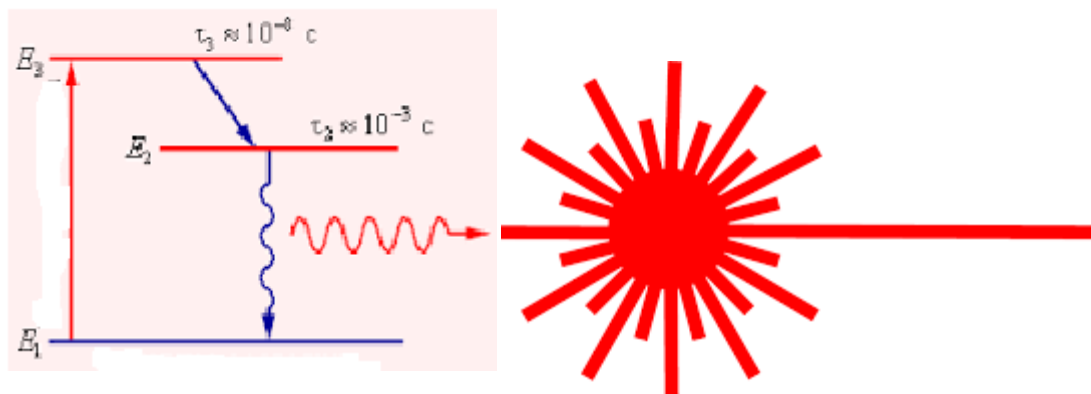


**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI**



**FIZIKA FAKULTETI
NAZARIY FIZIKA KAFEDRASI
FIZIKA YO'NALISHI 4-KURS TALABALARI UCHUN
“LAZER FIZIKASI ASOSLARI ” FANIDAN**

AMALIY MASHG'ULOTLAR ISHLANMASI

Tuzuvchi: F.R. Ismailov

SAMARQAND 2016

Ushbu amaliy mashg'ulot ishlanmasi lazer fizikasi asoslari fani uchun yozilgan bo'lib "Kadrlar tayyorlash milliy dasturi" va "Ta'lim haqidagi qonun" talablari O'zbekiston Respublikasi davlat "Standarti" asosida tuzilgan bo'lib fizika bakalavrlariga mo'ljallangandir.

Amaliy mashg'ulot ishlanmasi lazer fizikasi asoslari fanining asosiy fizik mohiyatlari yoritilgan bo'lib, unda majburiy va spontan nurlanish, nurlanish va yutilish chizigining kengligi, kuchayishi, lazerlar-kuchaytirgichlar bo'yicha taqdim etilayotgan ushbu namunaviy dastur " , optik rezonatorlar, lazer generatsiyasining umumiy nazariyasi, lazerlarning turlari, tuzilishi va ularning ishlash prinsiplari bayon etilishda shu sohadagi erishilgan keyingi yutuqlarni e'tiborga olgan holda amalga oshirilishi ko'zda tutilgan.

Ushbu Amaliy mashg'ulot ishlanmasi lazer fizikasi asoslari fani bo'yicha yaratilgan darsliklar, o'quv qo'llanmalar, uslubiy qo'llanmalar , ma'ruzalar matni hamda internet ma'lumotlari asosida yaratilgan bo'lib, undamasalalar yechish namunalari va to'plami, savol-javoblar, test savollari jamlangan.

KIRISH

Fizika qonunlarini bilish deganda, bu ularni ta'riflashni bilish bo'lmay, balki ularni aniq masalalarni yechishda tatbiq qilishni bilmoq demakdir. Masala yechishni bilish, talabalarning mustaqil ijodiy ishlashga yordam beradi, o'rganilayotgan hodisani tahlil qilishga o'rgatadi, ularni keltirib chiqargan sabablarni (faktorlarni) ajratib olishga imkon beradi.

Mustaqil ravishda masala yechish jarayoni eng ko'p foyda keltiradigan jarayon bo'lib, quyidagi amaliy mashg'ulotlar ishlanmasi qo'llanma buni amalga oshirishga qaratilgan. U lazer fizikasi programmasi asosida tuzilgan bo'lib, semestrga ajratilgan masalalarni va metodik ko'rsatmalarni o'z ichiga oladi.

Uy vazifasi uchun mo'ljallangan masalalar variantlar bo'yicha taqsimlangan bo'lib, har bir variant o'z ichiga bir necha masalani oladi. Har bir mavzu oldidan masala yechish bo'yicha qisqacha uslubiy ko'rsatmalar va tavsiyalar berilgan, har bir mavzu ichida masalalarni turli tiplarga bo'linishi bilan ularni yechish misollari ko'rilgan.

Masalalarni tushungan holda yechish faqat shunga tegishli nazariy materialni to'liq o'zlashtirgan holdagina mumkindir. Buning uchun har bir mavzu bo'yicha darsga tayyorlanishda material muommolarini yaxshi tushunishda va ularni to'g'ri talqin qilishda talabalarning e'tiborini jalb qilishga imkon beruvchi nazorat savollari keltirilgan.

Ushbu mashg'ulot ishlanmasidan foydalangan holda talaba:

1. Nazorat savollari va ko'rsatilgan adabiyot yordamida berilgan bo'limni sinchiklab o'rganishi kerak.
2. O'qib o'rganilgan nazariyaga, uslubiy ko'rsatma va misollarga tayangan holda o'qituvchi tomondan ko'rsatilgan variant bo'yicha uy vazifasini mustaqil bajarish kerak.
3. Shu bilan uning uyga berilgan masalalarga nisbatan murakkab masalalarni auditoriyada yechishda aktiv va ijodkor ishga tayorlashi lozim.
4. Har bir mavzu bo'yicha uy vazifasini talaba auditoriyadagi darsga qadar bir kun oldin topshirishi kerak.

Masalalarni yechishda quyidagi qoidalarga amal qilish maqsadga muvofiq bo'ladi.

1. Eng avval, masalani sinchiklab o'qib, uning mazmunini tushunib olish zarur. Agar masalaning harakteri imkon bersa, uni tushuntiruvchi rasm chizish kerak.

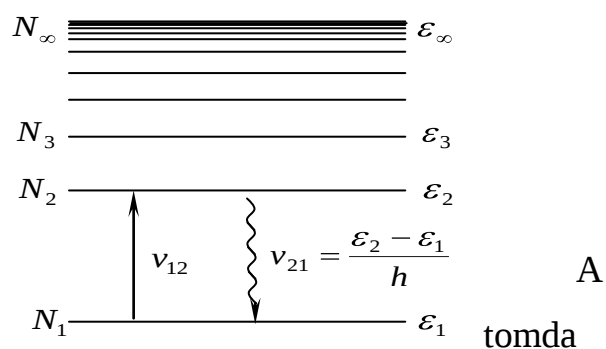
2. Masalani tahlil qilib, qanday obyektlar yoki protsesslar haqida soʻz ketayoʻtganligini, qanday kattaliklar ularni aniqlayotganligini, koʻrilayotgan hodisalar qanday fizik qonuniyatlarga boʻysunishini aniqlash kerak.
3. Masalani yechishda optimal metodni tanlab olish kerak.
4. Avval masalani umumiy koʻrinishda yechib, bunda qidirilayoʻtgan kattalik masalada berilgan kattaliklar orqali ifodalanishi kerak.
5. Berilgan kattaliklarni son qiymatlari bir sistema – SI sistemasida qoʻyilishi kerak.
6. Masala yechishni oxirida oʻlchov birligini mosligi tekshirilishi zarur.
7. Uy vazifasini tayyorlashda, ishlatilayotgan qonunlar va formulalar qisqa, ammo batafsil tushuntirilishi kerak.
8. Olingan javobni son qiymatini toʻgʻri ekanligini baholang.

1-AMALIY MASHGʻULOT

Energetik holatlar va foton nurlanishlari

Faraz qilaylik, modda bir jinsli atomlardan tashkil topgan boʻlsin. Atomlar oʻrtasida oʻzaro taʼsir boʻlmaganda, Bor postulatiga koʻpa alohida ajratib olingan yakka atomning elektron spektri qator ustma-ust joylashgan energetik sathlardan iborat boʻladi (1-rasm). Agar energetik sathlarning energiya qiymatlarini $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_\infty$ deb belgilasak, ular oʻrtasida $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3 < \dots < \varepsilon_\infty$ munosabat mavjud. Energetik sathlarning bunday ketma – ket toʻplamiga atomning energetik spektri deb ataladi. Energiyaning eng kichik qiymatiga mos keluvchi ε_1 energetik sathga – atomning asosiy holati, undan yuqori $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_\infty$ energetik sathlarga atomning oʻygʻongan holatlari deyiladi.

1-rasm. $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_\infty$ - statsionar energetik sathlarning energiya qiymatlari. $N_1, N_2, N_3, \dots, N_\infty$ - energetik sathlardagi atomlar soni.



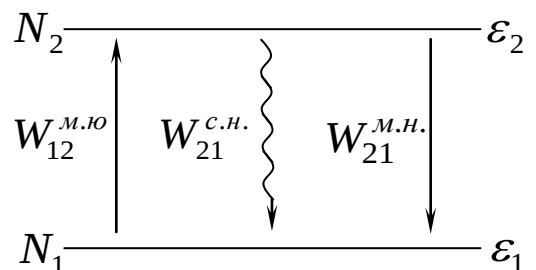
elektronlar bir energetik sathdan ikkinchi energetik sathga oʻtganda, atom

elektromagnit to'liqlarini chiqarishi yoki yutishi mumkin. Shu energetik sathlardan ikkitasini alohida olib qaraymiz. Atomlarning ikki energetik sathli modeli yorug'likning atomlar bilan o'zaro ta'sirini o'rganishni va o'zaro ta'sirlarni ifodalashni osonlashtiradi. Birinchi energetik sathdagi atomlar sonini N_1 va ikkinchi energetik sathdagi atomlar sonini esa N_2 deb belgilaymiz. (2-rasm) Agar modda atomi ε_2 energetik sathda, ya'ni uyg'ongan holatda bo'lsa, ma'lum vaqtdan keyin tashqi yorug'lik maydoni ta'sirisiz o'z-o'zidan (spontan ravishda) ε_1 ga qaytishga intiladi va qaytganda $(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$ energiya farqiga teng energiya ajralib chiqadi. Uyg'ongan atomning asosiy energetik sathga o'z-o'zidan qaytishi va o'sha vaqtda yorug'lik kvantini chiqarishi hodisasiga spontan nurlanish deyiladi. Spontan nurlanish tufayli ajratib chiqarayotgan kvantlar ixtiyoriy yo'nalishda tartibsiz tarqaladi. Nurlanish chastotasi ν_{21} quyidagicha aniqlanadi:

$$\nu_{21} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{h} \quad (1)$$

$h = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ erg s}$ - Plank doimiysi.

2-rasm. Majburiy yutilish ($W_{12}^{m.yu}$), majburiy nurlanish ($W_{21}^{m.n.}$) va spontan nurlanishlar ($W_{21}^{s.n.}$) ehtimoliyatlari.



Ma'lum bir dt vaqt davomidagi spontan o'tishlar soni quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$dN_{21}^{s.n.} = A_{21} N_2 dt \quad (2)$$

Bunda: A_{21} - spontan nurlanishning ehtimoliyati yoki spontan nurlanish uchun Eynshteyn koeffitsiyenti deyiladi. Bu koeffitsiyent ikkinchi energetik sathdagi atomning yashash vaqti bilan quyidagicha bog'langan:

$$A_{21} = \frac{1}{\tau_{sp}}, \quad (3)$$

A_{21} -koeffitsiyent vaqt birligidagi spontan kvant o'tishlar soni orqali aniqlanadi.

Endi atomlar uyg'ongan ε_2 energetik sathda joylashgan bo'lsin va shu modda atomlariga tashqaridan ν_{12} chastotali yorug'lik to'liqini kelib tushsin. Shu paytda

yuqorida ko'rib o'tilgan spontan kvant o'tishdan tashqari majburiy kvant o'tishlar ham mavjud bo'lishini A.Eynshteyn aniqladi. Tashqaridan tushayotgan yorug'likning chastotasi atomning ε_2 energetik sathdan ε_1 energetik sathga o'tish chastotasiga mos kelgandagina atomlarning majburiy ravishda ε_2 dan ε_1 ga o'tishi kuzatiladi va yorug'likning nurlanishi ko'zatiladi. Majburiy nurlanish spontan nurlanishdan tubdan farq qiladi. Spontan nurlanishda yorug'lik to'lqinlarining fazalari o'zaro bog'lanmagan va yorug'lik kvanti tartibsiz ravishda turli yo'nalishda tarqalsa, majburiy nurlanishda esa hosil bo'lgan yorug'lik to'lqini fazasi, chastotasi va qutblanishi tashqaridan moddaga tushgan yorug'lik to'lqinining fazasiga, chastotasiga va qutblanishga aynan teng bo'ladi. Majburiy nurlanishdan hosil bo'lgan yorug'lik kvanti bilan tashqi yorug'lik kvantlari bir-birlaridan mutlaqo farq qilmaydi va ular bir xil tarqalish yo'nalishiga ega bo'ladi. Shuning uchun ham majburiy nurlanish tashqi yorug'lik energiya zichligi – $\rho_{\nu_0}(\nu)$ ga va ikkinchi sathdagi atomlar soni N_2 ga bog'liq. Atomlarning dt vaqt davomida majburiy nurlanishlar soni quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$dN_{21}^{m,n} = B_{21}\rho_{\nu_0}(\nu)N_2dt, \quad (4)$$

Bunda, B_{21} - majburiy nurlanish ehtimoliyati yoki majburiy nurlanish uchun Eynshteyn koeffitsiyenti deyiladi, ($\rho_{\nu_0}(\nu) = \text{erg} / \text{sm}^3$).

Shunday qilib, majburiy nurlanish – bu tashqi maydon ta'siridagi nurlanishdir. Shuning uchun ham u kogerentdir.

Odatdagi sharoitda modda atomlariining ko'pchiligi asosiy energetik sathda joylashgan bo'ladi. Agar modda atomlariga tashqaridan ν_{12} chastotali yorug'lik kelib tushsa, atom asosiy energetik sathdan ikkinchi uyg'ongan energetik sathga, ya'ni $\varepsilon_1 \rightarrow \varepsilon_2$ ga o'tadi. Energiyalar farqi atomni asosiy energetik sathdan uyg'ongan ikkinchi energetik sathga o'tkazadi va shu energiyalar farqini atom tushayotgan tashqi yorug'likdan qabul qilib oladi va o'z ichki energiyasini oshiradi. Atomning tashqi yorug'lik ta'sirida pastki energetik sathdan yuqori energetik sathga ko'chirilishiga majburiy yutilish deyiladi. Atomning tushayotgan yorug'lik

energiyasini yutishi tashqaridan tushayotgan yorug'likning energiya zichligiga ($\rho_{\nu_0}(\nu)$) va birinchi energetik sathdagi atomlar soni N_1 ga bog'liq.

Majburiy yutilishning dt vaqt davomida o'tishlari soni quyidagicha aniqlanadi:

$$dN_{12}^{m.yu} = B_{12}\rho_{\nu_0}(\nu)N_1dt \quad (5)$$

B_{12} - majburiy yutilishni ifodalovchi Eynshteyn koeffitsiyenti, N_1 – asosiy energetik sathda joylashgan atomlar soni.

1-masala.

Boshlang'ich tezligini e'tiborga olmasa bo'ladigan elektron tezlashtiruvchi U potensial farqidan o'tdi. Ikki xil hol uchun De-Broyl to'lqin uzunligi hisbolansin.

1) $U_1=51$ V; 2) $U_2=510$ keV

yechish:

De-Broyl to'lqin uzunligi zarrachani impulsiga bog'liqdir.

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

Bu yerda h - Plank doimiyligi.

Agarda zarrachani mexanik energiyasi ma'lum bo'lsa uni impulsini topish mumkin. Impulsni kinetik energiya bilan bog'lanishi norelyativistik va relyativistik holatlar uchun har xil ko'rinishdadir.

Norelyativistik hol uchun

$$P = \sqrt{2m_0W_k} \quad (2)$$

bu yerda m_0 - zaryachaning tinch holatdagi massasi.

Relyativistik hol uchun

$$P = \frac{1}{c} \sqrt{(2W_0 + W_k)W_k} \quad (3)$$

bu yerda W_0 - zarrachani tinch holatdagi massasi.

(2) va (3) formulalarni nazarda tutib norelyativistik holat uchun:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0W_k}} \quad (4)$$

Relyativistik hol uchun

$$\lambda = \frac{h}{\frac{1}{c} \sqrt{(2W_0 + W_k)W_k}} \quad (5)$$

Potensiallari $U_1=51$ V va $U_2=510$ kV bo'lgan maydondan o'tgan elektronlarni kinetik energiyalarini elektronni tinch holatdagi massasi bilan

taqqoslab (4) yoki (5) formuladan foydalanishni topamiz va De-Broyl to'liqini uzunligini hisoblaymiz.

Potensiallar farqi U bo'lgan maydondan o'tgan elektronning kinetik energiyasi.

Birinchida holda $W_1 = eU_1 = 510 \text{ eV} = 0.51 \cdot 10^{-4} \text{ MeV}$ bu energiya elektronni tinch holdagi energiyasi $E_0 = m_0 c^2 = 0.51 \text{ MeV}$ dan juda kichikdir, demak bu holda (4) formulani qo'llash mumkin.

Masalani biroz soddalashtirish uchun $W = 10^{-4} m_0 c^2$ deb olamiz. (4) formulaga qo'yib

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m_0 \cdot 10^{-4} \cdot m \cdot c^2}} = \frac{10^2 h}{\sqrt{2} m_0 c}$$

Bu yerda $\frac{h}{m_0 c}$ kompton to'liq uzunligi λ dir, demak $\lambda_1 = \left(\frac{10^2}{\sqrt{2}}\right) \lambda$ lekin

$\lambda = 0.00243 \text{ nm}$,

$$\lambda_1 = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \cdot 0.00243 \text{ nm} = 0.171 \text{ nm}$$

Ikkinchi holda kinetik energiya

$W_2 = eU_2 = 510 \text{ keV} = 0.51 \text{ MeV}$,

Ya'ni elektronni tinch holatdagi energiyasiga teng. Demak bu holda relyativistik (5) formuladan foydalanish kerak. Bunda $W_2 = 0.51 \text{ MeV} = m_0 c^2$ ligidan foydalanib (5) formuladan

$$\lambda_1 = \frac{h}{\frac{2}{c} \sqrt{(2m_0 c^2 + m_0 c^2) m_0 c^2}} = \frac{h \cdot c}{\sqrt{3} m_0 c^2}$$

yoki $\lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \lambda$

λ -ni qiymatini qo'yib. $\lambda_2 = \frac{0.00243}{3} \text{ nm} = 0.00081 \text{ nm}$

2-masala.

Vodorod atomida elektronning kinetik energiyasi $W_k = 10 \text{ eV}$ ga teng. Noaniqliklar munosabatidan foydalanib atomni eng kichik (minimal) o'lchamlarini hisoblang.

ECHISH:

Koordinata va impuls uchun noaniqliklar munosabatlari:

$$\Delta x \Delta P \geq \hbar \quad (1)$$

bu yerda Δx - zarrachani koordinatasini noaniqlikligi ΔP - zarrachani impulsini noaniqlikligi:

$\hbar$ - Plank doimiysini 2π ga nisbati.

Noaniqliklar munosabatidan chiqadigan xulosa shundan iboratki bunda fazoda zarrachani o'rnini qanchalik aniqlamoqchi bo'lsak, uning impulsini shunchalik aniqlash qiyin bo'ladi, o'z navbatida energiya va vaqt ham shundaydir.

Atomni chiziqli o'lchamlari l ga teng bo'lsin, bunda elektron $\Delta x = \frac{\ell}{2}$ o'lchamidagi noaniqlikka ega bo'ladi.

Bu holda noaniqliklar munosabati (1) quyidagicha ko'rinishda bo'ladi.

$$\frac{\ell}{2} \cdot \Delta P_x \geq \hbar \quad (2)$$

bunda

$$\frac{\ell}{2} \geq \frac{\hbar}{\Delta P_x} \quad (3)$$

ΔP_x impuls noaniqligi impuls P qiymatidan katta bo'lmasligi kerak, ya'ni $\Delta P_x \ll P$

Impuls P kinetik energiya W_k bilan quyidagicha bog'langan

$$P = \sqrt{2mW_k}$$

$\Delta P_x \ll \sqrt{2mW_k}$ bilan almashtiramiz (bunda l ni Qiymati o'zgarmaydi).

Noaniqlikdan tenglikka o'tib

$$\ell_{\min} = \frac{2\hbar}{\sqrt{2mW_k}}$$

Son qiymatlarini o'rniga qo'yib hisoblaymiz

$$\ell_{\min} = \frac{2 \cdot 1.05 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^7}} = 1.24 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

3-masala.

Vodorod atomidagi elektron 4-energetik satxdan 2-energetik satxga o'tdi. 1) Bunda atomdan chiqqan fotonning energiyasini toping, 2) Vodorod atomini orbital magnit momentini o'zgarishini toping.

Yechishi:

1) Fotonning energiyasini topish uchun to'liq uzunligini topamiz kerak buni esa vodorodga o'xshash atomlar uchun formuladan foydalanamiz:

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1)$$

bu yerda λ - fotonning to'liq uzunligi

R - Ridberg doimiyligi

Z - Nisbiy birliklarda yadroni zaryadi
(vodorod uchun $Z=1$)

n_1 - Elektron o'tgan orbitani nomeri

n_2 - Elektron qaysi orbitadan o'tgan, orbitasini nomeri.

Fotonning energiyasi W - quyidagi formula orqali topiladi

$$W = \frac{hc}{\lambda}$$

(1) formulani har ikki tomonini (hc) ga ko'paytirib foton energiyasini topamiz:

$$W = Rhcz^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Rhc - kattalik vodorod atomini ionlashtirish I_0 qiymatini beradi demak

$$W = I_0 z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

hisoblashni sistemaga kirmagan o'lchov birligida bajaramiz bunda: $I_0 = 13.6 \text{ eV}$ ga teng. $z=1$ (vodorod atomini zaryadi nisbiy zaryadni o'lchov birligi elektron zaryadiga tengdir va u 1 ga teng)

$$n_1=2; \quad n_2=4$$

$$\text{demak} \quad W = 13.6 \cdot 1^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) \text{ eV} = 13.6 \cdot \frac{3}{6} = 2.55 \text{ eV}$$

2) orbital magnit momentini uni orbital impuls momenti L bilan bog'lanishi orqali ya'ni giromagnetik nisbat orqali topish mumkin,

$$\text{ya'ni} \quad \Gamma = \frac{P_m}{L} = \frac{\ell}{2m}$$

bu yerda e - elektronning zaryadi, m - uning massasi. Bu yerdan

$$P_m = L = \frac{\ell}{2m} \quad (2)$$

Orbital impuls momenti L Borning P-postulatidan topiladi, ya'ni impuls momenti Plank doimiyligiga karrali bo'ladi:

$$L = \hbar \cdot n$$

bu ifodani (2) ga qo'yib

$$P_m = \frac{\ell}{2m} \hbar \cdot n$$

yoki $P_m = \mu_0 n$: bu yerda μ_0 - Bor magnetoni orbital magnit momentini o'zgarishini ($n_2=4$) va ($n_1=2$) satxlar orasidagi farq deb olamiz:

$$\Delta P_m = P_{m2} - P_{m1} = \mu_0 n_2 - \mu_0 n_1 = \mu_0 (n_2 - n_1)$$

Bor magnetoni $\mu_0 = 0.927 \cdot 10^{-23} \text{ J/Tl}$ ni va boshqa son qiymatlarini qo'yib $\Delta P_m = 0.927 \cdot 10^{-23} (4-2) = 1.854 \cdot 10^{-23} \text{ J/Tl}$.

Mashg'ulotda mustaqi ishlanadigan masalalar

1- Impuls rejimida ishlayotgan lazer 1 kVt quvvat iste'mol qiladi Bitta impulsning davom etish muddati? 5 mks, 1 s dagi impulsar soni 200 ga teng. Agar iste'mol qilinayotgan quvvatning 0,1% i nurlanishga sarflanayotgan bo'lsa, bitta impulsning nurlayotgan energiyasi va quvvatini toping

- 2- Uzluksiz rejimda ishlayotgan geliy-neon (He - Ne) gazli lazer 40 mVt quvvatga erishib, to`lqin uzunligi 630 nm bo`lgan monoxromatik yoruglik nurlanishi beradi. Lazer 1s ichida qancha foton nurlaydi?
- 3- Suyuqlikli lazerning impulsi quvvati 100 kVt bitta impulsning davom etish muddati 1 mks, har sekunddagi impulslar soni 400. Nurlash tarqalishi' 2 mrad. nurga perpendikulyar joylashgan va 6 m masofada turgan yuzi? 1 sm^2 nurlantirilayotgan sirtga 1 impulsda qancha energiya? tushadi; 1 s da-chi? Energiya isrofini xisobga olmang. Manbani nuqtaviy deb xisoblang.
- 4- Kislorod atomini ionlashtmrish uchun 14 eV ga yaqin energiya zarur Ionlashtnruvchi nurlanishning chastotasini toping
- 5- Neon atomini bir karra ionlash uchun 21,6 eV, ikki karra ionlash uchun 41 eV, uch karra ionlysh uchun 64 eV energiya talab qilinadi. Neon nurlarining eng, kichik to`lqin uzunligi 500 nm bo`lgan lazer nurlari bilan nurlantnrilsa, qanday ionlanish hosil qilish mumkin?
- 6- Quvvati 100 mVt bo`lgan uzluksiz rejimda ishlaydigan geliy – neon lazeri 1 s ichida  $5^{20}$  ta foton chiqaradi. Nurlanishning o`rtacha to`lqin uzunligini toping.
- 7- Spektr ko`rinadigan qismining eng uzun ( $\lambda=0,75 \text{ mkm}$ ) va eng qisqa ( $\lambda= 0,4 \text{ mkm}$ ) to`lqinlariga tug`ri kelgan fotonlar energiyasini aniqlang?
- 8- Fotonlarnning energiyasi $2 \cdot 10^{-17}$, $4 \cdot 10^{-19}$, $3 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ ga teng bo`lgan nurlar qaysi turga tegishli?
- 9- Yoqut lazeri 12 kVt quvvat iste'mol qiladi Bitta impulsning davom etish muddati 1 mks, 1 s dagi impulslar soni 1000 ga teng. Agar iste'mol qilinayotgan quvvatning 0,1% i nurlanishga sarflanayotgan bo`lsa, bitta impulsning nurlayotgan energiyasi va quvvatini toping
- 10- Quvvati 1 Vt bo`lgan uzluksiz rejimda ishlaydigan lazer 1 s ichida  $5^{25}$  ta foton chiqaradi. Nurlanishning o`rtacha to`lqin uzunligini toping.

2-AMALIY MASHG'ULOT

Manfiy temperatura

Aktiv moddada $N_2 > N_1$ tengsizlik o'rinli bo'ladi va u inversion ko'chganlik nomi bilan yuritiladi. Moddada inversion ko'chganlik holatini damlash yo'li bilan hosil qilinadi. Inversion ko'chganlik ham Bolsman taqsimotiga bo'ysunadi. Inversiya hosil qilinganda Bolsman taqsimotiga ko'ra aktiv modda temperaturasi manfiy ishoraga ega bo'ladi. Manfiy ishorali temperaturasini tushunish uchun Bolsman formulasini tekshirib ko'rayliq

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

$$\ln \frac{N_2}{N_1} = \frac{-\Delta \varepsilon}{kT}. \quad (1)$$

Bundan moddaning temperaturasi T ni topsak, u:

$$T = -\frac{\Delta \varepsilon}{k} \left[\ln \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \right]^{-1}, \quad (2)$$

Bu esa inversiya hosil qilingan moddaning temperaturasidir.

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

Masalalar yechishdan namunalar

1. Ikkita energetik sath tashkil topgan kvant sistemasi 300 K haroratda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar energiyalarning farqi neodim lazeri nurlanishining to'lqin uzunligiga mos kelsa, quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini toping.

Yechilishi. Termodinamik muvozanatda energetik sathlarda Bolsman taqsimoti bo'yicha taqsimlanadi. Ikki holatli sistemalar uchun statistik og'irliklari teng ($g_1=g_2$)

$$n_2=n_1 e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \quad (1)$$

bu erda n_2 va n_1 - sathlarning holati

$\Delta E=E_2-E_1$ -energiya sathlari farqi $k= 1,38 \cdot 10^{-23}$ – Bolsman doimiysi T - temperatura (k) birligi. Foton E_1 dan E_2 o'tgan energetik sathga o'tganda energiya farqi quyudagicha

$$\Delta E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad h=6,66 \cdot 10^{-34} \text{ –Plank doimiysi } c=3 \cdot 10^8 \text{ -vakuumdagi}$$

yorug'likning tezligi λ -fotonning to'lqin uzunligi Neodim lazeri uchun $\lambda= 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

$$(1) \text{ boyicha } \frac{n_2}{n_1} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}} = e^{-\frac{hc}{\lambda kT}} ; \quad \frac{n_2}{n_1} = e^{-\frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,06 \cdot 10^{-6} \cdot 300 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}} \approx e^{-45} \approx 2,5 \cdot 10^{-20}$$

$$\textbf{Javob.} \quad \frac{n_2}{n_1} \approx 2,5 \cdot 10^{-20}$$

2. Agar quyi sathdagi joylashish yuqori sathga nisbatan ikki marta kam bo'lsa, bunday ikki sathli kvant sistrmasining effektiv holati nimaga teng? Sathlar orasidagi energetik farqini He-Ne lazerining ko'rinadigan sohasidagi nurlanishi to'lqin uzunligiga mos keltiriladi.

Yechilishi. Zarrachalar energetik sathlar bo'yicha 2 holatli sistemalari bir xil statistik og'ir bo'yicha Bolsman formulasi boyich yozish mumkin.

$$n_2 = n_1 e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad (1)$$

Bu erda n_1 va n_2 $\Delta h = \Delta E$ energiya sathlari farqi yoki E_1+E_2 o'tganda nurlanayotgan fotonning energiyasi.

Shart ravishda $\frac{n_2}{n_1} = 2$ unda (1)shartni ko'rib chiqadi.

$$\frac{n_2}{n_1} = e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

Ikki tomonni xam logoriflaymiz

$$\ln \frac{n_2}{n_1} = -\frac{h\nu}{kT}$$

Oligan tenglikdan

$$T = -\frac{h\nu}{k \cdot \ln \frac{n_2}{n_1}}$$

topamiz.

$\nu = \frac{c}{\lambda}$ foydalanib quyidagini hosil qilamiz.

$$T = -\frac{hc}{\lambda k \ln \frac{n_2}{n_1}}. \quad (2)$$

He-Ne lazeri uchun toʻlqin uzunlik sohasi $\lambda = 630 \text{ nm} = 630 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ ekanligini hisobga olsak, quyidagi natijaga kelamiz

$$T = -\frac{6,6 \cdot 3 \cdot 10^8}{630 \cdot 10^{-9} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \ln 2} \approx -3,3 \cdot 10^4 (K)$$

Mashgʻulotda mustaqi ishlanadigan masalalar

- 1- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 150 va 300K temperaturalarda termodinamik muvozanatda boʻlsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi 0.001eV ga teng boʻlsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda boʻladi.
- 2- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 27 va 57C temperaturalarda termodinamik muvozanatda boʻlsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqi 1.5eV ga teng boʻlsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda boʻladi.
- 3- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 17 va 27C temperaturalarda termodinamik muvozanatda boʻlsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi 2.5eV ga teng boʻlsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda boʻladi.
- 4- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 10 va 20C temperaturalarda termodinamik muvozanatda boʻlsin. Agar bu sathlar orasidagi

energiyalar farqqi 0.5eV ga teng bo`lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo`ladi.

- 5- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 100 va 200K temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo`lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi  $1\text{eV}$  ga teng bo`lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo`ladi.
- 6- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 300 va 600K temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo`lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi  $0.1\text{eV}$  ga teng bo`lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo`ladi.
- 7- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 200 va 400K temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo`lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi  $0.01\text{eV}$  ga teng bo`lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo`ladi.
- 8- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi termodinamik muvozanatda bo`lsin. Agar  $310\text{K}$  temperaturada bu sathlar orasidagi foton nurlanishi farqi  $8\text{ eV}$  ga teng bo`lsa quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang
- 9- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi termodinamik muvozanatda bo`lsin. Agar hona haroratida bu sathlar orasidagi foton nurlanishi farqi  $15\text{ eV}$  ga teng bo`lsa quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang.
- 10- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 273 K haroratda termodinamik muvozanatda bo`lsin. Agar energiyalarning farqi Geliy-Neon lazeri nurlanishining to`lqin uzunligiga mos kelsa, quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang. Neodim lazeri uchun $\lambda = 6328\text{A}$.
- 11- Agar quyi sathdagi joylashish yuqori sathga nisbatan 8 marta kam bo`lsa, bunday ikki sathli kvant sistemasining effektiv holati nimaga teng? Sathlar orasidagi energetik farqini He-Ne lazerining ko`rinadigan sohasidagi nurlanishi to`lqin uzunligiga mos keladi.

- 12- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar 300K temperaturada bu sathlar orasidagi foton nurlanishi farqi 20 eV ga teng bo'lsa quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang.
- 13- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar hona haroratida bu sathlar orasidagi foton nurlanishi farqi 10 eV ga teng bo'lsa quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang.
- 14- Agar quyi sathdagi joylashish yuqori sathga nisbatan to'rt marta kam bo'lsa, bunday ikki sathli kvant sistemasining effektiv holati nimaga teng? Sathlar orasidagi energetik farqini Neodim lazerining o'rinadigan sohasidagi nurlanishi to'lqin uzunligiga mos keladi. Neodim lazeri uchun $\lambda = 1,06 \cdot 10^{-6}$ m.
- 15- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 500 K haroratda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar energiyalarning farqi Geliy-Neon lazeri nurlanishining to'lqin uzunligiga mos kelsa, quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang. Neodim lazeri uchun $\lambda = 6,3 \cdot 10^{-6}$ m.
- 16- Agar quyi sathdagi joylashish yuqori sathga nisbatan ikki marta kam bo'lsa, bunday ikki sathli kvant sistemasining effektiv holati nimaga teng? Sathlar orasidagi energetik farqini He-Ne lazerining ko'rinadigan sohasidagi nurlanishi to'lqin uzunligiga mos keladi.
- 17- Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 290 K haroratda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar energiyalarning farqi neodim lazeri nurlanishining to'lqin uzunligiga mos kelsa, quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang. Neodim lazeri uchun $\lambda = 1,06 \cdot 10^{-6}$ m.

3-AMALIY MASHG'ULOT

Lazer nurlanishining spektral chizig'i kengligiga doir masalalar yechish

Spektroskopiyada spektral chiziqning shakli va spektral chiziqning kengligi kabi tushunchalardan foydalaniladi. Spektral chiziqlarning shakli Lorens yoki Gauss funksiyalari bilan ifodalanadi. O'sha ikki xil funksiya bilan chegaralangan

spektrlar ikki xil spektral kengayishga ega. Spektral chiziqlar tabiatiga ko'ra bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan kengayishgaega bo'lishi mumkin.

Agar barcha nurlanuvchi bir tipdagi atomlar bir xil rezonansli markaziy chastota ν_0 ga va bir xil shakldagi rezonansli kontur $g(\nu_0)$ ga ega bo'lsa, nurlanishning spektral chizig'i bir jinsli kengaygan bo'ladi. Bir jinsli kengaygan spektral chiziq shunday chiziq-ki, bitta yakka atom nurlanganda ham va bir tipdagi ko'pchilik atomlar birgalikda nurlanganda ham bir xil spektral konturga ega bo'ladi. Spektral chiziqning (konturi) $(g(\nu_0))$ shakli bitta atom uchun ham ko'pchilik bir xildagi atomlar to'plami uchun ham birdan-bir asosiy spektral xarakteristika bo'lib hisoblanadi. Atomlarning barchasi tashqi ta'sirni bir vaqtda va bir xil sezadi. Bir jinsli kengayishga misol sifatida spektral chiziqlarning tabiiy kengayishi va gazlarda to'qnashish tufayli kengayishni ko'rsatish mumkin.

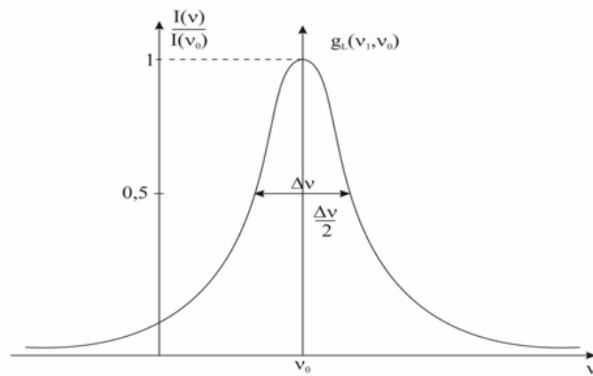
Bir jinsli spektral kengayish atomning uyg'ongan energetik sathda yashash vaqti bilan belgilanadigan spektral kengayishdir. Gaz atomlari o'zaro va idish devori bilan, qattiq jismlarda esa, atomlar kristall panjaralari bilan to'qnashishi atomdan yorug'lik energiyasini tezrok ajralib chiqishiga sabab bo'ladi. Bu esa o'z navbatida spektral chiziqning kengayishiga olib keladi. Atomlarning to'qnashishi energetik sathlarda atomlarning yashash vaqtini qisqartiradi va spektral chiziqni kengaytiradi. Energetik sathlarda atomning yashash vaqtining kamayishi spektral chiziqning bir jinsli kengayishiga olib keladi. Bir jinsli kengaygan spektral chiziqlar konturining shakli Lorens funksiyasi $g_L(\nu, \nu_0)$ orqali ifodalanadi:

$$g_L(\nu, \nu_0) = \frac{I(\nu)}{I(\nu_0)} = \frac{\Delta\nu}{2\pi[(\nu - \nu_0)^2 + (\Delta\nu/2)^2]}. \quad (1)$$

Lorens funksiyasi bilan ifodalanadigan spektral chiziqlarga bir jinsli kengaygan spektral chiziqlar ham deyiladi.

1-rasm $g_L(\nu, \nu_0)$ funksiyasining grafik ko'rinishi keltirilgan. (1) formuladagi $\Delta\nu$ – spektral chiziq konturi maksimumining yarmi shu spektral chiziqning to'la kengligi deyiladi. $\Delta\nu/2$ spektral chiziqning yarim kengligidir. Agar $\nu=\nu_0$ bo'lsa, funksiya tezda maksimumga erishadi va quyidagi oddiy ko'rinishga ega bo'ladi:

$$g_L(\nu_0) = \frac{2}{\pi\Delta\nu}. \quad (2)$$



1-rasm. Spektral chiziqlar-ning Lorens funksiyasi bilan ifodalangan shakli bir jinsli kengayishga tegishli spektral chiziqlarning shakli lorenscha funksiya bilan ifodalanadi. ν_0 -intensivligi maksimum-ga mos keluvchi nurlanish chastotasi, $\Delta\nu$ -

spektral kenglik, $\Delta\nu/2$ -spektral chiziqning yarim kengiligi. $\int_{-\infty}^{+\infty} g_L(\nu_0) d\nu = 1$

Agar modda atomlari ham o'zaro, ham idish devori bilan to'qnashmasa, tinch tursa, bir-biridan ajralgan (izolyasiyalangan) holdagi atomlar spontan ravishda nurlanish qobiliyatiga ega. Spontan nurlanishning spektral chizig'i Lorens funksiyasi bilan ifodalanadi. Atomlarning tashqi ta'sirisiz va o'zaro ta'sirsiz spontan ravishda nurlanishidan hosil bo'lgan spektral chiziqning kengayishiga tabiiy kengayish yokixususiy kengayish deyiladi. Tabiiy kengayishga ega bo'lgan spektral chiziqning shakli ham hozir aytganimiz kabi Lorens funksiyasi bilan ifodalaydi. Misol uchun atomning uyg'ongan energetik sathda yashash vaqti $\tau_{\text{ch}} = 10^{-8} \text{ c}$ bo'lganda tabiiy kengayishning qiymati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Delta\nu_{\text{таб}} = \frac{1}{2\pi\tau_{\text{ch}}} = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ cM}^{-1}. \quad (3)$$

Atomlarning o'zaro ta'siri spektral chiziqlarni kengaytiradi. O'zaro ta'sirlashish o'sha atomlarning tabiatiga va holatlariga bog'liq bo'lib turlicha xarakterga ega.

Atomlar o'zaro to'qnashganda bir-birini g'alayonlantiradi, ya'ni ularning energetik sathlari bir oz siljiydi. O'sha vaqtda elektronlar energiyasi (atomning ichki energiyasi) qisman o'zgaradi, bu esa atomning kinetik energiyasining o'zgarishiga sabab bo'ladi (atomning ilgarilanma harakat energiyasi o'zgaradi). Atomlarning o'zaro to'qnashishi (bir-biri bilan urilishi) energetik sathlarning

siljishiga olib keladi va nurlanish chastotasini o'zgartiradi. Gazlarda atomlar o'zaro tartibsiz ravishda to'qnashadi, bu esa atomlarning nurlanish chastotasini o'zgartiradi va spektral chizig'ini kengaytiradi. Bu jarayonga spektral chiziqlarning to'qnashishdan kengayishi deyiladi. Bu kengayish chastota oralig'i quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta\nu_{\text{тык}} = \frac{1}{\pi\tau_{\text{тык}}} = 4\pi N_0 a^2 \sqrt{\frac{RT}{\pi \cdot M}}, \quad (4)$$

bu yerda R – universal gaz doimiysi, $\tau_{\text{тык}}$ – o'rtacha to'qnashish vaqti (atomlarning erkin yugurishi yo'li uchun ketgan vaqt), πa^2 – atomlarning gazokinetik kesim yuzasi, N_0 hajm birligidagi atomlar soni, M – atom yoki molekulaning massasi.

(4) formuladan ko'rinadiki, harorat past va bosim kichik bo'lganda atomlarning gazokinetik to'qnashish kesimi katta bo'ladi, o'shanga ko'ra spektral kenglik ham kattadir.

Bir jinsli bo'lmagan spektral kengayish deb, bir jinsli spektral chiziqlarning yig'indisidan tashkil topgan strukturasisiz. keng spektral chiziqqa aytiladi. Bir jinsli bo'lmagan spektral kengayishning hosil bo'lish sabablari bir nechta. Gazlarda Doppler effekti, kristallarda kristall panjara ichidagi elektr maydonning bir jinsli emasligi (Shtark effekti), amorf jismlarda (shishada Shtark effekti juda sezilarli) mexanik kuchlar atomlarning energetik sathlarini turli qiymatlarda kengaytiradi, turlicha deformasiyalaydi. O'sha jarayonlarning barchasi spektral chiziqlarni bir jinsli bo'lmagan kengayishiga sabab bo'ladi.

Atomlar turlicha rezonans chastotali ν_0 har xil shakldagi rezonans konturli spektral chiziqlarga ega bo'ladi va o'sha chiziqlarning to'plami bir jinsli bo'lmagan kengayishdagi spektral chiziqni hosil qiladi. Rezonans chastotalari tartibsiz joylashadi va struktura hosil qilmaydi. Qattiq jismlarning ayrim nuqtalarida haroratning, bosimning o'zgarishi va elektr, magnit maydonlarining ta'siri nurlanuvchi atomlarni bir-biridan farqlaydi. Shunday atomlarning nurlanishi bir jinsli bo'lmagan kengaygan spektrni hosil qiladi. Misol tariqasida shishadagi nurlanuvchi neodim elementining atomlarini qarash mumkin. Shishadagi neodim atomlari turli mexanik kuchlanish sharoitda, turlicha elektr maydon qurshovida

joylashgan va shu sababli neodim atomining nurlanishi bir jinsli bo'lmagan holda kengaygan bo'lib, keng spektrli chiziqni yaratadi. O'sha spektrning shakli Gauss funksiyasi bilan ifodalanadi:

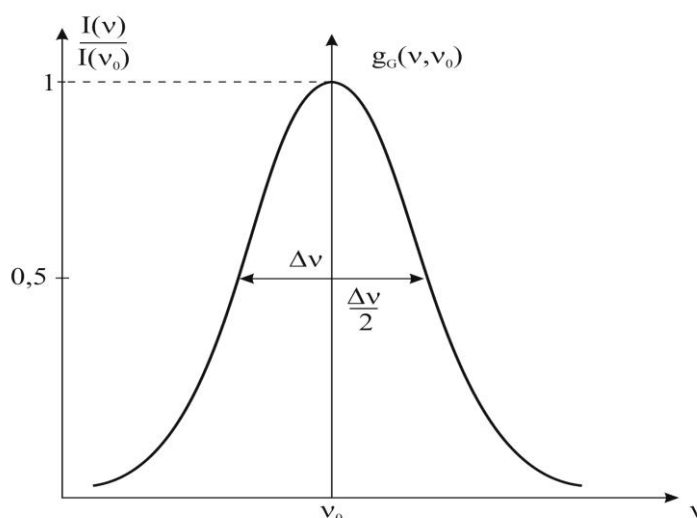
$$g_G(\nu, \nu_0) = \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\Delta\nu\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\left[4\frac{(\nu-\nu_0)^2}{\Delta\nu^2}\ln 2\right]}. \quad (5)$$

Agar $\nu = \nu_0$ bo'lsa, Gauss funksiyasi oddiy ko'rinishga keladi:

$$g_G(\nu) = 2\sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \cdot \frac{1}{\Delta\nu}. \quad (6)$$

$g_G(\nu)$ funksiyaning grafik ko'rinishi 2– rasmda ko'rsatilgan.

2-rasm. Spektral chiziqlarning Gauss funksiyasi bilan ifodalan-gan shakli. Bir jinsli bo'lmagan kengayishga tegishli spektral chiziqlar-ning shakli Gauss funktsiya bilan ifodalanadi. ν_0 - maksimum intensivligiga mos keluvchi nurlanish chastotasi, $\Delta\nu$ - spektral kenglik.



Demak, Gauss funksiyasi bilan bo'lmagan kengayishga ega bo'lgan spektral chiziqlar deyiladi.

Gazlarda spektral chiziqlarning kengayish mexanizmi Doppler effekti bilan bog'langan. Gaz atomlari yoki molekulalari harakati sababli kengaygan spektral chiziqlarga dopplercha kengayish deyiladi.

ν_0 rezonans chastotali elektromagnit to'lqin chiqaruvchi gaz atomlari ν tezlik bilan yorug'lik to'lqini tarkalayotgan tomonga qarab harakatlanayotgan bo'lsa, yorug'likning chastotasi ortadi (o'zgaradi):

$$\nu' = \nu_0 \left(1 + \frac{\nu}{c}\right). \quad (7)$$

Agar nurlanuvchi atom yorug'likning tarqalish yo'nalishiga teskari (qarama-qarshi) tomonga v tezlik bilan darakat qilsa, nurlanayotgan yorug'lik to'lqinining chastotasi kamayadi:

$$\nu'' = \nu_0 \left(1 - \frac{v}{c} \right). \quad (8)$$

Gazlarda shu ikki yo'nalishda nurlanuvchi atomlar harakati yorug'lik to'lqinlarining chastotalari farqini hosil qiladi:

$$\Delta\nu_D = \nu' - \nu'' = 2\nu_0 \frac{v}{c} \quad (9)$$

Gazlarda termodinamik muvozanat o'rnatilganda atomlar Maksvell taqsimotiga bo'ysunadi:

$$\frac{dN_v}{N} = \sqrt{\frac{M}{2\pi kT}} \exp\left(-\frac{Mv^2}{2kT}\right) dv. \quad (10)$$

Gaz atomlarining tezliklari v va $v+dv$ bo'lganda qisqa oraliqda joylashgan atomlarning nisbiy soni dN_v/N , M - atom massasi, k – Bolsman doimiysi, T – gazlarning absolyut temperaturasi. Shu taqsimotga bo'ysunuvchi atomlar nurlanganda spektral chiziqning shakli Gauss funksiyasi bilan ifodalanadi. Atom tezligini (1.3.9) formuladan topib va (1.3.10) ga qo'yib, quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$g_G(\nu_0) = \frac{I(\nu)}{I(\nu_0)} = \exp\left(-\frac{Mv^2}{2kT}\right) = \exp\left[-\frac{Mc^2}{8kT} \left(\frac{\Delta\nu}{\nu_0}\right)^2\right]. \quad (11)$$

Bu funksiyaning shakli qo'ng'iroqqa o'xshash bo'lib, Gauss funksiyasining aynan o'zidir. Spektral chiziqning markaziy qismining $I(\nu_0)$ intensivligi va $\Delta\nu_D/\nu_0$ nisbat oshgan sari $I(\nu)/I(\nu_0)$ nisbat tezda nolga intiladi. Spektral kenglik ($\Delta\nu_D$) maksimumining yarmiga teng:

$$\frac{I(\nu)}{I(\nu_0)} = \frac{1}{2} = \exp\left[-\frac{Mc^2}{8kT} \left(\frac{\Delta\nu_D}{\nu_0}\right)^2\right], \quad (12)$$

buni logarifimlaymiz:

$$\ln 2 = \frac{Mc^2}{8kT} \left(\frac{\Delta\nu_D}{\nu_0}\right)^2, \quad (13)$$

$MN_A = \mu$ – atom og'irligi, N_A -Avogadro soni,

$$\Delta \nu_D = \frac{2\nu_0}{c} \sqrt{\frac{2 \ln 2 N_A k T}{\mu}} = 7,16 \cdot 10^{-7} \nu_0 \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (14)$$

Gazlarda spektral chiziqning dopplercha kengayishi (14) formuladan osongina topiladi. Misol tariqasida vodorod atomiining 400K temperaturada qizil rangli spektr chiziqning ($\lambda=656nm$) kengligi $\Delta \nu_D = 0,2 sm^{-1}$ ga teng bo'ladi.

Gaz atomlarining issiqlik tezligini tartibga keltirish yo'li bilan dopplercha kengayishni kamaytirish mumkin. Vakuumba diafragmalar yordamida gaz atomlarining qat'iy yo'nalishini hosil qilish mumkin. O'sha atom dastasi (atomlar oqimi) nurlanganda tor spektrli yorug'likni chiqaradi. Atom dastasida gaz atomlarining o'zaro to'qnashishi ham, atomlarning tezliklari ham deyarli bir xil qiymatli bo'ladi.

Masala yechish bo'yicha namunalar

Faraz qilamizki vodorodga o'xshash molekulalardan tashkil topgan gaz muxiti faqatenergetik sathdan (vodorod molekulasiga mumkin bo'lgan 2 ta energetik holatiga mos keluvchi) iborat bo'lsin. Yuqori energetik sath molekulalariga to'qnashuvlari tufayli bo'shab qolgan bo'lsin. Agar vodorod molekulasiga erkin chopish masofasi 10 mga teng deb olsak, xona haroratining nurlanish spektriga to'qnashish kengligini baholang.

Yechilishi. To'qnashishdagi nurlanishning chizig'ining kengligini quyidagi formula bilan ifodalash mumkin.

$$\Delta \nu = \frac{1}{2\pi\tau}$$

Bu erda τ - zarrachning uyg'otilgan holatdagi yashash vaqti. Agar yuqori sath energiyasi to'qnashishlarhisobogas bo'shasa, τ -alohida molekulalarning o'zaro ikkita navbatma-navbat to'qnashishlari orasidagi vaqt deb hisoblash mumkin.

$$\tau = \frac{l}{v}$$

bunda l -erkin tushish masofasi, v -molekulaning o'rtacha kvadratik tezligi.

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

bunda R-universal gaz doimiysi, T-temperatura, μ -molyar massa.

Berilgan: $\tau = l \sqrt{\frac{\mu}{3RT}} \Rightarrow \Delta \nu = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot = 31(\text{Gs})$

$T=300\text{K}$

$\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ **Javob.** $\Delta \nu = 31 (\text{Gs})$

$\Delta \nu = ?$

8. Faraz qilaylik zarrachaning uygʻongan holatdagi yashash vaqti 10^{-10} s . Agar bu zarrachaning uygʻongan holatdagi yashash vaqtini 2 marta oshirsak, nurlanish spektral kengligi necha sm^{-1} ga oʻzgaradi?

Yechilishi. Nurlanish chizigʻi uygʻotilgan holatdagi zarralar yashash vaqti bilan bogʻliqligi quyidagicha.

$$\Delta \nu = \frac{1}{2\pi\tau}$$

Masalaning qoʻyilishi $\tau_1 = 10^{-10} \text{ c}$ $\tau_2 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ c}$ bunda,

$$\Delta \tau_1 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-10}} \approx 0,67 \cdot 10^{10} \approx 1,6 \cdot 10^9 (\text{Gs})$$

$$\Delta \tau_2 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-10}} \approx 0,8 \cdot 10^9 (\text{Gs})$$

Boshqacha soʻzlar bilan aytganda yashash vaqtini ikki marta oshirish toʻlqin chizigʻi kengligini $0,8 \cdot 10^9 \text{ Gs}$ kamaytirishga olib keladi.

Quyidagi tenglik oʻrinli $1 \text{ sm}^{-1} = 3 \cdot 10^{10} \text{ Gs}$
 $0,8 \cdot 10^9 \text{ Gs} = 0,027 \text{ sm}^{-1}$

Javob. Nurlanish chizigʻining spektral kengligi $0,027 \text{ sm}^{-1}$ ga teng.

Mashgʻulotda mustaqi ishlanadigan masalalar

- 1- 50 K temperaturada gazining (CO_2) molekulalarining oʻzaro toʻqnashuvi tufayli nurlanish chizigʻining kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 0,1 m ga teng deb olinsin.
- 2- Temperaturasi 17C boʻlgan Azot gazining (N_2) molekulalarining oʻzaro toʻqnashuvi tufayli nurlanish chizigʻining kengayishini aniqlang. Bu

haroratda molekularning erkin chopish masofasi 0.02 mm ga teng deb olinsin.

- 3- Temperaturasi 117C bo`lgan Azot gazining ( $N_2$ ) molekularining o`zaro to`qnashuvi tufayli nurlanish chizig`ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekularning erkin chopish masofasi 0.0002 mm ga teng deb olinsin.
- 4- Temperaturasi 27C bo`lgan Azot gazining ( $N_2$ ) molekularining o`zaro to`qnashuvi tufayli nurlanish chizig`ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekularning erkin chopish masofasi 0.2 mm ga teng deb olinsin.
- 5- Temperaturasi 27C bo`lgan is gazining ( $CO_2$ ) molekularining o`zaro to`qnashuvi tufayli nurlanish chizig`ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekularning erkin chopish masofasi 0.1 mm ga teng deb olinsin.
- 6- Temperaturasi 17C bo`lgan kislorod gazining ( $O_2$ ) molekularining o`zaro to`qnashuvi tufayli nurlanish chizig`ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekularning erkin chopish masofasi 0.01 sm ga teng deb olinsin. Vodorodga o`xshash molekulalardan tashkil topgan gaz muhiti faqatgina energetik sathdan (vodorod molekulasi 2 ta energetik holatiga mos keluvchi) iborat bo`lsin. Yuqori energetik sath molekulariga to`qnashuvlari tufayli bo`shab qolgan bo`lsin. Agar vodorod molekulasiga erkin chopish masofasi 0.01 m ga teng deb olsak, 200K haroratda nurlanish spektriga to`qnashish kengligini baholang.
- 7- Temperaturasi 200 K bo`lgan kislorod gazining ( $O_2$ ) molekularining o`zaro to`qnashuvi tufayli nurlanish chizig`ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekularning erkin chopish masofasi 0.01 m ga teng deb olinsin.

- 8- 150 K temperaturada is gazining (CO_2) molekularining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ining kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekularlarning erkin chopish masofasi 0.1 m ga teng deb olinsin.
- 9- 100 K temperaturada is gazining (CO_2) molekularining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ining kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekularlarning erkin chopish masofasi 1 m ga teng deb olinsin.
- 10- Vodorodga o'xshash molekulalardan tashkil topgan gaz muhiti faqatgina energetik sathdan (vodorod molekulasi 2 ta energetik holatiga mos keluvchi) iborat bo'lsin. Yuqori energetik sath molekulariga to'qnashuvlari tufayli bo'shab qolgan bo'lsin. Agar vodorod molekulasiga erkin chopish masofasi 1 mkm ga teng deb olsak, 400K haroratda nurlanish spektriga to'qnashish kengligini baholang.
- 11- Faraz qilamizki, vodorodga o'xshash molekulalardan tashkil topgan gaz muhiti faqatgina energetik sathdan (vodorod molekulasi 2 ta energetik holatiga mos keluvchi) iborat bo'lsin. Yuqori energetik sath molekulariga to'qnashuvlari tufayli bo'shab qolgan bo'lsin. Agar vodorod molekulasiga erkin chopish masofasi 10 mm ga teng deb olsak, xona haroratining nurlanish spektriga to'qnashish kengligini baholang.

4-AMALIY MASHG'ULOT

Rezonatorning aslligi va yo'qotish ko'effisiyentiga doir masalalar yechish

Endi rezonatorning eng muhim parametrlari hisoblangan uning aslligi va yo'qotish ko'effisientlari ustida to'xtalamiz.

Optik rezonatorlarning ko'zgulari o'zaro qat'iy parallel o'rnatilsa va ko'zgularning qaytarish ko'effisiyenti katta bo'lsa rezonatorning aslligi katta bo'ladi. Ko'zgullar oralig'ida uyg'ongan yorug'lik to'lqini chap va o'ng tomonga yugurib, o'zoq vaqt davomida yashaydi. Rezonator ko'zgulari oralig'idagi turg'un to'lqin uzoq, vaqt davomida mavjud bo'ladi. Agar ko'zgularning qaytarish ko'effisiyenti kichik bo'lsa, yorug'lik to'lqinining bir qismi

qaytishda rezonatoridan tashqariga chiqib yo'qoladi va generasiyada ishtirok etmaydi. Ko'zgularning o'zaro paralleligi bo'zilsa, rezonatoridagi yorug'lik to'liqining ko'zgulardan takroran qaytishi tufayli yorug'lik rezonatoridan chiqib yo'qoladi. Bu ikki xil hodisa rezonatorning aslligini kamaytiradi. Aktiv moddaning o'ziga tushgan yorug'likni sochishi, yutishi va rezonator ko'zgularining yorug'likni yutishi kabi jarayonlar rezonator aslligini kamaytirishi mumkin, lekin bu jarayonlar kam ulushni tashkil etadi.

Har qanday rezonatorni tebranish sistemasi deb qarash mumkin va tebranish sistemasida elektromagnit to'liqlar energiyasi to'planadi. Rezonatorning to'plangan energiyani saqlash qobiliyati asllik degan Q kattalik orqali harakterlanadi. Rezonatoridagi elektromagnit to'liqning ko'p martalab tebranishi va tebranishning uzoq vaqt saqlanish qobiliyatlari asllik tushunchasini hosil qiladi. Rezonatorning aslligi universal kattalik bo'lib, u quyidagicha ta'riflanadi. Rezonatorida to'plangan energiyaning rezonatorning bir to'la tebranishida yo'qolgan energiyaga nisbati va u nisbatning 2π ga ko'paytmasi rezonator aslligi deyiladi.

Lekin ko'pincha optik rezonatorning aslligi deganda, rezonans nurlanish chastotasining spektral kenglikka nisbati tushuniladi:

$$Q = \frac{\nu_0}{\delta\nu_{aks}} \quad (1.1)$$

Misol uchun yoqut lazeri rezonatorining aslligini hisoblash mumkin $\lambda=694,3nm$, $\nu_0=4,3\cdot10^{14}Gs$, $\delta\nu_{aks}=3\cdot10^{10}Gs$, $Q=1,4\cdot10^6$. Agar dYe vaqt davomida rezonatoridan tashqariga chiqib ketib yo'qoladigai yorug'lik energiyasini $d\varepsilon$, rezonator ichida (ko'zgular orasida) to'plangan energiyani Ye , rezonator ko'zgularining umumiy qaytarish ko'effisiyentini R va ko'zgular orasidagi masofa L ni nazarda tutsak, rezonatoridan chiqib ketayotgan energiya quyidagicha ifodalanadi:

$$dE = -E(1-R)\frac{c}{L}dt, \quad (2)$$

yoki

$$\frac{dE}{E} = -(1-R)\frac{c}{L}dt, \quad (3)$$

(3) formulani integrallab rezonatoridagi energiyaning kamayishi topiladi:

$$E = E_0 e^{-\omega_0 t / Q} . \quad (4)$$

Rezonator aslligining ta'rifga ko'ra Q ni topamiz:

$$Q = \frac{\omega_0 E}{dE / dt} , \quad (5)$$

$\omega_0 = 2\pi\nu_0$ – nurlanishning rezonans chastotasi, dE/dt –rezonatordan chiqib yo'qolayotgan yorug'likning quvvati. Rezonator aslligining analitik ko'rinishi:

$$Q = \frac{L\omega}{c(1-R)} = \frac{2\pi L}{\lambda(1-R)} . \quad (6)$$

Demak, rezonator aslligi ko'zgularning qaytarish ko'effisiyentiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Agar $R_1 \cdot R_2 = R = 1$ bo'lsa, rezonator aslligi cheksizlikka intiladi. Rezonator aslligi yo'qotish ko'effisiyentiga bog'liq ravishda o'zgaradi.

Umumiy holda yo'qotish ko'effisiyenti rezonator ko'zgulari orasida hosil bo'lgan yorug'lik fotonining generasiyada ishtirok etmasdan yo'qolishini xarakterlaydigan kattalikdir. Aktiv moddada majburiy nurlanish tufayln hosil bo'lgan fotonlarning bir qismi quyidagi sabablarga ko'ra generasiyada ishtirok etmasdan yo'qolishi mumkin:

- a) rezonatorida paydo bo'lgan yorug'lik ko'zgularining chetlaridan difraksiyaga uchrab, rezonatordan chiqib ketishi va yo'qolishi;
- b) rezonator ko'zgulari majburiy nurlanishning bir qismini yutishi mumkin;
- v) rezonator ko'zgulari majburiy nurlanishning bir qismini o'tkazib yuborib yo'qotishi mumkin;
- g) aktiv modda generasiya chastotasiga mos kelgan majburiy nurlanishni yutishi va sohib yo'qotishi mumkin.

Umumiy holda o'sha yo'qotish ko'effisiyentini $\gamma(\nu)$ orqali belgilaymiz va u yorug'lik chastotasiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Vaqt birligida rezonatoridagi fotonlarning nisbiy kamayishini ifodalaydigan kattalikka yo'qotish ko'effisiyenti deyiladi va u quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\gamma(\nu) = \frac{\Delta n_F / n_F}{\Delta t_F} , \quad (7)$$

Δt_F – fotonning rezonatorida yashash vaqti

$$\Delta t_F = \frac{2L}{c}, \quad (8)$$

$L=q(\lambda/2)$ – rezonator uzunligi, q – musbat butun son, $n_F - n_{XF}=\Delta n_F$ – rezonator uzunlik birligiga to'g'ri kelgan fotonlar sonining o'zgarishi, n_F –rezonator uzunlik birligiga to'g'ri kelgan fotonlarning to'liq soni, n_{XF} – rezonatoridan chiqib yo'qolgan fotonlar soni, s – yorug'likning bo'shliqdagi tezligi. 1- rasmda sxematik ravishda rezonator oralig'idagi fotonlar va rezonatoridan chiqib yo'qoladigan fotonlar tasvirlangandir.

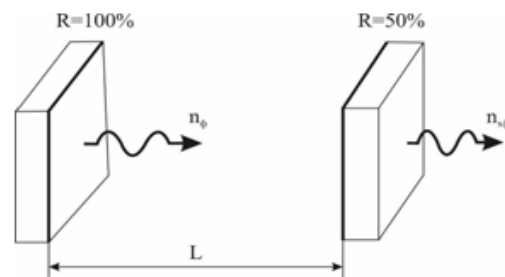
Yo'qotish ko'effitsiyenti quyidagi birliklarda o'lchanadi:

$$\gamma(\nu) = \frac{(\Delta n_F / n_F)c}{2L}, \left[\frac{1}{c} \right] \quad (9)$$

yoki

$$\gamma(\nu) = \frac{\Delta n_F / n_F}{2L}, \left[m^{-1} \right]. \quad (10)$$

1-rasm. Rezonatorning 50 foizi qaytaradigan ko'zgusi orqali chiqib yo'qoladigan n_F fotonlarning va rezonatorida paydo bo'lgan n_F fotonlarning sxematik ko'rsatish.



Rezonatorida mavjud bo'lgan boshqa tipdagi ichki yo'qotish ko'effitsiyentlari, aktiv moddada lazer nurining yutilishi, sochilishi va rezonator chetidan difraksiya bilan aniqlanadi. Generasiya nurlanishining aktiv moddada yutilishi (uyg'ongan atomlarning yuqori energetik sathlarga ko'chishi) tufayli generasiya nurlanishining kamayishi mumkin. Shuningdek aktiv moddadagi nojinsliliklaridan va kristallning defektlaridan lazer nurlari sochilib rezonatoridan chiqib yuqolishi ham mumkin. O'sha aktiv modda bilan bog'langan ichki yo'qotish ko'effitsiyenti: $\gamma_i(\nu) = 5 \cdot 10^{-2} \text{ !-} 2 \cdot 10^{-2} sm^{-1}$ ni tashkil etadi. Difraksiya tufayli mavjud bo'lgan yo'qotish ko'effitsiyenti esa $\gamma_d(\nu) = 10^{-4} \cdot 10^{-3} sm^{-1}$ ni tashkil etadi. Shu xildagi yo'qotish 'ko'effitsiyentlari rezonator ko'zgulari o'tkazishi bilan bog'langan yo'qotish ko'effitsiyentiga nisbatan juda ham kichikdir.

Rezonator ko'zgularining qaytarish ko'effitsiyenti bilan bog'langan yo'qotish ko'effitsiyentini aniqlab baholaymiz. Buning uchun rezonatoridagi fotonlarning chiziqli zichligi n_F har safar ko'zgulardan qaytganda $n_{XF} = n_F - \Delta n_F = n_F R$ qismini yo'qotadi. O'shanga ko'ra yozish mumkin:

$$\frac{\Delta n_F}{n_F} = 1 - R, \quad (11)$$

Bu yerda R – ko'zgularning qaytarish ko'effitsiyenti ($R = R_1 R_2$). Fotonlarning rezonator uzunligini bir marta to'liq o'tishida yo'qolishi (7), (8) va (11) formulalarga ko'ra quyidagicha ifodalanadi:

$$\gamma(\nu) = \frac{1}{2L}(1 - R) = \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R}. \quad (12)$$

Aktiv moddaning sindirish ko'rsatkichini hisobga olsak, yo'qotish ko'effitsiyenti quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\gamma(\nu) = \frac{c}{2\tilde{n}L}(1 - R), \quad (13)$$

yoki

$$\gamma(\nu) = \frac{1}{2\tilde{n}L}(1 - R), \quad (14)$$

Demak, yo'qotish ko'effitsiyenti ko'zgularning qaytarish ko'effitsiyentiga bog'liq. Qaytarish ko'effitsiyenti R birga intilsa, yo'qotish ko'effitsiyenti nolga intiladi, fotonlar rezonatorni tashlab tashqariga chiqmaydi. Odatda rezonator ko'zgularining biri yorug'likni qisman qaytaruvchi va yorug'likni qisman o'zi orqali o'tkazuvchan qilib tayyorlanadi. Yorug'likni qisman o'tkazuvchi ko'zgu orqali lazer nurlanishi tashqariga chiqadi va tarqaladi. Bir tomondan o'sha ko'zguning foydali xususiyati va ikkinchidan generatsiya boshlanmasdanoq rezonatorida paydo bo'lgan moda fotonlarini o'zi orqali chiqarib yo'qotishi generatsiyaning quyi chegarasini oshiradi. Ikkinchi xususiyati yo'qotish ko'effitsiyentini oshiradi. Yo'qotish ko'effitsiyenti barcha aksial modalar uchun bir xil miqdorda bo'ladi.

Fotonning rezonatorida yashash vaqti Δt_F yo'qotish ko'effitsiyentiga quyidagicha bog'liq:

$$\Delta t_F = \frac{2\tilde{n}L}{c\gamma(v)}. \quad (15)$$

Rezonatorning aslligi yo'qotish ko'effitsiyentiga teskari proporsional, ya'ni

$$Q = \frac{\pi}{\lambda\gamma(v)}. \quad (16)$$

Rezonator spektrining kengligi $\delta\nu$ rezonator aslligiga va yo'qotish ko'effitsiyentiga bog'liq, ya'ni

$$Q = \frac{\nu_0}{\delta\nu} = \frac{\pi}{\lambda\gamma(v)}, \quad (17)$$

$$\delta\nu = \frac{\nu_0\lambda\gamma(v)}{2\pi L} = \frac{c\gamma(v)}{2\pi L}, \quad (18)$$

yoki

$$\delta\nu = \frac{\gamma(v)}{2\pi L}, [sm^{-1}]. \quad (19)$$

Rezonans chastotalar farqini ($\delta\nu$) fotonning rezonatorida yashash vaqti bilan Δt_F ifodalash mumkin:

$$\delta\nu = \frac{1}{\pi\Delta t_F}. \quad (20)$$

Bundan ko'rinadiki, qisqa muddatli generasiyaning spektri keng bo'ladi. Shuni ham aytish lozimki, rezonatorning qaytarish ko'effitsiyenti bilan bog'langan yo'qotish ko'effitsiyentidan tashqari rezonator ko'zgularining chetlaridan yorug'likning difraksiyasi tufayli mavjud bo'lgan difraksion yo'qotish ko'effitsiyenti ham mavjuddir. Rezonatorning optik o'qi bo'ylab tarqalayotgan yassi to'lqin ko'zgularning biridan qaytganda konus hosil qilib tarqaladi va tarqalish burchagi $\varphi = \lambda/a$ bo'ladi. Shu φ burchak kattalashib borgan sari lazer nurining katta qismi ko'zgular chetlaridan difraksiyalanib, rezonatorlardan chiqib yo'qoladi. Rezonatordan chiqib yo'qolgan lazer nurini nisbiy qiymati $2\sqrt{L\lambda/a}$ kattalik bilan aniqlanadi. Shu kattalikning kvadrati lazer nurining difraksion yo'qotish ko'effitsiyentini ifodalaydi:

$$\gamma_g(v) = \frac{4L\lambda}{a^2} = \frac{4}{N_F} \quad (21)$$

N_F –Frenel zonalarining soni.

Shunday qilib, Frenel zonalari soni rezonatorning aslligini ifodalovchi asosiy kattaliklardan biridir.

Masalalar yechishdan namunalar

1. Oralig'i 0,75 m, qaytarish koeffisientti 95% bo'lgan ikkita yassi ko'zgu yordamida ko'zgular orasidagi bir tekis to'ldirilganda muhit yutilishining koeffisienti 2 marta oshirilganda neodim lazeri nurlanishining chastotasi uchun optik rezonatorning moyilliga qanday va necha martaga o'zgaradi? Boshlanishida yutilish koeffisienti $0,25 \text{ sm}^{-1}$ ga teng deb olinsin.

Yechilishi. Agarda nurlanish hosil bo'lishi ikkita optik rezonatorlar oralig'ida yuqotishlar bilan borsa, rezonatorning qaytarishi quyidagi formula bilan aniqlanadi.

$$Q = \frac{2\pi e}{\lambda} \cdot \frac{\sqrt{\text{Re}^{-\alpha e}}}{1 - \text{Re}^{-\alpha e}}$$

α -yutilish koeffisienti, e-

R-ko'zguning qaytarish koeffisienti, λ - nurlanishning to'lqin uzunligi

Shartni qo'yilishi

$$Q_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,75}{1,06 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{\sqrt{0,95 \cdot e^{-10,5 \cdot 75}}}{1 - 0,95 \cdot e^{-10,5 \cdot 75}} \approx 367$$

$$Q_2 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,75}{1,06 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{\sqrt{0,95 \cdot e^{-10,5 \cdot 75}}}{1 - 0,95 \cdot e^{-10,5 \cdot 75}} \approx 0,03$$

Javob. Ko'rinib turibdiki yutilish koeffisientini 2 marta oshirilishi

$\frac{367}{0,03}$ qaytarilishi shinchaga kamayadi. $\frac{367}{0,03} = 12233$ farqi.

2. Neodim lazeri nurlanishiga muvofiqlashtirilgan yuqori moyullikli ideal rezonatorning to'lqin tarqatish yo'nalishini cheklovchi chegaraviy (burchak minutida) burchakni baholang. Bu resonator 5 sm diametriga ega bo'lgan ikkita yassi ko'zgudan hosil bo'lgan. Ko'zgular orasidagi masofa 2 m. ko'zgularning qaytarish koeffisientti 80% ga teng.

Yechilishi. (Chegaraviy burchak) toʻlqinlarining tarqalish yoʻnalishini chegaralovchi ideal rezonatoridagi yuqori qaytarish koeffisienti chegaraviy burchakdan

$$Q = \frac{2a(1-R)}{l}$$

a - koʻzguning radiusi, R - koʻzguning qaytarish koeffisienti, l - oynalar orasidagi masofa.

Berilgan:

$$a = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$Q = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-2} (1 - 0,8)}{2} = 10^{-2} \text{ rad}$$

$$l = 2 \text{ m}$$

$$10^{-2} \text{ rad} \approx 17'$$

$$R = 0,8$$

$$Q = ?$$

$$\textbf{Javob. } Q = 17' \text{ (burchak minuti)}$$

3. Agar oldingi va keyingi koʻzgular orasidagi masofa 1 m, koʻzgular orasidagi boʻshliq bir tekis faol muhit bilan toʻldirilgan boʻlib, uning kuchaytirish koeffisienti $0,01 \text{ sm}^{-1}$ nurlanishning faol muhitdan oʻtishdagi yoʻqotish koeffisienti esa kuchlanishning koeffisientidan 10 marta kam boʻlsa, rezonatorning optimal shaffofligini baholang.

Yechilishi. Rezonatorning kirish koʻzgularidan optimal shaffofligi quyidagicha

aniqlanadi.

$$T_{opt} = 2\alpha_0 l \left(\sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}} - \frac{\beta}{\alpha_0} \right)$$

Bu erda l - koʻzgular orasidagi masofa, α - aktiv muhitdagi kuchayish koeffisienti, β - qaytarish koeffisienti.

$$\text{Masalani qo'yilishi} \quad \beta = \frac{\alpha_0}{10} \quad \rightarrow \quad \frac{\beta}{\alpha_0} = 0,1 \quad \text{bunda}$$

$$T_{opt} = 2 \cdot 0,01 \cdot 100 (\sqrt{0,1} - 0,1) \approx 43$$

Optimal shaffoflik 43% qaytarish koeffesientiga mos $R_{opt} = 57\%$

Javob. $T_{opt} = 43\%$.

Agar ikkita radiusi 5 sm boʻlgan yassi koʻzgular orasidagi masofa 1 m va koʻzgularning neodim lazer toʻlqin uzunligi uchun shaffoflik koefitsienti 5% boʻlsa, bunday ideal rezonatorning moyilligi nechaga teng?

Yechilishi. Ikkita yassi koʻzgulardan yasalgan ideal rezonatorning qaytarishi quyidagicha aniqlaniladi.

$$Q = \frac{2\pi l}{\lambda} \cdot \frac{1}{1-R}$$

Bu erda l - Koʻzgular orasidagi masofa, λ - nurlanishning toʻlqin uzunligi, R - koʻzgu qaytarish koefitsienti.

Formuladan korinib turibdiki, rezonatorning qaytarishi koʻzgularning oʻlchamiga bogʻliq emas (T-shaffoflik koefitsienti) $T=1-R$ hisobga olinmaydi.

$$Q = \frac{2\pi l}{\lambda} \cdot \frac{1}{T}$$

Masala shartini qoʻyilishi

$$Q = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1}{1,06 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{1}{0,05} \approx 1,2 \cdot 10^8$$

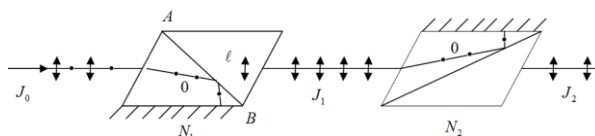
Javob. $Q = 1,2 \cdot 10^8$

4-masala.

Ikki N_1 va N_2 nikollar shunday joylashganki, polyarizatorlarning tekisliklari orasidagi α - burchak $\alpha=60^\circ$. Tabiiy yorugʻlikni intensivligi necha marta kamayishini aniqlang:

1) bitta N_1 nikoldan oʻtganda;

2) ikkita nikoldan oʻtganda; nikolda yorugʻlikning yutilish koefitsiyenti



$K=0.05$. Yorugʻlikni sochilishi eʼtiborga olinmasin.

Tabiiy nur, nikol prizmasining qirrasiga tushib, oddiy va nooddiy nurlarga ajraladi (rasm). Ikkala nur ham bir xil intensivlikda va toʻliq qutblangan. Nooddiy nurning tebranish tekisligi rasm tekisligida joylashgan. Oddiy nurning tebranish tekisligi chizma tekisligiga koʻndalang joylashgan.

Oddiy nur toʻliq ichki qaytish tufayli nikolning qoraytirilgan qirrasiga tushadi va unda toʻliq yutiladi. Noodiy nur prizmalardan oʻtib yutilishi tufayli, oʻz intensivligini kamaytiradi.

1. Birinchi prizmadan oʻtgan yorugʻlik intensivligi

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 (1-k),$$

nisbiy intensivlik esa

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{I_0}{\frac{1}{2}I_0(1-k)} = \frac{2}{1-k} \quad (1)$$

Formuladagi kattaliklarni son qiymatlarini qo'yib nisbiy intensivlikni topamiz

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{2}{1-0,05} = 2,1,$$

shunday qilib, yorug'lik birinchi prizmadan o'tgandan so'ng uning intensivligi 2.1 marta kamayadi.

2. Intensivligi I_1 bo'lgan yassi qutblangan yorug'lik nuri ikkinchi prizмага tushadi va yana oddiy hamda nooddiy nurlarga ajraladi. Ularning intensivliklari har xil qiymatga ega. Oddiy nur prizmada to'liq yutiladi. Prizmadan o'tgan nooddiy nur intensivligi Malyus qonunidan topiladi:

$$I_2 = I_0 \cos^2 \alpha \quad (2)$$

Ikkinchi prizmadan o'tishda nurning yutilishini hisobga olsak,

$I_2 = I_1(1-k) \cos^2 \alpha$, bo'ladi. α burchak I_1 nurning tebranish tekisligi bilan I_2 nurning tebranish tekisliklari orasidagi burchak.

$$\text{Ikkala prizmadan o'tgan nurning intensivligi, } \frac{I_0}{I_2} = \frac{I_0}{I_1(1-k) \cos^2 \alpha} \quad (3)$$

$$\frac{I_0}{I} \quad (1) \text{ formula bilan almashtirib, } \frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1-k)^2 \cos^2 \alpha} \quad (4)$$

formulaga kelimiz. (4) formuladagi kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib, $\frac{I_2}{I_0}$ -ni topamiz.

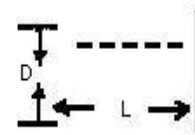
$$\frac{I_2}{I_0} = \frac{2}{(1-0,05)^2 \cos^2 60} = 8,86.$$

Shunday qilib, ikki prizmadan o'tgan yorug'likning intensivligi 8,86 marta kamayadi.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Yung tajribasidagi ikki tirqish orasidagi masofa 1 mm. Tirqishdan ekrangacha bo'lgan masofa 3 m. Ikki maksimum yorug' yo'lkalar orasida masofa 1.5mm. Monoxromatik yorug'likning to'liq uzunligi topilsin.
2. Frenel ko'zgulari yordamida hosil qilingan yorug'lik manbaining mavhum tasvirlari orasidagi masofa 0.5 mm. Ulardan ekrangacha bo'lgan masofa 3 m. To'liq uzunligi 0.6 mkm. Ekranda hosil bo'lgan ikki interferension maksimumlar orasidagi masofa topilsin.
3. Yung tajribasida tirqishlardan ekrangacha bo'lgan masofa 1.5 m ga teng. Tushayotgan yorug'likning to'liq uzunligi 0.6 mkm. Agar uzunligi 1 sm kesmada 8 ta qora yo'llar joylashsa, tirqishlar orasidagi masofa topilsin.

4. Yung tajribasidagi ikki tirqish orasidagi masofa 0.5 mm, to'liqin uzunligi 550 mkm. Agar ikki qo'shni minimumlar orasidagi masofa 1 mm bo'lsa, tirqishlardan ekrangacha bo'lgan masofa topilsin.
5. Frenel ko'zgulari yordamida tajribada, $d=0.5$ mm mavhum yorug'lik manbalari orasidagi masofa $L=5$ m. Yashil yorug'likda interferensiya yo'llari orasidagi masofa $x=5$ mm. Yashil nur to'liqin uzunligi topilsin.
6. Lloyd taklif qilgan sxemada tirqishidan o'tgan nur ekranda qo'zg'almas qaytgan nur bilan interferensiyalashadi. Tirqishdan ko'zgu sirtigacha masofa $L=1$ m, yorug'lik to'liqin uzunligi $\lambda=500$ nm. Interferensiyon yo'l kengligi x topilsin.
7. Qalinligi $d=367$ nm bo'lgan pardaga parallel oq yorug'lik dastasi i burchak ostida tushmoqda. Pardaning sindirish ko'rsatkichi $n=1.4$. Nurning tushish burchagi a) 30° va b) 60° ga teng bo'lsa, pardadan qaytgan yorug'lik qanday rangda bo'ladi?
8. Tushayotgan yorug'lik to'liqin uzunligi bir yarim marta kattalashsa, m-Nyuton halqasining radiusi necha marta kattalashadi?
9. Yung tajribasida tirqishlar orasidagi masofa $d=1.5$ mm, tirqishdan ekrangacha bo'lgan masofa $L=2$ m. Tirqishga $\lambda=637$ nm to'liqin uzunlikdagi yorug'lik tushmoqda. Ekranda hosil bo'lgan interferensiya yo'llari orasidagi masofa aniqlansin.
10. Ikki kogerent optik yorug'lik manbalari orasidagi masofa $d=0.5$ mm. Manbalardan tarqalayotgan monoxramatik yorug'likning to'liqin uzunligi $\lambda=0.5$ mkm. Manbalari $l=30$ sm masofa ekran joylashgan. Ikki qo'shni interferensiyon maksimumlar orasidagi masofa topilsin. RASM.
11. Shisha pona sirtiga normal yo'nalishda $\lambda=582$ nm to'liqin uzunlikdagi yorug'lik dastasi tushmoqda. Pona burchagi $\alpha=20^\circ$. Ponaning 1 sm uzunligida qancha qora interferensiyon halqalar joylashgan? Shishaning sindirish ko'rsatkichi $n=1.5$.
12. Nyuton halqalari kuzatiladigan qurilma monoxramatik yorug'lik bilan yoritilgan. qaytgan yorug'likda hosil qilingan qo'shni qora halqalar radiuslari 4 mm va 4.33 mm. Linzaning egrilik radiusi 6.4 m. halqalarni tartib nomeri va yorug'lik to'liqin uzunligi topilsin.
13. Nyuton 5 va 25 yorug'lik halqalarining orasidagi masofa 9 mm. Linzaning egrilik radiusi 15 mm. Qurilmaga normal holda tushayotgan yorug'lik to'liqin uzunligi topilsin. Kuzatish qaytgan yorug'likda olib borilmoqda.
14. Sindirish ko'rsatkichi $n=1.33$ bo'lgan sovun pardasidan qaytish natijasida hosil bo'lgan interferensiyon halqa yorug' yoki qorong'u bo'lishini aniqlang. Parda havoda joylashgan va qalinligi $d=0.2$ ga teng.
15. To'liqin uzunligi $\lambda=6 \cdot 10^{-7}$ m bo'lgan $i=30^\circ$ burchak ostida sovun pardasi tushadi. Qaytgan yorug'likda pardada interferensiyon yo'llar kuzatiladi. qo'shni yo'llar orasidagi masofa $\Delta x=4$ mm. Sovun pardasining sindirish ko'rsatkichi $n=1.33$. Sovun pardasi sirtlari orasidagi burchak topilsin.
16. Yupqa ponasimon plastinkada yorug'lik normal tushish natijasida qaytgan yorug'lik interferensiyon yo'llar hosil bo'ladi. Qo'shni qorong'u yo'llar



orasidagi masofa $\Delta x = 5 \text{ mm}$. Plastinkaning sindirish ko'rsatkichi $n = 1.5$. Plastinka qirralari orasidagi burchak topilsin.

5-AMALIY MASHG'ULOT

Optik kvant generatorlari: Lazer turlari

Lazerlarning asosiy elementlari bo'lib aktiv modda, nakachka damlash sistemasi va rezonatorlar xizmat qiladi.

Shu asosiy elementlarning bo'lishi lazer nurlari hosil qilishning zaruriy va yetarli shartidir. Lekin lazerlarda boshqa kushimcha qurilmalar xam ishlatiladi. Bu qurilmalar lazerlarni OKG-ni ishlash funksiyasini yaxshilash ishlash muddatini cho'zish va lezerlarni OKG-ni xarakteristik parametrini yaxshilash uchun xizmat qiladi. Bu qurilmalarga quyidagi sistemalar kiradi.

1. Aktiv moddani va dimlash sistemasini sovitadigan qurilma.
2. Lazer nurlarini modulyasiya qilish sistemasi.
3. Nurlanish parametrlarini kontrol qilib turadigan qurilma.
4. Nurni boshqaradigan qurilma yoki tashki optik sistemalar.
5. Tebranish sistemalar tiplarini tanlaydigan qurilma.

Xar qanday konkret xol uchun sanab utilgan elementlarni bittasi yoki bir nechitasi, yoki xammasi bo'lishi shart emas.

Ba'zi bir lazerlarni aktiv elementlarida inversion joylashish xosil qilish uchun ularni sovutish kerak buladi. Sovitadigan qurilma aktiv moddani ma'lum bir temperaturada ushlab turish uchun xamda (nakachka) damlash sistamasini sovutish uchun foydalaniladi.

Lazer nurlarini modullashtirish katta (gigant) nurlanish impulslarini olish maksadida qo'llaniladi. Tashki optik sistema nurlar dastasini tarkalish yunalishini uzgartirish uchun xizmat qiladi.

Kontrol qilish sistemasi o'zida bir kancha lazerni parametrlarini ulchaydigan asboblarda va nurlaish quvvatini va chastotasi bir kiymatda ushlab turadigan asboblardan tashkil topadi.

Aktiv moddalarning agregat holatlariga ko'ra lazerlar quyidagi turlarga bo'linadi: a) qattiq jism lazerlari, b) bo'yoq eritmasi asosida ishlaydigan bo'yoq

lazeri, v) gaz lazeri, yarim o'tkazgichli lazerlar va ximiyaviy lazerlar kabilarni bu yerda batafsil muhokama qilamiz.

Qattiq jisimli lazerlar deb shunday lazerlarga aytiladiki ularni aktiv elementlari vazifasini kristal va ammorf xoldagi dielektriklar bajaradi.

Qattiq jisimli lazerlarga misol qilib eng kup tarkalgan yokut va neodim shishasidan tayyorlangan lazerlarni olish mumkin. Bunday lazerlarda inversion joylashish qattiq agregat xolidagi atom va ionlarning energetik satxlarida xosil buladi. Qattiq jisimli OKG-lari boshqa tipdagi lazerlarga karaganda prinsipial farkka ega.

Qattiq materialdagi aktiv zarrachalarning konsentrasiyasi (10^{-17} - 10^{20} sm.⁻³) gazli muxitdagi zarrachalarning konsentrasiyasiga nisbatan bir necha tartibda katta buladi. Shuning uchun qattiq jisimli lazerlarning energetik satxlarida inversion joylashishi boshqa turdagi lazerlarga nisbatan kup buladi, yoki boshqacha aytganda inversion joylashishning absalyut kiymati gazlardagiga nisbatan katta buladi. Bu esa qattiq aktiv elementli lazerlarni juda katta kuchaytirish koefitsiyentiga ega bo'lishini kursatadi. Bundan

1. Katta quvvatga ega bulgan generasiyani olish.
2. Aktiv elementni uzunligi kiska bulganda xam generasiyani olish imkoniyatini beradi.

Qattiq jisimlarni birjinsliligi gazlarga nisbatan juda yomon.

Bu esa, sochilish natijasida yukotilishni oshishiga uzun aktiv elementdagi foydalanilganda rezonatorni sifatini (yomonlashiga) kamayishiga olib keladi. Shuning uchun qattiq jisimli lazerlardan aktiv elementni uzun qilib tayyorlashni foydasi yuk qattiq jisimli lazerlarni aktiv elementining uzunligi 50-60 sm bo'lib, u optik birjinsli moddadan tayyorlanadi. Qattiq jisimli lazerlarda sochilish burchagi 10 minutlar atrofida buladi. Qattiq jisimda, zarrachalarni o'zaro tuknashishi natijasida energetik satxlarni strukturasi bo'ziladi. Ma'lumki qattiq jisimlarda energetik satxlar katta kenglika ega buladi.

Spontan nurlanish va generasiya chiziqlari keng spektral yo'lak bo'yicha taksimlangan buladi. Kristallarda spontan nurlanish uchun spektral yulakning

kengligi bir necha angestrumni, shishalarda bir necha un angestrumni tashkil etadi. [Generasiya chizigining kengligi eng yaxshi bulgan xolda angestremni ulushlarini tashkil etadi]. Qattiq jismli lazerlarda inversion joylashish xosil qilish gaz va yarim utkazgichli lazerlarda inversion joylashish xosil qilinishidan keskin farq qiladi. Bu xol qattiq dielektrikdan tok utishi bilan boglik bulmay u qattiq jismli [optik kvant lazerlarda generatorlarida] optik damlash bilan boglik buladi. Optik damlash yoki inversion xolatga joylashtirish aktiv moddani tashki manba yordamida kuchli yoritish natijasida amalga oshiriladi.

Spektral tartibi ma'lum tanlab olingan nurlanish yoki utish extimollarining ma'lum nisbati, yuqori ish xolatning tulishiga va inversiyani xosil bo'lishiga olib keladi.

Qattiq jismli OKG - ni aktiv muxiti.

Qattiq jismli OKG-ni aktiv muxiti kristal yoki ammorf xoldagi dielektrik bo'lib silindr yoki turtburchak shaklida buladi.



aktiv elementning uchlariga maxsus ishlov berilib kup quvvatli dielektrik koplama bilan koplanib rezonator vazifasini bajaradi. Kuzgularni yustirovka qilish bu xolda aktiv elementlarni uchlarini parallelligi va ularga berilgan ishlov asosiy rolni utaydi. Kaytarish koefitsiyentini yaxshilash uchun ba'zi xollarda aktiv element uchlaridan birini tulik ichga kaytish xodisasi asosida ishlovchi qilib ishlanadi. Buning uchun aktiv elementni uchlaridan biri burchakli qilib yasaladi, ya'ni tula ichga kaytish xodisasi bo'lishi uchun φ burchagi

$$\varphi \leq 2 \arccos \frac{1}{n} \quad \text{shartni qanoatlantirishi shart.}$$

n - aktiv element materialini sindirish kursatgichi. Qattiq jism lazerlarni ulchami katta emas, ularni aktiv elementini kundalang kesim bir necha millimetrdan 2-3 sm-gacha va uzunligi esa 50-60 sm -gacha buladi.

Aktiv elementning uchkiismi shilifovka va polirovka kilinadi. Yon kismlari esa ularda (yon kismlardan) buladigan kushimcha kaytishni yukotish uchun gadir budur qilib tayyorlanadi.

Qattiq jisimli lazerlarni dielektrik aktiv elementi 2 ta komponentadan tashkil topgan. Aktiv elementnig asosiy materiali generasiyaga olib keluvchi fizik prosessga katnashmaydigan kismi -matrisa deb ataladi. Matrisa bu kristal yoki ammorf modda bo`lib o`zida aktivatorni atomi va ionlarni kushimcha tarikasida saklaydi. Majburiy nurlanish va generasiya aktivatorni utishlarida xosil buladi. Matrisada aktivatorni mikdori bir necha prosentni tashkil kiladi. Shunday qilib aktiv moddaning asosiy texnik xususiyatlarini matrisaning moddasi tashkil kiladi.

Lazerlarning matrisasining moddasi kuyidagi talablarni qondirishi kerak.

1. Generasiya hosil bo`lish darajasidagi o`tishlar uchun aktivatorni elementlarini ko`shish.
2. Aktiv moddani uzok ishlashi uchun mexanik va ximiyaviy ta`sirlarga mustaxkam bo`lishi kerak.
3. Optik damlash va generasiya vaqtida bo`ladigan issikliklarga chidamli bo`lishi kerak.
4. Umumiy holda ishlab chiqarish uchun texnolgiyasi sodda bo`lishi kerak.
5. Mexanik va optik ishlov berishlarga chidamli bo`lishi kerak.
(shilifovka, polirovka, kaytaruvchi katlam va xokazo.)
6. Nurlanishni damlash va generasiya bo`lish uchun shaffof (tinik) bo`lish kerak.
7. Qo`shimcha yukotilishni, sochilishni, kamaytirish va rezonatorni sifatini yaxshilash uchun u optik birjinsli bo`lishi kerak.

Masalalar yechishdan namunalar

1. Rubin lazeri rezonatorining difraksion yo`qotishini nima ko`proq kamaytiradi. Ko`zgular orasidagi masofani 2 marta kamaytirishmi yoki ko`zgularning diametrini 2 marta oshirishmi? Javobni asoslab bering.

Javob. Ochiq rezonatordagi difraksion yo`qotish koeffisientini quyidagicha baholash mumkin.

$$A_{dif} = \frac{4l\lambda}{a^2}$$

Bunda l - ko'zgular orasidagi masofa, λ -nurlanish tolqin uzunligi, a - ko'zgu radiusi

Ko'zgular orasidagi masofani 2 marta kamaytirilishi ($l \rightarrow \frac{l}{2}$) difraksion yuqotish

koeffisientini ham 2 marta kamaytirishga olib keladi. ($A_{dif} = \frac{A_{dif}}{2}$) Ko'zgu

diametrining 2 marta kamaytirilishi ($a \Rightarrow 2a$) difraksion yo'qotish koeffisientini 4

marta kamayishiga olib keladi

$$A_{dif} \approx \frac{1}{a^2}$$

2. CO₂ lazerining aktivlikli chiqish ko'zgusining optimal shaffoflikdan 50% bo'lganda uning yuqotish koeffisientini baholang.

Rezonator ko'zgulari orasidagi masofa 1 m. Kuchaytirish koeffisienti 2 sm⁻¹ ga teng.

Yechilishi. . Rezonator kirish ko'zgusining shoffofligi quyidagicha aniqlanadi:

$$T = 2\alpha_0 l \left(\sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}} - \frac{\beta}{\alpha_0} \right)$$

Bu erda α_0 -kuchaytirish koeffisienti, β - yuqotish koeffisienti, l - ko'zgular orasidagi masofa.

$$\sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}} = x \text{ shartni kiritamiz. } T = 2\alpha_0 l (x - x^2) \rightarrow x - x^2 = \frac{T}{2\alpha_0 l} \quad x^2 - x + \frac{T}{2\alpha_0 l} = 0$$

Masala shartini qo'yib tenglikni yozamiz va x - qo'yamiz

$$x_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - \frac{4T}{2\alpha_0 l}}}{2} = 0,99875; 0,00125 \quad \sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}} = 0,99875 \quad \sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}} = 0,00125$$

$$\beta = 0,0099 \text{ yoki } \beta \approx 0$$

Agarda ko'zguning optimal shaffofligi 50% gat eng bo'lsa, bu holat ideal faol muhitda hosil bo'ladi(yuqotish koeffisienti $0 \rightarrow 0$) yoki $\alpha \rightarrow \beta$ ga intiladigan muhitda bo'ladi.

Javob. $\beta \rightarrow 0$ yoki $\beta \rightarrow \alpha_0$

3. Koʻzgular orasida 50 sm bolganda boʻshliq kuchaytirish koefitsienti 0,1 sm^{-1} boʻlgan faol muhit bilan toʻldirilgandagi kuchaytirish koefitsientining yuqotish koefitsientiga nisbati nimaga teng. Bunda turgʻun generasiya chiqish koʻzgusining optimal shaffofligi 30% ga teng.

Yechilishi. . Rezonator kirish koʻzgusining shaffofligi quyidagicha aniqlanadi

$$T = 2\alpha_0 l \left(\sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}} - \frac{\beta}{\alpha_0} \right)$$

Bu erda α_0 - kuchaytirish koefitsienti, β - yuqotish koefitsienti, l - koʻzgular orasidagi masofa.

$$\sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}} = x \text{ shartni kiritamiz. } T = 2\alpha_0 l (x - x^2) \rightarrow x - x^2 + \frac{T}{2\alpha_0 l} = 0$$

Tenglamani yechamiz

$$x_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - \frac{4T}{2\alpha_0 l}}}{2}$$

Masalaning qoʻyilishi $x_1=0,031$ va $x_2=0,969$; $\sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}} = 0,031$ yoki $\sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}} = 0,969$

Bunda $\frac{\alpha_0}{\beta} = 1040$ yoki $\frac{\alpha_0}{\beta} \approx 1,1$

Javob. $\frac{\alpha_0}{\beta} = 1040$ yoki $\frac{\alpha_0}{\beta} \approx 1,1$

Mustaqil masalalar yechish

1. Absolyut qora jism temperaturasi $t_1=727^\circ\text{C}$ dan $t_2=1727^\circ\text{C}$ gacha oʻzgargan. Bu holatda nurlanayotgan energiya necha marta oʻzgaradi?
2. Yer nurlanish tufayli har minutda 1 m^2 yuzadan $F=5.4 \text{ kJ}$ energiya yoʻqtadi. Absolyut qora jism qanday temperaturada shunday energiyani nurlanganligi tufayli yoʻqotar ekan?
3. Quyosh sirtidagi temperaturani $T=6700 \text{ K}$ deb hisoblab, uning $S=1 \text{ m}^2$ yuzasidan $=1 \text{ min.}$ da qancha energiya nurlanishini hisoblang. Quyosh absolyut qora jismdek nur chiqaradi deb olinsin.
4. Qizigan metall sirtining nurlanish quvvati $N=0.67 \text{ kVt}$. Sirt harorati $T=2500 \text{ K}$, yuzasi $S=10 \text{ sm}^2$. Agar bu sirt absolyut qora boʻlganda, u qanday nurlanish quvvatiga ega boʻlardi?

5. Kaliydan $\lambda=330$ nm to'lqin uzunlikdagi yorug'lik ta'sirida urib chiqarilayotgan elektronlarni to'xtatib oladigan potentsiallar ayirmasi U topilsin.
6. Ruh plastinka monoxromatik yorug'lik bilan yoritilmoqda. Fototokning yo'qotish uchun $U=6$ V dan kichik bo'lmagan to'xtatuvchi potentsiallar ayirmasi qo'yilishi zarur. Agar ruh plastinka o'rniga boshqa metall dan yasalgan plastinka qo'yilsa, to'xtatuvchi potentsiallar ayirmasi $U_2=5.3$ V gacha kamayadi. Agar elektronni ruhdan chiqish ishi $A=3.7$ eV bo'lsa, ikkinchi metall plastinkadan elektronni chiqish ishi aniqlansin.
7. Metall plastinkaning to'lqin uzunligi $\lambda=0.2$ mkm bo'lgan monoxromatik yorug'lik bilan yoritilganda, to'xtatuvchi potentsiallar ayirmasi $U=0.8$ V ga teng bo'lgan. Fotoeffekt hodisasi yuz berishi mumkin bo'lgan maksimal to'lqin uzunligi aniqlansin.
8. Vakuum fotoelementining elektrodlaridan birini $\nu=5 \cdot 10^{14}$ Gs chastotali monoxromatik yorug'lik bilan yoritilganda elektronlar $U=0.7$ V dan kichik bo'lmagan kuchlanishda to'liq to'xtatilgan. Shu elektrodni $\lambda=0.52$ mkm to'lqin uzunlikdagi yorug'lik bilan yoritilganda fototokni yo'qotish uchun zarur bo'lgan eng kichik to'xtatuvchi potentsiallar ayirmasi aniqlansin.
9. Metall sirtidan energiyasi $\epsilon=1.53$ MeV bo'lgan γ - kvant ta'sirida chiqarilgan fotoelektronlarning maksimal tezligi aniqlansin.
10. To'lqin uzunligi $\lambda=0.22$ mkm bo'lgan monoxromatik yorug'likning fotonlar metall plastinka sirtiga tushmoqda. Har bir fotoelektron uchib chiqishida plastinka sirtiga beruvchi maksimal impul's aniqlansin. Berilgan metall uchun fotoeffektning qizil chegarasi $\lambda_0=0.25$ mkm.
11. Fotoelektronlarning maksimal tezligi 2000 km/s bo'lishi uchun seziy sirtiga qanday to'lqin uzunlikdagi nurlar yo'naltirish lozim? Seziy uchun fotoeffektning qizil chegarasi 690 nm ga teng.

EST SAVOLLARI

1. Rezonatorning bitta xususiy tebranishi bilan o'tuvchi chastotali intervali formulasini kursating.

a) $\frac{\Delta\nu}{N} = \frac{c^3}{8\pi\nu^2V}$

b) $\Delta\varpi = \gamma/2$

c) $2\Delta\varpi = \gamma = \frac{1}{\tau}$

d) $\varpi_\gamma = \left[\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m} \right)^2 \right]^{1/2}$

2. Lazer modasining xususiy chastotasi nimaga teng?

a) $\nu = \frac{C}{2L}$

B) $\Delta\nu = n \frac{C}{2L}$

C) $\Delta\nu = \frac{C}{2L}$

D) $\nu = n \frac{C}{2L}$

3. Spontan o'tish ehtimolligi formulasini aniqlang.

a) $A_{i \rightarrow k} = \frac{1}{\tau_i}$

B) $A_{k \rightarrow i} = \frac{1}{\tau_i}$

C) $A_{i \rightarrow k} = \tau_i$

D) $A_{k \rightarrow i} = \tau_i$

4. Termodinamik muvozanatning buzilish sharti.

a) $\frac{N_k}{N_i} \gg \frac{g_k}{g_i}$

b) $\frac{N_k}{N_i} \ll \frac{g_k}{g_i}$

c) $\frac{N_k}{N_i} \approx \frac{g_k}{g_i}$

d) $\frac{N_k}{N_i} = \frac{g_k}{g_i}$

5. Rezonatorning qaysi joyida to'qin fronti tekis bo'ladi?

a) Fokal sirtida

b) Markazida

c) Chekkasida

d) Periferida

15. Asosiy modaning difraksion sochilishi qanday ko'rinishda bo'ladi.

a) λ/ϖ_0

b) λ/l

c) $l/2$

d) λ/ν

6. Rezonatorlarda xususiy tebranishlar soni bilan chastota qanday bog'langan?

d) N proporsional ν^2 ga

b) N teskari proporsional ν^2 ga

c) N proporsional ν ga

d) N teskari proporsional ν ga

7. Gauss dastasining sochilish burchagi nimaga teng?

a) λ/ϖ_0

b) $Q = \frac{\varpi}{z} = \frac{1}{k\varpi_0}$

c) $\alpha = -\frac{1}{I} \frac{dI}{dz}$

d) λ^2/ϖ_0

8. Modalar orasida bieniy chastotasi formulasini ko'rsating ?

a) $\Delta\nu_q = c/2L$

b) $\Delta\nu = n \frac{C}{2L}$

c) λ/ν

d) λ/ϖ_0

9. Qanday shartda termodinamik muxit muvozanati buzilishi mumkin

a) $\frac{N_k}{N_i} \gg \frac{g_k}{g_i}$

b) $\frac{N_k}{N_i} \ll \frac{g_k}{g_i}$

c) $\frac{N_k}{N_i} \approx \frac{g_k}{g_i}$

d) $\frac{N_k}{N_i} = \frac{g_k}{g_i}$

10. Kvant sistemasining manfiy yutilish sharti qanday ifoda bilan aniqlanadi.

a) $\frac{N_k}{N_i} \gg \frac{g_k}{g_i}$

b) $\frac{N_k}{N_i} \ll \frac{g_k}{g_i}$

c) $\frac{N_k}{N_i} \approx \frac{g_k}{g_i}$

d) $\frac{N_k}{N_i} = \frac{g_k}{g_i}$

11. Sinxrom to'lqin sharti.

$$a) \Delta n \equiv n_{\text{red}} - n_{\text{blue}} = 0$$

$$b) \nu = \pm \omega_1 \pm \omega_2 \pm \omega_3$$

$$c) \frac{1}{\Omega_{MB}} < \tau_{\phi} < \frac{t_0}{J}$$

$$d) \Delta n \equiv n_{\text{red}} - n_{\text{blue}} = 1$$

12. Chiziqli doplercha kengayish yarim kengligi qanday ko`rinishda bo`ladi?

$$a) \frac{\Delta \omega}{2} = \sqrt{Ln2\Delta \omega}$$

$$b) \frac{\Delta \omega}{2n} = \sqrt{Ln5\Delta \omega}$$

$$c) \frac{\Delta \omega}{2} = Ln5\sqrt{\Delta \omega}$$

$$d) \frac{\Delta \omega}{2} Ln2 = \sqrt{Ln2\Delta \omega}$$

a)

13. Gauss dastasining doimiy fazalar satxi ifodasini ko`rsating

$$a) Z + \frac{x^2 + y^2}{2R} = const$$

$$b) \frac{z^2 + x^2 + y^2}{2R} = const$$

$$c) Z + \frac{x + y}{R} = const$$

$$d) \frac{z + x + y}{2R} = const$$

14. Lazer modasining xususiy chastotasi formulasini ko`rsating

$$a) \nu_q = \frac{c}{2l} q$$

$$b) \nu_q = \frac{c}{5l} q$$

$$c) \nu_q = \frac{c}{2l} q^2$$

$$d) \nu_q = \frac{c^2}{5l} q$$

15. Elektrik damlash tezligi formulasini ko`rsating.

$$a) W_n = N_e v_e \sigma_e$$

$$b) W_n = N_e^2 v_e^2 + \sigma_e$$

$$c) W_n = N_e v_e \sqrt{\sigma_e}$$

$$d) W_n = \frac{v}{N\sigma}.$$

16. Rezonatordagi fatonlar soniga nisbatan differentsial tenglamaning yechimi qanday ko`rinishda bo`ladi?

$$a) n_{\phi} \sim e^{kT}$$

$$b) n_{\phi} \sim \frac{1}{\beta} e^{kT}$$

$$c) n_{\phi} \sim \frac{1}{\beta} e^{kT+1}$$

$$d) n_{\phi} \sim \frac{2}{\beta-1} e^{kT}$$

17. Nomuvozanat sistemaning muxim xarakteristikasi bu

a) Manfiy temperatura;

b) Optik damlash;

c) Asllik;

d) Elektrik damlash;

18. Ma'lum bir dt vaqt davomidagi spontan o'tishlar soni qanday ifodaalanadi.

$$a) dN_{2,1} = A_{2,1} N_2 dt$$

$$b) dN_{1,2} = A_{1,1} N_2 dt$$

$$c) dN_{2,1} = e A_{2,1} N_2 dt$$

$$d) dN_{2,1} = W A_{2,1} N_2 dt$$

19. Fotonning rezonatoridagi yashash vaqti formulasi.

- a) $\Delta t_{\phi} = \frac{2L}{C}$ b) $\Delta t_{\phi} = \frac{C}{2L}$ c) $\Delta t_{\phi} = \frac{5L}{C}$ d) $\Delta t_{\phi} = \frac{C}{5L}$

19. Lazer nurining generatsiyasining paydo bo'lishida kuchayish koeffitsienti bilan yo'qolish koeffitsienti orasida qanday bog'lanish mavjud.

- a) $G \geq \gamma$ b) $G > \gamma$ c) $G \leq \gamma$ d) $G = \gamma$

20. Lazer nurining generatsiyasining paydo bo'lishida quyi chegara qanday ko'rinishda bo'ladi.

- a) $G \geq \gamma$ b) $G > \gamma$ c) $G \leq \gamma$ d) $G = \gamma$

21. Lazer nurining difraksion yo'qotish koeffitsientini aniqlang.

- a) $\gamma_g = \frac{4}{N_{\phi}}$
 b) $\gamma_g = \frac{2}{N_{\phi}}$
 c) $\gamma_g = \frac{N_{\phi}}{4}$
 d) $\gamma_g = \frac{2}{3N_{\phi}}$

22. Rezonator aslligini aniqlash formulasini toping?

- a) $Q = \frac{\nu_0}{\delta\nu}$
 b) $Q = \frac{5\nu_0}{2\delta\nu}$
 c) $Q = \frac{\nu_0}{\delta\nu} dt$
 d) жавоблар ичида тугриси йук;

23. Резонаторлардан чиқиб кетаётган энергияни кандай формула билан ҳисоблаш мумкин?

- a) $d\varepsilon = -\varepsilon \left(-R \frac{c}{L} dt \right)$
 b) $d\varepsilon = \varepsilon \left(-R \frac{c}{L} dt \right)$
 c) $d\varepsilon = -\varepsilon \left(+R \frac{c}{L} dt \right)$
 d) $d\varepsilon = -\varepsilon \left(+R \frac{L}{c} dt \right)$

24. Bir jinsli spektral kengayishga ega bo'lgan aktiv moddalar uchun generatsiya spektrining kengligini hisoblash formulasini ko'rsating?

- a) $\Delta\nu = \frac{4h\nu(\delta\nu_{\frac{1}{2}})}{P}$

$$\text{b) } \Delta \nu = \frac{2h\nu(\delta\nu_{1/2})}{5P}$$

$$\text{c) } \Delta \nu = \frac{4h\nu}{P}$$

$$\text{d) } \Delta \nu = \frac{2h\nu(\delta\nu_{1/2})}{P}$$

25. Inversiya hosil qilingan moddaning xarorati aniqlash formulasini ko'rsating?

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

$$\text{b) } T = -\frac{\Delta \varepsilon}{k} \left[\ln \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \right]^2$$

$$\text{c) } T = -\frac{\Delta \varepsilon}{k} \left[\ln \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \right]^{-1} e^{kT}$$

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

Savollar

1. Lazer fizikasi fani tarixi, predmeti va vazifalari. (lazer, mazer, foton, energiya, energetik satx, stasionar)
2. Spontan nurlanish. (Eynshteyn koefisiyenti, energiya. chastota)
3. Majburiy nurlanish (Eynshteyn koefisiyenti, energiya. chastota)
4. Satxlardagi zichlanish inversiyasini tushuntirib, sxemasini keltiring. (energetik satx, zichlanganlik, stasional, foton)
5. Yorug'likning muxitdan o'tganda kuchayishi. (intensivlik, Berr qonuni, atom, uyg'ongan holat)
6. Manfiy temperaturali muhitning fizik mexanizmini ta'rifini bering. (inversiya, termodinamik muvozanat, indutsirlangan nurlanish)
7. Lazer fizikasida qo'llaniladigan teskari musbat bog'lanishni tushuntirib bering (rezonator, ko'zgular, qaytarish koefisiyenti)
8. Aktiv muhitdan o'tishda elektromagnit to'lqin intensivligini o'zgarishini sabablarini tushuntirib bering (intensivlik, energetik sath, majburiy nurlanish)
9. Bir jinsli spektral kengayish. (Lorens funksiyasi, spektral kenglik, Spontan nurlanishning spektral chizig'i)
10. Bir jinsli bo'lmagan spektral kengayish. (Gaus funksiyasi, spektral kenglik, majburiy nurlanishning spektral chizig'i)
11. Spektral chiziqlarning Doplercha kengayishi (Gazlar, to'lqin, harakat, rezonans chastota)
12. Optik damlash. (energetik sath, inversion ko'chganlik, metastabil holat)
13. Elektrik damlash. (razryad, energetik sath, inversion ko'chganlik, metastabil holat)
14. Aktiv modda hosil qilish usullari. (inversion ko'chganlik, uyg'ongan atomlar)
15. Optik rezonatorlarning turlari va ularning optik sxemalari. (ko'zgu, sferik, fokusdosh, konsentrik, parallel)
16. Fabri-Pero rezanatori (ko'zgu, parallel, yassi, ko'ndalang moda)
17. Rezonator aslligi. (to'plangan energiya, to'la tebranish, yo'qolgan energiya)
18. Lazer generatsiyasining umumiy nazariyasi. (kuchayish koefisiyenti, aksial moda, bir modali generatsiya)
19. Lazer nurlarining monoxromatikligi va kogerentligi haqida tushuncha bering. (majburiy, nurlanish, fazalar farqi, chastota)
20. Optik kvant generatorlarining tuzilishi va umumiy sxemasi. (damlash, modulyasiya, sovutish, tashqi optik sistema)

Mustaqil ish savollari

1. Yoqut lazeri haqida tushuncha bering. (anizotropik, korund, xrom oksidi)
2. Geliy-neon lazeri haqida tushuncha bering. (metastabil energetik sath, gazorazryad, to'qnashish, elektr razryadi)
3. CO₂ lazeri haqida tushuncha bering. (tebranish – aylanish, uzoq infraqizil nurlanish, to'lqin uzunligi)
4. Yarim o'tkazgichli lazerlar. (energetik zonalar, valent zona, n -tipli, legirlangan, teshik)
5. Kuchayishning tuyinishi. (Inversion ko'chganlik, to'yinish intensivligi, muvozanat, stasionar generatsiya)
6. Damlash tezligi. (bo'sh sath, intensivlik, kvant chiqish, optik damlash)

Masalalar

1. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 290 K haroratda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar energiyalarning farqi neodim lazeri nurlanishining to'lqin uzunligiga mos kelsa, quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang. Neodim lazeri uchun $\lambda = 1,06 \cdot 10^{-6}$ m.
2. Agar quyi sathdagi joylashish yuqori sathga nisbatan ikki marta kam bo'lsa, bunday ikki sathli kvant sistemasining effektiv holati nimaga teng? Sathlar orasidagi energetik farqini He-Ne lazerining ko'rinadigan sohasidagi nurlanishi to'lqin uzunligiga mos keladi.
3. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 500 K haroratda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar energiyalarning farqi Geliy-Neon lazeri nurlanishining to'lqin uzunligiga mos kelsa, quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang. Neodim lazeri uchun $\lambda = 6,3 \cdot 10^{-6}$ m.
4. Agar quyi sathdagi joylashish yuqori sathga nisbatan to'rt marta kam bo'lsa, bunday ikki sathli kvant sistemasining effektiv holati nimaga teng? Sathlar orasidagi energetik farqini Neodim lazerining ko'rinadigan sohasidagi nurlanishi to'lqin uzunligiga mos keladi. Neodim lazeri uchun $\lambda = 1,06 \cdot 10^{-6}$ m.
5. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar hona haroratida bu sathlar orasidagi foton nurlanishi farqi 10 eV ga teng bo'lsa quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang.
6. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar 300K temperaturada bu sathlar orasidagi foton nurlanishi farqi 20 eV ga teng bo'lsa quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang.
7. Agar quyi sathdagi joylashish yuqori sathga nisbatan 8 marta kam bo'lsa, bunday ikki sathli kvant sistemasining effektiv holati nimaga teng? Sathlar orasidagi energetik farqini He-Ne lazerining ko'rinadigan sohasidagi nurlanishi to'lqin uzunligiga mos keladi.
8. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 273 K haroratda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar energiyalarning farqi Geliy-Neon

- lazeri nurlanishining to'liq uzunligiga mos kelsa, quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang. Neodim lazeri uchun $\lambda = 6328\text{\AA}$
9. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar hona haroratida bu sathlar orasidagi foton nurlanishi farqi 15 eV ga teng bo'lsa quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang.
 10. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar 310K temperaturada bu sathlar orasidagi foton nurlanishi farqi 8 eV ga teng bo'lsa quyi sathga nisbatan yuqori sathga nisbiy joylashishini baholang.
 11. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 200 va 400K temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi 0.01eV ga teng bo'lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo'ladi.
 12. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 300 va 600K temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi 0.1eV ga teng bo'lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo'ladi.
 13. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 100 va 200K temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi 1eV ga teng bo'lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo'ladi.
 14. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 10 va 20C temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi 0.5eV ga teng bo'lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo'ladi.
 15. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 17 va 27C temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi 2.5eV ga teng bo'lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo'ladi.
 16. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 27 va 57C temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi 1.5eV ga teng bo'lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo'ladi.
 17. Ikkita energetik sathdan tashkil topgan kvant sistemasi 150 va 300K temperaturalarda termodinamik muvozanatda bo'lsin. Agar bu sathlar orasidagi energiyalar farqqi 0.001eV ga teng bo'lsa bu temperaturalarda yuqori energetik sathda zarralar nisbiyligi qanday munosabatda bo'ladi.
 18. Faraz qilamizki, vodorodga o'xshash molekulalardan tashkil topgan gaz muhiti faqatgina energetik sathdan (vodorod molekulasiga 2 ta energetik holatga mos keluvchi) iborat bo'lsin. Yuqori energetik sath molekulalariga to'qnashuvlari tufayli bo'shab qolgan bo'lsin. Agar vodorod molekulasiga erkin chopish masofasi 10 mm ga teng deb olsak, xona haroratining nurlanish spektriga to'qnashish kengligini baholang.

19. Faraz qilamizki, vodorodga o'xshash molekulalardan tashkil topgan gaz muhiti faqatgina energetik sathdan (vodorod molekulasida 2 ta energetik holatiga mos keluvchi) iborat bo'lsin. Yuqori energetik sath molekulalariga to'qnashuvlari tufayli bo'shab qolgan bo'lsin. Agar vodorod molekulasiga erkin chopish masofasi 0.1 mkm ga teng deb olsak, 300K haroratda nurlanish spektriga to'qnashish kengligini baholang.
20. Vodorodga o'xshash molekulalardan tashkil topgan gaz muhiti faqatgina energetik sathdan (vodorod molekulasida 2 ta energetik holatiga mos keluvchi) iborat bo'lsin. Yuqori energetik sath molekulalariga to'qnashuvlari tufayli bo'shab qolgan bo'lsin. Agar vodorod molekulasiga erkin chopish masofasi 1 mkm ga teng deb olsak, 400K haroratda nurlanish spektriga to'qnashish kengligini baholang.
21. Vodorodga o'xshash molekulalardan tashkil topgan gaz muhiti faqatgina energetik sathdan (vodorod molekulasida 2 ta energetik holatiga mos keluvchi) iborat bo'lsin. Yuqori energetik sath molekulalariga to'qnashuvlari tufayli bo'shab qolgan bo'lsin. Agar vodorod molekulasiga erkin chopish masofasi 0.01 m ga teng deb olsak, 200K haroratda nurlanish spektriga to'qnashish kengligini baholang.
22. 100 K temperaturada is gazining (CO_2) molekulalarining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 1 m ga teng deb olinsin.
23. 150 K temperaturada is gazining (CO_2) molekulalarining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 0.1 m ga teng deb olinsin.
24. Temperaturasi 200 K bo'lgan kislorod gazining (O_2) molekulalarining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 0.01 m ga teng deb olinsin.
25. Temperaturasi 17C bo'lgan kislorod gazining (O_2) molekulalarining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 0.01 sm ga teng deb olinsin.
26. Temperaturasi 27C bo'lgan is gazining (CO_2) molekulalarining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 0.1 mm ga teng deb olinsin.
27. Temperaturasi 27C bo'lgan Azot gazining (N_2) molekulalarining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 0.2 mm ga teng deb olinsin.
28. Temperaturasi 117C bo'lgan Azot gazining (N_2) molekulalarining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 0.0002 mm ga teng deb olinsin.
29. Temperaturasi 17C bo'lgan Azot gazining (N_2) molekulalarining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 0.02 mm ga teng deb olinsin.
30. 50 K temperaturada gazining (CO_2) molekulalarining o'zaro to'qnashuvi tufayli nurlanish chizig'ning kengayishini aniqlang. Bu haroratda molekulalarning erkin chopish masofasi 0.1 m ga teng deb olinsin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro`yhati

1. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1988.
2. Звельто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990.
3. Крылов К. И. и др. Основы лазерной техники. Л.: Машиностроение, 1990.
4. Турсунов А.Т., Тухлибоев О. Квант электроникасига кириш. Т.: Ўқитувчи, 1992.
5. Илмий журналлар WWW.infomag.ru
6. Тарасов Л.В. Физические основы квантовой электроники. М.: Сов. радио, 1976.
7. Рябов С.Г. и др. Приборы квантовой электроники. М.: Советское радио, 1976.
8. Справочник по лазерам, в двух томах (Под редакцией А. М. Прохорова). М.: Сов. радио, 1978.
9. Mirinoytov M. M. Lazer fizikasi va texnikasi, O'quv qo'llanma, Toshkent, 2005 y.