchi orqali tok oqimi shunchalik katta bo'ladi. Dastlab, past oqim qiymatlarida spontan nurlanish (rekombinatsion luminesans) kuzatiladi va barcha yo'nalishlarda tarqaladi. Qarama-qarshilik ortgan sari tok stimullangan nurlanish uchun sharoit yaratilgan Pol qiymatiga erishadi va p-n tutashma tekisligida yo'nalgan monoxromatik yorug'lik nurini chiqaradi.

Qarshi lazer blok diagrammasi Homo-birikmaning qarshi lazerining blok diagrammasi sek. 2.4 va 2.5. Lazer generatsiyasi uchun zarur bo'lgan rezonatorida teskari aloqa bilan ta'minlash uchun yarim o'tkazgich kristalining uchlari bir-biriga parallel qilib qo'yiladi. Yarim o'tkazgichlarning sindirish ko'rsatkichi odatda juda katta (gallium arsenid uchun $n \approx 3.6$), shuning uchun uchlari akslantiruvchi qoplamalar qo'llash shart emas.

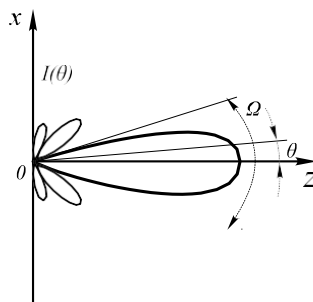


2.4-rasm. Yarimo'tkazgichli lazerli tutashma: 1 - molibdenli yaltiroq substrat, 2 - tashuvchi injektorning elektr kontaktlari, 3 - n-tipdagi yarimo'tkazgich, 4 - p-n yarimo'tkazgichli tutashma, 5 - p-tipdagi yarimo'tkazgich, 6 va 7 - silliqlangan yuzlar.

2.5-rasm. Yarim o'tkazgichli lazerning xomaki birikmasida tuzilishi; strukturaning ikki yon yuzi o'tish tekisligiga perpendikulyar yo'nalgan yoki silliqqlangan bo'ladi. Boshqa ikkitasi asosiy (Fabry—Perot rezonatori) bilan mos kelmaydigan yo'nalishlarda ijobiy geribildirim shakllanishini istisno qilish uchun qo'pol qilinadi. Qarshi lazerining spektral va energetik xususiyatlari Yarimo'tkazgichli lazerda stimullangan nurlanishni hosil qilish momenti spektral chiziqning keskin torayishi va nurlanish divergentsiyasi bilan aniqlanadi (Fig. 2.6). Bu torayishning fizik tabiati boshqa turdagi lazerlardagi kabi bir xil: aktiv muhitda faqat rezonatorning o'z tebranishlariga mos keluvchi rejimlari populyatsiya inversiya holati bajarilganda yuzaga keladi. Yarim o'tkazgichli lazerning optik rezonatoridagi tebranishning spektral tarkibi aktiv moddaning muhim dispersiyasi, ya'ni sindirish ko'rsatkichining chastotaga bog'liqligi tufayli teng emas. Bo'ylama usullari orasidagi masofa quyidagi munosabat bilan aniqlanadi bu erda $dn^2/d\nu$ -hosil bo'lgan nurlanishning chastota diapazonidagi sindirish ko'rsatkichi gradienti, L-kristallning uzunligi, c-yorug'lik tezligi, n-sindirish ko'rsatkichi, ν_0 -nurlanish chastotasi. 1015 y.Hz. ning buyurtmasi bo'yicha yirikligi.

2.6. Uzoq zonadagi (chapda) divergentsiya va radiatsion maydonning mintaqadagi taqsimlanishi faol qatlam (o'ng).

Radiatsiya divergentsiyasi uzoq zonada radiatsiya maydonini kuzatishda yarimo'tkazgich lazerning radiatsiya namunasi bilan belgilanadi. 2.6-rasmda asosiy va yon loblar ko'rsatilgan. Burchak intensivlik taqsimoti I (θ) bir tekis qo'zg'algan aktiv qatlamning D kenglikdagi tirqishi bilan yaratilgan difraksion naqshga mos keladi. Bu radiatsion rejimning maydon taqsimoti Ex o'tish tekisligiga normal yo'nalishda balandlik bilan cheklanganligini bildiradi: λ bu radiatsiya to'lqin uzunligi qaerda, θ azimuthal burchagi hisoblanadi. Bo'ylama yo'nalishda p - n birikmaning D kengligi lub ning burchakli eritmasidan taxmin qilish mumkin



Laboratoriya ishi №4

Gaz lazerlari. Geliy - Neon lazerini o'rganish

Gazlarda energetik sathlarning kengligi, qattiq va suyuq jismlardagi aktiv moddalarga nisbatan ancha kichik, chunki energetik sath kengligi gaz zarrachalarining o'zaro to'qnashishiga asoslangandir. Spektral chiziqlarning kengayishi gazlarda sodir bo'ladigan Doppler effekti bilan aniqlanadi. Gaz zarrachalarining yutilish spektri juda tor spektral oraliqqa ega, optik damlovchi lampalarning spektri esa, uzlukli va keng. Shunga ko'ra, yorug'likning gazlarda yutilish spektriga mos kelgan energiya qismi juda kichik va optik damlash effektivligi pastdir. **Gazlarda inversiya hosil qilish uchun, optik damlash deyarli qo'llanilmaydi.**

Gaz sistemasida atom va molekulalarni uyg'otish va inversion kuchlanganlik hosil qilish uchun, elektr razryadi qo'llaniladi. Gazlar orqali elektr toki o'tganda, muhitda erkin elektronlar va ionlar hosil bo'ladi. Gaz razryadida elektr energiyasi zaryadlarning kinetik energiyasiga va zaryadlarning elektr maydonida tezlanish olishiga sarf qilinadi. Odatda, gaz atomlarini uyg'otishda ionlarning harakati ahamiyati ega bo'lmasdan, erkin elektronlarning gaz atomlari bilan to'qnashishi muhim ahamiyatga ega. Haqiqatan ham, gazlarda elektronlarning o'rtacha kinetik energiyasi, atom ionlarining o'rtacha kinetik energiyasidan birmuncha katta. Elektronlar juda qisqa vaqt ichida **Maksvell-Bolsman** taqsimotiga ko'ra taqsimlanadi.

Elektr razryadida gaz atomlarining uyg'onishi quyidagi asosiy ikki xil jarayonga asoslangan:

1) elektronning bir komponentli gaz atomlari bilan to'qnashishiga (**birinchi jinsli to'qnashish**);

2) gazning bir necha tipdagi atomlari va molekulalarning aralashmasidan iborat bo'lgan gaz atomlari o'zaro to'qnashishi natijasida energiyasining rezonansli ravishda biridan ikkinchisiga uzatilishiga (**ikkinchi jinsli to'qnash**) asoslangan.

Uyg'ongan atomlarning pastki energetik sathlarga o'tishi to'rtta jarayonga asoslangan:

1) uyg'ongan atom elektron bilan to'qnashganda, atom o'zining energiyasini elektronga beradi (**ikkinchi jinsli to'qnash**);

2) atom-atom bilan to'qnashganda;

3) atomning gaz solingan trubka (**idish**) devori bilan to'qnashganda;

4) uyg'ongan gaz atomlari spontan nurlanganda, asosiy pastki energetik sathga qaytadi.

Spontan nurlanishdan hosil bo'lgan yorug'lik fotoni, gaz razryadi trubkasidan chiqib ulgurmasdan ikkinchi gaz atomi tomonidan rezonans

ravishda yutilishi va u yutgan atom uyg'ongan holatga o'tishi mumkin. Bu gazning bosimiga, razryad trubkasining geometriyasiga va kvant o'tishning kesimiga bog'liqdir.

Shunday qilib, gaz atomlarini uyg'otish va pastki energetik sathlarga o'tish relaksasiyasi tufayli, gaz razryadda atomlarning energetik sathlar bo'ylab taqsimlanishining muvozanatsizligi o'rnatiladi. Gaz atomlarining uyg'onish tezligi bilan pastga o'tish tezligi tenglashadi.

Yuqorida gazlarga xos umumiy xarakteristikani qarab chiqdik. Endi esa gaz lazerlarining turlarini qarab chiqamiz:

- 1) neytral atomlar asosida ishlaydigan gaz lazerlari;
- 2) ionli gaz lazerlari;
- 3) molekulalar gaz lazeri va
- 4) impulsli gaz lazerlari.

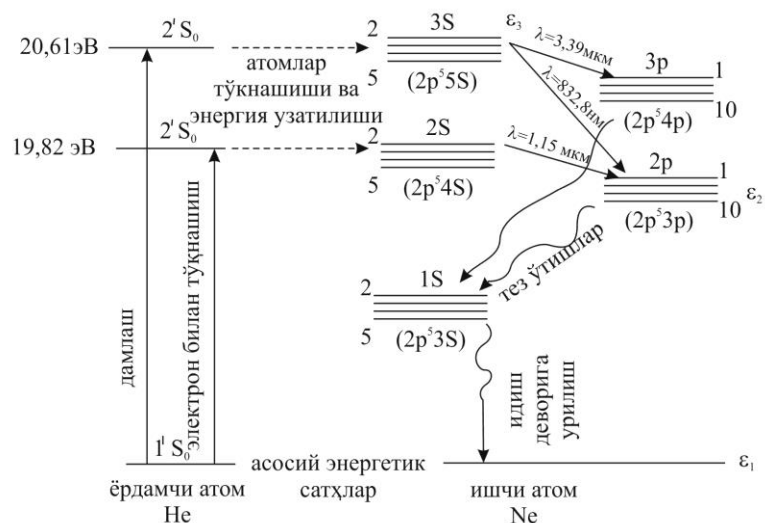
Shulardan birinchi, uchinchi va to'rtinchilarini qarab chiqamiz.

Geliy-Neon lazeri.

Geliy-neon lazeri neytral atomlar asosida ishlaydigan gaz lazerlariga kiradi. Geliy-neon lazeri keng tarqalgan, birinchi marta ishga tushirilgan gaz lazeridir. Geliy-neon lazeri uch xil to'liq uzunligida generatsiya hosil qiladi: $\lambda_{3,39}mkm$, $\lambda_{0,633}mkm$, $\lambda_{1,15}mkm$. Lazer qurilmasi birinchi marta 1961 yilda ishga tushirilgan. Eng keng tarqalgan geliy-neon lazeri qizil rang chiqaruvchi ($\lambda_{0.633}mkm$) lazerdir.

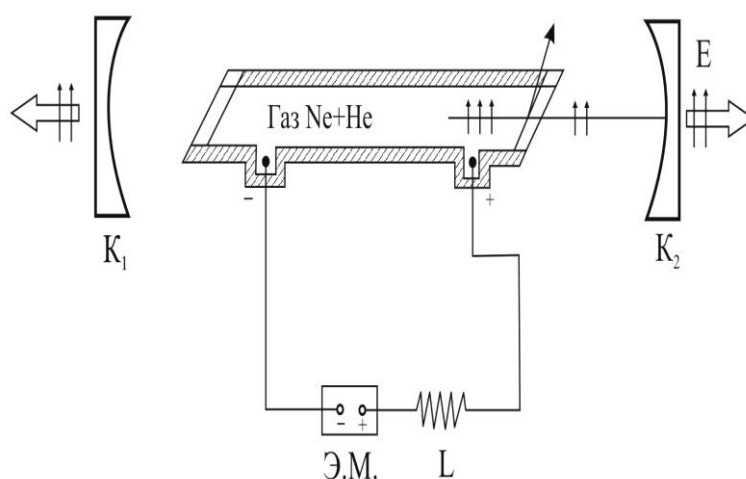
Geliy va neon atomlarining energetik sathlari 51-rasmda tasvirlangan.

Geliy atomining elektron bilan to'qnashib uyg'onishi, neon atomining uyg'onishidan samaraliroq va uyg'ongan geliy atomining metastabil sathlari, neon atomlarining energetik sathlariga mos keladi. Geliy atomi bilan neon atomi to'qnashganda, rezonansli energiya almashinuvi sodir bo'ladi. Neon atomlarini bevosita uyg'otishdan ko'ra rezonansli uyg'otish ancha samaralidir. Geliy atomining uyg'ongan metastabil energetik sathlari 2^2s , 2^1s neon atomining uyg'ongan energetik $2s$ va $3s$ sathlariga rezonansdir. Bevosita neon atomining uyg'onishi elektron bilan to'qnashib, o'sha $2s$, $3s$ sathlar bilan Zr , $2r$ sathlar o'rtasida inversion ko'chirish hosil qiladi. Geliy-neon lazeri to'rt energetik sathli aktiv modda kabidir.



5- rasm. Geliy-neon lazeri nurlanishini hosil qiluvchi He va Ne gaz atomlarining energetik sathlari.

Generasiya $3s_2 \rightarrow 2p_4$ ($\lambda \approx 0,633 \text{ mkm}$), $3s_2 \rightarrow 2p_1$ ($\lambda \approx 3,39 \text{ mkm}$), $2s_2 \rightarrow 2p_1$ ($\lambda \approx 1,15 \text{ mkm}$) kabi kvant o'tishlarda ko'zatiladi. Neon gazining $3s$ uyg'ongan energetik holatda yashash vaqti $\tau_s \approx 100 \text{ ns}$ va r holatda $\tau_r \approx 10 \text{ ns}$. $3s$ -holatda uyg'ongan neon atomlari ko'proq yashaydi va to'planadi. $1s$ holat metastabil energetik sath bo'lib, uning relaksasiyasi neon atomi gazorazryad trubka devoriga urilgandan keyin sodir bo'ladi va atom pastki asosiy energetik holatga o'tadi. Rezonator ko'zgularining qaytarish koeffitsiyentini selektiv o'zgartirib, uch xil to'liqin uzunliklarini navbat bilan generasialash mumkin. Rezonatorga uch qirrali prizma kiritib va uni burib ham generasiya nurlanish chastotasini o'zgartirish mumkin. 52-rasmda geliy-neon lazerining ishlashi va to'zilishi sxemasi ifodalangan.



6-rasm. Geliy-neon gaz lazerining sxematik tuzilishi.

K_1 va K_2 -rezonator ko'zgusi, E.M.-elektr manbai, L-induktivlik, E-qutiblangan lazer nuri.

Geliy-neon gazi joylashgan shisha nayning kesimi rezonator o'qiga Byurster burchagi α_B ostida o'rnatiladi va lazer nuri rasm tekisligida to'la

qutblangan monoxromak yorug'lik to'liqini hosil qiladi. Uy haroratida ($T \approx 300K$) geliy-neon gazi dopplercha kengayishga ega bo'lib, (1.6.13) formulaga asosan spektral kengligi $\Delta \nu_D \approx 6,3 \cdot 10^{-2} sm^{-1}$ ($\lambda \approx 0,633 \mu m$) ga teng. Rezonator uzunligi $L \approx 15 sm$ bo'lsa, bir aksial modalar generatsiya nurlanishini hil qilish mumkin, chunki aksial modalar oralig'i $\Delta \nu_g \approx 1 G \gg 2L$ bilan aniqlanadi.

Geliy-neon lazeri nurlanishida barcha gaz lazerlariga xos eng muhim fizik hodisa to'yinish va „**Lemb chuqurligi**“ kabilarni kuzatishdir. (Keyingi effektni 1964 iilda **Lemb** nazariy ravishda oldindan aytgan edi.) „**Lemb chuqurligi**“ lazer nurlanishi quvvatining chastotasiga bog'liq taqsimotida kuzatiladigan markaziy botiqlikdir. 53- rasmda „Lemb chuqurligi“ ko'rsatilgan.

Gaz lazerlaridagi nurlanish spektrining kengligi, uchta effekt bilan aniqlanadi:

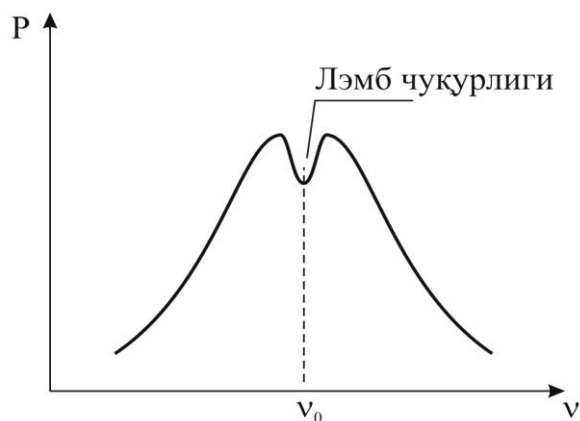
1) to'qnashish geliy-neon lazerlaridagi gaz bosimida, to'qnashish uncha katta bo'lmagan kengayishga olib keladi. Bosim $R \approx 0,5 mm \text{ sim. ust.}$

$$\Delta \nu_{to'q} \approx 2 \cdot 10^{-5} sm^{-1}.$$

2) tabiiy kenglik $\Delta \nu_t \approx 1 G \gg 2\tau \approx 6 \cdot 10^{-4} sm^{-1}$, chunki $\tau \approx \tau_s \approx \tau_p$,

3) dopplercha kengayishlik $\Delta \nu_{dop} \approx 6,3 \cdot 10^{-2} sm^{-1}$.

Demak, Lemb chuqurligi spektral chiziqlarning tabiiy kengligini aniqlashga va o'lchashga imkon yaratadi.

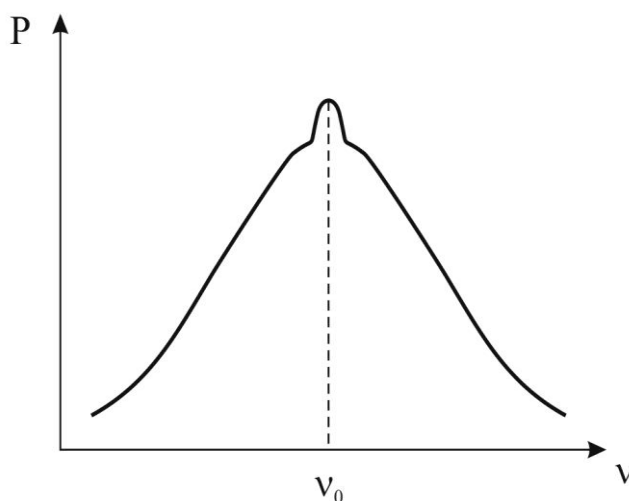


7-rasm. He-Ne lazer generatsiyasi quvvatining chastota bo'ylab taqsimoti va „Lemb chuqurligi“ ning tasviri.

„Lemb chuqurligi“ geliy-neon lazeri generatsiya chastotasining nisbiy turg'unligini 10^{-9} aniqlik bilan ta'minlaydi. Lazer nurlanish chastotasining turg'unligini ta'minlashning yana mukammal usuli „Lemb chuqurligiga“ o'xshash bo'lib, rezonatorga qo'shimcha gaz (alohida idishda) kiritiladi. U metan gazi bo'lib, elektr zaryadiga uchramaydi. Rezonatorga kiritilgan qo'shimcha metan gazning yutish spektri He-Ne lazeri nurlanish spektral

chizig'iga mos keladi. Generasiya boshida alohida idishdagi gaz lazer nurini yutadi va yuqori uyg'ongan energetik sathda atomlar soni ko'paya boradi. Lazer nurlanishi markaziy chastotaga teng bo'lganda kuchayish konturida chuqurlik hosil bo'ladi va qo'shimcha gazning uyg'ongan atomlari hisobiga lazer nurlanishining markaziy chastotasida chuqurlik o'rnida ko'tarilgan cho'qqi hosil bo'ladi. 54-rasmda lazer nurlanish quvvatining chastotaga bog'liqli o'zgarishi tasvirlangan.

Cho'qqi "Lemb chuqurligi" ning teskarisidir. Shu usul lazer nurlanishi chastotasining nisbiy turg'unligini 10^{-12} – 10^{-13} aniqlik bilan ta'minlaydi. Cho'qqi juda tor va aniqlik darajasi juda yuqoridir. Shu xil lazer nurlanishi chastotasining turg'unligini ta'minlash metrologiyada va lazer spektro-skopiyasida qo'llaniladi.



8-rasm. He-Ne lazerining quvvati chastota bo'ylab taqsimoti va "Lemb cho'qqisi"ning paydo bo'lishi rezonatorga keltirilgan metan gazi sababli paydo bo'lishi.

Laboratoriya ishi №5

Korbanat anhidrid (CO₂) lazerini o'rganish.

Korbanat anhidrid (CO₂) lazeri - molekulari lazerlar turkumiga kiradi. CO₂ -lazerining nurlanishi, molekulaning pastki asosiy elektron energetik sathga tegishli tebranish - aylanish energetik sathlari orasidagi kvant o'tishga asoslangan. Tebranish energetik sathlari orasidagi o'tishning energiyalari katta emas, o'sha energiyalarga tegishli nurning to'liq uzunligi o'rtacha va uzoq infraqizil nurlanishi ($5 \div 300 \mu\text{m}$) atrofida joylashgan. Molekulalarning to'la ichki energiyasi uch xil energiyalarning yig'indisidan tashkil topgan:

1) yadro atrofida harakat qilayotgan elektronlarning energiyasidan $\Delta\varepsilon_e$,

- 2) yadrolarning tebranma harakati bilan bog'liq tebranish energiyasi dan $\Delta\varepsilon(\nu)$,
- 3) molekulaning o'z o'qi atrofida aylanishiga asoslangan aylanma energiyasidan $\Delta\varepsilon(j)$.

Molekulaning to'liq energiyasini yozish mumkin:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon_e + Q\Delta\varepsilon(\nu) + Q\Delta\varepsilon(j), \quad (2.3.1)$$

bunda $\Delta\varepsilon_e > \Delta\varepsilon(\nu) > \Delta\varepsilon(j)$ munosabat o'rinli.

CO₂ - molekulasi chiziqli va simmetriik molekuladir. Elektronning energetik holati ko'rsatilmagan barcha holatlarda energetik sathlar va ular orasidagi kvant o'tishlar asosiy pastki elektron holatga tegishli va molekula-ning elektron energiyasi nolga teng ($\Delta\varepsilon_e \approx 0$) deb qarash kerak. Kvant o'tishining chastotasi tebranma – aylanish o'tishi bilan belgilanadi. Kvant o'tish birdan-bir elektron holatidagi tebranish - aylanish – energetik sathlar oralig'ida kuzatilib, o'tish j va ν kvant sonlarining qiymatlari farqi bilan aniqlanadi. Tebranish-aylanish kvant o'tish $\Delta\nu \approx \pm 1$, $\Delta j \approx 0$, ± 1 qoidasiga amal qiladi (juft sonli elektronlar uchun $\Delta j \approx 0$, o'tish taqiqlangan).

Birdan-bir elektron va tebranish energetik sathlariga tegishli aylanish energetik sathlar orasidagi toza o'tish j kvant sonining qiymati bilan belgilanadi. Ustki aylanish energetik ($j+1$) sathdan, pastki aylanish energetik (j) sathga o'tish $R(j)$ orqali belgilanadi va $R(j)$ spektrning shaxobchasi (**vetviy**) deb ataladi.

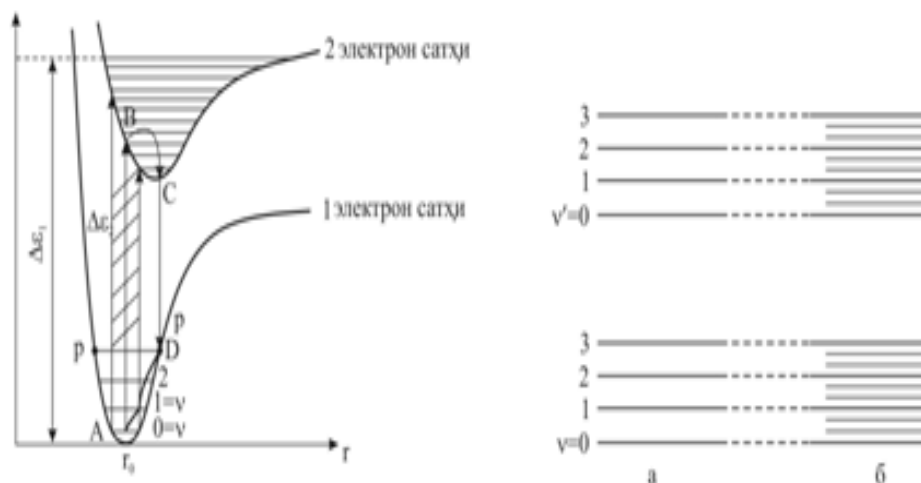
Yuqorigi tebranish energetik sathining aylanish energetik j sathidan pastki tebranish sathiga tegishli aylanish energetik j sathiga o'tish $Q(j)$ shaxobcha deb belgilanadi. $Q(j)$ – shahobcha uchun o'tish $\Delta j \approx 0$ qoidasiga amal qiladi. $P(j)$ – shahobcha. Yuqoridagi tebranish energetik sathining aylanish energetik ($j-1$) sathidan pastki tebranish sathining aylanish energetik j sathiga o'tishi $P(j)$ deb belgilanadi.

Demak, R , Q va P –shahobchalar to'plami tebranish holatlari bilan bog'langan bo'lib, tebranma-aylanish yo'lli spektrlarni hosil qiladi. O'sha to'plam $\nu_{yuq} - \nu_{past}$ deb belgilanadi.

Yuqoridagi energetik kvant o'tishlarni oydinroq tushunish uchun, molekulani ikki atomli deb qaraymiz. Atomlar bir-biridan cheksiz uzoqlikda ($r \rightarrow \infty$) yoki uzoq masofada joylashgan bo'lsa, energetik sathlar yakka atomlarning energetik sathlaridan iborat bo'ladi. Atomlar yaqinlashishi bilan atomlarning o'zaro tortishish ta'siri tufayli energetik sathlar siljiydi. Avval boshida atomlar orasidagi masofa katta bo'lgan edi, endi esa, atomlar yaqinlashish tufayli, atomlarning bir-birini tortish kuchi ro'yobga chiqadi. Atomlar orasidagi masofa juda ham kichik bo'lganda

esa, atomlarning o'zaro itarilishi kuchi ustun keladi. Potensial (ichki) energiyadan masofa bo'yicha olingan hosila, atomlarning o'zaro ta'sir kuchini ifodalaydi. Atomlar orasidagi masofa r_0 -ga teng bo'lganda, atomlarning o'zaro ta'sirini belgilovchi potensial energiyasi minimal qiymatga ega bo'ladi. r_0 -shunday masofaki, atomlar shu masofani egallashga intiladi. Atomlar r_0 -masofani egallaganda, molekula hosil qiladi. 55-rasmda atomlarning molekula hosil qilish potensial chuqurligi va energetik sathlari ko'rsatilgandir.

Atomlar r_0 masofada muvozanatda bo'lib, undan chetlanganda tebrana boshlaydi. Bir atom ikkinchi atom potensialida joylashgan bo'lib, r_0 masofadan chetlashganda molekula tebranish erkinligiga ega. Molekulaning erkin tebranishini botiq sferik sirtga tashlangan sharchaning tebranishiga o'xshatish mumkin. Molekulaning tebranishi (bir atomning ikkinchi atomga nisbatan tebranishi) garmonik ossillyatorning tebranishiga o'xshash.



9- rasm. Ikki atomli molekulaning potensial chuqurligi va energetik sathlari. a) Tebranish energetik sathlari. b) Tebranma-aylanish energetik sathlari.

Molekulaning ichki potensial energiyasi bir necha egri chiziq bilan ifodalanadi. Molekulaning tebranish energetik sathlari $v=0, 1, 3, \dots$ va hokazo belgilanadi. Tebranish energetik sathlari bir-biriga teng masofada joylashadi va energetik oraliqlar $h\nu_v$ - ga teng. Shuni aytish lozimki, v q 0 energiyaning minimal qiymati ustiga tushmaydi va u energiyaning minimal qiymatidan bir muncha yuqori joylashadi. **Birinchi egrilik asosiy elektron-tebranish energetik sath deb ataladi.** Molekula uyg'ongandagi potensial egrilik chuqurligi va chuqurlikning minimumi qiymati birinchi potensial egrilikka nisbatan o'ng tomonga siljiydi. Yuqorida joylashgan ikkinchi egrilik uyg'ongan elektron - tebranish energetik sathdir.

Molekulaning tebranishi atomlar orasidagi masofaning o'zgarishi bilan xarakterlanadi. Molekuladagi atomlarning katta amplitudali tebranishi potensial egrilikning (chuqurligining) parabolik shaklini uzgartirib qoldirmaydi va potensial chuqurlik shakli o'zgaradi. Bu degan so'z, tebranish sathlari yuqori pogonalarga ko'tarilishi bilan energetik sathlar orasidagi masofa qisqarib va tebranish energetik sathlarining boshida kuzatilgan ekvidistantlik saqlanmaydi. Shuni ham uqtirib o'tish lozimki, ko'p atomli molekulalar uchun 55- rasmda keltirilgan energetik sxemadan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Shu rasmda molekulaning elektron-tebranish va aylanish energetik sathlari ham o'z ifodasini topgan.

55- rasmda ko'rsatilgan molekula energetik sathlarini uyg'otish uchun energiyasi $\Delta\varepsilon_1$ dan katta bo'lgan elektromagnit yorug'lik ta'sir qilsa, u yorug'lik molekulada yutiladi va molekula parchalanadi (dissosiasiyalanadi). **Shu hodisaga fotoliz deyiladi.** Agar molekulaga tushayotgan yorug'lik fotonining energiyasi $\Delta\varepsilon_1$ -ga teng bo'lsa, molekula asosiy-birinchi energetik holatdan uyg'ongan ikkinchi energetik elektron-tebranish holatiga o'tadi. **Frank-Kondon prinsipiga ko'ra, yadrolar oralig'idagi masofa, yorug'lik yutilganda ham, yoki molekula yorug'likni chiqar-ganda ham o'zgarmaydi.** O'sha prinsipga ko'ra, energetik o'tishlar keng va tik chiziqli strelka bilan ifodalanadi. Molekulaning uyg'onishi asosiy energetik (ν_0) holatdan, yuqorigi energetik holatga o'tishi, keng va tik strelka chizig'i bo'ylab bajariladi. Molekula uyg'ongan (V) tebranish holatda bo'ladi. O'sha uyg'ongan molekula juda tezda relaksasiyalanib pastki (S) tebranish energetik sathiga tushadi. Molekula spontan ravishda (S) sathdan pastki birinchi – elektron-tebranish asosiy energetik (D) sathga tushadi va nurlanadi. Oxiri tezda (juda qisqa vaqt oralig'ida) molekula (A) sathga o'tadi. 50-rasmdan lyuminessensiya nurlanishining to'lqin uzunligi, molekula tomonidan yutilgan yorug'likning to'lqin uzunligidan katta ekanligi (**Stoks qonuni** bajarilganligi) aniq bo'ldi. Ikkita tebranish energetik sathlar (ν_0, ν_3) o'tishdan hosil bo'lgan yorug'lik faqat bitta ω_0 chastotani hosil qilsa, o'sha tebranish o'tishlarning aylanish energetik o'tishlarini hisobga olsak, qator tarmoqli spektrlar ($R-R, O$ – shaxobchalar) hosil bo'ladi.

Shunday qilib, molekulaning uch xil turdagi energetik o'tishlari mavjud, bu o'tishlar lazer nurlanishini hosil qiladi:

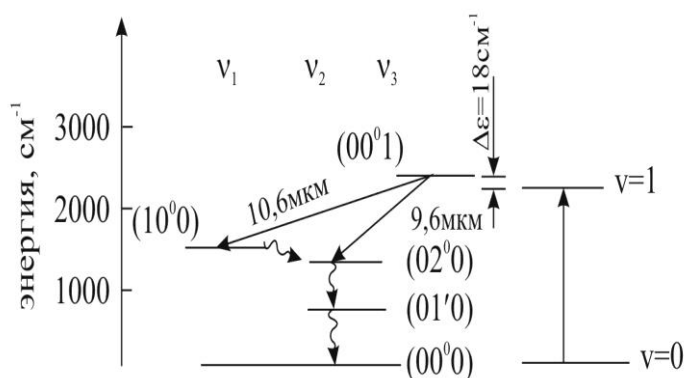
- elektron-tebranish o'tish (ikkita elektron sathlar oralig'ida sodir bo'ladigan o'tish, bu xil o'tishning nurlanishi ultrabinafsha sohasida joylashgan).

- tebranma - aylanish kvant o'tish (bitta elektron energetik sathga tegishli ikkita tebranish sathlari oralig'idagi o'tish, bu xil o'tishning nurlanishi infraqizil nurlanish sohasida joylashgan),

- aylanish o'tish (bitta tebranishga tegishli ikkita aylanish energetik sathlari oralig'idagi o'tish va uning nurlanishi uzoq infrakizil sohada joylashgan).

CO₂ molekulasiining tebranish-aylanish o'tishi diqqatga sazovordir. CO₂ - lazeri aynan tebranish-aylanish energetik o'tish nurlanishiga asoslangan. CO₂ -lazerining aktiv moddasi sifatida SO₂, N₂ va Ne gazlarning aralashmasi ishlatiladi. 56- rasmda CO₂N₂ molekulalarining soddalashgan tebranish energetik sathlari ko'rsatilgan.

Lazer nurlanishi ikkita tebranish energetik sathlari oralig'idagi o'tishda kuzatiladi. Azot molekulasiining ikkiga eng pastdagi tebranish energetik sathlari (ν_1 , ν_2) ko'rsatilgan. Molekula tebranishi bir azot atomining ikkinchi azot atomiga nisbatan tebranishiga asoslangan va tebranish chastotasi $\nu_0 \approx 2326 \text{ cm}^{-1}$ ($6,97 \cdot 10^{13} \text{ Gs}$). Kvant mexanikasi qonunlariga ko'ra, tebranish energetik sathlari kvantlangan va molekulaning tebranish energiyasi faqat $h\nu_0(\nu_1 + 2)$ qiymatlarni qabul qiladi.



10- rasm. CO₂ va N₂ molekulalarining asosiy elektron energetik sathidagi tebranish energetik sathlari sxemasi.

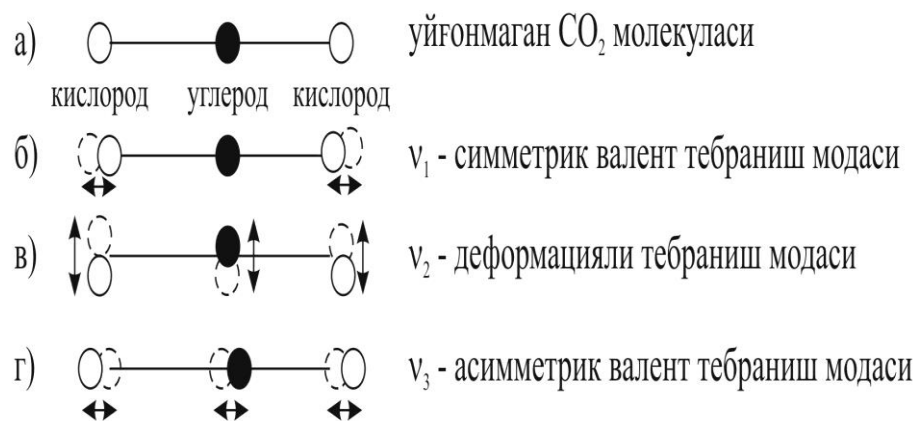
CO₂ molekulasiining energetik sathlari azot molekulasiining energetik sathlariga nisbatan ancha murakkab, chunki karbonat anhidrid gazi uch atomli molekula. CO₂ molekulasiining uchta ichki tebranish turlari (uchta normal modalari) mavjud:

1) simmetrik valent tebranish turi (atomlarning yadrolarini birlashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab simmetrik tebranadi, simmetrik valent modasi);

2) deformasiya tebranish turi (yadrolarni birlashtiruvchi chiziqqa perpendikulyar ravishda tebranadi va buklanadi, buqilish modasi);

3) nosimmetrik valent tebranish (yadrolarni birlashtiruvchi o'q bo'ylab atomlarning nosimmetrik tebranishi, nosimmetrik moda).

CO₂ molekulasi tebranishining uch xil turdagi modalari 57-rasmda ko'rsatilgan.



11-рasm. CO₂ молекуласи тебранишнинг uch xil modalari.

Molekulaning modalari (tebranish turlari) uchta kvant sonlari n_1, n_2, n_3 bilan ifodalanadi. Kvant sonlarining har biri modadagi kvantlar soniga teng. Xar bir energetik sath shu uchta kvant sonlari bilan belgilanadi va ketma-ketligi tartib bilan n_1, n_2, n_3 yoziladi. Misol uchun, 0,1 energetik sath deformasiya valent modasiga tegishli bo'lib, bitta tebranish kvantiga ega bo'ladi. Bu tebranish ko'ndalang bo'lib, u eng past qiymatli energetik sathga to'g'ri keladi. Chunki, ko'ndalang tebranishning elastiklik konstantasi eng kichikdir. Lazer nurlanishi $00^{\circ}1 \rightarrow 10^{\circ}0$ ($\lambda q 10,6 mkm$) va $00^{\circ}1 \rightarrow 02^{\circ}0$ ($\lambda q 9,6 mkm$) energetik o'tishlarda kuzatiladi. Nurlanish ikkita spektral chiziqlar seriyalaridan iborat bo'lib, markazlari $\lambda q 0,6 mkm$, $\lambda q 9,6 mkm$ joylashgandir.

CO₂ molekulasining umumiy energiyasi uchta normal tebranish energiyalarining yig'indisidan iborat:

$$\varepsilon(\nu_1, \nu_2, \nu_3) q h \nu_1 (\nu_1 Q 1 G' 2) Q h \nu_2 (\nu_2 Q 1 G' 2) Q h \nu_3 (\nu_3 Q 1 G' 2). \quad (2.3.2)$$

CO₂ molekulasini samarali ravishda $00^{\circ}1$ energetik ko'chirish (inversiya hosil qilish) quyidagi ikkita jarayon hisobiga amalga oshiriladi:

1) Elektron bilan to'qnashish. CO₂ elektron bilan bevosita tuqnashib, ya'ni $e Q CO_2(00^{\circ}0) \rightarrow e Q CO_2(00^{\circ}1)$ uyg'ongan holatga o'tadi. CO₂ molekulasining elektron bilan to'qnashish kesimi ($00^{\circ}1$ holat hosil qilishi) juda katta. CO₂ elektron bilan to'qnashib $00^{\circ}1$ energetik holatga o'tishning boshqa $10^{\circ}0, 02^{\circ}0$ kabi energetik holatlarga nisbatan o'tishning afzalligi bor. Bu afzallik $00^{\circ}1 \rightarrow 00^{\circ}0$ o'tishning optik jihatdan ruxsat etilganligi va $00^{\circ}0 \rightarrow 10^{\circ}0$ o'tishning esa, taqiqlanishi bilan tushuntiriladi.

2) Rezonansli ravishda N₂ uyg'ongan azot molekulasidan CO₂ molekulasiga energiya uzatish, CO₂ gazida inversion ko'chganlikni oshiradi. 51-rasmdan N₂ molekulasining yuqori uyg'ongan energetik sathi, CO₂ molekulaning $00^{\circ}1$ energetik sathidan $\Delta \varepsilon q 18 sm^{-1}$ ga farq qilishi ko'rinib turibdi. Lekin, bu farq kichik bo'lgani uchun, molekularning

o'zaro energiya almashishi samarali ravishda amalga oshiriladi. N_2 molekulasi elektron bilan to'qnashib, asosiy energetik ($vq0$) sathdan uyg'ongan yuqori ($vq1$) sathga o'tishi, elektrorazryad yordamida juda samarali bo'ladi. Uyg'ongan azot molekulasi energiyasini faqat to'qnashganda CO_2 ga beradi xolos.

Lazer nurlanishini hosil qiluvchi yuqori va pastki energetik sathlarning relaksasiya tezligini solishtirib qaraylik. $00^01 \rightarrow 10^0$, $00^01 \rightarrow 02^0$ va $02^0 \rightarrow 01^0$ o'tishlar optik jihatdan ruxsat etilgan bo'lsa ham, ularning yashash vaqti (spontan o'tish vaqti τ_{sp}) juda kattadir. Shunga ko'ra, energetik sathlarning relaksasiyasi, molekularning to'qnashishi bilan aniqlanadi. Uyg'ongan yuqori energetik sathlarda spontan o'tish vaqti τ_{cp} gazlarning bosimi bilan aniqlanadi. Misol uchun, CO_2 gazining parsial bosimi 1,55mm sim. ust., N_2 uchun 1,5mm sim. ust. va Ne uchun 12mm sim. ust. bo'lganda yuqori energetik sathda CO_2 molekulasining yashash vaqti $\tau_{sp} \approx 0,4ms$. Pastki energetik sathlarning relaksasiyasi esa, ya'ni $10^0 \rightarrow 02^0$, $10^0 \rightarrow 01^0$ va $02^0 \rightarrow 01^0$ juda tez o'tish bo'lib (spontan o'tish vaqti 1mks dan ham kichik). Haqiqatan ham, $10^0 \rightarrow 02^0$ o'tishning energetik oralig'i kT dan kichik va o'tish tez bo'ladi. $10^0 \rightarrow 01^0$ va $02^0 \rightarrow 01^0$ kabi ikkita o'tishlar uyg'onmagan va asosiy pastki energetik sathda joylashgan SO_2 molekula bilan to'qnashi tufayli bajariladi:

$$\left. \begin{aligned} &CO_2(10^0) + CO_2(00^0) + CO_2(01^1) + CO_2(01^0) + \Delta\varepsilon \\ &CO_2(02^0) + CO_2(00^0) + CO_2(01^1) + CO_2(01^0) + \Delta\varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (2.3.3)$$

Shu ikkita o'tishlarning ehtimoliyatlari juda yuqoridir, chunki energetik oraliqlar kT energiyadan ancha kichikdir. Juda qisqa vaqt ichida uchta 10^0 , 02^0 va 01^1 sathlarning energetik ko'chganliklari, issiklik tufayli o'zaro muvozanatlikka erishadi. O'sha energetik sathlardan asosiy energetik (00^0) sathga o'tish tezligi kichik bo'lsa, o'sha sathlarda CO_2 molekularning to'plamini hosil qilib, ishchi energetik sathlarda inversiya hosil qilishini qiyinlashtirib qo'yadi. 10^0 , 02^0 va 01^1 energetik sathlarning yashash vaqti (τ_{sp}) geliy atomlarining ishtiroki bilan aniqlanadi. Geliy gazining bosimini bilgan holda, o'sha energetik sathlarning yashash vaqti (τ_{sp}) quyidagi formula yordamida baholanadi:

$$\frac{1}{\tau_{cn}} = \sum q_i P_i, \quad (2.3.4)$$

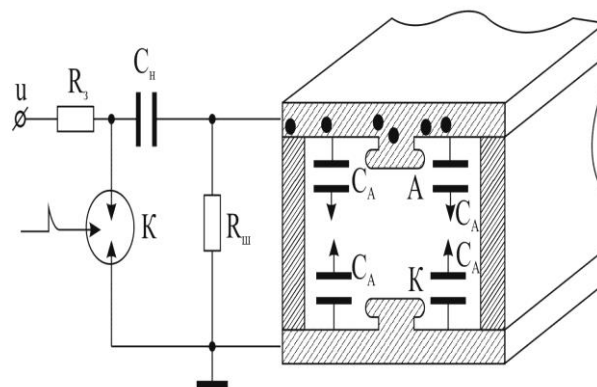
bu yerda P_i – geliy gazining bosimi, q_i – gazorazryad paytida geliy gazining xarakteristikasini ifodalovchi doimiylik va uning qiymati juda kattadir.

Geliy atomi CO_2 molekulasi bilan to'qnashib, 10^0 , 01^1 , 02^0 energetik sathlarda yashash vaqtini 20mks gacha qisqartirib, molekulani asosiy (00^0) sathga tushiradi. Toza holdagi SO_2 molekulasining yuqorigi

uyg'ongan ishchi energetik satxdagi yashash vaqti pastki energetik sathdagi yashash vaqtdan kichikdir. U holda toza CO₂ gazidan tashkil topgan va uzluksiz ishlaydigan lazerni yaratish qiyin bo'ladi degan xulosa kelib chiqadi. Lekin, birinchi uzluksiz ishlaydigan lazer toza CO₂ gazida kuzatilgan edi. Chunki, gazorazryad paytida CO₂ molekulasiga tegishli pastki energetik sathlarning relaksasiyasini tezlashtiradi.

CO₂ - lazerlari impulsli va uzluksiz rejimda ishlaydi. Impulsli rejimda ishlaydigan **CO₂ lazari TEA lazari deb ataladi**. TEA inglizcha so'zlarning bosh harflaridan tashkil topgan bo'lib, atmosfera bosimidagi gazlarning ko'ndalang uyg'otilish lazari demakdir (TEA — transversly excited atmospheric pressure Lasers). TEA- lazerida gazorazryad rezonator o'qiga perpendikulyar yo'nalishda sodir bo'ladi, ya'ni CO₂ molekularini uyg'otish lazer nurining tarqalish yo'nalishiga perpendikulyardir. Shu xildagi lazerlar impulsli rejimda ishlaydi. TEA rejimda ishlaydigan lazerning impulsi 1÷20mks davom etib, energiyasi 5÷10kJ ga yetadi. 58-rasmda TEA CO₂ – lazerining elektr sxemasi ko'rsatilgan.

Lazer kamerasi shisha plastinalarni yelimlab yoki organik shishadan yasaladi. Lazer kamerasida CO₂, N₂ va Ne gazlarning aralashmasi 5÷10 atmosferagacha kameraga beriladi. Lazer kamerasining ikki tomonida elektrodlar o'rnatilgan, elektrodning uzunligi 60sm, kengligi 25mm va elektrodlar orasidagi masofa 25mm. Anod va katod elektrodlariga parallel ravishda har birining ikki tomoniga qator qilib 20 ta dan S₁ kondensatorlar joylashgan.



12-rasm. CO₂ lazerining sxematik tuzilishi.

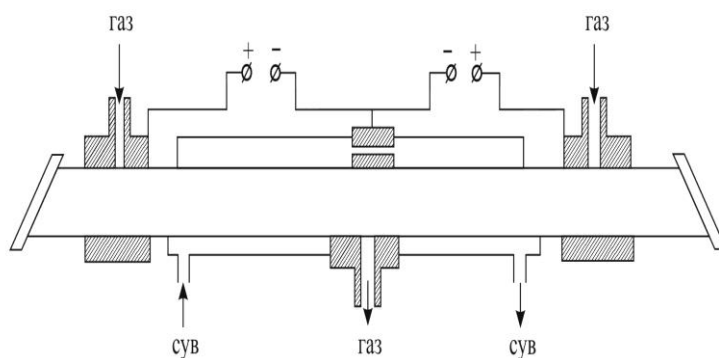
Shu tuzilishi va impuls rejimda ishlashni ta'minlaydi.

Kondensatorlarning uchlari yo'nilgan va o'tkir uchlari oralig'ida elektr chaqmoqchalari hosil bo'ladi. Chaqmoqchalar lazer kamerasidagi gaz aralashmasini qisman ionlashtiradi. Gazlarning qisman ionlashishi asosiy elektrodlar orasida bir jinsli gazorazryadni ta'minlaydi. Bir jinsli gazoraz-

ryad CO_2 molekularini rezonator o'qi bo'ylab bir tekis uyg'otadi, ya'ni inversion ko'chganlik hosil qiladi.

58-rasmdan ma'lumki, yuqori U kuchlanishli elektr manbai R qarshilik orqali kondensatorni zaryadlaydi. Kondensatr S_n tegishli kuchlanishgacha zaryadlagandan keyin, K razryadlovchiga tashqi generatordan elektr impulsi beriladi. Elektr impulsi qisqa muddatli bo'lib, (K) razryadlovchidagi gazni ionlashtiradi va (S_n) kondensatorni zaryadsizlangiradi. S_n kondensatordagi to'plangan elektr energiyasi S_n kondensatorga va asosiy elektrodlarga uzatiladi. Avval S_1 kondensatorlarning uchlaridan uchqunlar chiqadi va shundan keyin, tezda asosiy elektrodlar oralig'ida razryad boshlanadi. Kuchli elektrorazryad CO_2 va N_2 gazlarini uyg'otadi va samarali inversion kuchirish hosil qiladi. Lazer kamerasing o'qi bo'ylab majburiy nurlanish boshlanadi va ko'zgulardan bir necha yuzlab qaytib, kuchayib, lazer nurlanishi ko'zgularning biri orqali tashqariga chiqadi. TEA lazeri katta bosim ostida ishlagani uchun, generasiya keng spektrli bo'ladi. Keng spektrli CO_2 lazeri nurlanishini dispresiyali rezonatordan foydalanib, sillik ravishda to'lqin uzunligini (chastotasini) o'zgartirish va spektral kengligini toraytirish mumkin. TEA lazerida modalar sinxronizmini hosil qilish va generasiya nurlanish muddatini qisqartirish mumkin.

Uzluksiz ishlaydigan CO_2 lazerining sxematik ko'rinishi 59-rasmda keltirilgan. CO_2 , N_2 , He gaz aralashmasi joylashgan shisha nayi lazer kamerasi vazifasini o'taydi, Shu tipdagi lazer kamerasida gazorazryad nay o'qi bo'ylab sodir bo'ladi. O'sha razryad tufayli issiq ajralib chiqadi va nay qiziydi. Nayni sovutish uchun. diametri katta bo'lgan shisha nay kiritiladi va suv ikki nay orasidan o'tib, lazer kamerasingi sovutadi.



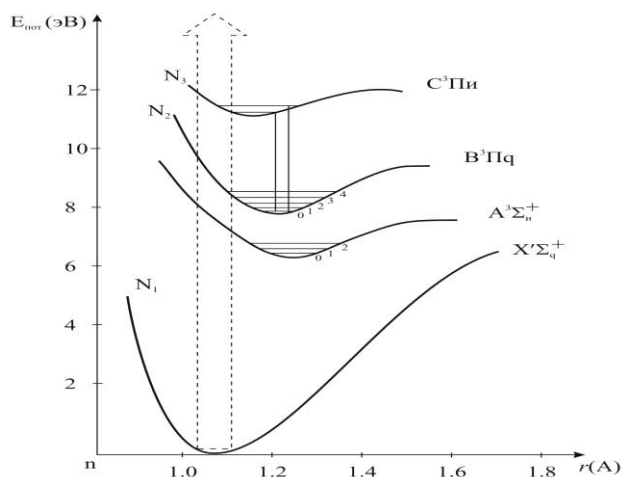
13-rasm. CO_2 lazerining uzluksiz rejimda ishlash sxemasi.

Lazer kamerasida gaz aralashmasi bo'ylama razryad yordamida uyg'onadi va generasiya nay o'qi bo'ylab tarqaladi. Bu xil uzluksiz ishlaydigan CO_2 lazerlarning quvvati 40–50Vt ni tashkil qiladi. CO_2 lazerlari metallarni kesish, tirqish ochish va payvandlash ishlarida

qo'llaniladi. O'sha lazerlar mashina detallarini chidamli qilishda ham ishlatiladi.

Laboratoriya ishi №6 Azot lazerini o'rganish.

Azot lazeri gaz molekulari lazerlari turkumiga kiradi. Azot molekulasining elektron- tebranish energetik sathlari sxemasi 60- rasmda keltirilgan. Azot molekulasining uyg'ongan elektron-tebranish S^3P_i ($\nu q0$) sathdan pastki energetik elektron-tebranish V^3P_d ($\nu q0$) sathga o'tishda ($S^3P_i - V^3P_d$) ultrabinafsha ($\lambda q337,1nm$) yorug'lik nuri paydo bo'ladi va u lazer nurlanishini hosil qiladi. Uyg'ongan azot molekulasini S^3P_i energetik sathda 38 nanosekund va pastki V^3P_d energetik sathda esa 8 mikrosekund yashaydi. Azot molekulasining yuqori uyg'ongan energetik sathda yashash muddati pastki energetik sathda yashash muddatidan qariyb 100 marta kam. Molekulaning bu xususiyati pastki V^3P_d energetik sathda ko'pchilik azot molekularining soni to'planib qolishiga sabab bo'ladi. O'sha V^3P_d energetik sathda joylashgan molekular sonining oshishi azot gazida inversiya kuchganlikni tezda chegaralab qo'yadi. O'sha sababli azot lazeriga o'z-o'zidan chegaralangan energetik o'tishli aktiv modda asosida ishlaydigan lazer ham deyiladi. Azot gazida uzluksiz inversiya hosil qilib bo'lmaydi va shunga ko'ra azot lazeri uzluksiz rejimda ishlay olmaydi, faqat impulsli rejimda ishlaydi xolos.



14- rasm. Azot molekulasining energetik sathlari diagrammasi. Punktir chiziq bilan chegaralangan vertikal strelka damlashni va uzluksiz kalta strelkalar lazer o'tishni ifodalaydi.

Azot gazida inversion ko'chganlikni hosil qilish uch energetik sathli aktiv modda kabi bo'lib, impulsli elektrik damlash usuli bilan amalga oshiriladi. Impulsli energetik damlash muddati 38 nanosekunddan kichik bo'lishi talab qilinadi. Impulsli elektrik damlash qancha qisqa muddatli bo'lsa, azot molekularida o'shancha samarali ravishda inversion

ko'chganlikni hosil qilish boshlanadi. Azot gazida inversion ko'chganlikni hosil qilishda, impulsli gazorazryaddan foydalaniladi. Katta kuchlanishli elektr toki azot gazi orqali o'tkazilganda, tok kuchining o'zgarish tezligi $\frac{dI}{dt}$ katta qiymatga erishadi. Razryad davomida azot molekulalari elektron bilan to'qnashib, asosiy $X^1\Sigma^+$ elektron-tebranish energetik sathdan (**Frank –Konden prinsipiga asosan**) uyg'ongan S^3P_i elektron-tebranish sathga kuchiriladi. Azot molekulasining S^3P_i sathga o'tish ehtimoli, V^3P_d sathga o'tish ehtimolidan ancha kattadir. Hozirgi kunda S^3P_i va V^3P_d energetik sathlarda inversiya hosil qilish mexanizmi aniq o'rganilgan. S_3P_i va V_3P_d energetik sathlarga ikkinchi musbat sistema deyiladi. Pastdan yuqoriga yo'nalgan uzun strelka elektrik damlashni ifodalaydi. Yuqoridagi energetik sathlarda tebranish ν kvant sonlari nolga teng bo'lgan energetik sathlar oralig'ida bo'ladigan kvant o'tishga mos keladi. Azot molekulasida inversiya hosil qilish uch energetik sathli aktiv moddalar sxemasiga o'xshashdir.

Azot lazerida kuchayish koeffitsiyenti katta qiymatga ega. Impulsli damlash osonlik bilan ko'pchilik azot molekulalarini yuqorigi S_3P_i energetik sathga ko'chiradi va uyg'ongan azot molekulalari deyarli qisqa vaqt ichida nurlanadi. Bu esa o'ta nurlanishni hosil qiladi. **Agar moddada katta inversion ko'chganlik hosil qilinsa va juda qisqa muddatda yuqori energetik sathlardagi molekulalar rezonatorsiz nurlansa, bunday nurlanishga o'ta nurlanishi yoki o'ta lyuminessensiya nurlanishi deyiladi.** Azot molekulalari joylashgan lazer kyuvetasi (lazer kamerasi) bo'ylab lyuminessensiya nurlanishi va majburiy nurlanishning kuchayishi juda katta bo'lgani sababli, optik rezonatorning qo'llanish zaruriyati ham qolmaydi. Lazer kyuvetasi o'qi bo'ylab majburiy nurlanish kuchayishi $60\text{dBG}'m$ ga teng. Bu kuchayishni quyidagicha tasavvur qilish mumkin: azot molekulasi yuqori energetik sathda juda kam vaqt yashagani uchun, barcha uyg'ongan molekulalar deyarli bir vaqtda yuqori sathdan pastki sathga o'tadi. O'sha pastki oraliq energetik sathda molekula uzoq saqlanib qoladi va u molekulani qayta uyg'otish jarayonini qiyinlashtiradi.

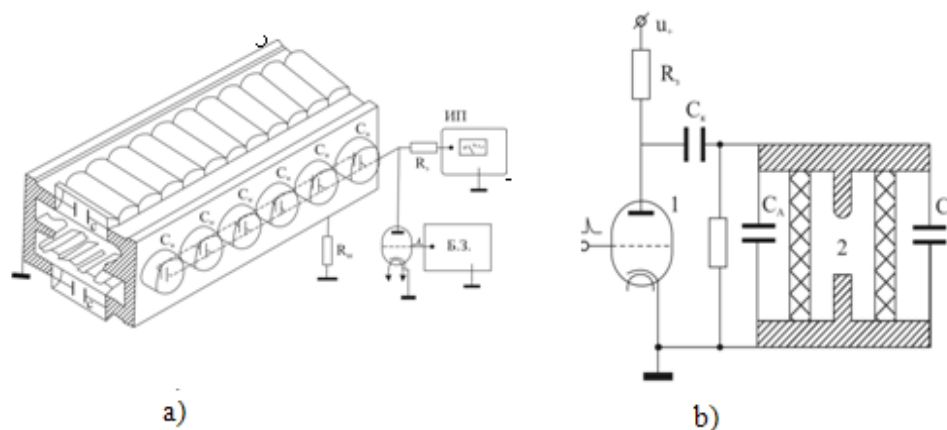
Azot molekulasining qayta uyg'onishi uchun u asosiy $X^1\Sigma^+$ elektron-tebranish sathda joylashgan bo'lishi zarur. Shunga ko'ra, elektrik damlash juda qisqa muddatli impuls bo'lib, bir yo'la azot gazining ko'pchilik qismini uyg'ota oladi. Shu talablarga ko'ra, azot lazeri rezonatorsiz ham ishlay oladi, lekin yakka ko'zgu qo'llaniladi, u ko'zgu lazer kamerasidan qarama-qarshi tomonga tarqalayotgan nurlanishni bir tomonga yo'naltirish vazifasini bajaradi xolos.

Shuni aytish lozimki, ko'pchilik azot lazerlari ishlagan vaqtda, lazer kamerasida azot gazi oqib o'tib turadi. Azot

gazining oqim tezligi $3\div 4 \text{ lG}'\text{min}$ ga teng. Shu xil tezlik, azot gazini kamerada yangilaydi, bu esa azot gazida yangidan inversion ko'chirishni hosil qilishga imkoniyat yaratadi. Lazer kamerasida gaz bosimi $30\div 60\text{mm sim. ustuniga}$ teng bo'ladi.

Azot lazerining to'zilishi va ishlashi sxematik ravishda 61-rasmda ko'rsatilgan.

Kameraning uzunligi $80\div 100\text{sm}$, balandligi 4sm , devorlari qalinligi $0,56\text{sm}$, elektrodlari oralig'i $3,6\text{sm}$, elektrodlarining qalinligi $0,4\text{sm}$. Kameraning ikki qarama-qarshi tomonlariga kvarts plastinasi bilan berkitilgan va o'sha plastinalarning biri orqali lazer nuri tashqariga tarqaladi.



15- rasm. Azot lazerining ishlash va to'zilish sxemasi.

a) tiratron lampasi, b) lazer kamerasi, U_+ -yuqori kuchlanishli elektr manbai, S_n -yig'uvchi kondensator, S_1 -keskinlashtiruvchi kondensator sxemasi, S_n -yig'uvchi kondensator, S_1 -keskinlashtiruvchi kondensator.

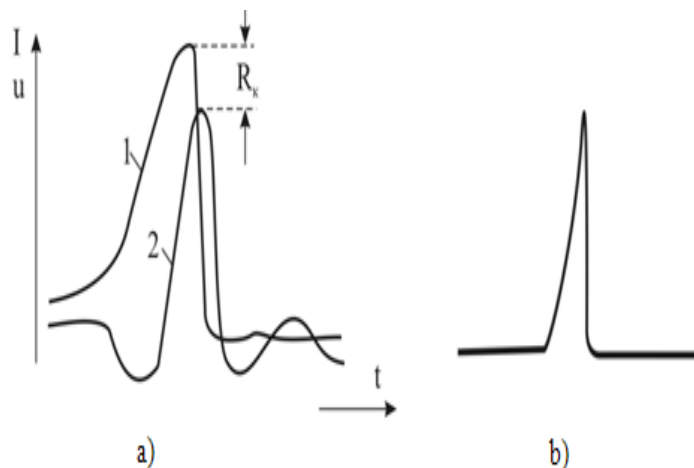
Kameraning uzunligi $80\div 100\text{sm}$, balandligi 4sm , devorlari qalinligi $0,56\text{sm}$, elektrodlari oralig'i $3,6\text{sm}$, elektrodlarining qalinligi $0,4\text{sm}$. Kameraning ikki qarama-qarshi tomonlariga kvarts plastinasi bilan berkitilgan va o'sha plastinalarning biri orqali lazer nuri tashqariga tarqaladi.

Azot lazeri quyidagicha ishlaydi: 61-rasmda yuqori kuchlanishli elektr manbai R_3 qarshilik yordamida S_n kondensatorni zaryadlaydi. Tashqi generatordan tiratron lampasining to'riga impuls beriladi va tiratron ochiladi. Tiratron ochilishi bilan S_n kondensatorida to'plangan elektr energiya S_1 kondensatorga o'zatiladi va kondensator zaryadlanadi. S_1 kondensator lazer kamerasidagi asosny elektrodlarga parallel joylashgan. S_1 kondensator zaryadlanib bo'lish bilan, ikki elektrod oralig'ida, lazer kamerasida, elektr zaryadi boshlanadi. O'sha vaqtda, ikki elektrod orasida katta kuchlanishli impulsli elektr razryadi paydo bo'ladi. Kuchlanishning o'sishi juda tez (vertikal) tik ravishda ko'tarilib, juda qisqa muddatli

bo'ladi. Razryad toki ham juda qisqa muddatli 15÷20 nanosekund davom etadi.

Ana shunday qisqa muddatli razryad lazer kamerasida elektron haroratini oshiradi va azot gazi molekularini samarali ravishda uyg'otadi. O'sha sharoitda lazer kamerasidan azot lazeri nurlanishi chiqadi va generatsiya nurlanishi 5÷10 nanosekund davom etadi.

Shuni aytish lozimki, sanoat tayyorlab chiqarayotgan azot lazerlarining quvvati juda past va foydali ish koeffitsiyenti 0,001 0,01 % ni tashkil etadi.



16- rasm. Azot lazeri kamerasidagi razryad toki va kuchlanishining ossillogrammasi: a) 1-kuchlanish, 2-razryad toki, R_k - kameradagi elektr tokining qarshiligi, b) azot lazerining impulsi.

Nazariy jihatdan azot lazerining FIK 16% ni tashkil etadi. Ayrim mualliflar tajriba yo'li bilan mitti azot lazerlarida FIK ni 1% yetkazishgan. Azot lazeri bo'yoq lazerlarini ishga tushirishda samarali damlash manbai sifatida o'z o'rnini mustahkam egallab turibdi.

Bu paragrafda bayon qilingan azot lazeri quvvati 1Mega-vatt bo'lib, FIK esa 0,1% ni tashkil etadi.

Nazorat savollari:

1. Gaz lazerlarini boshqa turdagi lazerlardan farqini tushuntirig.
2. Nima uchun gaz lazerlarida difraksion yo'qtishlar kam bo'ladi?
3. Gaz lazerlarida aktiv muxitni damlash qanday amalga oshiriladi?
4. Nima uchun gaz trubkasi uchlariga qo'yiladigan parallel plastinkalar unga Brster burchagi ostida maxkamlanadi?
5. SO_2 lazerini xarakteristkalarini keltiring.
6. Impulsli gaz lazerlari qanday ishlaydi?
7. Nima uchun suyuqlik lazerlarida bo'yoqlardan foydalanishadi?

8. Singlet va triplet energetik satxlarni tushuntiring.
9. Ionli gaz lazerlarini ishlash prinsipini tushuntiring.
10. He - Ne lazerini quvvati qaysi shartlar bajarilganda eng maksimal bo'ladi?
11. Nima uchun He - Ne lazerinining generatsiya quvvati dastlab razryad toki oshib borgan sari oshib boradi, ammo razryad tokining katta qiymatlarida kamayib ketadi?
12. He - Ne aralashmasidagi lazerning generatsiya quvvati, He Ne gazlari aralashmasidagi He va Ne-larning parsial bosimlariga xam bog'liqligini tushuntiring.
13. He - Ne lazerini energetik satxlarini va ular orasidagi o'tishlarni chizib tushuntirib bering.

Laboratoriya ishi №7

Yarim o'tkazgichli lazerlarni o'rganish.

Hozirgacha qarab chiqqan lazerlarda, kvant nurlanishi atom yoki molekulalarga tegishli energetik sathlar oralig'ida sodir bo'lgan bo'lsa, yarim o'tkazgichli lazerlarda, kvant nurlanishi, energetik zonalar oralig'ida o'tishlar tufayli paydo bo'ladi. Zonalarda energetik sathlar juda zich joylashgan va shu sababli, yarim o'tkazgichli aktiv moddalarda kuchayish koeffitsienti 10^4 sm^{-1} gacha qiymatga erishishi mumkin. Kuchayisg koeffitsienti kattaligi tufayli, yarim o'tkazgichli aktiv moddalar kichik o'lchamlarga ega (rezonatorlar uzunligu L q 50mkm dan 1 millimetrgacha) bo'ladi.

Yarim o'tkazgichlarning energetik satxlari.

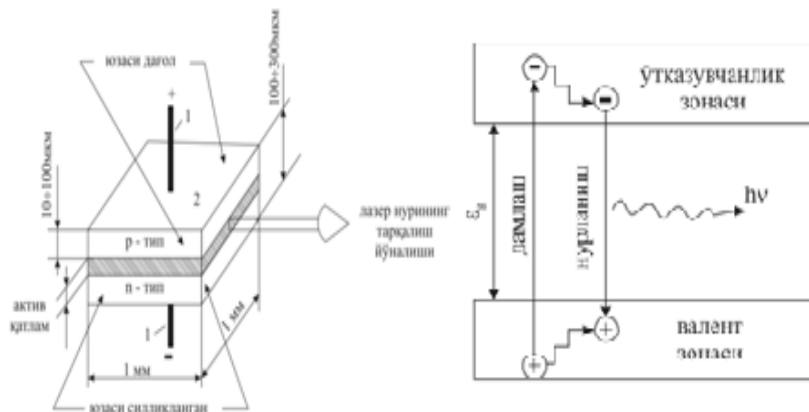
Dastlabki yarim o'tkazgichli lazerlar 1962 yilda arsenid galliyning (GaAs) $p-n$ o'tishlari asosida yaratilgan edi. Keyinchalik boshqa materiallar va yarim o'tkazgichlarni uyg'otishni boshqa usullaridan foydalanish yo'lga qo'yildi.

Yarim o'tkazgichli lazerlarning farq qiluvchi tomonlari shundan iboratki, ular kichik ulchamlarga ega bo'lib, damlash energiyasini nurlanish energiyasiga aylantirishda katta foydali ish koeffitsiyentiga ega va tez ishga tushish xususiyatiga ega bo'ladi.

Yarim o'tkazgichli lazerlarning generatsiya uzunligi, yarim o'tkazgich materialini ximiyaviy tarkibi o'zgarganda xam o'zgaradi. Bu esa, yarim o'tkazgichli lazerlar yordamida $0,32 \div 32 \text{ mkm}$ spektral oraliqda nurlanishlar hosil qilish imkonini beradi.

Asosan injeksion lazerlarni qarab chiqamiz. Ularda uyg'otish uchun $p-n$ o'tishlar orqali zaryad tashuvchilar injeksiya qilinadi Dastlabki yarim o'tkazuvchi lazerlar injeksion edi.

Yarim o'tkazgichlar monokristalll, polikristalll, amorf va suyuq moddalar bo'lishi mumkin. Lazerlarda asosan monokristalll yarimo'tkazgichlardan foydalaniladi Yarim o'tkazgichlar lazerning tuzilish shemasi 63-rasmda ko'rsatilgan.



17- rasm. a) Yarim o`tkazgichli lazerlning tuzilish shemasi: 1-elektro tok beriladigan simning kontakti, 2- yarim o`tkazgichl kristalli, b) damlash.

Ideal yarim o`tkazgichli kristallning (defektlari va kirishmalari bo`lmagan kristall) energetik spektri elektronlarning ruxsat berilgan holatlariga tegishli keng yulaklardan iborat bo`ladi. **Ular taqiqlangan holatlar zonasi bilan ajratilgan o`tkazish zonasi va valent zonalaridir.** Valent zonasida xam, o`tkazish zonasida xam, elektronlarining energetik holatli amalda uzluksiz spektrni beradi.

Absolyut nol temperaturada ideal yarim o`tkazgich kristallida xamma elektronlar valent zonasida joylashgan bo`ladi (u elektronlar bilan to`lgan bo`ladi). O`tkazish zonasi esa to`liq bo`sh bo`ladi (unda elektronlar bo`lmaydi). Bu holatda yarim o`tkazgich tok o`tkazmaydi va izolyator xisoblanadi. Temperatura noldan farq qilganda, elektronlarning bir qismi issiq xarakati xisobiga valent zonasidan o`tkazish zonasiga yutadi. Valent zonasida esa, shu o`tishlar natijasida, bo`shagan joylar yoki **kovaklar** hosil bo`ladi. Kovaklar **musbat** zaryadli zarrachalarga ekvivalent xisoblanadi.

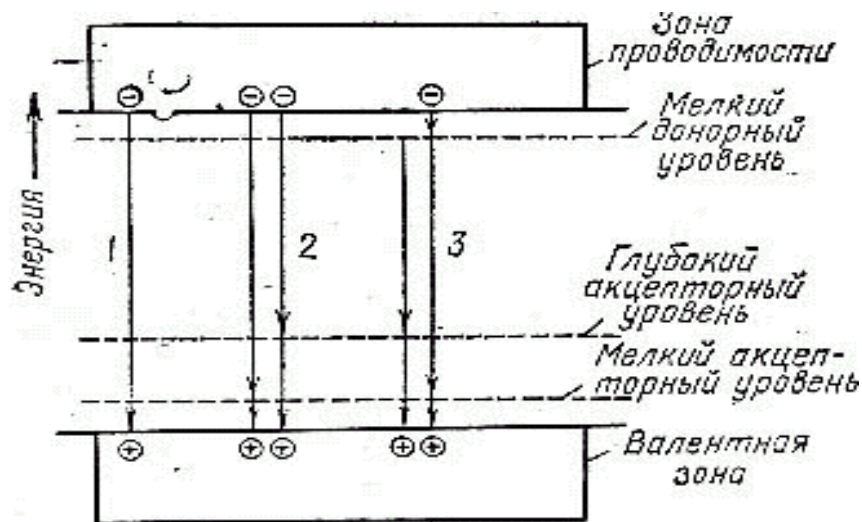
Yarim o`tkazgichning temperaturasi oshgan sari, tobora ko`proq elektronlar o`tkazish zonasiga o`tadi va valent zonasidagi kovaklar soni shuncha ko`p bo`ladi. Agar shu yarim o`tkazgichga kuchlanish qo`yilsa undan elektro tok o`tganini kuzatamiz.

O`tkazish toki hosil qilishda, o`tkazish zonasidagi elektronlar xam, kovaklar xam ishtirok qiladi. Chunki kovaklar valent zonasidagi elektronlarni o`tkazish zonasiga o`tmasdan holatini o`zgartirish imkonini beradi yoki valent zonasida kovaklarning xarakati yuz beradi. Shuning uchun, elektronlarni xam, kovaklarni xam zaryad tashuvchilar deb atashadi. Ideal kristallida o`tkazish zonasida elektronlar bilan valent zonasidagi elektronlar soni uzaro teng bo`ladi.

Asosiy moddadagi atomlarning bir qismi boshqa elementlar bilan almashtirilgan yarim o`tkazgichlarda (kirishmali yarim o`tkazgichlarda) kirishmalar muxim rol o`ynagani uchun, manzara o`zgaradi. **Birinchi dan,** valent zonasi va o`tkazish zonasidan tashqari taqiqlangan zonada joylashga qo`shimcha energetik satxlar hosil bo`ladi. **Kirishmalar va ularga tegishli energetik satxlar donorlarga va akseptorlarga bo`linadi. Donorlarda kirishmalarning energetik satxlari, o`tkazish zonasiga yaqin joylashgan bo`ladi (tegishli satxlar donor satxlari deb ataladi).**

Donorlar o`z elektronlarini osonlik bilan o`tkazish zonasiga beradi. **Akseptorlarda kirishmalarning energetik satxlari valent zonasiga yaqin joylashgan bo`ladi.** Akseptorlar osonlik bilan valent zonasidagi elektronlarni qabul qiladi va valent zonasida kovaklar hosil qiladi. Odatda

kirishmalarning satxlari tegishli markazlar yaqinida joylashgan bo`ladi, zonalardagi energetik satxlar esa, butun yarim o`tkazgichga tegishli bo`ladi. Kirishmali yarim o`tkazgichning energetik satxlari 64-rasmda keltirilgan. Unda o`tkazish zonasi va valent zonasidan tashkari, uchta kirishma satxi xam ko`rsatilgan. Bu sathlar markazlar yaqinida joylashgan bo`ladi, zonalardagi energetik satxlar esa, butun yarim o`tkazgichga tegishli bo`ladi.



18-rasm. Yarim o`tkazgichdagi energetik satxlar va nurlanishli o`tishlar sxemasi.

Ikkinchidan, kirishmali yarim o`tkazgichlarda zaryad tashuvchilarning soni, asosan kirishmalarga bog`liq. Masalan, yarim o`tkazgichda donorli kirishma bo`lsa, elektronlar donor kirishmaning energetik satxidan o`tkazish zonasiga o`tadi. Bu xildagi elektronlar soni valent zonasidan o`tkazish zonasiga utgan elektronlar sonidan ko`p bo`ladi va temperatura oshgan sari, ularning soni oshib boradi. **Bu xildagi yarim o`tkazgichlarda zaryad tashuvchilar asosan, o`tkazish zonasidagi elektronlar xisoblanadi va bu xildagi yarim o`tkazgichlar *n*-tipidagi yarim o`tkazgichlar deb ataladi.** Akseptorli kirishmali yarim o`tkazgichlarda elektronlarning valent zonasidan akseptor satxiga o`tishi katta extimoliyatga ega. Natijada valent zonasida ko`p teshiklar hosil bo`ladi (o`tkazish zonasida esa, elektronlar juda oz bo`ladi) va bu kovaklar zaryad tashuvchi xisoblanadi. **Bu xildagi yarim o`tkazgichlar *p*-turidagi yarim o`tkazgichlar deb ataladi.**

Yuqorida qaragan holatlarimiz issiqdan muvozanat bo`lgan yarim o`tkazgichlarga tegishli edi. Xususan, ideal yarim o`tkazgichda absolyut nol temperaturadan yuqori temperaturada tokni (yoki o`tkazuvchanlikni) hosil bo`lishida, o`tkazish zonasida elektronlarni hosil bo`lishida, issiqlik xarakati asosiy ro`l uynaydi yoki musbat absolyut temperaturada zonalar

orasida issiqlik muvozanati hosil bo'lishi xisobiga, o'tkazish zonasida elektronlar hosil bo'ladi. Issiqlik muvozanati holatida bo'lgan yarim o'tkazgichlar lazer uchun yaroqsiz xisoblanadi. Lazerlar uchun, foydalanish uchun, yarim o'tkazgichdagi zard tashuvchilar nomuvozanat holatida bo'lishi kerak.

Yarim o'tkazgichlarni bu holatga har xil yullar bilan o'tkazish mumkin. Lazerlarda foydalaniladigan yarim o'tkazgichlarda bu maqsadda uch xil usuldan foydalaniladi:

1) yarim o'tkazgichlar katta chastotadagi tashqi nurlanish bilan yoritiladi (optik uyg'otish usuli);

2) yarim o'tkazgichlar elektron oqimi bilan nurlantiriladi;

3) tashqi elektr maydonidan foydalaniladi. Keyingi holatda p-n o'tishlardan foydalanish eng samarali xisoblanadi.

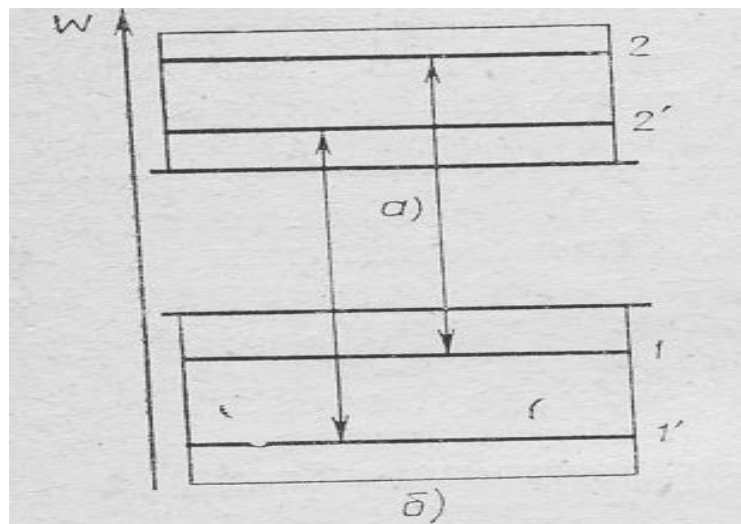
Zaryad tashuvchilarning konsentrasiyasi nomuvozanat bo'lgan yarim o'tkazgichlarda nurlanish rekombinasiyasini qarab chiqamiz. Rekombinasiya jarayoni erkin zaryad tashuvchilar jufti elektron va teshiklarning yuqolishiga olib keladigan jarayon xisoblanadi. Umuman olganda, rekombinasiya tufayli ajralib chikkan energiya uch xil jarayon ko'rinishida amalga oshadi:

- foton hosil bo'lishi (nurlanish rekombinasiyasi),
- panjaraning qizishi (fononlar hosil bo'lishi),
- zard tashuvchilarning kinetik energiyasini oshishi (**Oje** rekombinasiyasi).

Lazer nurlanishi shu jarayonlarning birinchisi bilan ya'ni nurlanish rekombinasiyasi bilan bog'liq.

Yuqorida keltirilgan 64-rasmga binoan, yarim o'tkazgichlarda nurlanish rekombinasiyasi zonalar orasidagi o'tishlarda (1 strelka) va zonalardan kirishma satxiga o'tganda (strelka 2) hosil bo'lishi mumkin. 44-rasmda akseptor satxi orqali rekombinasiya ko'rsatilgan. Bu jarayonda elektron akseptor satxiga nurlanish bilan o'tadi va keyin valent zonasidagi teshik bilan rekombinasiyalanadi. Bundan tashqari rekombinasiya donor satxi orqali xam bo'lishi mumkin. Bunda, o'tkazish zonasidagi elektron donor satxiga o'tadi va undan nurlanish orqali valent zonasiga o'tadi. Nixoyat, nurlanish rekombinasiyasi ikkala kirishma satxi orqali xam amalga oshishi mumkin (strelka 2).

Yuqorida qaraganimizdek, aktiv muxitning ishchi satxlari kuchaytirish xususiyatlariga ega bo'lishi uchun ishchi satxlari orasida manfiy temperatura hosil qilish kerak. Yarim o'tkazgichlarni elektromagnit nurlanishini kuchaytirish imkoniyatlarni qarab chiqamiz.



19-rasm. Zona-zona o'tishlarida yarim o'tkazgichlarda manfiy temperatura bo'lish shartiga tegishi sxema. *a* – o'tkazish zonasi, *b* –valent zonasi

Yarim o'tkazgichlarning eng muxim xususiyati shundan iboratki unda elektromagnit maydoni bilan faqat ikkita energetik satxi uzaro tasirlashuvga kirishmasdan (ionli kristall va shishalardagidek) keng sohadagi energetk satxi o`zaro tasirlashuvga kirishadi.

To`g`ri zonali o`tishli yarim o`tkazgichlarda manfiy temperaturani hosil bo`lish sharti.

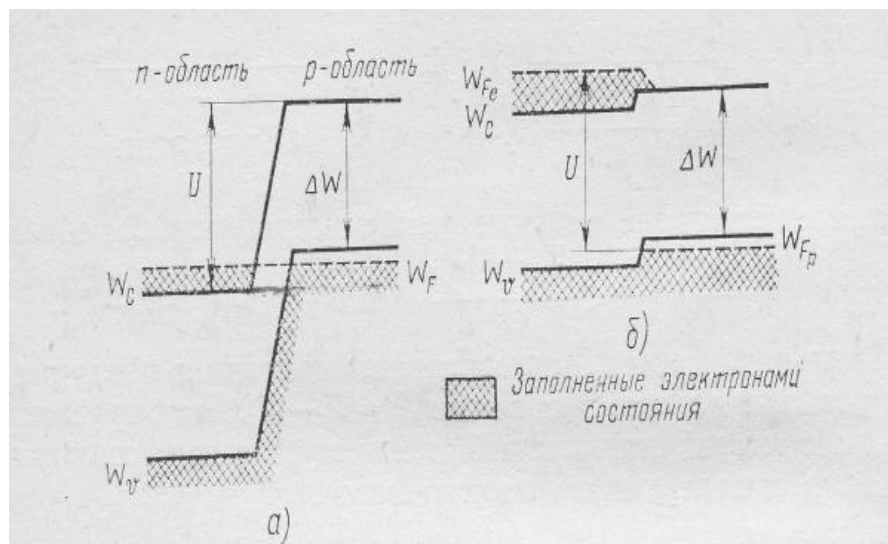
Yuqorida qaraganimizdek aktiv muxitning ishchi satxlari kuchaytirish xususiyatlariga ega bo`lishi uchun, ishchi satxlari orasida manfiy temperatura hosil qilish kerak. Yarim o`tkazgichlarni elektromagnit nurlanishini kuchaytirish imkoniyatlarni qarab chiqamiz. Yarim o`tkazgichlarning eng muxim xususiyati shundan iboratki, unda elektromagnit maydoni bilan faqat ikkita energetik satxi uzaro tasirlashuvga kirishmasdan (ionli kristall va shishalardagidek) keng sohadagi energetk satxi o`zaro tasirlashuvga kirishadi.

***p-n*-o`tishlar orqali zaryad tashuvchilarni injeksiyasi.**

Xozirgi vaqtda, injeksion yarim o`tkazgichli lazerlar eng ko`p tarqalgan (nomuvozanat zaryadlarning injeksiyasi *p – n* o`tishlar orqali amalga oshiriladi). Yarim o`tkazgichdagi donor va akseptorlarning konsentrasiyasi shunday o`zgarsinki, namunaning biror sohasida elektr o`tkazuvchanlik tipi, elektron o`tkazuvchanlikdan teshikli o`tkazuvchanlikka o`zgarsin. Shu sohasining bir tomonida yarim o`tkazgichning *n –* tipda bo`lsa, ikkinchi tomonida *p –* tipda bo`ladi va

o'tkazish sohasi $p - n$ –tipidagi o'tkazish sohasi deb ataladi. Qayd qilish lozim, bu yerda p - va n - tipidagi ikkita namunalar orasidagi kontakt haqida emas, bitta namuna haqida borayapti.

O'tish sohasining ikkala tomonida elektronlar va teshiklarning konsentratsiyasi xar xil bo'ladi; p - n -o'tishlar hosil bo'lganda u orqali elektronlarni n - sohadan p -sohaga va teshiklarni p - sohadan n -sohaga diffuziyasi yuzaga keladi. Shuning uchun, o'tish chegarasining yaqinida p -sohada, manfiy xajmiy zaryad hosil bo'ladi, n – sohada esa, musbat zaryad hosil bo'ladi. Zaryadlar elektr (kontakt) maydoni hosil qiladi va u diffuziyaga qarshilik ko'rsatadi va pirovardida, p - n -o'tishlar orqali diffuziyaga chek qo'yadi. Xajmiy zaryadlar elektron satxlarini siljishiga xam olib keladi. Aynigan, p - n - o'tishlarning natijaviy energetik diagrammasi 66-rasmda keltirilgan. 66-rasmda: a) tashqi maydon b'lmaganda p - n - o'tishlar keltirilgan. Chapda elektronlar bilan band qilingan n -sohaning energetik satxlari shtrixlangan. Potensial to'siq elektronlarni p -sohaga o'tishiga yo'l qo'ymaydi.



20-rasm. Aynigan p - n –o'tishlarning energetik diagrammasi: **a** – tashqi kuchlanish qo'yilmagan; **b** – tashqi kuchlanish to'g'ri yo'nalishda qo'yilgan.

Agar namunaga to'g'ri yo'nalishda tashqi kuchlanish qo'yilsa ya'ni kontakt maydoniga teskari yo'nalishda maydon hosil qiluvchi kuchlanish qo'yilsa, potensial to'siq kamayadi. Tashqi qo'yilgan kuchlanishni kattaligi yetarlicha bo'lganda, aynigan p - n -o'tishlarning energetik diagrammasi 66-rasmda: b)- dagi ko'rinishni oladi. Endi n -sohadagi elektronning **Fermi** kvazisatxi, p -sohaning o'tish satxining tubidan yuqorida joylashgan bo'ladi. Shuning uchun, n - sohadagi elektronlar, p -sohasidagi o'tkazish zonasiga o'tishi mumkin, ya'ni elektronlarni p -sohaga

injeksiyasi yuz beradi. Shundan keyin, injektirlangan elektronlar valent zonasidagi kovaklar bilan energiyasini, foton shaklida nurlantirib rekombinasiyalashadi. Bu energiya kattaligi, taqiqlangan zona kengligiga yaqin bo`ladi. Tabiiyki, rekombinasiya $p-n$ - o`tishlarning n - sohasida xam yuz berishi mumkin.

$p-n$ -o`tishlardagi kuchlanish nisbatan kichik bo`lganda va shunga binoan, o`tishlardagi tokning qiymati kichik bo`lganda, injektirlanayotgan tashuvchilar soni va nurlanishli, rekombinasiya tufayli hosil bo`layotgan fotonlarning soni kam bo`ladi. Namunadan keng lyuminessensiya chizig`i (kT tartibida) nurlanadi va bu nurlanish kuchsiz yo`nalgan bo`ladi.

Laboratoriya ishi №8

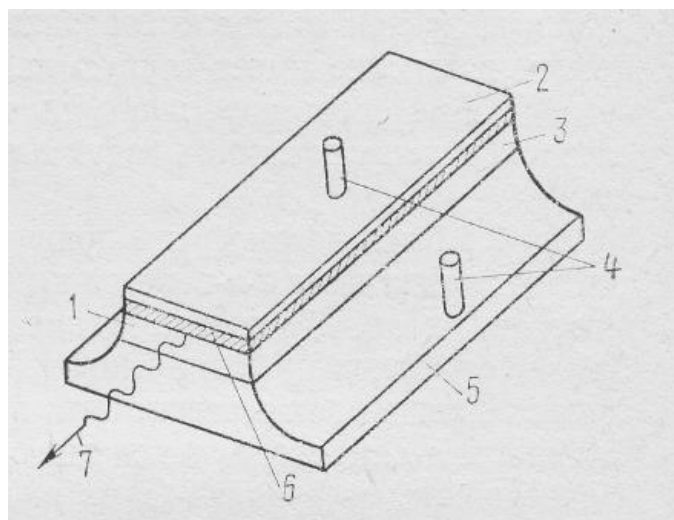
Arsenid galliy injeksion lazerini o`rganish.

Dastlabki injeksion lazer (λ si 0,84 mkm atrofida) arsenid galliy (GaAs) yarim o`tkazgichida ishga tushirilgan edi. Xozirgi vaqtda, GaAs diodiga asoslangan yarim o`tkazgichli lazerlar keng tarqalgan.

Arsenid galliy kul rang mo`rt kristall bo`lib, 1510 K da eriydi. Sindirish ko`rsatkichi 3,6 ga teng bo`lib, GaAs da $p-n$ -o`tishlar bir necha usul bilan hosil qilinishi mumkin. Odatda, silliq $p-n$ -o`tishlar donor kirishmalar (Te, Se va boshqalar) bilan legirlangan materilga akseptor kirishmalarni (Zn, Cd va xokazalarni) diffuziya qilish yo`li bilan hosil qilinadi. Lazer materiali sifatida, GaAs da nurlanish rekombinasiyasi katta extimoliyatga ega. Shu tufayli, uning yordamida birinchi yarim o`tkazgichli lazer yaratilgan edi.

Xamma yarim o`tkazgichli lazer materiallar, shu jumladan GaAs ning eng muxim xususiyati shundan iboratki, ular boshqa lazer materiallariga (ion kristalli, shisha, suyuqlik, xususan gaz muxitlari) qaraganda, elektromagnit nurlanishi yuqori darajada kuchaytiradi. Shuning uchun xam, juda kichik namunalarda xam, generasiya shartini bajarish mumkin. Odatda, GaAs lazeri uzunligi millimetrning bo`laklaridan millimetrgacha bo`lgan to`g`ri burchakli paralleliped shaklida yasaladi. Ammo, chiziqli o`lchamlari bir necha o`n mikrometr bo`lgan GaAs lazer diodlari xam yasaladi. 67-rasmda arsenid galliy lazerining sxemasi keltirilgan. $p-n$ o`tishlarning tekisligiga perpendikulyar bo`lgan yon tomonlari yaxshilab silliqlanadi va ochiq rezonatorning ko`zgusi vazifasini bajaradi.

GaAs ning sindirish ko`rsatkichi katta bo`lgani uchun, silliqlangan uchlari xech qanday qo`shimcha qoplam bo`lmaganda xam tushayotgan nurlanishni 35 % qaytaradi. $p-n$ - o`tishlarga tik bo`lgan qolgan ikki tomoni orasida generasiya hosil bo`lmasligi uchun, qisman qiya qilib yasaladi.



21-rasm. Arsenid galliy lazerining sxematik tasviri: 1 – silliqlangan uch tomonidagi yuzalar; 2 - *p*- soha; 3 – *n* – soha; 4 – elektr o`tkazgichlar; 5 – oltin bilan qoplangan molibden plastinka; 6 -*p-n* – soha (shtrixlangan); 7- chiqayotgan nurlanish.

Past temperaturalarda GaAs injeksion lazerlari impuls rejimida xam, uzluksiz rejimda xam ishlashi mumkin. Yuqori temperaturalarda esa, faqat impuls rejimida ishlaydi. Zaryad tashuvchilarni injeksiya qilish uchun, xar xil qaytarish chastotasidagi (yuzlab kilogersgacha) xar xil davomiylikdagi (mikrosekundlardan kichikdan boshlab, birnecha mikrosekundgacha) impuls toklaridan foydalaniladi.

Yarim o`tkazgichli lazerlarda generatsiya hosil bo`lish manzarasi quyidagicha bo`ladi. Injeksiyasini kichik toklarida lazerdan nurlanishi kuchsiz yo`nalishga ega bo`lgan keng lyuminessensiya chizig`ini nurlanishini kuzatish mumkin. Tokni qiymati biror pogona qiymatiga yetkazilganda, nurlanishni intensivligi va yo`nalishi keskin oshadi, lyuminessensiya chizig`i kengligi esa, keskin torayadi.

GaAs da *p-n*- o`tishlardagi nurlanishni taxlil qilamiz. Tajribalarda kuchli legirlangan diodlarda *p*-sohaga elektronlarni injeksiyasi kuchli bo`lishi aniqlangan. Bu holatlda, nurlanish manbai *p*-soha bo`ladi va nurlanish chizig`i *p*- tipidagi bir jinsli materialning (uchinchi chiziq) asosiy nurlanish chizig`iga o`xshash bo`ladi. Bu xildagi manzara ko`pgina yarim o`tkazgichlarda kuzatiladi. Ba`zi xollarda donorlarning kichik konsentratsiyasida va yuqori temperaturalarda *n*- sohaga kovaklarning injeksiyasi xam ro`y berishi mumkin. Bu holatlda nurlanish energiyasi ikkinchi chiziqqa to`g`ri keladi. Ko`pgina injeksion lazerlarda elektronlarni *p*- sohaga injeksiyasi asosiy ro`l o`ynaydi.

MUNDARIJA

Fizikaviy kattaliklarni o‘lchash va xatoliklar nazariyasi	4
Laboratoriya ishlari № 1 Fabri-Pero interferometri, spektral qurilmasini yustirovka va fokusirovka qilish.	7
Laboratoriya ishlari № 2 BALANS TENGLAMALARI YORDAMIDA LAZERNING ISHLASH TAMOYILLARINI O'RGANISH	14
Laboratoriya ishi YARIM O'TKAZGICHLI LAZERNING ISHLASH PRINSIPLARINI O'RGANISH	20
Laboratoriya ishi №4 Gaz lazerlari. Geliy - Neon lazerini o'rganish	26
Laboratoriya ishi №5 Korbanat angidrid (CO_2) lazerini o'rganish	31
Laboratoriya ishi №6 Azot lazerini o'rganish.	39
Laboratoriya ishi №7 Yarim o'tkazgichli lazerlarni o'rganish	44
Laboratoriya ishi №8 Arsenid galliy injeksion lazerini o'rganish	51