

R.C. Qasimova

G.Ə. Səfərova

LAZERLƏR FİZİKASINDAN

MƏSƏLƏLƏR



R.C. Qasımova, G.Ə. Səfərova

**LAZERLƏR FİZİKASINDAN
MƏSƏLƏLƏR**

BAKI -2018

Elmi redaktor:

M.R. Rəcəbov

*fizika–riyaziyyat elmləri namizədi,
dosent*

Kitaba rəy verənlər:

F.Ə. Rüstəmov,

*fizika–riyaziyyat elmləri doktoru,
professor*

Z.Y. Sadıqov,

fizika üzrə elmləri doktoru

R.C. Qasımova, G.Ə. Səfərova

Lazerlər fizikasıdan məsələlər (Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti). Bakı, “BDU Nəşriyyatı”, 2018, -80 səh., 37 şəkil, 1 cədvəl.

Vəsaitdə kvant elektronikasının fiziki əsaslarını əhatə edən məsələlər toplanmışdır. Buraya elektromaqnit şüalanmasının maddə ilə qarşılıqlı təsiri, qaz və bərk cisimlərdə optik hadisələr, kvant elektronikasının metodları və cihazlarının işləmə prinsipləri daxildir. Bundan əlavə kitabda kəsilməz və impuls rejimdə işləyən qaz və bərk cisimli lazerlərin generasiyası, lazer şüasının Qaus dəstəsinin fəzada dəyişilməsinə aid məsələlər də daxil edilib. Lazer şüalanmasının əsas parametrlərinin təhlilinə və qiymətləndirilməsinə xüsusi diqqət ayrılıb.

Kitab lazer fizikasına aid məsələlərin həllinə həsr olunduğuna görə optika, elektrodinamika, kvant elektronika və lazer fizikasıdan baza biliklər vacibdir. Vəsait lazer fizikasına aid məsələlərinin həllində, tələbələrin yoxlama sərbəst və müstəqil işlərinin təşkilində istifadə oluna bilər.

Bu kitab təbiət fakültələrinin və ali təhsil müəssisələrində texniki istiqamətdə bakalavr və magistr pilləsində hazırlıq keçən tələbələr, doktorant və dissertantlar üçün nəzərdə tutulub. Xalq təsərrüfatının müxtəlif sahələrində lazerlərin işlənməsi və təbiiqi ilə məşğul olan mütəxəsislər üçün maraq kəsb edə bilər.

DOI: <https://doi.org/10.36719/0843/2025>

© R.C. Qasımova, G.Ə. Səfərova, 2018

ÖN SÖZ

Bu vəsait məsələlərin həlli vasitəsi ilə tələbələrə lazerin iş prinsipi ilə tanış edir və lazer şüalanmasının maddəyə, xüsusən də materialların səthinə təsirinin xüsusiyyətləri barədə təsəvvür formalaşdırır.

Məlum olduğu kimi, məsələlərin həlli - dəqiq elmlərin tədrisi prosesində vacib təhsil fəaliyyət növüdür. Fiziki məsələlərin həlli fizikanın əsas qanunlarını və düsturlarını anlamaq və yadda saxlamağı, onların xarakterik xüsusiyyətləri və tətbiq sərhədləri haqqında fikir yürütməyi, konkret praktiki məsələlərin həllində ümumi qanunlardan istifadə bacarığını və zehni inkişaf etdirməyə imkan verir. Məsələləri həll etmək bacarığı dərs vəsaiti materialının öyrənilməsinin dərinliyini və onun qavranılmasını qiymətləndirmək üçün ən yaxşı meyardır.

Kitabda, lazerlərin işləməsinin əsas prinsiplərindən başlayaraq, generasiyanın müxtəlif rejimlərində müxtəlif növlü lazerlər üçün məsələlər sistemləşdirilib. Lazerlərin

əsas elementlərinin (fəal mühit, açıq rezonatorun güzgüləri və növləri) baxılmasına diqqət yetirilib, o cümlədən optik rezonatorun müxtəlif növlərinə aid çoxlu sayda məsələlər verilib. Lazerlərin tətbiq oblastına baxılıb, materiallara güclü koherent şüalanmanın təsirindən yaranan effektlərə - lazer texnologiyalarına aid bir sıra məsələlərə yer ayrılıb.

I LAZERLƏRİN FƏAL MÜHİTLƏRİ. ŞÜALANMANIN GÜCLƏNDİRİLMƏSİ VƏ GENERASIYASI

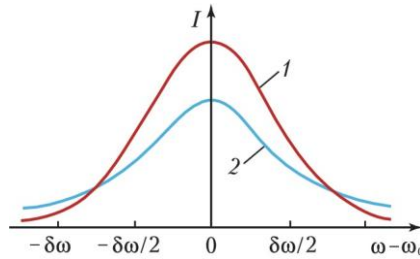
1. Elektromaqnit şüalanmanın spektri hansı diapazonlardan ibarətdir? Bu diapazonlar hansılardır? Hər bir diapazonun sərhəddini göstərin.

2. Spontan və məcburi şüalanmalar üçün Eynşteynin integral əmsalının ölçüsünü təyin edin.

3. Atom keçidinin spektral xətti bircins genişləndirilmişdir. İntensivliyinin maksimal qiymətinin $1/2$ səviyyəsinə görə ölçülmüş xəttin eni 200 QHs bərabərdir. Onun intensivliyinin maksimal qiymətindən $1/e^2$ səviyyəsinə görə ölçülmüş enini tapın.

4. Atom keçidinin spektral xətti Dopler genişlənməsinə malikdir. İntensivliyinin maksimal qiymətinin $1/2$ səviyyəsinə görə ölçülmüş xəttin eni 1500 MHs bərabərdir.

Onun intensivliyinin maksimal qiymətindən $1/e^2$ səviyyəsinə görə ölçülmüş enini tapın.



Spektral xəttin Qaus konturu (1), Lorens konturu (2):
 ω_0 – şüalanmanın maksimal intensivliyinə uyğun mərkəzi tezlikdir

5. Neodim lazerinin yuxarı işçi səviyyəsinin məskunlaşması onun aşağı işçi səviyyəsinin məskunlaşmasından 2 dəfə böyükdürsə, neodim lazerinin ($\lambda = 1,06$ mkm) işçi keçidinin temperaturunu tapın. Səviyyələrin cırılmasını ($g_1 = g_2$) bərabər hesab etmək.

6. Yaşama müddəti 10^{-8} san-ə olan atomun enerji səviyyəsinin təbii genişlənməsi nəyə bərabərdir?

7. Helium-neon lazeri üçün uzaq zonada lazer

dəstəsinin işıq şiddətini $I = \frac{\Phi}{\Omega}$ müəyyən edin. Nəzərə alın ki, He-Ne lazerinin çıxış gücü $10^{-3} - 10^{-1}$ Vt intervalda dəyişir.

8. Dalğa uzunluğu 0,63 mkm olan helium-neon lazerin müstəvipolyarlaşmış şüalanmasını almaq üçün və rezonatorada əksolunmada itkilərin azalması məqsədi ilə Brüster qanunundan istifadə olunur. Bunun üçün fəal mühit hər iki tərəfdən şüşə lövhəciklərlə elə məhdudlaşdırılır ki, onların səthinin normalı ilə işığın yayılma istiqaməti arasında Brüster bucağı yaransın.

Lövhəciyin materialının sındırma əmsalı $n = 1.4$ olduqda Brüster bucağını hesablayın.

9. Şüa Brüster bucağı altında düşdükdə əks olunan və sınan şüalar arasındakı bucaq nəyə bərabərdir?

10. Lazer kristalının gücləndirmə əmsalı 2 sm^{-1} və itkilərin səviyyəsi 0.4 sm^{-1} -i olarsa, 10 sm uzunluqlu lazer kristalının gücləndirmə əmsalını hesablayın.

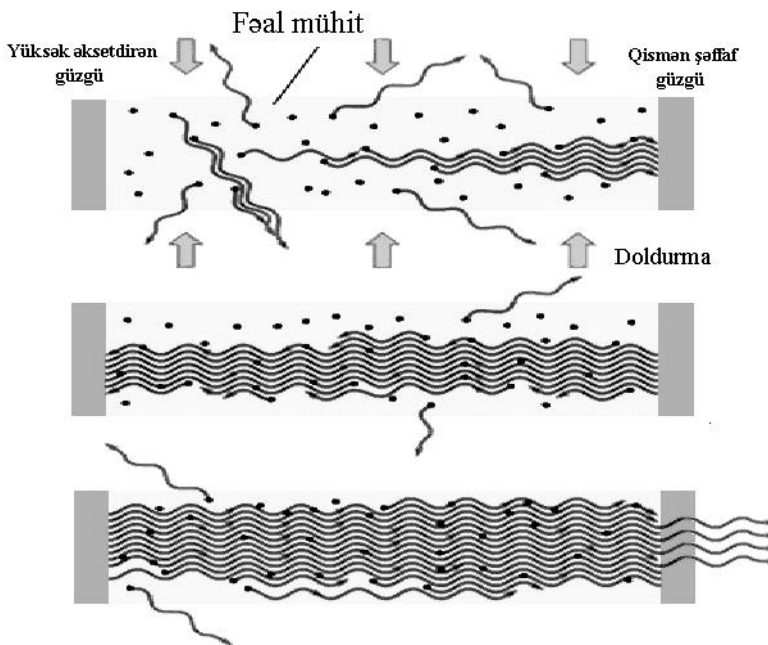
11. Mis buxarı əsasında lazerin gücləndirilməsinin doymamış loqarifmik əmsalı 40 desibeldir. β tərs əlaqə əmsalı üçün generasiyanın mümkün olması şərti tapın.

12. Lazerin gücləndirməsinin doymuş əmsalı 1.5 bərabərdir, artma isə ikiyə bərabərdir. Generasiyanın başlanğıcında gücləndirmənin doymamış əmsalı nəyə bərabərdir?

13. Yaqut lazerinin doymamış sındırma əmsalı 0.1 sm^{-1} -in, fəal mühitin uzunluğu isə $l = 10 \text{ sm}$ -dir. Əks əlaqə əmsalı üçün generasiyanın mümkün olduğu şərti tapın.

14. Uzunluğu 6 sm olan fəal kristalda siqnal 1.5 dəfə güclənir. Bu güclənmə doldurulmanın müəyyən səviyyəsində inversiyaya məruz qalan keçiddə baş verir. Şüalanmanın səpilmə əmsalı 0.02 sm^{-1} bərabərdir.

Əks olunma əmsalı $r_1 = 0.5$ və $r_2 = 0.8$ olan güzgülərdən istifadə etdikdə belə kristalda generasiyanı almaq olarmı?



Fəal mühitdə generasiya prosesinin yaranması və inkişafı

15. Mühitin parametrlərini və güzgülərin əks etdirən səthlərini məsələ 14-dən götürərək daha uzun kristallarda generasiyaya nail olmaq olarmı?

16. Mühitin parametrlərini məsələ 14-dən götürərək və güzgülərin $r_1 = 1$ və $r_2 = 0.8$ əksölünmə əmsallarından istifadə edərək belə kristalda generasiyaya nail olmaq olarmı?

17. Fərz edək ki, konstruktiv fikirlərə görə kristalın uzunluğunu artırmaq arzu olunmazdır (14 və 15 məsələlərə bax).

Kristalın göyərtməsinin daha mükəmməl texnologiyasının tətbiqinin hesabına bu kristalda uzunluğu artırmaqla, səpilmə əmsalının azalmasıyla generasiyanı almaq olarmı? Hesab edin ki, kristalın uzunluğu $l = 5$ sm.

18. Əgər kristalda şüalanmanın paylanmış itkilərin əmsalı 0.003 sm^{-1} bərabərdirsə, lazerin rezonatoru isə 100% əksetdirən ($r_1 = 1$) və yarımşəffaf ($r_2 = 0.5$) güzgülərlə təşkil olunmuşdursa, bərk cisimli lazerin fəal kristalının hansı minimal uzunluğunda generasiyanı almaq olar?

19. Gücləndirmə əmsalı $2 \cdot 10^{-3} \text{ sm}^{-1}$ olan kristalın uzunluğu nə qədər olmalıdır ki, onun köməyiylə giriş signalının intensivliyini 150 dəfə artırmaq mümkün olsun?

20. Güclənmə əmsalı təxminən 10^{-2} sm^{-1} -li kristalın uzunluğu nə qədər olmalıdır ki, onun köməyiylə giriş signalının intensivliyini 100 dəfə artırmaq mümkün olsun?

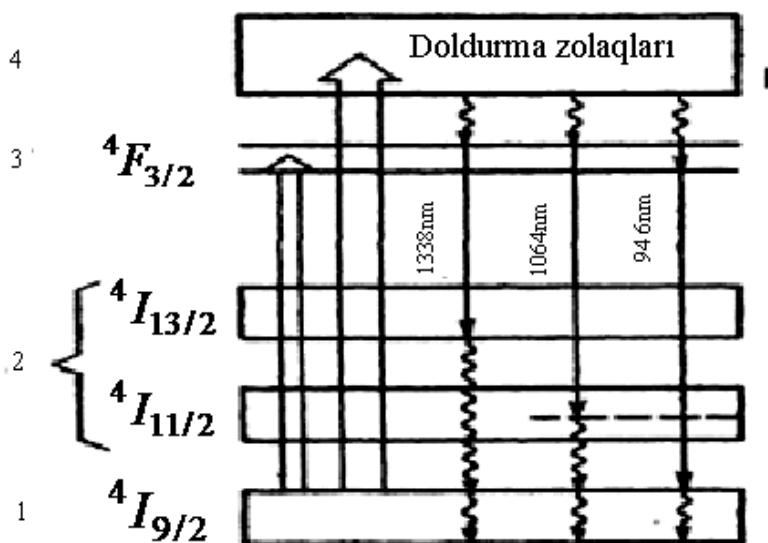
21. Generasiya tezliyində güzgülərin əks olunma əmsalları $r_1 = 100\%$ və $r_2 = 37\%$ olduğu halda optik rezonatora 10 sm uzunluqlu lazer kristalı yerləşdirilmişdir. Kristalda qeyri-rezonans itkilər $\beta = 0.07 \text{ sm}^{-1}$ təşkil edir. Kristalın gücləndirilmə əmsalının astana qiymətini tapın.

22. Neodim Nd:YAG lazerində rezonatorun uzunluğu 50 sm bərabərdir. Biri güclənmə xəttinin mərkəzində olan qonşu uzununa modaların güclənmə əmsallarının nisbi fərqi tapın. Yarım hündürlükdə güclənmə xəttinin tam eni 6.5 sm^{-1} bərabərdir.

23. Neodimin işçi səviyyələri arasında inversiyanın stasionar halını təmin etmək üçün Nd:YAG lazerinin fəal mühiti tərəfindən doldurmanın minimal gücü udulur. Doldurmanın minimal gücünü qiymətləndirin. Qəbul edək ki, məskunlaşmaların inversiyasının yaranması yuxarı işçi səviyyədə Nd^{3+} ionlarının sayı aşağı işçi səviyyəsindəki ionların sayına bərabər ($N_{yuxan} \approx N_{aşağı} = N_0 / 2$) olduqda baş verir.

Fərz edək ki, çubuq formalı fəal mühitin uzunluğu və

diametri uyğun olaraq 6.5 sm və 0.4 sm-ə bərabərdir.



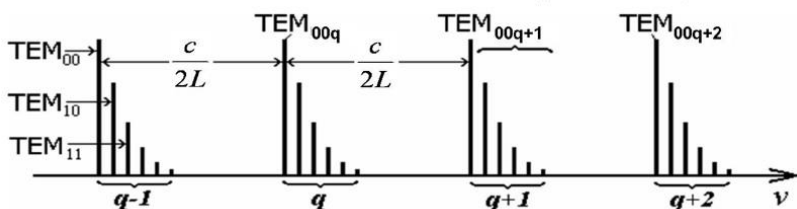
Metastabil səviyyənin yaşama müddəti $2.5 \cdot 10^{-4}$ san, Nd^{3+} ionunun əsas səviyyəsinin məskunlaşması $5 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ -ə bərabərdir. İşçi keçidlərin 3 variantına baxın:

- 1) ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ keçidi; $\lambda = 1338 \text{ nm}$; $N_2 = 2 \cdot 10^{11} \text{ sm}^{-3}$;
- 2) ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ keçidi; $\lambda = 1064 \text{ nm}$; $N_2 = 1,8 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$;
- 3) ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ keçidi; $\lambda = 946 \text{ nm}$; $N_2 = 0,8 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$.

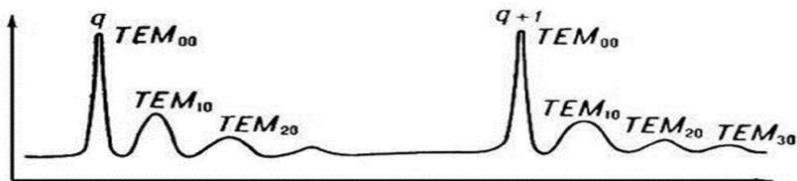
24. Lazerin parametrlərini məsələ 23-dən götürərək doldurmanın minimal gücünü təmin edən doldurmanın sürətini tapın.

II OPTİK REZONATORLAR

Növbəti şəkildə dairəvi güzgülü açıq rezonatorun tipik spektri göstərilib.



Hər bir xəttin ölçüsü xarici elektromaqnit dalğasının təsirinə cavab verən müəyyən rezonansa mütənasibdir. Aşağıdakı şəkil açıq rezonatorun spektrinin xüsusiyyətlərini daha aydın şəkildə göstərir.



Burada, hər bir rezonans modunun intensivliyi ilə yanaşı, müxtəlif eninə modların spektral xətlərinin eni də müxtəlifdir. Bu sübut edir ki, müxtəlif modlarda fərqli

enerji itkiləri mövcuddur. Yarım hündürlükdə xəttin eni və enerji itkisi ΔE_T (bu halda rəqs periodu üçün)

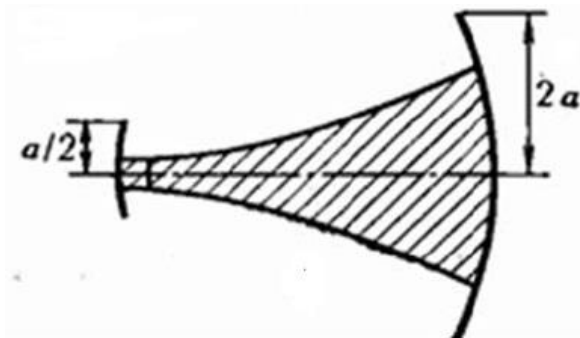
$$\Delta \nu = \frac{\nu}{2\pi} \frac{\Delta E_T}{E}$$

münasibəti ilə bağlıdır. Bu ifadədə E -

rezonatorun modunda sahənin enerjisidir.

25. Rezonatorun uzunluğu λ qədər artırılrsa uzununa rəqs növünün tezliyi nə qədər dəyişəcək?

26. Dalğa uzunluğu $\lambda = 10.6 \text{ mkm}$ -də bir rəqs növü rejimində işləyən CO_2 -lazerində istifadə edilən $L = 2 \text{ m}$



uzunluqlu yarıkonfokal rezonatorun hər iki güzgüsündə şüalanmanın ləkəsinin ölçüsünü təyin edin.

27. Məsələ 26-da təsvir edilmiş rezonatorun iki

qonşu uzununa rəqs növləri arasındakı tezliklərinin fərqini müəyyən edin.

Hesab edin ki, CO₂-lazerində maksimal qiymətdən 1/2 səviyyəsinə görə müəyyən edilən şüalanma xəttinin eni 50 MHs bərabərdir, tezlikləri bu xəttin aralığında yerləşən uzununa rəqs növlərinin sayını tapın.

28. Aşağı təzyiqli CO₂ lazerində Dopler genişlənməsi hesabına spektral xəttin eni 50 MHs təşkil edir. Lazer doldurma gücünün astana qiymətindən iki dəfə artıq olan gücdə işləyir.

Bir uzununa rəqs növündə generasiya edən lazer rezonatorunda güzgülər arasındakı maksimal məsafəni tapın.

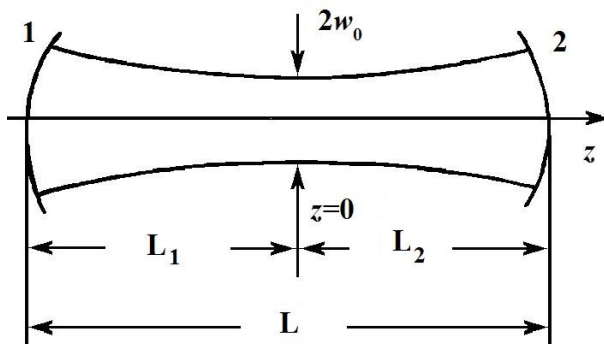
29. Güclənmənin Dopler konturunun yarımını 1600 MQs-ə bərabərdir. Rezonatorunun uzunluğu 0.5 m olan lazerdən generasiya olunan uzununa rəqs növlərinin sayını tapın. Generasiyanın bir tezlikli rejimini hansı yolla təmin etmək olar?

30. Helium-neon lazerinin 0,63 mkm dalğa uzunlu-

ğunda bir tezlikli rejimdə şüalanmasının gücü 1 mVt -a bərabərdir. Lazerdə keyfiyyətliliyi $Q = 10^8$ olan rezonator istifadə olunur. Lazerin şüalanmasının spektral xəttinin nəzəri mümkün enini tapın.

31. Lazerin rezonatorunun sahəsinin paylanması və faza sürüşməsi Frenel ədədindən asılıdır. Əgər lazer 0.63 mkm dalğa uzunluğunda işləyirsə 0.5 m uzunluqlu və 10 mm aperturalı lazer rezonatorunun Frenel ədədini hesablayın.

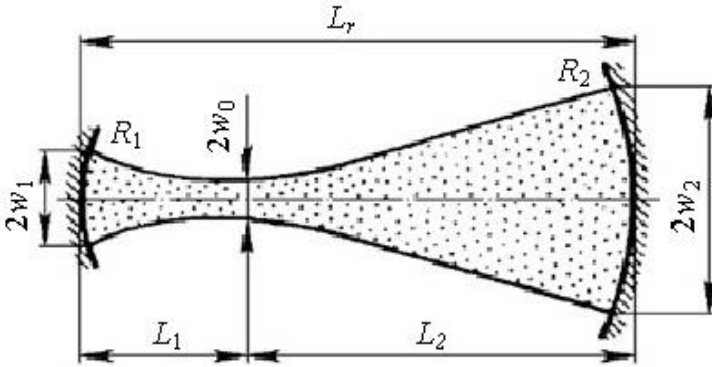
32. Lazer rezonatoru bir-birindən $L = 5.3$ sm məsafədə əyrilik radiusu $R = 20$ sm olan iki eyni güzgü



ilə yaradılmışdır. Belə rezonatorda TEM_{10} rəqs növünün tezliyinin TEM_{00} rəqs növünün tezliyindən nə qədər aralı

olduğunu hesablayın.

33. Qeyri-simmetrik rezonator bir-birindən 0,45 m məsafədə yerləşən iki çökük güzgdən ibarətdir. Güzgülərin əyrilik radiusları $R_1 = R_2 = 2.0$ m bərabərdir. Şüalanmanın dalğa uzunluğu 1.06 mkm olduğunu nəzərə alaraq dəstənin dartılmasının z_0 yerini və w_0 ölçüsünü hesablayın.



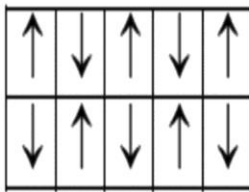
34. Qeyri-simmetrik rezonator iki çökük sferik güzgdən ibarətdir. Güzgülər arasındakı məsafə 0.45 m bərabərdir. Güzgülərin əyrilik radiusları $R_1 = 0.5$ m, $R_2 = 2$ m.

Əgər şüalanmanın dalğa uzunluğu $\lambda = 1.06$ mkm

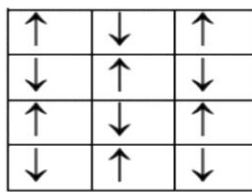
bərabərdirsə rezonator da şüalanma dəstəsinin dartılmasının yerləşmə koordinatı z_0 və dartılmanın eninə w_0 ölçüsünü tapın.

35. Dalğa uzunluğu $\lambda = 1 \text{ mkm}$ və lazer dəstəsinin diametri 10 sm olan şüalanma üçün lazərdən hansı məsafədə uzaq zona yaranır. Dartılma 1 mm bərabər olan yaxın zonada dalğa cəbhəsinin əyrilik radiusunun minimal qiymətini təyin edin.

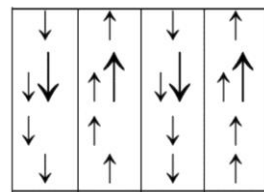
36. Lazer düzbucaqlı güzgülü rezonatordan təşkil olunub və çoxmodal şüalanma dəstəsinə generasiya edir. Dəstənin ən kəsiyində şəkil a, b, c- də təsvir edilmiş işıq ləkələri müşahidə oluna bilər.



a)



b)



c)

Müşahidə edilən çoxmodalı strukturu TEM_{mn} -in eninə rəqs növü şəklində yazmaqla təyin edin (yəni m və n indekslərini təyin edin).

37. Lazer rezonatoru bir-birindən 5.8 sm məsafədə yerləşən və əyrilik radiusu $R = 20$ sm olan iki eyni sferik güzgüdən yaradılmışdır. Əgər

a) güzgülər düzbucaqlı formaya;

b) güzgülər dairəvi formaya malik olarsa

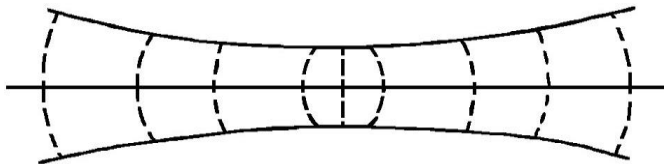
belə rezonatorda TEM_{00} və TEM_{10} rəqs növləri arasında tezlik məsafəsi nə qədərdir?

38. Lazerin $\lambda = 1$ mkm dalğa uzunluğunda işlədiyini nəzərə alaraq, aperturanın ölçüsü 10 mm və uzunluğu 0,75 m olan lazer rezonatorunun Frenel ədədini hesablayın.

39. Lazer rezonatorunun uzunluğu 30 sm və rezonatorda tam keçid baş verdikdən sonra şüalanmanın itkilərinin cəmi 1% -dir. Lazerin bir tezlikli rejimdə işlədiyini nəzərə alaraq rezonatorun rezonans əyrisinin spektral enini hesablayın.

40. Dalğa uzunluğu $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ –də işləyən helium - neon lazerinin rezonatoru kiçik difraksiya itkilərinə malikdir. Lazer rezonatorunun uzunluğu 1 m, rezonatorun bir tam keçidi üçün şüalanmanın cəm itkilərinin əmsalı 0.02 təşkil edir. Lazerin bir tezlikli rejimdə işlədiyini nəzərə alaraq rezonatorun Q keyfiyyətliliyini və onun rezonans əyrisinin spektral enini hesablayın.

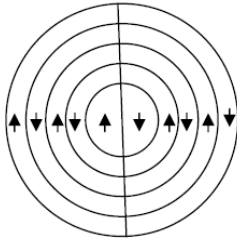
41. Lazerin qeyri-simmetrik rezonatoru bir- birindən



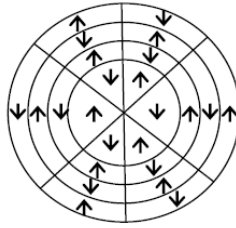
0.6 m məsafədə yerləşdirilmiş iki çökük sferik güzgüdən ibarətdir. Birinci güzgünün mərkəzindən ikinci güzgünün səthində 40 Frenel zonası, ikinci güzgünün mərkəzindən isə birinci güzgünün səthində 90 Frenel zonası müşahidə olunur. Rezonatorun güzgülərinin diametrlərini və ona uyğun olan Frenel ədədlərini hesablayın. Lazer $4880 \text{ \AA}$ dalğa uzunluğunda şüalandırır.

42. Lazer dairəvi güzgülü rezonatora malikdir və çoxmodalı şüalanma dəstəsini generasiya edir. Dəstənin ən kəsiyində aşağıdakı ləkəli mənzərə müşahidə oluna bilər.

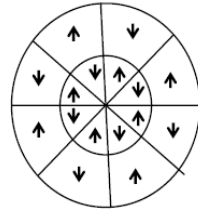
TEM_{pl} şəklində müşahidə edilən eninə rəqs növlərini yazın (yəni eninə p və l indekslərini təyin edin).



a)



b)



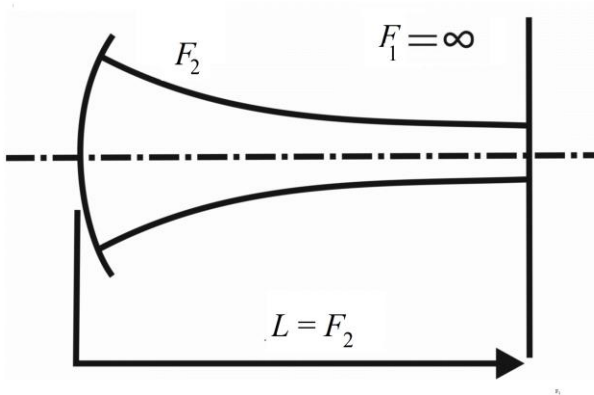
c)

43. İki çökük sferik güzgüdən dayanıqlı qeyrisimmetrik rezonator quraşdırmaq tələb olunur. Güzgülərin əksətdirən səthlərinin ayrilik radiusları $R_1 = 1 \text{ m}$ və $R_2 = 0.5 \text{ m}$ bərabərdir. Bu şərtləri ödəyən rezonatorun L uzunluğunun qiymətlər oblastını təyin edin.

44. İki çökük sferik güzgüdən dayanıqlı qeyrisimmetrik rezonator quraşdırmaq tələb olunur. Güzgülərin

əksetdirən səthlərinin əyrilik radiusları $R_1 = 1.5 \text{ m}$ və $R_1 = 1 \text{ m}$ bərabərdir. Bu şərtləri ödəyən rezonatorun L uzunluğunun qiymətlər oblastını təyin edin.

45. Dayanıqlı optik rezonatorun çıxış güzgüsündə lazer dəstəsinin radiusunu (bax şəkl.) və rezonatorun uzununa modları arasındakı tezlik məsafəsini hesablayın. Dayanıqlı rezonatorun verilmiş konfigurasiyasının G-diaqramında ($g_i = 1 - L / R_i$) koordinatlarını müəyyən edin.



Fərz edilir ki, lazer görünən diapazonda şüalandırır və optik rezonatorun uzunluğu 1.5 m təşkil edir.

III LAZERLƏRİN İŞ REJİMLƏRİ

46. Yaqut lazerin şüalanmasının ikinci harmonikasının dalğa uzunluğu nəyə bərabərdir?

47. Sinxronlaşmış rəs q növ lü helium-neon lazerin generasiya xəttinin eni 0,6 QHs-dir, spektrini isə təqribi olaraq Qaus funksiyası ilə təsvir etmək olar.

Rəqs növlərinin fazası üçün $\varphi_n - \varphi_{n-1} = \varphi_0 = \text{const}$ şərti ödənərsə uyğun olan çıxış impulsunun davamətmə müddətini hesablayın.

48. Lazer tək impuls lar generasiyası rejimində işləyir. Hər bir impulsun forması

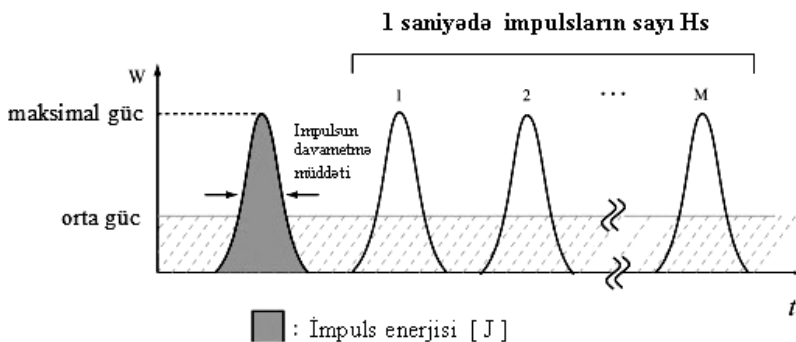
$$P(t) = P_0 a t e^{-at}$$

şəkilli şüalanma gücü funksiyası ilə təsvir edilir, burada P_0 , a - impulsunun verilmiş forması üçün sabit (yəni zamandan asılı olmayan) kəmiyyətlərdir.

Aşağıdakıları təyin edin:

a) şüalanma impulsunun $E_{\text{ş}}$ tam enerjisini

- b) impulsun τ_p tam davamətmə müddətini
- c) impulsun zamana görə orta gücünü P_{orta}
- d) impulsun P_{max} maksimal gücünü.



49. Lazer f tezliyi ilə təkrarlanan impulsar ardıcılığının generasiyası rejimində işləyir. Hər bir impulsun forması

$$P(t) = P_0 a t e^{-bt^2}$$

şəkilli şüalanma gücünün funksiyası ilə təsvir edilir, burada P_0 , a , b - impulsunun verilmiş forması üçün sabit (yəni zamandan asılı olmayan) kəmiyyətlərdir.

Aşağıdakıları təyin edin:

- a) şüalanma impulsunun E_s tam enerjisini
- b) impulsun τ_p davametmə müddətini
- c) lazer şüalanmasının zamana görə orta gücünü P_{orta}
- d) şüalanma impulsun P_{max} maksimal gücünü.

50. Lazer bir əsas eninə modda modullaşmış keyfiyyətlik (Q-switch) rejimində işləyir və eyni impulsların ardıcılığını generasiya edir. İmpulsların ardıcılıq tezliyi $f = 10$ kHs bərabərdir və maksimum gücdən 10^4 dəfə kiçik olan orta gücə malikdirlər.

Lazerin şüalanmasının koherent uzunluğunu və koherent müddətini təyin edin.

51. Lazer 45 sm uzunluqlu rezonatora malikdir və bir eninə TEM₀₀ rəqs növündə 3 Vt gücündə kəsilməz şüalanmanın generasiyası rejimində işləyir. Lazerin fəal mühitin işçi keçidinin lüminessensiya xəttinin eni 500 QHs bərabərdir. Lazer uzununa modların fazalarının sinxronlaşdırması rejimində işlədikdən sonra ultraqısa impulsar ardıcılığını generasiya edir.

Aşağıdakıları təyin edin:

- a) f impulsların ardıcılıq tezliyini
- b) impulsun τ_p davametmə müddətini
- c) impulsun $P_{\max}$ maksimum gücünü və onun enerjisini
- d) lazerin rezonatorunun uzunluğunu 60 sm-ə qədər artırdıqda f , τ_p , w kəmiyyətlərinin necə dəyişməsinə.

52. Lazer generasiyasının impuls rejimini hansı yollarla əldə etmək olar?

53. Neodim Nd:YAG lazer kəsilməz və impulsu rejimlərdə işləyə bilər. Optik rezonatorun uzunluğu 50 sm, fəal mühitdə güclənmə əmsalı isə 6.5sm^{-1} bərabərdir.

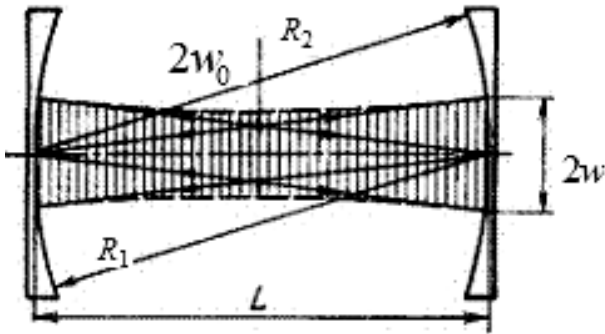
Rezonator güzgülərindən biri tam əks etdirən güzgü, ikinci çıxış güzgüsü isə kəsilməz rejimdə işləyən lazer üçün 0.9, impuls rejimində işləyən lazer üçün 0.5 əks etdirmə əmsalına malikdir. Rezonatorada itkilər hesabına sahə enerjisi, τ_{res} zaman sabiti ilə, fəal mühitdə isə τ_{active} zaman sabiti ilə azalır. Faydalı, passiv və tam itkilərin əmsallarını, eləcə də hər iki generasiya rejimi üçün sabit τ_{res} təyin edin.

IV LAZER DƏSTƏLƏRİNİN XASSƏLƏRİ

54. Göstərin ki, Qaus dəstənin tam gücü

$$P(z) = (\pi w^2) \cdot I_0(z)$$

ifadəsi ilə təyin edilir, harada I_0 - rezonatorun oxu üzərində dəstənin intensivliyi, w -dəstənin radiusudur.



Konfokal rezonator (rezonator daxilində şüalanma sahəsi ilə bağlı olan ştrixlənmiş sahə göstərilir)

55. Dalğa uzunluğu 0.63 mkm olan He-Ne lazerinin şüalandırdığı Qaus dəstəsinin dartılmasının ölçüsü 0.5 mm bərabərdir.

Dartılmadan 10 m məsafədə olan lazer şüalanması-

nın dəstəsinin eninə ölçüsünü və dalğa cəbhəsi səthinin əyrilik radiusunu hesablayın.

56. Qaus dəstəsinin oxunda hər hansı ixtiyari seçilmiş nöqtədə lazer şüalanmasının eninə ölçüsü 1 sm, dalğa cəbhəsinin əyrilik radiusu isə 2 m bərabərdir.

Lazer şüalanmasının dalğa uzunluğu 1 mkm bərabər olarsa, səpilmə bucağını və dəstənin konfokal parametrini tapın.

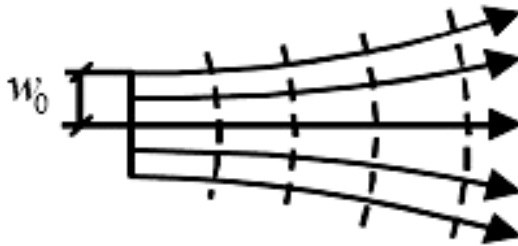
57. Lazer şüalanmasının səpilmə bucağını neçə dəfə dəyişmək lazımdır ki, lazer dəstəsinin I işıq şiddəti iki dəfə artsın?

58. Səpilmə bucağı 2 mrad və gücü 1 kVt olan CO_2 – lazer dəstəsinin işıq şiddəti $I = \frac{\Phi}{\Omega}$ nəyə bərabərdir?

59. Gücü 100 Vt olan nöqtəvi mənbədən (lampadan) 10 m məsafədə və 1 millivatt gücü olan helium-neon lazerindən 1000 m məsafədə (dartılmada dəstənin radiusu – 0.5 mm) işıqlanmanı müqayisə edin.

60. Məsələ 59-dakı parametrlərə uyğun olaraq helium-neon lazerindən dartılmada və dartılmadan 1000 m məsafədə (dartılmada dəstənin radiusu – 0.3 mm) ekranın işıqlanmasını müqayisə edin.

61. Dalğa cəbhəsinin minimal əyrilik radiusunu və bu minimal qiymətə uyğun nöqtənin z koordinatını təyin edin. Yaxın zonada dalğa cəbhəsinin əyrilik radiusunun z məsafəsindən asılılığını verin.



Yaxın zonada işıq şüalarının yayılması

62. Dartılmadan hansı məsafədə Qaus dəstəsinin dalğa səthinin əyriliyi ekstremum qiymət alır? Bu zaman dalğa səthinin əyriliyi maksimaldır və ya minimaldır? Bu halda dəstənin eninə radiusu neçə dəyişər? Artar və ya azalar?

63. Lazer dəstəsinin işıq şiddəti $I = 10^4$ Vt/sr (steradian) bərabədirsə, gücü 1 mVt olan lazer şüalanmasının səpilmə bucağı nəyə bərabər olar? Uzaq zonada lazer dəstəsi üçün şüalanmanın orta işıq şiddəti dəyişirmi?

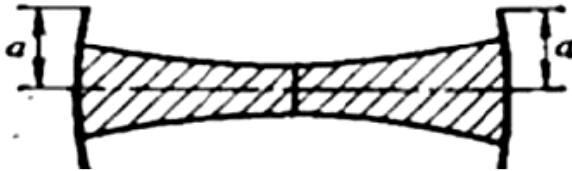
64. Dairəvi polyarlaşmış şüalanma dördüdə bir dalğalı faza lövhəcikdən keçir. Lövhəciyin çıxışında hansı növ polarizasiya müşahidə olunacaq?

65. Təbii işıq polarizatorndan və dördüdə bir dalğalı fazalı lövhəcikdən keçir. Lövhəciyin polarizatora nəzərən hansı oriyentasiyasından keçən şüalanma sağ dairəvi, sol dairəvi, xətti polyarlaşmış olacaq.

66. Qaus dəstəsinin oxunda ixtiyari seçilmiş z_0 nöqtəsində dalğa cəbhəsinin radiusu 1 m bərabərdir. Dəstənin səpilmə bucağı 5.7° , onun şüalanmasının dalğa uzunluğu 0.63 mkm olarsa, dəstənin dartılma ölçüsünü və onun konfokal parametrini tapın. Dəstənin z_0 nöqtəsində lazer şüasının en kəsiyinin ölçüsünü tapın.

67. Dəstənin oxundan 1 mm məsafədə lazer dəstəsinin intensivliyi iki dəfə azaldı. Bu halda dəstənin eninə radiusu w (lazer şüalanmasının eninə ölçüsü) nəyə bərabərdir?

68. Lazer şüalanması konfokal parametri 100 sm və dartılma ölçüsü 1 mm olan Qaus dəstəsi formasına malikdir. Lazer şüalanmasının dalğa uzunluğunu və onun



səpilmə bucağını tapın. Dəstənin dartılmasından 1 m məsafədə olan şüalanmanın dalğa cəbhəsinin radiusunu tapın.

69. Uzunluğu 40 olan konfokal rezonatorlu lazer 1.06 mkm dalğa uzunluqlu şüalanma generasiya edir. Lazerin çıxış güzgüsündən 1 m məsafədə yerləşən linza ilə fokuslaşır (linzanın fokus məsafəsi 50 sm bərabərdir).

Linzanın fokal müstəvisində şüalanma dəstəsinin eninə ölçüsü (diametri) nəyə bərabərdir?

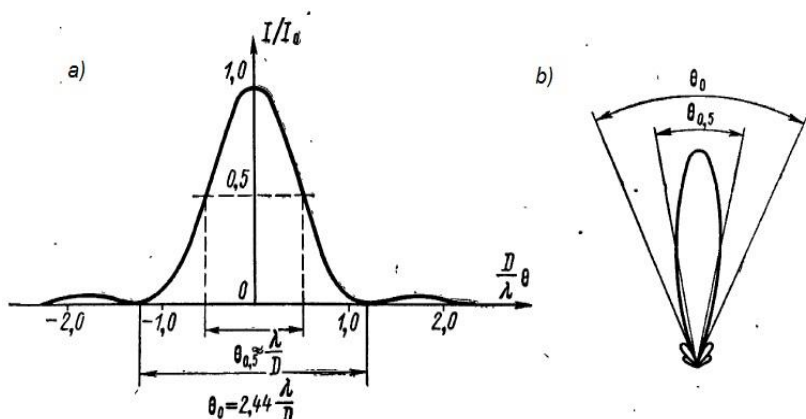
70. Yaqut lazerinin konfokal rezonatorunun hansı uzunluğunu seçmək lazımdır ki, onun Aya tərəf yönəldilmiş şüalanması, orada 1 kilometr diametrli dairəni işıqlandırsın? Fərz edin ki, sizin istənilən qədər böyük diametrə malik yaqut çubuğunuz var. Aya qədər olan məsafəni 384000 km bərabər qəbul edin.

71. Uzunluğu 3 m olan konfokal rezonatorlu qaz lazerində çıxış güzgüdə ləkənin diametri 5mm təşkil edir və lazerdən 22 m məsafədə 45 mm-ə qədər artır. Lazer dəstəsinin səpilməsini tapın.

72. İki bərk cisimli lazerlər (yaqut və neodim) üçün lazer şüalanmasının səpilməsini müqayisə edin. Çıxış güzgüsünün ölçüsünü 1 sm götürək.

73. Rezonatorunun uzunluğu 0.45 m və güzgülərin əyrilik radiusları $R_1 = 0.84$ m və $R_2 = 2$ m olan $\lambda = 1$ mkm dalğa uzunluqlu və 8 mm aperturaya malik lazerin şüalanmasının və rezonatorun parametrlərini müəyyən edin.

74. Dalğa uzunluğu $\lambda = 633 \text{ nm}$ olan lazerin çıxış şüası Qaus dəstəsinin formasına malikdir. Dəstənin uzaq



Şüalandırıcının dairəvi səthdən nəzəri şüalanma diaqramması:
a – dekart; b- polyar koordinat sistemlərində

zonasında e^{-2} səviyyəsinə görə ölçülmüş tam səpilmə bucağı 5 bucaq dəqiqəsinə bərabərdir.

Lazer dəstəsinin konfokal parametrini təyin edin.

75. Qaus dəstəsinin “kaustikası” və onun eni nəyə deyilir? Kaustika əyrisi hansı funksiya ilə təsvir olunur?

76. Qaus dəstəsinin konfokal parametri nədir və onu niyə belə adlandırırlar?

77. Dəstənin dartılması nəyə deyilir və o konfokal

parametrlə necə əlaqəlidir?

78. Hansı bucaq Qaus dəstəsinin səpilmə bucağı adlanır? Belə demək olarmı: “Fiziki mənasına görə, Qaus dəstəsinin səpilmə bucağı, öz dartılmasında dəstənin difraksiya bucağıdır”?

79. Qaus dəstəsinin dalğa cəbhəsinin əyrilik radiusu nədir? Dartılmadan hansı məsafədə Qaus dəstəsinin dalğa cəbhəsinin əyrilik radiusu ən kiçik qiymət alır?

80. Qaus dəstəsi hansı parametrlərlə səciyyələnir?

Qaus dəstəsinin tam ifadə etmək üçün ən azı neçə parametrlərdən istifadə etmək lazımdır və bunlar hansı parametrlərdir?

81. Qaus dəstəsi nazik sferik linzadan keçən zaman hansı formalı dəstəyə çevrilir?

V BƏRK CİSİM LAZERƏRİ ƏSASINDA TEXNOLOJİ SİSTEMLƏR

82. Ayın optik lokasiyası cihazında yaqut lazerinin dəstəsi diametri 1 m olan teleskopdan keçir və Aya yönəldilir.

Dəstənin tam fəza koherentliyinə malik olmasını nəzərə alaraq Ayda dəstənin diametrini hesablayın. Yerdən Aya qədər orta məsafəni 384000 km bərabər qəbul edin.

83. Metal lövhələrin lazer kəsimi cihazında müstəvi dalğa cəbhəli şüalanmaya, dairəvi eninə kəsiyə və intensivliyin bircins paylanmasına malik olan lazer dəstəsi linzayla fokuslanır.

Linzanın fokusundakı intensivlik düşən dalğanın intensivliyi ilə müqayisədə neçə dəfə artır? Hesab edin ki, lazer dəstəsinin diametri 1 sm, lazer şüalanmasının dalğa uzunluğu 0.7 mkm və linzanın fokusu 5 sm bərabərdir.

84. Bərk cisimli lazerlərin müstəvi polyarlaşmış şüa-

lanmasını əldə etmək üçün və onların rezonatorlarının güzgülərinin əksedilmə ilə bağlı itkilərinin azaldılması üçün lazer çubuqlarını elə qururlar ki, onların oturacaqlarına çəkilmiş normallar şüanın yayılması istiqamətiylə Bryuster bucağını təşkil edirlər.

Yaqut lazeri, Nd:YAG-lazeri və Nd:Şüşə (Nd:Glass) - lazeri çubuqlarının oturacaqlarının çubuqların oxlarına perpendikulyar istiqamətdə cilalandığını nəzərə alaraq onlar üçün Bryuster bucağının qiymətini hesablayın. Çubuqların materialının sındırma əmsallarını aşağıdakı kimi qəbul edin

yaqut üçün $\lambda = 0.69$ mkm, $n = 1.76$,

YAG üçün $\lambda = 1.06$ mkm, $n = 1.82$,

şüşə üçün $\lambda = 1.06$ mkm, $n = 1.4$,

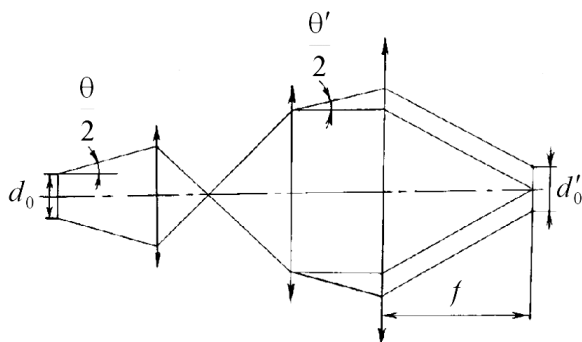
kvars şüşə üçün $\lambda = 0.63$ mkm, $n = 1.5$.

85. Neodim lazeri $f=100$ Hs təkrar olunma tezliyinə malik eyni impulsların ardıcılığını generasiya edir. Ayrıca götürülmüş impulsun davamətmə müddəti $\tau = 3 \cdot 10^{-8}$ san, onun maksimal gücü $P_0 = 100$ MVt-dır.

Lazerin şüalanmasının orta gücünü təyin edin.

86. Dəstənin səpilməsi 1 mrad, optik sisteminin fokus məsafəsi isə 3 sm-dirsə, fokusda $q_0 = 10^7$ Vt/sm² şüalanmanın gücünün sıxlığını əldə etmək üçün N₂-lazerinin şüalanmasının gücünü və impulslarının enerjisini müəyyən edin. İmpulsun davamətmə müddətini $\tau = 10^{-8}$ s qəbul edin.

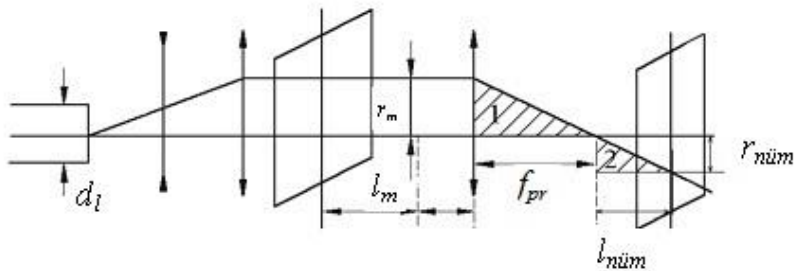
87. Linzanın foksunun qarşısında artımı b^x olan teleskopik sistemi qoymaqla fokusda dəstənin diametrini neçə dəfə dəyişmək olar?



88. Fokus məsafəsi f olan linzadan lazer dəstəsi şüalarının yayılmasını qurun. Linzanın fokusunda lazer şüalanmasının eninə ölçüsünün (d_0 diametrinin) lazer şüalanmasının θ səpilmə bucağından və linzanın f fokus

məsafəsindən asılılığını təyin edin.

89. Parametrləri $d_{num}=1$ mm (nümunənin en kəsiyinin ölçüsü), $d_{pr}=50$ mm, $f_{pr}=50$ mm, lazer şüasının diametri $d_l=1$ sm (lazerin çıxışında dəstənin en kəsiyinin ölçüsü), $\beta_{pr}=d_{num}/d_m=1/20$ (optik proyeksiya sisteminin böyütməsi) olan teleskopik işıq sistemə malik optik proyeksiya sxemini hesablayın: teleskopun böyütməsini $\beta_{teles.sis}$ ($\beta_{teles.sis}=d_m/d_l$); l_{num} və l_m .



Adətən maskanın materialı -0.1mm qalınlıqlı mis folqadır, nümunənin materialı -şüşə üzərinə çəkilmiş 0.1 mkm qalınlıqlı xrom təbəqədir.

90. Effektiv təsir müddəti $10^{-3} - 10^{-9}$ san intervalda

olan kəsilməz lazer şüalanma dəstəsi 100 mkm diametrli ləkə şəklində fokuslanıb. Lazer şüalanmasının yerdəyişməsinin sürət V_{scan} intervalını təyin edin.

91. Dalğa uzunluğu, linzanın fokus məsafəsi və dartılmada dəstənin radiusu arasındakı əlaqəni tapın. Hansı halda dəyişən dəstənin dartılmadakı radiusunun qiyməti ilkin qiymətinə bərabər olacaq?

92. Qalınlığı 70 mikron olan qrafit materialını buxarlandırmaq üçün lazer şüalanmasının enerjisi nə qədər olmalıdır? Fokuslanmış lazer ləkəsinin radiusunu 25 mkm qəbul edin.

93. Lazer impulsunun davamətmə müddəti $\tau = 10^{-8}$ san və 10^{-3} san olarsa, materialın səthini əriyənə qədər qızdırmaq üçün lazım olan lazer şüalanmasının güc sıxlığını tapın. Fərz edirik ki, material tərəfindən şüalanmanın udulması 100% -dir. İki materiala baxaq: a) xrom və b) silisium.

94. Lazer impulsunun davamətmə müddəti $\tau = 10^{-8}$

san və 10^{-3} san olarsa, materialın səthini buxarlanmaya qədər qızdırmaq üçün lazım olan lazer şüalanmasının güc sıxlığını tapın. Fərz edirik ki, material tərəfindən şüalanmanın udulması 100% -dir. İki materiala baxaq: a) berillium və c) molibden.

VI QAZ LAZERLƏRİ ƏSASINDA TEXNOLOJİ SİSTEMLƏR

95. Əyrilik radiusları $R_1 = 0.84$ m və $R_2 = 2$ m olan iki güzgülü qeyri-simmetrik rezonatorlu lazer görünən diapazonda ($\lambda = 0.5$ mkm) TEM_{00} aksial eninə modda generasiya edir. Rezonatorun uzunluğu 0.46 m -ə bərabərdir. Güzgülərdən dartılmaya qədər olan məsafələri, dartılmanın eninə ölçüsünü və aksial modun səpilmə bucağını tapın.

96. Bir çox hallarda fasiləsiz rejimdə işləyən lazerin çıxış şüasının gücü

$$I_{cix} = \frac{1-R}{1+R} \left(\frac{2G_0 l}{2\beta l - \ln R} - 1 \right) I_s$$

ifadəsi ilə kifayət qədər yaxşı təsvir edilir, harada I_{cix} -çıkış şüalanmanın intensivliyi, $I_s = 10^5$ Vt/sm² - lazerin fəal mühitin doymasının (saturation) intensivliyi, $G_0 = 0.2$ sm⁻¹ - fəal mühitin güclənmə əmsalı, $\beta = 10^{-3}$ sm⁻¹ -

şüalanmanın paylanmış itkilərin əmsalı, $r = 0.85$ - lazerin çıxış güzgüsünün əksətdirmə əmsalı, l - fəal mühitin uzunluğudur. Xatırladaq ki, (P_{cix}/l) kəmiyyəti lazerin çıxış şüalanmasının xüsusi gücü adlanır, harada P_{cix} - lazerin çıxış şüalanmasının gücüdür. Aydınadır ki, (P_{cix}/l) kəmiyyəti yuxarıda göstərilən ifadədən təyin oluna bilər.

Fəal mühitin uzunluğunun hansı qiymətində onun vahid uzunluğundan lazer çıxış şüalanmasının maksimum xüsusi gücü (və ya xüsusi intensivliyi I_{cix}/l) əldə olunur. Bu ifadənin I_{cix}/l maksimal qiyməti nəyə bərabərdir?

97. Helium-neon lazeri $\lambda = 3.39$ mkm dalğa uzunluğunda işləyir. Onun rezonatoru əks etdirici səthinin diametri $d = 0.8$ sm olan dairəvi formalı güzgülərdən hazırlanıb.

Rezonatorun güzgülərində şüanın difraksiya bucağının qiymətini hesablayın.

98. CO₂ lazeri $\lambda = 10.6$ mkm dalğa uzunluğunda $P = 30$ Vt gücü ilə şüalanma generasiya edir. Onun

$L = 200$ sm uzunluqlu rezonatoru TEM_{00} əsas eninə rəqs növünə köklənib. Rezonatorun keyfiyyətliliyi $Q = 10^8$ -dir.

Təyin edin:

- a) əsas eninə rəqs növünün uzununa rəqs növləri arasında tezlik məsafəsini;
- b) uzununa rəqs növünün spektral enini;
- c) rezonatorda itkiləri.

99. Lazer qırmızı işıq dalğa uzunluğunda $P = 1$ mVt gücüylə şüalanma generasiya edir. Onun $L = 1$ m uzunluqlu rezonatoru TEM_{00} əsas eninə rəqs növünə köklənib. Rezonatorun çıxışında şüalanmanın itkiləri 2% təşkil edir.

Təyin edin:

- a) əsas eninə rəqs növünün uzununa rəqs növləri arasında tezlik məsafəsini;
- b) uzununa rəqs növünün spektral enini.

100. Lazerin və optik rezonatorun parametrlərini məsələ 99-dan götürərək təyin edin:

- a) lazerin şüalanmasının spektral xəttinin nəzəri olaraq minimal enini;

b) rezonatorun uzunluğunun sabilliyini hansı dəqiqliklə təmin etmək lazımdır ki, lazerin şüalanma xəttinin enini nəzəri cəhətdən müəyyən oluna biləcək eni təcrübədə əldə edilə bilsin.

101. He-Ne lazeri $\lambda = 0.63$ mkm dalğa uzunluğunda $P = 1$ mVt gücüylə şüalanma generasiya edir. Onun $L = 1$ m uzunluqlu rezonatoru TEM_{00} əsas eninə rəqs növünə köklənib. Rezonatorun çıxışında şüalanmanın itkiləri 0.01 təşkil edir.

Təyin edin:

a) əsas eninə rəqs növünün uzununa rəqs növləri arasında tezlik məsafəsini;

b) uzununa rəqs növünün spektral enini.

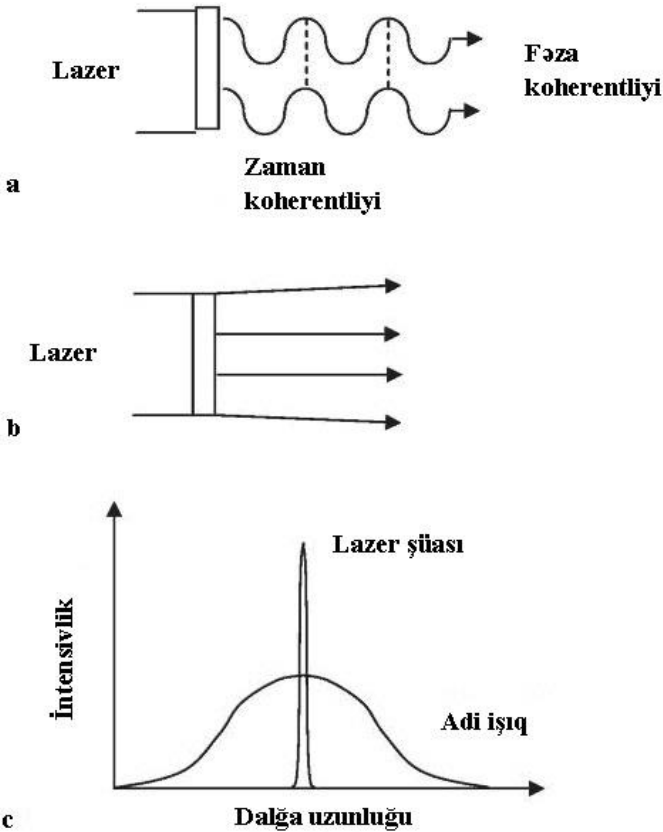
102. Lazerin və optik rezonatorun parametrlərini məsələ 101-dən götürərək təyin edin:

a) lazerin şüalanmasının spektral xəttinin nəzəri olaraq minimal enini;

b) rezonatorun uzunluğunun sabilliyini hansı dəqiqliklə təmin etmək lazımdır ki, lazerin şüalanma xəttinin enini nəzəri cəhətdən müəyyən oluna biləcək eni

təcrübədə əldə edilə bilsin.

103. Çoxmodalı helium-neon lazer, bir tezlikli helium-neon lazer və ağ işıq üçün koherent uzunluğunu müqayisə edin.



104. Aşağıdakı lazerlərin şüalanması spektrin hansı oblastına düşür:

- yaqut,
- neodim,
- helium - neon,
- karbon oksid (CO_2),
- arqon
- CO
- metal buxarı əsasında
- HF
- üzvi boyaların məhlullarında,
- GaAs-da yarımkeçirici
- azot (N_2)?

Bu lazerlərin şüalanması hansı rəngə uyğun gəlir?

105. Şüalanması spektrin İQ-diapazonuna uyğun gələn heç olmasa dörd lazer göstərin.

106. Dalğa uzunluqları UB və ya VUB spektrin diapazonlarına düşən heç olmasa üç lazeri göstərin.

Bu sahələrdə lazer generasiyasını həyata keçirmək üçün hansı problemləri həll etmək lazımdır?

107. Qamma və roentgen - lazerlərinin işlənməsi

zamanı mövcud olan problemləri sadalayın.

108. Cərrahiyyə məqsədləri üçün çıxış gücü 20 kVt daha böyük olan kəsilməz rejimdə işləyən lazer tələb olunduğunu bilərək bu məqsədlə mövcud lazerlərdən hansı istifadə oluna bilər? Bu lazerlərdən hansı daha üstündür və nəyə görə?

109. Metalların emalı üçün çıxış gücü 1 kVt-dan daha böyük olan kəsilməz rejimdə işləyən lazer tələb olunduğunu bilərək bu məqsədlə mövcud lazerlərdən hansı istifadə oluna bilər? Bu lazerlərdən hansı daha üstündür və nəyə görə?

110. Lazer dəstəsinin səpilməsini hansı yolla ölçmək olar?

111. Lazer şüalanmasının aşağıdakı enerji xarakteristikaları üçün analitik ifadələri yazın və tərifini verin:

- enerji,
- güc,
- intensivlik,
- enerji parlaqlığı,

- enerji parlaqlığının spektral sıxlığı,
- enerjinin işıqlanma dərəcəsi,
- enerjinin işıqlanma dərəcəsinin spektral sıxlığı.

Bu kəmiyyətlərin ölçü vahidlərini yazın.

112. Lazer şüalanmasının aşağıdakı xarakteristikaları üçün analitik ifadələri yazın və tərifini verin:

- monoxromatiklik,
- polyarlaşma,
- koherentlik:
 - -zamana görə,
 - -fəzaya görə,
 - istiqamətlənmə,
 - səpilmə bucağı.

ƏLAVƏLƏR

FUNDAMENTAL FİZİKİ SABİTLƏR

Plank sabiti $h = 6.626 \cdot 10^{-27} \text{ erq} \cdot \text{san} = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$

İşığın vakuumdakı sabiti $c \approx 3 \cdot 10^{10} \text{ sm/san} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/san}$

Bolsman sabiti $k = 1.38 \cdot 10^{-16} \text{ erq/C} = 1.38 \cdot 10^{-16} \text{ C/K}$

Elektrik sabiti $\varepsilon_0 \approx 0.885 \cdot 10^{-11} \text{ F/m}$

Maqnit sabiti $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hn/m}$

Protonun kütləsi $m_p = 1.672 \cdot 10^{-24} \text{ q} = 1.672 \cdot 10^{-27} \text{ kq}$

Elektronun kütləsi $m_e = 0.911 \cdot 10^{-27} \text{ q} = 0.911 \cdot 10^{-30} \text{ kq}$

1 atto saniyə = 10^{-18} saniyə

1 femtosaniyə = 10^{-15} saniyə

1 pikosaniyə = 10^{-12} saniyə

1 nanosaniyə = 10^{-9} saniyə

ÇEVİRİLMƏLƏR:

$$\lambda = \frac{hc}{1\text{eV}} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{Coul/Hz}}{1.6 \cdot 10^{-19} \text{Coul}} = 1.24 \text{ mkm}$$

$$E, \text{Coul} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.62 \cdot 10^{-34} \text{Coul} \cdot \text{san} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{m/san}}{\lambda, \text{m}};$$

$$\begin{aligned} E, \text{eV} &= \frac{6.62 \cdot 10^{-34} \cdot (1.6 \cdot 10^{-19}) \text{eV} \cdot \text{san} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 10^9 \text{nm/san}}{\lambda, \text{nm}} = \\ &= \frac{1241.25}{\lambda, \text{nm}} = 1241 \text{ nm}^{-1} \end{aligned}$$

Şüalanmanın dalğa uzunluğu $\lambda = 1240 \text{ nm}$ bərabər olanda fotonun enerjisi $E = 1 \text{ eV}$ -dir ($\lambda = 1 \text{ nm}$ -də $E = 1240 \text{ eV}$). Fotonun bu enerjisinə λ -nın sm diapazonunda aşağıdakı qiymət uyğundur:

$$\lambda = 1240 \text{ nm} = 1.24 \cdot 10^{3-7} \text{ sm} = 1.24 \cdot 10^{-4} \text{ sm},$$

burada

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{10000}{1.24} = 8065 \text{ sm}^{-1}.$$

Beləliklə

$$E, \text{ eV} = \frac{8065}{\lambda, \text{ sm}} = 8065 \text{ sm}^{-1},$$

şüalanmanın dalğa uzunluğu $\lambda = 8065 \text{ sm}$ bərabər olanda fotonun enerjisi

$$E = 1 \text{ eV-dır } (\lambda = 1 \text{ sm-də } E = 8065 \text{ eV}).$$

Qiymətləndirək: Enerji diaqramına görə He-un yuxarı səviyyəsi $E \approx 165 \cdot 10^3 \text{ sm}^{-1}$. Çevirək bu qiyməti elektronvolta:

$$E = 165 \cdot 10^3 \text{ sm}^{-1} = 165 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 \text{ eV}}{8065} = 20.45 \text{ eV}.$$

LAZERLƏRİN YARANMASININ TARİXİ MƏRHƏLƏLƏRİ

- 1917- A. Eynşteyn ilk dəfə məcburi şüalanma anlayışını verib.
- 1932 - V.A. Fabrikant (SSRİ) qazboşalması optikası ilə bağlı araşdırma aparıb.
- 1939 - V.A. Fabrikant (SSRİ) enerji səviyyələrin inversiyalı məskunlaşması sistemlərində mənfi udulmanın (güclənmə) həyata keçirilməsinin mümkünlüyünü göstərib.
- 1951 - V.A. Fabrikant, M.M. Vudinskiy və F.A. Butayeva (SSRİ) məcburi şüalanma hesabına elektromaqnit dalğalarının gücləndirilməsinin mümkünlüyünü təcrübi olaraq təsdiq etmişdilər.
- 1954- N.G. Basov və A.M. Proxorov (SSRİ) və bunlardan asılı olmayaraq, Ç. Tauns (ABŞ) İYT diapazonda kvant gücləndirilməsini (mazer) almışlar.
- 1955- N.G. Basov və A.M. Proxorov (SSRİ) enerji səviyyələrin inversiya məskunlaşmasını yaratmaq üçün

optik doldurma metodundan istifadə etməyi təklif etmişdilər.

1956-1957- R. Broun Henberi və R. Tviss (ABŞ) intensivliyin interferometrindən istifadə edərək ilk təcrübələr həyata keçiriblər.

1957- N.G. Basov (SSRİ) optik kvant generatorları yaratmaq üçün yarımkeçiricilərdən istifadə ideyasını irəli sürmüşdür.

1958- A. Şavlov və Ç Taunc (ABŞ) və onlardan asılı olmayaraq A.M. Proxorov (SSRİ) optik diapazonda məcburi şüalanma hadisəsini nəzəri cəhətdən istifadə etmək imkanını əsaslandırmışdılar.

1960 - T. Meyman (ABŞ) ilk yaqut lazeri yaratmışdır.

1960- Ə. Cavan və əməkdaşları (ABŞ) ilk qaz (helium və neon qarışığı əsasında) lazerini yaratmışdılar.

1961-1962- R.V. Xoxlov əməkdaşları ilə (SSRİ) və N. Blombergen əməkdaşları ilə (ABŞ) qeyri-xətti optika üzrə əsas nəzəri işləri yerinə yetirmişdirlər.

1961- P. Franken əməkdaşları ilə (ABŞ) ilk dəfə ikinci harmonikanın generasiyasını müşahidə etmişdirlər.

1961 - G. Askaryan (SSRİ) işığın öz-özünə fokuslanması

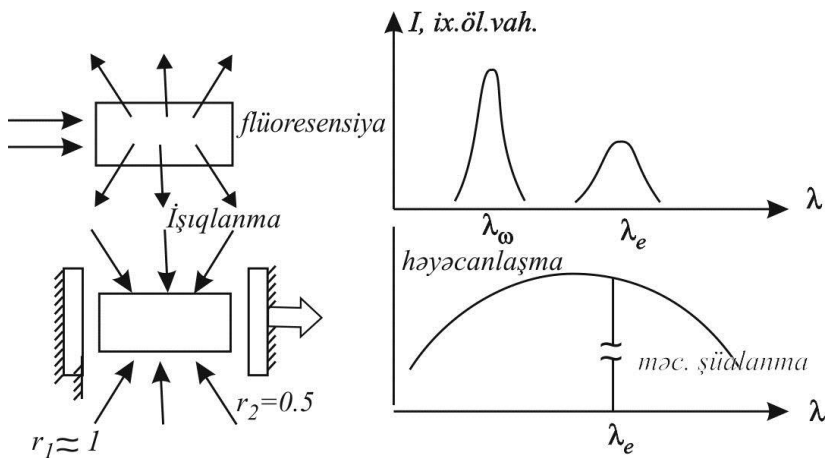
hadisəsi fikrini irəli sürmüşdür.

1962 - S.A. Axmanov, R.V. Xoxlov (SSRİ) və onlardan asılı olmayaraq N. Kroll və R. Kinqston (ABŞ) işığın parametrik generasiyası ideyasını irəli sürmüşdülər.

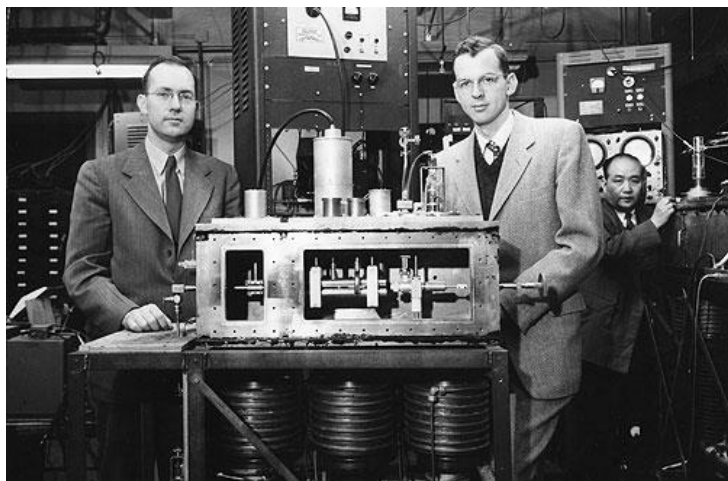
1962-1963 - SSRİ və ABŞ-da bir sıra laboratoriyalarda ilk yarımkeçirici lazerlər demək olar ki, eyni zamanda yaradılmışdır.

1964 - N.Q. Basov və O.N. Kroxin (SSRİ) lazer şüalanmasından istifadə edərək yüksək temperaturlu plazmanın əldə edilməsi mümkünlüyü barədə fikir irəli sürmüşdür.

Kvant elektronikasının yaradılmasına və inkişafına görə N.G. Basov (SSRİ), A.M. Proxorov (SSRİ), Ç. Tauns (ABŞ), N.Q. Blombergen (ABŞ), A. Kastler (Fransa) 1964 və 1981 illərdə Nobel mükafatları ilə təltif edilmişlər.



Flüoressensiya və məcburi şüalanma spektrləri



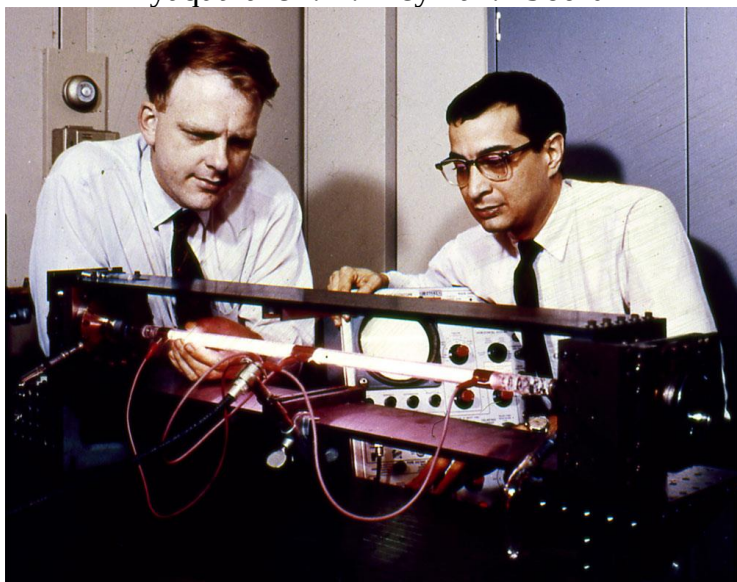
C. Tauns (Charles Hard Townes) solda –Nobel laureatı



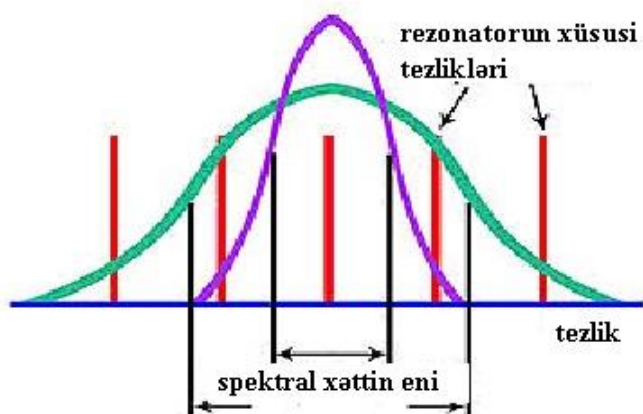
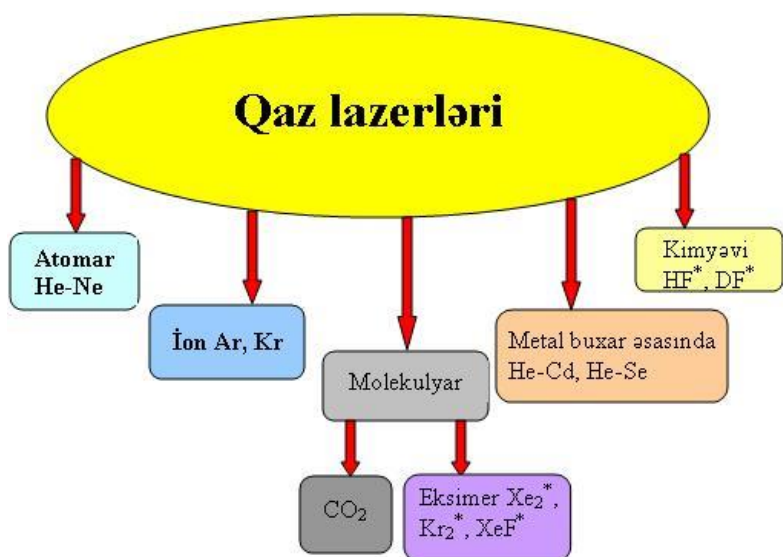
N.G. Basov və A.M. Proxorov –Nobel laureatları



İlk yaqut lazeri. T. Meyman. 1960-cı il



İlk He-Ne lazeri. Əli Cavan. 1960-cı il



Lazer şüalanmasının spektral xəttləri

Bircins genişlənmə növləri:

1) təbii (radiasiya) genişlənməsi

atomlar üçün $10^5 - 10^7$ Hs

molekullar üçün $10 - 10^3$ Hs

2) toqquşma nəticəsində ($p = 1$ mtor olduğu halda)

$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4$ Hs

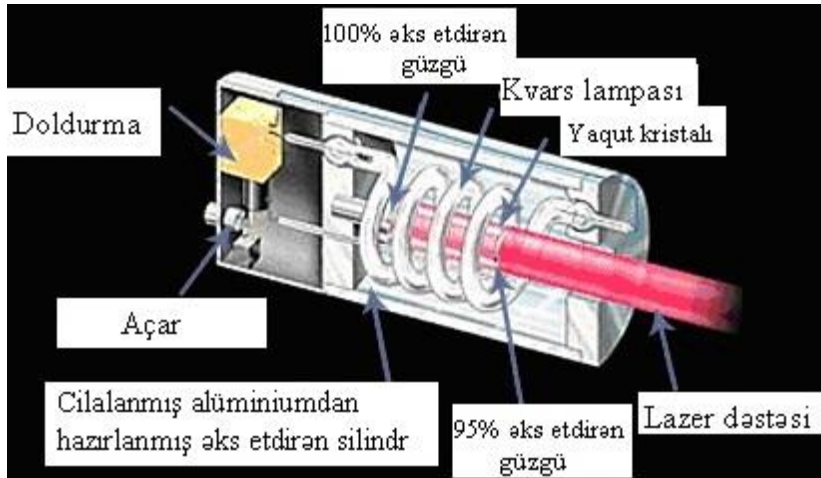
3) divarlarla toqquşma nəticəsində $3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4$ Hs

4) uçuş genişlənməsi $10^3 - 10^4$ Hs

5) işıq sahəsi ilə genişlənmə ($p_{12}E/\hbar$, E -elektrik sahə, p_{12} -keçidin dipol moment) elektrik sahə gücü 1mVt/sm^2 $10^4 - 10^5$ Hs

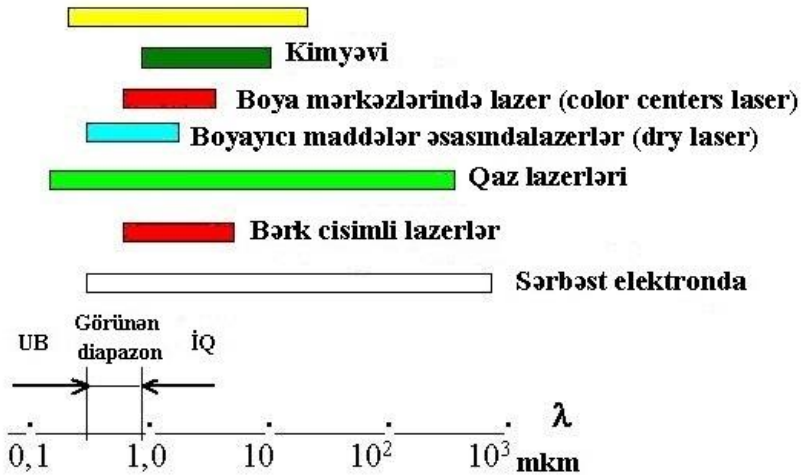
Qeyri-bircins genişlənmə:

(Dopler genişlənməsi) ($\nu = \nu_0 \pm k\nu$) $10^8 - 10^{10}$ Hs

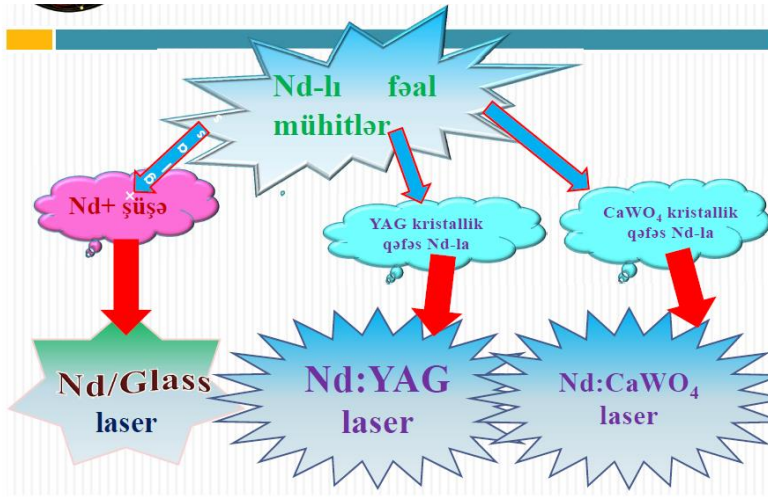


Yaquut lazerin quruluşu

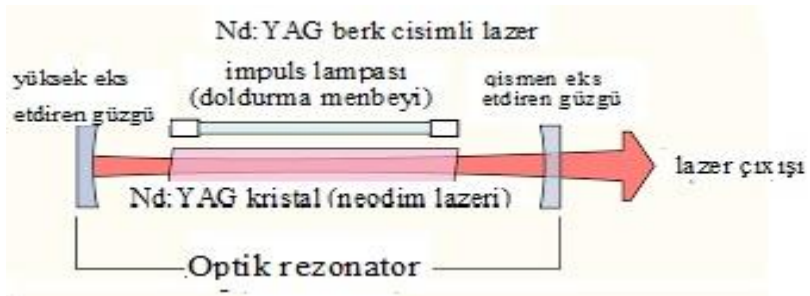
Yarımkeçirici lazerlər



Müxtəlif tipli lazerlərin (rentgen lazerlərindən başqa) şüalanma diapazonu

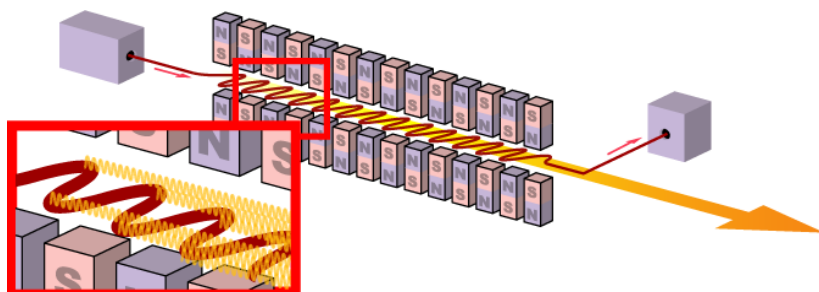


Nd əlavə olunan fəal mühitlər

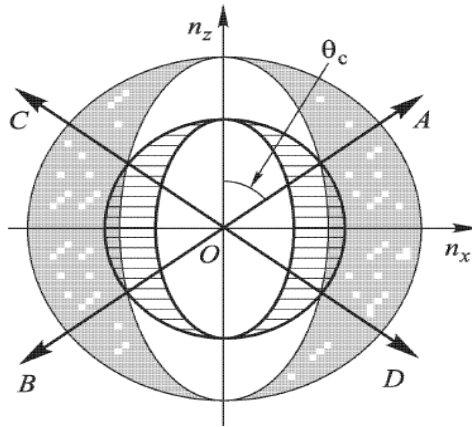




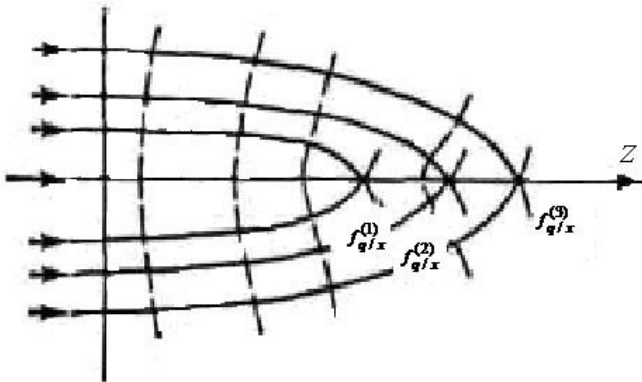
1984-cü ildə lazerin qurulması başa çatdıqdan dərhal sonra 10 -şüalı LLNL Nova lazerinin görünüşü



Sərbəst elektronlar əsasında lazer



Sinxronizm şərti AB (DC) sinxronizmi istiqamətində yerinə yetirilir. Nəticədə, normal dispersiya oblastında, real dispersiya edici anizotrop mühitlərdə üçdalğalı qarşılıqlı təsirin cırlaşmış halında ikinci harmonikanın generasiyasını müşahidə etmək mümkündür



İşığın öz-özünə fokuslaşması. $f_{q/x}^{(1)}$, $f_{q/x}^{(2)}$, $f_{q/x}^{(3)}$ - üç işıq dəstəsinin qeyri-xətti fokus məsafələri

MOLEKULAR VƏ BƏRKİSİMLİ LAZERLƏRİNİN MÜQAYİSƏSİ

Parametr	Qiymətin meyarı	CO ₂ lazerlər	Doldurma lampası ilə YAG-Nd lazerlər	Diodlu doldurma ilə YAG-Nd lazerlər	Diodlu lazerlər	Lifli lazerlər
Çıxış gücü, kVt	1...30	1...30	1...5	1...4	1...4	1...30
Dalğa uzunluğu, mkm	mümkün qədər kiçik	10,6	1,064	1,064 və ya 1,03	0,8...0,98	1,07
BPP, mm x mrad	<10	3...6	22	22	>200	1,3...14
FİƏ %	>20	8...10	2...3	4...6	25...30	20...25
Çıxış gücünün stabilliyi	mümkün qədər yuxarı	aşağı	aşağı	aşağı	yüksək	çox yüksək

ELMDƏ VƏ TEXNİKADA LAZERLƏRİN ƏSAS TƏTBİQ DAİRƏSİ

- İnformasiyanın yazılışının, saxlanması və işlənməsinin optik üsulları.
- Optik rabitə. Optik lokasiya, məsafələrin optik yolla ölçülməsi.
- Tibbdə lazerlər.
- İdarəolunan lazer termonüvə sintezi.
- Metrologiyada lazerlər.
- Maşınqayırmada – avtomobil və təyyarə istehsalında istifadə olunan lazer texnoloji komplekslər.
- Ekoloji problemlərdə - havanın və dəniz səthinin çirklənməsinin lazer nəzarəti və monitorinqi.

ƏDƏBİYYAT

1. R.C. Qasımova, R. Kərəməliyev. Kvant Elektronikasının Əsasları, BDU, 1991, 112 səh.
2. R.C. Qasımova, F.N.Hacıyev, Ş.Ş.Əmirov. Kvant elektronikasısı üzrə ixtisas praktikumu, BDU, 1994, 88 səh.
3. R.C. Qasımova. Kvant elektronikasısı kursu üzrə məsələlər toplusu həlli ilə. BDU, Bakı, “Bakı Universiteti” nəşriyyatı, 2008, 68 səh.
4. Z.H. Tağıyev, R.C. Qasımova, G.Ə. Səfərova. Qeyri-xətti optika, BDU, 2017, 284 səh.
5. Я.И. Ханин. Динамика квантовых генераторов, М., Советское радио, 1975, 496с.
6. Р. Пантел, Г. Путхоф, Основы квантовой электроники, М., Мир, 1972, 384с.
7. Н.В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1983, 336с.
8. Маленькая энциклопедия под ред М.Е. Жаботинского. Советская энциклопедия. 1969, 432с.
9. А.Л. Микаэлян, М.Л. Тер-Микаэлян, Ю.Г. Турков. Оптические квантовые генераторы на твердом теле. М.: Советское радио, 1967, 384с.
10. А. Ярив. Квантовая электроника, М.: Советское радио, 1980, 488с.
11. А. Ярив. Введение в оптическую электронику, М.: Высшая школа, 1983, 400с.
12. О. Звелто. Физика лазеров, М., Мир, 1979, 373с.

13. О. Звелто. Принципы лазеров, М., Мир, 1984, 396с.
14. В.П. Вейко, Е.А. Шахно. Сборник задач по лазерным технологиям. Санкт-Петербург, 2007, 63с.
15. А.Н. Пихтин. Оптическая квантовая электроника. М.: Высшая школа, 2001, 573с.
16. Справочник по лазерам в двух томах. Под ред. А.М. Прохорова. М.: Советское радио, 1978, 905с.
17. И.В. Тимофеев, В.П. Тимофеев, Д.А. Бадаев. Концентрированные потоки энергии и физические основы их генерации. Метод. указ. к практ. занятиям. Красноярск, 2007, 54с.
18. Ф. Качмарек. Введение в физику лазеров, М., Мир, 1981, 386с.
19. А. Мэйтленд, М. Данн. Введение в физику лазеров, М., Наука, 1978, 408с.
20. Г.М. Зверев, Ю.Д. Голяев, Е.А. Шалаев, А.А. Шоктн. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом, М. радио и связь, 1985, 144с.
21. Л.В. Тарасов. Физические основы квантовой электроники, М., 1976, 368с.
22. П.В. Короленко. Оптика когерентного излучения. М., 1997, 223.

CAVABLAR

I _____

1. γ şüalanması, rentgen şüalanması, UB, optik, İQ, terahers şüalanma, mikron və radiodalğaları.
2. $1/\text{san}, \text{ m}^3/\text{C} \cdot \text{san}^2$
3. 505.47 QHs
4. 2547.9 MHs
5. $-\frac{h\nu}{k \cdot \ln 2}$
6. 16 MHs
7. $7.8 \cdot 10^{9..11} \cdot w_0$
8. 54.5^0 .
9. $\pi / 2$.
10. Güclənmə əmsalı 10^7 .
11. 0.01.
12. 3.
13. 0.37.
14. Generasiya mümkün deyil; generasiya şərti yerinə yetirilmir; $0.9 < 1$.

15. Generasiya mümkündür; $l \geq 5.8$ sm-də generasiya şərti ödənilir.
16. Generasiya mümkündür; generasiya şərti ödənilir; $0.06 > 0$.
17. İtkilərin səviyyəsi $\beta \leq 0.008$ sm⁻¹ olduqda generasiya mümkündür.
18. 0.35 sm.
19. 25 m.
20. 4.6 m.
21. 0.12 sm⁻¹
22. 10⁻⁵.
23. a) $1.5 \cdot 10^{-3}$ Vt; b) 0.79 Vt; c) 634 Vt.
24. a) ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ keçiddə $w_q = 1.6 \cdot 10^{-5}$ san⁻¹;
- b) ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ keçiddə $w_q = 0.15$ san⁻¹;
- c) ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ keçiddə $w_q = 67$ san⁻¹.

II. _____

25. $\frac{c}{L}$

26. Sferik güzgüdə lazer şüasının eninə ölçüsü
 $2r_{1/e} = 0.068$ sm; müstəvi güzgüdə – 0.44 sm.
27. 75 MHs, itkilərdən asılı olaraq 1-2 uzununa moda
 generasiya edə bilər.
28. 3 m.
29. 10 rəqs növü yerləşir.
30. 0.02 Hs.
31. $N \sim 80$
32. $\Delta\nu = 670$ MHs.
33. $z_0 = 0.135$ m, $w_0 = 0.37$ mm.
34. $z_0 = 0.211$ m, $w_0 = 0.24$ mm.
35. 7 km –dən böyük məsafələrdə; 157 sm.
36. a) $m = 4$, $n = 1$; b) $m = 2$, $n = 3$; v) $m = 3$, $n = 0$.
37. a) $\frac{cL}{16a^2q}$ (haradakı a - güzgünün aperturasıdır),
 b) 643.5MHs.
38. 33.
39. 1.59 MHs.
40. 500 MHs, $\Delta\nu = 1$ MHs.
41. 0.68 sm, 1.026 sm, ≈ 60 .

42. a) $p = 4, l = 1$ (r, φ); b) $p = 3, l = 3$; c) $p = 1, l = 4$.

43. $0.5m \leq L \leq 1.5m$.

44. $1m \leq L \leq 2.5m$

45. 0.05 sm; 100 MHs; yarımkonfokal rezonator (1; 1/2).

III _____

46. Birinci harmonikanın dalğa uzunluğu -694 nm, ikinci harmonikanın dalğa uzunluğu- iki dəfə kicikdir 347 nm.

47. 0.74 nsan.

48. a) $0.8 P_0 / a$; b) $\tau_p = 3/a$; c) $0.27 P_0$; d) P_0 / e .

49. a) $\frac{P_0 a [1 - \exp(-b/f^2)]}{2b}$; b) $\frac{[1 - \exp(-b/f^2)]}{\sqrt{2b}} e^{-0.5}$,

c) $\frac{f P_0 a [1 - \exp(-b/f^2)]}{2b}$; d) $\frac{a P_0}{\sqrt{2b}} e^{-0.5}$

50. 10^{-8} san; 300 m.

- 51.a) $f = 3 \cdot 10^8$ Hs; b) $\tau_p = 0.2 \cdot 10^{-11}$ san.; c) 4.5 kVt; $0.9 \cdot 10^{-8}$ Coul; d) $f = 2.5 \cdot 10^8$ Hs, τ_p dəyişmir, $w = 12 \cdot 10^{-9}$ Coul.
52. Sərbəst generasiya rejimində, modullaşmış keyfiyyətlik və modların sinxronlaşdırması rejimlərində.
53. Generasiyanın kəsilməz rejimi üçün: 0.0011 sm^{-1} ; 0.00073 sm^{-1} ; $1.784 \cdot 10^{-3} \text{ sm}^{-1}$; $\tau_{res} = 1.86 \cdot 10^{-8}$ san; generasiyanın impuls rejimi üçün: 0.0069 sm^{-1} ; 0.00073 sm^{-1} ; $7.66 \cdot 10^{-3} \text{ sm}^{-1}$; $\tau_{res} = 4.35 \cdot 10^{-9}$ san.

IV _____

54. İntensivliyin tərifinə bax.
55. 4 mm, 10.
56. $5 \cdot 10^{-3}$ rad, 2.66 sm.
57. Səpilmə bucağı $\sqrt{2}$ dəfə azalmalıdır.
58. $I = 0.318 \cdot 10^9$ Vt/sr.
59. Lazerin işıqlanması 39.5 dəfə çoxdur.
60. $4,4 \cdot 10^3$; 112.

61. $R_{\min} = 2\pi w_0^2 / \lambda$; $z = \pi w_0^2 / \lambda$.
62. $z = \pi w_0^2 / \lambda$; $\sqrt{2}$ dəfə artar.
63. $\theta = 0.356$ mrad. Dəyişmir.
64. İşıq xətti polyarlaşmış olur.
65. $\pm \pi / 2$; $\pm \pi / 4$.
66. $2 \cdot 10^4$ sm, $b = 4 \cdot 10^{-3}$ sm, 10 sm ($z = 1m$) .
67. 1.2 mm.
68. 6.3 mkm; $2 \cdot 10^{-3}$ rad; 1.25 m.
69. 0.54 mm.
70. km-lər.
71. 6'.
72. 14.5" və 22" .
73. 330 MHzs, 0.13 mrad, $w_0 = 2.5$ mm, $N \cong 134$.
74. 14.4 sm.
75. Ədəbiyyatdan cavablandır.
76. Ədəbiyyatdan cavablandır.
77. Ədəbiyyatdan cavablandır.
78. Ədəbiyyatdan cavablandır.
79. Ədəbiyyatdan cavablandır.
80. Ədəbiyyatdan cavablandır.

81. Ədəbiyyatdan cavablandır.

V _____

82. $D = 646$ m.

83. Başlanğıc səpilməni nəzərə almadıqda intensivlik 10^6 dəfə artır; başlanğıc səpilməni nəzərə alaraq intensivlik 10^5 dəfə artır.

84. 46.529^0 ; 61.24^0 ; 54.49^0 ; 56.34^0 .

85. $300 V_t$.

86. $70 V_t$, $7 \cdot 10^{-7}$ Coul.

87. Linzanın fokusunda dəstənin diametri b^x dəfə azalır.

88. $d_0 = \theta f$

89. $\beta_{teles.sis}=2$; $l_{num} = 2.5$ mm ; $l_m = 1$ m.

90. $0.1 m/s < V_{scan} < 10^5 m/s$

91. $w_o^2 = \frac{f \lambda}{\pi}$

92. 37 mCoul.

93. a) $2.5 \cdot 10^7$ Vt/sm² ($\tau = 10^{-8}$ san üçün) и $7.8 \cdot 10^4$ Vt/sm² ($\tau = 10^{-3}$ san üçün); b) $1.4 \cdot 10^7$ Vt/sm²

($\tau = 10^{-8}$ san üçün) и $4.5 \cdot 10^4$ Vt/sm² ($\tau = 10^{-3}$ san üçün).

94.a) $6.1 \cdot 10^7$ Vt/sm² ($\tau = 10^{-8}$ san üçün) və $1.9 \cdot 10^5$ Vt/sm² ($\tau = 10^{-3}$ san üçün); b) $8.1 \cdot 10^7$ Vt/sm² ($\tau = 10^{-8}$ san üçün) və $2.6 \cdot 10^5$ Vt/sm² ($\tau = 10^{-3}$ san üçün).

VI_____

95. 0.091 м, 0.369 м, 0.26 мм, 0.612 mrad.

96. 33.02 см, $4.6 \cdot 10^5$ Vt.

97. $4.24 \cdot 10^{-4}$ rad.

98.a) 75 MHz; b) 0.57 MHz; c) 0.012.

99.a) 150MHz; b) 1 MHz.

100. a) 10^{-3} Hz; b) $0.2 \cdot 10^{-7} \text{ }^{\circ}$ Å

101. a) 200MHz; b) 0.64 MHz.

102. a) $3.2 \cdot 10^{-4}$ Hz; b) 10^{-8} ° Å.

103. 60 см; $2 \cdot 10^7$ м; 1 мм.

104. Spektrin görünən diapazonuna,;

- yaqut –spektrin görünən diapazonunda;
- neodim - spektrin yaxın İQ diapazonunda;
- helium – neon – spektrin görünən və yaxın İQ diapazonunda;
- karbon oksid (CO_2) – spektrin orta İQ diapazonunda;
- arqon – spektrin görünən diazonunda;
- CO spektrin orta İQ diapazonunda;
- metal buxarı əsasında – spektrin görünən diapazonunda;
- HF – spektrin orta İQ diapazonunda;
- üzvi boyaların məhlullarında – spektrin yaxın infraqırmızıdan-ultrabənöbşəyə qədər diapazonunda;
- GaAs-da yarımkeçirici – spektrin görünən diapazonunda;
- azot (N_2) – spektrin UF diapazonunda.

105. CO_2 ; He-Ne; Nd, CO ($\lambda_{gen} = 5 \text{ mkm}$).

106. Eksimer Xe_2^* , N_2 (0.31 mkm), H_2 (0.1).

107. Ədəbiyyatdan cavablandır.

108. CO_2 , He-Cd, eksimer lazerlər.

109. CO_2 .

- 110. Ədəbiyyatdan cavablandır.
- 111. Ədəbiyyatdan cavablandır.
- 112. Ədəbiyyatdan cavablandır.

MÜNDƏRİCAT

Lazerlərin fəal mühitləri.

Şüalanmanın gücləndirilməsi və generasiyası	5
Optik rezonatorlar	14
Lazerlərin iş rejimləri	24
Lazer dəstələrinin xassələri	28
Bərk cisim lazerəri əsasında texnoloji sistemlər	36
Qaz lazerləri əsasında texnoloji sistemlər	42
Əlavələr	50
Lazerlərin yaranmasının tarixi mərhələləri	53
Elmdə və texnikada lazerlərin əsas tətbiq dairəsi	66
Ədəbiyyat	67
Cavablar.....	69

