

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

ANDIJON DAVLAT UNIVERSITETI

Abduboqiyev O'.A., Tojiboyev I.I.

L A Z E R F I Z I K A S I

**Universitetning «Fizika» ta'lim yo'nalishi
bakalavr bosqochi talabalari uchun
o'quv qo'llanma**

Andijon-2009

BBK 22.343.4 5440100-“fizika-bakalavr” ixtisosligi
UDK 535.(075.8)

“Lazer fizikasi” nomli o`quv qo`llanma umumiy fizika kafedrası majlisi qaroriga asosan Andijon davlat Universiteti Ilmiy Kengashining _____ 2009 yilda o`tkazilgan yig`ilishda (bayonnoma №__) nashr etishga tavsiya etilgan.

Tuzuvchilar:

ADU dotsenti: Abduboyev O'.A.
Tojiboyev I.I.

Taqrizchilar:

ADU dotsenti: Ermatov Sh.A.
ADU dotsenti: Qosimov U.I.
AQHI dotsenti: Qarshibaev S.

O`quv qo`llanmada lazerlar haqida nazariy tushunchalar, ularning tuzilishi, ishlash prinsipi va qo`llanilishi haqida ma`lumotlar bayon etilgan.

В учебном пособии изложены введение в теорию лазеров, устройство, принцип работы и применения различных лазеров.

In the manual are stated introduction in the theory of lasers, device, principle of work and application of various lasers.

So'z boshi

Universitetning “fizika” ta’lim yo’nalishi o’quv rejasiga asosan “Ixtisoslik fanlari” qatorida “Lazer fizikasi” fani o’qitilishi rejalashtirilgan. Ushbu fan bo’yicha ma’ruza mashg’ulotiga 34 soat, seminar mashg’ulotiga 20 soat va talabalarning mustaqil ta’limi uchun 36 soat ish xajmi ajratilgan. Bu fan 2-bosqisning 3- semestrida hamda 3- bosqisning 5-semestrida o’qitiladi.

“Lazer fizikasi” ixtisoslik fani dasturining asosiy mazmuni quyidagilarni qamrab oladi:

- spontan va majburiy nurlanish;
- lazerlarning ishlash prinsipi;
- lazer nurlarining xossalari;
- lazer nurining modda bilan o’zaro ta’sirlari;
- spontan nurlanishning klassik va kvantoelektrodinamik nazariyasi;
- damlash;
- optik rezanatorlar;
- lazerlarning ish rejimlari;
- lazerlarning turlari;
- lazerlarning turli sohalarda qo’llanilishi.

Mustaqil O’zbekiston Respublikasida 1997 yili 29 avgustda tasdiqlangan “Ta’lim to’g’risida ” va “Kadrlar tayyorlash milliy dasturi” to’g’risidagi qonunlarini hayotga tatbiq etish mamlakatda tub islohotlarga olib keldi. U jamiyat ta’lim-tarbiyasiga mas’ul muassasalar oldiga xar tomonlama etuk barkamol avlodni etishtirishdek ulkan vazifani yukladi. Barkamol avlodni tarbiyalash ta’lim-tarbiya muassasalari tizimiga, u tizimda foydalanilayotgan o’quv dasturlari va o’quv rejalariga, shu dastur va rejalariga mos bo’lgan ta’lim-tarbiya vositalari va ular bilan ta’min etilganlik darajasiga bog’liqdir. Ta’lim-tarbiya vositalari orasida jaxon talab darajasida tayyorlangan o’quv darsliklari va qo’llanmalari alohida ahamiyatga egadir. Zamon talabi darajasida daslik va qo’llanmalar yaratish O’zbekiston o’quv muassasalari oldiga qo’yilgan eng dolzarb masalaga aylandi. Ushbu dolzarb masala ta’lim tizimining barcha jabhalariga ham bir hil taalluqlidir. Ushbu masalani hal etish maktab, kollej, listey va oliy yurtlari o’qituvchilari, ilmiy-tadqiqotlari xodimlari zimmasiga tushadi. Oliy o’quv yurtlari talabalariga mo’ljallangan maqbul o’quv qo’llanmalar yaratish ham zikr etilgan dolzarb masalaning tarkibiy qismi hisoblanadi. “Lazer fizikasi” fanudan o’quv qo’llanmasini yaratiga qo’l urildi. Demak, universitet talabalari uchun shu kungacha o’zbek tilida mavjud bo’lmagan “Lazer fizikasi” o’quv qo’llanmasini yaratish dolzarb masala tarkibidagi ishdir.

“Lazer fizikasi” fanidan o’quv qo’llanmasini tayyorlashda Davlat Ta’lim standarti (DTS), o’quv dasturi va rejasi asos qilib olindi. Bu sohadagi ilmiy, o’quv adabiyotlari, turli anjuman materiallari va internet materiallari tahlil etildi. Natijada fan dasturi tuzilib, qo’llanma mundarijasi shu dastur asosida shakllantirildi. Demak, davlat meyoriy xujjatlari va mavjud ilmiy va o’quv ta’lim-tarbiya vositalari izlanish ishi (qo’llanma yaratish faoliyati) ning ob’ekti hisoblanadi.

Tayyorlangan “Lazer fizikasi” fani bo’yicha o’quv qo’llanmasi Andijon davlat universiteti fizika-matematika fakulteti “fizika” ta’lim yo’nalishi 3-kurs talabalarini o’qitishda sinovdan o’tkazildi. Sinov davrida fan uchun tuzilgan reyting tizimi, tizimning “joriy baholash”, “oralik baholash” va “yakuniy baholash” bosqichlari uchun tayyorlangan oddiy va test savollari, ular asosida tayyorlangan variantlar, tarqatma materiallar o’quv jarayonida sinab ko’rildi va ijobiy natijalarga erishildi.

Demak, sinovdan ijobiy natija bilan o'tgan "Lazer fizikasi" o'quv qo'llanmasi, unga bog'liq bo'lgan o'rgatuvchi va nazorat vositalari ishlanish ishining predmeti hisoblanadi.

Ishlanish ishini amalga oshirishda tadqiqotning nazariy tahlil usuli, sinov jarayonida esa mashg'ulotlar jarayonida va teyting nazorati jarayonida tadqiqotning og'zaki va yozma amaliy usullaridan foydalanildi.

Mazkur o'quv qo'llanmasi talabalarga bilim berishda o'quv jarayonida qo'llanishga mo'ljallanganligi sababli uning amaliy ahamiyati katta bo'lib, u albatta ishlab chiqarishga – o'quv jarayonida kadr tayyorlash amaliga qo'llaniladi.

Qo'llanmaning ilmiy va amaliy ahamiyati uning o'quv jarayonida sinovdan o'tishda va turli anjumanglarda havola etilgan materiallar asosida e'tirof etildi.

§1. LAZERLAR HAQIDA TUSHUNCHA.

- 1.1 Yorug'lik haqida boshlang'ich ma'lumotlar.
- 1.2 Qisqa tarixiy ma'lumot.
- 1.3 Spontan va majburiy nurlanish. yorug'likning yutilishi.
- 1.4 Lazerlarning ishlash prinsiplari.
- 1.5 Lazer nurlarining hossalari: monoxramatiklik, kogerentlik, yo'nalganlik, ravshanlik.

1.1. YORUG'LIK HAQIDA BOSHLANG'ICH MA'LUMOTLAR

Yorug'lik hodisalarini tushuntirishda ikki xil tasuvvurdan foydalaniladi. yorug'likning elektromagnit to'liqin ekanligini e'tirof etsak, yorug'likning interferenstiyasi, difrakstiyasi, dispersiyasi va qutblanish xodisalarini izohlash mumkin. Elektromagnit to'liqin o'zaro perpendikulyar tekislikda ayni bir yo'nalishda tarqaluvchi elektr to'qini (elektr maydoni tebranishining $\vec{r}$ yo'nalishda tarqalishi)

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin(\omega t - k\vec{r} + \varphi_{01}) \quad (1.1)$$

va magnit to'liqini (magnit maydoni tebranishlarining $\vec{r}$ vektor yo'nalishida tarqalishida tarqalishi) majmuasidan iborat. Tebranish

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \sin(\omega t - k\vec{r} + \varphi_{02}) \quad (1.2)$$

davrini T , ν chastotasini, ω siklik chastotasini bilan belgilasak

$$\nu = \frac{1}{T}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad (1.3)$$

bog'lanishlar o'rinli bo'ladi. Odatda yorug'likning vakuumdagi tezligini $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, muhitdagi tezligini v bilan belgilasak, muxit dielektrik singdiruvchanligini ϵ , magnit singdiruvchanligi μ bo'lganda muhitning yorug'lik sindirish ko'rsatkichi uchun

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu} \quad \text{va bundan} \quad c = nv, v \frac{c}{n} \quad (1.4)$$

va bunda ifodani yozish mumkin.

Yorug'lik to'liq uzunligini vakuum uchun

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu} = Tc \quad (1.5)$$

va muhit uchun

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = T\nu = \frac{Tc}{n} = \frac{\lambda_0}{n} \quad (1.6)$$

ko'rinishda yozish mumkin. yorug'lik to'liq soni vakuum uchun

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} = \frac{2\pi}{(c/\nu)} = \frac{2\pi}{Tc} = \frac{\omega}{c} \quad (1.7)$$

va muxit uchun

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{(v/\nu)} = \frac{2\pi}{T\nu} = \frac{\omega}{v} \quad (1.8)$$

ko'rinishda yoziladi.

Elektr va magnit to'liqini ifodalaridagi $\vec{E}_0$ vektor va $\vec{H}_0$ vektor kattaliklar mos ravishda elektr va magnit maydoni kuchlanganliklari amplituda qiymatini, $(\omega t - k\vec{r} + \varphi_{01})$ va $(\omega t - k\vec{r} + \varphi_{02})$ to'liq fazalarini ko'rsatadi.

Demak yorug'lik to'liqini t vaqt va $\vec{r}$ fazoda davriy o'zgaruvchi to'liq tabiatli jarayondir.

Yorug'lik zarrasi "foton" nomi bilan atalib, u o'zida $E = h\nu$ miqdor energiya ulushiga ega bo'lgan kvazizarradir. Bu erda $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ Plank doimiysi, ν -chastota. Fotonning vakuumdagi energiyasi

$$E = h\nu = mc^2 \quad (1.9)$$

ifoda yordamida aniqlanib, foton massasi

$$m_f = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda_0 c} \quad (1.10)$$

impulsi esa

$$P = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda_0} \quad (1.11)$$

ifodalar yordamida aniqlanadi. Bu holda yorug'lik fotonlar oqimidan iborat bo'lib, uning zichligi yorug'lik dastasi intensivligini belgilaydi. yorug'lik dastasi intensivligi uning chastotasi va tezligiga proporsional bo'ladi.

Issiqlik nurlanishi, fotoeffekt hodisalari, Kompton effekti yorug'likning zarracha tabiatini inobatga olib izohlaydilar.

Yorug'likning to'lqin va zarracha tabiati haqidagi tasavvurlar bir-birini rad etmaydilar, ular bir-birini to'ldiradilar.

Yorug'likning zarracha tabiati M.Plank ishlarida, Eynshteyn ishlarida, Stoletov, Lebedev tajribalarida yoritilgan.

Yorug'likning nurlanish jarayoni uning zarracha tabiatini bayon etuvchi kvant nazariyasi yordamida, yorug'likning tarqalishini esa elektromagnit to'lqin nazariyasi yordamida izohlansa, yorug'likning yutilishi yoki kuchayishi kvant nazariyasi yordamida izohlanadi.

1.2. Qisqa tarixiy ma'lumot. Lazerlar.

Lazer so'zi inglizcha "laser" so'zidan olingan. "Laser" so'zi esa "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" iborasining bosh harflaridan olingan bo'lib, "Majburiy nurlanish tufayli yorug'likning kuchayishi" ma'nosini anglatadi. Lazer nurlanishi ultrabinasha, infraqizil va ko'zga ko'rinadiga diapazondagi elektromagnit to'lqinlardir. Bu to'lqinlar atom va molekularlarning majburiy (stimullangan) nurlanishiga asoslanib hosil qilinadi. Bunday nurlanish hosil qiluvchi qurilmani lazer yoki optik kvant generator (OKG) deyiladi.

Sovet fizigi V.A. Fabrikant 1940-1941 yillarda gaz razryadi spektrini o'rganish ishlari davomida "majburiy nurlanish hisobiga" yorug'lik intensivligini kuchaytirish mumkinligini isbotladi. 1955 yilda Sovet fiziklari A.M. Proxorov va N.G. Basov o'ta yuqori chastotali birinchi kvant generatorini yaratdi. Bu mikroto'lqin diapazonidagi optik kvant generator-mazer edi. 1958 yilga borib Proxorov va Basov bilan ayni bir vaqtda AQSH fizigi CH. Tauns ko'zga ko'rinadigan yorug'lik spektri diapazonida kvant generatori-lazer qurish mumkinligini ilmiy va amaliy isbotladilar.

Lazer qurilmalarida ishlatiladigan ishchi materiallarni lazer materiallar deyiladi yoki ularni faol (aktiv) moddalar deb ataladi. Faol muhit sifatida yoqut kristali (rubin) ishlatiladigan lazer 1960

yil yaratildi. Keyingi kashfiyotlarda neon Ne va geliy He gazlari aralashmasi qo'llaniladigan lazer (1960 y), neodim Nd^{3+} ionlari qo'shilgan silikat shisha qo'llanilgan lazer (1961y), yarimo'tkazgich birikma kalsiy-mishyakli $CaAs$ kristallari qo'llanilgan lazer (1962 y), anorganik suyuqlikdagi neodim eritmasi selenoksizlorid $SeOCl_2$ va organik bo'yoq eritmalari ishlatiladigan lazerlar (1966 y) yaratildi. 1974 yilga kelib faol moddalar (lazer materiallar) soni 200 ga etgan edi. Har xil aralashmalar qo'shilgan ion kristallar eng katta lazer materiallari guruhini tashkil etadi. Tartibsiz ichki tuzilishga ega bo'lgan lazer shishalar shisha hosil qiluvchi komponentalar va faol aralashmalar sifatida olingan ionlardan iborat bo'ladi. yarimo'tkazgichli

lazer materiallar



birikmali kristallardan iborat bo'ladi. Ularda ishchi

elementi qalinligi 0,1 mkm bo'lgan p-n o'tish bo'lib, o'lchamlari 1x1x0,2 mm li plastinka ko'rinishda tayyorlanadi (1, 2 – rasm).

Demak, faol muhitga bog'liq holda lazerlarning qattiq jismlari, suyuqlik (kimyoviy), gazli, yarimo'tkazgichli va bo'yoq moddali turlarga ajratish mumkin.

1.3. Spontan va majburiy nurlanish. yorug'likning yutilishi

Muhit atomi qo'zg'algan energetik holatdagi turg'un (statsionar) holatga o'z-o'zidan yoki majburiy o'tishi mumkin. Muhit atomining qo'zg'algan energetik holatdan turg'un holatga o'z-o'zidan o'tishi spontan o'tish deyiladi. Qo'zg'algan holat energiyasi E_2 turg'un holat energiyasi

E_1 dan katta $E_2 > E_1$ bo'lib, yorug'lik foton energiyasi $E = h\nu = E_2 - E_1$ ifoda yordamida aniqlanadi. Spontan nurlanish chastotasi ko'rinuvchi yorug'likning yaxlit spektrini hosil qilishi mumkin. Nurlanish yo'nalishida esa xaotik bo'ladi. Bu hodisa qizdirilgan jismning sovushida kuzatiladi. Barcha tabiiy yorug'lik manbalari va qator sun'iy yorug'lik manbalaridagi nurlanishlar spontan nurlanishga misol bo'la oladi.

Lazer materiali hisoblanuvchi muhit atomlari ikki va undan ortiq qo'zg'algan energetik holatlarda bo'lishi mumkin. Shu bois bu muhitni 3 yoki undan ortiq energetik sathli muhit deyiladi. Bu holatlar atom uchun qo'zg'algan (g'alayonlangan) holat bo'ladi.

Tashqi ta'sir natijasida eng yuqori energetik sathga ega bo'lgan atom ma'lum vaqtdan so'ng undan quyi energetik sathga o'tadi. Bu o'tish nurlanishsiz sodir bo'ladi. Bunday o'tishda hosil bo'lgan energiya atomlarni terbrani yoki aylanish energiyasiga aylanadi. Atom keyingi energetik holatda biror ta'sirsiz ko'proq vaqt turishi mumkin. Bu metastabil, turg'un energetik sathdir. Uni eng quyi energetik sathga qaytarish uchun "turtki" yoki "majburiy tushirish" zarur bo'ladi. Metastabil holatdan turg'un holatga o'tishda nurlanish sodir bo'lib, u aniq yo'nalganlikka ega. Bu

nurlanish fotonining energiyasi $E = h\nu_m = E_m - E_1$ ifoda yordamida aniqlanadi. (bu erda

E_m, ν_m metastabil holat energiyasi va nurlanish chastotasidir). Hosil bo'lgan ushbu foton E_m energiyali metastabil holatdagi boshqa atomlarni ham "majburiy" holda quyi E_1 energiyali holatga tushirishi mumkin. Natijada ko'payib boruvchi fotonlar oqimi hosil bo'ladi. Bu lazer

nurlanishidir. Oqimni kuchaytirish uchun ikki ko'zgudan iborat rezlnator (kuchaytirgich) dan foydalaniladi. Ushbu nurlanish monoxramatik bo'lib, aniq yo'nalishli kogerent elektromagnit to'liqidan iborat bo'ladi. Fotonlar oqimi ortib borishi sababli lazer nurlanishining ravshanligi katta bo'ladi.

1.4. Lazerlarning ishlash prinsiplari

Lazerlarning ishlash prinsipida faol moddaning atom tuzili-shi juda muhimdir. Muhit atomlarining qo'zg'algan (g'alayonlangan) holatida, metastabil holatida yoki g'alayonlangan holatda "uzoq vaqt turish" hususiyati bo'lishi zarur. Atomlar o'z tuzilishiga qarab biror "turtki"siz $10^{-7} - 10^{-9}$ sekund metastabil holatda bo'ladi. Oddiy muhitdan yorug'lik o'tsa u yutiladi va intensivligi kamayadi. faol muhitda esa yorug'lik tarqalishida u kuchayishi va intensivligini ortishi kuzatiladi. Bunday muhitlar faol yoki zarralarning energetik sathlar bo'yicha inversli (teskari) muhit deyiladi. Optik kvant generatori (OKG) yoki lazer faol muhit, qo'zg'atuvchi (tebrantiruvchi) qurilma va rezonatoridan iborat bo'ladi.

Faol muhit turiga qarab lazer qurilmalari qattiq jismli, suyuqlikli, gazli, yarimo'tkazgichli va bo'yoq moddali lazerlar ko'rinishida bo'ladi.

Muhitni g'alayonlangan (uyg'ongan, qo'zg'algan) holatga keltirish (aktivlashtirish) qo'zg'atuvchi qurilma yordamida "qo'zg'otib" amalga oshiriladi. Qattiq jismli lazerlarda qo'zg'atish yoki "optik tazyiq" kuchli yorug'lik yordamida bajariladi. Gazli lazerlar elektr razryadi (uchqun)dan foydalaniladi. yarimo'tkazgichli lazerlar faol muhit ishchi qismi p-n o'tish orqali elektronlar oqimi (elektr toki) ni o'tkazishga asoslanib ishlaydi. Invers bandli muhit nurlanishi intensivligini oshirishda rezonatorlar (ikkita yaqin shaffof ko'zgular) dan foydalaniladi.

Tarqalayotgan fotonlarning faol muhit orqali ko'p marta o'tishi rezonator yordamida amalga oshiriladi. Lazerlarda ular tutib qoluvchi va kuchaytiruvchi vazifasini bajaradi.

Lazerlarning ish jarayonini 3 yoki 4 sathli modelda ko'rsatish mumkin. Uch sathli generatorlarda "lazer nurlanish" elektronlarning invers joylashishi asosida sath bilan "uyg'ongan" sathlarning birortasi orasida, to'rt sathli generatorlarda esa ikkita "uyg'ongan" sathlar orasida ro'y beradi. Uch sathli sxema bilan ishlaydigan lazerlarga yoqut (rubin) lazeri misol bo'la oladi. Bu guruhga kirgan xrom Cr^{3+} , samariy, uran U , neodim Nd^{3+} va boshqa elementlardan tuzilgan lazerlar kiradi. Rubin (yoqut) lazerda 0,05% gacha xrom Cr^{3+} ionlari qo'shilgan alyuminiy oksid Al_2O_3 dan tayyorlangan kristall ishlatiladi (1-rasm). Lazerlarda asoslari parallel bo'lgan silindrik sterjen ishlatiladi. Impulsli lampadan chiquvchi yorug'lik faol muhitda tebranish hosil qiladi. Lazer nurlanishini hosil qilishda bir nechaming joulgacha energiyali zaryadlangan kondensatorlar batareyasi lampa orqali razryadlanadi. Lampa qisqa muddatlar yorug'lik oqimi bilan yoqut o'qini yoritadi. Impulsli lampaning kuchli yorug'lik oqimi yoqutga tushganda, xrom ionlari lampadan chiqayotgan nuolanish spektrining yashil va sariq qismlarini yutib, "uyg'ongan" holatga, ya'ni uchinchi energetik sathga o'tadi. Xrom ionlari qisqa vaqt turgach, spontan holda nurlanishsiz ikkinchi (metastabil) holatga o'tadi. bu nurlanishga tayyor faol muhitni hosil qiladi. Lampa nurlanishidan turtki olib, lazer nurlanishi hosil qilinadi. Lazerning nurlanish quvvati 2 Kvtgacha etadi. Uning foydali ish koeffitsienti 0,1-10% ni tashkil etadi.

Suyuqlikli lazerlar organik bo'yagichlar eritmasida ishlaydigan lazerlardir. Bu lazerlarda "optik tazyiq" ni yoqutli lazer yoki neodim shishali lazer bajaradi (2-rasm). Bo'yagich moddalarning ko'p turi (~100) mavjud ekanidan lazer nuri chastotasi turli bo'ladi.

Gazli lazerlarda faol muhit sof gaz yoki gazlar aralashmasidan iborat bo'ladi. Geliy-neonli lazer bunga misol bo'la oladi (3-rasm). Gaz aralashmasi elektr razr-yadi bilan "uyg'ongan" holatga keltiriladi. Bu lazer rezonatori gazli nay o'qiga tik joylashtiriladi. Bu lazer nurlanishi $\lambda = 0,633 \text{ mkm}$ bo'lgan kogerent to'liqdir yoki $\lambda = 1,15 \text{ mkm}$ infraqizil nurni generatsiyalaydi.

Yarimo'tkazgichli lazerlarda faol muhit p-n o'tishli yarimo'tkaz-gichdir. yarimo'tkazgichli lazerlarda faol muhit optiq tazyiq va elektr toki ta'sirida uyg'ongan holatga keltiriladi. yarimo'tkazgichli diod qalinligi 0,1 mm va yuzasi bir necha mm^2 bo'lgan kristall plastinkadan iborat (4-rasm). Plastinkaning ikki tomoniga elektrodlar ulanadi. Bu lazerlar nurlanish diapazoni infraqizildan ultrabinafshagacha bo'lishi mumkin. Bu lazerlar tuzilishi sodda, o'lchamlari kichik va uzoq vaqt davomida ishlaydi.

Ionli va kimyoviy lazerlar ham gazli lazerlar hisoblanadi. Ionli lazerlarda faol muhit ionlar bo'lsa, kimyoviy lazerlarda esa kimyoviy reaksiya natijasida uyg'ongan holatga o'tgan atomlar bo'ladi.

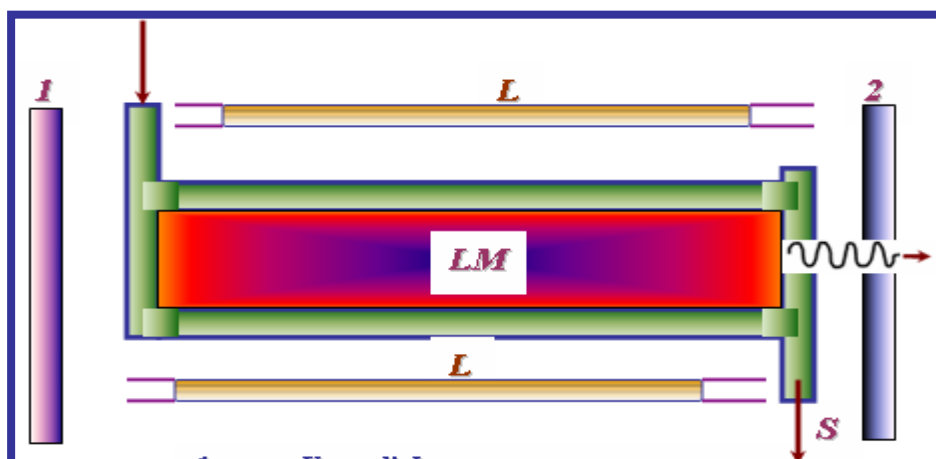
1.5. Lazer nurlarning xossalari: monoxramatiklik, kogerentlik, yo'nalganlik, ravshanlik.

Lazerlarda ishlatiladigan muhitning faol holati energiyasi E_m va turg'un holat energiyasi

E_1 orasidagi farq doimiy $E = h\nu_m = E_m - E_1$ bo'lib, u nurlanish fotoni energiyasiga

tengdir. Foton energiyasi $E = h\nu_m = E_m - E_1$ ekanidan $v = \text{const}$ bo'lib, nurlanish monoxramatik bo'ladi. Bu nurlanish chastotasi va tebranish davri vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Shu bois u kogerentdir. Lazer nurlari aniq optik o'q bo'yicha yo'naladi va shuning uchun ular aniq (xaotik emas) yo'nalishga ega nurlanishlar bo'ladi. Lazer unrlanishi monoxramatik, kogerent va aniq yo'nalishga ega va energiyasi katta ekanidan o'z-o'zini fokuslash (ingichka dasta hosil qilish) hususiyatiga ega.

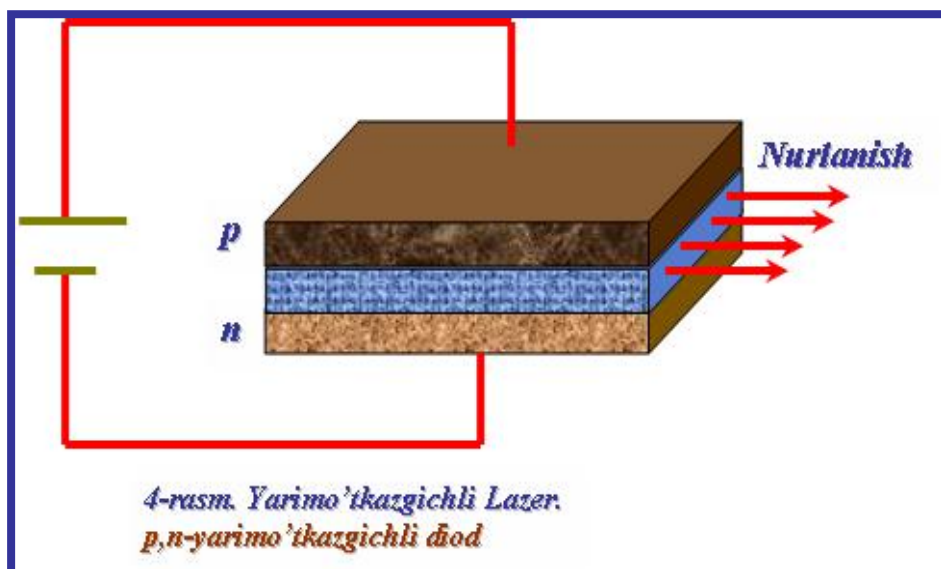
§1. LAZERLAR HAQIDA TUSHUNCHA.



1-rasm. Yoqutli Lazer.

L-Optik rezonator (impulsli yorug'lik manbai)

1-rasm



2-rasm

Sinash savollari

1. Lazerlar haqida tarixiy ma'lumotni bayon eting.
2. Spontan nurlanish hodisasini izohlang.
3. Majburiy nurlanish qanday sodir bo'ladi?
4. Lazerlarning ishlash prinsipini tushuntiring.
5. Lazer nurlarini asosiy xossalari nimalar?

§ 2. YORUG'LIKNING MODDA BILAN O'ZARO TA'SIRI

- 2.1 Yorug'likning modda bilan o'zaro ta'siri. Dispersiya.
- 2.2 Dispersiyaning elementar nazariyasi.
- 2.3 Yorug'likning yutilishi.
- 2.4 Yorug'likning sochilishi.
- 2.5 Doppler effekti.
- 2.6 Vavilov-Cherenkov nurlanishi

2.1. Yorug'likning modda bilan o'zaro ta'siri. Dispersiya (sochilish).

Moddaning sindirish ko'rsatkichini yorug'lik to'liqining chastotasi (yoki to'liq uzunligi)ga bog'liqligi bilan yuzaga keluvchi hodisalarga yorug'lik dispersiyasi deyiladi. Dispersiya lotincha so'z bo'lib, dispersio sochilish ma'nosini anglatadi. Bu bog'lanishni

$$n = f(\lambda_0) \quad (2.1)$$

funksiya bilan xarakterlash mumkin. 1672 yili yorug'likning shisha prizmada sinishidan foydalanib, birinchi bo'lib Nyuton yorug'lik dispersiyasini tajribada tekshirdi. Tajribalar λ_0 kamayishi bilan sindirish ko'rsatkichi n ortishini ko'rsatadi. Modda dispersiyasi deb nomlangan

$$D = \frac{dn}{d\lambda_0} \quad (2.2)$$

kattalik moduli ham λ_0 kamayishi bilan modda dispersiyasi ortadi. Bu normal dispersiya deyiladi (3 – rasm).

Normal dispersiya sohasida n va λ_0 orasidagi bog'lanishni quyidagi formula bilan ifodalash mumkin.

$$n = a + \frac{b}{\lambda_0^2} + \frac{c}{\lambda_0^4} + \dots \quad (2.3)$$

bu erda a, b, c -qiymatlari har bir modda uchun tajribada aniqlanuvchi doimiylardir. Ko'p hollarda (2.3) birinchi ikki hadi olinadi.

$$n = a + \frac{b}{\lambda_0^2} \quad (2.4)$$

Bu holda modda dispersiyasi

$$D = \frac{dn}{d\lambda_0} = -\frac{2b}{\lambda_0^3} \quad (2.5)$$

qonun bo'yicha o'zgaradi.

Agar modda yorug'likni qisman yutsa, shu yutilish sohasi va uning yaqinida spektrning ba'zi qismlarida qisqa to'liqlar uzun to'liqlarga nisbatan kam sinishi anomal dispersiya deyiladi (4 – rasm).

2.2. Dispersiyaning elementar nazariyasi

Yorug'lik biror muhitdan o'tishida modda atomi tarkibidagi elektron

$$f = eE_0 \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.6)$$

qonun bilan o'zgaruvchi elektr kuchi ta'siri ostida bo'ladi. Bu erda α elektronning koordinatalari bilan aniqlanuvchi kattalik, E_0 to'liqning elektr maydoni kuchlanganligi amplitudasi.

Bu kuch ta'sirida elektron majburiy tebrana boshlaydi. Bu tebranish amplitudasi (r_m) va fazasi (φ) quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi.

$$r_m = \frac{eE_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\beta\omega)^2}}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (2.7)$$

So'nish bo'lmaganda elektron (2.6) kuch ta'sirida quyidagi ifoda yordamida aniqlanuvchi tebranma xarakat qiladi.

$$r(t) = \frac{(eE_0/m)}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.8)$$

Yorug'lik elektr maydoni kuchlanganligi

$$E(t) = E_0 \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.9)$$

ifoda yordamida aniqlanganligidan elektronning muvozanat holatidan siljishi oniy qiymati

$$r(t) = \frac{(e/m)E(t)}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (2.10)$$

ifoda yordamida aniqlanadi. Muvozanat vaziyatidan siljigan elektron molekulani elektrik dipolga aylantiradi. Dipol momenti (2.10) ifodaga ko'ra

$$P(t) = \sum e_i r_i(t) = \left(\sum \frac{e_i^2/m_i}{\omega_0^2 - \omega^2} \right) E(t) \quad (2.11)$$

bo'ladi. Hajm birligidagi molekular soni N deb olsak, modda qutblanish vektori uchun

$$P(t) = N \cdot P(t) = N \cdot \left(\frac{e_i^2/m_i}{\omega_0^2 - \omega^2} \right) E(t) \quad (2.12)$$

ifodani olamiz.

Moddaning dielektrik singdiruvchanligi ta'rifiga ko'ra

$$\varepsilon = 1 + \chi = 1 + \frac{P}{\varepsilon_0 E} \quad (2.13)$$

ga teng. Shaffof moddalar uchun $\mu = 1$ ekanidan

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu}$$

ifodani

$$n = \sqrt{\varepsilon}, \quad n^2 = \varepsilon$$

(2.14) ko'rinishida yozish mumkin. (2.14) ifodaga ko'ra ε ni n^2 ga almashtirib (2.13) dan

$$n^2 = 1 + \frac{N}{\varepsilon_0} \sum \frac{e_i^2 / m_i}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (2.15)$$

bog'lanishni olamiz.

To'lqin chastotasi ω ning elektronning ω_0 xususiy chastotalaridan farqli qiymatlarida (2.15) ifoda 1 dan kichik bo'ladi yoki $n^2 \approx 1$. Xususiy chastotaga yaqin joyda $\omega < \omega_0$ bo'lsa, $\omega \rightarrow \omega_0$ da funksiya $+\infty$ ga, agar $\omega > \omega_0$ da funksiya $-\infty$ ga aylanadi. Bu so'nishni hisobga olmaslikdan ($\beta=0$) kelib chiqdi. yUtilishni hisobga olsak, amplituda ω barcha

qiymatlarida chekli qiymatga ega bo'ladi. n^2 dan n ga, ω dan λ_0 ga o'tib quyidagi egri chiziqni olamiz (5-rasm). Bu egri chiziq rezonans to'lqin uzunliklaridan birining sohasiga to'g'ri kelgan qismi berilgan. Puktir egri chiziq yorug'likning moddada yutilish koeffitsienti o'zgarish yo'lini ko'rsatadi. Egri chiziqning 1-2, 3-4 qismi normal dispersiyaga mos keladi ($dn/d\lambda_0 > 0$). 2-3 qismda dispersiya anomal bo'ladi ($dn/d\lambda_0 < 0$). 1-2 sohada to'lqin faza tezligi $V > C$ bo'lib, normal dispersiya sohasida $dv/d\lambda > 0$ (dn va dv ishoralari har xil), lekin $dn/d\lambda_0 < 0$. Demak, faza tezlik $V > C$ bo'lsada, grupp tezlik $V_g < C$ bo'ladi. Tajribalarga asoslanib (2.15) ifodadan 1-banddagi (2.3) ifodani olish mumkin. 5-rasmdan anomal sohada β ning qiymati katta, shu bois bu sohada energiya uzatish tezligi $V_g < C$ bo'ladi.

2.3. Yorug'likning yutilishi

Elektromagnit to'lqin moddadan o'tsa, to'lqin energiyasining bir qismi uning yo'lida uchraydigan elektronlarning xarakatini o'zgartirishga sarflanadi. Bu energiyaning bir qismi elektronlar uyg'otgan ikkilamchi to'lqin sifatida moddadan yorug'lik nurlanishi sifatida chiqsa, qolgan qism energiya atomlarning xarakat energiyasi sifatida moddaning ichki energiyasiga aylanadi. Natijada yorug'lik moddadan o'tganida uning intensivligi I kamayadi yoki yorug'lik moddada yutiladi. yorug'likning yutilishi $\omega \rightarrow \omega_0$ da yoki rezonans chastotada eng yuqori bo'ladi.

Yorug'likning moddada yutilishi yorug'likning dastlabki intensivligi I_0 va moddada bosib o'tgan yo'li L ga bog'lanishi Buger qonuni bilan ifodalanadi.

$$I = I_0 e^{-\alpha L} \quad (2.16)$$

Bu erda α – energiyani yutuvchi modda hususiyatiga bog'liq bo'lgan yutilish koeffitsienti deb ataluvchi o'zgarmas kattalikdir. (2.16) dan ko'rinadiki yorug'lik intensivligi moddadan o'tganda

eksponensial kamayadi. $L = 1/\alpha$ masofada intensivlik e marta kamayadi. Demak, yutilish

koeffitsienti yorug'lik intensivligini e marta kamaytiruvchi qatlam qalinligiga teskari bog'langan kattalikdir.

Siyrak gaz va bug'larda atomlar tebranishlariga mos chastotalar kuzatilib, infraqizil diapazonida, tor polosali yutilish spektrini kuzatamiz (5-rasm). Katta bosimli gaz, suyuqlik va qattiq jismlarda yutilish keng polosali spektrga o'tadi (6-rasm). Yutilish polosasining kengayishi atomlarning o'zaro ta'sirlashuvi natijasi ekanligini ko'rsatadi.

2.4. Yorug'likning sochilishi.

Yorug'lik moddadan o'tishda uning elektronlarini tebranishini uyg'otadi. Tebranuvchi elektronlar barcha yo'nalishlar bo'ylab tartarqaluvchi ikkilamchi to'lqinlar manbai bo'lib hizmat qiladi. Ikkilamchi elektron to'lqinlari kogerent bo'ladi va ular interferentsiyalashishi mumkin.

Ikkilamchi to'lqinlar bir jinsli muhitda birlamchi to'lqinlar yo'nalishdan boshqa yo'nalishdagi to'lqinlar bir-birini shtindiradi va yorug'likning yo'nalishi bo'lab taqsimlanishi yoki sochilishi yuz bermaydi. Birlamchi va ikkilamchi to'lqinlar interferentsiyalanib birlamchi yorug'lik yo'nalishdagi faza tezligi C dan farqli to'lqin hosil qiladi.

Demak, yorug'likning sochilishi bir jinsli bo'lmagan muhitda sodir bo'ladi. Yorug'lik to'lqini muhitning bir jinsli bo'lmagan qismlarida difraktsiyalanadi, intensivligi barcha yo'nalishlarda bir xil bo'lgan difraktsion manzara hosil bo'ladi. Yorug'likning mayda bir jinsli bo'lmagan sohalarda bu kabi difraktsiyalanishiga yorug'likning sochilishi (diffuziyasi yoki tendal hodisasi) deyiladi.

Optik bir jinsli bo'lmagan sohalari aniq ifodalangan muhit loyqa muhit deyiladi. Loyqa muhitga tutun aralashgan havoni, turli suyuq eritmalar, sadaf, tumanli havoni, opal va sutdek oppoq xira shishanimisol keltirish mumkin.

Muhitda yorug'likning yutilishi bilan birga sochilishi ham sodir bo'lsa, o'tuvchi yorug'lik intensivligi uchun

$$I = I_0 e^{-(\alpha + \alpha')L} \quad (2.17)$$

ifodani yoza olamiz. bu erda α' ekstintsiya koeffitsienti deyiladi. Agar birjinslimasliklar o'lchami yorug'lik to'lqini uzunligidan kichik ($\sim 0,1\lambda$) bo'lsa sochilgan yorug'lik intensivligi yorug'lik chastotasi va to'lqin uzunligiga quyidagicha bog'langan bo'ladi.

$$I \sim \omega^4 \sim \frac{1}{\lambda^4} \quad (2.18)$$

Bu Reley qonuni nomi bilan ataladi. Yorug'lik to'lqini ta'sirida elektronning xarakati

$$r = r_m \cos \omega t \quad \text{qonuniyat bilan sodir bo'lganida, undagi tezlanish} \quad a = \frac{d^2}{dt^2} = \omega^2 r_m \cos \omega t$$

(2.19) ekanidan intensivlik a ga bog'liq va intensivlik tsiklik chastotaning to'rtinchi darajasiga proporsional ekanligi kelib chiqadi.

Agar birjinsliliklar o'lchami yorug'lik to'lqini uzunligi tartibida bo'lsa, birjinslimasliklarning turli joyida turgan elektronlar faza jihatdan siljigan holatda tebranayotgan bo'ladi.

Bu holda sochilgan yorug'lik intensivligi chastota va to'lqin uzunligi bilan quyidagicha bog'lanadi.

$$I \sim \omega^2 \sim 1/\lambda^2 \quad (2.20)$$

Loyqa muhit deb atalishi mumkin bo'lgan muhitlarda "zichlik fluktatsiyalarida" sochilish sodir bo'ladi. Bu hodisani Molekulyar sochilish deyiladi. Kichik hajmdagi zichlikning boshqa qismlarga nisbatan o'zgarib, birjinslimasliklarni keltirib chiqarish mumkinligini I. I. Mandelshtam va M. Smoluxovskiylar aniqlaganlar.

2.5. Doppler effekti.

Elastik to'lqinlarda kuzatiladigan Doppler effekti elektromagnit to'lqinlarda ham ro'y beradi. Lekin yorug'likdagi Doppler effektida to'lqin manbai tezligi va qabul qiluvchi tezliklarga bog'liq bo'lib, u shu nisbiy tezlik bilan aniqlanadi. Chunki yorug'lik vakuumda va har qanday muhitda tarqaladi.

Manбайдan tarqaluvchi yorug'lik to'lqini chastotasi V_0 va qabul qiluvchi tomonidan qabul qilingan to'lqin chastotasi V bo'lsin. Kuzatuvchi turgan sistema va manbai hamda to'lqin to'lqin tarqalishi yo'nalish orasidagi burchakni α deb olsak, elektromagnit to'lqin uchun Doppler effekti ifodasi quyidagicha bo'ladi.

$$v = v_0 \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + (v/c) \cos \alpha} = v_0 \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 + \beta \cos \alpha} \quad (2.21)$$

Bu erda $\beta = v/c$, v nisbiy tezlik, c yorug'likning vakuumdagi tezligi. Agar to'lqin vektori va kuzatuvchi yo'nalishlari orasidagi burchak $\alpha = 0$ bo'lsa, u holda () ifodani ko'rinishini o'zgartirib yozishimiz mumkin.

$$v = v_0 \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 + \beta} = v_0 \frac{\sqrt{1 - \beta} \cdot \sqrt{1 + \beta}}{\sqrt{1 + \beta} \cdot \sqrt{1 + \beta}} = v_0 \frac{\sqrt{1 - \beta}}{\sqrt{1 + \beta}} \quad (2.22)$$

Manba va qabul qiluvchilar bir-biridan uzoqlashsa $v > 0$, chastota kamayadi $v < v_0$, aksincha, yaqinlashsa chastota ortadi $v > v_0$. SHu bois birinchi holda chastotaning qizil siljishi, ikkinchi holda binafsha siljishi kuzatiladi.

To'lqin tarqalishi yo'nalishi va kuzatuvchi orasidagi burchak 90° bo'lsa, Doppler effekti ifodasi

$$v = v_0 \sqrt{1 - \beta^2} \quad (2.23)$$

ko'rinishini oladi. Bu ko'ndalang Doppler effektini ifodalaydi.

Ko'ndalang Doppler effekti β^2 ga bog'liq bo'lib, $v \ll c$ qiymatlarda $v \approx v_0$ bo'lib, uni kuzatish mushkul ishdir. 1938 yili amerikalik fizik G. Ayvs tajribada bu effektini kuzatdi. uning bu ishi nisbiylik nazariyasi to'g'ri ekanligini isbotladi.

Bo'ylama Doppler effektini yorug'lik to'liqida 1900 yili rus astrofizigi A.A. Belopolskiy tomonidan va 1907 yili rus fizigi B.B. Golisin tomonidan kuzatildi.

Doppler effekti atom, molekula va kosmik kosmik jismlar xarakatini o'rganishda qo'llaniladi. Bu effekt rediotexnika va radiolokatsiyada keng tadbiiq etilmoqda.

2.6 Vavilov-Cherenkov nurlanishi.

Yorug'likning muhitdagi fazaviy tezligi

$$v_f = \frac{c}{n}$$

(n -muhitning sindirish ko'rsatkichi)

bo'lsa, shu muhitdagi zaryadlangan zarralar tezligi V yorug'lik fazaviy tezligidan katta $V > v_f$ qiymatlarida zarra elektromagnit nurlanish chiqaradi. Bu Vavilov-Cherenkov effekti deyiladi. Bu hodisa turli moddalarda, sof suyuqliklarda tekshirildi va bu nurlanish lyuminetsentsiya emasligi isbotlandi. Bu nurlanish 1937 yili i.E. Tamm va I.M. Frank tomonidan nazariy asoslab berildi. Ushbu ish uchun 1958 yili Cherenkov, Tamm va Franklar Nobel mukofotiga sazovor bo'lishdi.

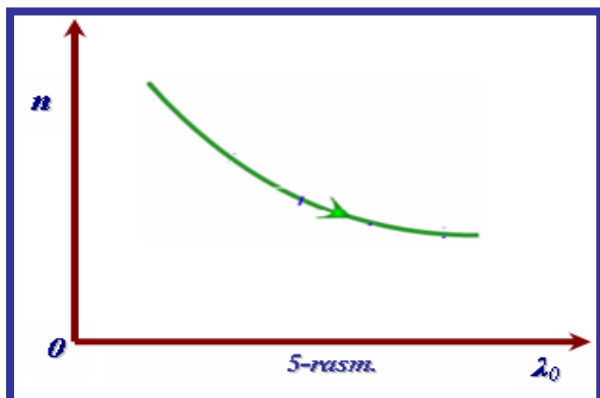
Elektromagnit nazariyasiga ko'ra tezlanish bilan xarakatlanuvchi zaryadli zarralar nurlanishi kerak. Lekin, vavilov-Cherenkov effektida zaryadli zarralar xarakati tekis bo'lganda ($V = \text{const}$) uning tezligi $V > v_f$ holida nurlanish sodir bo'lishini isbotladilar. Ushbu nurlanish ixtiyoriy barcha yo'nalishlarda bo'lmay, zarra treaktoriyasi bilan o'tkir burchak φ hosil qiluvchi konus ichidagina tarqaladi va u zarra yo'nalishiga mos keladi (7 -rasm).

$$\cos\varphi = \frac{v_f}{V} = \frac{(c/n)}{V} = \frac{c}{nV} \quad (2.24)$$

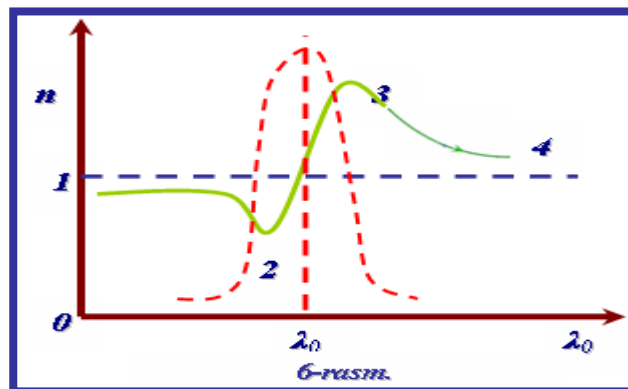
Vavilov-Cherenkov nurlanishi tarkibida yuqori chastotalar ko'p ekanidan u havorang bo'lib ko'rinadi. Bu effekt elektron, proton va mezonlarning turli suyuqliklar va qattiq jismlarda tajribada kuzatilgan.

Ushbu effekt eksperimental texnikada tobora keng qo'llanilmoqda. Cherenkov hisoblagichlari deb nom olgan asboblarda katta tezliklarda zarralarni qayd etishda, ularni xarakterlovchi kattaliklarni (tezligi, yo'nalishi va energiyasi) aniqlashda ishlatilmoqda. Cherenkov hisoblagichida 1955 yili italyan fizigi E. Segre qisqa yashovchi antizarra-antiprotonni kashf etdi.

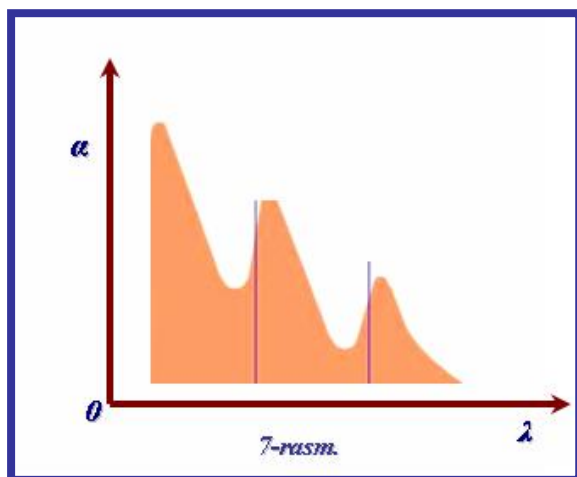
§ 2. YORUG'LIKNING MODDA BILAN O'ZARO TA'SIRI



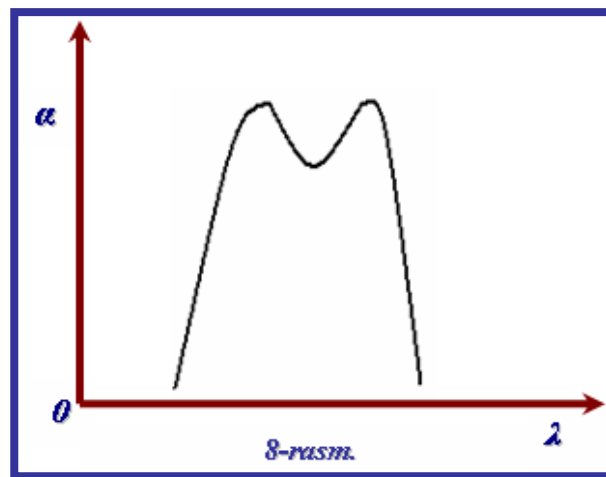
3-rasm



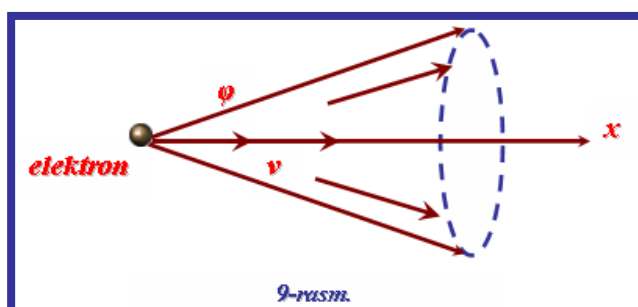
4-rasm



5-rasm



6-rasm



7-rasm

Sinash savollari

1. Yorug'lik dispersiyasi hodisasini izohlang.
2. Yorug'likni muhitda yutilish hodisasini bayon eting.
3. Yorug'lik sochilishi hodisasini izohlang.
4. Doppler effektini bayon eting.
5. Doppler effekti qaerlarda va qay maqsadda qo'llaniladi?
6. Vavilov-Cherenkov effekti qanday sodir bo'ladi?
7. Vavilov-Cherenkov effektini eksperimental texnikadagi tadbqiqini ayting.

§ 3. ISSIQLIK NURLANISHI

- 3.1 Issiqlik nurlanishi va sovuq nurlanishlar
- 3.2 Kirxgoff qonuni
- 3.3 Stefan-Boltsman qonuni
- 3.4 Vinning siljish qonuni

- 3.5 Reley-Jins va Plank formulalari.
- 3.6 Optik pirometrlar.

3.1. Issiqlik nurlanishi va sovuq nurlanishlar.

Jismlarning nurlanishiga sarflangan energiyasi turli manbalar hisobiga to'ldirib turiladi. Havoda oksidlanayotgan fosforkim yoviy o'zgarishda ajraladigan energiya hisobiga nurlanadi. Nurlanishning kimyoviy reaksiya hisobiga bo'ladigan bu teri xemilyuminestsentsiya deyiladi. Mustaqil gaz razrdyadida vujudga keluvchi nurlanishni elektroyuminestsentsiya deyiladi. Qattiq jismlarni elektron bilan bombardimon qilishda hosil bo'ladigan nurlanish katodolyuminestsentsiya deb nomlanadi. Ayrim jismlarning ularga xos to'lqin uzunlikli yoki undan kichik to'lqin uzunlikli nurlanish bilan ta'sir etib,u jismni nurlantirish mumkin. Bu nurlanish yorug'lik ta'sirida paydo bo'lgan nurlanish ekanligidan ular fotolyuminestsentsiya deyiladi.

Lyuminestsentsiya hodisasining barcha turlarida moddalar (gaz, suyuqlik va qattiq jismlar) sovuq holda nurlanadilar.

Jismlarning qizdirish orqali nurlantirishda ularning sovushdagi nurlanishi bo'lib, u issiqlik yoki temperatura nurlanishi deyiladi. Issiqlik nurlanishi ixtiyoriy temperaturada vujudga keladi, lekin quyi temperaturalarda uzun elektromagnit to'lqinlar (infragizil nurlar) hosil bo'ladi.

Mulohazalarni soddalashtirish uchun nurlanayotgan jism ideal qaytaruvchi sirtli issiqlik o'tkazmaydigan sirt ($\Delta Q = 0$) bilan o'raymiz (8-rasm). Qobiq ichidagi havo so'rib olinadi. Qobiqdan qaytgan nurlanish jismda qisman yoki tshla yutiladi. Demak, jism va uni o'rab turgan qobiq orasidagi fazo nurlanish bilan to'llatilgan bo'lib, u bilan jism orasida doimiy energiya almashinuvi ro'y berib turadi. Jism bilan nurlanish fazosi orasidagi energiya almashinuvi har bir to'lqin uzunligi uchun doimiy qolsa, jism-nurlanish fazosi o'rtasida muvozanat holat bo'ladi.

Nurlanuvchi jism bilan muvozanat holatda bo'la oladigan nurlanish issiqlik nurlanishidir. Issiqlik nurlanishidan boshqa barcha nurlanishlar muvozanatsiz nurlanishlar bo'ladi.

Issiqlik nurlanishida temperatura ortishi issiqlik nurlanishi intensivligi ortishiga olib keladi.

Jism-nurlanish sistemasidagi muvozanatni Muvozanatni tiklovchi jarayonni vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Jism energiya yutmay faqat nurlanib energiya chiqarsa, jism ichki energiyasi kamayib, tepmeraturasi pasayadi. Tepmuratura pasayishi energiya chiqarilishi (nurlanish)ni kamayishiga olib keladi. Jism temperaturasi energiya miqdori yutilayotgan energiya miqdoriga tenglashguncha pasayaveradi. Agar nurlanayotgan energiya miqdori yutilayotgandan kam bo'lsa, jism temperaturasi muvozanatlashguncha ko'tarilib boradi.

Muvozanatda bo'lgan jarayon yoki hodisalarga termodinamika qonunlarni qo'llash mumkin. Demak, issiqlik nurlanishi termodinamika prinsiplaridan kelib chiquvchi ba'zi umumiy qonunlarga amal qiladi.

3.2. Kirxgof qonuni

Issiqlik nurlanishinixarakterlash uchun Vatt hisobida o'lchanadigan energiya oqimi (nurlanish quvvati) kattaligidan foydalanaylik. Nurlanayotgan jismning birlik sirt yuzasidan hamma yo'nalishda (4π fazoviy burchak ichida) chiqarayotgan energiya oqimi jismning energiyaviy yorituvchanligi R_E deb ataladi. Nurlanish turli chastotali ω to'lqinlardan iborat. Jismning birlik sirtidan chastota intervalida $d\omega$ chiqarayotgan energiya oqimini dR_ω bilan begilaylik (qulaylik uchun $dR_{E\omega}$ o'rniga dR_ω olindi). $d\omega$ intervalningkichik qiymatida dR_ω oqim $d\omega$ ga proporsional bo'ladi.

$$dR_\omega = r_\omega d\omega \quad (3.1)$$

Bu erda r_ω –jismning nur chiqarish qobilyati deb ataladi. Chiqarish qobilyati r_ω jism temperaturasi va chastotaga bog'liq bo'ladi, ($r_\omega = f(\omega, T)$) o'rinlidir va $R_T = f(T)$.

Chiqarish qobilyatini ifodasini hisobga olib, energiyaviy yorituvchanlikni hisoblash mumkin.

$$R_T = \int dR_T = \int_0^\infty r_{\omega, T} d\omega \quad (3.2)$$

Nurlanishni ω o'rniga to'lqin uzunligi λ bilan tavsiflash mumkin. $d\omega$ spektr qismiga to'lqin uzunligi intervali $d\lambda$ mos keladi. $d\omega$ va $d\lambda$ orasidagi munosabat

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{2\pi c}{\omega} \quad (3.3)$$

formuladan foydalanib topiladi. Uni differentsiallab ushbu bog'lanishni olamiz.

$$d\lambda = -\frac{2\pi c}{\omega^2} d\omega = -\frac{\lambda^2}{2\pi c} d\omega \quad (3.4)$$

(3.4) ifodadagi manfiy ishora (3.3) ifodadagi $\lambda \sim 1/\omega$ tufayli kelib chiqadi. Shu bois uni (- manfiy) ishorani hisobga olmaslik mumkin.

Energiyaviy yorituvchanlikning $d\lambda$ intervaliga to'g'ri kelgan qiymatini (3.1) ifodaga qiyoslab topish mumkin.

$$dR_\lambda = r_\lambda d\lambda \quad (3.5)$$

Agar (3.1) va (3.5) ifodalarga kiruvchi $d\omega$ va $d\lambda$ intervallar (3.4) munosabat bilan bog'langan bo'lsa, dR_ω va dR_λ kattaliklar bir hil bo'lishi kerak.

$$r_\omega d\omega = r_\lambda d\lambda \quad (3.6)$$

Ushbu tenglikdan $d\lambda$ ni (3.4) ga asosan almashtirib quyidagini olamiz.

$$r_\omega d\omega = r_\lambda \frac{2\pi c}{\omega^2} d\omega = r_\lambda \frac{\lambda^2}{2\pi c} d\omega \quad (3.7)$$

bundan

$$r_\omega = r_\lambda \frac{\lambda^2}{2\pi c} \quad (3.8)$$

kelib chiqadi. (3.8) ifoda yordamida r_ω dan r_λ ga (va aksincha) o'tish mumkin.

Jism sirtining elementar yuziga $d\omega$ chastota intervalida bo'lgan elektromagnit to'lqinlarning nurlanish energiyasi oqimi $d\Phi_\omega$ tushayotgan bo'lsin. Bu oqimning $d\Phi'_\omega$ qismini jism yutadi.

$$d\Phi'_\omega = a_{\omega,T} d\Phi_\omega$$

Bu erdagi $a_{\omega,T}$ o'lchamsiz kattalik jismning yutish qobiliyati deyiladi. U jism temperaturasi va chastotaga bog'liqdir.

$$a_{\omega,T} = f(\omega, T) \quad (3.10)$$

Tushayotgan barcha chastotali nurlanishlarni to'liq yutadigan jismlar uchun $a_{\omega,T}=1$ bo'ladi. Bunday jismlar absolyut qora jismlar deyiladi. Agar $a_{\omega,T} = a_T = \text{const}$ shart bajarilsa, jismlar kulrang jismlar deyiladi. Ixtiyoriy jismning chiqarish va yutish qobiliyati o'rtasida bog'lanish mavjud bo'ladi.

T temperaturali termostat ichiga 1,2,3 jismlar joylashtirilgan bo'lsin (9-rasm). "Nurlanish fazosi" da havosi so'rib olingan, unda faqat elektromagnit to'lqinlar mavjud. Qobiq va jismlar, jismlar o'zaro nurlanishni yutish yoki chiqarish orqaligina energiya almashadilar.

Bu kabi sistemada ma'lum vaqt o'tgach, issiqlik suvozanati o'rnatiladi, jismlar temperaturasi qobiq temperaturasiga tenlashadi.

Bu holda r_{ω} chiqarish qobiliyati katta bo'lgan jism birlik vaqt ichida kichik r_{ω} ga ega bo'lgan jismga nisbatan ortiq energiya yo'qotadi. Jismlarning energiyasi (temperaturasi) o'zgarmaganligi sababli ko'p energiya chiqargan jism ko'p energiya yutishi, ya'ni katta $a_{\omega,T}$ ga ega bo'lishi lozim.

Demak jismlarning nurlanish chiqarish qobiliyati qancha katta bo'lsa, uning yutish qobiliyati ham shuncha katta bo'ladi va bundan quyidagi munosabat kelib chiqadi.

$$\left(\frac{r_{\omega,T}}{a_{\omega,T}} \right)_1 = \left(\frac{r_{\omega,T}}{a_{\omega,T}} \right)_2 = \left(\frac{r_{\omega,T}}{a_{\omega,T}} \right)_3 = \dots \quad (3.11)$$

yuqoridagi sistemada ushbu shart to'raligicha bajariladi. Bu erda 1,2,3, ... indekslar turli jismlarga tegishlidir.

Kirxgof bu xulosani quyidagicha ta'riflaydi:

Chiqarish va yutish qobiliyatlarni o'zaro nisbati jismlarni tabiatiga bog'liq bo'lmay, xamma jismlar uchun chastota va temperaturaning barcha qiymatlarida birday (universal) funksiyadir.

$$\left(\frac{r_{\omega,T}}{a_{\omega,T}} \right)_1 = f(\omega, T) \quad (3.12)$$

(3.11) ifodadan jism bir xil nurni qancha ko'p yutsa, shu nurni shuncha ko'p chiqaraveradi degan xulosa kelib chiqadi.

Absolbt qora jism uchun $a_{\omega,T}$ shart bijarilgani bois, (3.12) ifodani bu jism uchun

$$r_{\omega,T} = f(\omega, T) \quad (3.13)$$

ko'rinishda yozilishi mumkin.

Demak, Kirxgofning universal $f(\omega, T)$ funksiyasi absolyut qora jismning chiqarish qobiliyatidan iborat ekan.

Nazariy tadqiqot ishlarida Muvozanatli issiqlik nurlanishining spektral tarkibini xarakterlash uchun chastota funksiyasi $f(\omega, T)$ dan , eksperimental ishlarda esa to'liq uzunligi funksiyasidan $\varphi(\lambda, T)$ foydalaniladi. Ushbu funksiyalar orasidagi munosabat (3.3) ifodani inobatga olganda

$$\varphi(\lambda, T) = \frac{2\pi c}{\lambda^2} f\left(\frac{2\pi c}{\lambda}, T\right) \text{ va } f(\omega, T) = \frac{2\pi c}{\omega} \varphi(\lambda, T) \quad (3.14)$$

yoki

$$f(\omega, T) = \frac{2\pi c}{\omega^2} \varphi(\lambda, T) = \frac{\lambda^2}{2\pi c} \varphi(\lambda, T) \quad (3.15)$$

o'rinli bo'ladi.

Tabiatda absolyut qora jism mavjud emas. Qurum yoki platina qorasi uchun yutish qobiliyati $\alpha_{\omega, T}$ chegaralangan chastota intervalida birga yaqin bo'ladi, infraqizil sohada esa birdan ancha kichik bo'ladi.

Birgina kichik tirqishi bo'lgan ichi bo'sh idishni absolyut qora jism deb qarash mumkin. Chunki unga kiruvchi nurlar to'la yutiladi (10-rasm).

Agar saqlansa tirqishdan chiqqan nurlar spektral tarkibini o'rganib, $f(\omega, T)$ va $\varphi(\lambda, T)$ funksiyalarni tajribada o'rganish mumkin.

Tajriba natijalarini $[\varphi(\lambda, T), \lambda]$ diagrammadan foydalanib, absolyut qora jismning turli T temperaturalardagi energiyaviy yorituvchanligini aniqlash mumkin (12-rasm).

11-rasmda egri chiziq bilan chegaralangan yuza shu temperaturadagi energiyaviy yorituvchanlikni bildiradi.

12-rasmdan ko'rinadikiabsolyut qora jismning yorituvchanligi temperatura ortishiga qarab juda tez o'zgaradi. Chiqarish qobiliyatining maksimum temperatura ortishi baln qisqa to'liqlar tomon siljib boradi.

3.3. Stefan-Boltsman qonuni. Vinning siljish qonuni

Absolyut qora jism nurlanishini nazariy tushuntirishda energiya kvanti tushunchasi kiritiladi.

$f(\omega, T)$ funksiyaning analitik ko'rinishni keltirib chiqarishda ko'p vaqt urinishlar bo'ldi va barsa samarasiz edi. Stefan 1879 yili qator tajriba natijalariga asoslanib ixtiyoriy jismning energiyaviy yorituvchanligi absolyut temperaturaning to'rtinchi darajasiga proporsional ekanligini aytdi. Keyingi tajribalar bu fikr xato ekanligini ko'rsatdi. Boltsman 1884 yili nazariy izlanishlarga asoslanib jismning energiyaviy yorituvchanligi ushbu ifodani taklif etdi.

$$R_E^* = \int_0^{\infty} f(\omega, T) d\omega = \sigma T^4 \quad (3.16)$$

bu erda σ –o'zgarmas kattalik, T-absolyut temperatura. Stefan qora bo'lmagan jismlar uchun tajriba natijalari faqat absolyut qora jism uchun o'rinli bo'lib chiqdi.

Absolyut qora jismning energiyaviy yorituvchanligi bilan absolyut temperatura orasidagi

(3.16) munosabat $R_E = \sigma T^4$ Stefan-Boltsman qonuni nomini oldi, σ doimiy sonni Stefan-Boltsman doimiysi deb ataldi. Uning tajribada olingan qiymati

$$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Vt/m}^2 \cdot \text{K}^4 \quad (3.17)$$

ga teng.

b) Vin qonuni

Vin 1893 yili termodinamika prinsiplari va elektromagnit nazariyadan foydalanib, spektral taqsimot funksiyasi ushbu ifodani havola etdi.

$$f(\omega, T) = \omega^3 F\left(\frac{\omega}{T}\right) \quad (3.18)$$

Bu erda F chastotaning temperaturaga nisbati $\frac{\omega}{T}$ ning noma'lum funksiyasidir. Avvalgi paragrafning (3.14) ifodasiga ko'ra $\varphi(\lambda, T)$ funksiya uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi.

$$\varphi(\lambda, T) = \frac{2\pi c}{\lambda^2} \left(\frac{2\pi c}{\lambda}\right)^3 F\left(\frac{2\pi c}{\lambda T}\right) = \frac{1}{\lambda^5} \psi(\lambda T) \quad (3.19)$$

Bu erda $\psi(\lambda T)$ - λT ko'paytmaning noma'lum funksiyasi.

(3.19) ifodaning maksimumi to'g'ri kelgan λ_m to'lqin uzunligi bilan temperatura orasidagi bog'lanishni keltirib keltirib chiqarishga imkon beradi.

(3.19) ifodani λ ga nisbatan differentsiallab, quyidagi ifodani olamiz.

$$\frac{d\psi}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda^5} T \psi'(\lambda T) - \frac{5}{\lambda^6} \psi(\lambda T) = \frac{1}{\lambda^6} [\lambda T \psi'(\lambda T) - 5 \psi(\lambda T)] \quad (3.20)$$

Bu erda $\Psi(\lambda T) = \lambda T \psi'(\lambda T) - 5 \psi(\lambda T)$ (3.21) belgilash kiritamiz.

$\psi(\lambda T)$ funksiyaning maksimumiga mos kelgan to'lqin uzunligi λ_m uchun (3.21) ifoda nolga teng bo'ladi.

$$\left(\frac{d\psi}{d\lambda}\right) \lambda = \lambda_m = \frac{1}{\lambda_m} \Psi(\lambda T) = 0 \quad (3.22)$$

tajriba natijalarini $\lambda_m = \infty$ da $\Psi(\lambda T) = 0$ shart bilan bajarilishi kerak. (3.22) tenglamaning T noma'lumga nisbatan echimi biror b sonni beradi va bu sonni Vin bilan belgilaydi. Natijada Vin uning nomi bilan ataluvchi siljish qonunini oldi.

$$T \lambda_m = b \quad (3.23)$$

Tajribalarga asoslanib, Vin doimiysi uchun quyidagi qiymat qabul etildi.

$$b = 2,90 \cdot 10^7 \text{ }^{\circ}\text{A} \cdot \text{grad}$$

3.4. Reley-Jins va Plank formulalari.

Energiyaning erkinlik darajasi bo'yicha teng taqsimlanish qoidasiga asoslanib, issiqlik nurlanishi hodisalariga statistik fizika metodlarini tadbiq etib, absolyut qora jism uchun energetik nurlanish spektral zichligi uchun ingliz fiziklari Reley va Jinslar ushbu ifodani oldilar.

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \langle \varepsilon \rangle = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT \quad (3.24)$$

Bu erda $\langle \varepsilon \rangle = kT$ xususiy chastotasi bo'lgan ostsilyatorning o'rtacha kinetik energiyasi.

Tebranayotgan ostsilyatorning o'rtacha kinetik va potentsial energiyalari teng bo'ladi. Bu holda har bir tebranish erkinlik darajasiga mos kelgan o'rtacha kinetik energiya miqdori

$$\langle \varepsilon \rangle = kT$$
 ga teng bo'ladi.

(3.24) ifoda kichik chastota va katta temperatura qiymatlariad tajriba natijalariga mos keladi. yuqori chastotali sohalarda Reley-Jins formulasi tajriba natijalaridan farqlanadi va Vin qonuniga ham mos kelmaydi (13-rasm). Reley-Jins formulasidan foydalanib Stefan-Boltsman qonunini keltirib chiqarish mumkin emas. (3.16) ifodadan foydalanib energetik yorituvchanlikni topsak ushbu ifodani olamiz.

$$R_E = \int_0^{\infty} r_{\nu,T} d\nu = \frac{2\pi kT}{c^2} \int_0^{\infty} \nu^2 d\nu = \infty \quad (3.25)$$

Stefan-Boltsman qonuniga ko'ra

$$R_E = \sigma T^4$$

edi. Bu natija "ultrabinafsha halokati" nomini oldi.

Demak, klassik tushunchalardan foydalanib absolyut qora jism spektridagi energetik taqsimot qonunini aniqlab bo'lmaydi.

Plank formulasi.

Nemis fizigi I.Plank 1900 yili absolyut qora jism energetik nurlanishi spektral zichligi uchun tajriba natijalariga mos tushuvchi ifodani oldi.

Plank har qanday sistema ixtiyoriy uzluksiz energiya qabul etish mumkin deb oladigan klassik tushunchalardan voz kechdi. U atom ossilyatorlari uzlukli, aniq portsiyali yoki kvantlarni qabul etish kerak degan kvant gipotezasini havola etdi. uning fikricha kvant energiyasi chastotaga proporsional bo'ladi.

$$E_0 = h\nu = hc/\lambda \quad (3.26)$$

Bu erda $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ –Plank doimiysi.

Demak, nurlanish kvantlardan iborat portsiyali chiqarilsa, ostsilyator kinetik energiyasi E elementar energiya portsiyasi E_0 ga butun karrali diskret qiymatlarga ega bo'ladi.

$$E = n E_0 = h\nu = hc/\lambda \quad (n=1,2,3,...) \quad (3.27)$$

Bu holda ostsilyatorning o'rtacha kinetik energiyasini $\langle \varepsilon \rangle = kT$ ko'rinishda yoza olmaymiz. Ostsilyatorning E_n energiyali holatda bo'lish ehtimolligi $e^{-E_n/kT}$ ifodaga proporsional bo'ladi. Ushbu shartga ko'ra ostsilyatorning o'rtacha kinetik energiyasi uchun ushbu ifodani topamiz.

$$\langle E \rangle = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (3.28)$$

Absolyut qora jism energetik nurlanishining spektral zichligi uchun esa Plank

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

ifodani oldi.

Bu Kirxgofning universal funksiyasi formulasi edi. (3.29) ifodaga ko'ra barcha chastota va temperatura intervalida absolyut qora jism nurlanishidagi energiya taqsimotini ifodalaydi va tajriba natijalariga mos keladi. Bu natijani Plank 14 dekabr 1900 yili Nemis fizika jamiyatidan bayon etdi. Bu kun kvant fizikasi tug'ilgan kun hisoblanadi.

Plank formulasidan Stefan-Boltsman, Reley-Jins va Vin qonunlarini keltirib chiqarish mumkin. Universal doimiylar hisoblangan va qiymatlarni bilagn holda Stefan-Boltsman doimiysi va Vin doimiysini ni hisoblan topish mumkin. va doimiylarni tajribada olingan qiymatlaridan foydalanib va doimiylarni qiymatlarini aniqlash mumkin.

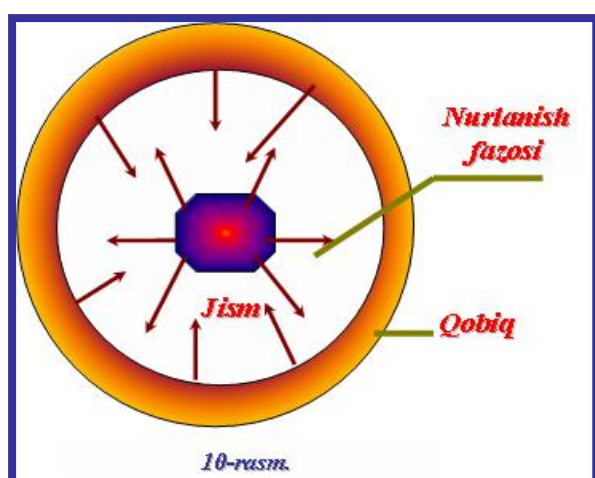
Demak, Plank formulasi Kirxgof tomonidan qo'yilgan (absolyut qora jism) issiqlik nurlanishi bo'yicha qo'yilgan vazifaning to'la echimi bo'lib, u issiqlik nurlanishining xususiy qonunlarini ham o'z ichiga oladi. Bu natijalar Plank tomonidan taklif etilagn "kvant gipotezasi" evaziga erishildi.

3.5. Optik pirometrlar.

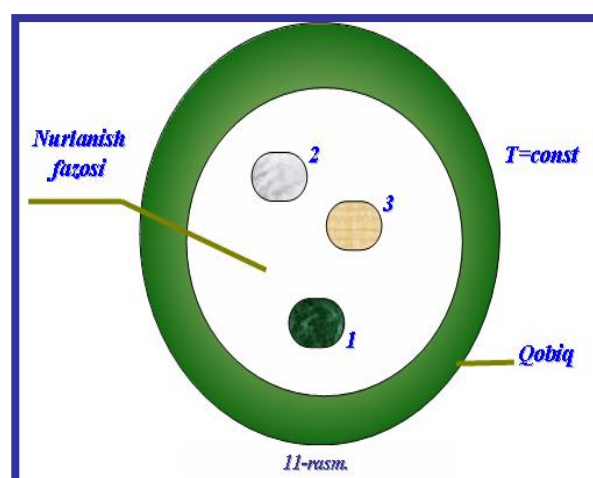
Issiqlik nurlanish qonunlari qizdirilgan jism yoki nurlanuvchi jism temperaturasini o'lchashda qo'llaniladi. Energetik nurlanishning spektral zichligi va integral energetik nurlanishning T temperaturaga bog'liqligidan foydalanib jismlar temperaturasi o'lchanadi va bu usul optik pirometriya deyiladi. Nurlanishdan foydalanib jism temperaturasini o'lchovchi asboblari pirometrlar deyiladi. Optik pirometrlar radiatsion, ravshanlik, rangli pirometrlarga ajraladi. Bu

pirometrlarda o'lchangan temperaturalar mos ravishda radiatsion, ravshanlik, va rangli temperaturalar deyiladi. Jismning haqiqiy temperaturasi bu temperaturalardan yuqoriroq bo'ladi.

§ 3. ISSIQLIK NURLANISHI



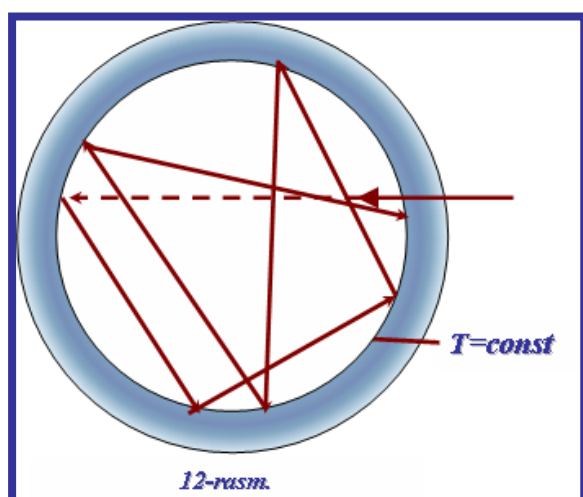
10-rasm.



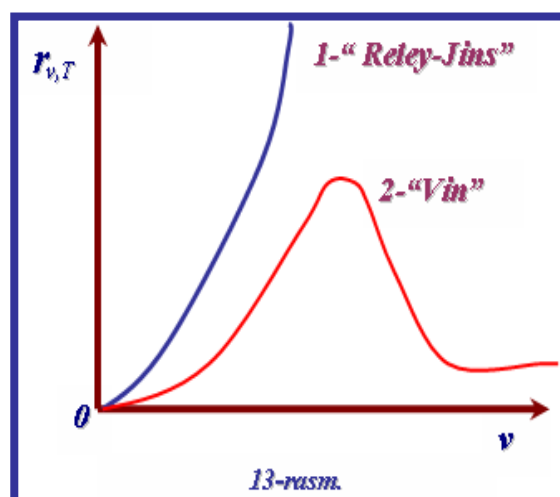
11-rasm.

8-
rasm

9-rasm



12-rasm.



13-rasm.

10-rasm

11-rasm

Sinash savollari

1. Lyuminestsentsiya hodisasini tushuntiring.
2. Issiqlik nurlanishi hodisasi qanday sodir bo'ladi?
3. Kirxgof qonunini bayon eting.
4. Stefan-Boltsman qonuni so'zlab bering.
5. Vinning siljish qonuni nimaga asoslanib keltirib chiqarilgan?
6. Reley-Jins formulasini izohlang izohlang.
7. Plank formulasini tahlil eting.
8. Optik pirometrlar haqida so'zlang.

§4. SPONTAN VA MAJBURIY NURLANISH. EYNSHTEYN ISHLARI

- 4.1 Spontan o'tish va nurlanish.
- 4.2 Majburiy o'tish va nurlanish.
- 4.3 Damlash haqida qisqa tushuncha.
- 4.4 Spontan va majburiy o'tishlarning kvantoelektrodinamik talqini.
- 4.5 Eynshteyn koeffitsientlari orasidagi munosabat.

4.1. Spontan o'tish va nurlanish.

Atomlar diskret energiyali $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ kvant holatlarda bo'la oladilar. Soddalik uchun energiyalari E_1 va E_2 bo'lgan ikki holatni qaraymiz. Agar atom E_1 energiyali turg'un holatda bo'lsa, tashqi ta'sir natijasida (elektr yoki magnit ta'sir, mexanik yoki issiqlik ta'siri, hamda yorug'lik ta'sirida) u majburiy ravishda energiyali holatga o'tadi. Bu holda qo'zg'otuvchi yorug'lik energiyasi yutiladi. Qo'zg'otuvchi yorug'lik nurlanish energiya zichligiga bog'liq holda 1 holatdan 2 holatga o'tish ehtimoligi turlicha bo'ladi.

Ma'lum vaqt oralig'ida 2 holatda bo'lgan atom hech bir ta'sirsiz o'z-o'zidan 1 turg'un holatga o'tadi. Bu o'tishda u

$$E = h\nu = E_2 - E_1 \quad (4.1) \quad \text{energiyali elektromagnit nurlanish-foton chiqaradi. Tashqi}$$

ta'sirsiz o'z-o'zidan bo'lgan yorug'lik nurlanishiga spontan nurlanish deyiladi (12-rasm a, b). Unga tabiiy yorug'lik nurlanishlari manbalari misol bo'la oladi.

Qo'zg'algan (uyg'ongan) holatdagi atomning yashash davri qancha kichik bo'lsa, spontan nurlanish ehtimolligi shuncha ortadi.

1916 yili Albert Eynshteyn termodinamik muvozanat holatini tajribada o'rganishda nurlanishni yutuvchi va nur chiqaruvchi modda orasidagi nurlanishni chiqarish va yutishdan tashqari "alohida o'zaro ta'sir" bo'lishini aytdi.

Uyg'ongan holatdagi atomning nurlanishsiz muvozanat holatga o'tishi relaksatsion o'tish deyiladi. Ushbu o'tishni nurlanishni muhit tomonidan yutilishi sifatida qarash mumkin.

4.2. Majburiy (induktsion) o'tish va nurlanishlar

Uyg'ongan 2 holatdagi atomga tashqi ta'sir etsa, u 1 muvozanat holatga qaytadi. Energiyasi va chastotasi qo'zg'otuvchi nur energiyasi va chastotasi

$$E = h\nu = E_2 - E_1$$

bilan bir xil bo'lgan nurlanish bilan ta'sir etsak, ta'sir etuvchi foton bilan bir xil chastota va energiyali qo'shimcha foton hosil bo'ladi. Bu kabi nurlanishni majburiy (induktsion) nurlanish deyiladi (13-rasm).

Bu holdagi uyg'ongan 2 holatdan turg'un 1 holatga o'tishda ikki foton ishtirok etadi. Ulardan biri uyg'ongan atomga ta'sir etuvchi 2 holatdan 1 holatga o'tishga majbur etuvchi foton (birlamchi foton), ikkinchisi (ikkilamchi) atomning 2 holatdan 1 holatga o'tishdagi nurlanishidan iborat. Ikkilamchi foton xuddi birlamchi fotonning nusxasi bo'ladi.

Termodinamik muvozanat holatlarda har bir jarayonga unga teskari bo'lgan jarayonni solishtirish mumkin. Ushbu prinsip va energiyani saqlanish qonunini Eynshteyn absolyut qora jism nurlanishi va energiya yutishiga tadbiq etdi.

Muvozanat holatida nurlanish fotonlari to'la ehtimolligi (spontan va induktsion) shu chastotali fotonlarning yutilish ehtimoligiga teng bo'ladi. Buni hisobga olgan Eynshteyn Plank tomonidan issiqlik nurlanishi uchun chiqarilgan (1900 y, absolyut qora jism ravshanligining spektral zichligi) ifodasini induktsion nurlanish uchun keltirib chiqardi.

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Eynshteyn va Diraklar hosil bo'lgan ikkilamchi fotonlar uni qo'zg'otuvchi va nurlanishni vujudga keltirgan birlamchi foton chastotasi, fazasi, qutblani va yo'nalishi jihatidan bir xil ekanligini isbotladilar. Demak, majburiy (induktsion) nurlanish majbur etuvchi nurlanish bilan kogerent bo'ladi.

Majburiy nurlanish fotoni hosil bo'lgan muxit bo'ylab xarakatlanib, u bilan uchragan uyg'ongan atomlarning nurlanishiga "turtki" beradi. Bu holda ikkilamchi fotonlar xarakati davomida majburiy o'tishni vujudga keltirib, ortib boruvchi fotonlar oqimini hosil qiladi (14-rasm).

Majburiy nurlanish fotonlari soni uyg'ongan atomlar soniga, yorug'likni mug'it tomonidan yutilishi esa muvozanat holatdagi atom sovrishiga proporsional bo'ladi.

Termodinamik mufozanat sharoitida majburiy nurlanishga nisbatan nurlanishning yutilishi katta bo'lib, muhitdan o'tayotgan yorug'lik susayadi. Tushuvchi nurlanishni muhit kuchaytirishi bu muhitda sistemaning muvozanatda bo'lmagan holatini vujudga keltirish zarur. Bunga erishish uyg'ongan holatdagi atomla sonini muvozanat holatdagi atomlar sonidan orttirish bilan amalga oshiriladi. Bu holat inversli joylashish holati deyiladi (15 – rasm).

4.3. Damlash haqida qisqa tushuncha.

Moddada muvozanatmas holat (inversli joylashish)ni vujudga keltirish damlash (nakachka) deb yuritiladi. Damlashni optik usulda (yorug'lik nuri yordamida), elektr usulida (elektr maydoni, elektronlar oqimi), kimyoviy va boshqa usullarda amalga oshirish mumkin.

Inversli joylashuv holati mavjud bo'lgan muhitdan yorug'lik dastasi o'tkazilsa, shu muhitdagi yorug'lik yutilishidan majburiy nurlanish ustun ekanidan bu mug'it yorug'likni kuchaytiradi. Shu sababli bu kabi muhitlarni faol muhitlar deyiladi.

Faol muhitlarda o'tuvchi yorug'liklarning intensivligini ifodalovchi Buger qonuni

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \text{ o'rniaga } \alpha < 0 \text{ olib } I = I_0 e^{\alpha x} \quad (4.2)$$

yoziyadi. Bu holda $\alpha < 0$ ekanidan $I > I_0$ bo'ladi, bu yorug'lik intensivligi ortishini (kuchayishini) ko'rsatadi.

4.4. Spontan va majburiy o'tishlarning kvantoelektrodinamik talqini.

Temperaturasi T ga teng termostatdan iobrat zarralar sistemasini qaraylik. Sistemaga kiruvchi zarralarning turli energetik sathlarga o'tishda nurlanish va yutilishda hosil bo'lgan o'z nurlanish maydonida sistema muvozanatini qaraymiz. Uni termodinamik yondashuv asosida qarab spontan va majburiy o'tishlar ehtimolligi orasidagi munosabatni ko'raylik.

Qaralayotgan kvant sistema E_1 va E_2 teng energetik holatlarga ega bo'lsin. Bu holda o'tishlardagi energiya yutilishi va nurlanishi energiyasi

$$E = h\nu = E_2 - E_1$$

ifoda yordamida aniqlanadi. Agar sistema termodinamik muvozanatda bo'lsa, o'tishlar davomida tashqaridan energiya olmaydi va chiqarmaydi. Demak, $E_1 \rightarrow E_2$ (E_{12}) va $E_2 \rightarrow E_1$ (E_{21}) o'tishlar soni teng bo'ladi.

Issiqlik muvozanati holatida sathlarbo'yicha zarralar taqsimlanishi Boltsman taqsimoti yordamida aniqlanadi.

$$\frac{n_2}{g_2} = \frac{n_1}{g_1} e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}} \quad (4.3)$$

Bu erda g_1 va g_2 , 2 va 1 holatlarning statistik og'irligi (aniq bir energiyali holatlar soni), k -Boltsman doimiysi.

Uyg'ongan holatdagi zarralarning spontan o'tish ehtimolligi ularning yashash davri dt ga proporsionaldir.

$$dW^{spon} = A_{21} dt \quad (4.4)$$

Bu erda A_{21} —spontan nurlanish uchun Eynshteyn koeffitsientidir. (4.4) ifodadan ko'rinadiki, spontan o'tishlar tezligi vaqt birligi ichidagi spontan o'tish ehtimoliligiga tengdir.

$$\frac{dW^{spon}}{dt} = A_{21} W_{21}^{spon} \quad (4.5)$$

Spontan nurlanish yuqori energetik E_2 holatdan quyi energetik E_1 holatga o'z-o'zidan o'tishini ko'rsatadi. Quyi E_1 holatdan yuqori E_2 holatga spontan o'tish kuzatilmaydi.

Sistemaning birlik spektral oraliqdagi energiya zichligini ρ_v deb qaraylik. Sistemaning o'z nurlanish maydoni ta'siridagi E_{12} va E_{21} o'tishlar uchun majburiy o'tish tezligi

$$W_{12}^{ind} = B_{12} \rho_v, \quad W_{21}^{ind} = B_{21} \rho_v \quad (4.6)$$

Bu erda B_{12} , B_{21} -induksion o'tishdagi (nurlanish va yutilish) uchun Eynshteyn koeffitsientlaridir.

Demak, induksion nurlanish tashqi nurlanish ta'siridagi majburiy nurlanishdir. Majbur etuvchi (qo'zg'otuvchi) birlamchi va majburiy ikkilamchi nurlanishlarning kogerentligi hosil bo'lgan barcha ikkilamchi nurlar kogerentligini ta'minlaydi. Spontan nurlanish esa tashqi ta'sirga bog'liq emas, u xuddi radioaktiv yadro parchalanishidagi nurlanishlarga o'xshaydi. Shu bois spontan nurlanish kogerent bo'lmagan nurlanishdir. U g'alayonlangan (inversli holat) zarralarini kamaytiradi.

4.5. Eyshteyn koeffitsientlari orasidagi munosabat.

Kvant sistemalarida metastabil holatida atom uzoq vaqt yashashi mumkin va shu bois spontan o'tish tezligi nolga yaqin bo'ladi.

Qaralayotgan sistemada o'z nurlanishini keltirib chiqargan E_{12} va E_{21} o'tishlar dagi muvozanat uchun (4.3) - (4.6) ifodalardan foydalanib ushbu tenglikni olamiz.

$$g_1 B_{12} \rho_v e^{-E_1/kT} = g_2 (B_{21} \rho_v - A_{21}) e^{-E_2/kT} \quad (4.7)$$

va undan A_{21} , B_{12} , B_{21} koeffitsientlari orasidagi muno-sabatlarni topish mumkin. (4.7) ifodadan kvant sistemasi muvozanat holati uchun energiya zichligini topish mumkin.

$$\rho_v = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left(\frac{g_1 B_{12}}{g_2 B_{21}} \cdot e^{E_2-E_1/kT} - 1 \right)^{-1} \quad (4.8)$$

Demak, qaralayotgan sistema energetik holatlari orasidagi muvozanat o'tishlardagi nurlanish va yutilishlar absolyut qora jism uchun Plank tomonidan yozilgan formula yordamida ifodalanishi mumkin.

$$\rho_v = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (4.9)$$

C -yorug'lik tezligi, $E = h\nu = E_2 - E_1$ ifodadan (Bor) va (4.7), (4.8) ifodalardan Eynshteyn fikrlari to'g'riligini va Eynshteyn koeffitsientlari orasida

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21} \quad (4.10)$$

munosabat mavjudligini topamiz. (4.10) ifoda induksion nurlanish va yutilish ehtimolligi bir xil ekanini ko'rsatadi. (4.7) - (4.10) ifodalardan Eynshteynning spontan va majburiy nurlanish ehtimolliklari proportsionalliklarini topamiz.

$$A_{21} = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} B_{21} \quad (4.11)$$

Eynshteyn kvant zarralari sistemasi va uning o'z nurlanishlar orasidagi muvozanat holat uchun E_{12} va E_{21} dagi teng ehtimollik o'tish uchun ifodani topdi. Muvozanat talablari bir zarra uchun vaqt birligida nurlanish bilan o'tish ehtimolligi qarama spontan va majburiy nurlanish orasidagi ushbu munosabat topiladi.

$$W^{nur} = \left(\frac{8\pi\nu^2}{c^3} h\nu + \rho_v \right) B_{21} \quad (4.12)$$

proportsionallik induksion o'tish man etilgan hollarda spontan nurlanish sodir bo'lmaydi va aksincha, spontan nurlanish (o'tish) kuzatilmagan holda induksion nurlanish bo'lmaydi.

Kvant sistemaning muvozanat nurlanishida sistemaning alohida qaralgan bir zarrasi uchun yutilish va nurlanishga "turtki" bo'luvchi (undovchi) omil sifatida yoki tashqi elektromagnit maydon sifatida ta'sir etadi. Shu sababli (4.4) - (4.12) ifodalar tashqi elektromagnit maydondagi kvant sistema uchun ham to'g'ri bo'ladi.

Spontan va majburiy nurlanishlar ehtimolliklari munosabatida ifoda $8\pi\nu^2/c^3$ bo'lib, u erkin fazo uchun birlik spektral oraliqdagi ostsilyatorlar (to'lqin yoki tebranish turi) sonini bildiradi.

Spontan nurlanish ehtimolligi V^3 ga proportsional ekanidan uning roli radiodiapazonda kichik bo'lib, optikada uning roli sezilarlidir.

Kvant elektronikasida majburiy nurlanish ehtimolligining majbur etuvchi maydon energiya zichligiga proportsional ekanligi ahamiyatlidir. Bu maydon energiya zichligining katta qiymatlarida kogerent bo'lgan majburiy nurlanish kuzatiladi.

Majburiy nurlanishlar kogerentligini ular orasidagi fazalar munosabatdan ham ko'rish mumkin.

Bu ifodadan ko'rinadiki, elektromagnit to'liqin fazasi aniqlanishi uchun kvantlar soni noaniq bo'lishi zarur. Bu kogerent elektromagnit nurlanish uchun noaniqlik munosabatidir. Shu bois bir kvant fazasi haqidagi ibora o'rinsiz, ma'noga ega emas.

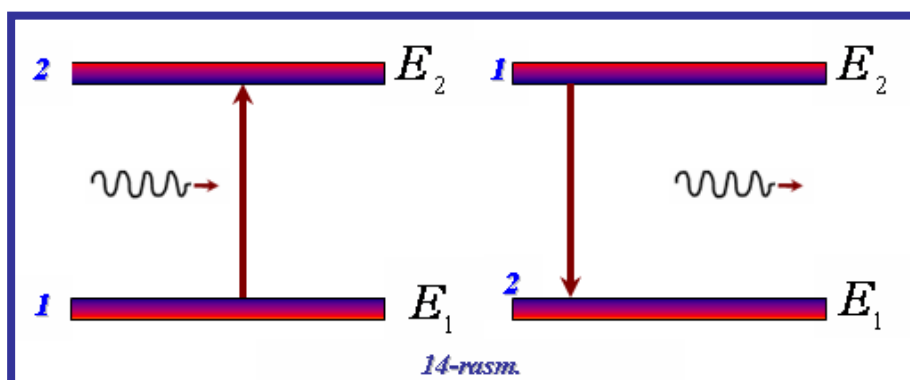
Majburiy nurlanishdan iborat elektromagnit to'liqlarni bir dastaga to'plaganda, uni o'xshash kvantlarni to'plashdan iborat deb hisoblaymiz.

Chastotasi bir xil, yo'nalishi, fazasi va qutblanishi bir xil to'liqlarni qaraganimizda ularga mos bo'lgan kvantlar ham bir xil bo'ladi. yorug' nurlanishi va yutilishini kvant nazariyasi 1927 yili Dirakning "Принципы квантовой механики. Москва, Наука, 1979" kitobida batafsil yoritib berilgan.

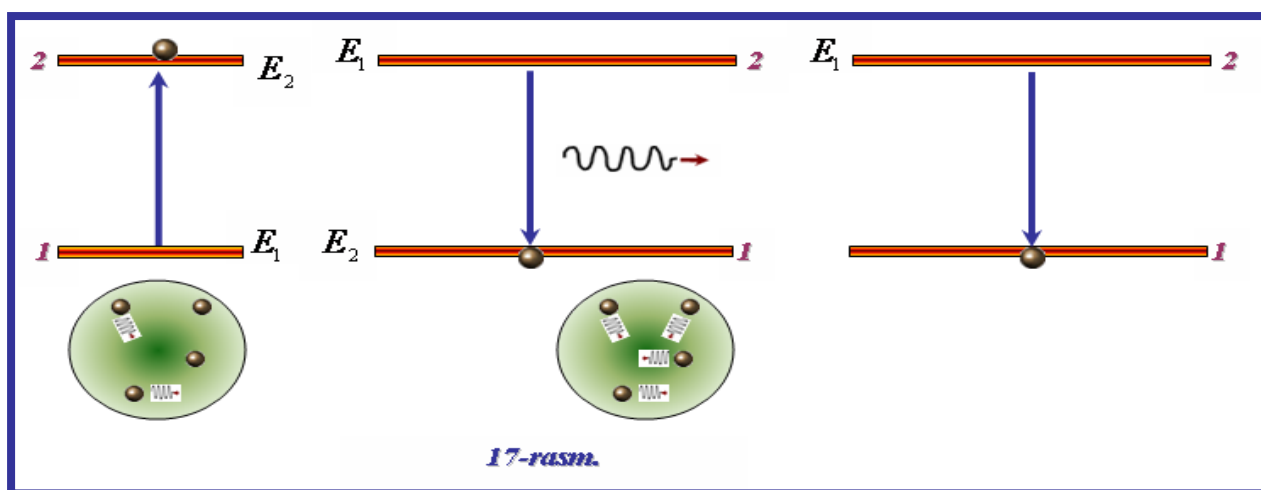
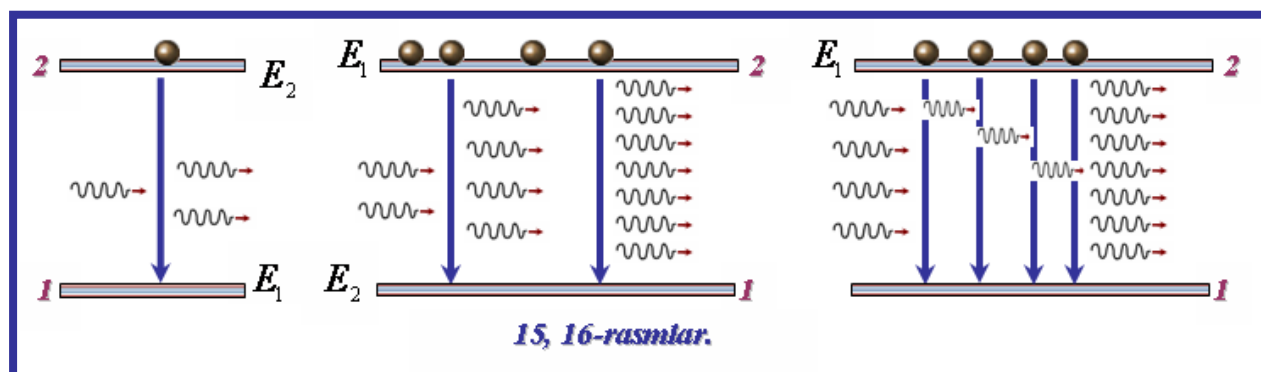
Sinash savollari

1. Spontan o'tish va nurlanish haqida so'zlang.
2. Majburiy (induktsion) o'tish va nurlanish tushuntiring.
3. Damlash deganda nimani tushunasiz?
4. Spontan va majburiy o'tish va nurlanishni kvantoelektrodinamik talqinini bayon eting.
5. Eynshteyn koeffitsientlari orasidagi munosabat qanday?

§4. SPONTAN VA MAJBURIY NURLANISH. EYNSHTEYN ISHLARI



12-rasm



13-rasm

14-rasm

15-rasm

§ 5. LAZER NURLANISHI QUVVATINI OSHIRISH.

5.1. Generatsiya bo'sag'asi

5.2. Asllik

5.3. Lazer nurlanishi quvvatini oshirish usullari.

5.1. Generatsiya bo'sag'asi.

Lazer rezonatorlari orasi L ga teng bo'lsa, faol muhitda xarakatlanuvchi yorug'lik dastasi bir tsikl davomida $2L$ ga teng yo'l bosadi va rezonatorlardan 2 marta qaytadi. Bir tsikl davomida yorug'lik oqimining susayishi rezonatorlarning qaytarish koeffitsientlari ρ_1 va ρ_2 va bo'lsa, bir tsikldagi kuchaytirish koeffitsientini α bilan belgilasak, $e^{\alpha 2L}$ ga proporsional bo'ladi. Bir tsiklda yorug'lik energiya oqimi zichligining to'la kuchayishi

$$S = S_0 \rho_1 \rho_2 \cdot e^{2\alpha L} \quad (5.1)$$

ifoda yordamida aniqlanadi. Bu erda S_0 –tsikl boshlanishidagi yorug'lik energiyasi oqimi zichligi. (5.1) ifodada $2f = -\ln \rho_1 \rho_2$ belgilash kiritsak, uni quyidagi ko'rinishda yoza olamiz.

$$S = S_0 e^{2\alpha L - 2f} \quad (5.2)$$

(5.2) ifodadan ko'rinish turibdiki, bir tsikl davomida yorug'lik oqimi faol mug'itdan olgan energiya faol mug'itdan tashqariga nurlanish hisobiga yo'qotilgan va $2L$ masofani o'tishdagi yo'qotilgan energiyalar yig'indisidan ortiq bo'lganda lazer nurlanishi generatsiyasi boshlanadi. Generatsiya bo'sag'asida energiya oqimi zichligi kam bo'lganligi sababli sathlar joylashuv holatini o'zgartirishga etarli bo'lmaydi. Shu bois generatsiya bo'sag'asi uchun yorug'lik oqimi bo'lmagan holdagi kuchayish koeffitsientini $\alpha = \alpha_0$ deb olish mumkin. (5.2) ifodadan generatsiya bo'sag'asi sharti

$$\alpha_0 L = f \quad (5.3)$$

bo'ladi. Turg'un generatsiya holida yorug'lik oqimining faol muhitdan olgan energiyasiga yo'qotilgan to'la energiyaga teng bo'ladi. Yorug'lik energiyasi oqimi zichligining ma'lum qiymatida turg'un generatsiya sodir bo'lishi mumkin ekanligidan qiymatini yorug'lik oqimi mavjud bo'lgandagisini olamiz. Bu holda turg'un generatsiya sharti

$$\alpha L = f \quad (5.4)$$

bo'ladi.

5.2. Asllik

Lazerning asosiy qismlaridan biri optik rezonator bo'lganligidan lazerlar nazariyasida tebranishlar nazariyasi atamaları ishlatiladi. Bir davrda yo'qotilgan energiya asllik bilan xarakterlanib, u sistema jamg'argan energiya W ni bir davrda yo'qotilgan ΔW energiyaga nisbati bilan o'lchanuvchi kattalikdir.

$$Q = \frac{W}{\Delta W} \quad (5.5)$$

Sistema jamg'argan energiya

$$W = w\sigma L \quad (5.6)$$

ifoda yordamida aniqlanadi. Bu erda σ lazer nurlanishi dastasining kesim yuzasi. Bir tsikl davomidagi energiya yo'qotilishi

$$\frac{w}{2} \sigma L (1 - e^{-2f}) \quad (5.7)$$

ifodadan aniqlanadi. va unda energiyaning hajmiy zichligi W qarama-qarshi yo'nalishda bir hil hajmiy zichlikdagi ikki oqim energiyasi yig'indisidan iborat bo'ladi.

Bir tsikl davomiyligi $t = \frac{2L}{v}$ va davr $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ekanini inobatga olib, bir to'la tebranishdagi energiya yo'qotilishi

$$\Delta W = \frac{(w/2) \sigma L (1 - e^{-2f})}{2L/v} T = \frac{1}{2} w v \sigma f T \quad (5.8)$$

formula bilan ifodalanadi. Bu erda $e^{-2f} \approx 1 - 2f$ va $f \ll 1$ va ekanini inobatga olsak ifodani

$$Q = \frac{\sigma \omega L}{\frac{1}{2} \omega v \sigma f T} = \frac{2L}{f \cdot \lambda} = \frac{m}{f} \quad (5.9)$$

ko'rinishda yozamiz. Bu erda $m = \frac{2L}{\lambda} = \frac{L}{(\lambda/2)}$ - rezonatoridagi turg'un yarimto'liqin uzunliklari sonidir. (5.5) ifodadan foydalanib generatsiya bo'sag'asi uchun

$$\frac{\alpha_0 \lambda}{2} = \frac{1}{Q}, \quad Q = \frac{2}{\alpha_0 \lambda} = \frac{1}{\left(\frac{\lambda}{2}\right) \alpha_0} \quad (5.10)$$

ifodani yozamiz. (5.10) ifoda generatsiya sodir bo'lishi uchun to'liqin uzunligi yarmiga teng masofada kuchayishi asllikning teskari qiymatiga teng bo'lishi zarur. Generatsiya bo'sag'asi qancha katta bo'lsa, asllik shuncha kichik bo'ladi. Asllik qancha kichik bo'lsa, energiya yo'qotilishi shuncha katta bo'ladi. Optik o'qda yotuvchi nurlarda generatsiya bo'sag'asi avval boshlanadi va shu nurlar lazer nurlanishi energiyasini olib ketadi. Lazerning nurlanishi optik o'qda tarqaluvchi tor parallel dastadan iborat bo'lib, uning kengayish burchagi difraktsiyaga bog'liq bo'ladi.

5.3. Lazer nurlanishi quvvatini oshirish.

Sathlarda invers bandlik holatini keltirib chiqarish damlash deyiladi. Damlashning bir necha usullari mavjud. Damlashning uzluksiz va impulsli turiga bog'liq holda lazer nurlanishi uzluksiz va impulsli bo'lishi mumkin.

Nurlanish quvvatini oshirish majburiy nurlanish hisobiga yorug'lik oqimini kuchaytirishda qatnashuvchi atomlar sonini orttirish yoki nurlanish impulsi davomiyligini kamaytirish usullari bilan amalga oshiriladi. SHulardan biri asllikni modullash usuli

Yorug'lik oqimini kuchaytirishda ishtirok etuvchi zarralar sonini kupaytirish uchun generatsiya boshlanishini to'xtatib, mumkin qadar "qo'zg'olgan" atomlar sonini orttirib, invers bandlik jolatidagi zarralar sonini ko'paytirish zarur va buning uchun generatsiya bo'sag'asini "ko'tarish", hamda asllikni pasaytirish zarur. Bu holatga yorug'lik oqimini yutilishini orttirish bilan erishiladi. Bu holatga quyidagicha erishish mumkin. Ko'zgulardan birini o'zaro parallellikdan biroz chiqarilsa, sistema aslligi keskin kamayadi, generatsiya bo'sag'asi ko'tariladi. Ushbu holatda damlash jarayonini amalga oshirilsada, generatsiya bo'sag'asi ortganligi sababli lazer nurlanishi sodir bo'lmaydi. So'ngra ko'zguni o'zaro parallel joylashtirsak, rezonator aslligi keskin ortadi. Invers bandlik holatida ko'p sonli zarralar jamg'arilganligi sababli lazer nurlanishi quvvati keskin ortadi. Bu usulga lazer generatsiyasini boshqarish usuli-asllikni modullash usuli deb ataladi.

Nurlanish impulsining davomiyligi lazer nurlanishi natijasida invers bandlik holat energiyasi kamayib, generatsiya bo'sag'asi energiyasiga etguncha sarflangan vaqtga bog'liq bo'ladi. Bu vaqt qator omillarga bog'liq bo'lib, sekundni tashkil etadi.

Qisqa davomiylikka ega bo'lgan impulsni Kerr yacheykasi yordamida olish mumkin. Bu rezonator ko'zgulari orasiga Kerr yacheykasini va qutblagichni joylashtirib amalga oshiriladi. Qutblagich belgilangan qutblanishli nurlanishnigina generatsiya holatini ta'minlaydi, Kerr yacheykasi shunday joylashtiriladiki, unga tashqi manbai kuchlanishi qo'yilganda u belgilangan qutblanishli nurlanishni o'tkazmaydi. Lazerda damlash jarayoni boshlansa, Kerr yacheykasidan

kuchlanish olinadi va shu onda katta quvvatli lazer nurlanishi sodir bo'ladi. Bu holda yacheyka diafragma vazifasini o'taydi.

Impuls rejimida ishlovchi lazerda asllikni modullash usuli ko'zgularidan biri o'rniga uchburchakli qaytaruvchi prizma yordamida amalga oshiriladi. Rezonatorda energiya yutilishini orttirib, generatsiya bo'sag'asi ko'tariladi va bu holda invers bandlik holatidagi atomlar soni ortadi. Tez aylanuvchi va to'la qaytaruvchi prizmaning aniq bir holatidagina rezonatorlarda energiya yo'qotilishi kamayib, generatsiya bo'sag'asi kamayadi. Natijada katta quvvatli lazer nurlanishi sodir bo'ladi. Chunki bu holda teskari bog'lanish jarayoni boshlanadi. Bu paytda tebranuvchi qism uyg'ongan holatdagi zarralar sonini keskin orttiradi. Ushbu vaqt davomiyligi bo'lib, impulsli lazer nurlanishi quvvati ga etadi. Agar aylanuvchi prizma o'rniga Kerr yacheykasidan foydalanib, uni optik diafragma sifatida foydalansak, nurlanish quvvatini yanada orttirish mumkin. Chunki Kerr yacheykasining inertligi kichik ekanligidan uning yordamida davomiyligi sekundli impuls olish mumkin.

Bayon etilgan yorug'lik quvvatini oshirish usullari qurilmalarini ketma-ket joylashgan tizimi (kaskadi) ni qo'llab, yanada kichik davomiylikdagi nurlanish impulsini olish mumkin. Bu usulda davomiyligi nanosekundga etadi, nurlanish quvvati esa va undan ortiq bo'lishi mumkin. Lazer nuri quvvatini oshirishga Pokkelsning elektrooptik effektidan foydalanib erishish mumkin.

Bayon etilgan usullardagi lazer nurlanishi olish rejimi aslligini modullash usulidagi generatsiya rejimi deyiladi. Aslligi vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydigan lazerning ishlash sharoiti erkin generatsiya rejimi deyiladi.

Sinash savollari

1. Lazer nurlanishida generatsiya bo'sag'asi holatini izohlang
2. Lazerning aslligi qanday omillarga bog'liq bo'ladi?
3. Asllikni modullash deb nimaga aytiladi ?
4. Rezonator ko'zgusini og'dirib asllikni modullashni bayon eting.
5. Kerr yacheykali diafragma usulida asllikni modullash usuli qanday amalga oshiriladi?
6. Aylanuvchi prizma usulida lazer nurlanishi quvvati qanday oshiriladi

§ 6. DAMLASH.

- 6.1 Damlash
- 6.2 Optik damlash.
- 6.3 Elektrik damlash. Uyg'otishning gaz razryadli usuli.
- 6.4 Damlashning gazodinamik usuli.
- 6.5 Damlashning kimyoviy usuli.
- 6.6 Damlashning fotodissotsiatsiya usuli.
- 6.7 Damlashning elektron oqimi usuli.
- 6.8 Damlashning injekcion usuli.

6.1. Damlash.

Lazer uch asosiy qismdan iborat:

- a) faol muhit (gaz, suyuqlik (eritmala), qattiq jism)
- b) rezonator-nurlanishda teskari bog'lovchi element (ko'zgular, qaytaruvchi sirtlar)
- v) uyg'otuvchi (tebrantiruvchi) element (yorug'lik dastasi, yorug'lik impulsi, gaz razryadi, elektron oqimi, yuqori temperaturali ionlar oqimi (gazodinamik uyg'otish), elektr va magnit maydoni, kimyoviy reaksiya va xokazolar)

Uyg'otuvchi element yordamida qaralayotgan faol muhit atom va molekulalarini quyi energiyali holatdan yuqori energiyali holalarga o'tkazish hodisasi amalga oshiriladi. Bu hodisa uyg'otish yoki damlash deb ataladi. uyg'otish qiyisi usulda amalga oshirilishga qarab uyg'otishning usuli shu nom bilan ataladi. Masalan:

- a) yorug'lik yordamida uyg'otish uyg'otishning optik usuli yoki optik damlash deyiladi.
- b) gaz razyadi yordamida amlga oshirilgan uyg'otish uyg'otishning gaz razryadli usuli yoki gaz razryadli damlash deyiladi.
- v) elektron oqimi yordamida uyg'otish uyg'otishning eletron oqimi usuli yoki elektron oqimli damlash deb ataladi.
- g) ionlar yordamida qo'zg'otish uyg'otishning gazodinamik usuli yoki gazodinamik damlash deyiladi.
- d) kimyoviy reaksiya yordamida-uyg'otishning kimyoviy usuli (kimyoviy damlash) usullari amalga oshirilishi mumkin.

Ko'p hollarda lazer nomi damlash usuliga bog'liq nomlanadi. Lazer nomi faol muhit va ish rejimi nomi bilan ham ataladi.

Faol muhit turiga qarab uyg'otishning qulay usullari tanlanadi:

- a) Gaz lazerlarda uyg'otishning (damlash) gaz razryadli, kimyoviy, fotodissotsiatsion va elektroionizatsion gazodinamik usullari,
- b) Suyuqlikli lazerlarda damlashning lampali damlash, lazerli damlash usullari,
- v) Yarimo'tkazgichlarda damlashning tok tashuvchilarning p-n o'tish orqali injeksion usuli,
- g) Qattiq jisimli lazerlarda dashlashning optik usulidan foydalaniladi.

Lazerlar uzluksiz va impulsli nurlanish rejimda ishlashi mumkin.

Faol muhitda muvozanatmas holat bo'lgan inversli bandlik (joylashuv) holatini vujudga keltirish damlash (nakachka) deyiladi. Uch sathli faol muhitda damlash natijasida sistema asosiy energetik sathi E_1 dan uyg'ongan sath E_3 ga o'tsin $E_3 > E_1$ (16-rasm). Atom sistemasi 3-sathda 10^{-7} sekundgacha yashashi mumkin, so'ng u nurlanishsiz E_2 sathga o'tadi. U bu sathda 10^{-3} sekundgacha yashashi mumkin. Bu sath metastabil sath (inversli bandlik sathi) deyiladi.

Sistema bu sathdan asosiy sathga o'tishda (majburiy) $E_2 - E_1 = h\nu$ energiyali majburiy nurlanadi.

4 sathli sistemada damlash natijasida sitema asosiy energetik sath E_1 dan uyg'ongan sathga o'tadi. sathdan E_3 metastabil sathga nurlanishsiz spontan o'tadi.

E_3 sath inversli bandlik sathi bo'lib, atomning bu energetik holatda yashash vaqti 10^{-3} sekund bo'lib, bu sathdagi elektronlar soni asosiy energetik holat E_1 dagi elektron sonidan ko'p bo'ladi. SHu holatda tebrantiruvchi element tashqi etuvchi ta'siri natijasida majburiy kogerent nurlanish

(lazer nurlanish) sodir bo'ladi. 4 sathli sistemada majburiy nurlanish $E_3 - E_2 = h\nu_1$ yoki

$E_3 - E_1 = h\nu_2$ bo'lishi mumkin.

Faol muhitlarda o'tuvchiyorug'lik intensivligini ifodalovchi Buger qonuni

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

o'rniga yutilish koeffitsienti manfiy ekanligidan $\alpha < 0$

$$I = I_0 e^{\alpha x} \quad (6.1)$$

ko'rinishi yoziladi. Bu holda o'tuvchi yorug'likning dastlabki intensivligi I_0 muhitdan o'tgandan keyingi intensivligi I dan kichik $I > I_0$ bo'ladi. Bu esa yorug'lik intensivligi ortishini (kuchayishi) ni ko'rsatadi.

Sovet fizigi V.A. Fabrikant simob bug'larini elektr razryadi bilan uyg'otib tajribada majburiy nurlanish oldi. U 1939 yili majburiy nurlantirish yordamida "yorug'likni kuchaytirish imkoniyatiga ega bo'lgan muhit mumkin ekan" ligini aytdi.

1951 yili V.A. Fabrikant, M.M. Vudinskiy va F.A. Bugaevlar "elektromagnit to'lqinlarni kuchaytirish hodisasi"ni kashf etganliklari uchun va "elektromagnit to'lqinni kuchaytirish usuli"ni ixtiro etganliklari uchun mualliflik guvohnomalarini olishdi.

Bu kashfiyot kvant elektronikasini rivojlanishiga va bu fanning kvant kuchaytirgichlar va optik kvant generatorlari yaratilishiga va ularni beqiyos tarraqiy etishiga zamin yaratdi.

Atom, molekula, ion va qattiq jismlar tarkibiga kiruvchi elektronlarning kvant o'tishlarida majburiy nurlanishga asoslanib kvant elektronikasi oid asbob va qurilmalar bunyod etildi.

Kogerent majburiy nurlanishlarni o'rganivchi va uni elektromagnit to'lqinlar kuchaytirishga, generatsiyalashga va kogerent nurlanishlarni aylantirishga tadbiqu bilan shug'ullanuvchi fan-kvant elektronikasi beqiyos gurkirab o'sib bormoqda. Uning fan va texnikadagi, halq xo'jaligining turli tarmoqlaridagi tadbiqu tobora kengayib bormoqda.

6.2. Optik damlash.

Lazerlarning faol muhitini inversli bandlik holatiga olib kelish va shu holatda saqlab turish faol muhit tarkibiga bog'liq bo'ladi. Qattiq jisimli va suyuqlikli faol muhitlarda ko'proq uyg'otish optik usulda (optik damlash) amalga oshiriladi. Bunda faol muhit fokuslangan Quyosh nuri, lampali yoki lazer nuri yordamida yoritiladi. Optik damlash usulida ionlar va molekulalarning uch yoki to'rt energetik holatlari bo'lishi kerak. Zarralarning yuqori energetik holatining yutilish polosi kengligi

E_3 katta bo'lsa, lazer nuri bo'lmagan yorug'lik nurining ma'lum spektridan foydalanish mumkin.

Undagi quyiroy energetik holat E_2 ning kengligi tor bo'lgan energetik E_2 metastabil holat bo'lishi zarur (16-rasm). Bunday holat E_2 metastabil holatda zarralarning kontsentratsiyasi ortishiga olib keladi. Asosiy E_1 energetik holatdagi zarralarning sonining 50 % i optik uyg'otilgan

bo'lsa, E_2 energetik holatdagi zarralarning konsentratsiyasi E_1 energetik holatdagi zarralarning konsentratsiyasiga yaqinlashib boradi. Ular tenglashganda $N_1 \leq N_2$ to'yinish holati yuz beradi va inversli bandlikka erishiladi va ma'lum ta'sir natijasida majburiy nurlanish sodir bo'ladi ($E_2 - E_1 = h\nu_1$). Bayon etilgan faol muhitga rubin kristali misol bo'ladi. To'rt sathli energetik sathga ega bo'lgan faol muhitda metastabil va asosiy energetik holatlar orasidagi E_1 dan uzoqda va E_3 ga yaqin tor polosali E_2 sath bo'lishi zarur (17-rasm).

Bu holda E_4 sathdagi uyg'ongan zarralar 10^{-7} sekunddan so'ng spontan va nurlanishsiz E_3 metastabil sathga o'tadi. Oraliqdagi E_2 energetik holat inversli bandlik holidagi E_3 holatnikidan juda kam bo'lishi zarur. Bu holat termodinamik muvozzat holatida kuzatilishi zarur. Bunda majburiy nurlanish chegarasi E_1 energetik sathdagi zarralarning 50 % dan ortig'i qolganda ham sodir bo'ladi. Bu damlash manbasi bo'lgan talabni biroz bo'lsada engil qiladi. Ushbu kunlarda to'rt sathli faol muhit sifatida uch valentli neodim ioni kiritilgan shisha yoki kristalldan foydalanilmoqda.

6.3. Damlashning gaz razryadli usuli.

Gaz lazerlarining ko'pchiligida gazlarda elektr razryadidan foydalanib inversli bandlik holatiga erishiladi. Elektr razryadida hosil bo'lgan elektrolar elastik bo'lmagan to'qnashuvlarda gaz zarralarini yuqori energetik holatlarga ega qiladi. Gaz razryadidagi yuqori energetik holatdagi zarralarning quyi energetik holatga spontan o'tishini ko'rsatadi.

Qo'zg'algan holatda metastabil sathda zarralarning to'planishi va inversli bandlik holatini kelib chiqishini ta'min etadi. Bu asosiy sohada zarralarning konsentratsiyasi kamayishi va metastabil holat konsentratsiyasini ortishini ko'rsatadi.

Gaz razryadi elektroni neytral atom, molekula va ionlarni energiyaning keng intervalida inversli bandlik holatiga erishtiradi.

Damlashning gaz razryadli usuli lazerlarning uzluksiz va impulsli ish rejimlarida qullaniladi. Impulsli rejimda gaz faol barchasida inversli bandlik holatiga erishish va katta quvvatdagi lazer nurlanishini olish mumkin.

Gazlarda elektr razryadi mustaqil va nomustaqil bo'lishi mumkin. Nomaustaqil elektr razryadida tashqi ionlovchi elementdan foydalaniladi. Elektr razryadida har bir zaryad oralig'i uchun mos bo'lgan elektr maydoni kuchlanganligi tanlanadi.

6.4. Damlashning gazodinamik usuli.

Yuqori temperaturalargacha qizdirilgan gaz (cheklangan V hajmda P yuqori bo'ladi) kengayib boruvchi chiqish joyi (soplo)da termodinamik parametrlari (P, V, T) keskin o'zgaradi. Kengayish jarayonida bosim P va temperatura T keskin kamayadi, chunki hajm bu jarayonda qisqa vaqtda keskin ortadi. Gazning yuqori bosim va temperaturali holatiga energetik sathlarda

zarralarning joylashishining bir holatiga mos kelsa, bosim va temperaturaning quyi qiymatlarida ikkinchi holatga mos keladi.

Termodinamik parametrlarning birinchi holati (P_1, V_1, T_1) dan ikkinchi quyi holatiga (P_2, V_2, T_2) o'tishda gazning muvozanat holati buziladi. Agar quyi energetik sathdagi termodinamik muvozanat holatiga o'tish relaksatsiya vaqti yuqori energetik sathdagi termodinamik muvozanat holatiga o'tishdan tez sodir bo'lsa ($\tau_2 < \tau_1$), gaz oqimi yo'nalishida ma'lum oraliq sohasida gazodinamik oqimda inversli joylashuv holati kuzatiladi (L uzunlikda, V_L hajmda). Invers holatli hajm V_L va soha uzunligi L gazodinamik oqim tezligi V va inverli holat relaksatsiya vaqti τ_2 ga bog'liq bo'ladi. Inversli holat boshlanishida zarra kinetik energiyasi

$$E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (6.2.1)$$

va holat ohirida

$$E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (6.2.2)$$

bo'lsa, zarraning energiya o'zgarishi

$$\Delta E = E_{k1} - E_{k2} = \frac{m}{2}(v_1^2 - v_2^2) \quad (6.3)$$

ma'lum issiqlik miqdoriga teng bo'lib, bu $\Delta E = \Delta Q$ issiqlik majburiy nurlanish uchun sarflanadi ($\Delta E = \Delta Q = hv$) (18 – rasm).

Gazodinamik oqimda zarralarning aksariyati tezligi bir-biriga tengligi sababli majburiy nurlanish chastotasi monoxromatik bo'ladi yoki nurlanish chastotasi polosasi juda tor bo'ladi.

Zarralarning xarakati aniq bir yo'nalishda ekanidan va faqat ilgarilanma xarakatini hisobga olsak, erkinlik darajasi $i=1$ ga teng bo'lib, unga mos energiya

$$E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}kT_1 \text{ va } E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}kT_2 \quad (6.4)$$

ga teng bo'ladi. Energiya o'zgarishi esa V nurlanish chastotasi va T temperaturasi orasida

$$E_{k1} = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{2}k(T_2 - T_1) = hv \quad (6.5)$$

kabi bog'lanish mavjud bo'ladi. Bundan

$$v = f(v, T) \quad (6.6)$$

ekanligi kelib chiqadi.

6.5. Damlashning kimyoviy usuli.

Kimyoviy reaksiya natijasida namoyon bo'lgan energiya o'zgarishi ΔE atom, molekula yoki radikalni qo'zg'algan energetik holatga o'tkazadi. Bu o'zgarish muhitda inversli joylashish holatini vujudga keltiradi. Kimyoviy reaksiyani gazda va suyuqlikda amalga oshirish qulaydir. Gazli muhitda reaksiya keltirib chiqaruvchini muhit bo'ylab barcha yo'nalishlarda ko'chishi qulay bo'lganligi sababli, gazlarni kimyoviy damlash engil bo'ladi. Gazli muhitda hosil bo'lgan reaksiya zarralarida kimyoviy energiyaning muvozanatmas taqsimoti kuchli seziladi va bu taqsimot uzoq vaqt saqlanadi.

Kimyoviy lazerlarda reaksiya natijasida hosil bo'lgan ΔE energiya elektromagnit nurlanishi sifatida chiqariladi.

$$\Delta E = E = h\nu$$

Kimyoviy reaksiyalarni zanjirli reaksiyalarga aylantirishga urinish inversli joylashuv holatiga o'tkazishga sarflanadigan energiyani kamaytiradi.

Kimyoviy lazerlarni ishlashida elektr energiyasidan juda kam foydalaniladi. Gazli kimyoviy lazerlarda reaksiya mahsulotini muhitdan ajratib turish lazerni uzluksiz ishlashiga imkon beradi.

Lazerlarda kimyoviy va gazodinamik usullarni birgalikda qo'llab ijobiy natija olish mumkin.

6.6. Damlashning fotodissotsiatsiya usuli.

Faol muhitda fotodissotsiatsiya usulida inversli bandlik holatini olish mumkin. Bu usulni ham kimyoviy damlash usuliga qo'shish mumkin.

Kuchli yorug'lik chaqnashi ta'sirida (yoki yorug'likning kuchli impulsi ta'sirida) faol muhit atomi, molekula va radikalida bo'linishlar sodir bo'lib, reaksiya natijasida turli zarralar (reaksiya mahsulotlari) elektron, ionlar, alohida atom va molekulalar hosil bo'lishi mumkin. Bu zarralar muvozanat holatidan (reaksiyagacha holat) yuqoriroq energetik holatga o'tadilar. Bu zarralar inversli joylashuv holatini hosil qiladilar.

Yorug'likning kuchli impulsi hosil qilgan inversli joylashuv holatidagi zarralarning asosiy energetik holatga qaytishida majburiy impulsli elektromagnit nurlanish hosil qiladi.

Zarralarning energiyasi fotodissotsiatsiya reaksiyasi natijasida

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

ga o'zgargan bo'lsa, majburiy nurlanish chastotasi

$$\Delta E = h\nu$$

yordamida aniqlanadi.

Yorug'lik impulsi ta'sirida katta hajmdagi faol muhit (gaz)ni qo'zg'otish mumkinligi sababli, ushbu reaksiya natijasida katta sondagi zarralardan iborat inversli joylashuv holatiga erishish mumkin. Bu esa impuls rejimida ishlovchi juda katta quvvatli lazer qurish mumkinligini ko'rsatadi.

6.7. Damlashning elektron oqimli usuli.

Faol muhit atomlari (gaz, suyuqlik qattiq jism) katta energiyali $((0,3 \div 3)) \cdot 10^6 eV$ elektronlarning ma'lum oz sondagi dastasi bilan ta'sir etganda muhitda ortib boruvchi kichik energiyali $1 \div 10 eV$ elektronlar quyunini hosil qilish mumkin. Kichik energiyali elektronlar quyuni lazer nirlanishi hosil qiluvchi energetik sathda inversli joylashuvni vujudga keltiradi.

Katta energiyali elektronlarning yugurish yo'li katta ekanligi sababli katta bosim P dagi turli gazlarda damlashning elektron oqimi usulidan juda katta hajmli faol muhit olishga imkon beradi.

Elektron oqim usulini boshqa damlash usullari bilan birgalikda qo'llash katta ijobiy natijalar beradi.

Bayon etilgan usullarni qo'llab gazdan iborat faol muhitni olish qulaydir, chunki gazni xarakterlovchi kattaliklar fizikada yaxshu o'rganilgan. Gaz xarakteristikalarini tajribada aniqlash usullari ham yaxshi ishlab chiqilgan.

Gazli faol muhitda turli gaz zarralari orasilagi noelastik to'qnashuvda energiya almashishi oson kechadi. Ayniqsa, energetik sathlari bir hil bo'lgan turli gaz zarralarida (gaz aralashmalarida) energiya almashinishi yuqori darajada bo'ladi. Bu fikrlar gazli lazer nurlanishini olish boshqalarga nisbatan qulayligini ko'rsatadi.

6.8. Damlashning injeksion usuli.

Injeksion damlash usuli yarimo'tkazgichli lazerlarda qo'llaniladi. Injektsiya lotincha so'zdan olingan bo'lib, "chiqarib yuborish" ma'nosini anglatadi. U elektr maydoni ta'sirida muvozanatsiz (ortiqcha) tok tashuvchilarni yarimo'tkazgich yoki dielektrikka o'tkazib yuborish ("chiqarib yuborish") jarayonidan iborat hodisadir. Obdatda ortiqcha tok tashuvchilarni tashkil etuvchi elektron va kovaklarni elektr maydoni ta'sirida $p - n$ -o'tish (getereperexod) ning to'g'ri o'tkazish yo'nalishida o'tkazib yuborishni injeksiya hodisasi deyiladi.

19-rasmda injeksion lazer tuzilishi sxematik ko'rinishda ko'rsatilgan. Unda arsenid galliyli lazer sxemasi keltirilgan. Monokristallning ko'ndalang va bo'ylama o'lchami 0,1-1 mm bo'lib, u Te va Sc kiritmali n tipli kristalldan kesib olingan. U kesimga (Zn, Cd) aktseptorli yarimo'tkazgich diffuziyalanib p -tipli material olingan. Bu holda n -o'tish va p -o'tish orasi 10-100 mikron atrofida bo'ladi. va o'tishlar kontanktiga oltin qoplanadi. Issiqlikni yaxshi o'tkazuvchi sapfir yoki olmos podloshka sifatida qo'llaniladi. o'tishning to'g'ri yo'nalishida tok

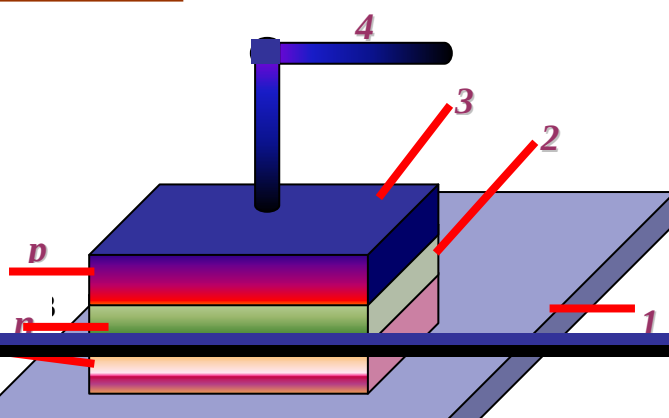
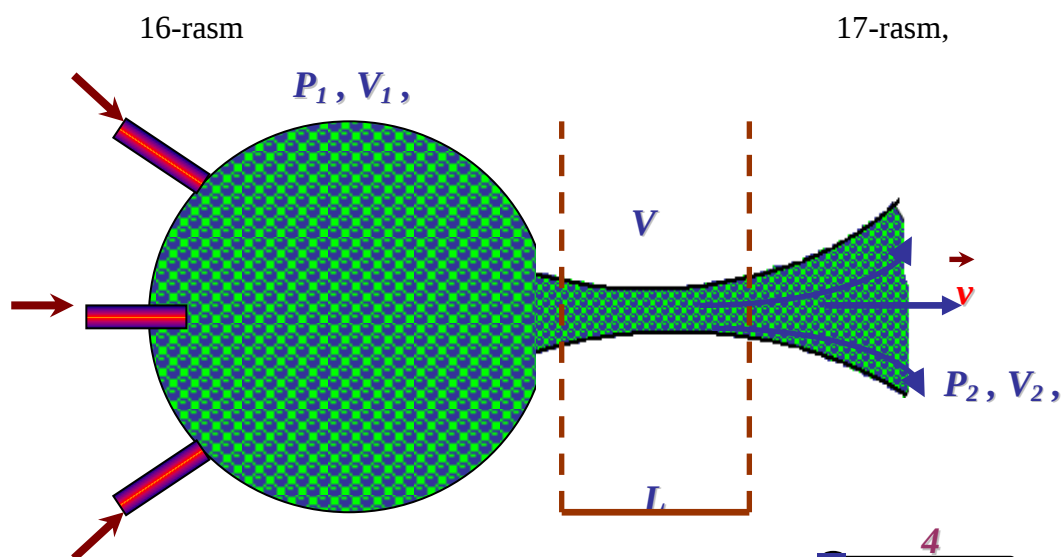
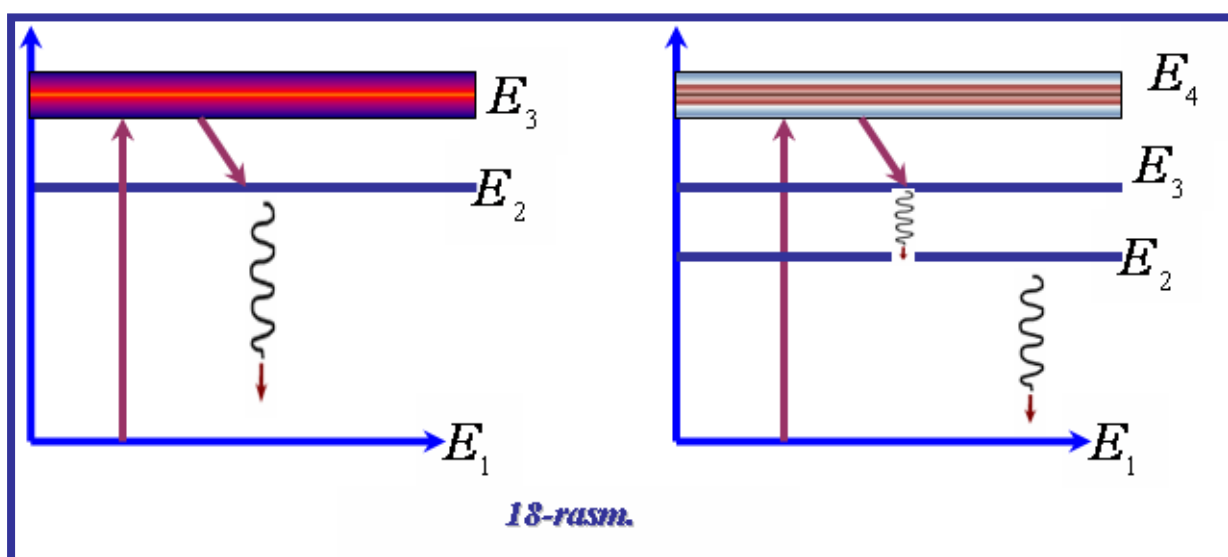
zichligi $j = 1000 \frac{A}{cm^2}$ $p - n$ o'tishda inversli bandlik holatini yuzaga keltiradi. Kristallning

yon qirralari ($n = 3,6$ $R = 30\%$) ko'zgu vazifasini bajaradi. Kristallning kichik uzunlikdagi holatida ham inversli bandli holati o'rnatiladi va lazer nurlanishi sodir bo'ladi.

Sinash savollari

1. Faol muhit zarralariningg invers bandlik holatini tushuntiring.
2. Damlash hodisasi qanday amalga oshiriladi.
3. Optik va gaz razryadli damlash usulini izohlang.
4. Gazodinamik va kimyviy damlash usullarini aytib bering.
5. Damlashning fotodissotsiatsion usulini so'zlang.
6. Injektsion va elektron oqimli damlashni bayon eting.

§ 6. DAMLASH.



19-rasm

§ 7. OPTIK REZONATORLAR.

- 7.1 Optik rezonator.
- 7.2 Yassi parrallel ko'zguli rezonator.
- 7.3 Sferik ko'zguli rezonator.
- 7.4 Konfokal rezonator.

7.1. Optik rezonator.

Lazerning faol muhit, rezonator va qo'zg'ouvchi qurilmadan tuzilgan uch asosiy qismi bo'ladi. Rezonator lazer nurlanishiga aniq yo'nalish beradi. Sodda rezonatorlar bir optik o'qqa ma'lum L masofada bir-biriga qaratib pedpendikulyar joylashtirilgan ikki yassi parallel ko'zgu yoki sferik ko'zgudan iboart bo'ladi. Ko'zgula orasiga faol muhit (kristall, kyuvetadagi gaz yoki suyuqlik) joylashtiriladi. Ko'zgulardan biri nuralninishni to'la qaytaruvchi ikkinchisi esa yarim shaffof o'olda tayyorlanadi.

Rezonatorning optik o'qiga burchak ostida yo'nalagn nurlar faol muhit (kristall yoki kyuveta) yon tomonidan tashqariga chiqib ketadi.

Rezonatorning o'qi bo'ylab yo'nalgan fotonlar ko'zgulardan qaytib ular orasida ko'p marta harakatlanadi. Ular L masofani har bir o'tishda faol muhitda majburiy nurlanish (ikkilamchi) fotonni keltirib chiqaradi. Ko'p marta o'tishda ko'payib boruvchi ikkilamchi fotonlar quyunini hosil qiladilar. Optik o'q yo'nalishida xarakatlanayotgan majburiy nurlanish fotonlari quyuni ma'lum quvvatga erishgach yarimshaffof ko'zgu orqali katta intensivlikdagi aniq yo'nalishga ega yorug'lik dastasi ko'rinishida rezonatoridan tashqariga chiqadi.

Demak, rezonator kuchaytirilayotgan foton oqimini optik o'q bo'ylab yo'naltiiradi va lazer nurlanishini hosil qiladi (20 – rasm).

O'ta yuqori chastoatli diapazonda qo'llanilidagan hajmiy rezonatorlardan farqli bo'lgan optik rezonatorlar ochiq rezonatorlar deyiladi. Ko'zga ko'rinuvchi yorug'lik to'lqin uzunligi $\lambda = (4 \div 7) \cdot 10^{-7} m$ oralig'ida bo'lib, uning chastotasi $\nu = (7.5 \div 4.3)10^{14} Gs$ diapazonida bo'ladi. Lekin o'lchamlari to'lqin uzunligiga ($\lambda = (4 \div 7) \cdot 10^{-7} m$) teng chiziqli hajmiy rezonatorlardan foydalanish (ularning hajmi kichikligi va devorlarida energiya yutilish kuchliligidan) noqulaydir. O'lchamlari to'lqin uzunligidan katta bo'lgan hajmiy rezonatorlarda (kuzatilayotgan chastotaga yaqin ko'p sondagi xususiy chastotalar qo'zg'otilgani sababli) rezonans xossasi to'la yo'qotiladi. Agar hajmiy rezonatorlarni yon tomonlari olib tashlansa, xususiy

chastotalar kuchli yutilib, hosil bo'lgan ochiq optik rezonatorning halaqit beruvchi spektridan halos bo'linadi.

7.2. Yassi ko'zguli rezonator.

Optik o'qqa bir-biriga qaratilib perpendikulyar joylashtirilgan yassi va sferik ko'zgular yon devorlari bo'lmagani sababli "ochiq optik rezonator"ni hosil qiladilar. Ko'zgular orasida o'q yo'nalishida tarqaluvchi nurlanish L oraliqda turg'un to'lqin hosil qiladi. Bu holda rezonans sharti quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi (21 – rasm).

$$L = \frac{q\lambda}{2} \quad (7.1)$$

Bu erda q –butun son bo'lib, tebranishlarning bo'ylama indeksi (bo'ylama shoda) lari deyiladi.

Optik rezonatorning xususiy chastotalari $\nu = \frac{c}{\lambda}$ farqlari $\nu_1 = \frac{c}{2L}$ bo'lgan arifmetik progressiyani hosil qiladi.

$$\nu = q \frac{c}{2L}, \quad q = 1, 2, 3, \dots \quad (7.2)$$

bu spektr ekvidistant spektr deyiladi.

Optik rezonatorning chetlari ta'sirida tebranish maydoni ko'ndalang koordinatalarga bog'liq bo'ladi va ular ko'ndalang indekslar m va n bilan xarakterlanadi. Ushbu indekslar ko'ndalang yo'nalishda elektr va magnit maydonlari ostsilyatsiyalarini (sakrashlarini) va ko'zgu tekisligidagi tok taqsimotini belgilaydi (22 – rasm).

Agar va indekslar ortsa, ostsilyatsiyalar soni ham ortib boradi, bu ko'zgu chetlarida difraktsiya natijasida hosil bo'lgan tebranishlar yutilishini ortishini ko'rsatadi. yassi ko'zguli rezonatorning rezonans egri chizig'i –rasmda ko'rsatilgan. Ko'ndalang indekslar m va n ortishi bilan qo'shni tebranishlar orasidagi chastota intervali ortishiga nisbatan yutilish koeffitsienti tezroq o'sganligi sababli, katta va ga mos rezonans egri chiziqlari bir-birini qoplaydi va bu tebranishlar qo'zg'olmaydi.

Nurlanish hosibiga kelib chiqqan yutilish koeffitsienti ko'ndalang indekslar m va n ga, L masofadagi ikkinchi linza markazidan diametrli R va N ta Frenel zonasi ko'rinuvchi birinchi ko'zgudagi N –Frenel zonasi soniga bog'liq bo'ladi.

$$N = R^2 / 2L\lambda \quad (7.3)$$

qiymatlarda asosiy to'lqin yonida 1-2 ta tebranish mavjud bo'ladi xolos. yAssi ko'zguli rezonatorlar deformatsiyaga va ko'zgularning kichik og'ishiga ham sezgir bo'ladilar. Bu ulardan keng foydalanishni chegaralaydi

7.3. Sferik ko'zguli rezonator

Qaytaruvchi botiq sirtlari biriga qaratib optik o'qqa perpendikulyar holda L masofada joylashtirilgan sferik optik rezonatorlarni qaraymiz. Optik rezonatorlar soat mayatnigi kabi optik kvant generatorining (OKG) asosiy qismlaridan biri bo'lgan avtotebranishli optik sistemani tashkil etadi.

Yassi ko'zguli rezonatorlardagi kabi maydonning statsionar (turg'un) holatida turg'un elektromagnit to'liqlaridan iborat bo'lib, aniq diskret chastotali maydon kuchlanganliklarining normal tebranishlaridan (shodalaridan) iborat bo'ladi. Shodalar chastotasi tsikliklik (qaytaruvchanlik, takrorlanuvchanlik) shartidan aniqlanadi. To'liq fazasi ko'zgular orasida (L masofani 2 marta o'tishda) 2 marta xarakterlanishda ga karrali o'zgaradi. Bu rezonatorlarning ikkilangan uzunligiga ($2L$) butun sonli to'liq uzunligiga mos keladi (23 – rasm).

$$2L = q\lambda_0 \quad (7.4)$$

va bu ifodadan foydalanib, $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ni hisobga olib chastota uchun

$$\nu_0 = q \frac{c}{2L} \text{ va } \omega_q = \frac{q\pi c}{L} \quad (7.5)$$

bog'lanishni olamiz. Tsikliklik sharti yorug'lik dastasi rezonatorida bir tsikl bajarishda (L ni 2 marta o'tishda) qaralayotgan chastotali shodani o'ziga aylantirishdan iborat bo'ladi.

Sferik ko'zguli rezonatorlarda ushbu shartlarga rezonator o'lchamlariga bog'liq bo'lgan parametrli Gauss dastasi javob beradi. Gauss dastasining to'liq sirtlari mavjud bo'lgan Z_1 va Z_2 kesimlarda sferik ko'zgularning qaytaruvchi sirtlari mos kelsin. Bu holda 1 ko'zgu sirtiga mos Gauss dastasi 2 ko'zgudan qaytib kelibko'zgudan qaytgan holatida to'liq sirti $2L$ masofani bosib o'tib (1 tsikldan so'ng) yana o'zining avvalgi holatida bo'ladi. Qaralayotgan holda ko'zgularning qaytaruvchi sirtida Gauss dastasining diametri $2w(Z)$ sferik ko'zgu diameridan kichik deb olamiz.

$$D > 2w(Z) \quad (7.6)$$

Bu holda $x^2 + y^2 > w^2$ shart bajarilganda, $D = 3 \cdot 2w$ bo'lganda, yorug'lik dastasining 0,01%i linza tashqarisidan o'tadi. Bu kattalik rezonatorning difraksion isrofi (difraktsionные потери) deyiladi. Ko'zgular tomonidan yorug'likning yutilishi yoki rezonatordan tashqariga o'tkazib yuborishdan iborat isroflar difraksion yo'qotishdan ko'proq bo'ladi. Ko'zgulardan biri rezonatordan jamg'arilgan dasta energiyasini tashqariga chiqarish uchun yarimshaffof qilinadi (24 – rasm).

Ochiq rezonatorlarda "isrof"larning barcha turi maydon kuchlanganligini xususiy tebranishlarining yutilishga (so'nishiga) olib keladi, u o'z navbatida rezonator aslligi kamayishiga sabab bo'ladi. Ko'zgular orasiga joylashgan faol muhitda majburiy nurlanish natijasida yorug'likni kuchayishi hisobiga turli "isrof"lar qoplanadi.

7.4. Konfokal (sofokusli) kontsentrik rezonator.

Egrilik radiuslari o'zaro teng bo'lgan ($R = R_1 = R_2$) sferik ko'zgular orasidagi masofa bo'lib, qaytaruvchi sirlari bir-biriga qaratib bir optik o'qqa joylashtirilgan optik rezonatorni qaraymiz. Bu holda Gauss dastasining "siqilgan" joyi (perstyajka) linzalar o'rtasiga mos keladi.

"Siqilgan (tortilgan) joy"dan ko'zgulgacha masofa $Z = \pm \frac{L}{2}$ ga teng bo'ladi. $Z = \frac{L}{2}$ ifodani

$$R(Z) = Z \left[1 + \left(\frac{k\omega_0^2}{2Z} \right)^2 \right] \quad (7.7)$$

rezonator o'lchamlarini Gauss dastasini "bo'yni" (tortilgan joy) radiusi bilan bog'lovchi tenglikka qo'yib

$$\left(\frac{k\omega_0^2}{2} \right)^2 = \frac{R - L/2}{L/2}, \quad \left(\frac{k\omega_0^2}{2} \right)^2 = \frac{2R - L}{L}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (7.8)$$

ni olamiz.

Qaralayotgan rezonator simmetrik ($R = R_1 = R_2$) rezonator ekanligi sababli va dasta bo'yni rezonator o'rtasiga (0 nuqta) mos kelgani sababli Gauss dastasi faqat $R > L/2$ shartdagina

amalg oshadi va ifodani o'ng tomoni musbat $\frac{2R - L}{L} > 0$ bo'ladi. Sferik ko'zgularning egrilik radiuslari teng bo'lib, ularning egrilik markazlari ustma-ust tushsa rezonatorni kontsentrik rezonator deyiladi. Agar $R \rightarrow \frac{L}{2}$, dasta bo'yni o'qqa intilsa ω_0 Gauss dastasining ko'zgu sirtlaridagi

kesim radiusi $\omega(L/2) = \frac{\omega L}{2}$ bo'lsa, ko'zgularning chekli o'lchamli holida dasta kengayaborib, uning bir qismi ko'zgu chetlaridan o'tadi.

Bu holda "dasta bo'yni" uchun yozilgan ifodadan foydalanib,

$$\omega^2(Z) = \omega_0^2 \left[1 + \left(\frac{2Z}{k\omega_0^2} \right)^2 \right] \quad (7.9)$$

ko'zgu sirtidagi "dasta bo'yni" o'lchami topiladi. $R = \frac{L}{2}$ holida Gauss dastasi bir tsikl davomida

qayta o'z holatini tiklay olmaydi. Ayniqsa, bu holat $R < \frac{L}{2}$ shart bajarilganda yanada kuchayadi.

Bu holda rezonatorni "turg'unmas (barqaror bo'lmagan) optik rezonator" (neustoychiviy rezonator) deyiladi.

Sferik ko'zgularning egrilik radiuslari o'zaro teng va ular ko'zgular orasidagi masofaga teng bo'lganda

$$L = (R = R_1 = R_2)$$

va egrilik markazlari qarama-qarshi ko'zgularda bo'lsa, "dasta bo'yni" radiusi eng katta bo'ladi. Bu holda sferik ko'zgularning fokuslari ustma-ust tushadi. Bunday rezonatorlar sofokusli yoki konfokal rezonatorlar deyiladi. Konfokal rezonatorlarda $R = L$ shart bajarilganda ko'zgularning

$Z = \pm \frac{L}{2}$ shart bajarilganda uzoq va yaqin zonolari chegarasi

$$Z_0 = \pm \frac{k\omega_0^2}{2} \quad (7.10)$$

ga mos keladi. Bu holda dasta bo'yni radiusi

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{L}{k}} = \sqrt{\frac{\lambda L}{2\pi}} \quad (7.11)$$

ifoda yordamida, ko'zgu sirtidagi dasta radiusi

$$\omega = \sqrt{2}\omega_0 = \sqrt{\frac{\lambda L}{\pi}} \quad (7.12)$$

ifodalar yordamida aniqlanadi. To'liq uzunligi $\lambda = 0,63$ mkm, geliy-neon lazerida, simmetrik konfokal rezonator uzunligi 1m bo'lganda ko'zgudagi dasta radiusi 0,45 mm bo'lib, ko'zguning diametrini 1-10 mm olish mumkin.

Rezonatorning aniq L uzunligida ko'zgularning fokus masofalari ortaborganda, dasta diametri ham ortib boradi. Bu holda difraksion yo'qotish ortib boradi, lekin yorug'lik to'qin uzunligining kichik ekanligi ($\lambda = (4 \div 7) \cdot 10^{-7} \text{ m}$) katta fokusli ko'zgudan foydalanishga imkon beradi.

(7.10) va (7.11) ifodalardan foydalanib, $\lambda = 0,63$ mkm va $L = 1\text{m}$ bo'lganda dasta bo'yni 1 mm ga teng bo'ladi. Egrilik radiusi 49,2 m bo'lgan ko'zgu uchun difraksion sochilish radiusi

bo'lib $Z = \frac{\pi\omega_0^2}{\lambda}$, 1 mm holida 5 m ni tashkil etadi. Shu sababli 1 m uzunlikdagi rezonator

yaqin zona chegarasida turadi va dasta kesimi rezonatorning L uzunligida 1 mm bir hil kesimga ega bo'ladi.

Optik rezonatordagi sferik ko'zgularning egrilik radiuslarini turlicha ($R_1 \neq R_2$) olish mumkin.

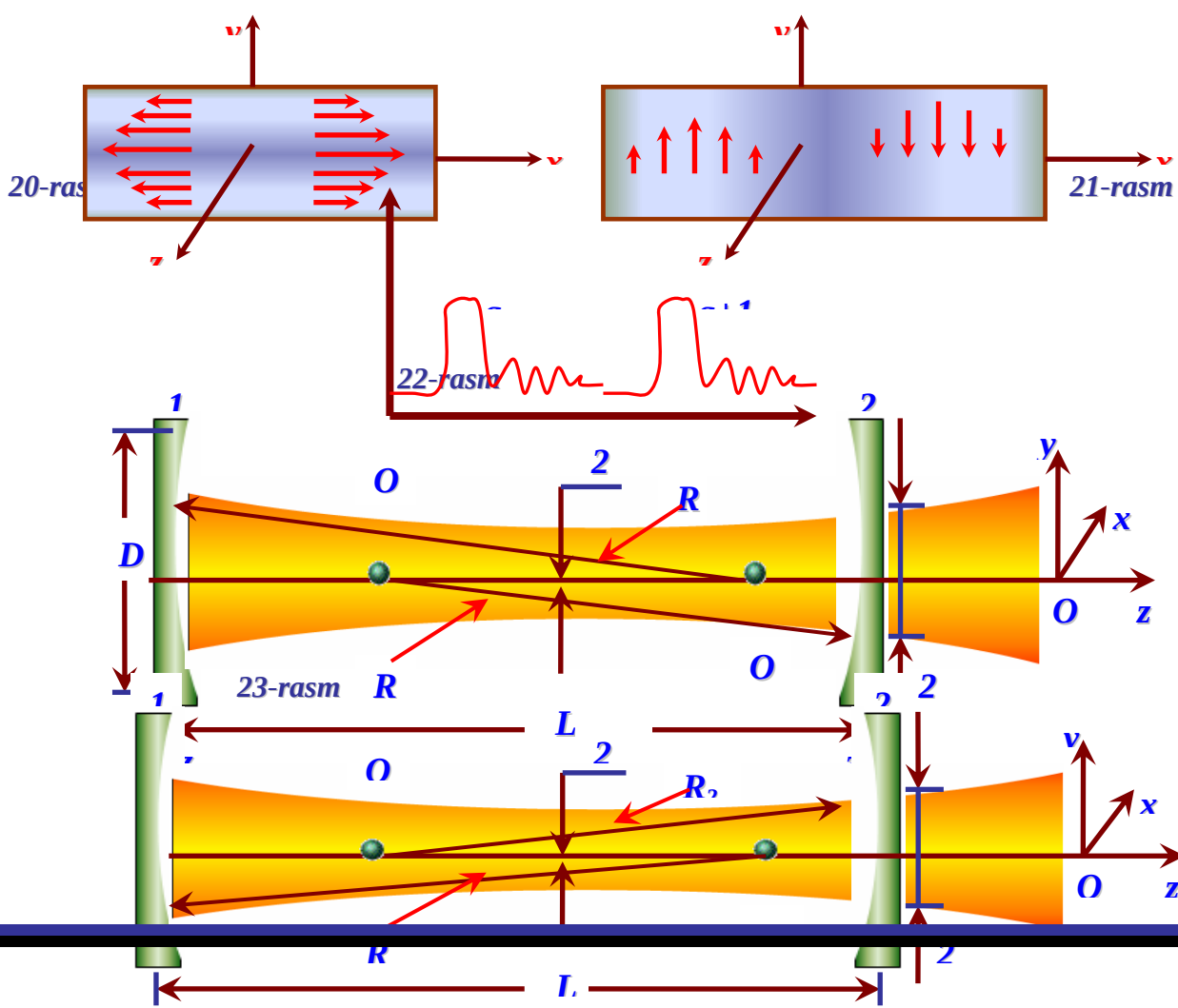
Ko'zgulardan biri yassi ko'zgu olinsa, Gauss dastasi bo'yni yassi ko'zgu sirtida bo'lib, u ko'zgu yarimshaffof bo'lsa, lazer nuri dastasi yassi frontdan iborat bo'ladi (25-rasm). Agar chiqish ko'zgusini qavariq olinsa, Gauss dastasi bo'yni ko'zgudan tashqarida bo'lib, lazer dastasi ko'zgudan chiqqach yig'iluvchi bo'ladi (26-rasm).

Qaralgan holatlarda faol muhit to'lqin frontiga ta'sir etmaydi. Bu holat kichik quvvatli gaz lazerlarda, neodimli va bo'yoq lazerlarda kuzatiladi.

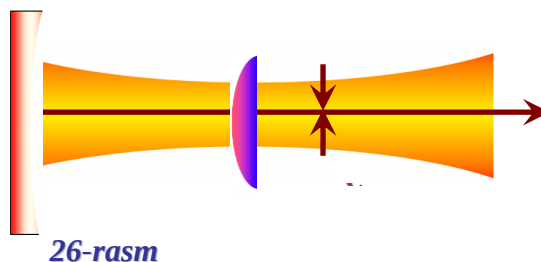
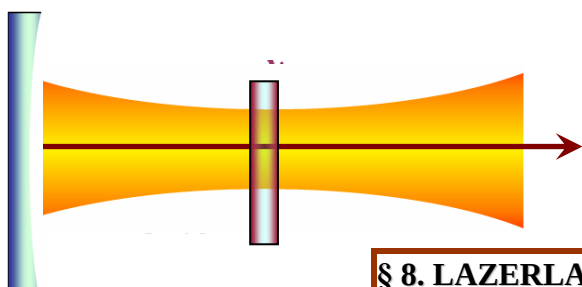
Sinash savollari

1. Optik rezonator tuzilishini tushuntiring.
2. Ochiq iptik rezonator ishlash prinsipi qanday?
3. Yassi parallel ko'zguli rezonator tuzilishi va ishlash tartibini ayting
4. Sferik ko'zguli rezonatorning tuzilishi va ishlash prinsipini ayting.
5. Konfokal rezonator uchun ishlash shartlari nimalardan iborat?

§ 7. OPTIK REZONATORLAR.



24-rasm



26-rasm

§ 8. LAZERLARNING ISH REJIMI.

- 8.1 Impulslı va uzluksız lazerlar
- 8.2 Lazerlarning nurlanish spektri.
- 8.3 Impulslı lazer nurlanishi

8.1. Impulslı va uzluksız lazerlar.

Ish rejimi turiga qarab lazerlar ikkiga ajratiladi. Impulslı rejimda ishlovchi lazerni impulslı lazer, uzluksız rejimda ishlovchi lazerni uzluksız lazer deyiladi.

Lazerning faol muhitida qo'zg'otuvchi qurılma yordamida inversli joylashuv energetik sathini hosil qilish damlashdir. Damlash jarayonining vaqtga bog'liqlik hususiyatiga qarab, uni impulslı va uzluksız damlashga ajratish mumkin. Agar damlash impuls yordamida amalga oshirilsa lazer nurlanishi ham impulslı bo'ladi. Impuls boshlanishidan ssng faol muhit zarralaridan ma'lum qismi inversli joylashuv sathiga o'ta boshlaydi. Barqaror generatsiya sharti

$$\alpha_0 L = f \quad (8.1)$$

bajarilishi boshlanishi bilan lazer nurlanishi boshlaydi. Bu erda α_0 –yorug'lik dastasi bo'lmaganda

kuchaytirish koefitsienti, L -faol muhit o'lchami, $f = \frac{\ln(\rho_1 \rho_2)}{2}$ (8.2)

qaytarishning effektiv koefitsientlariga (ρ_1, ρ_2) bog'lik kattalik. Ushbu holda lazerni damlash impulslı va lazer nurlanishi impulslı bir-birini qoplagan holda bo'ladi.

Generatsiya chegarasiga etgan inversli joylashuv holatidan boshlab majburiy nurlanish (lazer nurlanishi) boshlanadi. Bu nurlanish bir tsiklda $2L$ masofada xarakatlanib, hosil bo'lgan ikkilamchi kvantlar sonini ortira boradi yoki yorug'lik oqimini kuchaytiradi (27 – rasm).

Barqaror generatsiya holatida lazer nurlanishi dastasi tomonidan yo'qotilgan energiya faol muhit tomonidan olingan energiya hisobiga to'ldirib boriladi. Barqaror generatsiya energiya zichligi oqimining katta qiymatlaridagina amlaga oshadi. Shu sababli bu holda barqaror generatsiya sharti oqim mavjudligidagi holat uchun olinadi.

$$\alpha L = f \quad (8.3)$$

bu erda α –oqim mavjudligidagi kuchaytirish koefitsienti.

Uzluksiz damlash jarayonida barqaror generatsiya sharti doimo bajarilgani sababli lazer nurlanishi ham uzluksiz bo'ladi. Ayrim hollarda damlashning bir impulsi natijasida bir necha impulslar lazer nurlanishi olish mumkin.

Quyida uzluksiz rejimda ishlovchi lazerlar haqida ma'lum ma'lumotlar (1-jadval) va impulslar rejimda ishlovchi lazerlar haqida ma'lumotlar (2-jadval) keltirilgan. Jadvallardan ko'rinadiki, faol muhiti gaz bo'lgan lazerlarda gaz razryadli qo'zg'otish usulida olingan lazer nurlanishi quvvati eng kichik (1-5 mVt) bo'lib, uzluksiz rejimli lazerlarda eng katta quvvatli nurlanish (10^5 Vt) gazodinamik qo'zg'otish usulida olingan.

Uzluksiz rejimli lazerlar.

1-jadval

Lazer turi	Faol muhit	Faol muhit formulasi	damlash usuli	to'liq uzunligi, mkm	quvvat	nurlanish tarqoqligi mrad
Gaz	gaz	He+Ne	gaz razryadi	0,63; 1,13; 3,39	1-5 mVt	0,5-3
	gaz	CO ₂	gaz razryadi (trubkada)	10,6	5-100 Vt	2-10
	gaz	CO ₂	gaz razryadi (aralashmali)	10,6	10 ² -10 ⁴	2-10
	gaz	CO ₂	gazodinamik	10,6	100 kVt	2-10
	gaz	CO ₂	kimyoviy	10,6	10 kVt	1
	gaz	HF	kimyoviy	2,6-3,5	10 kVt	-
suyuqlik	bo'yoq		lazer damlash	0,55-0,67	0,1-1 Vt	0,2
yarimo'tkazgich	yarimo'tkazgich	AlGaAs	injeksion damlash	0,7-0,9	0,1-1 Vt	4-6

Impuls rejimli lazerlar.

2-jadval

Lazer turi	Faol muhit	damlash usuli	to'liq uzunligi mkm	Impuls		quvvat	nurlanish tarqoqligi mrad
				davomiylik	chastota Gs		
Gaz	CO ₂	gaz razryadi	10,6	1-50 mks	25	1 GVt	2-10
	CO ₂	elektronno-ionizatsion	10,6	20 mks	-	100 GVt	2-10
	CO ₂	kimyoviy	10,6	1 mks	-	100 GVt	1
	HF	kimyoviy	2,6-3,5	20 ns	-	2*10 ¹¹ Vt	-
	CF ₃	fotodissots.	1,315	1mks-1ms	-	0.1-10 GVt	1
suyuqlik	noorg. suyuq.	lampali yoki lazer	0,22-0,86	0,1-10 mks	0,1-500	0,01-1 GVt	2-4

		damlash					
yarimo'tkazgich	AlGaAs	injeksion	0,7-0,9	100-200 ns	500-5000	10-50 Vt	4-6
	SdS	elektron oqim	0,49-0,69	3ns	-	200 kVt	4-6
Qattiq jism	rubin	lampali (erkin)	0,694	0,5-1ms	0,001-1	0,1-1 GVT	10-40
	rubin	lampali (asllikni mod.)	0,694	20 ns	1-2	1-100 GVT	1-3
	shisha+ Nd	lampali (erkin)	1,058	1-3 ms	0,001-1	0,1-1 GVt	3-15
	shisha+ Nd	lampali (asllikni mod.)	1,058	3-30 ns	0,001-0,1	10-5000 GVt	0,5-1
	shisha+ Nd	lampali (sinxron mod.)	1,058	$5 \cdot 10^{-3}$ -1 ns	-	10^{11} - 10^{13} Vt	-

Impulsli lazerlarda esa eng kam quvvatli nurlanish (10-50 Vt) yarimo'tkazgichlarda injeksion damlash usuliga mos kelib, eng katta quvvatli lazer nurlanishi shishaga neodim qo'shilgan faol muhitda lampali sinxron damlash usuliga mos kelib, unda nurlanish quvvati $P = 10^4 \div 10^{13} \text{ Vt}$ gacha etish mumkin.

8.2. Lazerlarning nurlanish spektri.

Lazer rezonatori fazoviy kogerent bo'lgan monoxromatik nurlanish hosil qilish xususiyatiga egadir. Rezonator oralig'i L ga teng bo'lsa, yorug'lik bir tsikl davomida $2L$ masofani bosib o'tadi. Yorug'lik fazasi bu masofada 2π ga karrali o'zgaradi. Bu tsiklik printsipli deyiladi. To'lqin amplitudasi tsikl davomida faol muhitda $\exp[\alpha(\omega)L]$ marta o'zgaradi. Bunday o'zgarish ko'zgularning qisman shaffofligi tufayli rezonatordan nurlanishning chiqishi, difraksiya hodisasi va boshqa ko'rinishdagi isroflar bilan kompensatsiyalanishi kerak.

Demak, maydon amplitudasi tsiklik printsipli bajarilganda ushbu tenglik o'rinli bo'ladi

$$\exp(-f) \exp[\alpha(\omega)L] = 1 \text{ undan } \alpha(\omega)L = f \quad (8.4)$$

bu ifoda statsionar generatsiya sharti bilan mos keladi.

$$\alpha(\omega)L = f, f = \ln(1/r_{ef}) \quad (8.5)$$

Bu ifoda (8.4) ni amplitude tenglamasi deb olishga imkon beradi.

Undan tsiklik prinsioi generatsiyaning statsionar quvvatini hisoblashga imkon beradi. Tsiklik printsipli lazer nurlanishi qutblangan to'lqin ekanini isbotlaydi.

Tsiklik printsipli to'lqin fazasiga nisbatan bo'lgan talabi tsikl davomidagi o'zgarishi 2π ga karrali bo'lishidir.

$$2kL + \delta_1 + \delta_2 = 2\pi q \quad (8.6)$$

bu yerda k - to'lqin soni, q - butun son, δ_1 va δ_2 rezonator ko'zgularidan qayttishdagi faza o'zgarishlari (sakrashlari) dir.

(8.6) ifoda aniq konstruktsiyali lazer generatsiyasining statsionar rejimida vujudga keladigan to'lqin uzunliklari (chastotalari) tenglamasi bo'ladi. Ko'zgudan qayttishda faza sakramaydi, deb olsak ($\delta_1 = \delta_2 = 0$) quyidagi munosabatlarni olamiz.

$$k_q = \frac{\pi}{L} q, \quad \lambda_q = \frac{2\pi}{k_q}, \quad \omega_q = k_q \frac{c}{n_{\text{muhit}}} = \frac{\pi c}{L n_{\text{muh}}} q \quad (8.7)$$

bu yerda $q=1,2,3,4,\dots$

Lazer uzunligi L va muhit sindirish ko'rsatkichi n_{muhit} o'zgaras holida, lazer chastotalarining diskret to'plamiga ega bo'lgan elektromagnit maydon hosil qiladi.

Tsikllikning fazaga tegishli sharti (8.6) tsikllardan o'tga to'lqinlarning sinfazali bo'lishini bildiradi va bu shart interferensiya manzarasi maksimumlarini aniqlaydi.

q sonlari 1 ga farq qiladigan chastotalarning farqi quyidagiga teng:

$$\Delta\omega = \omega_{q+1} - \omega_q = \frac{\pi c}{L n_{\text{muh}}} \quad (8.8)$$

Rezonatordagi birlamchi to'lqinning ko'zgularidan ko'p marta qaytishi natijasida hosil bo'lgan ikkilamchi tolqinlarni jamlash yo'li bilan ko'zgudan chiqqan yorug'lik intensivligini quyidagicha topiladi:

$$I = I_0 \frac{(1+r)t}{(1-r)^2 + 4r \sin^2\left(\frac{\pi\omega}{\Delta\omega}\right)}, \quad \Delta\omega = \frac{\pi c}{L n_{\text{muh}}} \quad (8.9)$$

bu yerda I_0 – yorug'likning ko'zgular bo'lmagan holidagi intensivligi, r va t lar ko'zgularning qaytarish va o'tkazish koeffitsienti.

Interferentsiya sharti

$$\omega = \Delta\omega_q = \frac{\pi c}{L n_{\text{muh}}} q, \quad q = 1,2,3, \dots \quad (8.10)$$

Bajarilsa intensivlik maksimal bo'ladi, bu shart (8.7) bilan mos bo'ladi.

(8.10) shart ikkilamchi to'lqinlar o'zaro kogerentligini bildiradi va barcha to'lqinlar amplitudalari qo'shiladi.

Ko'zgular orasidagi muhitning kuchaytirish koeffitsienti $\alpha(\omega)$ ga teng bo'lganda muhitda to'lqinning kuchayishi hisobiga o'zgaradi, bunda r o'rniga $r \exp[\alpha(\omega)L]$ kattalikdan foydalansak intensivlik ifodasi

$$I = I_0 \frac{(1+r \exp[\alpha(\omega)L])t}{(1-r \exp[\alpha(\omega)L])^2 + 4r \exp[\alpha(\omega)L] \sin^2\left(\frac{\pi\omega}{\Delta\omega}\right)} \quad (8.11)$$

Agar muhitdagi kuchayish qaytishdagi isroflarni kompensatsiyalasa, ya'ni

$$r \exp[\alpha(\omega)L] = 1 \quad (8.12)$$

bo'lsa, interferensiya sharti bajarilganda intensivlik cheksiz katta bo'ladi. Intensivlikning cheksiz ortishi (8.7) shart orqali topiladigan chastotalarda cheksiz spectral zichlikka ega bo'lishini, (8.7) da ko'rsatilgan chastotali monoxromatik nurlanishlar chiqishini bildiradi. Bu holda to'la intensivlik to'yinish effekti bilan aniqlanuvchi ushbu

$$\alpha(\omega) L = -\ln r \quad (8.13)$$

shartdan topiladi.

(8.6) shart yordamida aniqlanuvchi cheksiz to'plamdagi chastotalardan (8.4) shart bajariluvchi intervalga kiruvchi chastotalar uchungina generatsiya vujudga keladi. Generatsiya boshlanadigan chastotalar chegara qiymatlarini ω' va ω'' deb olsak, generatsiya sodir bo'luvchi oraliq

$$\omega'' - \omega' = \Delta\omega \quad (8.14.)$$

oraliq bo'ladi. Agar $\omega'' - \omega' < \Delta\omega$ (8.15)

bo'lsa, birgina chastota uchun, $\omega'' - \omega' > \Delta\omega$ (8.16)

bo'lsa, bajarilish shartiga qarab, bixromatik, trixromatik va hokazo rejimlari bo'lishi mumkin.

Rezonatorda L vibratsiya natijasida δL ga o'zgarsa, yoki muhit sindirish ko'rsatkichi n_{muh} ga o'zgarsa, uni natijasida chastota o'zgarishi

$$\delta\omega = \frac{\omega \delta L}{L} \quad \text{va} \quad \delta\omega = \frac{\omega \delta n_{muh}}{10 n_{muh}} \quad (8.17)$$

ga teng bo'ladi.

8.3. Impulsli lazer nurlanishi.

Qo'zg'otish impuls yordamida amalga oshirilgan lazer nuri generatsiyasi impulsli bo'ladi. Bugday rejimda invers holatdagi zarralarning majburiy nurlanishi qo'zg'otuvchi impuls boshlanishidan ma'lum kichik vaqtga kechga qoladi, nurlanish barqaror holga etmay u kamayib boradi. Bu kabi nurlanishni erkin genratsiya deyiladi.

Impulsli rejimning rezonator aslligini modullash usuli o'ziga xosdir. Rezonator ko'zgularidan biri optik to'siq (zatvor) bilan to'sib qo'yiladi. Ushbu to'siq teskari musbat aloqani buzadi va generatsiya hodisasi kuzatilmaydi, inversli joylashuv holati bir tekis (monoton) ortib boraveradi. Faol muhitning hajm birligida jamg'arilgan qo'zg'otuvchi energiya miqdori faol zarralar zichligiga proporsional bo'lib, u faqat sverxlyuminesentsiya hodisasi bilan chegaralanadi.

Qo'zg'otuvchi impulsning oxirida optik to'siq ochiladi, bu holda tez rivojlanuvchi generatsiya jarayoni hosil qilinadi, natijada davomiyligi qisqa bo'lgan katta (gigant) quvvatli impuls ko'rinishida generatsich sodir bo'ladi. Faol muhit hossasi va to'siqni ishga tushirish tezligiga bog'liq holda generatsiya impuls davomiyligi va impuls energiyasi o'zgaradi. Ushbu usulda impuls davomiyligi 20-50 ns, energiyasi esa 0.1-100 Joul atrofida bo'ladi (28 – rasm).

O'ta qisqa davomiylikdagi katta quvvatli impulsni generatsiyalash uchun optik to'siq sifatida bo'yovchi suyuqlikli kyuveta olinadi. Faol muhit nurlanishi ta'sirida kyuvetadagi suyuqlik davriy ravishda tiniqlashib-xiralanib turadi (zatvor ochilib yopilgani kabi). Bu kbi optik to'siq nurlanish holatini buzadi va invers joylashuv holati davom etadi, u svrexlyuminesentsiya darajasiga etadi, uni ng byetartib impulsleri ortib boradi. Byetartib lyuminesentsiya impulsleri energiyasidan biri kyuvetadagi suyuqlik aralashmani tiniqlashtirishga etganda generatsiya hodisasi sodir bo'ladi va u qyun kabi rivojlanib boradi. Bu holda rezonatorning barcha shodalari qo'shilib, 0,1-1 ns davomiylikdagi ma'lum energiyali impulsni hosil qiladi.

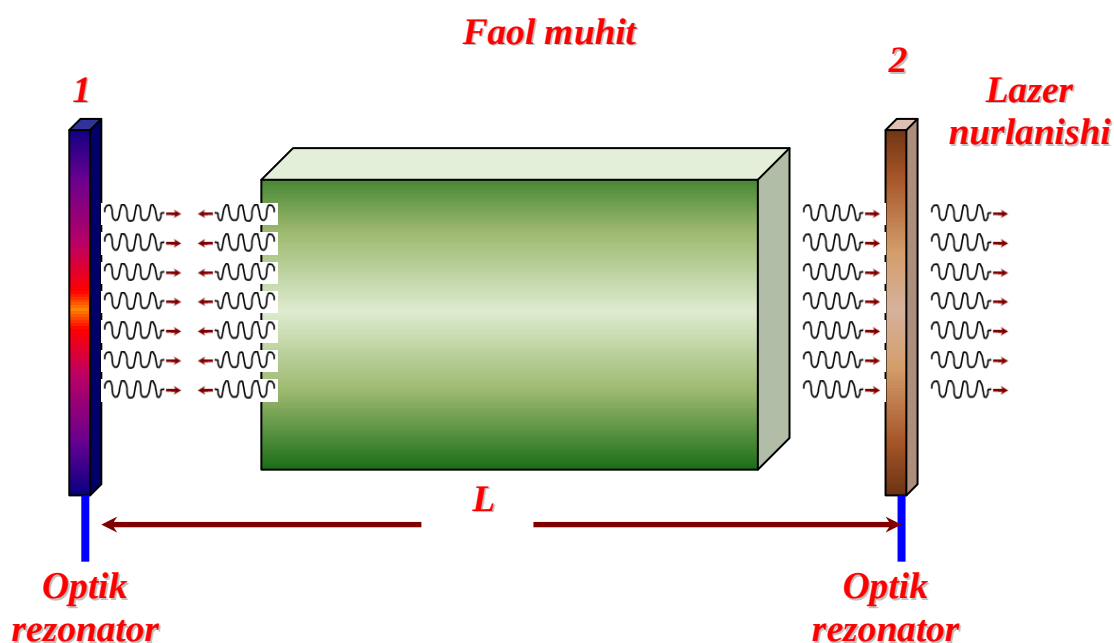
Birinchi impuls faol muhit jamg'argan energiyani juda oz miqdorini oladi va urezonator ko'zgulari orasida ko'p marta xarakatlanib, o'zi kabi qisqa davomiylikli impulsleri hosil qilib

boradi. Ushbu impulsni lazer nurlanishi sifatida rezonatoridan chiqarish uchun maxsus moslama ishlatilishi zarur bo'ladi.

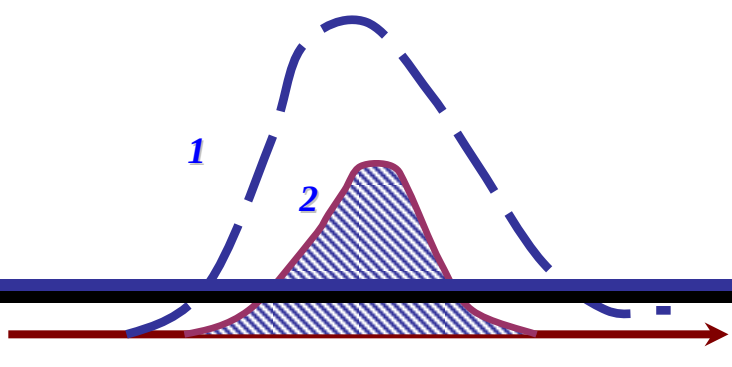
Sinash savollari

1. Uzlaksiz lazerning ishlash printsipini tushuntiring.
2. Impulsli rejimda ishlovchi lazerni ishlash printsipini izohlang.
3. Lazer dastasi generatsiyasini tushuntiring.
4. Rezonator aslligini tushuntiring.
5. Impulsli rejimda ishlovchi lazerning nurlanish jarayonini aytib bering.

§ 8. LAZERLARNING ISH REJIMI.



27-rasm



28-rasm

§ 9. KO'P SATHLI SISTEMALARDA NURLANISH.

- 9.1 Uch sathli sistema.
- 9.2 To'rt sathli sistema.
- 9.3 Faol muhitning lazer sathi.

9.1. Uch sathli sistema.

Faol muhit gaz, suyuqlik va qattiq jism bo'lgan hollarda invers bandlikning zichligi 10^3 martaga farqlanadi. Shu sababli zichligi katta (qo'yqlashgan-kondensirlangan) muhitda katta invers bandlik holatiga bog'liq bo'lgan katta nurlanish energiyasini olish mumkin. Gazlardan farqli holda qattiq jismlarda invers bandligiga erishish uchun optik damlash ko'proq qo'llaniladi. Erkin zaryadli zarrachalarga ega bo'lgan qattiq jismlarda elektr toki oqimi yordamida invers bandlik holatiga erishish mumkin. Qattiq jismlarning keng polosali yutilish energetik sathiga ega ekanligi monoxramatik bo'lmagan katta intensivlikdagi yorug'likni yutilishi imkoniyatini beradi. Bu hol kuzatilishi uchun faol muhit kamida uch energetik sathga ega bo'lishi zarur.

29-rasmda ko'p sathli sistemalarda damlashning qo'shimcha nurlanish usuli ko'rsatilgan. 1-3 o'tishdagi to'yinish holida E_1 va E_3 sathlar bandligi tenglashgan, 3-2 o'tishda esa invers bandlik paydo bo'lgan. Katta intensivlikdagi yorug'lik to'yinish holatigacha yutilganda, sathlarning bandlik taqsimoti ro'y beradi, yuqori sath bandligi ortib boradi, quyi sathniki kamayib boradi. shu ikki energetik sath orasida (E_1 va E_3) uchinchi norezonans sath mavjud bo'lsa unda invers bandlik holati paydo bo'ladi.

29- rasm ko'p sathli sistemalarda damlashda qo'shimcha nurlanish usuli yordamida fao muhit olish usulini ko'rsatadi. Bu usulni 1953 yili N.G. Basov va A.M. Proxorovlar taklif etgan edilar.

Ko'p sathli sistemalarning 3 sathli turini batafsil qaraylik (30-rasm). Uch energetik sathlar uchun statistik og'irlik bir xil bo'lsin. fotonlarning barchasi optik diapazonda.

$$h\nu_{ik} \gg kT \quad (9.1)$$

1 va 2 sathlar $W_1 = W_2 = W \quad (9.2)$

o'tishlar ehtimolligini keltirib chiqaruvchi nurlanish bilan bog'langan. 2-energetik sathning o'zgarishi $2 \rightarrow 1$ yo'nalishida ehtimollik W_{21} bilan, $2 \rightarrow 3$ yo'nalishida W_{23} ehtimollik bilan ro'y beradi. 3 sath esa $3 \rightarrow 1$ yo'nalishida W_{31} ehtimollik bilan ro'y beradi. (9.1) shartni hisobga olganda 2 va 3 sathlarning termodinamik bandlanishini hisobga olmaydi, W_{12} , W_{23} W_{32} relaksatsion ehtimolliklar nolga tengdir. Bu holda 1,2 va 3 sathlarning bandligi uchun tezlik tenglamalari

$$\begin{cases} \frac{dn_1}{dt} = (n_2 - n_1)W + n_2 W_{21} + n_3 W_{31} \\ \frac{dn_2}{dt} = n_2 W_{23} - n_3 W_{31} \\ n_1 + n_2 + n_3 = N \end{cases} \quad (9.2)$$

bo'ladi. n_1, n_2, n_3 – mos ravishda E_1, E_2, E_3 energiyali zarralar zichligi. Tashqi ta'sir bo'lmagan muvozanat holatida E_1 asosiy sathda zarralarning zichligi N ga teng. Statsionar

holatda barcha $\frac{dn_i}{dt} = 0$ bo'lib, 3 va 1 sathlar orasidagi bandlik farqi uchun

$$n_3 - n_1 = N \frac{W(W_{23} - W_{31}) - W_{31}(W_{23} + W_{21})}{W(W_{23} + 2W_{31}) + W_{31}(W_{23} + W_{21})} \quad (9.3)$$

o'tishda invers bandlik bo'lishi uchun (9.3) ifoda surati musbat bo'lishi zarur.

$$n_3 - n_1 > 0, \quad W(W_{23} - W_{31}) - W_{31}(W_{23} + W_{21}) > 0 \quad (9.4)$$

va undan

$$W > \frac{W_{31}(W_{23} + W_{21})}{W_{23} - W_{31}} \quad (9.5)$$

(9.5) shart faqat maxrajda $W_{23} - W_{31} > 0, \quad W_{23} > W_{31}$ holdagina bajariladi.

Nurlanishsiz o'tishlarda yuqori 2 sathda keluvchi zarralar soni undan ketuvchi zarralar sonidan ortiq bo'lishi zarur.

30 rasmda ko'rsatilgan 3 sathli sistemani rubinli lazerga ham qo'llash mumkin. Rubin uchun 3 sath metastabil sath bo'lib, o'tishlar ehtimolliklari orasida quyidagi

$W_{23} \gg W_{21}, W_{23} \gg W_{31}$ shart bajarilib, invers bandlik sharti ko'rinishini oladi.

$$W > W_{31}$$

Demak, 2 sathdagi damlangan zarralarning 3 sathga o'tishi metastabil sath 2 dan asosiy 1 sathga o'tuvchi zarralardan ko'p bo'lsa, invers holat paydo bo'ladi va u shu holatda ushlab turiladi (saqlanadi). Bu holda (9.3) tenglikni sodda holda yozish mumkin.

$$n_3 - n_1 = N \frac{W - W_{31}}{W + W_{31}} \quad (9.6)$$

Bu farq $W \rightarrow \infty$ da N ga intiladi, bu real holda erishilmaydi.

Metastabil holatli 3 sathda invers bandlik holati damlash boshlanishi bilan o'rnatilmay, ma'lum vaqtdan so'ng erishiladi.

3 metastabil holatdagi zarralar zichligi uchun $n_3 > n_1$ shart bajarilishi uchun asosiy sababni aniqlash uchun o'tish jarayonlarini tekshirish va (9.2) tenglamalar sistemasini echish zarur. Ushbu holni rubinli lazer uchun qaraymiz.

1,2,3 sathlarda zarralarning taqsimotida nurlanishsiz o'tish ehtimolligi W_{23} asosiy o'rin tutadi. Rubinli lazerga (9.5) shart $W > W_{31}$ bajarilishi bilan birga $W_{23} > W$ shart ham bajariladi. Bundan ko'rinadiki, 2 rezonans sathda zarralar to'planmaydi, zarralarni 2 sathdan 3 sathga olib beruvchi vositachi sathga aylanadi. 2 sathda zarralar to'planmasa $n_2 = 0$ bo'lib, $n_3 = N$ deb olish mumkin. Bu shartlarga suyanib, (9.2) sistemani (9.3) tenglamaga keltirish mumkin.

$$\frac{dn_1}{dt} = -(W + W_{31})n_1 + NW_{31} \quad (9.7)$$

(9.7) ifodadan foydalanib invers bandlik uchun tenglamani olish mumkin.

$$x(t) = n_3(t) - n_1(t) = N - 2n_1(t) \quad (9.8)$$

$$\frac{dx}{dt} = -(W + W_{31})x + (W - W_{31})N \quad (9.9)$$

$x(0) = -N$ boshlang'ich shartni hisobga olsak, yechim

$$x(t) = N \left[\frac{W - W_{31}}{W + W_{31}} - \frac{2We^{-(W+W_{31})t}}{W + W_{31}} \right] \quad (9.10)$$

bo'ladi. (9.8) ifoda $t \rightarrow \infty$ qiymatlarda (9.10) ifodaga o'tadi. (9.10) ifoda $t = 0$ holatda damlash boshlanishi deb olinadi.

31- rasmda 3 sathli sistemaning nisbiy inversiyasini vaqt bo'yicha o'zgarishi ko'rsatilgan. Damlash $t = 0$ da W damlash tezligida boshlangan. (9.10) ifodada olib, invers holat boshlanishi vaqti τ uchun

$$\tau = \frac{1}{W + W_{31}} \ln \frac{2W}{W - W_{31}} \quad (9.11)$$

ifodani olamiz. Maksimal invers holati

$$\left(W \gg W_{31}, \quad n_3 - n_1 = N \right), \quad W\tau = \text{const} \quad (9.12)$$

$$W\tau = \ln 2 \quad (9.13)$$

Damlashning majburiy o'tish ehtimolligi damlash intensivligiga bog'liq bo'ladi. U holda (9.12) shart faol muhitning manfiy yutilish koeffitsientli holtga olib keluvchi eng kam energiyani ko'rsatadi.

$$W\tau = \frac{W}{W + W_{31}} \ln \frac{2W}{W - W_{31}} \quad (9.14)$$

Damlashning katta intensivlikdagi qiymatlarida $W\tau = \text{const}$ bo'lib, barcha relaksatsion jarayonlarni hisobga olmaslik mumkin bo'lib, bu ko'paytma asosiy sathdagi barcha zarralarni yuqori 2 lazer sathiga ko'tarish uchun yetarli energiyaga proporsionalligini ko'rsatadi.

3 sathli optik sistemalarda metastabil holatni invers bandlikka olib chiqish uchun zarralarni 2 sath holatiga olib chiqish va 3 invers bandli metastabil holatdakamida asosiy holatdagi zarralarning yarmini erishtirish zarur bo'ladi.

9.2. To'rt sathli sistemalar.

Optik damlash yordamida amalga oshiriladigan to'rt sathli optik sistemalardagi invers bandlikka erishilgan holatni qaraylik (31-rasm). Rasmda ko'rsatilgan energetik sathlarning bandliklari uchun tezlik tenglamalarini yozaylik (32 – rasm).

$$\begin{cases} \frac{dn}{dt} = (n_1 - n_2)W - n_2(W_{21} + W_{23} + W_{24}) \\ \frac{dn_3}{dt} = n_2W - n_3(W_{31} + W_{34}) \\ \frac{dn_4}{dt} = n_2W_{24} + n_3W_{34} - n_4W_{41} \\ n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = N \end{cases} \quad (9.15)$$

3 → 4 o'tishda barqaror invers bandlikka erishish shartini tahlil etamiz. 1 energetik sathdan yuqori sathlarni termik bandlik bo'lmagan holat uchun (9.15) tenglama sistemasi yozildi. (9.15) sistemada $Z = n_3 - n_4$ belgilash kiritib, algebraik o'zgartirishlardan so'ng ushbu shart bajarilsa,

$$W_{41} > W_{34} + \frac{W_{24}}{W_{23}}(W_{34} + W_{31}) \quad (9.16)$$

$x > 0$ natijasini olish mumkin. (9.16) shart uch sathli sistemadagi invers bandlik shartidan farqlanadi va u W ga bog'liq emas. (9.16) shart bajarilganda $n_3 - n_4 > 0$ bo'lib,

$$W_{23} \gg W_{24}, \quad W_{23} \gg W_{34}, \quad W_{23} \gg W_{31} \quad (9.17)$$

bog'lanishlar o'rinli bo'ladi. Bunda invers bandlik sharti sodda ko'rinishni oladi.

$$W_{41} > W_{34} \quad (9.18)$$

Ushbu shart quyi lazer sath 4 quyi asosiy sath 1 ga nurlanishsiz o'tib, yuqori lazer sath 4 ga o'tishga nisbatan tezroq sodir bo'lib, 4 sath 3 ga nisbatan tezroq invers bandsizlanishi zarur. Ushbu sistemada 2 → 3 o'tish nurlanishsiz relaksatsion o'tish bo'lib, yuqori lazer sathining invers bandlikka erishishida qulay holat paydo bo'ladi.

Uch sathli sistemadagi kabi to'rt sathli sistemada invers bandlikka erishishda energetik bo'sag'a kuzatilmaydi. (9.15) sistemada quyi sathning nurlanishsiz bandlanish ehtimolligi ni

inobatga olmadik. U noldan farqli bo'ladi. 4 sath energiyasi

$$E_4 = h\nu_{41} \gg kT \quad (9.19)$$

bajarilsa bo'ladi. Damlash bo'lmaganda 4 sathda ma'lum zarralar bo'lib, $E_4 \gg kT$ bajarilganda damlash bo'yicha invers bandlik bo'sag'asini keltirib chiqaradi. Asosiy sath va quyi

lazer sath orasida energiya farqi $\Delta E \gg kT$ mavjud bo'lganda invers bandlik bo'sag'asi kelib chiqishi kam kuzatiladi.

Demak, to'rt sathli optik sistemada damlash intensivligi bilan barqaror invers bandlik orasidagi munosabat uch sathli bilan farqlanadi. (9.19) shart bajarilgan holda (9.15) tenglamalar sistemasidan

$$n_3 - n_4 = N \frac{W(W_{41} - W_{34})}{W(W_{41} + 2W_{34}) + W_{23}W_{34}} \quad (9.20)$$

(9.20) ifodadan $W \ll W_{23}$ shart bajarilsa, invers bandlik damlash intensivligiga bog'liq bo'ladi, bu invers bandlikning damlash intensivligiga bog'liq emaslik sharti (9.20) ga mos keladi. Shu shart uch sathli va to'rt sathli sistemalar orasidagi farqni ko'rsatadi. $W \rightarrow \infty$ da va $W_{41} \gg W_{34}$ inversiya $n_3 - n_4 \rightarrow N$ bo'ladi.

Faol markazning elektron yoki elektron-tebranish holati bilan qattiq jismlar atom panjarasi tebranishi natijasida hosil bo'lgan elektr dipol orasida energiya almashishi sodir bo'ladi.

Qattiq jismlarda faol markazlarning nurlanishsiz relaksatsiyasi va ular orasidagi qo'zg'otuvchi energiya uzatilishi gaz va plazmalarda gazokinetik to'qnashuvdagi energiya uzatishga o'xshaydi.

Qattiq jisimli lazerlarda faol muhit dielektrik kristall yoki shisha bo'ladi. Bu jismlar impuls yoki uzluksiz rejimdagi katta intensivlikdagi damlovchi yorug'lik oqimiga nisbatan issiqlik, yorug'lik va fotoximik jihatdan chidamli (stoykoy) (uni ta'sirida o'zgarmaydigan) bo'lishi kerak. Bu xossa damlashning barcha nurlanish spektral diapazonida va generatsiya (kuchaytirish) diapazonida bajarilishi zarur.

9.3. Faol muhitning lazer sathi.

Qattiq jisimli lazerning faol muhiti optik qayta ishlashga va tayyorlash texnologiyasiga qulay bo'lmog'i zarur.

90-yillarda qattiq jisimli lazerlar faol muhiti 250 dan ortiq kristallarda va bir necha o'nlab shishalarda amalga oshirilgan. Unga misol qilib Meyman tomonidan 1960 yili amalga oshirilgan faol muhiti rubin $Al_2O_3 + Cr_2O_3$ qattiq aralashmadir. Lazer kristali 0,005% Cr^{+3} ionini o'z ichiga olgan korund och pushti rubindir. Xrom ionlarini absolyut kontsentratsiyasi ni tashkil etadi.

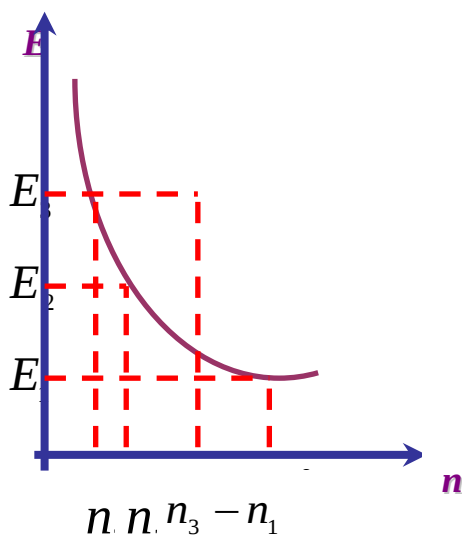
Rubin kristali Verneyl usulida sintez qilinadi va o'stiriladi. Kukun holidagi $Al_2O_3 + Cr_2O_3$ aralashma yuqori temperaturada eritiladi va aylanuvchi zarrachala (zatravka) yordamida kristallanadi. Shu kunlarda diametri 20-25 mm va uzunligi 250-300 mm bo'lgan na'munalarni, yassi va murakkab shaklli na'munalar texnologiyasi mavjud.

Korund ajoyib mexanik, issiqlik, dielektrik va optik xossalarga ega. U 300-400 K da yaxshi issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, metallarga nisbatan bir tartib pastda, xolos. U romboedrik simmetriyaga ega bo'lib, uchinchi tartibli o'qi uning optik o'qiga mos keladi. Nuri uchun sindirish ko'rsatkichi 1,769, oddiy nurlar uchun esa 1,76 (natriy D- chizig'i) ga teng.

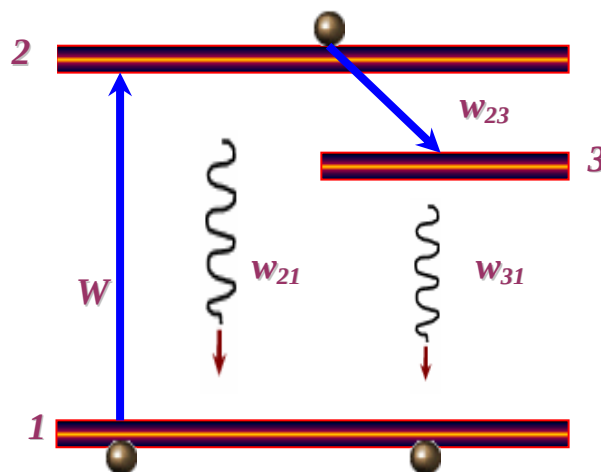
Rubinni kvant elektronikasida ishlatilishi 1959 yili A.M. Proxorov tomonidan havola etilgan.

Rubin yoki xromli korundda xrom ionlari faol aralashma markazlari hisoblanadi. Al_2O_3 panjarasida Cr^{+3} ionlari Al^{+3} ionlarini siljitadi va ular oltita O^{2-} ionlari bilan o'ralgan bo'lib, oktaedrni hosil qiladi. Bu oktaedr ko'rinishida o'rab olishkuchli elektr maydonini hosil qilib, Cr^{+3} ionlari energetik sathiga ta'sir etadi. Uzoqlashgan ionlari sust ta'sir etadi. Demak, aralashma ionlari kristallda nurlanish spektrini belgilaydi.

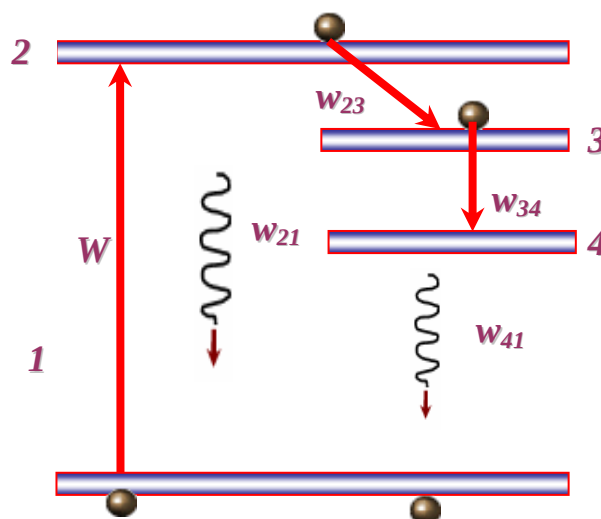
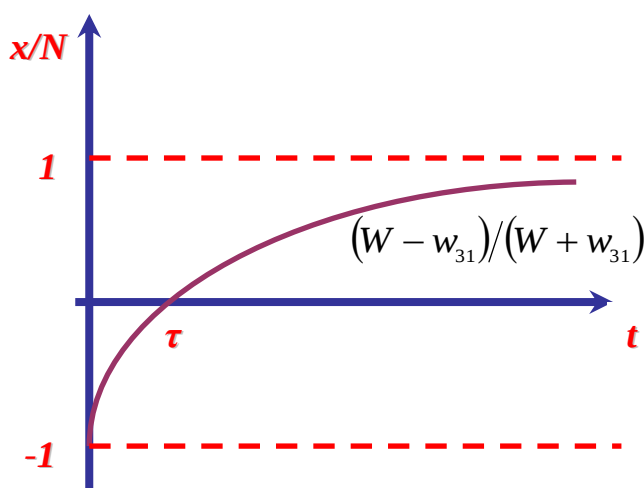
§ 9. KO'P SATHLI SISTEMALARDA NURLANISH.



29-rasm



30-rasm



Kristallardagi faol aralashmalari davriy sistemadagi o'tish guruhlariga mos keladi. Bu guruh elementlari atomida qisman to'ldirilgan elektron qobiqlar bo'ladi. Davriy sistemada o'tish guruhlarini 5 tadir: temir, palladiy, redkozemelnix elementlar, platina va aktinidlar.

Sinash savollari

1. Ko'p sathli sistemalar haqida ma'lumot bering.
2. Uch sathli sistema haqida aytib bering.
3. To'rt sathli sistemalarni uch sathli sistemadan farqi va afzallik tomonlari nimalardan iborat?
4. Faol muhitlar lazer sathi deganda nimani tushunasiz?

§ 10. GAZLI LAZERLAR

- 10.1 Atomdagi elektronlarning energetik sathlar bo'yicha taqsimlanishi.
- 10.2 Geliy-neon gazli lazerining ishlash prinsipi.
- 10.3 Geliy-neon gazli lazeri tuzilish sxemasi.
- 10.4 Metall bug'lari aralashmali gaz lazerlari
- 10.5 Geliy-kalmy gazli lazerining tuzilishi.

10.1. Atomdagi elektronlarning energetik sathlar bo'yicha taqsimlanishi.

Atomdagi har bir elektronning holati to'rtta kvant soni bilan xarakterlanadi.

Bosh kvant soni $n(n = 1, 2, 3, 4, \dots)$

Azimutal (orbital) kvant soni $l(l = 0, 1, 2, 3, \dots)$

Magnit kvant soni $m_l = (m_l = -l, (-l + 1), \dots, 0, 1, 2, \dots, +l)$

Spin kvant soni	$m_s (m_s = \pm \frac{1}{2})$
-----------------	-------------------------------

Bu erda bosh kvant soni atom yadrosi atrofidagi elekttron qatlamlarni xarakterlaydi.

n	1	2	3	4	5	6	7
qatlam	K	L	M	N	O	P	Q

Azimutal kvant soni l bir qatlamdagi (n ning aniq qiymatidagi) orbital va xususiy magnit momentlari bilan farqlanuvchi m_l va m_s kvant sonlari bir hil energetik sathli elektron qobig'ini tashkil qiladi. SHu qobiqlar to'plami qatlamni tashkil qiladi. Lekin atomda n , l , m_l , m_s kvant sonlari bir hil bo'lgan ikki elektron bo'lmaydi (Pauli prinsipi). SHu sababli ma'lum ga bir-biridan l va m_l kvant sonlari bilan farqlanuvchi n^2 ga teng energetik holat mos keladi. Spin kvant soni faqat 2 qiymat qabul qilgani sababli bir atomda faqat $2n^2$ dona elektron bo'lishi mumkin.

Atomdagi elektronlarning energetik holati azimutal kvant soni l ning ortib borishi tartibida turli harflar bilan belgilanadi.

Azimutal kvant soni, l	0	1	2	3
Energetik holat belgisi	s	p	d	f

Bir elektron qobiqda magnit kvant soni bilan m_s farqlanuvchi 2 elektron bo'lishi mumkinligi belgi bilan belgilanadi.

Qobiqning belgisi ikki hil olinishi mumkin:

a) qatlam belgisi va azimutal kvant soni belgisi (n_l). Azimutal kvant sonining qiymatlariga 0, 1, 2, 3,... qatlamning 1, 2, 3, 4, ... belgilari olinadi. Masalan:

$n = 2$ da L qatlam deyiladi. Bu holda qiymat qabul qiladi. Qobiq nomi L_1 va L_2 kabi belgilanadi.

b) qatlam raqami bo'yicha, azimutal kvant sonini l bo'yicha harfiy ifodasi belgilanishi mumkin.

Bu holda L_1 o'rniga 2s, L_2 o'rniga 2p belgi olinadi.

Quyidagi jadvalda kvant sonlariga mos kvant sonlari va qatlam keltirilgan.

Qatlam	n	l	m_l	m_s	Qobiq		Qatlam	n	l	m_l	m_s	Qobiq
--------	-----	-----	-------	-------	-------	--	--------	-----	-----	-------	-------	-------

K	1	0	0	↑↓	K (1s)	N	4	0	0	↑↓	N ₁ (4s)
L	2	0	0	↑↓	L ₁ (2s)			1	-1	↑↓	N ₂ (4p)
		1	-1	↑↓	L ₂ (2p)				0	↑↓	
			0	↑↓					+1	↑↓	
			+1	↑↓				2	-2	↑↓	N ₃ (4d)
M	3	0	0	↑↓	M ₁ (3s)				-1	↑↓	
		1	-1	↑↓	M ₂ (3p)				0	↑↓	
			0	↑↓					+1	↑↓	
			+1	↑↓					+2	↑↓	
		2	-2	↑↓	M ₃ (3d)			3	-3	↑↓	N ₄ (4f)
			-1	↑↓					-2	↑↓	
			0	↑↓					-1	↑↓	
			+1	↑↓					0	↑↓	
			+2	↑↓					+1	↑↓	
									+2	↑↓	
						+3					

Bu energetik holatdagi elektronlar soni $X \text{ } nl$ hadning chap tomoni yuqori qismiga qo'yiladi ($^X nl$). Bu ifoda term deb nomlanadi. Atom tarkibidagi valent (optik) elektronning termi aslsiy term deb yuritiladi. Davriy sistemada natriy elementining elektron konfiguratsiyasi $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ ko'rinishida yoziladi. Nartiy optik elektronining termi $^2S_{1/2}$ ko'rinishida yoziladi.

10.2. Geliy-neonli lazerning ishlash prinsipi.

Geliy-neon gazli lazerida faol muhit geliy neon gazlarining aralashmasidir. Uyg'ongan sathlarga o'tgan geliy zarralari energiyasining bir qismini neon zarralariga beradi. Energiya olgan neon zarralari invers bandlik holatiga o'tib, quyi energetik sathlarga o'tishda lazer nurlanishi sodir bo'ladi (33 – rasm).

Neon gazida energetik sathlar ma'lum kenglikka ega ekanligidan u 130 ga yaqin o'tishlarda lazer nurlanishi sodir etishi mumkin. Lekin ular orasida bo'lgan nurlanishlar intensivligi yetarlidir

($\lambda_1 = 632,8 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 1,15 \text{ mkm}$, va $\lambda_3 = 3,39 \text{ mkm}$). To'lqin uzunligi λ_1 bo'lgan nurlanish spektrning ko'rinuvchi qismida, λ_2, λ_3 esa spektrining infraqizil qismidadir.

Geliy va neon gaz aralashmasi orqali elektronlar oqimi o'tganda elektron to'qnashuvi natijasida geliy zarrachalari metastabil bo'lgan $2s^2$ va $3s^3$ sathlarga o'tadi. Metastabil sathdagi geliy zarralarining o'z asosiy sathiga o'tishi man etilgan.

Uyg'ongan holdagi geliy zarralari neon zarralari bilan to'qnashib olgan energiyalarini neon zarralariga beradi, chunki geliy va neon bu energetik sathlari o'zaro mosdir. Neonning $3s$ va $2s$ energetik sathlarida uning $2p$ va $3p$ sathlariga nisbatan invers bandlik paydo bo'ladi.

Neon zarralarining $3s \rightarrow 3p$, $3s \rightarrow 2p$ o'tishlarda va $2s \rightarrow 2p$ o'tishlarda lazer nurlanishi sodir bo'ladi. Geliy neon lazeri uzluksiz rejimda lazer nurlanishini amalga oshirishi mumkin.

10.3. Geliy-neon gazl lazerining tuzilish sxemasi.

Gazli lazerning asosiy qismi diametri bir necha millimetrli va uzunligi bir necha santimetrdan 1,5 m gacha va undan ortiq bo'lgan gaz razryad trubkasi 1, asos tomonlari Bryuster burchagi ostida yassi oddiy yoki kvarts shisha bilan berkitilgan. Bu plastinkalar trubka o'qi bo'ylab tarqaluvchi va yorug'likning plastinkaga tushishi tekisligida qutblangan yorug'likni qaytarish koeffitsienti 0 ga teng (34 - rasm).

Trubkadagi geliy bosimi 332 Pa, neonniki 66 Pa ga teng. Trubkada past volt bilan qizdiriluvchi 2 katod va tsilidr ko'rinishida 3 anod o'rnatilgan. Katod va anod orasidagi kuchlanish 1-4 kV ga boradi. Trubkadagi razryad toki bir necha milliamperga teng (35 – rasm).

Geliy-neon lazerining trubkasi 4 va 5 sferik ko'zgular orasiga joylashtiriladi. Ko'zgular ko'p qavatli dielektrik qoplamalardan yasilib, ko'zgulardan birining qaytarish koeffitsienti 0,999 (1 %), ikkinchisidiki esa 0,99 (2 %) ga teng olinadi. Qaytarish koeffitsienti kichik bo'lgan holda lazer nurlanishi bo'sag'asida nurlanish olib bo'lmaydi.

10.4. Metall bug'lari aralashmali gaz lazeri.

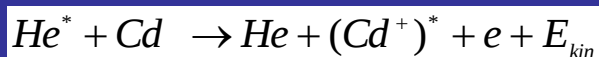
Yuqori FIK olishda metall bug'li gaz lazerlari alohida o'rin tutadi. Bu holda quyi lazer sathli spontan nurlanish hisobiga bo'shamay, balki atom va molekullar bilan to'qnashuv hisobiga ro'y beradi. Ayrim metall bug'larining energetik asthi shu kabi o'tishga imkon beradi. Bu kabi energetik sathli 27 metall kuzatilgan. Ular orasida mis va kadmiy bug'lari qatnashgan lazerlarda FIK yuqoriroq bo'ladi.

Mis bug'li lazerlarda to'lqin uzunlikdagi lazer nurlanishi olingan. Ularning nurlanishining o'rtacha quvvati 43,5 Vt va maksimal quvvati 200 Vt ga etadi. FIK esa 1 % ga teng. Bu kabi lazerlar rezonatorsiz yorug'lik dastasini kuchaytiruvchi sifatida qo'llaniladi. Lazerli proektsiyalovchi mikroskop bayon etilgan lazerga asoslangan.

Kadmiy bug'lari aralashgan gaz lazerlarida invers bandlik holati uyg'otilgan geliy atomlarining energiyasini kadmiy atomiga berish orqali amalga oshiriladi. Geliy-kadmiy gaz lazerida uzluksiz rejimda lazer nurlanishi energiyasi quvvati 10-50 mVt ga etadi. Uning nurlanish to'lqin uzunligi (ko'k soha), (ultrabinafsha soha) ga to'g'ri keladi. FIK esa 0,1 % ga etadi.

Geliy-kadmiyli lazerning ishchi sathlari 36-rasmda ko'rsatilgan.

$2S_1^3$ metastabil holatdagi geliy atomi energiyasini kadmiy atomiga to'qnashish natijasida berib, uni ionlashgan holga keltirgach, so'ng uyg'ongan holatga o'tkazadi.



Bu holda ionizatsiya tezligi $k_r = \langle \sigma_r v \rangle$ gazokinetik kesimdan kattaroq bo'lgan σ_r ($\sigma = 6,5 \cdot 10^{-15} \text{ sm}^2$) kesim yordamida aniqlanadi. Agar geliy atomlari uyg'ongan va metastabil holatda He^* bo'lsa, uning energiyasi kadmiyni ionlashtirishga va uni uyg'ongan metastabil holat $(Cd^+)^*$ ga o'tkazishga yetarli bo'ladi.

Razryad yordamida uyg'ongan geliy atomlari $2s_0^1$ va $2s_1^3$ kadmiyning $d_{3/2}^2$, $d_{5/2}^2$, $p_{3/2}^2$, $p_{1/2}^2$ sathlarini qo'zg'otadi. d -sathning radiatsion yashash 10^{-7} s vaqti, p -sathning yashash vaqti 10^{-9} s atrofida bo'ladi. SHu sababli nurlanishning quyi sathi p -sath d sathga nisbatan tezroq bo'shaydi. Bu hol uzluksiz rejimda d -sathning invers bandligini saqlab turishga olib keladi.

36 - rasmdagi og'ma to'lqinli o'tish uyg'otish energiyasini geliy atomidan kadmiy atomiga uzatilishini ko'rsatadi. Tik to'lqin chiziq esa quyi lazer sathini nurlanishli bo'shashishini ko'rsatadi. To'g'ri chiziqlar esa yuqori lazer sathidan quyi lazer sathiga lazer nurlanishi orqali o'tishini ko'rsatadi.

10.5. Geliy-kadmiy gazli lazerning tuzilishi.

Geliy-kadmiyli lazerning razryad trubkasi diametri 2-2,5 mm bo'lib, uzunligi 1-1,5 m atrofida bo'ladi. Trubkadagi geliyning bosimi bir necha torr (0,5-1 Pa) ga teng (37 – rasm).

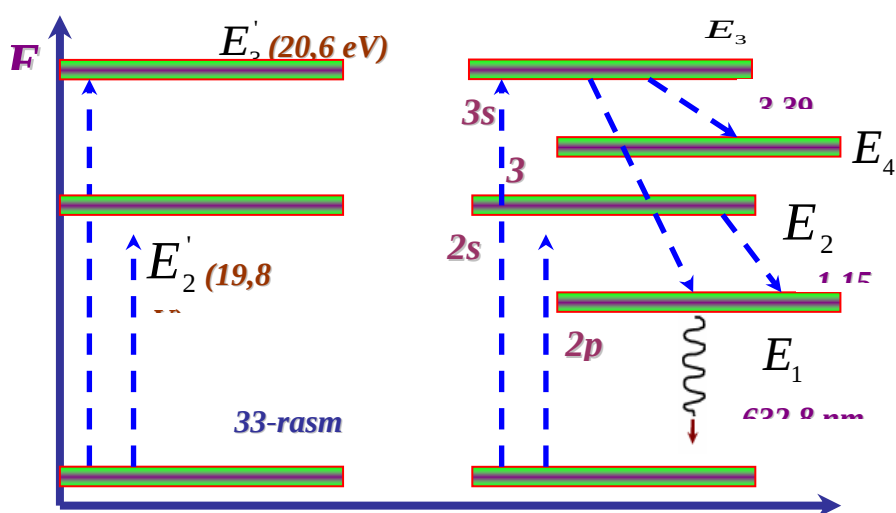
Dastlab geliy orqali razryad amalga oshiriladi. So'ng razryad trubkasidagi anod (katod) yaqinidagi keng rezervuardagi Cd 230-250 gradusgacha qizdiriladi, razyad toki 100 mA atrofida bo'ladi. Bu holda kadmiyning massa oqimi $(1-1,5) \cdot 10^{-3} \text{ gr/soat}$ ni tashkil etib, kadmiy bug'larining bosimi $0,4-0,5 \text{ Pa}$ ni tashkil etadi. Kuchlanishning 4,5 kV va razryad tokining 0,1 A qiymatida razryad trubkasining uzunlik birligidagi energiya ajralishi 3 Vt/sm ni tashkil qiladi. Bu holda trubkasi havoda sovutish mumkin va oddiy shisha trubkadan foydalanish mumkin.

Bayon etilgan holda to'lqin uzunlikli lazer nurlanishi quvvati 100-200 mVt ga etadi. 1 rezervuardagi kadmiy bug'latilgach, kondensatsiya orqali u 2 rezervuarda to'planadi. Tok manbasi qutblarini o'zgartirib, 2 rezervuarni qizdirib, kadmiyni bug'latib, lazer nurlanishini olish mumkin. Kadmiy ionlarini doimiy elektr toki yordamida gaz razryadi jarayonida tashqi elektr maydoni vositasida yo'naltirish kataforez deyiladi.

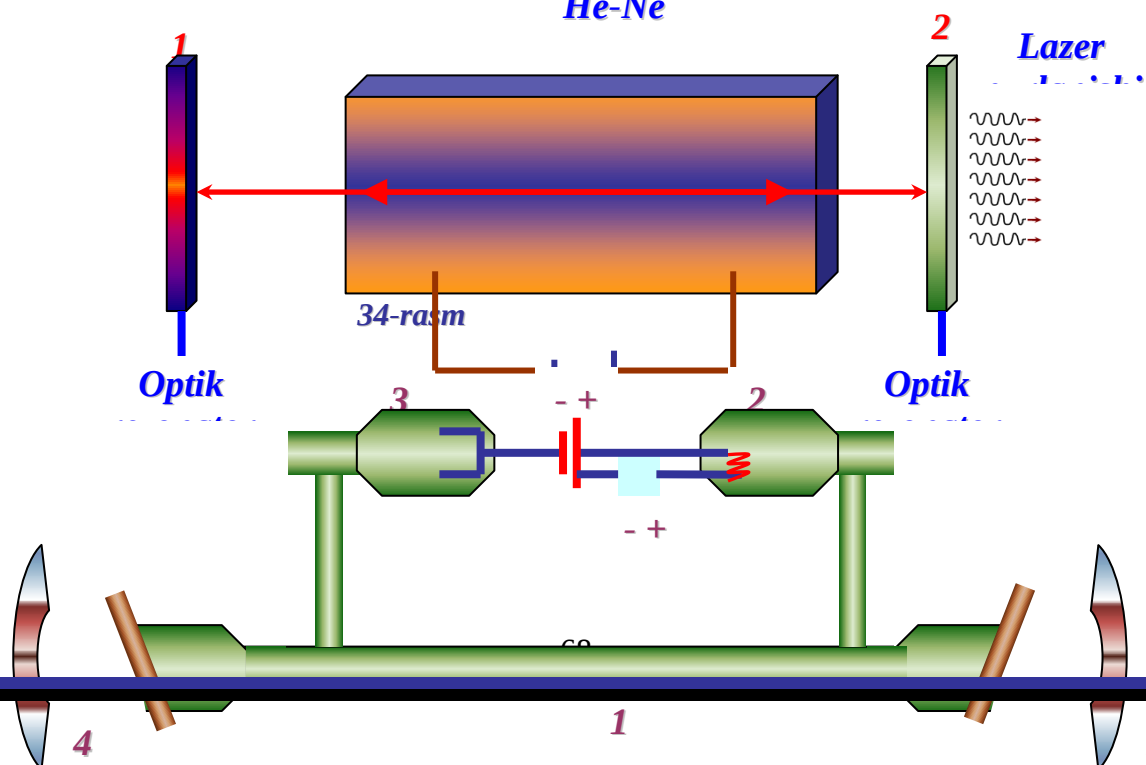
Sinash savollari

1. Atomdagi elektronlarning energetik sathlar bo'yicha taqsimlanishini bayon eting.
2. Geliy-neon lazerining ishlash prinsipini aytib bering.
3. Geliy-neon lazerining tuzilishi nimalarga asoslangan?
4. Metall bug'li lazerlarning ishlash prinsipi qanday?
5. Geliy-kadmiyli gaz lazerini tuzilishini bayon eting.

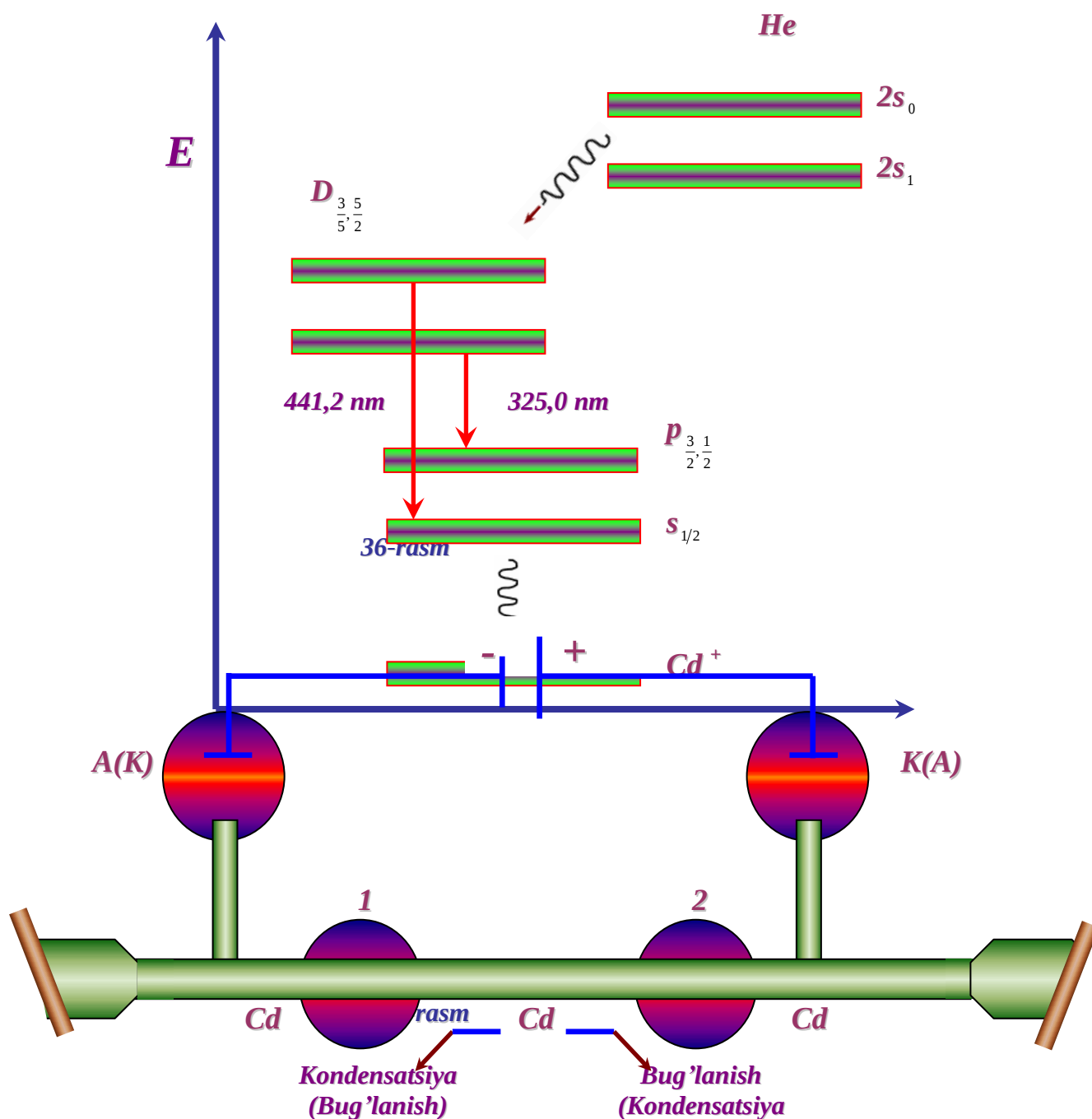
§ 10. GAZLI LAZERLAR



He-Ne



35-rasm



§ 11. UGLEROD OKSIDLI LAZERLAR.

- 11.1 Berk hajmli uglerod oksidli lazer.
- 11.2 Oqimli uglerod oksidli lazer
- 11.3 T-lazer.
- 11.4 Gazodinamik uglerod oksidli lazer.

11.1. Berk hajmli uglerod oksidli lazer.

Karbonat angidrid gazi molekulalari tebranma va aylanma xarakatlarga tegishli energetik sathlari mavjud ekanidan ular ma'lum kenglikdagi polosali spektrga ega bo'ladilar. CO_2 molekulalari simmetriya markaziga ega bo'lgan chiziqli tuzilishga ega bo'ladi. Ushbu molekula uchta tebranish moddalariga ega bo'ladi (38 - rasm).

Bu tebranish turlari energiyalar

$$E_{teb} = 10^{-1} - 10^{-2} \text{ Ev}, E_{ayl} = 10^{-3} - 10^{-5} \text{ Ev}, E_{eg} = 1 \text{ Ev}$$

va molekula energiyali

$$E = E_{teb} + E_{ayl} + E_{el} \cong 1 \text{ Ev} \quad (11.1)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\varepsilon}{hc} \text{ - birliklarda } \left[\frac{1}{\lambda} \right] = \frac{1}{sm} = sm^{-1} \text{ birlikda esa } a) \frac{1}{\lambda_1} = 1337 sm^{-1}, b) \frac{1}{\lambda_2} = 667 sm^{-1},$$

v) $\frac{1}{\lambda_3} = 2349 sm^{-1}$ ga teng bo'ladi. Har bir tip tebranishda bar va bir necha kvant bo'lishi mumkin.

Molekulaning tebranma xarakat holati shu tebranish tipidagi kvant miqdori bilan aniqlanadi masalan (simmetrik, egilish, nosimmetrik) (1,1,1). Agar (0,1,0) belgi keltirma, simmetrik va nosimmetrik tip qo'zg'otilmagani va elilish tipida bir kvant borligini ko'rsatadi. Ushbu lazerlar $\lambda_1 = 9,6 mkm$ va $\lambda_2 = 10,6 mkm$ to'lqin uzunlikdagi lazer nurlanishini beradi (u infraqizil nur diapazonida bo'ladi).

Tebranma xarakat energetik sathidan foydalanib lazer nurlanish chastotasini $\lambda = 9,2 - 10,6 mkm$ orasida o'zgartirish mumkin. Aralashmadan elektr toki o'tishida azot molekulalari elektron zarbasiga uchrab qo'zg'algan energetik holatga o'tadi. So'ng olingan energiyani CO_2 molekulasi uzatib, vositachalik ishini bajaradi (39 -rasm).

Azot qo'zg'algan holati metastabil holat bo'lib, asosiy energetik sathdan $\frac{1}{\lambda} = 2318 sm^{-1}$ oraliqda bo'lib, karbonad angidrid molekulasining (001) energetik sathiga mos keladi. Faol muhit orqali elektr toki o'tishi metastabil holatdagi azot atomlarini o'z energiyasini rezonans holda CO_2 molekulalariga uzatadi. Energiya olgan CO_2 molekulalari (001), (010) va (020) energetik sathlar oralig'ida invers energetik holatga o'tadi.

Katta yashash davriga ega bo'lgan (100) sathidagi CO_2 molekulalari bu sathni bo'shatishi uchun aralashma tarkibiga geliy gazi qo'shiladi. Aralashmada geliy gazi bosimi 1330 Pa, azotniki 133 Pa va karbonad angidridniki Pa ga teng bo'ladi.

CO_2 lazerining ish faoliyati vaqtida molekulasini CO_2 avval $CO_2 \rightarrow CO + O$ ga, so'ng $CO \rightarrow C + O$ atomlariga bo'linadi. Uglerod atomlari elektrodlar va lazer trubkasi ichki devorida o'tirib qoladi. Bu jarayon CO_2 lazeri ishchi holatini susaytiradi. Ushbu salbiy ta'sirni kamaytirish uchun berk sistema ichiga suv bug'i kiritiladi. Suv bug'i $CO + O \rightarrow CO_2$ reaksiyani kuchaytiradi. Platinadan yasalgan elektrodlar bu reaksiyada yordamchi (katalizator) vazifasini bajaradi.

Faol muhit miqdorini bir me'yorda saqlash uchun lazer ishchi hajmiga ulangan to'ldirilgan rezervuarlar o'rnatilgan. Zarur holda lazer ishchi hajmiga gazli ballonlardan biri ulanadi. Bu kabi berk lazer bir necha ming soat ishlashi mumkin.

lazerining FIKi 30 % ga etadi. Bu lazerda uzluksiz ish rejimida bir necha 10 kVt, impuls rejimida esa bir necha GVt quvvatga erishish mumkin. Uning nurlanishi bo'lib, o'rta infraqizil nur diapazoniga mos keladi.

Ushbu lazer nurlanishi chastotasini bir necha aniq chastotali holatga sozlash mumkin. Ushbu lazer nurlanishi ko'p molekularning rezonans yutilish chastotalariga mos keladi. Shu sababli katta quvvatli IQ diapazondagi lazerning moddalar bilan o'zaro ta'siri kuchlidir. Bu xossa uni o'rganishga va turli sohalarda qo'llanilishiga omil bo'ladi.

lazerining umumiy tuzilishi 40-rasmda keltirilgan. Lazer trubkasining diametri 15 mm (ixtiyoriy bo'lishi mumkin.). Razryad toki 40 mA, elektr maydoni kuchlanganligi $U = 4 \frac{V}{mPa}$, trubka o'qidagi talao'ma xarorati 450 K, 177 gradus, aralashmaning umumiy bosimi 2 kPa. Gaz miqdori nisbati olinadi. Masalan: uzunligi 2 m, yorug'lik oqimi zichligi bo'lsa, uzunlik birligidagi quvvat ga etadi.

11.2. Oqimli uglerod oksidli lazer.

CO_2 lazerining ishchi hajmini har ikki tomoniga 2 ta rezervuar ulangan bo'lib, ulardan biri bo'sh, ikkinchisi esa CO_2 gazlari aralashmasi bilan to'ldirilgan bo'ladi (41-rasm).

Lazerining faol muhiti orqali elektr toki o'tishi jarayonida trubka o'qi yo'nalishda gaz aralashmali ballondagi gaz bo'sh ballonga oqiziladi. Azot molekularini metastabil holatga

o'tkazish, uni olgan o'qshimcha energiyasini CO_2 ga uzatish, $CO_2 \rightarrow CO + O$ va $CO \rightarrow C + O$ reaksiyalarga erishish va (001), (100) sathlar orasida invers bandlikka erishish berk CO_2 lazerlagi kabi bo'ladi.

Oqimli CO_2 lazerda uzluksiz ish rejimida lazer trubkasi uzunligining har bir metriga 50 Vt ish quvvati olish mumkin.

Ushbu CO_2 lazerda ham azot molekulasini yuqori energetik holatga damlovchi, geliy gazi quyi energetik sathni bo'shatuvchi, CO_2 gazi esa lazer nurlanishini ta'min etuvchi vazifasini bajaradi.

Razryad trubkasi diametri 15 mm bo'lganda, razryad toki 40 mA, elektr maydoni kuchlanganligi $U_1 = 5 \frac{V}{sm \cdot torr} \left(U_1 = 4 \frac{V}{m \cdot Pa} \right)$, trubka o'qida ralashma temperaturasi 450 Kelvin, gaz aralashmasining umumiy bosimi 2 kPa, gazlarning miqdoriy nisbati

$$CO_2 \div N_2 \div He = 1 \div 1 \div 8$$
 kabi bo'ladi (41-rasm).

Odatda 2 m uzunlikdagi trubkali lazerda yorug'lik oqimi zichligi $j = 30 - 60 \frac{Vt}{sm^2}$ bo'lib,

uzunlik birligidagi quvvat $P_1 = 50 - 100 \frac{Vt}{m}$ ga etadi.

11.3. T-lazer.

CO_2 lazerlar orasida lazer trubkasidagi faol muhit (karbonat angidrid) lazer trubkasi va rezonator o'qiga parallel bo'lgan elektrodlar orasiga joylashtiriladi. Bu lazerlar nomi quyidagi inglizcha ibora Transversly Excited Atmospheric "atmosfera bosimida ko'ndalang qo'zg'otuvchili" ma'nosini anglatuvchi so'zlarning bosh harflaridan olinib, TEA lazer yoki qisqacha T lazer deb ataladi. T lazerning sxematik chizmasi 42-rasmda keltirilgan. Elektrodlar lazer trubkasi uzunligida ekanligidan kichik potentsial farqi yordamida katta qiymatli elektr maydoni kuchlanganligiga erishish mumkin. Bu lazerni impuls rejimida ishlashiga imkon beradi. Ushbu lazerda impuls davomiyligi 1mks va undan kichik bo'lsa, impuls nurlanishida 10 MVt va undan ortiq quvvatli nurlanish olish mumkin. Bu lazerda har minutiga bir necha impuls nurlanadi. Impuls energiyasi $\tau = 0,1 - 1$ mksda $E = 1 - 10$ Joulga etadi.

Bu lazerlarda elektr maydoni kuchlanganligining bosimga nisbati $\frac{E}{P} = 300 \frac{kVt}{m \cdot atm}$

qiymatda, trubka tirqishida $NaCl, KCl, ZnSe$ kabi tiniq tirqishdan ga teng nurlanish olish mumkin. Bu holda bo'ladi. T lazer ilmiy tekshirish laboratoriyalarida ishlatiladi.

11.4. Gazodinamik lazer.

1000-2000 K gacha qizdirilgan karbonad angidrid CO_2 va N_2 azot molekulari aralashmasi kengayib boruvchi soplodan katta tezlikda chiqib kengaysa, u kuchli sovuydi. Natijada yuqori va quyi energetik sathlar tezliklar farqi hisobiga invers bandlik sodir bo'ladi. Soplo chiqish joyiga rezonator o'rnatib, invers bandlik hisobiga lazer nurlanishi olish mumkin. Bu prinsipda ishlovchi lazer gazodinamik lazer deyiladi. Uzluksiz rejimda ishlovchi gazodinamik lazerda katta nurlanish quvvatiga erishish mumkin. 43-rasmda GD-lazer soplo kesimi keltirilganpункtir chiziq

kritik kesim bo'lib, uning diametri 0,3-1 mm, shu joy uzunligi 1-2 sm atrofida bo'ladi. CHizmada 1-egri chiziq quyi sathda, 2-egri chiziq yuqori energetik sathda bandlikni ko'rsatadi. Bu hol da bajariladi.

GD lazerda katta tezlikdagi gqim yo'nalishi rezonator o'qiga tik bo'ladi (44- rasm)

Temperaturalar farqi $\Delta T = T_2 - T_1$ ning biror qiymatida GD lazer meyorda ishlaydi.

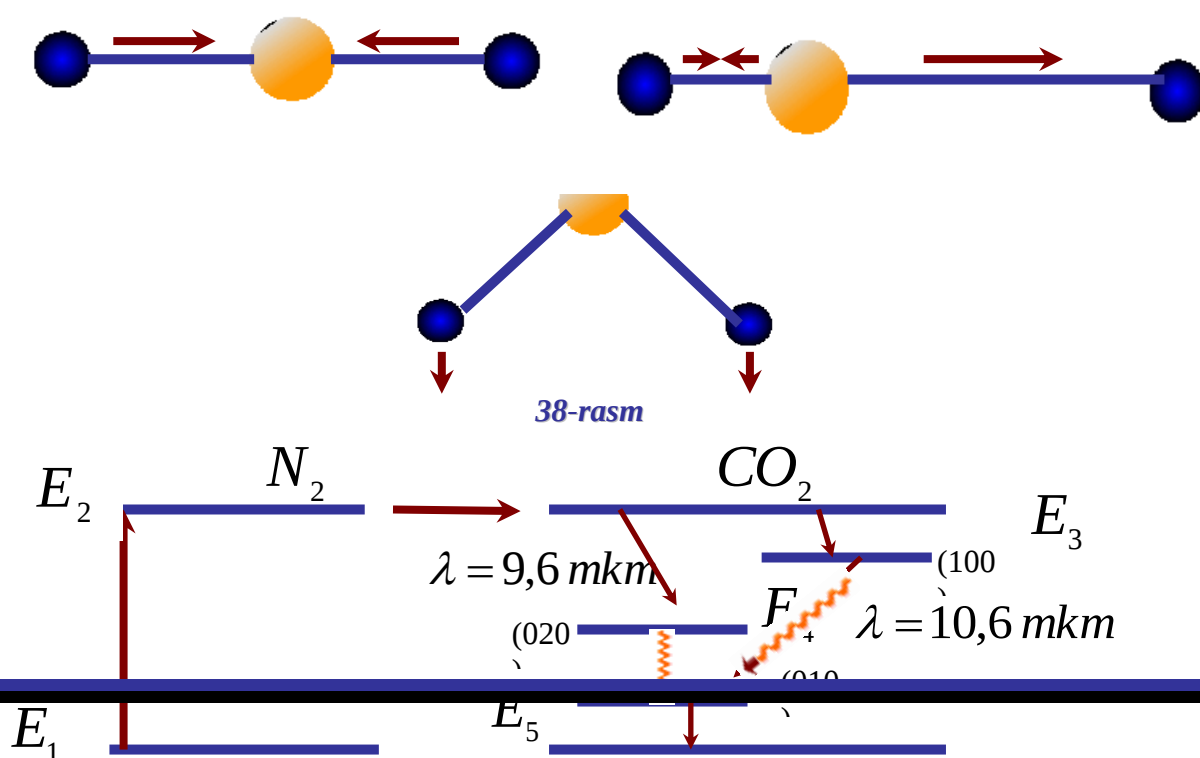
Chunki T ni ortishi CO_2 ni dissotsiatsiya hodisasiga olib kelsa, T ni yanada pasaytirish CO_2 ni kondensatsiya hodisasiga olib keladi. Bu lazerda geliy o'rniga 1-2 % suv bug'i qo'shiladi. Temperaturali gaz kengaygan atmosferaga chiqadi. SHu bois Gd lazerda FIK 1 % atrofida bo'ladi.

Odatda uglevodorod yonilg'ida azot qizdirilib, so'ng CO_2 ga aralashtirililib, faol muhit olinadi.

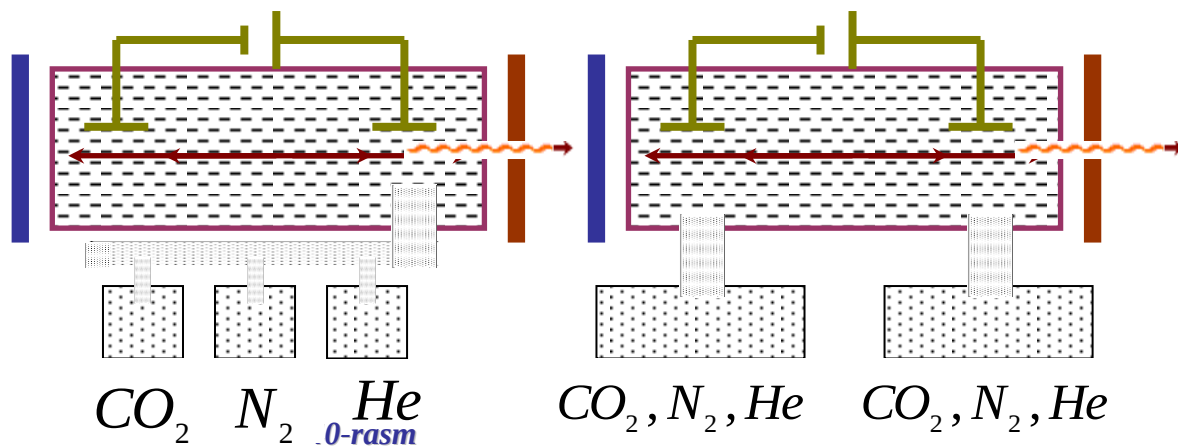
Sinash savollari

1. Berk hajmi CO_2 lazeri tuzilishi va ishlashini tushuntiring.
2. Oqimli CO_2 lazeri tuzilishi va ishlash prinsipini bayon eting.
3. T- lazer tuzilishi va ishlash prinsipi nimaga asoslangan?
4. Gazodinamik lazerda qanday fizik jarayondan foydalanib lazer nurlanishi olinadi?

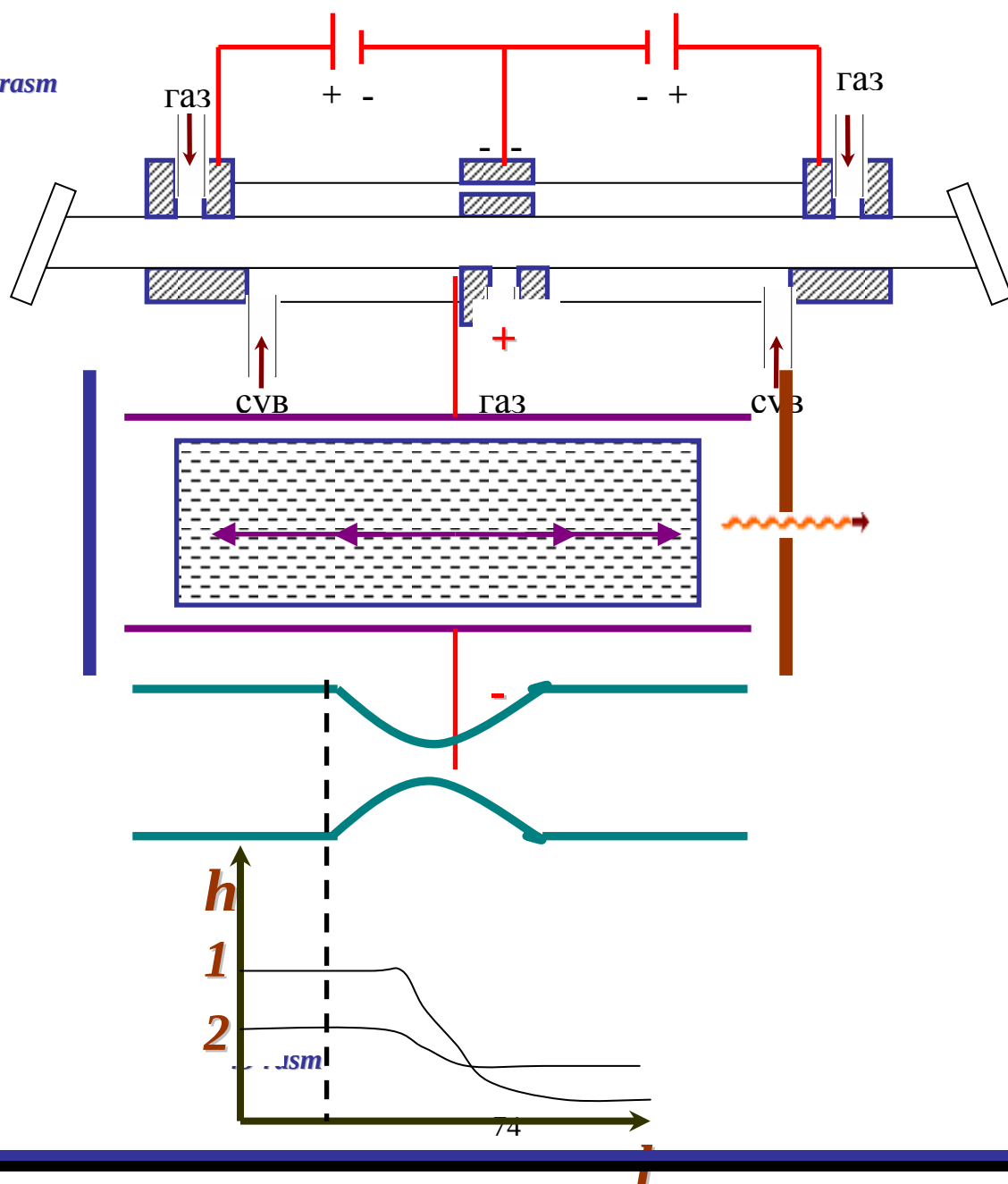
§ 11. UGLEROD OKSIDLI LAZERLAR.

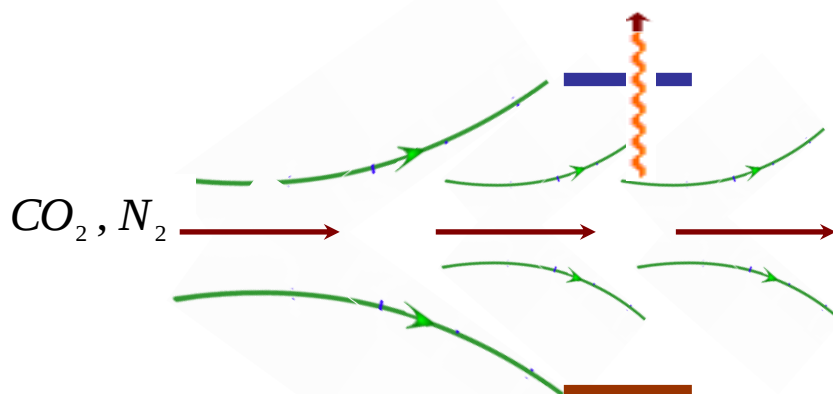


39-rasm



41-rasm



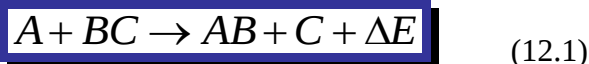


§ 12. KIMYOVIY LAZERLAR.

1. Kimyoviy lazerlar va ularda faol muhit.
2. Kimyoviy lazerlarni ishlash prinsipi.
3. Kimyoviy $DF - CO_2$ lazer.
4. SO-lazer
5. Kimyoviy lazerlarni qo'llanilishi.

12.1. Kimyoviy lazerlar va ularda faol muhit.

Kimyoviy lazerlar ko'proq gazli lazer bo'lib, ulardagi invers bandlik holatiga kimyoviy reaksiya natijasida erishiladi. Qator ekzotermik reaksiyalar mahsuloti qo'zg'otilgan holatda sodir bo'ladi. Kimyoviy lazerlarda faol muhit ikki atomli molekulalarning tebranma o'tishida olinadi. Ekzotermik reaksiya natijasida qo'zg'otiladi.



Reaksiya natijasida ajralgan ΔE energiyaning asosiy qismi ΔE_t AV molekulaning tebranma energetik sathini qo'zg'otishga sarflanadi. Tebranma energetik sath (daraja) ΔE_t ga mos kelgan energiya miqdori, uning ilgari lanma ΔE_i va aylanma xarakat energetik darajasi ΔE_a ga mos kelgan energiyalardan katta bo'ladi, bu holda ushbu munosabat o'rinli bo'ladi.

$$\Delta E = \Delta E_t + \Delta E_i + \Delta E_a, \quad \Delta E_t > \Delta E_i + \Delta E_a \quad (12.2)$$

Buning natijasida muvozanatmas ikki atomli molekula gaz hosil bo'ladi. Bu kabi ikki atomli molekulali muvozanatmas gaz ko'p sonidagi tebranma o'tishga ega bo'lgan invers bandlik holati o'rnatilgan faol muhit bo'la oladi. Invers bandlikka olibkeluvchi reaksiyalar, undagi ajralgan energiya ΔE va ΔE_t miqdori, nurlanish to'lqin uzunligi λ miqdori 3- jadvalda ko'rsatilgan. Shu faol muhitlar va reaksiyalar yordamida kimyoviy lazer nurlanishini olish mumkin.

12.2. Kimyoviy lazerlarni ishlash prinsipi.

Kimyoviy lazer ishini amalga oshirishi uchun ma'lum miqdordagi kimyoviy faol bo'lgan A atom erkin radikalini hosil qilish zarur. Bu holatni hosil qilish uchun quyidagilardan foydalaniladi (46 – rasm).

- a) moddani termik dissotsiatsiyaga olib kelguncha qizdirish,
- b) dastlabki moddani fotodissotsiatsiyaga olib kelish uchun ultrabinafsha yoki ko'rinuvchi diapazonidagi yorug'lik nuri bilan yoritish,
- v) erkin radikallar hosil bo'lishi bilan kuzatiluvchi kimyoviy reaksiyalar,
- g) molekular va elektronlar to'qnashuvi natijasida molekularni qisman dissotsialovchi gaz razryadi,
- d) elektron bilan ishchi modda molekularini bombardimon qilish va hokazolar yordamida faol muhit olinadi.

Bayon etilgan radikallar va unda hosil bo'lgan molekula va atom holatlari qaytmas bo'lgani sababli, ishchi modda miqdorini lazerni ishchi holatiga zarur miqdorda qo'shish hisobiga saqlab turiladi.

Kimyoviy lazerlarning samaradorligini ko'rsatuvchi asosiy parametrlari mavjud:

- a) lazer nurlanishi energiyasini kimyoviy reaksiya natijasida ajralgan to'la energiyaga nisbati bilan o'lchanuvchi kimyoviy foydali ish koeffitsieti

$$\eta_x = \frac{\Delta E_{nur}}{\Delta} = \frac{\Delta E_{nur}}{\Delta E_t + \Delta E_i + \Delta E_a} \quad (12.3)$$

- b) lazer nurlanishi energiyasini kimyoviy reaksiyani amalga oshirish uchun sarflangan elektr energiyasiga nisbati bilan o'lchanuvchi elektrik FIK

$$\eta_e = \frac{\Delta E_{nur}}{\Delta E_{elektr}} \quad (12.4)$$

Kimyoviy reaksiyalarni faollashtirishda (ekzotermik reaksiyalarda) sarflanadigan energiya reaksiya natijasida ajraladigan energiyadan kam bo'lishi mumkin. Shu sababli elektrik FIK yuqridan chegaralanmaydi. Masalan: fluor bilan vodorod (deyteriy D) orasidagi zanjirli reaksiyaga asoslangan lazerda $\eta > 90\%$ bo'lishi mumkin.

№	Reaksiya	ΔE (kkal/mol)	ΔE_t	λ mkm
1	$F + D_2 \rightarrow DF + D$	33,7	0,68	4,3-5,4
2	$F + CH_4 \rightarrow HF + CH_3$	34,5	0,60	2,8-3,0
3	$F + C_2H_6 \rightarrow HF + C_2H_5$	39	0,62	2,8-3,0
4	$F + CH_3C(CH_3)_3 \rightarrow HF + CH_2C(CH_3)_3$	38	0,56	2,8-3,0

5	$F + CH_3Cl \rightarrow HF + CH_2Cl$	37	0,68	2,8-3,0
6	$F + CH_2Cl_2 \rightarrow HF + CHCl_2$	38	0,51	2,8-3,0
7	$F + CH_3Br \rightarrow HF + CH_2Br$	35,9	0,67	2,8-3,0
8	$F + CH_3CF_3 \rightarrow HF + CH_2CF_3$	33,5	0,67	2,8-3,0
9	$F + CH_3Si(CH_3)_3 \rightarrow HF + CH_2Si(CH_3)_3$	40	0,50	2,8-3,0
10	$F + C_6H_{12} \rightarrow HF + C_6H_{11}$	42,9	0,53	2,8-3,0
11	$F + HCCl_3 \rightarrow HF + CCl_3$	42	0,37	2,8-3,0
12	$F + HD \rightarrow HF + D$	33,8	0,59	2,8-3,0
13	$F + HD \rightarrow DF + H$	35,5	0,55	3,7-4,2
14	$F + D_2 \rightarrow FD + D$	31,2	0,68	3,7-4,2
15	$H + F_2 \rightarrow HF + F$	97,8	0,53	2,8-3,7
16	$D + F_2 \rightarrow DF + F$	97,8	0,56	3,7-5,0
17	$F + H_2 \rightarrow FH + H$	41,9	0,64	2,7-3,4
18	$Cl + HI \rightarrow HCl + I$	31,7	0,71	3,4-3,8
19	$Cl + DI \rightarrow DCl + I$	31,7	0,71	5,0-5,4
20	$H + Cl_2 \rightarrow HCl + Cl$	45,1	0,39	3,7-4,0
21	$D + Cl_2 \rightarrow DCl + Cl$	46,3	0,39	5,0-5,6
22	$H + Br_2 \rightarrow HBr + Br$	41,2	0,55	4,0-4,6
23	$D + Br_2 \rightarrow DBr + Br$	41,7	0,55	5,8-6,3
24	$Br + HI \rightarrow HBr + I$	16,5	0,53	4,1-4,3
25	$Cl + HBr \rightarrow HCl + Br$	15,6	0,43	3,7-3,8
26	$O + CS \rightarrow CO + S$	85	0,85	5,0-5,6
27	$O_2 + CS \rightarrow CO + SO$	90	0,7	5,0-5,7



Zanjirli reaksiyaga asoslangan kimyoviy lazerda kimyoviy FIK 1 % ga teng. Reaksiyaning molekularining kam dissotsiatsiyali holatida zanjirli reaksiya davomiyligi molekularning o'zaro to'qnashuvi natijasida invers bandlik vaqti buzilishidan ko'p marta katta bo'ladi. Bu lazer nurlanishiga salbiy ta'sir etadi. SHu sababli katta quvvatli DF kimyoviy lazerda kimyoviy FIK 10 % bo'lishi uchun o'rin almashtirishga asoslangan reaksiyalar hisobiga lazer nurlanishi olinadi.

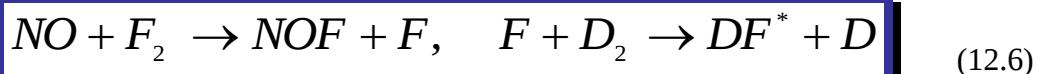
DF -kimyoviy lazerlarda impuls rejimida impuls davomiyligi 30 ns bo'lganda lazer nurlanishi energiyasi $\Delta E_{nur} = \Delta E_H > 2 \text{ kJ} = 2 \cdot 10^3 \text{ J}$ tartibida bo'ladi.

Uzluksiz rejimda ishlovchi DF lazerda faol muhitni rezonatoridan tovush tezligidan katta katta tezlikda haydalganda $\eta_{elektr} \approx 2 - 4\%$ bo'lganda nurlanish quvvati bir necha kVt gva etadi.

12.3. Kimyoviy $DF - CO_2$ -lazer

Kimyoviy lazerlarning uzluksiz nurlanish rejimini agz aralashmali faol muhitda oqimli reaktson idishlar (soplodarda) amalga oshirish mumkin.

Turg'un radikal NO ni molekulyar ftor F_2 arlashtirib yondirishda, atomar ftor F hosil bo'lib, u uzluksiz zanjir reaksiya markaziga aylanib, u qo'zg'algan DF^* molekulani hosil qiladi.



Qo'zg'otilgan holatdagi DF^* ga uglerod to'rt oksidi CO_2 qo'shiladi va natijada



reaksiya sodir bo'lib, invers holatdagi olinadi. Uni yordamida lazer nurlanishi olinadi. Gazodinamik lazer tuzilishiga o'hshash oqimli reaktiv idish sxemasi quyida keltirilgan (45 – rasm).

Ushbu lazerda faol arlashmaning $1 \frac{gr}{s}$ sarf tezligida lazer nurlanishi quvvati 100 Vtga etadi.

12.4. CO -lazer

Infraqizil nur diapazonining o'rta qismlarida nurlanuvchi CO -lazeri ($\lambda = 5 - 6,5 mkm$) CO_2 -lazeriga o'hshash jihatlari ko'pdir. Bu lazerda ham FIK katta (50-75%), uning uzluksiz va impuls rejimda ishlay olishi, unda qo'zg'otishning va invers bandlikka erishishning gazodinamik, gazorazryad, kimyoviy, elektron oqimli usullarini qo'llash mumkinligi, nurlanish chastotalarining yaqinligi, turli to'lqin uzunliklarida ishlash imkoniborligi CO_2 -lazerga ko'p o'xshaydi.

Ushbu CO -lazer ham asosiy elektron holatining tebranma-aylanma o'tishlarida ishlaydi. CO molekulani tebranma tebranma energetik sathini qo'zg'otish CO_2 -lazerdagi kabidir. Kimyoviy reaksiya paytida CO molekulalarini elektron zarba orqali yuqori tebranish energetik sathiga ko'tariladi, yoki qo'zg'algan holatga o'tgan azot molekulasini N_2 energiyasini CO molekulasiga berish orqali invers bandlikka erishiladi.

CO -lazerda ham bo'ylama elektr razryadidan foydalaniladi. CO -lazeriga CO , He , N_2 va O_2 biroz aralashtirilib, 150-200 Kelvin atrofida uzluksiz rejimda 10 Vt quvvatga erishiladi. Agar Xe ksenon aralashtirilsa ($CO \div Xe \div He = 1 \div 1 \div 8$) atmosfera bosimida ham ishlashi mumkin.

CO -molekulasining turli sathlaridan ixtiyoriy quyi sathga o'tishda kaskadli nurlanish sodir bo'ladi SHu sababli uzluksiz rejimda nurlanish polosasi keng bo'lib, impuls rejimda torroq bo'ladi.

12.5. Kimyoviy lazerlarning qo'llanishi.

Kimyoviy lazerlarning keng qo'llanilishiga sabab bo'luvchi bir necha omillar mavjud:

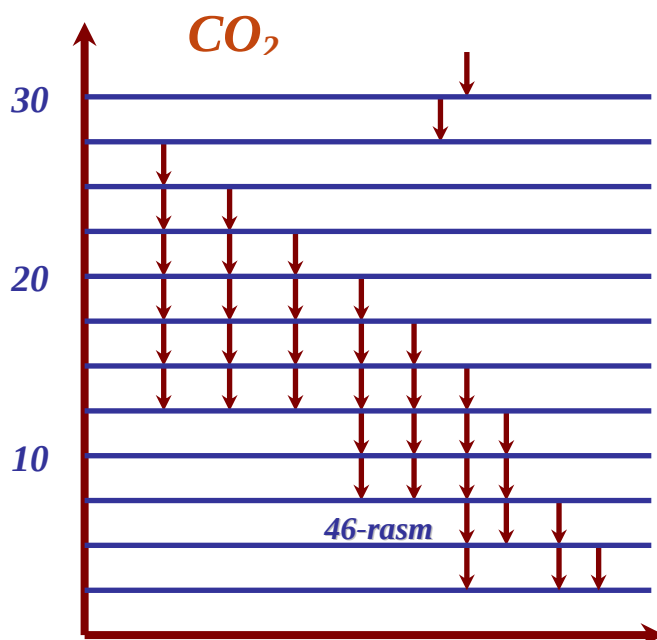
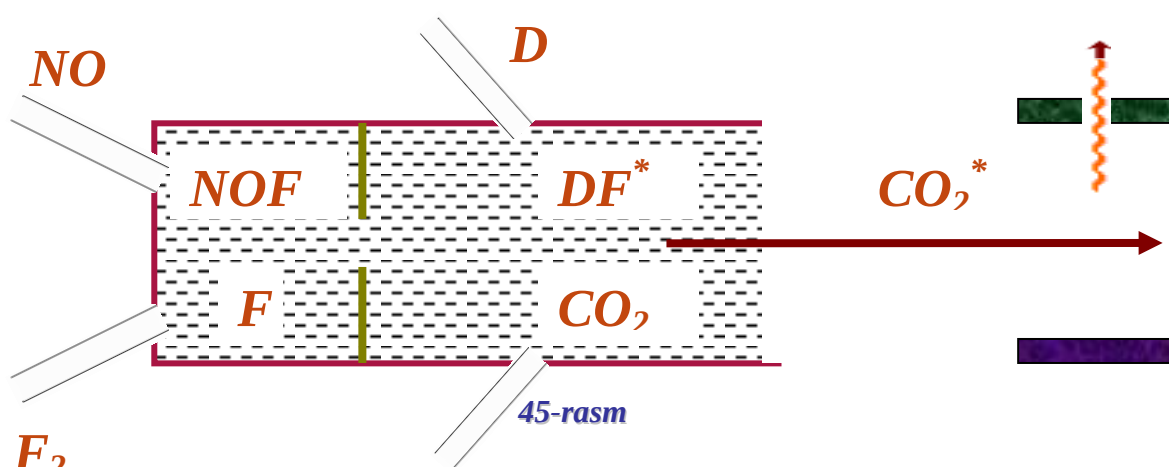
- a) kimyoviy lazerlarning FIK kattaligi;
- b) kimyoviy lazerda lazer nurlanishi quvvati katta ekanligi;
- v) infraqizil nurlanish spektrining keng sohasida katta sonli o'tishlarda lazer nurlanishi imkoniyati mavjudligi

Kimyoviy lazerlar boshqariluvchi termoyadro sintezlarida, lazer spektroskopiyasida, lazer kimyosida, izotoplarni lazer nuri yordamida ajratib olishda, molekulalar to'qnashuviga oid izlanishlarda keng foydalaniladi.

Sinash savollari.

1. Kimyoviy lazer haqida so'zlang.
2. Kimyoviy lazerning ishlash prinsipi qanday ?
3. $DF - CO_2$ lazeri to'g'risida ma'lumot bering.
4. CO -lazerini ustunlik tomonlari nima?
5. Kimyoviy lazerlarning qo'llanilish sohalarini bayon eting.

§ 12. KIMYOVIY LAZERLAR.



§13. BO'YOQ MODDALI LAZERLAR.

- 13.1 Bo'yoq moddali lazer energetik sathlari
- 13.2 Bo'yoq moddali lazerlarni optik damlash
- 13.3 Bo'yoq moddali lazerlarni optik sxemasi
- 13.4 Bo'yoq moddali lazerlarning nurlanish spektri
- 13.5 Bo'yoq moddali lazerlarning qo'llanishi.

13.1. Bo'yoq moddali lazer energetik sathlari.

Bo'yoq moddalarning muvozanat energetik sathi E_0 va qo'zg'olgan holat energetik sathlari E_1 ham ma'lum kenglikdagi polosani tashkil etadi. Invers bandlikka ega bo'lgan energetik sathlar ham ma'lum energiya oralig'ida joylashib, ularning yuqoridan quyiga o'tishdagi lazer nurlanishi energiyasi $h\nu$ shu oraliqlarga proportsional bo'ladi.

Ushbu nurlanishlar ma'lum spektral oraliqda yotuvchi kvazimonoxramatik nurlardan iborat bo'ladi. Geliy-neon va rubin lazerida bu kenglik $0.03 \text{ va } 20 \text{ sm}^{-1}$ va bo'lsa, bo'yoq moddali lazerlarda $0.01 \text{ va } 1 \text{ sm}^{-1}$ ga teng bo'ladi.

Faol muhiti bo'yoq moddalarning eritmalaridan iborat suyuqlikli optik generator faol muhiti murakkab organik molekulalardan iborat ekanidan ularning fotolyuminesstsiya spektri kengligi $\sim 1000 \text{ sm}^{-1}$ ni tashkil etadi.

Rasmda ko'rsatilgan bo'yoq moddalarning molekulyar energetik sathlari E_0 asosiy sathga, E_1 esa qo'zg'olgan holat sathiga mos keladi. Molekulalarning tebranma harakat erkinlik darajalari soni ko'p bo'lgani uchun har ikki sath strukturasi ham murakkabdir. Rasmda yuqori E_1 sathdan asosiy E_0 sathga o'tish lyuminesstsent o'tish bo'lib, u ma'lum polosaga ega ekani ko'rinadi. Bu erda vertikal kesmalar individual sathlar o'rtasidagi o'tishlarning Bor chastotalariga mos kelib, punktir egri chizimq ayrim spektral chiziqlarning konturini, tutash egri chiziq esa lyuminesstsiya polosasining jami konturini ko'rsatadi.

13.2. Bo'yoq moddali lazerni optik damlash.

Bo'yoq molekularini optik usulda uyg'otish hodisasida bo'lib o'tadigan jarayonlarning umumiy manzarasini qaraylik. Molekula $E = h\nu_{uyg'}$ uyg'otuvchi fotonni yutganidan so'ng asosiy (quyi) E_0 muvozanat holat guruhining biror energetik sathidan uyg'otilgan elektron holati E_1 guruhining bir yoki bir necha (uyg'otuvchi yorug'lik spektri kengligiga bog'liq holda) tebranma sathlarga o'tadi. Bu jarayon E_0 sathlar guruhidan E_1 sathlar guruhiga yo'naltirilgan strelka ko'rinishida chizilgan. Molekula ichidagi jarayonlar, erituvchi modda atomlari bilan o'zaro ta'sirlashishi natijasida uyg'ongan molekula E_1 sathlar guruhining eng quyi energetik sathiga nurlanishsiz spontan o'tadi. Ushbu spontan o'tish optik damlash natijasida $E_0 \rightarrow E_1$ o'tish qilgandan so'ng $\tau = 10^{-11} - 10^{-12}$ sekund o'tgach sodir bo'la boshlaydi.

E_1 sathlar guruhining quyi energetik sathlaridan asosiy energetik sathlar guruhi E_0 ning barcha energetik sathlariga o'tish spontan ravishda yoki majburiy ravishda $E = h\nu$ nur chiqarib o'tadi. Bu o'tish yuqoridan pastga yo'nalgan strelkalar ko'rinishida ko'rsatilgan.

Ushbu elektron tebranma o'tishlar bilan bog'liq bo'lgan bu chiziqlar to'plami lyuminesstsiyaning va kuchaytirishning keng tutash spektrini tashkil etadi. Demak, E_1 energetik sathlar guruhining quyi energetik sathlardagi zarralar invers bandlik holatini egallagan

zarralar hisoblanadi. E_1 guruhni quyi sathidan guruhning yuqori sathiga o'tishlardan so'ng tebranma harakatlardan so'ng sekund o'tgach, E_0 guruh sathlariga beriladi va energiya E_0 sath atomlari tomonidan yutiladi (E_0 sath guruhidagi to'liqsimon strelkalar).

Bayon etilgan sxemada generatsiyaning rivojlanishiga halaqit qiluvchi omillar mavjud. Damlashdagi yoritilganlikning katta bo'lishi bo'yoq molekulalarining fotokimyoviy parchalanishi sodir bo'ladi, uyg'otilgan elektron holatning eritmaning qizishi natijasida nurlanishsiz so'nish generatsiyasi rivojlanishiga halaqit etuvchi omil hisoblanadi. Ushbu halaqit omillarini maxsus usullardan foydalanib bartaraf etiladi va hozirda uning 100 dan ortiq usullari mavjud. Masalan, shu usllarning birida eritmani kyuveta orqali bir necha o'n tezlikda katta bosim ostida haydaladi.

Bo'yoq moddali lazerlarda impulsli va uzluksiz rejimda spektrning keng sohasida ($\lambda = 350 \div 1000 \text{ nm} = (3.5 \div 10) \cdot 10^{-7} \text{ m}$) lazer nurlanish olish mumkin. Unda uyg'otuvchi nurlanish sifatida ksenon gaz-razryad lampalari, lazerlardan foydalanib majburiy nurlanish generatsiyasini amalga oshirish mumkin.

13.3. Bo'yoq moddali lazerning optik sxemasi

Uzluksiz rejimda ishlaydigan bo'yoq moddali lazerning optik sxemasini qaraylik. Uyg'otuvchi yorug'lik dastasini K_1 sferik ko'zgu bo'yoq eritmasi solingang K kyuvetaga sozlaydi.

Uyg'otuvchi yorug'lik dastasini uzluksiz ishlaydigan argon lazeridan yuboriladi. K kyuvetadan o'tgan yorug'likni K_2 sferik ko'zgu K kyuvetaga qaytaradi. yOrug'lik dastasi K kyuvetadan o'tib, K_1 ko'zguga tushib qaytadi, qaytgan yorug'lik K_3 ko'zgudan (yarimshaffof) o'tib, P prizma tushadi va undan o'tib D diafragma va K_4 ko'zguga tushadi. Bu sxemada K_1 , K_2 , K_3 ko'zgular lazer rezonatori vazifasini o'taydi. Punktir bilan chizilgan yorug'lik dastasi generatsiya qilingan yorug'lik dastasini ko'rsatadi. Kyuveta sirtlaridan qaytgan yorug'lik tufayli isrofni kamaytirish uchun K kyuvetani rezonatorning optik o'qiga nisbatan Bryuster burchagi ostida joylashtiriladi.

13.4. Bo'yoq moddali lazerlarning nurlanish spektri

Rodamin 6-C kabi bo'yoq eritmasi faol muhit sifatida olingan lazerning nurlanish spektrini tahlil etamiz. Bu holda nurlanish spektri kengligi $\lambda = 2 \cdot 10^{-9}$ metr ga yaqin bo'ladi. Boshqa bo'yoq moddalardan foydalanish, uyg'otish quvvatini oshirish yo'llarini qo'llab nurlanish spektri kengligini yanada oshirish mumkin.

Rezonator chastotalarining uzluksizligiga bog'liq bo'lgan spektr tarkibi –rasmda keltirilmagan. Spektr ichki chetida ko'rinib turgan yorug' yo'llar havoda mavjud bo'lgan yo'llardir. Bu prizma o'rnatilmagana holdagi nurlanish spektridir.

Agar K_3 ko'zgu o'rniga uch yoqli P prizma qo'yib K_4 ko'zguni rasmda ko'rsatilgandek joylashtirsak, lazer nurlanishining spektri keskin (o'zgaradi) torayadi.

Nurlanish spektrining torayishini sababi yorug'lik dastasining prizma tomonidan og'dirilishining to'liq uzunligiga bog'liqligidek bo'ladi. K_4 ko'zguning ma'lum vaziyatida joylashuvida va yorug'lik bu ko'zgu yuzining D diafragma bilan cheklangan ma'lum qismidan qaytganida ma'lum to'liq uzunligiga ega bo'lgan yorug'lik dastasigina K kyuveta xajmining faol qismiga qaytadi. Boshqa to'liq uzunliklariga ega bo'lgan nurlanishlar uchun isrof ko'p bo'ladi.,

chunki bu nurlanishlar uchun tsiklik sharti ko'zguning **D** diaqram bilan to'liq yoki qisman yopilgan qismlaridan qaytishda bajariladi. **P** prizmani chizma tekisligiga tik o'q atrofida aylantirsak, yuqorida bayon etilgan qulay sharoitlar turli to'liq uzunliklariga keladi. Shu usul bilan lazerning nurlanish chastotasini keng oralikda bir tekis o'zgartirish mumkin. holatdagi fotosuratlar **P** prizmaning uch xil vaziyati uchun olingan.

13.5. Bo'yoq modddali lazerlarning qo'llanishi.

Bo'yoq moddali lazerlar chastotasi tekis o'zgartiriladigan lazerlar utriga kiradi. chastotasi tekis o'zgartiriluvchi optik kvant generatorlari (OKG) yuksak ajratuvchi qobilyatiga ega bo'lgan spektral asboblarning asosi hisoblanadi. Biror moddaning yutilish spektri aniqlashda ham shu lazerlar qulay bo'ladi. Tekshiradigan namunaga tushadigan va undan o'tayotgan lazer nurlanishi oqimini o'lchab, yutilish koeffitsientini hisoblash mumkin. Lazer nurlanishi chastotasini o'zgartirib, yutish koeffitsientini to'liq uzunligi funktsiyasi sifatida aniqlash mumkin. Mazkur uslning ajrata olish qobilyati lazer nurlanishi chizig'ining kengligi bilan bir hil bo'lishi aniq bo'lib, bu kenglikni yanada kichraytrish mumkin. Kenglik 10^{-3} sm^{-1} ga teng chiziq bera oladigan ajarta olish qobilyati "ish yuzining uzunligi 5 m bo'lgan difraksion panjaranikida bo'ladi. Lekin, bu katta difraksion panjara qurib bo'lmaydi.

Sinash savollari

1. BMLning energetik sathlarini ayting
2. BMLdan optik damlashni bayon eting
3. BMLning optik sxemasini tushuntiring
4. BMLlarning nurlanish spektrini bayon eting
5. BMLlarning qo'llanishini ayting

§ 14. QATTIQ JISMLI LAZERLAR.

- 14.1. Rubinli lazerning energetik sathlari va ishlash prinstipi
- 14.2. Rubin lazerining tuzilishi
- 14.3. Neodimli lazer

14.1. Rubin lazerining energetik sathlari va ishlash prinstipi

Rubinli lazer qattiq jisimli lazerdir. Rubin kristali alyuminiy oksidi Al_2O_3 (korund-qizil yoqut) ga maʼlum foiz (0.05 %) Cr^{+3} xrom ionini aralashtirilib hosil qilingan kristalldir. Korund koʻzga koʻrinadigan yorugʻlik diapazonida shaffof boʻladi. Lazer nurlanishida xrom ionlari asosiy oʻrin tutadi. Korundga xrom ionini qoʻshilishi uning rangini qizil boʻlishiga olib keladi. 1-rasmda xrom ionining energetik sathlari koʻrsatilgan. Unda asosiy sath E_1 , yashil E_3 va binafsha E_3 spektr sohalarida yutilish spektrlari polosalari va E_2 metastabil energetik sathlar koʻrsatilgan. Invers bandlik E_2 metastabil sathda hosil boʻladi. E_3 va E_3 yutilish spektrlari rubinli kristalini pushti rangini belgilaydi. Shu sababli rubin koʻk-yashil yorugʻlik nuri bilan yoritilsa, xrom ionini fotolyuminesstentiyasi hisobiga pushti rangi paydo boʻladi.

Rubinning nurlanish toʻlqin uzunligi $\lambda = 694,3 \text{ nm}$ ga tengdir. Rubin kristali oq yorugʻlik bilan yoritilganda (optik damlash amalga oshirilganda) asosiy sath E_1 dagi ionlar energiya qabul qilib E_3 va E_3 yutilish energetik sathlariga oʻtadi yoki u uygʻongan sathga oʻtadi. U 1-rasmda 1-oʻtish ($E_1 \rightarrow E_3$, $E_1 \rightarrow E_3$) bilan koʻrsatilgan. Xrom ionlari ortiqcha energiyasini panjara tebranishiga uzatib E_2 energetik sathiga oʻtadi (chizmada toʻlqinsimon 2-oʻtishlar). E_2 energetik sathga oʻtgan xrom ionlari soni asosiy sathdagidan kam boʻlgan holda ($N_1 < N_2$) $\tau \cong 1 \text{ ms}$ davomida $E_2 \rightarrow E_1$ (3-oʻtish) oʻtish sodir boʻlib, u nurlansiz spontan oʻtish boʻladi. Damlash katta quvvatli yorugʻlik bilan amalga oshirilsa, E_3 va E_3 yutilish energetik sathlarida s yashagan xrom ionlari sathga nurlanishsiz oʻtadilar va u erda $\tau = 3 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ yashaydilar. E_2 sathdagi xrom ionlari soni E_1 asosiy sathdagi ionlar sonidan ortganda $N_2 > N_1$ energetik sath invers bandlik sathi yoki metastabil sath holiga keladi. Majburiy $E_2 \rightarrow E_1$ (4-oʻtish) oʻtishda lazer nuri generastiyasi roʻy beradi va $\lambda = 694,3 \text{ nm}$ boʻlgan lazer nurlanishi olamiz.

14.2. Rubin lazerining ishlash prinstipi

Rubin lazerining faol muhiti rubin kristalidir. Rubin kristali uzunligi bir necha santimetr va diametri 1 sm atrofida boʻladi. Stilindrik shakldagi rubin kristalining bir asosiga qalin kumush qoplanib yorugʻlik qaytaruvchi koʻzgu K_1 olinadi, ikkinchi asosiga esa yupqaroq kumush qoplanib yarimshaffof koʻzgu K_2 olinadi. Shu iiki koʻzgu optik rezonator vazifasini oʻtaydilar. (16-rasm)

Lazerning tebrantiruvchi qismini damlash vaqti 1 millisekundni tashkil etadigan, yorqin yorugʻlik chaqnashi beradigan impulsli gaz-razryad lampalaridan foydalaniladi.

Qoʻzgʻotuvchi lampani rubin kristaliga nisbatan ikki hil holda joylashtirish mumkin. Bir holda 2 lampa 1 rubin kristalini spiral koʻrinishida oʻrab turadi. (3-a rasm). Ikkinchi holda esa rubin kristali 1 va lampa 2 ichki sirti koʻzgu boʻlgan kesimi ellips boʻlgan truba 3 ichiga joylashtiriladi.

Lazer nurlanishini olish uchun 1 sm^3 xajmdagi rubin kristalidagi xrom ionlarini uyg'otishda damlash uchun yuborilayotgan yorug'likning quvvati 2 Kvt ga yaqin bo'lishi kerak. Shu holda davomiyligi atrofidagi lazer nurlanishini olamiz.

Rubin kristalini yoritish uchun ksenonli gaz-razryad lampalari 2 qo'llanilib, lampalar orqali yuqori votli kondensatorlar batareyasi razryadlanadi. Kondensatorlar batareyasining sig'imi 10^3 mkF bo'lib, u 2-3kV gacha zaryadlanadi (4-rasm). Kodensator batareyasini katta kuchlanishli manbadan kalitlar P_1 va P_2 yordamida zaryadlanadi.

Rubin lazerda aylanuvchi prizma yordamida asllikni modullash orqali nurlanish impulsi davomiyligini $\tau = 10^{-7} \text{ s}$ ga erishilsa, nurlanish quvvati 10^7 Vt ga etadi.

Kichik inerstyali keer yacheykasidan foydalanib impuls davomiyligini $\tau = 10^{-8} \text{ s}$ olinganda yoki impuls davomiyligini nanosekundga etganda nurlanish quvvatini 10^{10} Vt ga etkazish mumkin.

14.3. Neodimli lazer

Yerda kam uchraydigan elementlar neodim va samariy ionlari kiritilgan kristallar kalstiy flyuorit CaF_2 va ittriy-alyuminli granat $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (IAG) va shishalar yordamida to'rt sathli lazer olish mumkin. Ayniqsa, neodimning 3 valentli ion Nd^{+3} shisha va ittriy alyuminli granat asosga yaxshi kirishadi va bu ion lazer nuri generastiyasida asosiy o'rin tutadi.

Uy haroratida $\Delta E = E_4 - E_1$, E_4 va E_1 energetik sathlar farqi tebranma harakat energiyasidan katta bo'ladi.

$$\Delta E = E_4 - E_1 \gg kT \quad (14.1)$$

Kuchli yorug'lik dastasida amalga oshirilgan optik damlash yordamida neoddim ion Nd^{+3} uyg'ongan energetik polosa E_2 ga o'tadi va bu sathda $10^{-7} - 10^{-8} \text{ s}$ yashab, so'ng metastabil energetik sath E_3 ga nurlanishsiz o'tadi. Metastabil energetik sath E_3 dan bo'sh energetik sathga o'tish kichik majbur etuvchi omil yordamida amalga oshiriladi. E_3 energetik sath uchun yashash IAG asosida 0.2 ms va shisha asosda 0.7 ms ga teng. Shisha asosga 6 % neodim kiritilganda to'lqin uzunligi $\lambda = 1,06 \text{ mkm}$ bo'lgan lazer nurlanishini olish mumkin. U impuls rejimida energiyasi 1 kJga etadi.

IAG asosiga neodim kiritilgan lazerning uzluksiz rejimdagi quvvati 1 kVt ga etadi. Neodimli lazerlarning impulsli rejimda nurlanish impulsi davomiyligini 0.5 ps gacha olish mumkin.

Katta quvvatli lazer nurlanishlarida, ayniqsa, asllikni modullash impulsli rejimda lazerning optik rezonatorlarini tashkil etuvchi yarimshaffof nur chiqish ko'zgusining parchalanib ketishi, shisha asosli asosli neodim lazerlarida faol muhit (kristall-qattiq jismning) ning parchalanishi kuzatiladi. Bu hodisa sindirish ko'rsatkichining β va chiziqli kengayish koeffistienti α ning temperatura koeffistientiga bog'liq bo'ladi.

$$W = \beta + \alpha(n-1) = \frac{dn}{dT} + \alpha(n-1) \quad (14.2)$$

Shisha asosli neodim qattiq jismlarda $W = 10^{-7} K^{-1}$ qiymatli holni olish mumkin. Ular nurlanish impuls davomiyligi $\tau = 0.1 - 1 ms$ bo'lganda parchalanish chegarasi $P = 10^3 - 10^4 \frac{J}{sm^2}$ ga

boradi. Impuls davomiyligi $1 ns$ bo'lganda, parchalanish bo'sag'asi $P = 10 - 30 \frac{J}{sm^2}$ bo'ladi.

Rubin va granatlarning asllikni modullash rejimida ishlaganda buzilish bo'sag'asi $P = 10 - 30 \frac{J}{sm^2}$ ni tashkil etadi.

§ 15. YARIMO'TKAZGICHLI LAZERLAR.

- 15.1. Yarimo'tkazgichli lazerlar haqida tushuncha
- 15.2. Yarimo'tkazgichli lazerlarda damlash va energetik sathlar.
- 15.3. Turli yarimo'tkazgichli lazerlarning tuzilishi va ishlash prinsipi.

15.1. Yarimo'tkazgichli lazerlar.

Yarimo'tkazgichli kristallar asosida tuzilgan qattiq jisimli lazerlar yarimo'tkazgichli lazerlar deyiladi. Bu lazerlarda ruhsat etilgan energetik zonalaridagi nurlanishli kvant o'tishlardan foydalaniladi. Yarimo'tkazgichli faol muhitda katta optik kuchaytirish ko'rsatkichiga ($10^4 sm^{-1}$) erishish mumkin. Bu lazerlarda rezonator uzunligi $50 mkm - 1 mm$ oralig'ida bo'ladi (47, 48, 49 – rasmlar).

Yarimo'tkazgichli lazerlar (YAL) nihoyatda kichikligi bilan birga generatsiyasizligi ($10^{-9} s$), FIK yuqoriligi (30 %), spektral tarkibini sozlab o'zgartirish mumkinligi, faol muhit sifatida ishlatiluvchi moddalar ko'pligi, nurlanish to'lqin uzunligi $\lambda = 0,3 - 30 mkm$ bo'lishi bilan birga boshqa lazerlardan ajralib turadilar.

YAL larda faol zarrachalar erkin elektronlar va kovaklar bo'lib, ular faol muhitda injeksiyalanishi, diffuziyanishi va dreyflanishi mumkin bo'lgan erkin zaryad tashuvchilar hisoblanadilar.

YAL larda asosiy damlash usuli $p - n$ o'tish yoki getereperexod orqali injeksiya bo'lib, elektr energiyasini to'g'ridan-to'g'ri aniq kogerent nurlanish energiyasiga aylantiradi. Bu injeksion lazer deyiladi.

Damlashning elektr teshib o'tish usuli (strimer lazer), elektron bilan bombardimon qilish usuli (elektron damlashli YAL), optik damlash usullari mavjud.

N.G. Basov va uning xodimlari xavola etilgan optik damlashli YAL $p - n$ o'tishda **GaAs** kristallida birinchi marta R. Xoll, M.I. Neyten (AQSH) tomonidan, elektron damlashli YAL esa Basov va uning xodimlari tomonidan yaratildi.

15.2. Yarimo'tkazgichli lazerlarda damlash va energetik sathlar.

Jadal damlash ta'sirida yarimo'tkazgichlarda optik kuchaytirish invers bandlik shartini o'tkazuvchanlik zonasining tubidagi E_s va valent zonaning yuqori chegarasida E_v bajarilganda amalga oshiriladi.

Ruhsat etilgan (o'tkazuvchanlik) zonasining yuqori energetik ishchi sathlarini elektron bilan to'ldirish, valent zonaning quyi sathlarini to'ldirish ehtimolligidan kattadir. Shu sababli majburiy nurlanishli o'tish yutilish o'tishlaridan ustunroq bo'ladi (50 – rasm).

Optik kuchaytirish kattaligi damlash intensivligiga hamda nurlanish rekombinatsiyasi ehtimolligiga va temperaturaga bog'liq bo'ladi.

YAL larda lazer materiali (faol muhit) sifatida to'g'ri zonali yarimo'tkazgichlar qo'llaniladi (masalan: $GaAs$, CdS , PbS). Ularda nurlanishning kvant chiqishi 100 % ga etishi mumkin. To'g'ri bo'lmagan zonali yarimo'tkazgichlarda Ge , Si xozircha YAL lar bunyod etishga erishilganicha yo'q. YAL lar uchun lazer materiallarining ko'p turli ekanligi YAL da keng spektral diapazonda lazer nurlanishi olishga imkon beradi.

15.3. Turli yarimo'tkazgichli lazerlar tuzilishi va ishlash prinsipi.

Injektsion YAL yarimo'tkazgichli diod bo'lib, $p-n$ o'tish va getereperexod tekisligiga pedpendikulyar bo'lgan ikki yassiparallel qirralari optik rezonator ko'zgulari vazifasini o'taydi (qaytarish koeffitsienti 30 %) Ayrim hollarda tashqi ko'zgu ishlatiladi. Diod orqali katta to'g'ri elektr toki yordamida ortiqcha zaryad tashuvchilarning o'tish yonidagi qatlamlarda to'planishi natijasida invers bandlik holatiga erishiladi. Chetki lyuminestsentsiya polosasida optik kuchaytirish nurlanishni tashqariga chiqarish, faol muhitda yutilish va rezonator ichidagi yo'qotish (sochilish) energiyalaridan ortiq bo'lganda kogerent lazer nurlanishi sodir bo'ladi. Generatsiya boshlanadigan elektr toki "bo'sag'a toki" deyiladi. Injektsion YAL larda bo'sag'aviy elektr toki zichligi

$$j = 1000 \frac{A}{cm^2} \text{ ga boradi (51, 52 – rasmlar).}$$

Geterostrukturali YAL lar keng qo'llanilmoqda. Bu lazerlar geterolazerlar deyiladi. Geteroo'tishlar $T = 300 \text{ }^{\circ}K$ da kichik "bo'sag'aviy tok zichligiga" ega bo'ladilar. Geterolazer (GL) ikkita geteroo'tish asosida ishlaydi, ulardan biri elektronlarni injeksiyalovchi $p-n$ o'tish bo'lsa (emitter), ikkinchisi faol muhitdan diffuz oqib o'tishni chegaralovchi $p-p$ o'tishdan iborat bo'lib, faol zona har ikkisi orasida joylashgan bo'ladi.

Faol muhiti kengligi 1-20 mkm bo'lgan yupqa tasma ko'rinishidagi lazerni polosali (tasmali) lazer (PL) deyiladi. Polosali geterolazerda temperatura $T = 300 \text{ }^{\circ}K$ bo'lganda tokning 5-150 mA qiymatida uzuluksiz generatsiyada nurlanish quvvati $P \approx 100 mWt = 0,1 Vt$ ga etadi. Tokning katta qiymatlarida faol muhit qizishi xisobiga nurlanish quvvati kamayadi.

Ko'p elementli injektsion YAL larda impuls ish rejimida nurlanish quvvati 10 kVt gacha etadi.

YAL lar yasashda foydalaniladigan turli kimyoviy tuzilishli geteroo'tishda ishlatilgan yarimo'tkazgichlarning kristall panjaralari davri bir xil bo'lishi lozim. YAL larda ko'p komponentali qattiq qotishmalar ko'p ishlatiladi. Ulardan o'zgarmas davrli fazoviy panjarali moddalar sistemasini olish mumkin (ular izoperiodik sistemalar deyiladi).

Qattiq aralashmali geterolazerda $Al_xGa_{1-x}As$ dan iborat geterostrukturada $p(Al_xGa_{1-x}As)$, $p(GaAs)$, $n(Al_xGa_{1-x}As)$ qatlamlari mavjud bo'ladi.

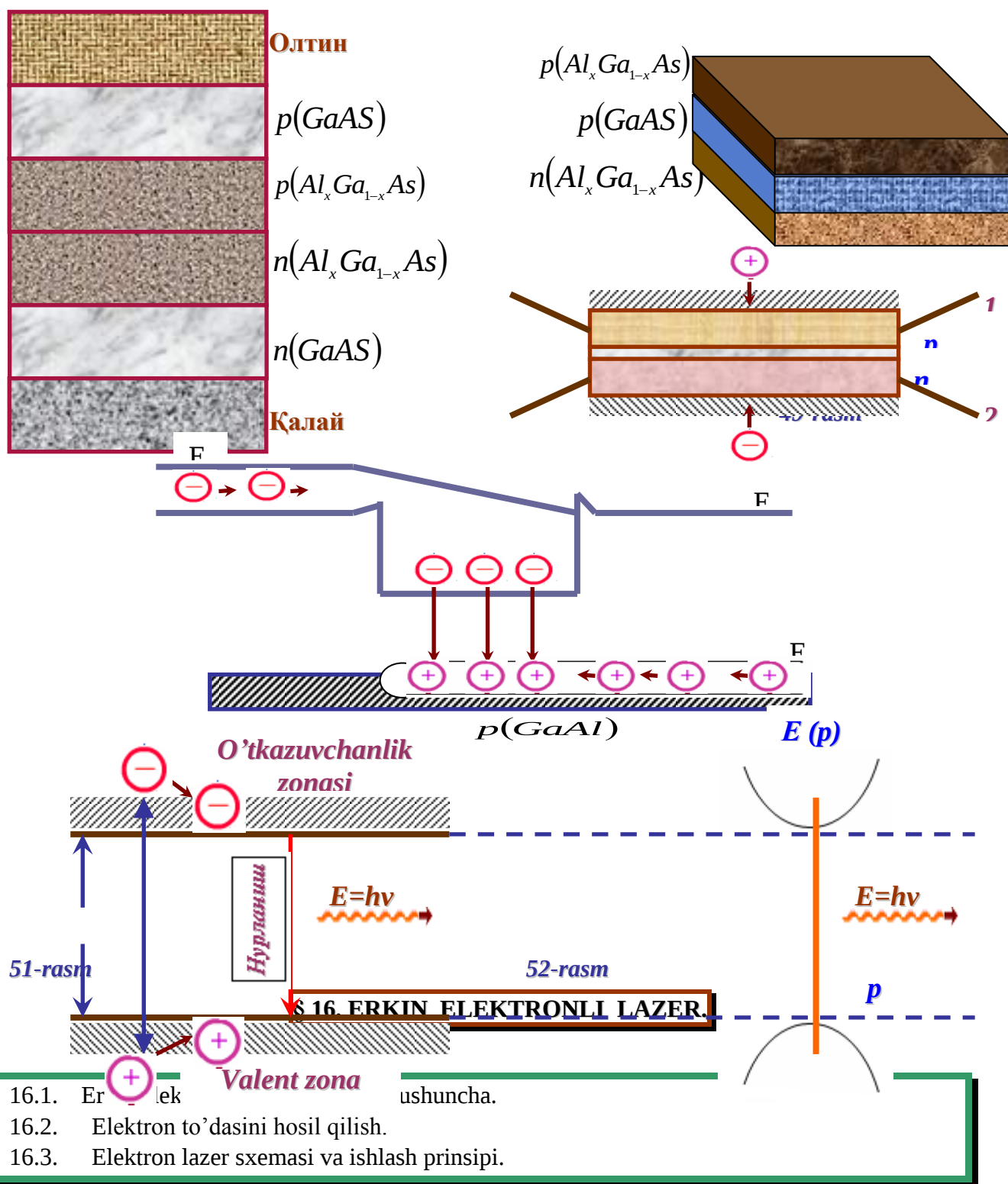
YAL larning elektron damlashli turlarida energiyalari $E = 10^4 - 10^6 \text{ eV}$ ga teng bo'lgan katta tezlikdagi elektron dastasidan foydalaniladi. Energiya qiymati kristallarda radiatsion defekt hosil qilish bo'sag'asiga etmasligi zarur. Ortiqcha zaryad tashuvchilar katta tezlikli elektronlarni sekinlatish orqali hosil qilinadi.

Elektronning energiyasiga bog'liq holda u turli chuqurlikkacha ta'sir etishi mumkin va bu holat 10^{-2} sm ga etishi mumkin. Bu kabi lazerlar faol element bilan birga, yuqori kuchlanish manbasi, elektron pushka, dastani fokuslovchi va boshqaruvchi qurilmalarga ega bo'ladilar. Bu lazerlarda faol muhitdagi nurlanishni skanirovat qilish, katta ekranga tushirish mumkin ekanligidan ular yordamida uch o'lchamli lazer televizorlari yaratish mumkin. Ushbu lazerlar nurlanish quvvati 1 MVt gacha etadi.

Sinash savollari

1. Yarimo'tkazgichli lazerlar haqida ma'lumot bering.
2. Yarimo'tkazgichli lazerlarda qanday damlash usullari qo'llaniladi va bunda qanday jarayon yuz beradi?
3. Yarimo'tkazgichli lazer faol muhiti energetik sathlarini tushuntiring
4. Yarimo'tkazgichli lazerlar tuzilishini va ishlash prinsipini izohlab bering.

15.1. yarimo'tkazgichli lazerlar.



16.1. Erkin elektronli lazer haqida tushuncha.

Elektron to'dasi oqimining ilgarilanma xarakati kinetik energiyasi yordamida majburiy elektromagnit nurlanishi olish mumkin. Ushbu nurlanish klassik qurilmalar hisoblanuvchi "yuguruvchi to'lqin lampasi" tezlatkichlar, tsiklotronlar, klistron va magnetron kabi qurilmalarda amalga oshiriladi. Majburiy nurlanishni olishni amalga oshirgan qurilmalarni lazer deb ataganimiz

uchun bu kabi qurilmalarni “erkin elektronli lazer” yoki “elektron oqimli lazer” va yoki sodda qilib “elektron lazer” deb ataladi.

O'ta yuqori chastotali vakuum elektronikasi qurilmalarining asosiy qismlarining o'lchamlari hosil qilinadigan nurlanish to'lqin uzunligi bilan solishtirarli bo'ladi.

Elektrodinamik rezonator strukturasi tebranish sistemasining bir xil qismida elektron to'dasi yuqori chastotali elektr yoki magnit maydoni bilan o'zaro ta'sirlashib, elektron kinetik energiyasini nurlanishga beradi. Elektronlarning rezonans strukturani bir elementidan o'tish vaqti hosil bo'lgan nurlanish davri T tartibida bo'ladi.

O'ta yuqori chastotali vakuum elektronikasi generatorlarida energiyasi damlanayotgan elektromagnit to'lqini va elektronning fazodagi siljishi orasida sinxronlik (bir xillik) holatiga erishiladi. Sinxronlikka erishilganda elektronlar oqim bilan elektromagnit to'lqini o'zaro ta'sirlashishi natijasida elektronlar to'dasi “elektronlarning fazoviy guruhi” hosil bo'ladi.

16.2. Elektron to'dasini hosil qilish.

Elektron to'dasi keyingi xarakati davomida olgan energiyasini u bilan sinxronlashgan elektromagnit to'lqini komponentasiga beradi. Bu majburiy (induksion) nurlanish bo'ladi.

Elektron to'dasi hosil bo'lishi barcha qta yuqori chastotali elektronlarga xos bo'lsada, ular orasida yugiruvchi to'lqinli lampa tuzilishi soddaroqdir. Bu lampada to'g'ri chiziqli tarqaluvchi yuguruvchi elektromagnit to'lqini maydoni bilan elektron to'dasi bir qancha vaqt o'zaro ta'sirlashadi. Qurilmalarda ma'lum yo'nalishda sekinlatilgan elektromagnit to'lqini olinib, uning bu yo'nalishdagi tezligi elektronlar to'dasi tezligi bilan birxillashadi.

Eng sodda sekinlatuvchi sistema spiraldir. Agar spiral $a = R$ radiusi, uning qadami d deb olsak, spiral o'qi bo'ylab elektromagnit to'lqinining faza tezligi

$$U_e \approx \frac{d}{2\pi \cdot a} \cdot c \quad (16.1)$$

bo'ladi. Elektron oqimi yo'nalishi $\vec{U}$ bilan mos bo'lganda to'lqinning tezlatuvchi va tormozlovchi ta'siri natijasida elektron to'dasi hosil bo'ladi.

54-rasmda Z yo'nalishida tarqaluvchi yuguruvchi elektromagnit to'lqining elektr maydoni kuchlanganligi E_2 ta'sirida elektronlar to'dasi hosil bo'lishi ko'rsatilgan (rasmda $t = 0$ holat keltirilgan).

$$E_2 = E_0 \sin\left(\omega t - \frac{\omega Z}{v_z}\right) \quad (16.2)$$

Rasmdan ko'rinadiki, AB va BC sohadagi elektronlar B tekisligida, CD va DE sohadagilar D tekisligida to'planib elektron to'dasini hosil qiladilar. Natijada bir-birlaridan fazaviy davri oralig'ida farqlanuvchi ($\lambda_c = BD$) elektron to'dalari hosil bo'ladi.

Elektron to'dasi va elektromagnit (maydoni) to'lqini sinxron bo'lsa, elektron tezligi V va elektromagnit to'lqini faza tezligi V_Z bir hil bo'lib, to'lqinga nisbatan elektronlar to'dasi tinch turgandagiday bo'ladi, natijada energiya almashishi sodir bo'lmaydi. Agar elektron Z o'qi bo'ylab o'ng tomonga yo'nalsa, $V > V_Z$ bajarilganda elektron to'dasi elektromagnit to'lqiniga energiya beradi. Natijada elektromagnit to'lqinining elektr maydoni kuchayadi. Bu kuchayish kogerentdir. To'lqin tomonidan olgan energiyani chiqarish kogerent lazer nurlanishini hosil qiladi. Bu kvant elektronikasi tilida majburiy nurlanish bo'ladi.

16.3. Elektron lazerini tuzilish sxemasi va ishlash prinsipi.

53-rasmda A.V. Gaponov-Grexov rahbarligida qurilgan elektron lazeri sxemasi keltirilgan.

“Ondulyator” frantsuzcha “to'lqinsimon” so'zidan, inglizcha “tebranish” so'zidan olingan bo'lib, “fazaviy davriylik” hosil qilishga bog'langan so'zlardir. Magnit maydonining davriy o'zgarishida elektron to'dasi hosil bo'lib, uni yordamida nurlanish olinadi.

$E_{kel} = 20 - 30 \text{ MeV}$, $I = 50 \text{ A}$, $k = 10\%$, $P = 10^4 \text{ Vt}$ uzluksiz rejim,

$v = 10 \text{ GGs}$, $I = 50 \text{ A}$, $E_{kel} = 10^7 \text{ eV}$, $P = 10^7 \text{ Vt}$ impulsli rejim.

Elektron fazaviy davriy sistema orqali (davri Λ) V tezlikda o'tsin. Elektroniga vaqt davri

Λ/v ga teng kuch ta'sir etadi. Elektron tezlanishi davri $\tau = \frac{\Lambda}{v}$ va chastotasi $f = \frac{v}{\Lambda}$ ga teng davriy ta'sir etuvchi kuch ta'sirida o'zgaradi. Elektron fazaviy davriy treaktoriya chizadi. Makroskopik fazaviy davriy Λ ga teng sistemada nurlanish to'lqin uzunligi

$$\lambda = \frac{c\Lambda}{v} \quad (16.3)$$

bo'lib, norelyativistik holda ushbu to'lqin uzunligi radiodapazonga mos keladi.

Elektron tezligi ortib borganda o'zgacha holat yuz beradi: Relyativistik Doppler effekti ta'sirida sistema xarakteristik o'lchamiga nisbatan nurlanish to'lqin uzunligi keskin kichrayadi. Elektron tezligi ortib, yorug'lik tezligiga yaqinlashganda ($V \rightarrow C$) relyativistik masshtab kichrayishini hisobga olsak, sistema davri

$$\lambda' = \lambda \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (16.4)$$

ga teng bo'ladi, elektron xarakatlanayotgan koordinata sistemasida unga davriy ta'sir etuvchi sistema davriyligi λ/Λ qadar ortadi. Bu erda relyativistik faktor

$$\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (16.5)$$

Elektron xarakati yo'nalishida relyativistik Doppler effekti ta'sirida chastota $\gamma\left(1 + \frac{v}{c}\right)$ marta ortadi. Agar $V \approx C$ ga etganda u 2 marta ortadi. Natijada tomozlanish nurlanish to'lqin uzunligi sistema bir jinslimasligiga nisbatan qisqaradi.

$$\lambda \approx \frac{\Lambda}{2\gamma^2} \quad (16.6)$$

Energiya $E = mc^2$ va massa $m = \gamma m_0$ (elektronning tinch holatdagi massasi) orasidagi relyativistik munosabatdan ni baholash mumkin.

Elektronni V tezlikkacha tezlatuvchi elektrostatik maydon potentsiali farqi U bo'lganda, eVlarda o'lchanuvchi elektron energiyasi $E = eU$ ifoda yordamida hisoblanadi. Bu holda

$$\gamma = \frac{eU}{m_0 c^2} \quad (16.7)$$

Elektronning tinch holatdagi energiyasi $E = m_0 c^2 = 511 \text{ keV}$ ekanidan $E = eU = 50 \text{ MeV}$ bo'lganda, relyativistik faktor $\gamma = 100$ bo'ladi. Sistemaning makroskopik faktori $\Lambda = 1 \text{ sm}$ da nurlanish to'lqin uzunligi ko'rinuvchi yorug'lik to'lqin uzunligi λ diapazoniga mos keladi.

Demak, elektron lazerda relyativistik holatning

$$\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \gg 1, \text{ yoki } (v - c) \ll 1 \quad (16.8)$$

qiymatiga ahamiyat berish zarur.

Relyativistik effekt elektron ta'sirida nurlanish chastotasi ortishi bilan bir qatorda, u elektron to'dasi va yorug'lik dastasi sinxronligini keltirib chiqaradi.

Katta energiyali elektron olinadigan tezlatkichlarda ish impuls rejimida bo'ladi. Elektromagnit to'lqini va elektron to'dasining o'zaro ta'sir fazosi siljishi davomida elektron to'da va yorug'lik to'lqini bir-biridan to'lqin uzunligidan kichik masofaga ajraydi. Shu sababli sinxronizm buzilishini hisobga olmaslik mumkin.

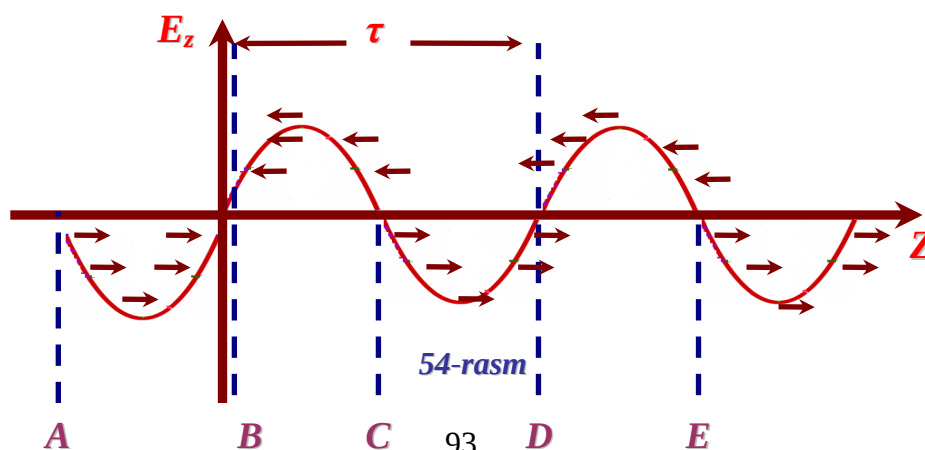
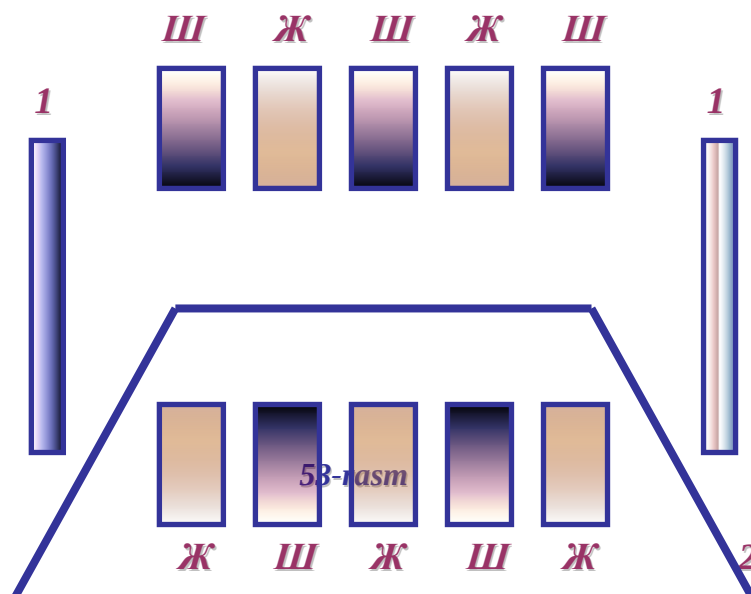
53- rasmda ko'rsatilgan magnit ondulyatorli lazerda ondulyator davri Λ ga, relyativistik faktor γ , elektron energiyasiya bog'liq holda elektromagnit to'liqini kuchaytirishi va kogerent nurlanishni submillimetrdan ultrabinafsha diapazonigacha amalga oshirish mumkin.

Ondulyator xarakterli uzunligi bir necha metr, fazoviy davriyligi $\Lambda = 1-3$ sm bo'lganda, elektron dastasi tokining bir necha Amper qiymatida, elektronning 20-30 MeV energiyali holatida kuchaytirish 10 % gacha bo'lib, nurlanishning chiqish quvvati 10 kVt ga etadi.

Ondulyatorli chiziqli tezlatkichlarda samariy-koblt doimiy magnitlar uchlaridagi kabi magnit maydoni kuchlanganligi 0,3-0,5 Tl bo'lganda, infraqizil nur diapazonida kogerent nurlanish olingan. Elektron energiyasini 10-20 MeV qiymatlarida nurlanish to'liqin uzunligini 9-35 mkm ga sozlash mumkin.

Tezlatilgan elektronlar impulsi oralig'ini 1 MGs (davomiyligi 1 mks) qiymatida nurlanish quvvati 0,5-1 Vt, elektron tokining 50 A qiymatida nurlanish impuls quvvatini 10 MVt ga etkazish mumkin.

§ 16. ERKIN ELEKTRONLI LAZER.



Sinash savollari.

1. Erkin elektronli lazer haqida ma'lumot bering.
2. Elektron to'dasi qanday hosil qilinadi ?
3. Elektro lazer sxemasini tushuntiring.
4. Elektron lazer ishlash prinsipi nimaga asoslangan ?

§ 17. LAZERLARDAN TURLI MAQSADLARDA FOYDALANISH.

- 17.1. Lazerlardan ilmiy va amaliy maqsadlarda foydalanish.
- 17.2. Lazerlardan halq xo'jaligining turli tarmoqlarida foydalanish.
- 17.3. Lazerlardan turli fanlarda foydalanish.

17.1. Lazerlardan turli maqsadlarda foydalanish asoslari. Ilmiy va amaliy maqsadlarda foydalanish.

Lazer nuri energiyasini fazoda va vaqt bo'yicha to'plash mumkinligi, ma'lu spektral intervalda yig'ishning mumkinligi ularni

- 1) impuls va uzluksiz rejimda turli moddalar bilan o'zaro ta'sirini, amalga oshirish (lazer texnologiyasi, lazer termoyadro sintezi, lazer spektroskopiyasi, ...)
- 2) atom, molekula, ionlar va molekulyar sistemalariga tanlab ta'sir etishi fotoionizatsiya, fotoximik reaksiya keltirib chiqarish lazer ximiyasida va lazer nurida elementlar izotoplarni ajaratishlarda qo'llaniladi.

Moddalarga energiya kiritishda energiya kiritilgan joyning aniqligi (lokalizatsiya) miqdoriy aniqligi, yorug'lik nurining sof ekanligi lazer nuriga xosdir.

Lazerlar texnologik jarayonlarda (metallarni kesish, qayta ishlash, payvandlash, eritish, ...) da keng qo'llanilmoqda. Bu jarayonlarda katta quvvatli gaz lazerlaridan foydalaniladi.

17.2. Lazerlardan halq xo'jaligining turli tarmoqlarida foydalanish.

Metallurgiyada vakuumda va boshqariladigan gazli muhitda o'ta toza metallar olishga imkon beradi. Nuqtaviy (svarka) payvandlash ishlarida qattiq jismli lazerlar qo'llaniladi. O'ta qisqa impulsli lazer nurlanishlari tez sodir bo'luvchi o'zgarishlarni o'rganishda va tezkor fotografiyada qo'llaniladi.

Lazer meditsinada diagnostikada va davolashda keng qo'llanilmoqda. Lazerlar ko'z va teri kasalliklarida, qonsiz xirurgik jarroxlik ishlarida samarali foydalanilmoqda.

17.3. Lazerlardan turli fan sohalarida foydalanish.

O'ta stabil lazerlar chastotalar optik satandartining asosidir, lazer seysmografi, gravimetrlar, aniq fizik priborlar asosi hisoblanadilar.

Chastotasini o'zgartirib sozlanadigan lazerlar (bo'yoq moddali lazerlar) spektroskopiyada inqilobiy o'zgarishga olib keldi. Ular spektroskopiyada ajrata olish qobiliyatini kuchaytirishga, usullar sezgirligini orttirishga asos bo'lib, xatto alohida atom spektrini olishga imkon yaratdilar (lazer spektroskopiyasi, nochiziqli spektroskopiya va boshqalar) .

Lazer lokatorlar atmosfera turli qatlamlarida ifloslanishni aniqlash va ularni bartaraf etish va boshqarishga yordam beradi, ta'sir tezligini aniqlash, atmosfera xarorati va tarkibini o'rganish imkonini beradi.

Sayyoralarining lazer lokatsiyasi tortishish doimiysi ahamiyatini aniqlashtirdi, kosmik navigatsiyani yuqori darajaga olib chiqdi. Venera va Merkuriy planetalari aylanish tezligini o'lchash va ular sirtini o'rganish imkonini berdi. Lazer lokatsiyasi Oy va Venera xarakteristikasini aniqlashtirdi. Ilgari olingan astronomik natijalar bilan taqqoslab, natijalarni to'g'riligini ta'minladi. (optik aloqa)

Lazerning paydo bo'lishi fizikaning "CHiziqli bo'lmagan optika", "Golografiya" va boshqa bo'limlarini keltirib chiqardi. Boshqariluvchi termoyadro reaksiyasini lazerdan foydalanib amalga oshirish ishlari kuchaytirildi. Lazer (kvant) giroskopi amalga oshirildi.

Lazer nurlanishi qishloq xo'jaligi zarakunandalariga qarshi kurashishida, geologik izlanishlarda, avtomatik boshqaruv ishlarida, sanoatda avtomatik nazorat ishlarida (detallarni sanash), jismlar sirtinishikastsiz nazorat qilishda keng qo'llanilmoqda.

Sinash savollari

1. Lazerdan foydalanish asoslarini ayting
2. Lazerlardan ilmiy va amaliy maqsadlarda foydalanish ayting

1-ilova

D A S T U R

Fanning ta'limiy maqsadi: - fizika yo'nalishi talabalariga lazer fizikasi fani bo'yicha nazariy bilim berish va amaliy ko'nikmalar hosil qilish.

Fanning ta'rbiyaviy maqsadi: - fizika yo'nalishi talabalarini Vatanga, Millatga muxabbat, yoshlarimizni intellectual salohiyatini oshirish uchun kurash ruhida tarbiyalash.

Fanning rivojlantirish maqsadi: - fizika yo'nalishi talabalarini Lazer fizikasi fanining zamonaviy asoslari bilan tanishtirish, ularning intellektini, bilim va ko'nikmalarini rivojlantirish.

Mazkur ishchi dastur universitetlarning «fizika-bakalavr» yo'nalishida tahsil oluvchilar uchun o'tiladigan «Lazer fizikasi» fanidan ma'ruza va seminar mashg'ulotlari uchun mo'ljallangan bo'lib, ish rejaga asosan ushbu fandan ma'ruza uchun 34 soat, seminar mashg'ulotlar uchun ajratilgan 20 soat, mustaqil talim uchun 36 soat ish hajmi uchun tuzilgan.

Lazer fizikasi kursining maqsadi - talabalarda, bo'lajak fizika o'qituvchisiga zarur bo'lgan darajada lazerlarda sodir bo'ladigan hodisalar va ularning turlari, moddaning fizik xususiyatlari hamda makroskopik sistemalarning turli agregat holatlardagi fizik xossalari (alohida jism va maydonlar uchun) haqida fenomenologik bilim, ko'nikma va malaka shakllantirishdir.

Fanning vazifasi - talabalarga laser fizikasiga doir amaliy mashg'ulotlarida o'zlashtirilgan barcha mavzular bo'yicha masalalar yechish, hisoblash ishlarini bajarib, ularga doir hulosalar chiqara olish, fizikaviy qonuniyatlari munosabatlarini to'g'ri aniqlash kabi vazifalarni o'rgatishdan iborat.

Fan bo'yicha talabalarining bilimiga, ko'nikma va malakasiga qo'yiladigan talablar:

Lazer fizikasi fani bo'yicha talabalarining bilimiga qo'yiladigan talablar: Lazer fizikasi kursini o'zlashtirishi jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida bakalavr:

- Lazer fizikasi to'g'risidagi ta'limot va uning rivojlanish tarixini bilishi kerak

-talaba Lazer fizikasi kursining bo'limlariga doir amaliy mashg'ulotlarida o'zlashtirilgan barcha mavzular bo'yicha masalalar yechish, laboratoriya ishlarini tashkil qilish, o'tkazish va hisob-kitob ishlarini bajarib, ularga doir xulosalar chiqara olish, fizik qonuniyatlarining munosabatlarini to'g'ri aniqlash kabi ko'nikmalarga ega bo'lishlari kerak.

Fanning o'quv rejasidagi boshqa fanlar bilan o'zaro bog'liqligi va uslubiy jihatdan uzviy ketma-ketligi. Lazer fizikasi boshqa fanlarning barcha bo'limlari bilan o'zaro bog'liq, undan tashqari oliy matematikaning differensial va integral hisobi, analitik geometriya, gruppalar nazariyasi, tenzorlar, kompleks o'zgaruvchilarning funksional nazariyasi, ehtimollar nazariyasi, matematik statistika, axborot texnologiyalari asoslari va informatika kabi fanlardan yetarli bilim va ko'nikmalarga ega bo'lishligi talab etiladi. Nazariy fizika astoronomiya va astrofizika, tabiiy-ilmiy va boshqa fanlar bilan uzviy bog'langan.

Fanning ishlab chiqarishdagi o'rni. Lazer fizikasini o'zlashtirgan talaba makro va mikro dunyodagi moddalarning optik tuzilishi, ularning optik xususiyatlarini, ulardagi turli optik

jarayonlarning yuz berish modellari va nazariyalari haqidagi qonuniyatlarini o'rganadi, yangi axborot texnologiyalarini qo'llab, olgan bilimlari pedagogik va ilmiy faoliyatida qo'llaydi.

Fanni o'qitishda zamonaviy axborot va pedagogik texnologiyalari. Lazer fizikasi fanini o'qitishda bir qator elektron plakatlari, tarqatma materiallar, elektron darsliklar va qo'llanmalar, virtual laboratoriyalar, internet ma'lumotlari, lokal tarmoqdagi turli o'quv, ilmiy bilimni nazorat qilish bo'yicha ma'lumotlar jamlamasidan foydalaniladi. Mustaqil ta'lim, seminarlar, aqliy hujum, vaziyatli masalalarni yechish, diskussiya, rolli o'yinlar, referatlar yozish kabi pedagogik usullar bilan fanning o'qitilishi amalga oshiriladi.

1. Ma'ruzalarga oid mavzularning mazmuni (34 s)

Kirish (2 s)

Lazer fizikasi fani. Fanning maqsadi. Fanning vazifasi, uslubiy ko'rsatmalar, baholash mezonlari. Fanning mutaxassis tayyorlashda tutgan o'rni. Predmetlararo bog'lanish. Lazer fizikasi faniga oid umumiy ma'lumotlar.

Yorug'likning modda bilan o'zaro ta'siri (2 s)

Dispersiyaning elementar nazariyasi. yorug'likning yutilishi va sochilishi.

Issiqlik nurlanishi va nurlanish qonunlari (2 s)

Spontan va majburiy o'tishlar va nurlanishlar (2 s)

Eynshteyn ishlari va koeffitsientlari.

Lazer nurlanishi quvvatini oshirish (2 s)

Generatsiya bo'sag'asi. Asllik. Lazer nurlanishi quvvatini oshirish usullari.

Damlash (2s)

Damlash usullari: optik, elektrik, gazodinamik, kimyoviy, fotodissosiasiya, elektron oqimli va injeksion usullar.

Rezonatorlar (2s)

Optik rezonatorlar. yassi parametral ko'zguli, sferik ko'zguli, konfokal optik rezonatorlar.

Lazerlarning ish rejimi (4s)

Uzluksiz va impulsli rejimli lazerlar. Ko'p sathli sistemalarda nurlanish.

Turli lazerlarning tuzilishi va ishlash prinsipi (14s)

Gazli, kimyoviy, bo'yoq moddali, qattiq jismlar, yarim o'tkazgichli va elektron oqimli lazerlar. Faol muhit energetik satxlari. Lazerlarning ishlash prinsiplari, optik sxemasi, nurlanish spektrlari va qo'llanilishi.

Lazerlarning qo'llanilishi (2 s)

II. Seminar mashg'ulotlarining mavzulari (20 s)

Kirish (2 s)

Nurlanishning modda bilan ta'siri (2 s)

Buger-Ber qonunini hisoblash, yutilish koeffitsientini tahlil qilish.

Damlash (nakachka) jarayoni (2 s)

Ikki energiya holatli sistemani damlash paytidagi kinetik tenglamalarni echish. Damlash usullari.

Issiqlik nurlanishi (2 s)

Issiqlik nurlanish qonunlari.

Abdubohiyev O'A., Tojiboyev I.I. Lazer fizikasi.

Spontan va majburiy o'tish va nurlanish (2 s)

Lazer nurlanish quvvatini oshirish.

Lazerlarning ish rejimlari (2 s)

Uzluksiz va impulsli ish rejimli lazerlar. Ko'p sathli sistemali nurlanish.

Lazer quvvatini oshirish (2 s)

Lazerlarning turlari (4 s)

Gazli, kimyoviy, qattiq jismlari, yarim o'tkazgichli lazerlar.

Optik rezonatorlar (2 s)

Yassi parallel ko'zguli, sferik ko'zguli, va ko'nfo'kal optik rezonatorlar.

III. Mustaqil ishlarning mavzulari.(36 s)

Neodim, He-Ne va SO₂-lazerlarning ishlash prinsiplari. Garmonikali nurlanishlarning fazoda tarqalish jarayonida kuchayishi. Pikosekund impulsning davomatini ilchash usullari. Dispersiyaning elementar nazariyasi. Bufer gazining roli. Ikki fotonli yutilish tenglamasini echish. Lazerlarning turlari va qo'llanilishi.

Lazer fizikasi fanidan o'tiladigan mavzular va ular bo'yicha mashg'ulot turlariga ajratilgan soatlarning taqsimoti

1-jadval

№	Fanning bo'limi va mavzusi. Ma'ruza mazmuni	Soatlar		
		ja'mi	ma'ruza	seminar
1	Кириш	4	2	2
2	Nurlanishning modda bilan ta'siri	4	2	2
3	Issiqlik nurlanishi	4	2	2
4	Damlash (nakachka) jarayoni	4	2	2
5	Spontan va majburiy nurlanish	4	2	2
6	Lazerlarning ish rejimlari	6	4	2
7	Lazer quvvatini oshirish	4	2	2
8	Lazerlarning turlari	18	14	4
9	Optik rezonatorlar	4	2	2
10	Lazerlarning qo'llanilishi	2	2	-
Ja'mi:		54	34	20

Talabalar mustaqil ta'limining mazmuni va hajmi

2-jadval

Ishchi o'quv dasturining mustaqil ta'limga oid bo'lim va mavzulari	Mustaqil ta'limga oid topshiriq va tavsiyalar	Baj mud	Hajmi (soatda)
Neodim, He-Ne va SO ₂ -lazerlarning ishlash prinsiplari.	Passiv optik rezonatorlar		6
Garmonikali nurlanishlarning fazoda	Yarim o'tkazgichli lazerlarning		6

Abdubogiyev O.A., Tojiboyev I.I. Lazer fizikasi.

tarqalish jarayonida kuchayishi.	fotofizik xususiyatlari.		
Pikosekund impulslarning davomatini o'lash usullari.	Ma'lumotlarni qayta ishlash va saqlashda lazerlar.		10
Dispersiyaning elementar nazariyasi. Bufer gazining roli.	Golografiyada lazerlar.		6
Ikki fotonli yutilish tenglamasini echish.	Erkin elektronli lazerlar.		8

2-ilova

REYTING TIZIMI

1. «Lazer fizikasi» fani yuzasidan reyting ishlanmasi

3-jadval

Fan	O'quv soatlari				85 ball												15 ball
	Ma`ruza	Seminar	Tajriba	Mustaqil	JB						OB						yakuniy
					Amaliy			mustaqil			Ma`ruza			mustaqil			
					Soni	bali	ja`mi	Soni	bali	ja`mi	Soni	bali	ja`mi	Soni	bali	ja`mi	
Lazer fiz	34	20	-	36	1	25	25	1	20	20	2	10	20	1	20	20	yozma

2. Joriy baxolash savollari

- Spontan nurlanish xodisasini tushuntiring.
- Dispersiya va uning elementar nazariyasini bayon eting.
- Issiqlik nurlanishi va sovuq nurlanishlarni izoxlang.
- Spontan va majburiy o'tishlarning kvantoelektrodinamik talqinini ayting.
- Nurlanish moddalari sinxronizasiyasini izoxlang.
- Lazerlarning impul'sli ish rejimini tushuntiring.
- Geliy – Neon gazli lazerlarning tuzilishi va ishlash prinsipini bayon eting.
- Berk hajmli uglerod oksidli lazerlar haqida so'zlang.
- Kimyoviy lazerlarning faol muxiti haqida so'zlang.
- Bo'yoq moddali lazerlarning ishlash prinsipini bayon eting.
- Rubinli lazer ish prinsipini bayon eting.
- Yarimo'tkazgichli lazerlarda damlash va energetik satxlar haqida so'zlang.
- Erkin elektronli lazerlarda elektronlar to'dasini hosil qilishni izoxlang.
- Lazerlardan ilmiy maqsadlarda foydalanishni bayon eting.

3. Oraliq baholash savollari

- Lazerlarning ishlash prinsiplarini bayon etish.
- Yorug'likning sochilishi hodisasini izoxlab bering.

3. Issiqlik nurlanishida Vinning siljish qonunini bayon eting.
4. Nurlanish quvvatini asillikni modullash usulida oshirishni tushuntiring.
5. Sferik ko'zguli va konfokal optik rezonatorlar haqida ma'lumot bering.
6. Uch satxli sistemalarda nurlanish jarayonini izoxlang.
7. To'rt satxli sistemalarda nurlanish jarayonini izoxlang.
8. Faol muxitning lazer satxini bayon eting.
9. Geliy – kadimiy gazli lazerning ish prinsipi va tuzilishini bayon eting.
10. T-lazerning ishlash prinsipi va tuzilishini bayon eting.
11. Gazodi nalik uglerod oksidli lazerlar haqida so'zlang.
12. Kimyoviy lazerlar va SO-lazerlar haqida so'zlab bering.
13. Kimyoviy lazerning qo'llanilishini bayon eting.
14. Bo'yoq moddali lazerning turlarini ayting.
15. Bo'yoq moddali lazerning qo'llanilishini bayon eting.
16. Rubinli lazerning qo'llanilishini bayon eting.
17. Neodimli lazer haqida so'zlab bering.
18. Yarim o'tkazgichli lazerning ishlash prinsipini bayon eting.
19. Erkin elektronli lazerning tuzilishini tushuntiring.
20. Lazerlardan xadq xo'jaligining turli tarmoqlarida foydalanishni bayon eting.

4. Mustaqil ish savollari

1. Spontan va majburiy nurlanish hodisalarini tushuntiring.
2. Yorug'likning yutilishi hodisasini tushuntiring.
3. Issiqlik nurlanishda Kirxgoff va Stefan – Bol'sman qonunini ayting.
4. Majburiy nurlanishda Eynshteyn koeffisientlari orasidagi munosabatni yoritib bering.
5. Yassi parallel ko'zguli optik rezonatorlar haqida ma'lumot bering.
6. Lazerning uzluksiz ish rejimini tushuntiring.
7. Metall bug'lari aralashmali gaz lazerlari haqida ma'lumotlar bering.
8. Oqimli uglerod oksidli lazerlar haqida so'zlang.
9. Kimyoviy lazerning ishlash prinsipini ayting.
10. Bo'yoq moddali lazerning tuzilishini bayon eting.
11. Rubinli lazerlar tuzilishini bayon eting.
12. Turli yarim o'tkazgichli lazerning bayon eting.
13. Erkin elektronli lazerlar ishlash prinsipini bayon eting.
14. Lazerlardan amaliy maqsadlarda foydalanishni bayon eting.

5. Yakuniy nazorat savollari

1. Lazer nurlarning xossalari tushuntiring.
2. Yorug'likda Donner effekti hodisasi va Vavilov – Cherenkov nurlanishni izoxlang.
3. Issiqlik nurlanishda Reley –Jins va Plank formulalarni tushuntiring.
4. Lazer nurlanish chizig'i kengligini va yonmodalarni bayon eting.
5. Lazer qurilmalarida damlash usullarini bayon eting.
6. Ko'p sathli sistemalarda lazer nurlanishni izoxlang.
7. Gazli lazerning ishlash prinsipi va tuzilishini bayon eting.
8. Uglerod oksidli lazerning ishlash prinsipi va tuzilishi haqida so'zlang.
9. Kimyoviy lazerlar haqida so'zlang.
10. Bo'yoq moddali lazerlar xaqida ma'lumotlar bering.

11. Qattiq jisimli lazerlar haqida so'zlang.
12. Yarim o'tkazgichli lazerlar haqida ma'lumotlar bayon eting.
13. Erkin elektronli lazerlarning ishlash prinsipi va tuzilishni bayon eting.
14. Lazerlardan turli maqsadlarda foydalanish bayon eting.

Darslik va o'quv qo'llanmalar ro'yxati.

Asosiy adabiyotlar:

1. Karlov N.V. Lekcii po kvantovoy elektronike. M.; Nauka, 1988.
2. Svelto O. Prinsipi lazerov. M.; Mir, 1990.
3. Krilov K.I. i dr. Osnovi lazernoy texniki. L.; «Mashinostroenie», 1990.
4. Tursunov A.T., Tuxliboev O. Kvant elektronikasiga kirish.
5. Demtredner V. Lazernaya spektroskopiya, Nauka, M.;1985
6. Landsberg G.S. Optika, Nauka, M.; 2005.

Qo'shimcha adabiyotlar:

1. Klimantovich yu.ya. Kvantovie generatori sveta i nelineynaya optika, Prosveshchenie. 1968.
2. Tarasov L.V. Fizicheskie osnovi kvantovoy elektroniki. M.; Sov. radio, 1976.
3. Ryabov S. G. i dr. Pribori kvantovoy elektroniki. M.; Sov. radio, 1976.
4. Ishenko E.F., Klimkov yu. M. Opticheskie kvantovie generatori. M.; Sov. radio, 1976.
5. Spravochnik po lazeram, V dvux tomax, (Pod redaksiey A. M. Proxorova) M.; Sovetskoe radio, 1978.
6. Abduboyev O'.A., Tojiboev I. Lazer fizikasi. Andijon. 2007 y.

MUNDARIJA

№	So'z boshi	3
§ 1	Lazerlar haqida tushuncha	5
§ 2	Yorulikning modda bilan o'zaro ta'siri	13
§ 3	Isiqlik nurlanishi	22
§4	Spontan va majburiy o'tishlar. Eynshteyn koeffestientlari.	34
§5	Nurlanish quvvatini oshirish va uning usullari	42
§6	Damlash	46
§7	Optik rezonatorlar	56
§ 8	Lazerlarning ish rejimlari	63
§9	Ko'p li sathli sistemalarda nurlanishi	70
§10	Gazli lazerlar	78
§11	Uglerod oskidli lazerlar.	85
§12	Kimyoviy lazerlar	89
§13	Bo'yoq moddali lazerlar	95
§14	Qattiq jismli lazerlar.	99
§15	Yarimo'tkazgichli lazerlar	103
§16	Erkin elektronli lazerlar	107
§17	Lazerlardan turli maqsadlarda foydalanish	112
	Ilovalar	115
	Adabiyotlar	122

