

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
Z.M.BOBUR NOMIDAGI ANDIJON DAVLAT UNIVERSITETI

Qo'lyozma huquqida

Maxmudov Xushro'y

Plazmada gaz razryadli lazerlar.

5A140202-“Fizika (Lazer fizikasi)”

Magistr
akademik darajasini olish uchun yozilgan

DISSERTATSIYA

Ilmiy rahbar:

Proffessor.S.Zaynobiddinov

Andijon-2017

Plazmada gaz razryadli lazerlar.

1-bob. Lazerlarning tuzilishi va ishlash tamoyillari.

1. Lazerlar, ularning fizik xususiyatlari.
2. Lazerlarning umumiy tuzilishi.
3. Kvant sistemada yorug'likning yutilishi va chiqarilishi.
4. Invers to'ldirilgan muhitlar hosil qilish hodisasi.
5. Lazerlarning faol qismi.
6. Lazer nurlanishni kuchaytirish.

2-bob. Lazer nurlarini chiqishda boshqarish.

1. Lazerlarning turlari.
2. Qattiq jism asosidagi lazerlar.
3. Yarimo'tkazgichli lazerlar.
4. Gaz asosidagi lazerlar.

3-bob. Plazma asosiy tushuncha va harakteristikalari.

1. Plazma asosiy tushuncha va harakteristikalar.
2. Plazma oqimining moddalarga ta'siri.
3. Plazma oqimini olish.(tezlatish mehanizmi).
4. Plazmaning issiqlik ta'siri.

4-bob. Plazma va ion-plazma texnologiyasi.

1. Plazmatronlar.
2. Plazmali tezlatkichlar.
3. Gazorazryadli plazmadagi asosiy jarayonlar.
4. Gaz razryadli lazerlar.

1.Lazerlar, ularning fizik xususiyatlari.

Moddadan yorug'lik o'tganda u yutiladi va sochiladi. Bu hodisalar optikada juda yaxshi o'rganilgan. Hozir bu jarayonlarga teskari bo'lgan hodisa, ya'ni moddadan yorug'lik o'tganida uning kuchayishi ham ro'y berishi aniqlandi. Bunday asboblari lazerlar deb ataladi. Ushbu jarayonni amalga oshishi mumkinligini birinchi marta 1915-yilda Albert Eynshteyn aytgan.

1939 yilda V.A.Fabrikant birinchi marta yorug'likni kuchaytiradigan muxit hosil qilish mumkinligini va shu muxitda nur majburiy nurlanish xisobiga kuchaytirilishi g'oyasini olg'a surdi. 1953 yilda I.G.Basov bilan A.M.Proxorovlar, AQSH dan Ch.Tauns bilan Veberlar tomonidan santimetr to'lqin uzunligidagi elektromagnit to'lqinlarni kuchaytiradigan molekulyar generatorlar yasaldi, bu generatorlar mazerlar deb ataladi. 1960 yilda esa T. Meyman tomonidan qattiq jismli, optik diapazonida ($\lambda = 6943 \text{ \AA}$) ishlaydigan optik generator yasaldi. Bunday generatorlarni lazerlar deb ataladi. Nurni kuchaytiradigan aktiv muxitning tipiga qarab lazerlar - qattiq jismli, gazli, yarimo'tkazgichli va suyuqlikli lazerlarga bo'linadi.

Yanada aniqroq aytganda lazerlarning turlarini sinflashda majburiy yig'ish usuli ham muxim rol o'ynaydi. Majburiy yig'ish usullari - optik, issiqlik, kimyoviy, elektroionizatsion va boshqa usullardan iborat bo'ladi.

Bundan tashqari generatsiyalash turi uzluksiz yoki impulsli bo'lishi mumkin.

Lazerlar uchta asosiy qismdan iborat bo'ladi:

- 1) Aktiv muxit - metastabil holatga ega bo'lgan modda.
- 2) Majburiy yig'ish (optik nakachka) sistemasi - aktiv muxitda inversiyali joylashish holatini hosil qiladigan qurilmalar. Inversiyali joylashish holati deb asosiy holatdagi atomlar soniga nisbatan uyg'ongan holatdagi atomlar sonining ko'p bo'lishiga aytiladi.
- 3) Optik rezonator - lazer nurlanishini shakllantiruvchi qurilma.

Muxitga tushgan ω chastotali nur, modda atomlaridan birining $\omega=(E_n-E_m)/\hbar$ chastotasiga mos kelsa, bu holda atom $E_m \rightarrow E_n$ xolatga o'tsa, bu majburiy o'tishda u nurni yutadi. ($E_n > E_m$) , agar $E_n \rightarrow E_m$ o'tish sodir bo'lsa, u holda tushayotgan nurning intensivligi muxitdan o'tishda kuchayadi.

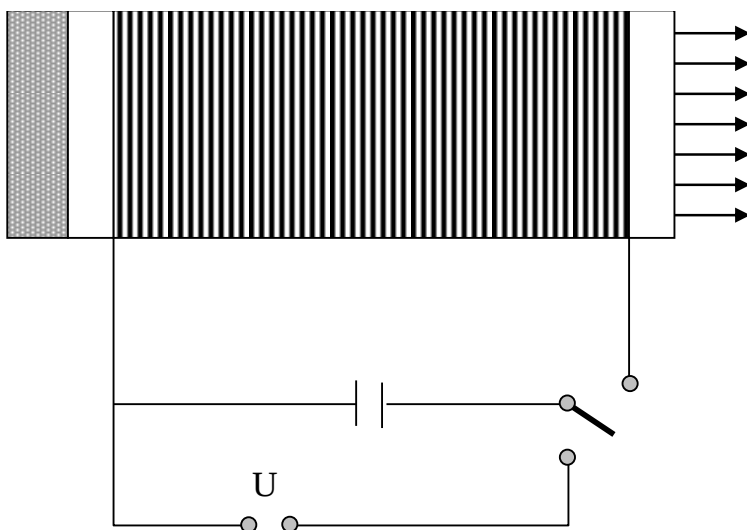
Muxit orqali o'tgan nurning intensivligi Buger qonuniga asosan aniqlanadi:

$$I = I_0 E^{-\mu X}$$

bunda, $\mu > 0$ bo'lsa, nur muxitda yutiladi, $\mu < 0$ bo'lsa, nur muxitdan o'tishda kuchayadi. Kvant generatorida $\mu < 0$ xolat vujudga keltiriladi. T.Meyman yasagan birinchi qattiq jisimli muxitga ega bo'lgan lazer bilan tanishaylik. Kuchaytirgich sifatida alyuminiy oksidi Al_2O_3 olingan bo'lib (rubin yoki qizil yoqut) kristall panjarasining ba'zi tugunlarida uch valentli Cr^{3+} (0,005%-xrom) joylashgan

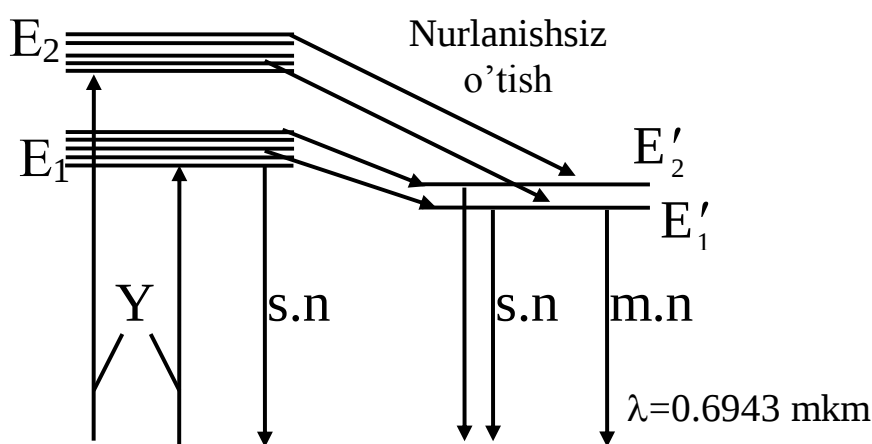
Bu qizil yoqutning uzunligi 5 sm, diametri esa 1 sm bo'lgan sterjen ko'rinishidadir. Uning asoslari o'zaro parallel va juda yaxshi silliqlangan.

Sterjenning bir tomoni nur o'tkazmaydigan kumush qatlami bilan qoplangan, ikkinchi tomoni ham xuddi shunday kumush bilan qoplangan bo'lib, bu tomon faqat 8 % nurni o'tkazadi, xolos. Qurilmaning sxemasi 1.1 - rasmda keltirilgan.



1.1-rasm

O'tish jarayoni esa quyidagicha: nurlanish yoqut tarkibidagi xrom ionlarini E_0 asosiy energetik sathdan E_1 va E_2 uyg'ongan energetik sathlarga ko'taradi (1.2 - rasm). Bu uyg'ongan sathlarning yashash davomiyligi ancha kichik ($\tau \sim 10^{-7}$ s). Ulardan nurlanishsiz E'_1 va E'_2 sathlarga o'tish sodir bo'ladi. Bir-biriga yaqin joylashgan bu sathlarning yashash davomiyligi anchagina katta $\tau = 5 \cdot 10^{-3}$ s. Bunday sathlarni metastabil sathlar deyiladi. Metastabil sathlardagi ionlarning biroz spontan nurlanishi ham sodir bo'ladi. Kristall o'qi bo'ylab haraktlanayotgan fotonlar qaytaruvchi asoslardan ko'p marta qaytadi, bu harakat davomida ko'p sonli majburiy nurlanishlar vujudga keladi. Natijada fotonlarning kuchli oqimi kristallning shaffof tomonidagi asosi orqali tashqariga chiqadi. Shundan so'ng tashqi manbaidan yana energiya olinadi va jarayonlar bayon qilingan ketma-ketlikda takrorlanaveradi.

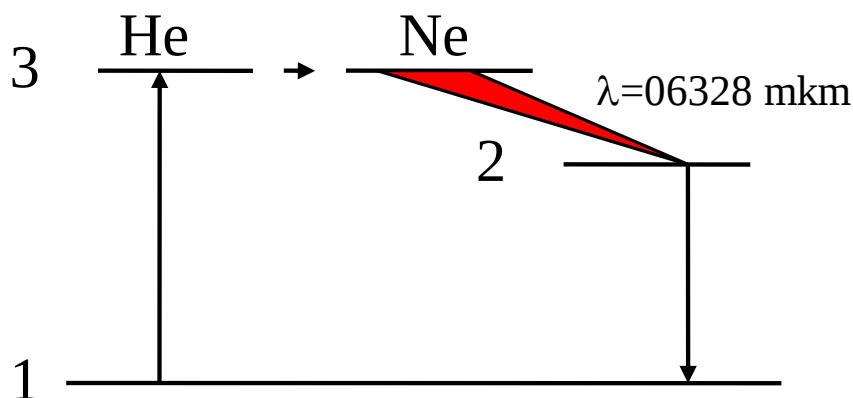


1.2-rasm

Metastabil sathda yig'ilgan energiya shu jismning o'zida spontan nurlanish sifatida ajralib chiqadi, ya'ni lazer generator vazifasini bajaradi. Shuning uchun lazerni kvant generatori deb ataladi. Agar metastabil sathdagi majburiy nurlanish tashqi ta'sir tufayli vujudga kelsa, lazer kirish signalini kuchaytirgan bo'ladi. Bunday lazerni kvant kuchaytirgich deyiladi.

Birinchi gazli lazer 1961 yilda neon va geliy gazi aralashmasi asosida yaratildi. Ma'lumki gazlar ingichka yutilish chiziqlariga ega bo'lgani uchun gazli lazerlarda

majburiy yig'ish elektr razryadi orqali amalga oshiriladi. Geliy - neonli lazerda majburiy yig'ish ikki bosqichda amalga oshiriladi: geliy energiya tashuvchi vazifasini bajarsa, neon nurlanish hosil qiladi; gaz razryadida hosil bo'lgan elektronlar to'qnashishi natijasida geliy atomini uyg'otadi va 3 - holatga o'tadi (1.3-rasm). Uyg'ongan geliy atomi neon atomlari bilan to'qnashib, ularni uyotadi va ular geliy satxiga yaqin bo'lgan neonning yuqori sathlaridan biriga o'tadi. Neon atomlarini 3-sathdan quyi sathlardan biriga o'tishi $\lambda=0,6328$ mkm. li to'lqin uzunlikdagi lazer nurlanishini vujudga keltiradi.



1.3-rasm

Lazer nurlari quyidagi xossalarga ega:

- 1) Ular yuqori darajada kogerent va dastasi esa nihoyatda ingichka.
- 2) O'ta monoxromatik ($\Delta\lambda < 10^{-16}$ mkm).
- 3) Katta quvvatli: masalan, $W=20$ J energiya bilan majburiy yig'ish (optik nakachka) va 10^{-3} s nurlantirilsa, nurlanish oqimi $\Phi=2 \cdot 10^{-4}$ J/s, $R=2 \cdot 10^{16}$ Vt/m².
- 4) Tarqalish burchagi (ingichka) juda kichik

hozirgi paytda f.i.k. 0,01 % — 75 % bo'lgan lazerlar mavjud. Lekin ko'pchilik lazerlarning f.i.k. i 0,1 - 1% oraliqda bo'ladi. Uy temperaturasida uzluksiz ishlaydigan quvvatli SO₂ lazer yaratildi. Bu lazer to'lqin uzunligi $\lambda=16,6$ mkm

bo'lgan infraqizil elektromagnit to'qlinlarni ishlab chiqaradi. Uning f.i.k. 30% dan yuqoridir. Lazer nurlardan metallarni kesishda, payvandlashda, buyumlardagi nuqsonlarni aniqlashda, medisinada nozik operatsiyalarni bajarishda, nihoyatda toza materiallar olishda, o'lchash texnikasida, aloqada ham keng foydalaniladi.

2.Lazerlarning umumiy tuzilishi.

Lazer (inglizcha Light amplification by Stimulated Emission of Radiation, majburiy nurlanish natijasida yorug'likning kuchayishi) – koherent yorug'lik oqimini vujudga keltirishda kvant mexanikasi effektidan foydalanuvchi qurilma. Lazer nuri uzluksiz doimiy amplitudali yoki impulsli bo'lishi mumkin. Va ekstremal yuqori quvvatga ega. Ko'pgina qurilmalarda lazerdan boshqa manba orqali nurlanishni kuchaytirgich sifatida foydalaniladi. Kuchaytirilgan signal boshlang'ich signal bilan to'lqin uzunligi, fazasi va qutblanishi bilan mos keladi. Bu optik qurilmalarda juda muhim hisoblanadi. Yorug'likning oddiy manbalari nurni turli yo'nalishlarda keng diapason bo'ylab sochadi. Bundan tashqari lazer bo'lmagan manbalarning nurlanishi odatda muqim qutblanishga ega bo'lmaydi. Aksincha lazer nurlanishi monoxromatik va koherent bo'lib, doimiy to'lqin uzunligi va aniq fazaga shuningdek ma'lum qutblanishga ega. Boshqa tomondan lazerlarning ba'zi turlari, masalan ranglantirilgan aralashmali lazerlar yoki yarim xromatik qattiq jisimli lazerlar chastotalarning bir qancha to'plamini keng spectral diapazonda boshqara oladi. Lazerlar fanning ikki sohasi kvant mexanikasi va termodinamika hamkorligida yaratilgan. Lekin lazerlarning ko'pchilik turlari xatolar va urinishlar orqali yaratilgan. Dastlabki lazer 1960 yilda Teodor Mayman tomonidan Malibudagi Hyuz kompaniyasining tadqiqotlar laboratoriyasida yaratilgan. Mayman o'z ixtirosida 694 nanometr to'lqin uzunligida qizil nurlanish beruvchi rubindan yasalgan sterjendan foydalandi. Deyarli u bilan bir vaqtda eronlik fizik Ali Yovon gazli lazerni namoyish qildi. Keyinroq u o'z ixtirosi uchun Albert Eynshteyn nomidagi mukofotga sazovor bo'ldi. Lazer ishlashining asosiy mohiyati ishlovchi qismning uyg'otishi natijasida elektronlarning ko'chishi bilan bog'liq. Ishlovchi qism optik rezonatorga o'rnatiladi. Majburiy nurlantiruvchi mexanizm yordamida to'lqinlar aylanishi natijasida uning energiyasi eksponensial ravishda ortib boradi.

Lazer odatda uch asosiy qismdan tashkil topadi:

Energiya manbai;

Ishlovchi qism;

Oynalar sistemasi (optik rezonator)

..Quvvat manbai tizimga energiya beradi. Bu elektr razryadlovchi, impulsli lampa, botiq lampa, boshqa lazer, kimyoviy reaksiya va hatto portlovchi modda ham bo'lishi mumkin. Foydalanilayotgan quvvat tizimi turi ishlovchi qism bilan bevosita bog'liq. Masalan geliy neonli lazerlarda geliy neon gaz aralashmasidagi elektr razryadlardan, neod bilan lgirlangan alyumin ititriyli lazerlarda ksenon impulsli lampaning jamlangan nurlaridan, eksimer lazerlarda kimyoviy reaksiya energiyasidan foydalaniladi.

Ishlovchi qism – lazer nurlanishi to'lqin uzunligi va boshqa xususiyatlarini belgilovchi asosiy omil. Lazer qurish mumkin bo'lgan yuzlab hatto minglab ishchi qismlar mavjud. Ishlovchi qism qo'zg'atuvchiga qaratib o'rnatiladi. Bundan ko'zlangan maqsad fotonlarning majburiy nurlanishiga olib keladigan electron ko'chishi inversiyasi effektiga erishishdir.

Lazerlarda asosan quyidagi ishchi qismlar qo'llaniladi:

Suyuqlik, masalan bo'yoqlarga asosan yaratilgan lazerlarda rodamin yoki kumarin, methanol etanol, etilenglikol.

Gazlar, masalan karbonat angidrid, argon, krypton, yoki geliy neon lazerlaridagidek aralashmalar.

Qattiq jismlar, kristall yoki oynadagidek. Yaxlit modda odatda xrom, neodim, erbiy yoki titan ionlari bilan legirlanadi. Ko'p qo'llaniladigan kristallar: alyuminiy itteriyli granat, litiy itteriyli ftorid, sapfir va silikat oyna. Eng keng tarqalgan variant: titan- sapfir, xrom – sapfir (shuningdek rubin ham), xrom bilan legirlangan stronsiy litiy alyuminiy ftorid, neodimli oyna.

Qattiq jisimli lazerlar odatda impulsli lampa yoki boshqa lazer bilan ta'minlanadi.

Yarim o'tgazgichlar. Energetic pog'onalar bo'yicha elektronlarning ko'chishini nurlanish bilan boshqarish mumkin bo'lgan moddalar. Yarim o'tgazgichli lazerlar juda ixcham, elektr manbaidan quvvat oladi. Bu ularning kompakt disk o'quvchi qurilmalar kabi maishiy texnikalarda ham qo'llash imkonini beradi.

Optic resonator ikki oynadan iborat bo'lib, lazer ishchi qismi atrofi bo'ylab joylashgan bo'ladi. Ishchi qismning majburiy nurlanishi oynalarda akslanadi va yanada kuchayadi. To'lqin tashariga chiqqunicha ko'p bora akslanaishi mumkin. Murakkab lazerlarda resonator sifatida to'rt va undan ortiq oyna qo'llanishi mumkin. Bunday oynalarning sifatli tarzda tayyorlanishi va to'g'ri o'rnatilishi yaratilayotgan lazer tizimining sifatini belgilovchi omil hisoblanadi.

Shuningdek, lazer tizimida turli effect olish maqsadida qo'shimcha qurilmalardan masalan aylanuvchi oyna, modulyator, filtr va yutuvchilardan foydalaniladi. Ularning qo'llanishi lazer nurining xususiyatlarini o'zgartiradi, masalan impulslar yoki to'lqin uzunligini.

Geliy – neonli lazer markazda charaqlab turgan nur aslida lazer nuri emas, balki elektr razryad bo'lib xuddi neon lampalaridagi kabi nurlanishni yuzaga keltiradi. Elektronlar ko'chishi bundan tashqari mazer larga ham asos qilib olingan. Mazerlar ham lazerlarga o'xshash bo'lib, faqat mikroto'lqinli diapazonda ishlaydi. Birinchi mazerlar 1953-1954 yillarda Basov va Proxorov tomonidan shuningdek ulardan mustaqil ravishda amerikalik olim Tauns va uning hamkasblari tomonidan yaratilgan. Basov va Proxorovning ikkitadan ortiq energetic darajada faoliyat ko'rsatuvchi kvant generatorlaridan farqli o'laroq Taunsning mazeri doimiy rejimda ishlay olmasdi. 1964 yilda Basov, Proxorov va Tauns "Kvant elektronikasi sohasidagi mazer va lazerlarga asoslangan generatorlarni yaratishga imkon beruvchi izlanishlari uchun" Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar. Lazer nuri quvvati juda yuqori bo'lib po'lat va boshqa metallarni kesishi mumkin. Lazer nurini kichik bir nuqtaga yig'ib bo'lsada difraksiya tufayli u hamisha noldan farqli bo'lgan o'lchamga ega bo'ladi. Boshqa tomondan fokuslashtirilgan lazer nuri

o'lchami boshqa yo'l bilan hosil qilingan nur o'lchamidan albatta kichik bo'ladi. Masalan geliy neonli lazerning nuri yerdan oyga tushirilganda 1,5 kilometrlik radiusda yoyiladi. Albatta, ba'zi lazerlar ayniqsa yarim o'tkazgichlilari kichik o'lcham evaziga yoyiluvchan nur taratadi, ammo bu muammoni linzalarni qo'llash orqali hal etish mumkin. Lazerlar yaratilgan dastlabki vaqtlardayoq ularni qo'llanish sohasini o'zi topuvchi qurilmalar deb atashgan. Darhaqiqat lazerlar ko'z nuqsonlarini tuzatish sohasidan tortib transport vositalarini boshqarishgacha, fazoviy parvozlardan tortib termoyadro sintezigacha bo'lgan sohalarni qamrab oldi. Lazer XX asrning eng muhim ixtirolaridan biri bo'lib qoldi. Fan va sanoatda lazerlarning keng miqyosda qo'llanilishi ularning ajoyib xususiyati – kogerentligi monoxromatikligi va nurlanish quvvatining yuqori darajada yassiligi bilan bevosita bog'liq.

Misol uchun lazer nurining kogerentligi uni ko'rish spektrida bir necha yuz nanometrli difraksion oraliq o'lchamida bir nuqtaga yig'ish imkonini beradi. Bu lazerli yozuvchi qurilmalarga gigabaytlarda o'lchanuvchi ma'lumotlarni optik disklarda saqlash imkonini beradi. Yaxshi jamlangan nur qiyin eruvchan metallarni kesish, eritish, xatto bug'lantirib yuborish uchun kifoya qiladi. Masalan legirlangan neodli alyuminiy itteriyga asoslangan lazer ikkilanga chastotada 532 nanometr uzunlikdagi to'liqda ishlaydi va bir yo'g'I 10 Watt quvvat bilan bir qancha kvadrat santimetrlarga bir qancha megawatt energiyani yo'naltirishga xizmat qiladi. Aslida, albatta, nurni difraksiya masofasida yig'ish mushkul. Xavfsizlik choralari. Xatto kamquvvatli lazerlar ham (bir qancha millivatt quvvatli) ko'rish uchun xavfli bo'lishi mumkin. Ko'z gavhari lazer nuri tushishidan ko'rish xususiyatini qisman yoki to'liq yo'qotishi mumkin. Buning uchun nurning ko'zga bir necha soniya tushishi kifoya qiladi.

Lazerlar xavfsizligiga ko'ra to'rt guruhga ajratiladi. Birinchisi xavfsiz bo'lib, eng xavflisi to'rtinchisi hisoblanadi. Uning hatto tarqalgan nuri ham ko'z yoki terining kuyishiga olib kelishi mumkin. Birinchi guruhga mansub lazerlar yoki lazerli sistemalar ruhsat tilgan yuqori nurlanish me'yoridan ortiq bo'lmagan quvvatga ega. Birinchi guruhga mansub lazer yoki lazer sistemalari inson ko'ziga zarar keltirish

xususiyatiga ega emas. Kamquvvatli lazerlar ikkinchi guruhga mansub bo'lib, ma'lum vaqt davomida lazer nurining o'ziga tikilib turilganda inson ko'ziga zarar keltirishi mumkin. Uchinchi guruhga mansub lazerlar va lazerli tizimlar ularga agar qurollanmagan ko'z bilan qisqa vaqt davomida qaralsa ko'zga zarar qilmaydi, lekin durbin yoki teleskop orqali qaralsa zarar keltirishi mumkin. Uchinchi guruhning yana bir turi mavjud bo'lib bu turga mansub lazerlar bevosita nurga qaraganda yoki uning oynadagi aksiga tikilganda ko'zga ziyon keltiradi. To'rtinchi guruhga mansub lazerlar va lazer tizimlari yuqori quvvatli bo'lib inson ko'ziga nazar tushganda qisqa impuls orqali, shuningdek, oyna orqali tushgan aksi va tarqalishdagi aksi orqali zarar bo'lishi mumkin. Gazli lazerlar: geliy neonli lazerlar (543nm, 632,8nm, 1,15nm, 3,39nm) argonli lazerlar (458nm, 488nm yoki 514,5nm) karbonat angidrid asosidagi lazerlar (9,6nm, va 10,6) sanoatda metallarni kesish va payvandlashda foydalaniladi, 100 kW quvvatga ega. Uglerod osidlariga asoslangan lazerlar. Qo'shimcha sovutishni talab qiladi. 500 kvv quvvatga ega. Ultrabinafsha nur beruvchi lazerlar mikrosxemalar ishlab chiqarish va ko'z nuqsonlarini davolashda ishlatiladi. Qattiq jisimli lazerlar: rubinli lazerlar (694nm), aleksandritli lazerlar (755nm) impulsli diodlarga asoslangan lazerlar (810nm), Nd: YAG (1064nm); Ho: YAG (2090nm); Er: YAG (2940nm) tibbiyotda qo'llaniladi. Neodiy bilan legirlangan alyuminiy ittriylilazerlar metallarni va qattiq materiallarni aniq kesish, payvandlash va markirovkalashda ishlatiladi. tibbiyotda qo'llaniladi. Neodiy bilan legirlangan alyuminiy ittriylilazerlar metallarni va qattiq materiallarni aniq kesish, payvandlash va markirovkalashda ishlatiladi. itterbiy bilan legirlangan kristalli lazerlar Yb: YAG, Yb: KGW, Yb: KYW; Yb: SYS, Yb: BOYS, Yb: CaF₂ yoki itterbiylik shisha tolaga asoslangan lazerlar. Odatda 1020- 1050 nm diapazonda ishlaydi; kvant kamchiligining pastligiga ko'ra eng samarali; itterbiy bilan legirlangan tolali lazerlar o'zining eng yuqori darajali quvvati bilan qattiq jisimli lazerlar orasida ajralib turadi. Erbiy bilan legirlangan alyumin itteriyli lazerlar (1645nm), tuliy bilan legirlangan alyumin itteriyli lazerlar (2015nm), golmiy bilan legirlangan alyumin itteriyli lazerlar (2096nm), titan sapfirli lazerlar. Spektroskopiada yuqori qisqa impuls larni

generatsiyalashda foydalaniladigan infraqizil nurli lazer. Erbiyli oyna asosida yaratilgan lazerlar, maxsus optic toladan tayyorlanib aloqaning optic tarmoqlarida kuchaytirgich sifatida foydalaniladi. Mikrochipli lazerlar. Ixcham integrallangan qattiq jisimli lazerlar yqori darajali yorqinlikdagi lazerli ko'rsatkichlarda keng miqyosda foydalaniladi. Yarim o'tkazgichli lazer diodlar. Eng keng tarqalgan lazer turlari lazerli ko'rsatkichlar, lazerli printerlarda foydalaniladi, telekommunikatsiyalarda va optic axborot tashuvchilarda qo'llaniladi. Quvvatli lazerli diodlar zamonaviy qattiq jisimli Lazerlarni yig'ishda ishlatiladi. tashqi rezonatorli lazerlar yuqori energiyali impulslarni hosil qilishda ishlatiladi. Bo'yoqlar asosidagi lazerlar. Etil spirit yoki etilenglikol dan foydalanib yaratilgan. Qo'yilgan topshiriqqa ko'ra bu favqulodda qisqa spektrli uzluksiz nurlanish ham, ultra qisqa impulslar ham bo'lishi mumkin. Bu impulslarda to'plangan yuqori energiya izlanayotgan namunada dog' shaklida yig'ilishi mumkin. To'lqinning o'lchamlaridan kelib chiqqan holda chiziqli bo'lmagan optic effektlarni beradi. Lazer nurlari qutblanishini boshqarish esa o'rganilayotgan jarayonlarni koggerent nazorat qilishga imkon beradi. Oyga uchish vaqtida uchuvchili va uchuvchisiz apparatlar tomonidan oy yuzasiga burchakli akslantirgichlar o'rnatilgan. Yerdan teleskop yordamida maxsus jamlangan nurni oyga yuborishdi va oyga borib qaytish vaqtini o'lchashdi. Yorug'lik tezligiga asoslangan holda oygacha bo'lgan masofa aniq o'lchandi. Bugungi kunda oy orbitasi o'lchamlari bir necha santimetr gacha aniqlikda o'lchangan. Lazerlarning ba'zi turlari piko va femto sekundlarda o'lchanadigan qisqa yorug'lik nurlari chiqarishi mumkin. Bunday impulslardan kimyoviy reaksiyalar o'tkazish va ularni taxlil qilishda foydalanish mumkin. Yuqori darajali impulslardan kimyoviy reaksiyalarni vaqt bo'yicha nazorat qilishga imkon beradi. Bu qisqa yashovchi birikmalrni aniqlshda qo'l keladi. Impulsning qutblanishi manipulyatsiyasi kimyoviy reaksiya yo'nalishini bir qancha variantlardan eng maqbulini tanlab olshga imkon beradi. Bunday uslubdan biokimyoda oqsillarni o'rganishda foydalaniladi. Lazerli sovutish. Lazerli sovutish bo'yicha dastlabki tajribalar ion tuzoqlarida ionlar bilan o'tkazilgan. Ionlar tuzoq doirasida elektr

maydon va magnit maydon yordamida ushlanib turdi. Bu ionlar lazer nurlari bilan yoritilib fotonlar bilan bog'liqligi tufayli har bir zarbdan so'ng energiyasini yo'qota bordi. Bu effect juda past temperaturaga erishish maqsadida qo'llaniladi. Keyinroq lazerlar takomillashuvi jarayonida bugungi kunda keng miqyosda qo'llanilayotgan nisbatan afzalroq bo'lgan qattiq jismlarni sovutishning antistoks usuli kabi yangi usullar topildi. Bu uslub atomlarning asosiy electron vaziyatidan uyg'onishiga emas, balki bu vaziyatning tebranish darajasiga asoslanadi. Keyinroq atom nursizlangan shaklda uyg'ongan holatga o'tadi va qo'zg'algan electron darajadan asosiy vaziyatga o'tayotganda foton chiqaradi (bu foton dastlabki fotonga nisbatan yuqori energiyaga ega bo'ladi). Atom fonon yutadi va holat yana takrorlanadi. Kristallarni azot va geliy harorati darajasigacha sovuta oladigan tizimlar allaqachon yaratilgan. Sovutishning bu uslubi fazoviy qurilmalarni yaratishda ananaviy sovutish uslublarini qollab bo'lmaydi bu vaziyatda sovutishning yuqorida aytib o'tilgan uslubidan foydalanish mumkin. Lazerli masofa o'lchagich. Lazerli masofa o'lchagich – impulsli lazer va nurlanish detektoridan iborat bo'lgan qurilma. Yorug'lik tezligi ahamiyatini anglagan holda nurning akslantiruvchigacha borib qaytishga ketgan vaqtni o'lchagan holda lazer bilan akslantiruvchi ob'yekt oralig'idagi masofani aniqlash mumkin. Mo'ljaligacha bo'lgan masofani aniqlash usulidan qurollarni masalan tank quvurini ko'rishda foydalanish mumkin. Lazerlardan boshqa harbiy maqsadlarda – nishonga olishning harbiy tizimlarida foydalanish mumkin. Bunday tizimlar o'zida kam quvvatli lazerlarni namoyon qiladi. Ular samolyotlardan uchirilgan raketa yoki aqlli bombalarni yo'naltirishga mo'ljallangan. Samolyotdan uchirilgan raketa lazer nuri ortidan avtomatik tarzda yo'nalishini o'zgartira oladi, bu orqali esa mo'ljalga aniq tekkizish imkoniyati ortadi. Lazer nurlantirgich samolyotning o'zida ham, yerda ham bo'lishi mumkin. Lazer yo'naltirgich qurilmalarida odatda infraqizil nurli lazerlardan foydalaniladi. Bundan ko'zlangan maqsad uning faoliyatini dushman kuzatuvidan yashirishdir. Ko'pchilik lazerlardan harbiy maqsadlarda foydalanish deganda birinchi navbatda piyodalar, tanklar va hatto

samolyotlarni yo'q qilishga mo'ljallangan lazerlarni hayolga keltiradi. Amalda esa bunday g'oyalar jiddiy muammolarga uchraydi.

Zamonaviy lazer texnologiyalarida insonga jarohat yetkazishi mumkin bo'lgan qurolni yaratish imkoniyati yo'q. Chunki u juda qo'pol ko'rinishga ega bo'ladi va uni bir kishi olib yura olmaydi. Tanklarni ishdan chiqaruvchi lazerlarni ham yaratish juda mushkul, chunki ular past darajadagi tebranishlarga hamsezuvchan bo'lib keng miqyosda qo'llanishda noqulayliklar tug'diradi. faqatgina dushman ko'zini ko'r qilib qo'yadigan lazerlar yaratish imkoniyati mavjud bo'lib, bunga kam quvvatli lazerlar bilan ham erishish mumkin. Shunga yarasha ular ixcham bo'ladi. Hozirgi kunda urush olib borishning xalqaro qoidalariga muvofiq urushda lazer qurilmalaridan foydalanish ta'qiqlangan. Ba'zi istisno holatlarda dushman merganing ko'zini ko'r qilishda va yashirin o't ochish nuqtasini aniqlashda lazerlardan foydalanishga ruxsat etiladi.

Sanoat lazerlari paydo bo'lishi bilan jarroxlikda yangi davr boshlandi. Bu borada metallarni lazerda qayta ishlash sohasi mutahassislarining yajribalari qo'l keldi. Ko'zning kochib ketgan shoh pardasini lazer yordamida eritib yopishtirish nuqtaviy aloqa payvandi hisoblanadi. Lazer skalpel avtogen keskich hisoblanadi. Suyaklarni payvandlash – alangalantirish orqali zich payvandlashdir. Muskul to'qimalarini birlashtirish ham payvandlash vositasida amalgam oshiriladi. Lazer nurlanishi qandaydir ta'sir ko'rsatishi uchun to'qima uni yutishi lozim. Tibbiyotda eng ko'p qo'llaniladigan lazer karbonat angidridli lazerdir. Boshqa lazerlar monoxromatikdir. Ular isitadi, parchalaydi yoki ba'zi bir alohida xususiyarga ega bo'lgan to'qimalarni payvandlaydi. Misol uchun argon lazerining nuri shaffof dag'al jismdan erkin tarzda o'tib o'zining energiyasini hujayraga beradi va qizil rangga yaqin rang bilan boyaydi. Karbonat angidridli lazer ko'p hollarda qo'l keladi. Masalan turli rangdagi to'qimalarni bir biriga payvandlash yoki bir biridan ajratishda. Ammo bunda boshqa muammo yuzaga keladi. Qon va limfa bilan to'la to'qimalar ko'p suvni o'zida tutib turadi, lazer nurlanishi energiyasi esa suvli sharoitda o'z kuchini yo'qotadi.

Lazer energiyasini oshirish mumkin. Lekin bu to'qimalarning kuyishiga olib kelishi mumkin. Jarroxlik lazerlari yaratuvchilari bunday noqulayliklardan qochishlari lozim bu esa uskuna narxini keskin oshirib yuboradi. Metal payvandlash mutaxassislariga azaldan ma'lumki ingichka metall qatlamlarini kesishda ular bir-biriga zich turishi kerak, nuqtaviy tutashtiruvchi payvandda esa payvandlanayotgan metallarning mustahkam bo'lishi uchun qo'shimcha bosim zarur. Jarrohlikda bu uslub professor Skobelkin tomonidan qo'llangan. Skobelkin va uning hamkasblari to'qimalarni payvandlashda ularni ma'lum bosim ostida ushlash taklifini bildirdilar. Bu qonni siqish imkonini berardi. Yangi uslubni qo'llash uchun anchagina yangi uskunalr yaratishga to'g'ri keldi. Ulardan bugungi kunda oshqozon ichak jarrohligida, o'pka, jigar ustida bajariladigan jarroxlik amallarida keng foydalanilmoqda.

3. Kvant sistemada yorug'likning yutilishi va chiqarilishi.

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

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

c - ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги.

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



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

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

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

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

Е ва Н-тўлқиннинг электрик ва магнит майдонларининг ўрта квадратик кучланганлиги.

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

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

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

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

n_p -фотонлар зичлиги. У холда спектрал зичлик

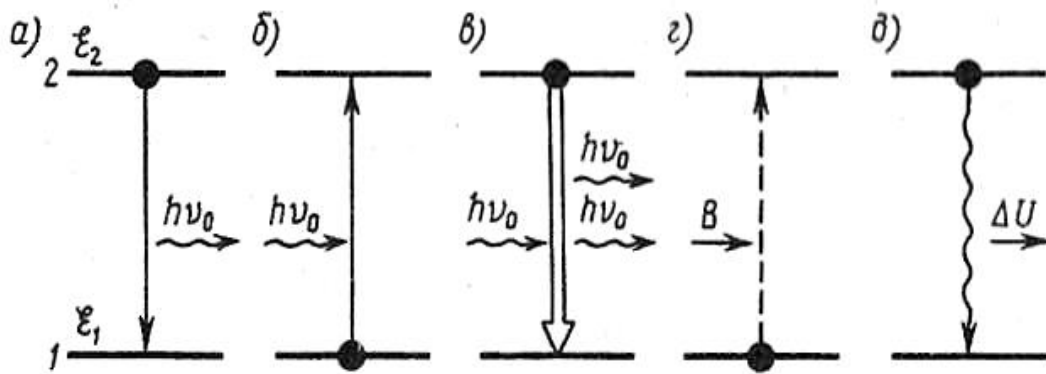
$$\rho_\nu = 8\pi \nu^2 kT/c^3 \quad (5).$$

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

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

натижаларини жуда тўғри ифода этар экан (Планк формуласи).

А.Эйнштейн 1916 йили шу формулани квант тасаввурлар асосида исботлаш учун квант системаларда бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтишда одатдаги ўз-ўзидан ва нурланишсиз ўтишлардан ташқари мажбурий нурланишли ўтишлар бўлиши кераклигини айтди. Квант системаларда электромагнит тўлқинлари таъсирида мажбурий ўтишлар ҳам бўлиши мумкин.



2-расм. Квант системаларда а) нурланишли ўтиш. (а,б,в) ва нурланишсиз ўтиш (г,д)

Юқорироқ энергияли ε_1 ҳолатдан ε_2 ҳолатга ўтишда атом (молекула)

$$h\nu_0 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \quad (7)$$

га тенг ёруғлик кванти чиқаради.

Заррачанинг қўзғалган ҳолатида яшаш вақти ўз-ўзидан ўтишнинг Эйнштейн коэффициенти билан белгиланади

$$\tau_0 = 1/A_{21} \quad (8)$$

A_{21} - бирлик вақтида ε_1 ҳолатдан ε_2 га, ёки аксинча ўтиш эҳтимоллиги.

ε_2 ҳолатидаги заррачалар зичлиги N_2 ни ўзгариши

$$N_2 = N_{20} \exp(t/\tau_0) \quad (9)$$

Ўз-ўзидан ўтишда ҳосил бўлган ёруғлик квантлари бир хил энергияга эга бўлганлиги учун, улар бир-бирига боғлиқ эмас ва уларни вужудга келиш эҳтимоллиги тенг бўлгани учун улар ҳосил қилган электромагнит тўлқинлар фазаси ва қутбланиши билан бир-бирига боғлиқ бўлмайди. Нурланишсиз ўтишларда ортиқча энергия бирор учинчи заррача B га берилади ва бунда $\Delta U = -\Delta \varepsilon$ га тенг бўлган кинетик ёки иссиқлик энергияси ажралади.

Мажбурий ўтишлар A заррачани энергияси $h\nu_0 = \Delta\varepsilon$ га тенг бўлгандагина амалга ошиши мумкин.

Айнимаган ҳолатлар учун ёруғликнинг мажбурий ютилиши ва чиқарилиши эҳтимолликлари тенг, яъни $B_{12}g_1 = B_{21}g_2$.

B_{12}, B_{21} - мажбурий ютилиш ва нурланиш учун Эйнштейн коэффиценти. g_1, g_2 – энергияли ҳолатларнинг хиссаси. Бу ҳолда

$$\rho_\nu = \frac{A_{21}g_2}{g_1B_{12}[\exp(h\nu_0/kT)-1]} \quad (10)$$

$h\nu \ll kT$ бўлганда

$$\rho_\nu = A_{21}g_2kT/(g_1B_{12}h\nu) \quad (11)$$

Буни (5) билан солиштирсак

$$B_{12} = A_{21} \frac{c^3 g_2}{8\pi h \nu^3 g_1} \quad \text{ва} \quad B_{21} = A_{21} \frac{c^3}{8\pi h \nu^3} \quad (12)$$

ҳосил бўлади. Бу эса ўз-ўзидан ўтиш ва мажбурий ўтишларнинг бир-бирига боғловчи ифодадлар.

Демак, ўз-ўзидан нурланишда ажралувчи энергия зичлиги $\bar{p}_\nu \sim \nu^2$ ва мажбурий нурланишда $\bar{p}_\nu \sim \nu^3$ экан.

Шунинг учун, заррачаларнинг ўз-ўзидан ва мажбурий нурланишлари хиссаси ҳар хил тўлқин узунлигидаги электромагнит тўлқинлари учун ҳар хил бўлади. Қўзғолон квант системанинг яшаш вақти чекли, яъни τ_0 бўлгани учун ноаниқлик принципига асосан системани энергияси ε ва τ_0 ни ўлчашдаги ноаниқлик

$$\Delta\varepsilon \Delta t \gtrsim h/2\pi \quad (13)$$

Шартни қаноатлантириш зарур.

$\Delta t \sim \tau_0$ бўлгани учун

$$\Delta\varepsilon\Delta \simeq h/(2\pi\tau_0) \text{ ва } \Delta\nu_0 = \frac{1}{2\pi\tau_0} = A_{21}/(2\pi)$$

Бу эса заррача нурланишининг табиий кенглиги дейилади. Бу ν га боғлиқ бўлгани учун $\sim \nu^3$ конуният билан ўзгаради.

Ҳар қандай релаксация жараёнлари қўзғолон ҳолатни яшаш вақтини камайтиргани учун, бу кенгликни ортишига олиб келади.

Бу нурланиш спектрини кенгайиши мажбурий ўтишлар эҳтимоллигини камайтиради $\sim \Delta\nu^{-1}$.

Мажбурий нурланиш жараёнлари қўзғалган заррачани резонанс квантлар билан ўзаро таъсирлашув жараёни бўлгани учун уни кесим юзаси билан баҳолаш қулай. ν_0 частотали ва ρ_0 зичликдаги монохроматик тўлқин таъсиридаги нурланиш эҳтимоллиги

$$W_{21}(\nu_0) = n_p \sigma_{21}(\nu_0) C \quad (15)$$

$\sigma_{21}(\nu_0)$ -кесим юзаси, n_p –фотонлар зичлиги ва ρ_0 ларни

$$\rho_0 = n_p h \nu_0$$

кўринишда ёзиш мумкин бўлганлиги учун

$$\sigma_{21}(\nu_0) = h \nu_0 \frac{2B_{21}}{c \pi \Delta \nu_2} \quad (16)$$

ифодани оламиз. Демак, бу ε_1 дан ε_2 га ўтиш учун ν_L частоти электромагнит тўлқинларни тутиб олиш кесим юзаси ва у Эйнштейн коэффициенти B ва ν_L га боғлиқ.

Буни бошқачароқ қилиб ёзсак, тўқнашишлар туфайли ўтишлар учун:

$$\sigma_0 = \frac{A_{21} \lambda^2}{4\pi^2 g_1 \Delta \nu_L}$$

σ_0 -мажбурий фотоўтиш кесими.

Доплер шаклидаги чизиклар учун

$$\sigma_0 = \frac{A_{21}\lambda^2\sqrt{ln2}}{4\pi^{3/2}g_1\Delta\nu_D}$$

σ_0 -квант заррача тури, тўлқин узунлигига қараб 10^{-12} дан 10^{-24} гача ўзгариши мумкин.

4.Инверс тўлдирилган муҳитлар ҳосил қилиш.

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

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

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

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

кўринишида ёзиш мумкин. Бундаги

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

актив муҳит коэффиценти дейилади.

$n_p \sim I$ бшлгани учун

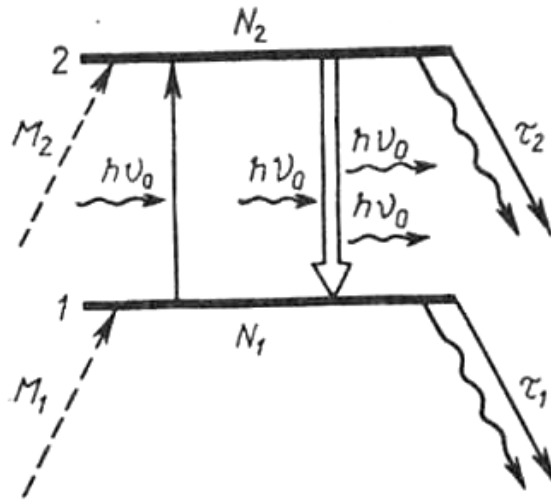
$$\frac{dI}{dx} = \sigma_0 k I \quad (3.4)$$

деб олиш мумкин.

$k > 0$ бўлса муҳитда барча ёруғлик кучаяди.

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

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



3-расм. Сатҳлараро инверс тўлдириш ҳосил бўлиш жараёнлари.

Расмда кўрсатилганидек 1 ва 2 ҳолатларда қўзғолган заррачаларни умуман йўқолиш тезлиги M_1 M_2 ва τ_1 τ_2 вақтлар билан таърифлайлик. Мажбурий ўтишлар бўлмаганда заррачаларни ифодаловчи тенглама

$$\begin{aligned} dN_1/dt &= M_1 - (N_1/\tau_1) = 0 \\ dN_2/dt &= M_2 - (N_2/\tau_2) = 0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

N_1 ва N_2 ларни бу ифодалардан топиб, (3.3) га қўйсак, бу ҳолат учун кучсиз сигнални кучайтириш коэффицентини топамиз.

$$K_0 = \sigma_0(M_2\tau_2 g_1 - M_1\tau_1 g_2) \quad (3.6)$$

Бунда кўпинча инверс тўлдирилган муҳитни ҳосил қилиш учун юқоридаги сатҳни тўлдириш тезлиги ва ундаги заррачаларни яшаш вақти катта ва пастки сатҳники кичик бўлиши керак.

Электромагнит майдон кучланганлигини ортиши билан мажбурий ўтишлар орта боради ва заррачаларни тақсимооти қуйидагича бўлади:

$$dN_1/dt = M_1 - (N_1/\tau_1) + n_p c \sigma_0 N_2 g_1 - n_p c \sigma_0 N_1 g_2$$

(3.7)

$$dN_2/dt = M_2 - (N_2/\tau_2) - n_p c \sigma_0 N_2 g_1 + n_p c \sigma_0 N_1 g_2$$

Буни ечиб, кучайтириш коэффициентини аниқлаш мумкин

$$K = \frac{M_2 \tau_2 g_1 - M_1 \tau_1 g_2}{1 + n_p c \sigma_0 (g_1 \tau_2 + g_2 \tau_1)} \quad (3.8)$$

Бундан кўринишича n_p ортиши билан K камаяди. K 2 марта камаядиган n_p ни n_s – яъни фотонлар зичлигини тўйиниш қиймати деб олсак

$$n_3 = \frac{1}{c \sigma_0 (g_1 \tau_2 + g_2 \tau_1)} \quad (3.9)$$

ва шунга мос ҳолдаги ёруғлик интенсивлигини тўйиниш қиймати

$$I_s = ch v_0 n_s \frac{h v_0}{\sigma_0 (g_1 \tau_2 + g_2 \tau_1)} \quad (3.10)$$

Мана шу n_s I_s ва K_0 лар актив муҳитни белгиловчи катталиклар ҳисобланади. Ифодалардан кўринишича бу катталиклар нурланиш интенсивлигига боғлиқ эмас.

Агар $\tau_2 g_1 \gg \tau_1 g_2$ бўлса, муҳит инверс тўлдирилганлик мавжуд бўлади ва (3.9) ни $g_1=1$ олган ҳолда

$$n_s \sigma_0 c = 1/\tau_2 \quad (3.11)$$

деб ёзиш мумкин. Бу ифодани ўнг томони n_s зичликдаги фотонлар (ёки I_s интенсивлигидаги) резонанс нурланиш таъсирида вужудга келадиган мажбурий нурланишлар бўлгани учун n_s ва I_s лар мажбурий ўтишлар эҳтимоллиги заррачаларни бошқа сабабларига кўра ўтиши (сўниши) эҳтимоллигига тенг бўладиган ҳолатдаги қийматлар экан.

(3.9) ва (3.10) ларни (3.8) га қўйсак

$$K = \frac{K_0}{1 + n_p/n_s} = \frac{K_0}{1 + I/I_s} \quad (3.12)$$

хосил бўлади. Бундан кўринишича $I > I_s$ K камаяди. $I \rightarrow \infty$ да $K \rightarrow 0$, яъни электромагнит тўлқинларни ютиш ва нурланиш жараёнлари эҳтимоллиги тенг бўлиб қолади.

Муҳитдаги сатҳларни кучайтириш коэффициентининг вақт бўйича ўзгариши унинг тўлдирилишига боғлиқ. Агар $t=0$ дан юқориги сатҳини M_2 тезлик билан тўлдирила бошласа

$$dN_2/dt = M_2 - (N_2/\tau_2) \quad (3.13)$$

$t=0$ да $N_2=0$ бўлса, ечим:

$$N_2 = M_2 \tau_2 (e^{t/\tau_2} - 1) \quad (3.14)$$

бўлади. Бу ҳолда ($N_1=0$ деб оламиз.)

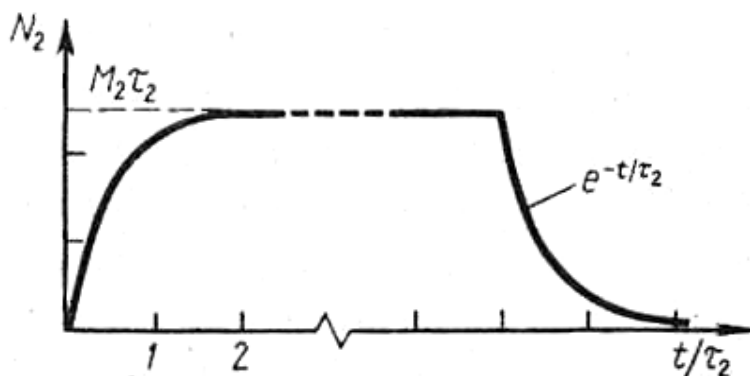
$$t \ll \tau_2 \quad N_2 \approx M_2 t$$

$$t \gg \tau_2 \quad \exp t/\tau_2 \gg 1 \quad N_2 \approx M_2 \tau_2$$

Кўзғалиш (ташқи электромагнит тўлқин) тўхтатилганда

$$N_2 = M_2 \tau_2 \exp(-t/\tau_2) \quad (3.15)$$

кўринишда бўлади, яъни юқориги сатҳ тўлдирилганлик даражаси экспотенциал равишда камаяди. Бунда τ_2 шу ҳолатнинг яшаш вақти $\ln N_2 = \ln(M_2 \tau_2) - t/\tau_2$ дан τ_2 ни ҳисоблаш топиш мумкин.



**4-расм. Дамлаш бошланганда ва тўхтатилганда юқориги сатҳни
тўлдирилишини ўзгариши.**

Агар ҳолатни қўзғотик юқори интенсивликдаги кучланиш билан амалга оширилса, $I \gg I_s$ ҳолатни камайтириш тезроқ бўлади ва уни камайиш вақти

$$\tau_T^{-1} = \tau_2^{-1}(I\sigma_{21}/h\nu) \quad (3.16)$$

бўлади. $I \gg I_s$ да (3.16) ни 2-ҳади биринчисидан жуда катта ва

$$\tau_T \cong \tau_2 I_s / I \quad (3.17)$$

бўлади.

Энди инверс тўлдирилган муҳит ҳосил қилиш усуллари кўрамиз. Фақат икки энергетик сатҳли системаларда инверс ҳолат ҳосил қилиш анча мураккаб, чунки, $N_2 g_1 = N_1 g_2$ бўлганда ютилиш ва нур чиқариш эҳтимоллиги қарийб тенг. Инверс тўлдирилиш юқориги ва пастки сатҳларни тўлдириш ва ютилиш жараёнлари ҳар хил бўлгандагина юзага келади.

Шунинг учун инверс тўлдирилган муҳитни ҳосил қилиш учун камида 3 та сатҳ бўлиши зарур. Бундай системада 2 ўзгарувчан сатҳ ва 1 асосий сатҳлар инверс тўлдирилиши 3 сатҳ орқали, яъни $3 \rightarrow 2$ нурланишсиз ўтиш орқали юз беради.

Бу ўтиш эҳтимоллиги S_{32} деб белгиласак, 1 ва 3, 1 ва 2 сатҳлар ўртасидаги тўғри ва аксинча ўтишлар эҳтимолликларини W_{13} , W_{31} , W_{12} ва W_{21} деб олсак, у ҳолда бу ўтишлар учун нейтраллик тенгламалари

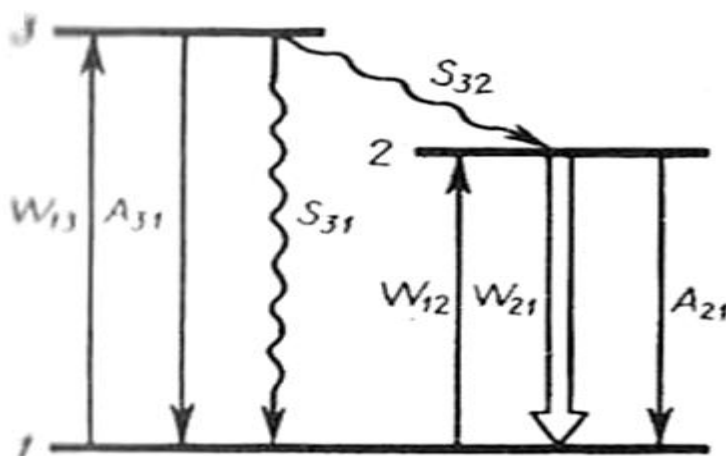
$$\left. \begin{aligned} dN_3/dt &= W_{13}N_1 - (W_{13} + W_{31} + S_{32})N_3 = 0 \\ dN_3/dt &= W_{13}N_1 - (A_{21} + W_{21})N_2 + S_{32}N_3 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

ва

$$N_0 = N_1 + N_2 + N_3 \quad (3.19)$$

бўлади. Бу ерда N_0 -резонанс ўтиши мумкин бўлган актив заррачалар умумий сони, N_1, N_2, N_3 -уларнинг сатҳлардаги қийматлари, A_{31} A_{21} -ўз-ўзидан ўтиш эҳтимолликлари (.18) ва (3.19) лардан

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{W_{13}(S_{32}/W_{31} + A_{31} + S_{32}) + W_{12}}{A_{21} + W_{21}} \quad (3.20)$$



5-расм. Уч сатҳли квант системасида инверс тўлдирилиши ҳосил бўлиши.

2 сатҳни тўлдирилиши учун

$$A_{31} \ll S_{32} \quad W_{31} \ll S_{32} \quad (3.21)$$

бўлиши зарур. У ҳолда,

$$N_2/N_1 \approx (W_{13} + W_{12}) / (A_{21} + W_{21}) \quad (3.22)$$

7ёки

$$(N_2 - N_1)/N_1 \approx (W_{13} - A_{21}) / (A_{21} + W_{21}) \quad (3.23)$$

Бу шартлар бажарилганда $N_3 \rightarrow 0$ ва $N_0 \approx N_1 + N_2$ 1 ва 2 сатҳларда айланиш бўлмаган ҳолда ($W_{21} = W_{12}$)

$$N_1 = \frac{N_0(A_{21}+W_{21})}{A_{21}+W_{13}+2W_{13}} \quad (3.24)$$

бу ифوردани (3.23) га қўйсак, бироз ўзгаришлардан кейин

$$N_2 - N_1 = N_0 \frac{W_{13}-A_{21}}{A_{21}+W_{13}+2W_{12}} \quad (3.25)$$

ни оламиз. Бундан кўринадики, $N_2 > N_1$ бўлиши учун $W_{13} = A_{21}$, яъни 3 чи сатҳни тўлдириш эҳтимоллиги 2-сатҳдан ўз-ўзидан нурланишдан катта бўлиши керак экан.

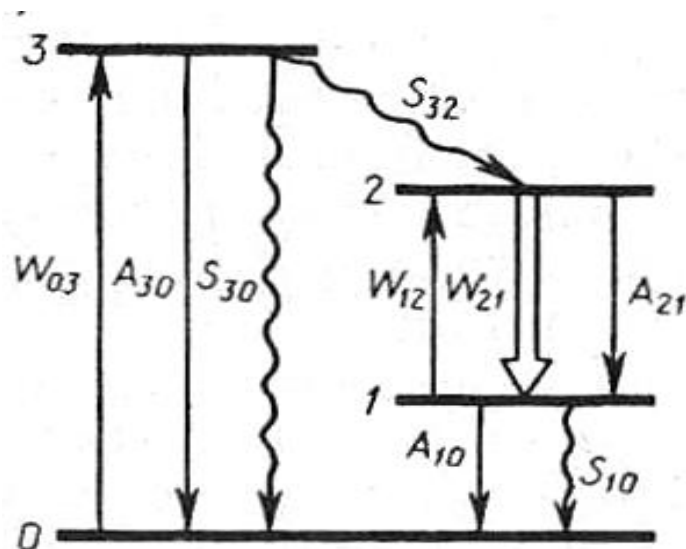
Эътибор бериш керак-ки, уч сатҳли системада $N_0 \approx N_1 + N_2$ ва $N_2 > N_1$ бўлишини $N_0 - N_1 > N$ деб ёзиш мумкин бўлгани учун $N_1 > N_0/2$ бўлиши керак.

Бу демак, инверс тўлдирилган муҳит ҳосил қилиш учун барча актив заррачаларнинг ярмидан кўпи қўзғолган, яъни 2-сатҳда бўлиши талаб қилинади. Бунинг учун эса, катта қўзғотиш тезлиги ва мос равишда энергия талаб қилинади. Бу қийинчиликни енгиш учун 4 сатҳли системалардан фойдаланиш қулайроқ.

Бу ҳолда инверс тўлдирилиш ўзгарувчан 1 ва 2 сатҳлар ўртасида ҳосил қилинади. 2-сатҳ S_{32} нурланишсиз релаксацион ўтиш орқали тўлдирилади, 1-сатҳ эса нурланиш S_{10} ўтиш орқали бўлмайди. Инверс тўлдирилиш шарти қуйидагича бўлади:

$$W_{13} > A_{31}, W_{13} < S_{32}, S_{10} > W_{21} \quad (3.26)$$

Бу ҳолда 0 сатҳ асосий иштирокчи бўлмагани учун, 1 ва 2- сатҳларни нисбий тўлдирилиши жуда қийин бўлмайди. Бундай система газларда CO_2 , CO молекулалари ва қаттиқ жисмларда неодиим аралашмаси бўлганда амалга ошади.



6-расм. Тўрт сатҳли квант системасида инверс тўлдирилиш ҳосил бўлиши.

Шундай қилиб, лазерларни ишлашини таъминловчи фаол (актив) қисми ҳисобланади ва лазерларни ишчи қисми деб аталади.

Инверс тўлдирилишни ҳосил қилиш учун оптик, газорадряд, газодинамика ва кимёвий усуллар қўлланилади.

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

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

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

Кимёвий усулда инверс ҳолат номувозанатий кимёвий реакциялар туфайли вужудга келади.

5.Lazer nurlanishining kuchayishi

Muvozanatdagi kvant sistema tashqaridan energiyani yutib, energetik sathga chiqadi yoki majburiy nurlanishda yuqori energetik sathdan pastga o'tadi. Hammasi ham bitta zarrachani o'tishiga to'g'ri keladi. Haqiqatdan. nurlanish maydonini energiyasini o'zgarishi kvant sistemalarda yuqoriga va pastga yakka o'tishlar energiyasini farqi bilan aniqlanadi. Agar nurlanish energiyasi uchun $n_2 W_{21} h\nu$ va yutilish uchun $n_1 W_{12} h\nu$ deb belgilash kiritsak, u vaqtda energiya zichligini o'zgarish tezligi

$$\frac{d\rho}{dt} = \left(\frac{n_2}{g_2} - \frac{n_1}{g_1} \right) \frac{g_1 2B_{12} h\nu_P}{\pi \Delta \nu_{ll}} \quad (1.17) \quad \text{bo'ladi.}$$

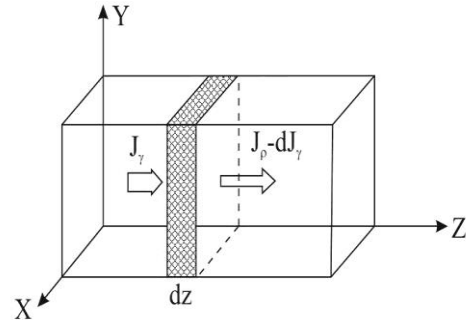
Termodinamik muvozanatlik shartidan va Bolsman taqsimlanishidan ma'lumki, tashqi maydon energiyasi yutilish sezilarli darajada bo'lsa n_2 va n_1 joylashishlar soni o'zgaradi. Bu vaqtda energiyani yutilish tezligi ham o'zgaradi. Biz qarayotgan hol uchun moddadagi maydoni ta'sirini dp/dt ga nisbatan kam deb olamiz, bu esa relaksatsion jarayon ta'sirida tashqaridan berilgan energiyani issiqlik energiyasiga aylanishini ko'rsatadi. Shunday qilib, termodinamik muvozanatda dp/dt nurlanish energiyasini o'sishi uchun

$$\frac{n_2}{g_2} > \frac{n_1}{g_1} \quad (1.18)$$

munosabat bajarilishi kerak. Bu holda energetik sathda aynish bo'lmaydi. Yuqori energetik sathda joylashgann zarrachalar soni pastkiga nisbatan ko'p bo'ladi. Kvant sistemada tashqi nurlanish maydoni ta'sirida yuqori energetik sathlarda joylashishlar soni pastki energetik sathga nisbatan ko'p bo'lsa, u vaqtda energiya zichligini oshishi kuzatiladi. Kvant sistemada yuqori energetik sathlarda joylashishlar soni pastki sathga nisbatan ko'p bo'lsa bunday sistemaga **invers joylashgan sistema** deyiladi. Ba'zi vaqtlarda bunday sistemaga manfiy temperaturali sistema deyiladi. Manfiy temperatura so'z termini formal holda qabul qilingan. Manfiy temperaturali muhitlarda kuchaytirishni amalga oshishi.

Odatda intensivligi $I(\nu)$ yorug'lik qalinligi dz bo'lgan moddadan o'tganda yorug'likning intensivligi $dI(\nu)$ ga kamayadi, chunki yorug'lik moddada yutiladi. Bu rasmda yorug'likning yutilishi sxematik ravishda tasvirlangan. Yutilgan yorug'likning intensivligi Beyer qonuniga muvofiq quyidagicha ifodalanadi:

6-rasm. Yorug'lik intensivlikning z qalinlikdagi moddadan o'tishda yutilishi.



$$\frac{dI(\nu)}{I(\nu)} = -\alpha(\nu)dz \quad (1.19)$$

minus ishora yutilish hisobiga yorug'lik intensivligining kamayishini, $\alpha(\nu)$ esa yorug'likning yutilish koeffitsiyentini ifodalaydi. Aktiv moddada $N_2 > N_1$ tengsizlik o'rinli bo'ladi va u inversion ko'chganlik nomi bilan yuritiladi. Moddada inversion ko'chganlik holatini damlash yo'li bilan hosil qilinadi. Inversion ko'chganlik ham Bolsman taqsimotiga bo'ysunadi. Inversiya hosil qilinganda Bolsman taqsimotiga ko'ra aktiv modda temperaturasi manfiy ishoraga ega bo'ladi. Manfiy ishorali temperaturasini tushunish uchun Bolsman formulasini tekshirib ko'raylik

$N_2 > N_1$ tengsizlik uchun formula quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\ln \frac{N_2}{N_1} = \frac{-\Delta\varepsilon}{kT}. \quad (1.20)$$

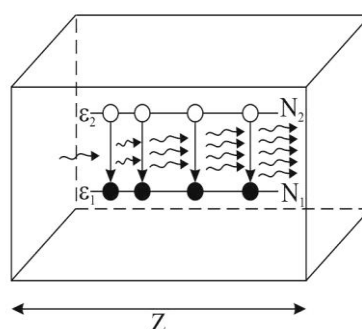
Bundan moddaning temperaturasi T ni topsak, u:

$$T = -\frac{\Delta\varepsilon}{k} \left[\ln \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \right]^{-1} \quad (1.21)$$

Bu esa inversiya hosil qilingan moddaning temperaturasidir.

Bunda $\Delta\mathcal{E}$ – energetik sathlarning energiya farqi, $k = 1,38 \cdot 10^{-15} \text{ erg}\cdot\text{grad}$ va $\ln(N_2/N_1)$ hadlar musbat ishorali. Lekin aktiv moddaning absolyut temperaturasi manfiydir. Inversiya hosil qilingan moddada termodinamika muvozanat buziladi. Aktiv modda uy haroratida bo'ladi. Inversion ko'chganlik moddani sovitmaydi. Inversiya hosil qilgan moddaning harorati Bolsman qonuniga asosan matematik ravishda hisoblanganda temperaturasi qiymati manfiy ishorali bo'lib chiqadi. Shu sababli inversion ko'chganlikni manfiy temperaturali holat ham deb aytiladi.

7-rasm. Yorug'likning kuchayishini sxematik ifodalaydi.



Bu rasmga ko'ra aktiv modda orqali o'tayotgan yorug'likning kuchayishini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{dI(\nu)}{I(\nu)} = G(\nu)dz \quad (1.22)$$

$G(\nu)$ - yorug'likning kuchayish koeffitsienti deyiladi.

Muhitga tushgan ω chastotali nur, modda atomlaridan birining $\omega=(E_n-E_m)/\hbar$ chastotasiga mos kelsa, bu holda atom $E_m \rightarrow E_n$ holatga o'tsa, bu majburiy o'tishda u nurni yutadi. ($E_n > E_m$) , agar $E_n \rightarrow E_m$ o'tish sodir bo'lsa, u holda tushayotgan nurning intensivligi muhitdan o'tishda kuchayadi.

Muhit orqali o'tgan nurning intensivligi Buger qonuniga asosan aniqlanadi:

$$I = I_0 e^{-\mu X}$$

bunda, $\mu > 0$ bo'lsa, nur muhitda yutiladi, $\mu < 0$ bo'lsa, nur muhitdan o'tishda kuchayadi. Kvant generatorida $\mu < 0$ holat vujudga keltiriladi.

Muvozanatda bo'lmagan sistema uchun Bolsman taqsimlanishini ko'rsatadi, ya'ni sistemani invers joylashganini yuqori energetik sathda pastdagiga nisbatan zaryadlangan zarrachalarni soni ko'pligini ko'rsatadi. Haqiqatdan Bolsman taqsimlanishidan ko'rinadiki,

$$E_2 > E_1 \quad \frac{n_2}{g_2} = \frac{n_1}{g_1} \exp \left[-\frac{E_2 - E_1}{KT} \right] \quad \text{bo'lganda } n_2/g_2 > n_1/g_1 \text{ bo'lganidan,}$$

$T < 0$ bo'ladi. Biz uchun eng muhimi, invers joylashgan sistema - bu manfiy yutilish sistemasi bo'ladi, ya'ni kuchaygan sistema bo'ladi. Nurlanish yunalishda c tezlik bilan tarqaluvchi yuguruvchi to'lqin (бегущая волна) uchun yutilish koeffitsienti.

$$\alpha = -\frac{1}{I} \cdot \frac{dI}{dz} \quad (1.23)$$

formula bilan aniqlanadi. Bunda I - intensivlik (nurlanish quvvatini zichligi) 11

Qaysiki, $I = \text{const} \cdot \rho$ va $dz = sdt$ unda

$$\alpha = -\frac{1}{c\rho} \frac{d\rho}{dt} \quad (1.24)$$

(1.23) dan biz

$$\alpha = \left(\frac{n_1}{g_1} - \frac{n_2}{g_2} \right) \frac{g_1 B_{12} h \nu}{c \pi \Delta \nu_n} \quad (1.25)$$

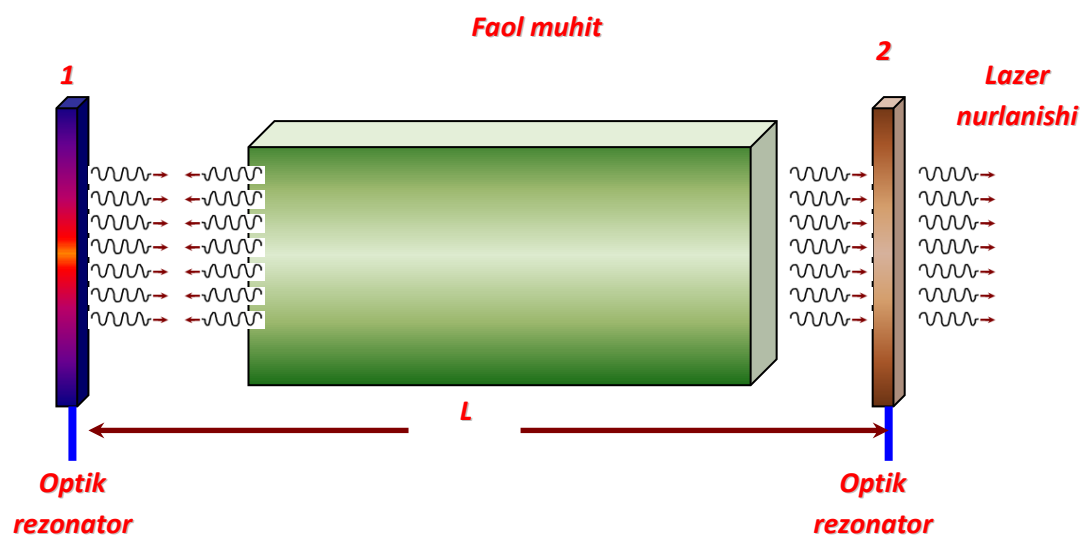
$n_2/g_2 > n_1/g_1$ shart bajarilishi uchun koeffisienti $\alpha > c$ bo'ladi va manfiy yutilish kuzatiladi. Invers kuchayish natijasida olingan induksiyalangan majburiy nurlanish kogerent bo'ladi. Muhitda manfiy yutilish bilan tarqalayotgan maydon amplitudasi n_2 ko'rsatgich bilan eksponensial ravishda ortib boradi ya'ni

$$\left(\frac{n_2}{g_2} - \frac{n_1}{g_1} \right) \frac{g_1 B_{12} h \nu}{c \pi \Delta \nu_n} \quad (1.26)$$

ko'rsatkich bilan ortib boradi.

Lazer – kuchaytirgichlar

Kvant elektronikasida faol muhitning majburiy nurlanishi elektromagnit to'liqlarning kogerentligi kuchaytirish uchun hamda kvant kuchaytirgichlar va generatorlar hosil qilish uchun yaratishda foydalanilar ekan. Bunda kvant kuchaytirgichlar va kvant generatorlar orasidagi farqni aytib o'tish kerak. Kvant kuchaytirgichlar yoki boshqacha qilib aytganda lazer kuchaytirgichlar elektromagnit to'liqlar maydoni kuchlanganligining kuchaytirish uchun xizmat qiladi. Bu ma'noda kvant kuchaytirgichlar lampali yoki yarimo'tkazgichli kuchaytirgichga o'xshaydi. Kvant generatorlari nurlanish manbai bo'lishi kerak. Lazer generatorlar uchun ham musbat teskari aloqa kerak bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, kvant generatorlari bu avtotebranishlar sistemasidir. Bu sistemada elektromagnit tebranishlar generatsiyasi teskari aloqaga mos holdagi tebranishlarning kogerent kuchaytirish jarayonida hosil qilinadi. Oddiy avtotebranishlar sistemasi nazariyasiga binoan kvant generatorlari monoxramatik nurlanish chiqarish kerak. Bunda lazer generatorlari uchun faol muhitda majburiy nurlanishda ikkilamchi kvantlar faqat chastotani emas, balki birlamchi kvantlarning tarqalish yo'nalishlarini ham takrorlashi juda muhimdir. Shuning uchun ham lazer nurlanishi yuqori yo'naltirilganlikka ega. Lazer nurlari esa generatorda avtomat holda hosil bo'ladi. Qachonki, faol muhit hajmiy resonatorga joylashgan bo'lsa va bu rezonator turg'un elektromagnit to'liqlar sistemasi qo'zg'otilgan bo'lsa, generatsiya uchun teskari aloqa mavjud bo'ladi.

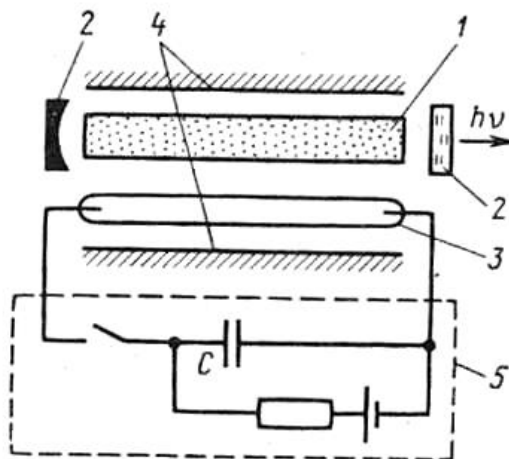


2.1.Қаттиқ жисмлар асосидаги лазерлар.

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

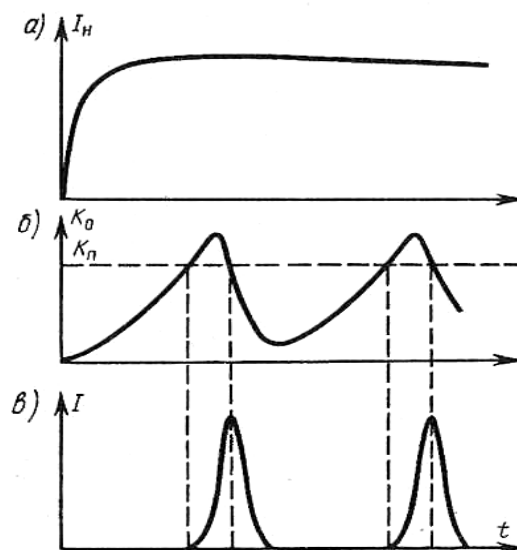
- Катта кучайтириш коэффициентига эга бўлиши;
- Оптик жихатдан бир жинсли;
- Механик мустахкам ва иссиқликка чидамли;
- Технологик ишловларга қулай;
- Оптик нурлаштиришга мойил;
- Катта ўлчамли актив қисмлар тайёрлаш имконига эга;
- Иссиқлик ўтказувчанлиги юқори бўлиши керак.

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



19- расм. Қаттиқ жисмли лазер актив қисм (1) резонатор (2), газ разрядли ёруғлик манбаи (3), қайтаргичлар (4) ва лампани энергия манбаидан (5) иборат бўлади.

Аввал кўрилганидек, лампадан чиққан оптик нур киришма атомлар электронларини юқорироқ сатҳларга ўтказди ва инверс тўлдириш ҳосил бўлади. Бу схемада электр энергиясини когерант нурланишга айланиш жараёнида лампадан келаётган энергия лампани таъминловчи занжирда, газни разрядлашдаги актив атомларни ионлашдан фарқли энергияларни ютилишида, нурлашишсиз ўтишларда, резонатордаги йўқотилишларга ҳам сарфланади. Бу фойдасиз энергия системадан совитиш суюқлиги ёрдамида чиқарилиб юборилади. Кўпчилик қаттиқ жисмли лазерлар $\sim 1\text{нс}$ давомли импульсли режимда ишлайди ва бу режим генерацияни сиқилган (пичковый) режимли деб аталади. Ёруғлик I_n интенсивлик билан узлуксиз тушиб турган бўлса ҳам атомларни ионланиши ярим электронларни юқори энергетик сатҳларга ўтиши $\sim 1_{\text{мкс}}$ давомидаги ва ~ 10 интервалли импульслар кўринишидаги бироз кечувчи сигналлардан иборат бўлади. Бунинг сабаби генерация ва қўзғотиш жараёниларида лазерли актив қисмида катта миқдордаги иссиқлик ажралиши натижасида ишчи қисмни зичлиги ва синдириш кўрсаткичини ўзгариши юз беради. Бу ўзгариш резонатор хусусиятларини ўзгаришига ва шу асосида тебранишларни бўйлама моддасини ўзгаришига олиб келади. Буни яна бир сабаби ишчи қисмни температураси ўзгариши билан актив ионни флюоресценция чизиқлари ҳолати ва кенглиги ҳам бўлиши мумкин.

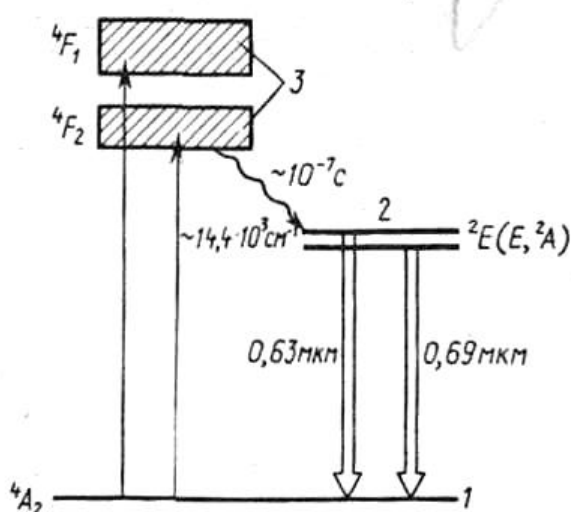


20-расм. Қаттиқ жисмли лазерларда генерация режимида ўз-ўзидан тебранишларни вужудга келиши.

Лазер нурланишининг чўққи кўринишда бўлишга сабаб резонаторда электромагнит тўлқинларни релакцион - тебраниш режими генерацияланиши бўлиши мумкин, чунки энергетик ҳолатларни инверс тўлдириш ва бўшатиш маълум бир инерция билан юз беради. Лазерда мажбурий нурланишлар ҳосил бўлиши учун $K_0 > K_n$ бўлиши керак. Заррачаларни сатҳларга ўтиш қисми маълум қийматларга эга бўлгани учун бу шартни бажарилиши учун қўшимча вақт керак. Мажбурий ўтишлар частотаси юқоридаги сатҳни тўлдириш тезлигига тенг. $K_0 > K_n$ ва майдон интенсивлиги ортиб боради. Бу борада юқори сатҳни инверс тўлдиришни камайиш тезлиги генерация тезлигидан катта бўлса ҳам ва кучайтириш коэффициенти K_0 камая бошлаган бўлса ҳам, майдон интенсивлиги I орта боради ва $K_0 = K_n$ да I энг катта қийматга эга бўлади. $K_0 < K_n$ да юқори сатҳни бўшаши давом этади ва I ни қиймати кичраяди. Қаттиқ жисмли лазерлар қувватини ошириш ва импульс вақтини қисқартириш учун модулланган асллик методи қўллашади. Резонаторга бошқариладиган ёруғлик синдиргичли калит қўйилади. Ташқи оптик нур қуввати лазерни юқори сатҳини кўзғолинишига етарли бўлгунча тўсиб турилади. Калит очик ҳолга ўтганда бирданига катта миқдордаги заррачалар

мажбурий нурланишли ўтишда иштирок етиб қисқа муддатда (10^{-4} - 10^{-5} с) катта нурланиш энергияси ажралиб чиқади.

Мисол учун, рубинли лазерни олиш мумкин. Рубин –бу алюминий ўрнига озроқ (0,05%) миқдорда хром Cr қўшилган Al_2O_3 Cr рубинда уч карра ионлашган Cr^{3+} ҳолда бўлади. Уни энергетик ҳолатлари расмда кўрсатилган.



22 – расм. Рубинда генерация ҳосил бўлишини соддалаштирилган схемаси.

Ёруғлик Cr электронларни F_1 ёки F_2 сатҳларига олиб ўтади. Бу электронлар 10^{-7} / 10^{-8} с давомида турғунроқ бўлган 2E сатҳга нурланишсиз, ўз-ўзидан 3мс давомида ўтади. Бу сатҳ лазерни актив қисмини асосий сатҳи бўлиб, нурланиш ҳосил қилиш учун 2-1 мажбурий ўтишлар содир бўлиши керак. Бунинг учун – сатҳни ярмидан кўп қисмини кўзғолган, яъни F_1 ва F_2 ҳолатларига ўтказиш талаб қилинади. Рубинда Cr ни кўзғотишни чегаравий энергияси $10^2 - 10^3 D_{\text{гел}}$ ($\sim 50 D_{\text{гел}}/\text{см}^3$). Агар Cr ни мажбурий ўтиш кесими $\sigma = 3 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$, ионлар зичлиги $N_0 \approx 10^{18} \text{ см}^{-3}$ бўлса $K \approx \sigma N_2 \approx 10^{-2} \text{ см}^{-1}$ бўлади. Мана шу параметрларга мос келувчи хромли рубин лазерни қуввати $\sim 3 D_{\text{гел}}$ ни ташкил этади (импульс давомийлиги $\sim 3 \text{ НС}$). Бу турдаги лазерларни нурланиш энергиялари $100 D_{\text{гел}}$ ва қуввати 10 кВт $K \cong \sigma$, $N_2 \cong 10^{-2} \text{ см}^{-1}$ бўлади. Энг юқори ФИК $\sim 1\%$.

2.Yarimo'tkazgichli lazerlar

Ma'lumki yorug'likning difraksiyasi, dispersiyasi, interferensiyasi, qutblanishi yorug'likning elektromagnit to'lqin ekanligini ifodalaydi. Bu o'zaro perpendikulyar elektr va magnit to'lqinlar majmuidan iborat.

Issiqlikdan nurlanish, fotoeffekt hodisalari, Kompton effekti yorug'likning zarra tabiatini ifodalaydi. Ya'ni yorug'likning tarqalishini elektromagnit to'lqin nazariyasi izohlasa, yutilishi yoki kuchayishini kvant nazariyasi izohlaydi.

Lazer qurilmalardagi ishchi materiallar faol moddalar deyiladi. Oddiy moddalardan yorug'lik o'tsa u yutiladi va intensivligi kamayadi. Faol muhitdan yorug'lik o'tganda esa u kuchayadi va intensivligi ortadi. Bu faol muhit energetik sathlar bo'yicha inversli (teskeri) muhit bo'ladi. Sathlarda invers bandlik holatini keltirib chiqarish damlash deyiladi. Lazerlarning ishlash jarayonini uch yoki to'rt sathli modelda ko'rsatish mumkin. Uch sathli modelga rubin lazeri misol bo'la oladi

Yarimo'tkazgich moddalarda faol muhit p-n o'tishli yarimo'tkazgich hisoblanadi. Uning ish jarayonini 4 sathli modelda ko'rsatish mumkin.

Yarimo'tkazgichli lazerlar qattiq jisimli lazerlarning o'ziga hos turiga kiradi. Bu turdagi lazerlarda invers bandlik hosil qilishi va kogarent nurlanish olishni energetik sathlar hamda energetiksohalar asosida tushuntirish mumkin.

Energetik sathlar va sohalar.

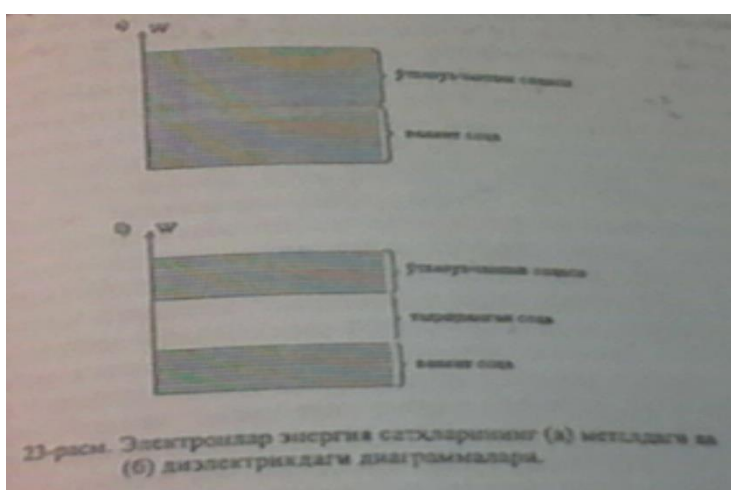
Kvant fizikasi asosiga ko'ra qattiq jismni tashkil qilgan atomlardagi ulardagi yadrolar bilan elektr kuchlari orqali bog'langan bo'lib, bog'lanish energiyasi diskret qiymatni qabul qiladi. Yadroga eng yaqin turgan elektron eng kichik diskret qiymatga ega bo'lib, uni quyi energetik sathda joylashgan deb qarash mumkin. Bu yadrodan uzoqlashgan yadroga eng yaqin turgan (eng quyi energetik sathda joylashgan deb qarash mumkin) elektronning energiyasidan katta bo'lib, u biror yuqori energetik sathda joylashgan deb qabul qilish mumkin.

Elektronlarni energetik sohalar bo'yicha taqsimoti.

Qattiq jism atomining electron qobiqdagi soni bilan bog'langanligi uchun ularni valent elektronlar deyiladi va ularda joylashgan energetik sathlar to'plamiga valent zona deyiladi.

Qattiq jism tashkil etgan atomning yadrosi bilan bog'lanishdan uzilgan qattiq jism ichida erkin harakat qiladilar va elektr tokini hosil qilishlari mumkin bo'lganliklari uchun ular joylashgan energetik sathlar to'plamiga o'tkazuvchanlik soha deb qaraladi.

Valent zonaning eng yuqorisida joylashgan elektronlarning yadro bilan bog'lanish energiyasiga teng energetik oraliqni taqiqlangan soha deb qabul qilingan. Bu soha valent soha bilan o'tkazuvchanlik sohalari oraligida joylashgan va ta'qiqlangan sohaning energiya kengligi o'tkazuvchanlik sohasining quyi chegarasi energiyasidan valent sohasining eng yuqori sohasidagi energiyasining ayirmasiga teng. elektronlarning energetik sathlarining va sohalarining sistematik diagrammasi keltirilgan

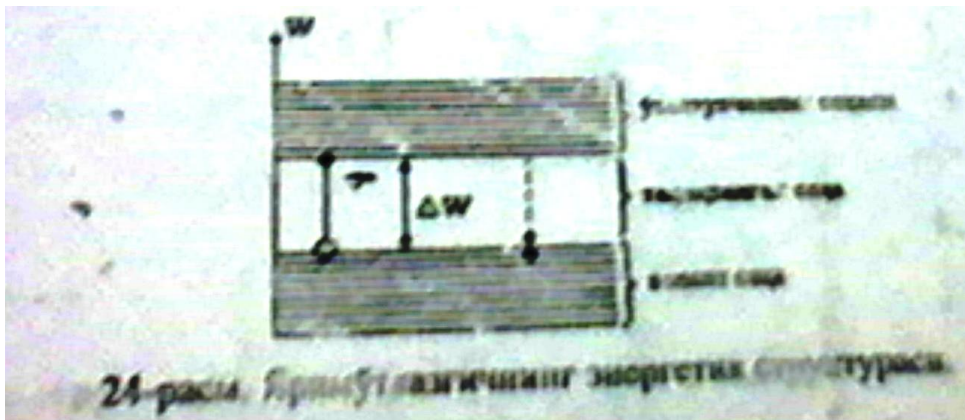


Bu rasmda metallarning electron energiya sathlari keltirilgan.

Yarimo'tkazgich moddalarning energetik sathlari quyidagi rasmdagidek bo'ladi. Faqat ta'qiqlangan sohakengligi dielektriklardan kamroq, qiymati 1 eV atrofida bo'ladi.

Yarimo'tkazgich modda (masalan germaniy va kremniy) tashqi electron qobig'ida 4 ta valent elektronga ega. Ushbu moddalarning fazoviy Kristal panjarasi o'zaro valent elektronlar orqali bog'langan atomlardan tashkil topgan. Atomlarning bunday bog'lanishi kovalent bog'lanish deyiladi

Yarimo'tkazgichning (sof aralashmasiz) elektr o'tkazuvchanligi yoki unda invers bandlik hosil bo'lishini 24 rasmda keltirilgan



Energetik struktura orqali tushuntirish qulayroq. Xarorat mutloq 0 da yarimo'tkazgichda barcha elektronlar yadro bilan bog'langan bo'lib va ular valent sohada joylashgan bo'ladi va bu holatda yarimo'tkazgich dielektrikdan farq qilmaydi. Harorat ortishi bilan valent zonadagi elektronlar energiyasi ortib yadro bilan bog'lanishda uzilib o'tkazuvchanlik sohasiga o'ta boshlaydi. Ushbu o'tishlardan biri rasmda ko'rsatilgan.

Shunday qilib o'tkazuvchanlik sohasida erkin electron tok tshuvchilar, valent sohada kovak tok tashuvchilar hosil bo'ladi.

Bir vaqtning o'zida sof YO' moddada elektronli va kovakli o'tkazuvchanlik hosil bo'ladi. Issiqlik ta'sirida ushbu elektronlar va kovaklar tartibsiz harakatda

bo'ladi hamda uchrashib rekonbinatsiyalashadi. Bu jarayob 24 rasmda o'tkazuvchanlik sohadan valent sohaga yo'nalgan chiziq bilan ko'rsatilgan.

Invers bandlik va kogarent nurlanish hosil qilish.

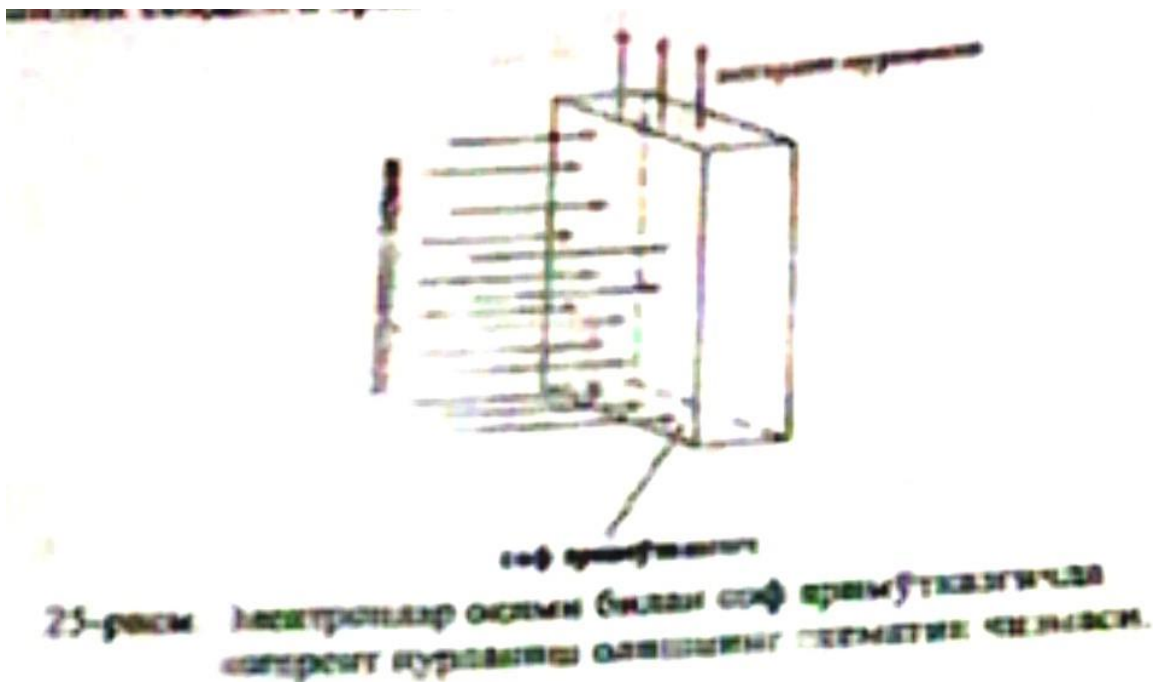
Sof yarimo'tkazgichli erkin elektronlarni va kovaklarni issiqlik ta'siridan tashqi katta energiyali (tezlikdagi) elektronlar, radioaktiv nurlanish yokifotonlar oqimidan hosil qilish mumkin. Ushbu usulning sxematik chizmasi 25 rasmda tasvirlangan.

Plastinkaning olti tomonidan ikki qarama qarshi tomoni 25 rasmdagidek silliqilgan va ular optic ko'zgu vazifasini bajaradilar. Qolgan tomonlari g'adir budur qilib ishlov berilgan

Energiyasi 50 va 100 keV oraliqdagi elektronlar oqimi yassi plastinka ichiga kirib boradi va undagi bog'langan elektronlar bilan to'qnashib, ularni uzib valent sohadan o'tkazuvchanlik sohasiga o'tkazadilar

Bu zarrachalar o'tkazuvchanlik sohasining tubida to'planadi. Valent sohada bog'lanishda uzilgan elektrolar o'rnida esa kovaklar paydo bo'ladi. va ular valent sohaning yuqori qismida to'planadi.

Bu sohada o'tkazuvchanlik sohadagi erkin elektronlar oqimi termodinamik muvozanat holatdagi yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanlik sohadagi erkin elektronlaridan ko'p.



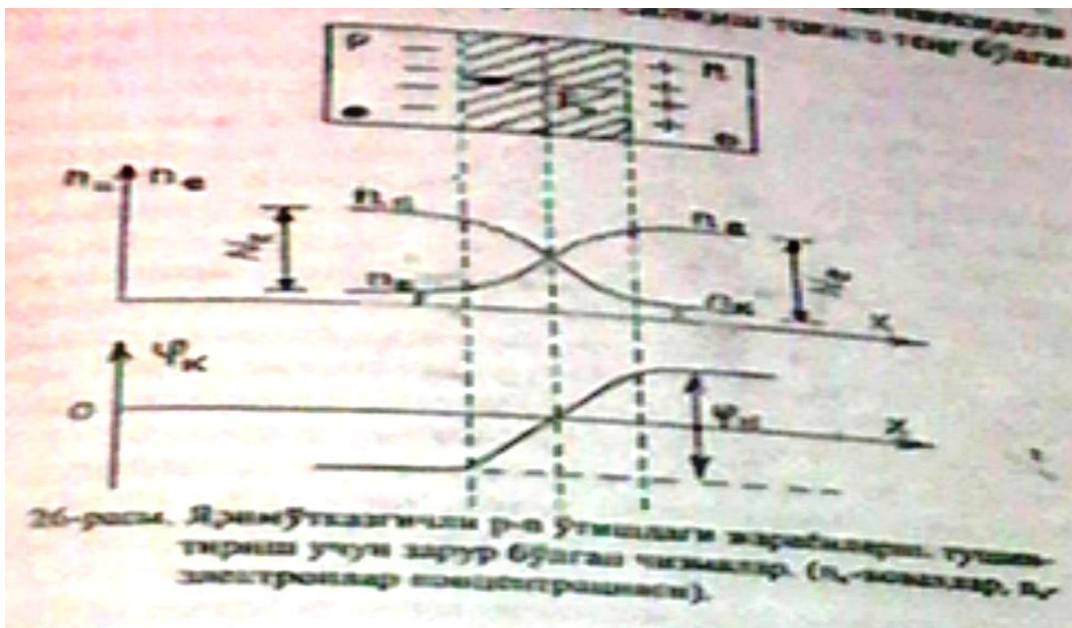
Bo'ladi va o'z navbatida valent sohadagi kovaklar soni termodinamik muvozanatdagi yarimo'tkazgichning valent sohadagi kovaklar sonidan ortiq bo'ladi. Sof yarimo'tkazgichning ushbu holati invers bandlik holati deyiladi.

Sof yarimo'tkazgich hajmining biror nuqtasidagi zarralarning issiqlik ta'siridan tartibsiz harakati natijasida erkin elektronlar va kovaklar uchrashib, rekombinatsiya natijasida nurlanish beradi. Bu nurlanish barcha yo'nalishlarda tarqaladi va sirti ko'zgu bo'lgan tomonlardan ko'proq aks etadi. Bu nurlanish invers bandlik hosil bo'lgan yarimo'tkazgichdan o'tishi natijasida kovaklar va elektronlar bilan ta'sirlashib ularni majburlab rekombinatsiyalashtirishi natijasida parametrlari bo'yicha o'ziga aynan o'xshagan hamda tarqalish yo'nalishi bilan mos tushgan majburiy nurlanishlarni hosil qiladi. Ushbu yo'nalishda tarqalayotgan nurlanishlar yarimo'tkazgichning ko'zguli sirtidan ko'p martalab aks etib yarimo'tkazgich ichidan ko'p marta o'tishi natijasida elektron va kovaklarning majburiy rekombinatsiyalarini tashkil etadi va majburiy nurlanishlar miqdori ortib boradi. Bu jarayonda nurlanish yarimo'tkazgichning ko'zguli sirt tomonlaridan chiqib turadi. Albatta bu jarayon uzluksiz davom etishi uchun yarimo'tkazgich plastinkaga tashqaridan uzluksiz ravishda elektronlar kiritilib turishi kerak. Tajribadan ko'rsatilishicha bu usuldagi damlash jarayonida yarimo'tkazgich plastinka tez qizib ketadi.

Shuning uchun majburiy ravishda sovutilib turishi zarur.

Yarimo'tkazgichli injeksion lazer.

Yo.li injeksion lazerning ishlash tamoyili turli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan ya o't o'tish sohadagi p-n o'tish yoki n-p o'tish hodisasiga asoslangan. Yao'tda p-n o'tish hodisasini ko'rish uchun misol tariqasida to'rt valentli bir xil moddali sof yarimo'tkazgich olinadi, uni ikki qismga ajratib va ularga mos ravishda uch va besh valentlik sof yarimo'tkazgich moddalar kiritilib, turli xildagi (p va n) o'tkazuvchanlik hosil qilinadi. Shu qismlar orasida shartli o'ta yupqa qatlam bor deb, bu qatlamni ikki xildagi o'tkazuvchanlikka ega o'tkazgichlarning bir biri bilan tutashgan sohasi ya'ni kontakt sohasi deb qarash mumkin. Ushbu kontakt sohadagi p-n o'tish hodisasini ko'raylik. (26-rasm)



Masalani mohiyatini tushuntirish oson bo'lishi uchun p va n o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichlarda asosiy tok tashuvchilarning miqdorlari o'zaro teng deb olish mumkin

Kontakt hosil qilingan boshlang'ich paytda p sohadagi kovaklar konsentratsiyasi n sohadagi kovaklar konsentratsiyasidan, n sohadagi elektronlar konsentratsiyasi p sohadagi elektronlar konsentratsiyasidan katta bo'ladi (26

rasm)Buning natijasida p-n o'tish kontakt sohasida electron va kovaklarning diffuziyasi vujudga keladi. P sohadan n sohaga kovaklarning, n sohadan p sohaga elektronlarning siljishi natijasida ular kontakt sohada uchrashib rekombinatsiyalashadi.Kontakt sohasining chegaralarida mos holda asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar, ya'ni mos ravishda musbat va manfiy ionlar yuzaga chiqadi va o'rtada zaryadlar kamaygan soha vujudga keladi. Bu sohaning vujudga kelishi va asosiy bo'lmagan tok tashuvchi musbat va manfiy ionlarning yuzaga chiqishi, shu sohada ikki qoplamalari musbat va manfiy zaryadlangan

Kondensator kabi qatlam vujudga keladi. Bu qatlamda potentsiallar ayirmasi Φ_1 va maydon kuchlanganligi E_2 bo'lgan elektr maydon paydo bo'ladi.(26-rasm) Bu elektr maydon yo'nalishi shundayki u asosiy tok tashuvchilarning harakatiga to'sqinlik qilib, asosiy bo'lmagan zaryadlarni harakatlantirib ko'chiradi. Bu zaryadlarni ko'chishidagi tok siljish toki deyiladi.

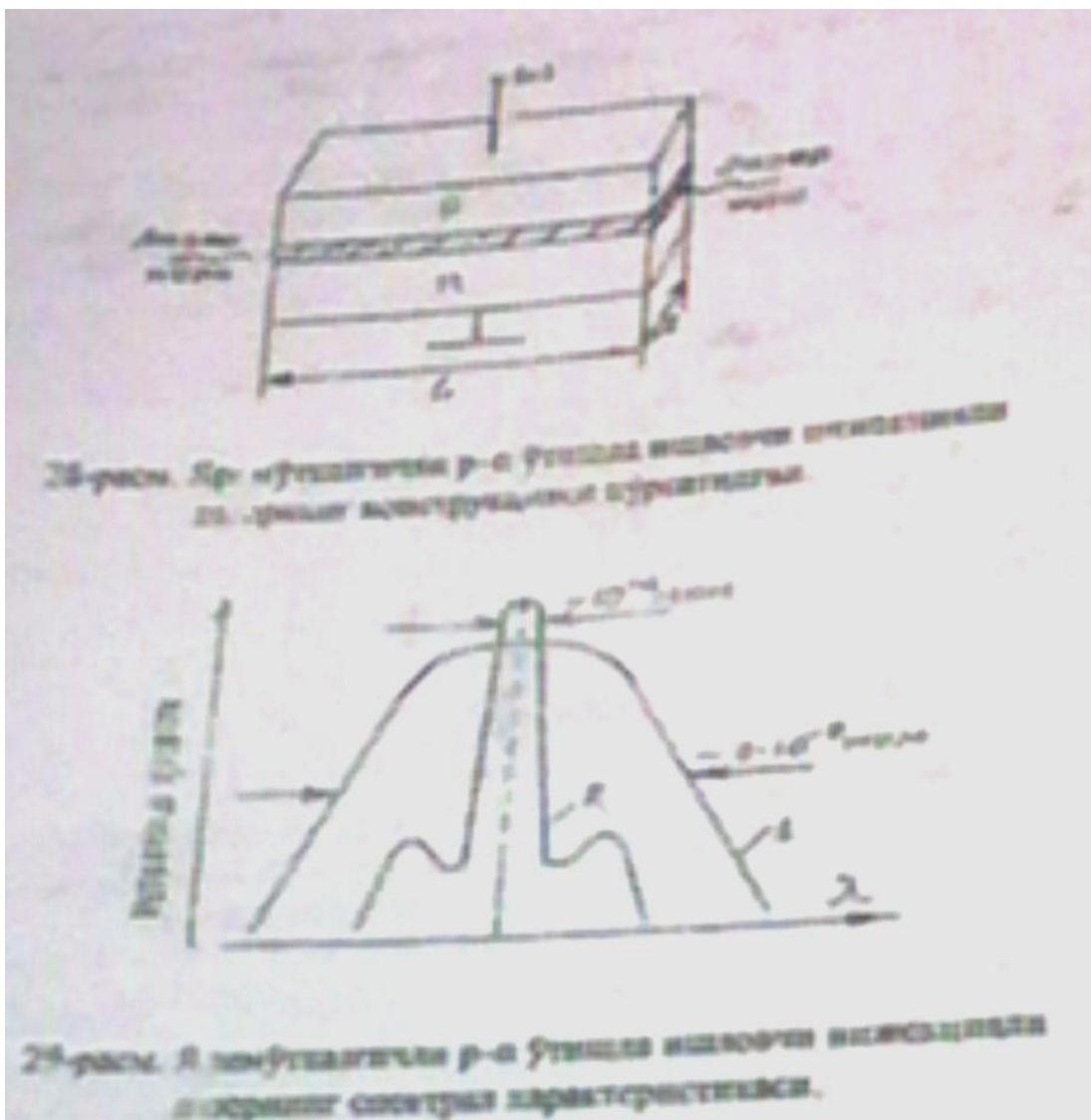
Asosiy tok tashuvchilarning diffuziyasi natijasida tok asosiy bo'lmagan tok tashuvchilarning siljish tokiga teng bo'lganda kontakt sohada dinamik muvozanat vujudga keladi. Bu holda zaryadlarga kambag'allashgan soha. Yarimo'tkazgichning electron va kovak o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qismlarini bir biridan ajratib turadi.Bunday sohani to'siq qatlam deb. Hosil bo'lgan potentsiallar ayirmasi esa potensial to'siq deyiladi.

Shu p n sohasida tashqi elektr manbai ulangan holni ko'raylik (27 rasm)tashqi elektr manbai manfiy qutbini p n o'tishning p qismiga, musbat sohasini esa n qismiga ulaylik. Bu holda p n o'tishda potensial to'siqning miqdori ortadi va asosiy tok tashuvchilarning o'tishi yanada yomonlashib, diffusion tok miqdori nolga teng bo'ladi.

Endi energiya manbaining musbat qutbini p n o'tishning p qismiga, manfiy qutbini esa n qismiga ulaylik (27 rasm). Bu holda elektr manbai pn o'tishda hosil qilgan elektr maydon kuchlanganligi pn o'tishning xususiy elektr maydon kuchlanganligiga teskari bo'ladi va va yig'indielektr maydon miqdori kamayadi.

Buning natijasida asosiy tok tashuvchilarning pn sohadan o'tish miqdori ortadi. Bu holda ulanish to'g'ri ulanish deyiladi va tashqi elektr maydon ta'sirida p sohadan n sohadagi kovaklar, n sohadan p sohaga elektronlar kiritiladi(injeksiyalanadi).

Shunday qilib pn o'tishli yarimo'tkazgich lazerda qutblabish darajasi 70 80 % bo'lgan monoxramattik nurlanish olish mumkin. Uning quvvati 1 millivat, quvvati 0,54 mkm atrofida bo'lishi ko'rsatilgan. 1 spontan nurlanish holati 2 majburiy nurlanish holati.



3 – b o b .

- 1. Plazma haqida tushuncha.**
- 2. Plazmaning asosiy harakteristikalari.**
- 3. Plazma oqimini olish (tezlatish mehanizmi).**
- 4. Plazma oqimining moddaga ta'siri.**

3.1.Plazma haqida tushuncha.

Fizika va kimyoda plazma (yun. πλάσσω, *plasso* — „shakl quyaman“) atamasi ostida gazga o‘xshash, zarrachalari ionlashgan modda holati tushuniladi. Gazni qizdirish uning atom yoki molekulalarini ionlantirib, plazmaga aylantirishi mumkin.^[1] Issiqlikdan tashqari kuchli elektromagnit maydoni (lazer yoki mikroto‘lqin) yordamida ham plazma hosil qilish mumkin.

Plazma (yun. *plasma* — shakllangan) — to‘liq yoki kisman ionlashgan va har bir elementar hajmdagi elektron va ionlarning yig‘indi zaryadi nolga teng bo‘lgan gaz. Suyuqlikning gaz holatiga o‘tishi bug‘lanish, qattiq jismning gaz holatigao‘tishi sublimatsiya deb ataladi. Har qanday jism kuchli qizdirish natijasida gaz holatiga o‘tadi. Agar temperatura yanada oshirilsa, issiqlik energiyasi ta’sirida molekulalarning ionlarga ajralish jarayoni boshlanadi. Gazning ionlanishi turli vositalar yordamida, mas, yoritish, elektronlar yoki boshqa zarralar bilan bombardimon qilish natijasida ham sodir bo‘lishi mumkin.

Plazma hajm birligidagi ionlashgan atomlar sonining shu hajm birligidagi barcha atomlar soniga nisbati Plazmaning ionlanish darajasi a deyiladi. a ning qiymatiga qarab zaif, kuchli va to‘la ionlashgan Plazma bo‘ladi. Kosmos va Yer sharoitlarida, hozirgi zamon texnikasida Plazma holatidagi modda g‘oyat katta rol o‘ynaydi. Gazlardan tok o‘tish hodisalari, ya’ni gazlardagi razryadlar, yashin, uchqun, elektr yoyi kabi hodisalar Plazma bilan bog‘liq. Yer atmosferasining yuqori qatlami Quyosh va boshqa kosmik omillar ta’sirida zaif ionlashgan Plazma bo‘lib, ular quyosh shamoli kurinishida Yer magnitosferasi va ionosferasini tashkil qiladi. Quyosh va yuqori temperaturali yulduzlar to‘la ionlashgan Plazmadan iborat. Plazma zichligi (1 sm dagi elektron yoki ionlar soni) quyidagi qiymatlarga ega bo‘ladi: galaktik fazoda $p \sim 10^{-10}$, quyosh shamolida $p \sim 10^{-12}$, qattiq jismlarda $p \sim 10^{22}$. "Plazma" terminini fanga birinchi bo‘lib amerikalik olimlar I.Lengmyur va L.Tonks kiritgan (1923).

Umumiy holda Plazmani tashkil etuvchi elektronlar, ionlar va neytral atomlarning o'rtacha kinetik energiyalari birbiridan farq qilishi mumkin. Bunday termodinamik muvozanatsiz holatdagi Plazmaga noizotermik Plazma deb ataladi. Mas, gaz razryadli Plazmada har bir elektronning o'rtacha kinetik energiyasi ionnikiga qaraganda unlab marotaba katta bo'ladi. Plazmaning muvozanatsiz holati razryad tokining energiyasi hisobiga saqlanib turishi mumkin. Ma'lumki, tashqi manba energiyasi asosan, elektronlar qabul qiladi. Elektron massasi ion yoki neytral zarra massasiga nisbatan bir necha ming marta kichik bo'lganligi sababli, to'qnashuvlar natijasida elektronlar energiyasining juda oz qismigina boshqa zarralarga o'tishi mumkin. Elektronlar energiyasining kamayishi tashqi manba energiyasi hisobiga to'ldirila boradi.

Shunday qilib, elektronlar, ionlar va neytral zarralarning har qaysisi o'ziga xos o'rtacha kinetik energiyaga, demak temperaturaga ega. Elektronlar temperaturasi T_e , ionlar temperaturasi T_i va neytral zarralar temperaturasi T_0 orqali belgilanadi. Odatda T_0 nisbatan T_i kattaroq. T_e esa ancha katta bo'ladi.

Plazmani harakterlovchi eng muhim fizik kattalik Debay radiusidir, uning mohiyatini quyidagicha tushuntirish mumkin.

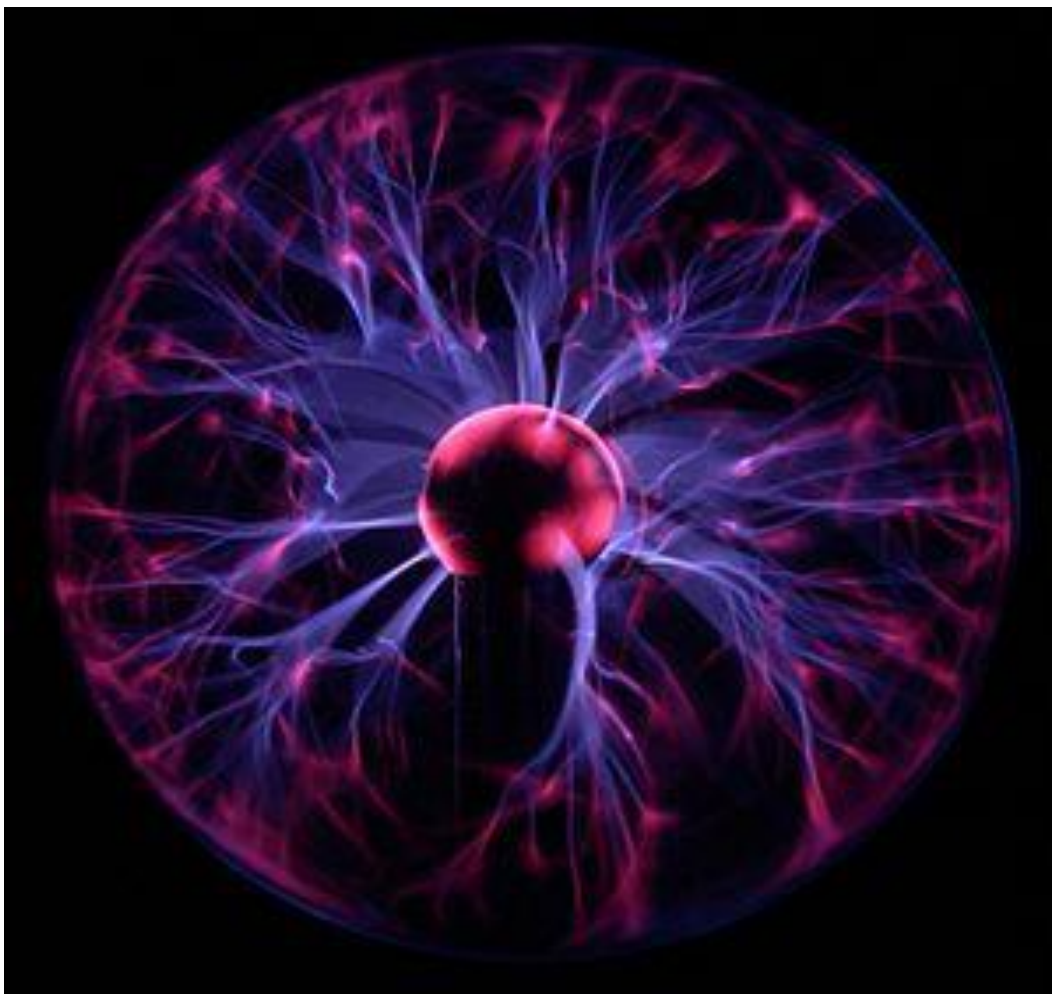
Agar plazma tarkibidagi biror q zaryadli zarra vakuumda bo'lganida edi, uning o'zidan g masofa uzoqlikdagi nuqtada hosil qilayotgan potentsiali formula orqali aniqlanar edi. Plazmada esa kuzatilayotgan bu zaryadli zarra boshqa zaryadlangan zarralar bilan qurshab olingan. Zaryadlar orasida o'zaro ta'sir kuchlari mavjudligi tufayli kuzatilayotgan zaryad atrofiga ko'proq unga teskari ishorali zarralar yig'iladi va ular q zaryad maydo-nini kuchsizlantiradi. Hisoblashlarning ko'rsatishicha, plazmadagi q zaryadning potentsiali masofa ortishi bilan quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgarib boradi: bundagi D kattalik temperaturaga, hajm birligidagi zarralar soniga, ularning zaryadiga bog'liq.

Jumladan, agar izo-termik plazma faqat elektronlardan yoki bir xil zaryadli ionlardan iborat bo'lsa bu yerda elektronlar (yoki ionlar)ning hajm birligidagi soni n

orqali va elektron zaryadi ye orqali belgilanadi. $r \ll D$ bo'lganda, ya'ni D ga nisbatan katta masofalarda zaryadlarning elektr maydoni juda zaiflashadi. Bu hodisa zaryad maydonining ekranlanishi, ekranlanishini xarakterlovchi D kattalik esa ekranlanish radiusi yoki Debay radiusi deb yuritiladi. Mas, vodorod plazmasida $T=10^5\text{A}^\circ$ va $\rho=10^{16}\text{sm}^{-3}$ ekan, Debay radiusi $\lambda_D=1,5-10\sim 5\text{ sm}$.

Radiusi D ga teng sfera ichidagi barcha zaryadli zarralarning soni Debay soni deyiladi. Debay soni katta bo'lgandagina plazmani gaz deb hisoblash mumkin. Plazmaning asosiy xususiyati shundan iboratki, undagi musbat va manfiy zaryadlar zichliklari deyarli bir-biriga tengdir. Bu xususiyat Plazmaning kvazineytralligi deyiladi. Plazma egallagan joyning chizig'iy o'lchami Debay radiusidan ancha katta holatdagina kvazineytrallik ro'y beradi.

Moddaning qattiq, suyuq yoki gaz qolatlarda bo'lishi uning agregat holatlari deyiladi. Yuqorida aytilganlardan ravshanki, plazma xususiyatlari moddaning oddiy gaz holatidagi xususiyatlaridan ko'p jihatdan farq qiladi. Shuning uchun plazmani moddaning to'rtinchi holati deb hisoblanadi. Plazma xususiyatlaridan foydalanish hozirgi. zamon texnikasi taraqqiyotida g'oyat katta ahamiyatga ega.



[Plazma lampasida](#) elektronlar ionlar bilan birlashib, yuqori energiyali holatdan quyi energiyali holatga oʻtadi va nurlanadi.

3.2.Plazma: asosiy tushuncha va karakteristikalari.

Plazma ionlashgan gaz bo'lib, manfiy zaryadlangan zarrachalar (elektron va manfiy ionlar), musbat zaryadli ionlar va neytral zarrachalardan (turg'un va uyg'otilgan holatdagi atom va molekulalar) tashkil topgan.

Plazma zarrachalar sistemasi bo'lib, ionlanish darajasi, temperatura zichligi element tarkibi va kvazineytralligi bilan harakterlanadi.

Moddani plazma holatiga o'tish yoki atom va mo'lekulalarni ionizatsiya jarayoni zarrachalarning o'zaro ta'siri yoki ularning nurlanish ta'siri bilan bog'liq bo'ladi.

Plazma manbalarida ionizatsiya jarayoni texnologik harakterga ega bo'lib, elektron zarb yoki kvant nurlanishlarning atomga ta'siri bilan kuzatiladi. Ionizatsiya jarayonida elektronlar yoki nurlanishning kvant energiyasi atomlarning ionizatsiya energiyasidan katta bo'lishi kerak.

Plazmada ionizatsiya jarayoniga teskari jarayon rekombinatsiya jarayoni kuzatiladi. Rekombinatsiya jarayoni turli xil ishorali zaryadli zarrachalarning to'qnashishida yuz beradi. Rekombinatsiya jarayonida ajratilgan energiya toqnashayotgan zarrachalarning biriga beriladi.

Plazmaning asosiy harakteristikalari:

Plazmaning ionlanish darajasi α_i plazma hajmidagi ionlashgan zarrachalar sonini moddadagi boshlang'ich neytral zarrachalar soniga nibrati bilan aniqlanadi.

Plazmadagi ionizatsiya va rekombinatsiya jarayoni tenglashganda plazmaning ionlanish darajasi o'zgarmay qoladi.

Plazmaning ionlanish darajasi qiymatiga qarab plazmalar

1. Kuchsiz ionlashgan ($\alpha_i < 1$)
 2. Ionlashgan ($\alpha_i < 1$)
 3. To'liq yoki yuqori ionlashgan (α_i 100 % ga yaqin).
- plazmalarga bo'linadi.

Plazmaning kvazinaytralligi katta hajmda va keng vaqt intervalida quyidagi shartni bajarilishi bilan harakterlanadi

$$\sum_z z (n) = (n_e)$$

(n_i) va (n_e) ionlar va elektronlarning o'rtacha konsentratsiyasi.

z - ionlar ionizatsiyasining karraligi ($z \geq 1$)

Plazmada zaryadning hajmiy masshtabda bo'lishishi Debay uzunligi deyiladi. Elektronli plazma zarrachalarning elektrostatik va issiqlik energiyalarini tengligi bilan harakterlanadi.

$$D = \sqrt{kT_e/8\pi e^2 n_e}$$

k - Boltsman doimiysi. E va T_e plazma zaryadi va temperaturasi.

D - masofada qarama qarshi zaryadli zarrachalarni ekrani hosil bo'ladi. (Kulon potentsiali e marta kamayadi). Shuning uchun Debay ekranlanish radiusi deyiladi. L – o'lchamidagi plazma uchun, $L \gg D$ shart bajariladi.

D radiusli sferadagi zarrachalar soni ko'p bo'lib, ularning o'zaro ta'sir energiyalari issiqlik energiyalaridan kichik bo'lsa bu plazmani ideal gaz deb qarash mumkin.

$$n_e D^3 \gg 1$$

Plazma temperaturasini o'zgartirmagan holda plazma jichligini oshirsak (1.2) D kamayib (1.3) shart bajarilmasligi mumkin. Bunda plazmani ideal deb hisoblash mumkin emas.

Har bir zarrachaga qolgan zarrachalarning maydonlari ta'sir qiladi. Juft ro'qnashishlar o'z ma'nosini yo'qotadi.

Zaryadlarning masshtab bo'yicha taqsimlanishi.

$$t_D = D/v$$

v - zaryadli zarrachalar issiqlik harakatining o'rtacha tezligi.

T_D vaqtdan kichik vaqt oralig'ida kvazineytrallik sharti buzilib plazmadagi zaryad zichligini tebranishi vujudga keltiradi va quyidagi chastotalar bilan harakterlanadi.

Elektronli plazma chastotasi

$$\omega_{oe} = \sqrt{4\pi e^2 n_e / m_e}$$

Ionli plazma chastotasi

$$\omega_{oi} = \sqrt{4\pi e^2 n_{iz} / M}$$

Plazma chastotasi

$$\omega_o = \sqrt{\omega_{oe}^2 + \omega_{oi}^2}$$

m_e va M –elektron va ion massasi.

Ion massasi elektron massasidan juda kichik bo'lganligi uchun plazma chastotasi ionli plazma chastotasiga teng bo'ladi. Plazmaning chiziqli chastotasi quyidagi formula bilan aniqlanadi.

Ion massasi 10^{-26} elektrondan 10^5 marta katta, protonniki 10^{-27} elektrondan 10^4 marta katta.

$$f_0 \approx \frac{\omega_{oe}}{2\pi} = 8.96 * 10^3 \sqrt{n_e}$$

$n=1\text{sm}^3$ dagi elektronlar soni.

Plazmadagi zarrachalarning issiqlik energiyalari bo'yicha taqsimoti asosiy termodinamik kattalik temperatura bilan harakterlanadi. Umumiy holda plazmadagi zarrachalar (elektronlar, ionlar va neytral atomlar) o'z temperaturalari bilan harakterlanadi.

T_e, T_i, T_n elektron, ion va neytral atomlar temperaturasi.

Issiqlik balansi holatida barcha zarrachalar tezliklari va energiyalari bo'yicha Maksvell taqsimotiga ega. Bunda ularning temperaturalari bir xil bo'lib, bunday plazma izotermik plazma deyiladi. Plazmaning qizish darajasi uning tarkibidagi eng harakatchan zarrachalar elektronlar energiyasi bilan harakterlanadi.

Agar $T_e \leq 10\text{eV}$ bo'lsa past temperaturali plazma deyiladi.

3.3. Plazma oqimini olish.

(tezlatish mehanizmi)

Plazma va ionli plazma texnologiyasi ma'lum parametrdagi plazma oqimlaridan foydalanishga asoslangan. Plazma oqimining asosiy xarakteristikalari zarrachalar tezligi va zichligi, energiyasi va tarkibi hisoblanadi.

Ko'plab plazma texnologiyalarida zarrachalarning energiyasi va plazma oqimining tezligi hosil qilingan plazmani tezlatish bilan amalga oshiriladi.

Ionli plazmani tezlatish elektr maydoni yoki boshqa neytral zarrachalar bilan bir marta to'qnashish bilan amalga oshiriladi.

To'qnashish mehanizmi bilan tezlatish gazodinamik metod hisoblanadi.

Plazmani elektromagnit tezlatish faqat ionli plazmalar uchun qo'llaniladi.

Qurilmaning masshtabi erkin yugurish yo'lidan ko'p marta kichik bo'lib, to'qnashishlar chastotasi esa plazmaning dinamik chastotalaridan juda kichik bo'lganda Boltsman tenglamasiga asosan Vlasov tenglamasiga mos holda ($v \ll w_0/2\pi c$)

$$\frac{\partial t_i}{\partial t} + (\vec{v}_i \nabla) f_i + \frac{e}{M} (\vec{E} + \vec{v}_i * \vec{B}) \frac{\partial t_i}{\partial \vec{v}_i} = 0$$

$$\frac{\partial t_e}{\partial t} + (\vec{v}_e \nabla) f_e + \frac{e}{m} (\vec{E} + \vec{v}_e * \vec{B}) \frac{\partial t_e}{\partial \vec{v}_e} = 0$$

Bu yerda ionlar va elektronlarning taqsimot funksiyasi. Soddalik uchun ionlar bir xil zaryadli deb olinadi. To'qnashishlar hisobga olinmaganligi uchun tenglamaning o'ng tomoni 0 ga tenglangan.

To'qnashishsiz plazma oqimi plazmaning gidrodinamik modeli deyiladi. Bunda plazma oqimini bir komponentli suyuqlik deb qarash mumkin. Bunda asosiy tezlatuvchi kuch Ampar kuchi hisoblanadi. Plazmadagi bir zaryad ionlari va elektronlarning harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$Mn_i \frac{\partial \vec{v}_i}{\partial t} = n_i e (\vec{E} + \vec{v}_i * \vec{B})$$

$$Mn_e \frac{\partial \vec{v}_e}{\partial t} = n_e e (\vec{E} + \vec{v}_e * \vec{B})$$

(1.10) tenglamani electron va ionlar bosimi gradientini va ishqalanish kuchini hisobga olgan holda elektronli hamda ionli plazmalar uchun $m_e \ll M$, ekanligini hisobga olib quyidagicha hisoblash mumkin.

$$Mn_i \frac{\partial \vec{v}_i}{\partial t} = -\nabla p_i + n_i e (\vec{E} + \vec{v}_i * \vec{B}) + \frac{n_i m (\vec{v}_e + \vec{v}_i)}{\tau_{ei}}$$

$$0 = -\nabla p_e + n_e e (\vec{E} + \vec{v}_e * \vec{B}) + \frac{n_i m (\vec{v}_e + \vec{v}_i)}{\tau_{ei}}$$

Bu yerda τ_{ei} – elektron ion to'qnashishlarining o'rtacha vaqti.

V_i - ionlar tezligi

V_e - elektronlar tezligi.

$P_i = n_i k T_i$ $P_e = n_e k T_e$ E va B elektr va magnit maydonlarining zarracha joylashgan nuqtadagi qiymatlari.

Yuqorida tenglamada asosan 3 ta kuch mavjuq bo'lib, ular yordamida plazma zarrachasining tezlanishi aniqlanadi. Tenglamaning o'ng tomonidagi birinchi had ionli yoki elektronli bosim ta'sirida hosil bo'lgan gazodinamik tezlanishni ifodalab plazma zarrachasining xaotik harakatini ifodalaydi.

Tenglamadagi ikkinchi had elektr maydon tomonidan ta'sir qiluvchi tezlanishni ifodalaydi. Lorens kuchi esa zarracha tezligiga perpendikulyar yo'nalgan bo'lib u ish bajarmaydi. 3-had plazmadagi ishqalanish kuchini ifodalaydi.

Ma'lum bir shartlar bajarilganda plazmani bir jinsli suyuqlik sifatida qarash mumkin. Uning tashkil etuvchi zichliklari o'zaro teng bo'lganda $n_e = n_i = n$ plazmadagi zarrachalar zichligi quyidagicha ifodalanadi.

$$\vec{j} = en(\vec{v}_i + \vec{v}_e)$$

Plazmaning o'tkazuvchanligi

$$\sigma = \tau_{ei} ne^2 / m$$

(1.12) formulaga asosan (1.11) formulani quyidagicha ifodalash mumkin.

$$mn_i \frac{\partial \vec{v}_i}{\partial t} = -\nabla p_i + n e (\vec{E} + \vec{v}_i * \vec{B}) - \frac{en}{\sigma} \vec{j}$$

$$0 = -\nabla p_e + n e (\vec{E} + \vec{v}_e * \vec{B}) + \frac{en}{\sigma} \vec{j}$$

Bu formula ikkinchisi tok jichligi va elektr maydon kuchlanganligi orasidagi bog'lanishni ifodalab umumlashgan Om qonuni ro'lini o'ynaydi. Birinchisi esa asosiy hisoblanib tezlanish mehanizmini ifodalaydi.

$v_i \approx v$ plazmaning o'rtacha lokal tezligi. $\nabla P = \nabla P_i + \nabla P_e$ va $nM \approx \rho$ plazmaning o'rtacha zichligi ekanligini hisobga olib (1.13) formulaga qoyib bir jinsli suyuqliklar harakati uchun tenglama hosil qilamiz.

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla p + \vec{j} \times \vec{B}$$

Tenglamani har ikki tomonini $\vec{v}_x$ ga ko'paytirib quyidagi tenglamani hosil qilamiz.

Shunday qilib plazma oqimini tezlatishda gazodinamik kuchlar va amper kuchi ish bajaradi. Bu qarama qarshilik magnit maydoni harakatlanuvchi zarrachalar ustida ish bajarmasligi orqali tushuntiriladi. (1.11) formulaga asosan elektr maydoni, ishqalanish kuchi, elektronlar va ionlar to'qnashishi natijasida ish bajaradi. (1.14) tenglamadagi magnit maydoni tashqi manbalardan hosil bo'lib, Maksvell tenglamasiga asosan

Bunda $D \sum$ - sirt elementlari. S- kontur yuzi, j-tok kuchi (1.16) formula yordamida razryad sistemalari uchun magnit maydonni hisoblash mumkin.

Jumladan I tok o'tayotgan r_1 va r_2 radiusli silindrlar uchun

I – tok kuchi. r - o'zgaruvchan radius($r_1 < r_2 < r_3$)

Magnit maydoni induksiya ma'lum bo'lsa (1.14) formulaga asosan plazmaga ta'sir qiluvchi amper kuchini aniqlash mumkin.

Bu yerda integral tok kuchi va magnit maydon energiyasi 0 dan farqli bo'lgan tezlanayotgan hajm bo'yicha olinadi. Plazmani tezlatishda ion va elektronli to'qnashishlar muhim ro'l o'ynaydi. $j=10^3$ A/sm² va $T_e=1$ eV bo'lganda elektron (shamolining) kuchlanganligi 100 V/sm bo'ladi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan plazmadagi ionlarni tezlatish mexanizmlari ayrim hollarda to'g'ri bo'lib, tok zichligining katta qiymatlarida yuqoridagi shartlar bajarilmasdan plazmada turli hil tebranishlar hosil bo'ladi. (1.13) tenglamadagi turbulent ishqalanish kuchlari plazmadagi ion va elektronlarga ta'sir qiladi.

Bu kuchlar ta'sirida ionlarning qo'shimcha tezlanishlari hosil bo'ladi. Bunday tezlatkichlar mexanizmi quyidagicha bo'lishi mumkin.

1. Plazmada elektron oqimlarining tormozlanishi hamda ionlarning tezlanishi.
2. Turli xil massali M_1 va M_2 ionlarning o'zaro ta'sir energiya va impulsni saqlanish qonuniga asosan og'ir ionlarning ($M_1 < M_2$) energiyasi $(M_2/M_1)^{1/2}$ marta eU energiyadan ortiq bo'ladi.

3. Turbulent zonalarda neytral atomlarning ionlanishi yoki ionlarda zaryadlarning qayta taqsimlanishi natijasida tez harakatlanuvchi ionlar oqimi hosil bo'ladi.

3.4..Plazma oqimining moddalarga ta'siri.

Zamonaviy oqim texnologiyalarining rivojlanishi yuqori intensivlikdagi zarrachalar oqimidan foydalanishni taqazo etadi. Bu esa zarrachalar hosil qilgan tok zichligini oshirilishiga olib keladi. Bular yordamida metallarda elektronlar oqimi bilan qizdirish jarayoni, metallarni ionlar oqimi bilan qirqish jarayoni amalga oshiriladi. Bir xil ishorali zarrachalarning tok zichligini oshirish qator cheklovlarni yuzaga keltiradi, birinchi navbatda hajmiy zaryadni ta'sir kuchi. Zarrachalarning tezligini oshirish qator texnik cheklovlarni yuzaga keltiradi. Bu cheklovlarni bartaraf etish uchun qisman yoki to'la kompensatsiyalangan zarrachalar oqimi yoki to'la kompensatsiyalangan zarrachalar oqimi – plazmadan foydalanish mumkin.

Plazma yoki plazma oqimining moddalarga ta'sirini asosiy xususiyatlaridan biri bir vaqtda turli ishorali va turli xil massali zaryadli zarrachalar neytral zarrachalar va elektron zaryadiga karrali bo'lgan musbat ionlarning ta'sirlari hisoblanadi. Qaralayotgan ta'sirni (plazma oqimini moddalarga ta'siri) yana bir xususiyati (kichik energiyali zarrachalar oqimini boshqarishning qiyinchiligi) hozirgi kunda qo'llanilayotgan bir hil ishorali zarrachalar oqimini boshqarishga qaraganda qator qiyinchiliklar tug'diradi.ya'ni bir xil ishorali zarrachalar oqimini yo'nalishini boshqarish uchun elektr hamda magnit maydonlaridan foydalaniladi. Bir xil ishorali zarrachalarga ta'sir qiluvchi Lorens kuchi yo'nalishi bir xilda bo'ladi. Plazma oqimiga ta'sir qiluvchi Lorens kuchining yo'nalishi zarrachalarning ishorasiga qarab turlicha bo'ladi. Bu esa plazma oqimini boshqarishda qator muammolarni keltirib chiqaradi.

Plazma oqimining moddalarga ta'siri turli jarayonlar ta'sirida kompleks harakterga ega. Plazma oqimining moddalarga ta'siri bir vaqtning o'zida turli ishorali va massali, turli xil zaryad va enargiyali zarrachalar ta'siri murakkab jarayon hisoblanadi.

Plazma oqimining qattiq jismlarga ta'siri qator hodisalar bilan kuzatiladi. Bular quyidagilardan iborat:

- Plazma oqimi ta'sirida qattiq jismning qizishi;
- Plazma oqimi ta'sirida qattiq jismning yuqori qatlamini olib tashlanishi;
- Qattiq jism sirtini plazma moddasi bilan qoplanishi;
- Qattiq jism sirdida ximik o'zgarishlarni vujudga kelishi.

Bulardan tashqari ma'lum bir sharoitlarda qattiq jism sirtida plazma ionlarini joylashishi kuzatiladi.

Yuqorida sanab o'tilgan jarayonlarning qanchalik effektiv ro'y berishi plazma yoki plazma oqimining harakteristikalari bilan belgilanadi.

Plazmaning issiqlik ta'siri.

Plazma yordamida materialni qizdirish turli texnologik jarayonlarda jumladan:

1. Sirtini tozalashda.
2. Materialni qirqishda.
3. Svarkada.
4. Sirtini qoplashda.

Keng qo'llaniladi. Bu va boshqa texnologik jarayonlarda birinchi navbatda joyini qizdirish muammosi turadi.

Oqim quvvatining zichligi plazmali qurilmalar texnologiyasida materiallarga ishlov berishda 10^5 - 10^6 Wt/sm² plazma yoyida, strunasida 10^7 Wt/sm² qizdirilayotgan yoki ishlov berilayotgan material sirtining yuzasi 10 - 10^2 sm² gacha bo'ladi.

A rasmda yoyli plazmatronlar uchun namunaning oqim radiusi bo'yicha (Gauss taqsimotiga boysunuvchi quvvat zichligi taqsimoti bo'yicha namunani qizdirish sxemasi tasvirlangan.) Tashqi quvvat zichligi q bo'lgan energetik oqim bilan silindrik

simmetriya shartida keng tarqalgan medodlardan biri, yarim cheksiz qismini qizdirish. Bunda yupqa plyonkani ma'lum bir qalinlikkkacha qizdirish ko'rib chiqilmaydi. Agar materialning teplo-fizik hususiyatlari temperaturaga bog'liq bo'lmasa, temperature maydoni $T(Z, R, r, t)$ ko'rinishda bo'ladi.

a- Materialning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffissenti.

- Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffissenti.
- C- issiqlik sig'imi.

P – namunadagi issiqlik manbaining hajmiy quvvati.

T – namunaning boshlang'ich temperaturasi.

1.18 tenglamaning yechimi $P(z,r,t)$ funksiyani aniqlaydi.

Materialni plazma yordamida qizdirishning asosiy hususiyatlaridan biri plazma zarrachasini kirib borgan qatlamda oqim energiyasining ajralishi hisoblanadi. Ko'p hollarda bu qatlam qizdirilayotgan sirt diametridan kichik bo'ladi.

Plazma oqimi ta'siri $r_0 \gg \sqrt{a\tau}$ sharti bajarilganda ($\sqrt{a\tau}$ - τ vaqtda namunaga kirish chuqurligi).

Bu holda 1.18 tenglama quyidagicha yoziladi.

1.19 tenglamani Laplas almashtirishlari yordamida yechib

$T(0, t)$ sirt temperaturasi vaqt bo'yicha o'zgarishi ehtimollik funksiyasi integralidan olingan integral

ni ifodalaydi

ierfc funksiyaning maksimum qiymati $z=0$ da $1/\sqrt{\pi}$ ga teng bo'lib, t vaqt momentida yuqori harorat namuna sirtida kuzatiladi. 1.21 tenglamada $T(0, t)$ t – erish berilgan plazma oqimining intensivligi q ga teng bo'lganda namuna sirtidagi temperatura erish temperaturasi ga tenglashish vaqtini topish mumkin. (1.23)

Ayrim cheklovlarni hisobga olganda plazma oqimining namunaga ta'siri

Po'latdan yasalgan namuna uchun ($a \approx 0,1 \frac{sm^2}{s}$, $w = 0,5 \frac{Wt}{grad} sm$, $T_{erish} = 1400 C$) $Q_{max} = 10^3 Wt/sm^2$ plazma oqimida namunaviy erish vaqti 1.23 tenglamaga asosan 4 s ni tashkil etadi. 1.24 tenglamaga asosan bunday uzoq ta'sir mobaynida qizdirilayotgan dog'ning radiusi $r_0 > 6 sm$ bo'ladi.

5. Plazma va plazma oqimi yordamida moddalarni kesish.

Namunaga ta'sir qiluvchi plazma oqimining ionlanish darajasi kuchli bo'lsa materialni yuqori qatlamini ionli qirqish hodisasi kuzatiladi.

Bizga ma'lumki ionli qirqish jarayoni ionli qirqish ionli qirqish koeffissenti bilan harakterlanadi.

Ionli qirqish koeffissenti qirqilgan qirqilganlar sonini bombardion qilayotgan ionlar soniga nisbatiga aytiladi.

Qirqish tezligi esa, undan olingan hosila bilan harakterlanadi. Qirqilgan zarrachalar ko'p elementli bo'lganda ayrim qirqilayotgan zarrachalar koeffissenti yoki qirqilgan molekulalar sonini ionlar soniga nisbati bilan harakterlanadi. Agar namunadagi molekulalar ko'p atomli bo'lsa qirqish tezligi bombardimon qiluvchi ionlar oqimining intensivligida birlik vaqt ichida qirqilgan qatlam bilan harakterlanadi.

Qirqish tezligi va koeffissenti quyidagicha bog'langan.

j_i - tokning zichligi.

M_2 - materialning atom massasi

e -elektron zaryadi.

N_A - Avagadro soni.

Ionli qirqish jarayonining samaradorligi quyidagi faktorlar bilan harakterlanadi.

- Ionli qirqish koefissenti bombardirovka qiluvchi ionlar harakteristikasi (materialga kiradigan ionlar) tartib raqami, massasi, zichligi materialni tashkil qiluvchi atomlarning bog'lanish energiyasi material sirtining kristallanishi va holatiga bog'liqligi.
- Ionli qirqish koefissenti namuna materialining harakteristikasi, tartib raqami massasi, zichligi, bog'lanish energiyasi, kristallanish darajasi va namuna sirtiga bog'liqligi.
- Ionli tokning zichligi.
- Muhitning ta'siri. Ishchi va qoldiq gazning tarkibi, bosimi va turli nurlanishlarga ta'siri bilan harakterlanadi. 1.1 va 1.2 tablitsalarda turli materiallarni inert gaz ionlar bilan qirqishda qirqish koefissentinining qiymatlari berilgan, bular ionli qirqish texnologiyalarida qo'llaniladi. 1.2 tablitsada ionli qirqish koefissenti sirtga tik tushuvchi ionlar energiyasiga bog'liqligi ko'rsatilgan.

2 ta grafik

Materialga ta'sir qiluvchi plazma oqimi tarkibida neytral zarrachalar (atom va molekulalar) bo'lganda qirqish koefissenti quyidagicha bo'ladi.

N_0 - neytral zarrachalar soni.

Qirqish tezligi

f_0 - neytral zarrachalar oqimi.

Plazma oqimi ta'sirida bombardirovka qiluvchi zarralar zichligi (n_i, n_0) va 1.27 tenglamani hisobga olsak plazmali qirqish tezligi ionli qirqish tezligidan katta bo'ladi.

Materialni plazma oqimi bilan qirqish qator afzalliklarga ega.

Birinchidan: plazmali qirqish bosim qiymati $p > 10^{-1}$ paskal

Nisbatan yuqori bosimda amalga oshiriladi. Bunda to'la ionli qirqish jarayoni yuz beradi va qirqilayotgan zarrachani atom va molekulalar bilan ko'p sonly to'qnashishlari yuz beradi, kesuvchi zarralarning erkin yugurish yo'li λ bo'lib, n gaz atomlari zichligi kesuvchi zarrachalar va gaz molekulalarini ta'sir yuzasi

$P = 0,1 - 10 \text{ Pa}$ ($n - p$) $\lambda = 5 \text{ sm}$

Bosimni $P = 1$ paskal qiymatida ayrim texnologik jarayonlarda kesilgan atomlarni 90 % namunani sirtiga chiqib qoladi bu esa ularni olib tashlash uchun qayta qirqishni talab qiladi. Bu kesish tezligini kamaytiradi. 1-3 rasmda 1-oltin, 2-platina, 3-nikel, 4-titanni kesish jarayonida kesish tezligini qo'shilgan havo miqdoriga bog'liqligi berilgan. Havo miqdori kamayishi bilan kesish tezligi ortib boradi.

Ikkinchidan: Plazmadagi zarralar zichligi ishchi gaz zichligidan, yuqori bo'lganda kesilayotgan atomlarni plazma zarrachasi bilan ko'p sonly to'qnashishi kuzatiladi. Bu esa bombardimon qiluvchi zarrachalar oqimini kamayishiga va qirqishga teskari jarayonni tezlashishiga olib keladi.

Har ikkala holdagi teskari jarayon quyidagilarga olib keladi.

1) Kesilgan zarrachalarni sirt bo'ylab ko'chishi.

2) Butun sirt bo'ylab qirqilgan material atomlari va qirquvchi oqim elimatlari yig'ilishi.

Birinchi jarayon namuna sirtini bir jinsliligini va strukturasini buzilishiga olib keladi

Ikkinchi jarayonni o'tishi va natija o'zaro ta'sirlashuvchi zarrachalarga bog'liq bo'ladi.

Materialni uglerod atomlari bilan qirqishda metal sirtida metal karbidlari yoki uglerodli qattiq birikmalar hosil bo'ladi. Bu esa qirqish koeffissenti kamayishiga olib keladi.

Ishchi gazning yuqori bosimda qirqish jarayonida ko'plab atomlarning chiqarilishiga va qirqish koeffissenti kamayishiga olib keladi.

Muhitda kislorodning qatnashishi yengil akslanuvchi moddalarda qirqish koeffissenti kamaytiradi.

Zaharlanish ko'rsatkichi kislorod molekulalarini tezligi ajralgan material atomlari tezligi bilan harakterlanadi.

P- kislorod bosimi.

j-ion tokining zichligi.

Materialga plazma-kimyoviy ishlov berish.

Materialga plazma kimyoviy ishlov berish asosida plazma elementlari va namuna sirtidagi atomlar orasida yuz beradigan kimyoviy reaksiyalar yotadi. Bu jarayonni amalga oshirish uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak.

- Plazma tarkibida kimyoviy aktiv modda elementlari bo'lishi.
- Namuna sirtida aktiv nuqtalar bo'lishi.
- Kimyoviy reaksiya jarayonida yengil uchuvchi moddalarni hosil bo'lishi va namuna sirtidan ajralishi.

Plazma tarkibida yuqori aktiv zarrachalarni bo'lishi yuqori energiya isrofini, yuqori temperaturani va yuqori ionlanish darajasini talab qilmaydi. Bunday moddalar plazma tarkibidagi gaz atomlari va molekulalari bo'lishi mumkin.

Molekula tarkibida atomlar ajratish uchun kerak bo'lgan energiya bog'lanish energiyasi deyiladi.

Vodorod uchun 4,5 eV

Kislorod 3,2 eV

Xlor 2,5 eV

Ftor 1,6 eV

Bog'lanish energiyasi ionizatsiya jarayonida o'zgarishi mumkin. (vodorod 2,7 eV, kislorod 6,7 eV). Kimyoviy reaksiya tezligi zarrachalar hosil bo'lish tezligidan yuqori bo'ladi.

4-bob.

1. Plazmali tezlatkichlar.
2. Plazmatronlar.
3. Gazorazryadli plazmadagi asosiy jarayonlar.
4. Gaz razryadli lazerlar.

Plazma tezlatkichlar

Plazma tezlatkichlar - tezligi 10– 103 km/s va undan yuqori bo'lgan plazma oqimi hosil qilish uchun ishlatiladigan qurilmalar. Ulardagi ionlarning kinetik energiyasi 10 eV dan 10^5 — 10^6 eV gacha yetadi. Energiyaning pastki chegarasida past temperaturali plazma generatorlari — plazmatronlarga, yuqori chegarada — zaryadlangan zarralar tezlatkichlariga o'xshaydi. Plazma tezlatkichlar to'liq ionlashgan bo'ladi. Katta tezlikdagi plazma oqimini turli yo'l bilan mas, qattiq jismga lazer nurlarini ta'sir ettirib olish mumkin. 1-rasmda Plazma tezlatkichlarga tegishli asbob tasvirlangan, unda tezlanish va plazmani tayyorlash bir yoki bir nechta elektr razryadning elektr energiyasi hisobiga amalga oshadi.

Tezlanish mexanizmi. Plazma tezlatkichlar ning ish jarayonini taxlil qilishda plazmani yaxlit muhit yoki zarralar (ion va elektronlar) yig'indisi deb qarash mumkin. Yaxlit muhit deb olinganda plazmaning tezlanishi to'liq (ion va elektronlar) bosimning pasayishi va plazmada oquvchi toklarning o'zaro ta'siridan vujudga keladi. Plazma zarralar yig'indisi bo'lsa ionlar tezlanishi quyidagilar asosida vujudga keladi; 1) plazma hajmidagi elektr maydon ta'sirida; 2) yo'naltirilgan elektronlar oqimi ("elektron shamoli")ning ionlar bilan to'qnashishidan; 3) ionlarning o'zaro to'qnashishidan.

Plazma tezlatkichlar tasnifi. Plazma tezlatkichlar issiklik va elektromagnit tezlatkichlarga bo'linadi. Issiklik Plazma tezlatkichlar orasida izotermik bo'lmagan tezlatkichlar alohida ahamiyatga ega. Unda $R_s \gg R_g$ Buni quyidagicha tushuntirish mumkin: "issiq" elektron ($T_s \gg T$) li plazma yuqori temperaturali T ionlar plazmasiga nisbatan juda oson hosil bo'ladi. Buni izotermik bo'lmagan plazma deyiladi. Izotermik bo'lmagan tezlatkichning tuzilishi tez elektronlarni injek-siyalash yo'li bilan yoki elektronli siklotron rezonansi yordamida temperaturasi $T_s \sim 10^7 - 10^8$ K ga teng "issiq" elektronli plazma hosil qiladigan "magnit soplosi"dan iborat. 2-rasmda izotermik bo'lmagan plazma tezlatkichi sxemasi kel-tirilgan. Bunda

elektron zambarak EZ dan chiqayotgan elektron dastasi gazrazryad kamerasi GKdagi elektronlarni "isitadi" va bu kameraga kiritilayotgan ish moddasi I Mni ionlaydi. Hosil bo'lgan va tezlashgan plazma TP elektron bosimining farqi ta'sirida magnit maydoni g'altagi MMF vujudga keltirayotgan magnit maydoni chiziqlari bo'ylab oqib chiqadi. Elektronlar kameradan chiqib ketishga urinib, hajmiy zaryadlarning elektr maydonini hosil qiladi. Bu maydon, o'z navbatida, ionlarga $kT \sim 10^{-10}$ eV miqdoridagi energiya berib, ularni tezlashtiradi. Elektromagnit Plazma tezlatkichlar plazmaga energiya berilishiga qarab 3 sinfga bo'linadi: radiatsion tezlatkichlar — bundaplazma oqimining tezlanishi plazma kuyuklanmasiga tushayotgan elektromagnit to'lqinlarining bosimi ta'sirida kelib chikali; induksion tezlatkichlar — impulsli tizimlar, unda tashqi o'suvchi magnit maydoni V plazma halqasidagi tokni induksiyalaydi. Shu tok bilan tashqi magnit maydoni radial tashkil etuvchisining o'zaro ta'siri Amper kuchini hosil qiladi. Bu kuch plazma halqasini tezlashtiradi; elektrodli tezlatkichlar — tezlanishli plazma bilan kuchlanish manbaiga ulangan elektrodlar o'zaro kontaktda bo'ladi. Bu tokning tashqi (avtonom magnit tizim hosil qilgan) yoki xususiy (plazmadan oqadigan tok hosil qilgan) magnit maydoni bilan amper ta'siridan plazma tezlanishi hosil bo'ladi. Elektrodli Plazma tezlatkichlar keng tarqalgan.

Birinchi Plazma tezlatkichlar 1950-yillar o'rtalarida paydo bo'ldi. Ular sirtni tozalash texnologiyasi (katodli changlatish usuli), turli sirtlarda metall plyonka hosil qilish, ionosfera aerodinamikasi tadqiqotlari va astrofizika eksperimentlari (kosmik hodisalarni modellash), termoyadro tadqiqotlar (plazma injektorlari sifatida)da qo'llaniladi.

Plazmali tezlatkichlar oldingi paragrafda ta'kidlaganimizdek elektr yoki elektromagnit energiyalari yordamida ≥ 10 eV/nuklon energiyali va 10^4 - 10^5 m/s tezlikka ega bo'lgan plazma oqimlarini hosil qiluvchi qurilma hisoblanadi. Plazma oqimini turli zaryadli zarrachalardan iborat deb hisoblab, plazmaning tezlatish mexanizmi 3 hil bo'ladi.

- Plazmadagi elektr maydonining ta'siri
- Ionlarning elektronlar bilan ta'siri.
- Bosim gradienti hisobiga ishlaydigan gazodinamik tezlatkichlar.

Bularning ichida keng tarqalgani ionlarning elektr maydonida tezlatkich hisoblanadi. Bularning ichidan keng qo'llaniladigani ionlarni elektr maydoni yordamida tezlatkich hisoblanadi. Plazmadagi elektr maydoni ikki xil usul bilan hosil qilinadi.

- Elektronlarni yuqori temperaturagacha qizdirish.
- Elektr maydoniga perpendikulyar yo'nalgan magnit maydoni hosil qilish.

Natijada elektronning traektoriyasi magnit kuch chiziqlari yo'nalishida bo'ladi. Bu usul Lorens kuchlari ta'sirida tezlatilganligi uchun Lorens tezlatkichlari ham deyiladi. (1.11) formulaga asosan Lorens tezlatkichlari uchun elektr va magnit maydonlaridan tashqari elektronlar dreyvi ham ro'l o'ynaydi. Elektr maydoni E magnit maydoniga va elektronlar dreyvining tezlik vektoriga perpendikulyar yo'nalgan. Agar plazmani bir jinsli suyuqlik oqimi deb qaralsa 1.15 ga asosan uning tezlatish mehanizmi 2 hil bo'ladi.

- Bosimning o'zgarishi ∇P
- Amper kuchi $\approx (j, b)$

Plazmali tezlatkichlar quyidagi parametrlari bilan bir-biridan farqlanadi. Tezlatish mehanizmi, ishchi moddaning berish usuli, ish rejimining vaqti bilan. Bularga asosan plazmali tezlatkichlar impulsli va uzluksiz, ishchi moddaning turiga gaz, bug' yoki eroziyal. Bunda ishchi modda qattiq material ko'rinishda bo'ladi.

Elektrotermik plazmali tezlatkichlar.

Berilgan energiya gaz holatdagi ishchi jismni qizdirishga va ionlashtirishga sarflanib, tezlatish gazokinetik hodisa hisobiga yuz beradi. Bunday tezlatkichlarga izotermik bo'lmagan tezlatkichlar kiradi. Bunda "issiq elektronlar" kamedda ishchi

gaz bilan injektorlanib, tez elektronlar ($kT \approx 10-100$ keV) ionlashtirib, o'zining maydoni bilan ionlarni tezlatadi.

Elektrostatik plazmali tezlatkichlar.

Ishchi moddani ionlashtirish va ionlarni tezlatish elektr maydonida elektromagnit energiya hisobiga amalga oshiriladi.

Magnit plazma-dinamik plazmali tezlatkichlar.

Magnit maydonini plazmada oquvchi tok bilan ta'siri natijasida tezlatiladi. (Amper kuchi).

Radiatsion plazmali tezlatkichlar.

Plazmani elektromagnit maydonini impulsli uzatish hisobiga amalga oshiriladi.

Magnitli plazma-dinamik tezlatkichlar.

Elektrodsiz bo'lib, tashqi magnit maydonli va hususiy magnit maydonli plazmali tezlatkichlarga bo'linadi.

Induksionli va yuqori chastotali tezlatkichlar hozirgi kunda texnologik jarayonlarda kam qo'llanilmoqda. Solenoiddi ichida hosil bo'lgan magnit maydoni bir nuqtada hosil bo'lmay yoyilishiga olib keladi.

4.2.Plazmatronlar.

Turli parametrli plazma oqimini hosil qiluvchi qurilmalar ikki sinfga bo'linadi.

- Plazmatronlar.
- Plazmali tezlatkichlar.

Turli xil texnologik jarayonlar uchun zarrachalar oqimini hosil qiluvchi qurilmalar uchun 2.1 sxemada tezlatuvchi qurilmalarning klassifikatsiyasi berilgan. Plazmadagi ionlar konsentratsiyasini ularning energiyalari bo'yicha turli hil qurilmalardagi qiymatlari keltirilgan. Gazodinamik elektr jihatdan neytral bo'lgan yuqori zichlikdagi va kam energiyali neytral oqimlarda qo'llaniladi. Elektr maydoni yordamida zarrachalarni tezlatish yuqori energiyali bir zaryadli zarrachalarni oqimdagi hajmiy zaryadning cheklanishida amalga oshiriladi.

Oqimdagi zarrachalar konsentratsiyasi yuqori bo'lganda tezlatish plazmatronlarda va plazmali tezlatkichlarda amalga oshiriladi.

Plazmatron shunday qurilma bo'lib, unda past temperaturali plazma tashqi manbaning elektr energiyasi ishchi moddani ionlashtiradi. Plazmatronlarda hosil qilingan plazma temperaturasi 10^5 K dan ortmaydi, zarrachalar tezligi 10^4 m/s dan kichik, bitta nuklonga to'g'ri keluvchi energiya 10eVdan kichik bo'ladi. Zarrachalarning yuqori darajada zichligi uning quvvatini 10 MWt gacha yetkazish mumkin.

Plazmali tezlatkichlar shunday qurilmalarki, ularda hosil qilingan plazma oqimida bir nuklonga to'g'ri keluvchi energiya 10eV dan katta plazmadagi zarrachalar tezligi 10^5 m/s dan yuqori bo'ladi.

Plazmatronlar ma'lum bir energiyali plazma oqimini hosil qiluvchi qurilma bo'lib, laboratoriya va texnologik jarayonlar uchun XX asrning 50-yillaridan

qo'llanila boshladi va yuqori oqimli gaz razryadlarini hosil qilish va ularni issiqlik himoyasidan iborat.

Tehnologik jarayonlarda asosan yoyli va yuqori chastotali plazmatronlar qo'llaniladi.

Yoyli plazmatronlar.

Yoyli plazmatronlar doimiy tok va o'zgaruvchan toklarda ishlashi mumkin. Yoyli plazmatronlarning ikkinchi avlodi kam qo'llaniladi. Doimiy tokli yoyli plazmatronlarning asosiy elementlari elektrodlar, razryad kamerasi, ishchi jismni berish bo'limi, tok manbai va sovutish sistemasidan iborat.

Materialllar sirtini plazma materiali bilan qoplashda qo'llaniladigan yoyli plazmatronlarning sxemasi 2.2 rasmda berilgan. Bunday plazmatronlarda past temperaturali plazma oqimi ishchi gazning ionlanishi natijasida 1 va 2 hosil bo'ladi. Ionlanish jarayoni elektronlarni neytral atomlar bilan to'qnashishi natijasida hosil bo'ladi. Termik ionlanish bir necha marta to'qnashishlar natijasida hosil qilinadi. Hosil qilingan yonish jarayonida yoyda ionlanish va uyg'onish jarayonlari muvozanatda bo'ladi. Ikkinchi tomondan stabil holatga o'tish jarayoni kuzatiladi. Termodinamik muvozanatda rekombinatsiya uch marta to'qnashishlar natijasida hosil bo'lib, ajralgan energiya plazma razryadiga uzatiladi. 2- oblast uchun massa ko'chishi 1- bilan 2- orasidagi issiqlik almashinishi hisobiga hosil bo'ladi.

2.3 sxemada plazmatronning silindrsimon anod kanalidagi gaz oqimi ko'rsatilgan. Bu sxemaga asosan boshlang'ich bo'limda yoy qatlamini yonib laminar oqim II, III bo'limlarda issiqlik qatlamini buzib, issiqlik qatlami chegarasida qizigan gaz oqimi hosil bo'ladi va kanal devorigacha yetib boradi. D kesimdan boshlab yoy turbulent oqim bilan ta'sirlashuvi boshlanadi. IV bo'limda qaror topgan turbulent oqimga o'tish kuzatiladi. E kesimda yoy kamalagi kanal devoriga yetib borib 5-bo'limda plazmaning turbulent oqimi hosil bo'ladi. Plazmatronlarning konstruksiyasiga qarab kesimlar va zonalar o'rinlari almashinishi mumkin. 2.3 b

rasmda yoy razryadining patensialida potensialning taqsimlanishi keltirilgan. Elektrodga yaqin joylarda potensialning keskin o'zgarishi yoy bilan elektrod orasidagi zaryad ko'chish jarayoni elektrodlar va ionlar orqali amalga oshiriladi. Bu uchastkalar uchun termodinamik muvozanatni va plazmaning kvazinaytralligining buzilish shartlari kuzatiladi. Kator yaqinida kuchlanish tushuvi 15-20 V ni tashkil qiladi. Anod yaqinida esa bir necha V bo'ladi. Kuchlanish tushuvining past qiymatlariga qaramay bu oblastlarda elektr maydon kuchlanganligi yuqori bo'ladi, misol uchun katod yaqinida 10^4 - 10^6 V/sm. Elektrodlar orasida va ularning yaqinidagi oblastlarda yuz beradigan issiqlik jarayonlari plazmatronlarda katta ro'l o'ynaydi. Katod va anod yaqinidagi yoylarda energiya oqimining zichligi 10^5 - 10^7 Wt/sm² bo'lib, buning natijasida elektrod materiallarining erishi va bug'lanishi natijasida ulardan foydalanish vaqtlari qisqaradi. Yoyli plazmatronlarda gazlarning qizish ypyoylarda ajralgan joul issiqligi hisobiga yuz beradi. Energetik balansni quyidagicha yozish mumkin

$$2.1\sigma E^2 = \rho c_p v \text{grad}T - \text{div } \omega(T)\text{grad}T + S(T)$$

E- elektr maydon kuchlanganligi.

σ - plazmaning elektr o'tkazuvchanligi.

S(T) – plazmaning elektr o'tkazuvchanligi.

ρ - plazma zichligi.

C_p - issiqlik sig'imi.

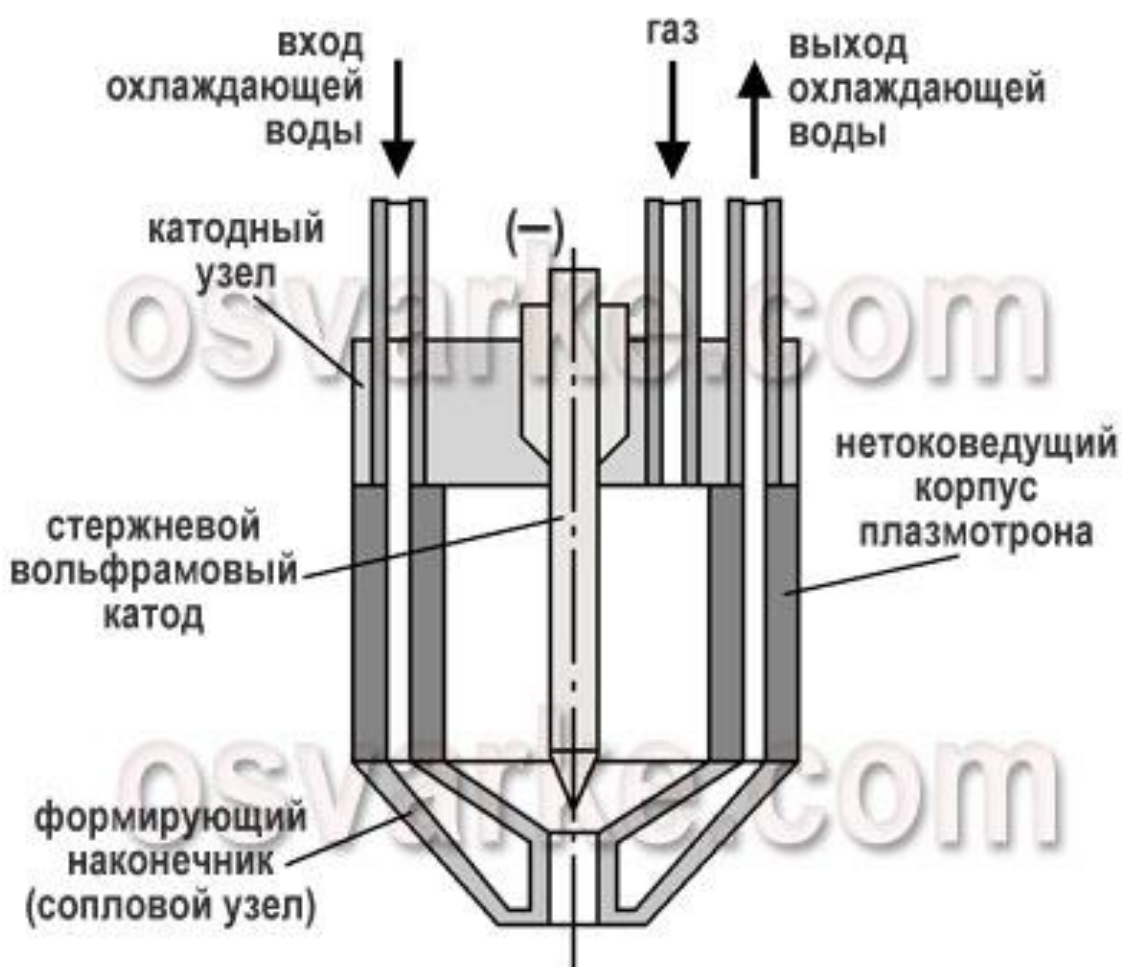
$w(T)$ - gazning issiqlik o'tkazuvchanligi.

Yoylarda ajralgan issiqlik hisobiga kuchli ionlangan tok o'tkazuvchi gaz hosil bo'ladi. Yoyli plazmatronlarda yoy toki 200000 A gacha bo'ladi. Bunday toklarning o'tishi intensive ravishda issiqlik ajralishi va tokning o'zining hususiy magnit maydoni bilan ta'siri kuzatiladi. Umumiy holatda tokning hususiy magnit maydoni bilan ta'siri natijasida yoyning o'z yo'nalishidan chetlanishi va uning siqilishini

vujudga keltiradi. Elektromagnit kuchlarning ta'siri asosan ionlar orasidagi kulon kuchlari va neytral atomlar bilan ishqalanish kuchlarini hosil qiladi. Yoyning kesimi anod kanalining kesimiga teng bo'lganda tok kuchining zichligi 10^2 - 10^3 A/sm² ga teng bo'ladi. Yoy kesimi bo'ylab temperaturaning taqsimlanishi 2.3 v rasmda keltirilgan. Plazmatronning turiga va ishchi gazning turiga qarab temperature 10^4 - $5 \cdot 10^4$ K gacha bo'ladi. Plazmaning o'tkazuvchanligi yuza bo'ylab temperaturaga nisbatan tezroq ortib boradi. Anod kanalida yoyning yonishi asosiy fizik jarayonlardan bo'lib ustanovkaning ish rejimiga ta'sir qiladi. Bu jarayon ustunning uzunligiga va yoyning quvvatiga ta'sir qiladi. 2.2. rasmda keltirilgan plazmatronda o'zgaruvchan kesimli kanal (4) va keyingi oblast namunaga yo'naltirilgan gazli plazma oqimining gidrodinamik parametrlarini harakterlaydi.

Yuqori chastotali plazmatronlar.

Yuqori chastotali plazmatronlar yuqori chastotali gaz razryadlarini hosil qilish usuliga qarab induksionli, sig'imli, fakelli (mash'ala), tojli plazmatronlarga bo'linadi. Tehnologik jarayonlarda 2.5 rasmda ko'rsatilgan induksionli yuqori chastotali plazmatronlar ishlatiladi. Asosiy bo'limlari razryad kamerasi, ishchi gazni beruvchi sistema, yuqori chastotali manba, inductor hisoblanadi. Induksionli yuqori chastotali plazmatronlar elektrodslarsiz qurilma hisoblanadi. Bularda plazma hosil qiluvchi gazlar uyurmali toklar bilan qizdiriladi. Bunda ishchi chastota 10^4 - 10^5 Hz ni tashkil qiladi. Atom va molekulalarning ionlanishi yoyli plazmatronlar kabi elektronlarning ular bilan to'qnashishi natijasida amalga oshiriladi. Plazmani hosil qiluvchi razryadlarda temperature va o'tkazuvchanlik butun hajm bo'ylab notekis taqsimlangan. Razryad kamerasi markazida va boshlang'ich qismida plazma yoyining temperaturasi 10^4 K, plazmaning tezligi 10^3 m/s, oqim quvvati 10^6 Wt bo'lib, yuqori chastotali plazmatronlarning FIK 50-80 % ni tashkil qiladi. Yoyli plazmatronlarda va yuqori chastotali plazmatronlarda ham razryadning issiqlik izolyatsiyasi uchun qo'shimcha gaz oqimidan foydalaniladi. O'ta yuqori chastotali plazmatronlar ham mavjud.



Газоразрядли плазмадаги асосий жараёнлар.

Кўпчилик газоразрядли лазерларни ишчи актив қисми газ зарядининг плазмаси ҳисобланади. Плазма – қисман ёки тўла ионлашган квазинейтрал газсимон модда. Бу соҳани ўлчамлари Дебай радиусидан катта. Дебай радиуси плазманинг электронлари температураси T_e ва зичлиги n_e орқали белгиланади.

$$r_D = \left(\frac{kT_e}{4\pi m_e e^2} \right)^{1/2} \approx 7,5 \cdot 10^2 \sqrt{\frac{T_e}{n_e}}$$

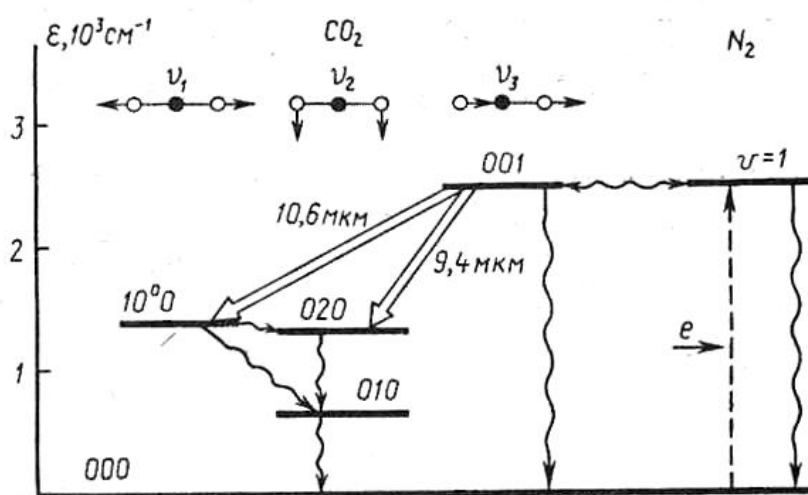
Газ заряди деганда газсимон модда орқали электр токи ўтганида вужудга келадиган жараёнлар тушунилади. Газ лазерларда қўзғотиш энергияси ишчи

жисмда газдан электр токи ўтганда вужудга келади. Бу энергия қуввати jE , j ва E газоразряд ораликдаги ток зичлиги ва электромагнит майдон кучланганлиги. Газда $n_e = 10^8 - 10^{16} \text{ см}^{-3}$, нейтрал атомлар температураси $T_e = 10^2 \div 10^5 \text{ K}$, электронларнинг ўртача энергияси $\overline{E_n} = 0.1 \div 10 \text{ eV}$ ларга етишиши мумкин.

Плазманинг ҳар хил хусусиятларини газдаги атомлар ва ионларнинг ўзаро таъсирлашув механизмлари ва тўқнашиш харакерлари (эластик ёки ноэластик) белгилайди. Бу жараёнларда электронлар ажратиб чиқиш ютилиши ва ёпишиб туриш ҳолатлари юз бериши мумкин. Газли лазерларни актив моддаларнинг заряди, таркиби, энергетик сатҳларнинг тузилиши уларда мажбурий нурланиш ҳосил қиладиган инверс тўлдиришни механизмлари хилма-хил бўлишини актив сатҳни қўзғатиш усуллари ҳар хил бўлишини тақозо этади.

Газ разрядли лазерлар CO_2 .

CO_2 -лазерлар инверс тўлдириши молекулаларнинг тебраниш сатҳлари ўртасида ҳосил қилинади.



3-расм. Тебранишлар турлари ва CO_2 ҳамда N_2 молекулаларининг асосий сатҳлари схемаси.

CO_2 чизикли бўлган O-C-O тузилишига эга. Кислород атамлари $V_1\text{OO}$ -симметрик ва $\text{OO } V$ -носимметрик тебранишда бўлиши мумкин. Улар яна O VO кўндаланг(деформацион) тебранишларда иштирок этиш мумкин (I - деформацион тебранишлар кутубланиши мумкинлигини билдиради). ν_1, ν_2, ν_3 мос ҳолдаги системаларга хос бўлиши тебранишлар квант сонини билдиради.

Юқори 00^01 ва 10^00 ва 02^00 сатҳлар ўртасидаги мажбурий ўтишларда 10,6 ва 9,4 мкм ли нурланишлар пайдо бўлади. Нурланишли оптикал шароитларни ҳосил қилиш учун CO_2 га азот ва гелий ҳам қўшилади ва улар 001 да инверсион тўлдирилган сатҳ ҳосил қилишга хизмат қилади. Бу ҳолда сатҳлараро барча ўтишлар соддалаштирилган тарзда расмда берилган CO_2 молекулани юқори сатҳдаги яшаш вақти ўз -ўзидан ўтишлар учун $\sim 0,2 \text{ s}$ ($A_{21} \sim 5,1 \text{ c}^{-1}$). Шунинг учун лазерни уйғонган молекулалар уғонмаганлари билан тўқнашишлари натижасида пастки ва юқори лазерли сатҳлар (2,1) нурланишсиз тўлади. Бу сатҳлар релаксацияси вақти τ_{co_2-i} ни I таркибга нисбатан

$$\tau_{co_2}^{-1} = \sum_i \tau_{co_2-i}^{-1} = \sum_i \frac{P_i}{(P \tau)_{co_2-i}}$$

кўринишида аниқлаш мумкин . Бунда P- порциал босим.

CO_2 лазерларда инверс тўлдириш ҳосил қилишни катта самарали бўлишини асосий сабабларидан бири CO_2 молекулани 001 ва N_2 ни $V=1$ сатҳларини электронлар зарбаси билан қўзғатиш резонанс характерга эга ва бу жараёнларни ҳосил бўлиш қисми юзасини максимум қиймати $\text{CO}_2, N_2, \text{He}$ лардан иборат аралашмада мустақил биқсима (гелютсий) разрядни таъминловчи электронлар энергиясига яқин эканлиги иккинчи сабаб - CO_2 молекулали 00^01 сатҳни N_2 ни $V=1$ сатҳи билан мос келиши 001 ва $V=1$ сатҳлар орасида ўзаро алмашиш осон бўлади ва лазерни юқorigи уйғонган ҳолатини тўлдиришда катта самара беради. Бундан ташқари азот молекулалари электронлар билан тўқнашиши орқали юқори сатҳни тўлдирса, сув

малекулалари H_2O ва идиш деворлари билан тўқнашиб юқори сатҳларда жойлашиб олади ва уларда кўзғатувчи тўлқинлар сифатида тўпланиб, нисбатан узоқ вақт яшайди

$$\tau_e = \tau_{CO_2} \frac{(P_{CO_2} + P_{N_2})}{P_{CO_2}} \tau_{CO_2}$$

τ_e - юқorigи лазер сатҳининг N_2 мавжуд бўлгандаги релаксион вақти, P_i - порсиал босим .

Юқorigи сатҳни тўлдириш тезлиги $M_2 = \langle jE \rangle \eta_k \tau_{CO_2} / E_{001}$ ва генерация бўлмаганда тўлдириш даражаси

$$N_{001} = \langle jE \rangle \eta_k \tau_{CO_2} / E_{001}$$

η_k - атом ва ионларни сарфланган энергияни умумий сарфланган энергиядаги ҳиссаси.

Энди пастки лазер сатҳини молекулалардан бўлишини озод бўлишни кўрайлик. Генерация бўлмаганда E сатҳ асосий сатҳ 000 билан иссиқлик мувозанатида бўлади. Одатда газ температураси $T=500K$ бўлса $Nm^3 \cdot 10^{-2}$ бўлади. Пастки сатҳларни доимий равишда бўшатиб туриш учун газ аралашмасига гелий (He) қўшилади. Гелий 100 сатҳли бўлиши билан бирга иссиқликни ҳам олиб кетади ва газ ҳажми температурасини турғунлаштириб туради. Уч элементдан иборат газ аралашмаси асосидаги CO_2 лазер самарали ишлаши учун бу газларни қандай нисбатда олиниши уни қўғатиш ва совутиш ҳамда , генерация шароитларига боғлиқ бўлади. Бу анчайин мураккаб масала бўлгани учун ҳар бир лазер учун алаҳида очилади.

CO_2 малекуланинг кўрганимиздек тебранишлари билан бирга айланишини ҳам ҳисобга олсак, унинг тебранишлар спектри яна ҳам мукаммаллашади ва асосий тебраниш сатҳи яна кичик (козик) структураларга ажралади. Бу айланма ҳаракат сатҳлари бир- бирдан катталиклар билан фарик

қилувчи j квант сони билан белгиланади. CO_2 лазердаги мажбурий ўтишлар кўндаланг кесими j , аралашма таркиби газ босими температурасига боғлиқ бўлади ва бўлиши мумкин. Молекулаларнинг айланма ва илгарлама айланишлари ўртасидаги интеграл энергия алмашиши туфайли CO_2 газда бу ҳолатлардаги заррачалар тақсимооти Болцман тақсимоотига мос бўлиб қолади.

$$N_{v,j} = N_v (2j+1) \frac{B_{\text{CO}_2}}{kT_2} \exp\left[-\frac{B_{\text{CO}_2} j(j+1)}{kT_2}\right]$$

Бундаги N_v , N_{vj} - тебранма v ва айланма j - сатҳлардаги қўзғалган заррачалар; $B_{\text{CO}_2} = 0.39 \text{ см}^{-1}$ айланиш доимийси. Бу функция поматои ўзгаради ва унинг энг катта қиймати

$$j_{\max} = \sqrt{\frac{kT_2}{2B_{\text{CO}_2}}} - \frac{1}{2} \approx \sqrt{\frac{kT_2}{2B_{\text{CO}_2}}}$$

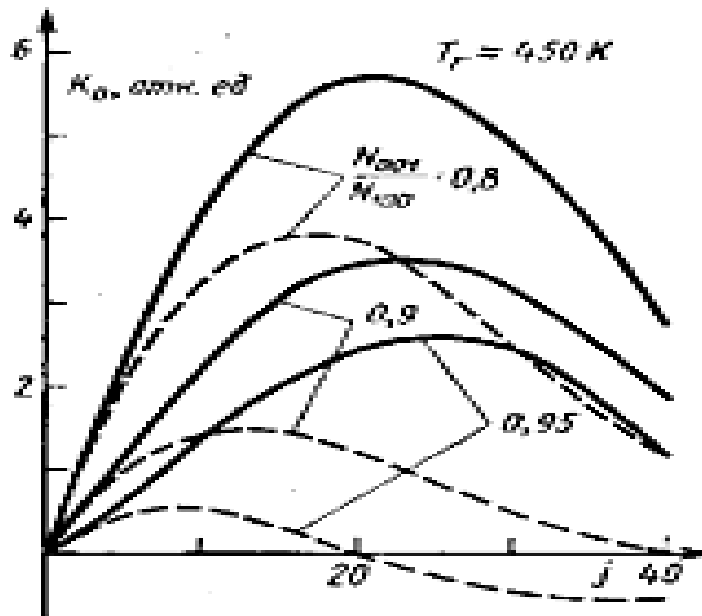
Молекулалардаги танланиш қондасига асосан CO_2 даги ҳар хил тебраниш сатҳлари орасидаги ўтишлар айланиш квант сони ўзгариши ёки бўлгандагина мумкин бўлади.

Шундай қилиб лазерни ишчи муҳитини кучайтириш чизиғи ҳар хил j га мос келувчи Доплер эффекти ҳисобига $\Delta\nu_p$ ва тўқнанишлар туфайли $\Delta\nu_l$ катталикларга кенгайган чизиқлардан иборат бўлади. CO_2 лазерлар учун $\Delta\nu_p = 7 \cdot 10^{-7} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \nu_0$ ва $\Delta\nu_L = 7.6 \cdot 10^6 (P_{\text{CO}_2} + 0.73 P_{\text{N}_2} + 0.6 P_{\text{He}}) \sqrt{\frac{300}{T}}$ лардан аниқланади - μ - молярки вес, P - парсиолний давления.

Мажбурий ўтишлар кесими юзаси (CO_2 - лазерларда) газ аралашмаси таркиби, босими, температураси, j - ларга боғлиқ бўлади ва $(2-5) \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ га тенг бўлиши мумкин. Максимал тўлдирилган $j=20$ бўлган айланувчи сатҳлар учун кесим юзасини

$$\sigma_{\Theta} = \frac{8,9 \cdot 10^{-16} \exp(-215/T_2)}{\sqrt{T_2} (P_{CO_2} + 0.73P_{N_2} + 0.6P_{He})}$$

ифода ёрдамида ҳисоблаш мумкин. Келтирилган ифодалар ёрдамида ҳисобланган $K(j)$ боғланиш расмда келтирилган.



**4-расм. CO₂-лазерни 00⁰1-10⁰ ўтишини кучайтириш
коэффициентини T=450 K да P- ва R-шахобчалари учун айлантирувчи сон
j га боғланиши**

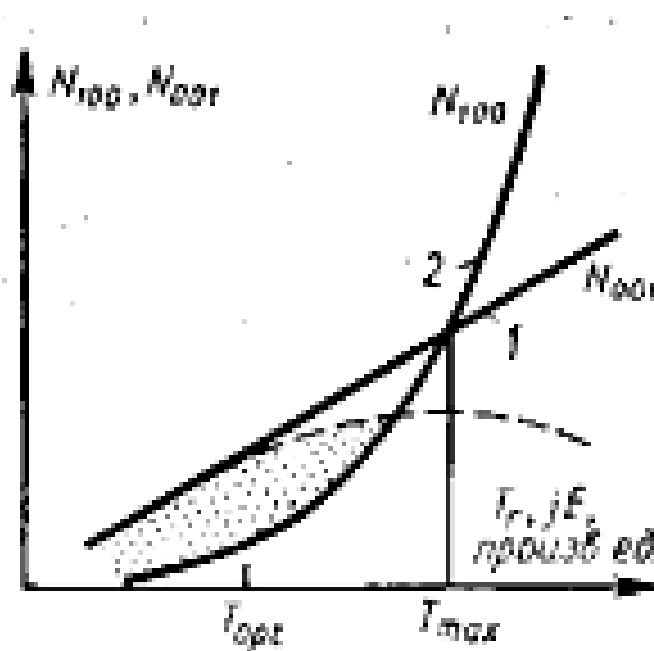
Бундан кўринишича N_{001} ва N_{100} сатҳлар тўлдирилганликларининг нисбатига қараб P- ва R- ўтишларнинг $K_0(j)$ лардан P – ўтишлар каттароқ кучайишига эга ва уни қийматини

$$K_0 = \frac{A_{21} \lambda^2 h c B_{CO_2} j}{2\pi^2 \Delta \nu_L k T_2} \exp \left[-\frac{h c B_{CO_2}}{k T_2} j(j-1) \right] \times \left(N_{001} - \frac{2j+1}{2j-1} N_{100} \right)$$

ифодалар орқали аниқлаш мумкин. N_{001} ва N_{100} лар 001 ва 100 айланиш сатҳларини тўла тўлдирилишини коэффициентлари.

Актив соҳанинг кучайтириш коэффициенти ишчи аралашманинг температурасига боғлиқ генерация бўлмаганда $N_{001} - T_2 - jE$ (1-чизик). Лекин T ни ортириш билан заррачалар тўқнашувининг ортиши N_{001} ни кўпайишига олиб келиши мумкин (3-чизик)

CO_2 -лазерни пастки 100 сатҳли тўлдирилиши Болцман қонунига асосан содир бўлади ва экспоненциал кўринишга эга (2-чизик). Шунинг учун маълум бир температурада лазерни инверс тўлдирилиш йўқолади. Лазер актив соҳасининг самарадорлиги температура билан белгиланади. Одатда $T_{max} - 700 - 800k$ ва $T_{opt} - 400 - 500k$ бўлади.



5-расм. CO_2 -лазерни ишчи аралашмасининг оптимал температураси расмини аниқлаш

Шунинг учун CO_2 лазерларда аралашма температурасини ушлаб туриш муҳим аҳамиятга эга. CO_2 -лазерларда ортиқча иссиқлик резонатор деворлари орқали (диффузион усул) ёки иссиқ газни алмаштириш (конвектив усул) олиб кетилади. Мана шу усулларга қараб газ разряди CO_2 -лазерлар секин ва тез алмаштирувчи (прокачка) лазерларга бўлинади.

CO₂-лазерлар Ф.И.К $\eta_B = \eta_k \eta_{разр}$ каби белгиланади, бунда η_k - тўлдириш (прокачка)ни заррачаларини тебраниш орқали амалга ошириш Ф.И.К (001 ва $v=1$ сатҳларни қўзғотиш учун сарфланган энергия қисми) $\eta_{разр}$ - лазер схемаси разрядланиш ФИК (газ разряди пайтида муҳитда ажралаётган энергияни электр манбаи умумий қувватига нисбатан). Буларни эътиборга олиб газ разрядли CO₂-лазерни умумий қуввати қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\eta = \eta_{кв} \eta_k \eta_{разр} \eta_p \eta_{CO} \text{ ёки } \eta_{эо} = \eta_{кв} \eta_k \eta_p$$

Одатда CO₂-лазерларда $\eta_{кв} - 0,4$, $\eta_k - 0,6 \div 0,9$, $\eta_p - 0,5 \div 0,8$ бўлса, $\eta_{эо} = 0,1 \div 0,3$ бўлади