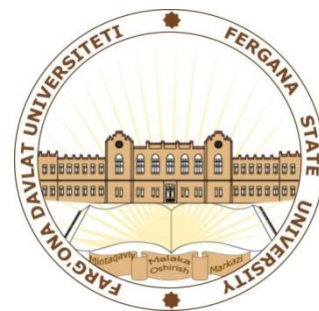




FARG'ONA DAVLAT
UNIVERSITETI HUZURIDAGI
PEDAGOG KADRLARNI QAYTA
TAYYORLASH VA ULARNING
MALAKASINI OSHIRISH
MINTAQAVIY MARKAZI



“FOTONIKANING ZAMONAVIY
MASALALARI”
MODULI BO‘YICHA

O‘QUV –USLUBIY MAJMUA

D.Yusupova – FarDU , f.m.f.n.,
Fizika kafedrasi dotsenti.



2023

Modulning ishchi dasturi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2023-yil 25 avgustdagi 391-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan oliy ta'lim muassasalari rahbar kadrlarini qayta tayyorlash va malaka oshirish yo'nalishlari o'quv reja va dasturlariga muvofiq ishlab chiqilgan.

Tuzuvchi:

D.Yusupova – FarDU , f.m.f.n.,
Fizika kafedrası dotsenti.

Taqrizchi:

K.E.Onarqulov- FarDU Fizika
kafedrası mudiri, f.m.f.d., professor

Ishchi o'quv dasturi FarDU Ilmiy Kengashining qarori bilan tasdiqqa tavsiya qilingan (2023 yil 30 avgustdagi 1- sonli bayonnoma)

MUNDARIJA

I. ISHCHI DASTUR	4
II. MODULNI O'QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTREFAOL TA'LIM METODLARI	122
III. NAZARIY MA'LUMOTLAR.....	22
IV. AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI	71
V. KEYSLAR BANKI.....	119
VI. GLOSSARIY	124
VII. ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	137

I. ISHCHI DASTUR

Kirish

Ushbu dastur O‘zbekiston Respublikasining 2020-yil 23-sentabrda tasdiqlangan “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyundagi “Oliy ta’lim myassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish to‘g‘risida”gi PF-4732-son, 2019-yil 27-avgustdagi “Oliy ta’lim myassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to‘g‘risida”gi PF-5789-son, 2019-yil 8-oktabrdagi “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-son, 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-son, 2023-yil 25-yanvardagi “Respublika ijro etuvchi hokimiyat organlari faoliyatini samarali yo‘lga qo‘yishga doir birinchi navbatdagi tashkiliy chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PF-14-son Farmonlari, shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019-yil 23-sentabrdagi “Oliy ta’lim myassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 797-son Qarorida belgilangan ustuvor vazifalar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo‘lib, u oliy ta’lim myassasalari pedagog kadrlarining kasb mahorati hamda innovatsion kompetentligini rivojlantirish, sohaga oid ilg‘or xorijiy tajribalar, yangi bilim va malakalarni o‘zlashtirish, shuningdek amaliyotga joriy etish ko‘nikmalarini takomillashtirishni maqsad qiladi.

Dastur doirasida berilayotgan mavzular ta’lim sohasi bo‘yicha pedagog kadrlarni qayta tayyorlash va malakasini oshirish mazmuni, sifati va ularning tayyorgarligiga qo‘yiladigan umumiy malaka talablari va o‘quv rejalari asosida shakllantirilgan bo‘lib, uning mazmuni fotonikaning zamonaviy masalalari bo‘yicha tegishli bilim, ko‘nikma, malaka va kompetensiyalarni rivojlantirishga yo‘naltirilgan.

Ushbu dasturda fotonikaning tarixi, Lazer fizikasi va fotonika asoslari, fotonika usullari va asosiy yo‘nalishlari, bir jinsli muhit o‘tikasi, kvant chigallik, kvant teleportatsiya, nanofotonika zamonaviy usullari va asosiy yo‘nalishlari, myammolari bayon etilgan.

Modulning maqsadi va vazifalari

Fotonikaning zamonaviy masalalari modulining maqsad va vazifalari:

- sohadagi ilg‘or tajribalar, zamonaviy bilim va malakalarni o‘zlashtirish va amaliyotga joriy etishlari uchun zarur bo‘ladigan kasbiy bilim, ko‘nikma va

malakalarini takomillashtirish, shuningdek ularning ijodiy faolligini rivojlantirishdan iborat

Kursning **vazifalariga** quyidagilar kiradi:

“**Fizika**” yo‘nalishida pedagog kadrlarning kasbiy bilim, ko‘nikma, malakalarini takomillashtirish va rivojlantirish;

- o‘quv jarayonini tashkil etish va uning sifatini ta‘minlash borasidagi zamonaviy yondashuvlarni o‘zlashtirish;

“**Fizika**” yo‘nalishida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarini fan va ishlab chiqarishdagi innovatsiyalar bilan o‘zaro integratsiyasini ta‘minlash.

Modul yakunida tinglovchilarning bilim, ko‘nikma va malakalari hamda kompetensiyalariga qo‘yiladigan talablar:

Qayta tayyorlash va malaka oshirish kursining “Fotonikaning zamonaviy masalalari” o‘quv moduli bo‘yicha tinglovchilar quyidagi yangi bilim, ko‘nikma, malaka hamda kompetensiyalarga ega bo‘lishlari talab etiladi:

Tinglovchi:

- fotonika tarixini;
- lazer fizikasi va fotonika asoslarini;
- fotonika usullari va asosiy yo‘nalishlarini;
- optika, spektroskopiya, fotonikani;
- nurdiod, lazerli diodlarni;
- kvant teleportasiyani;
- kvant interferensiyani
- optik giroskoplarni
- kremniyli fotonika, Nanoskopiya, Nanofotonikalarni *bilishi* kerak.

Tinglovchi:

- spektroskopik usullarni tahlil etish va baholash;
- nurlanish manbalaridan foudalanish;
- optik nurtolali datchiklarni ishlashini tahlil etish *ko‘nikmalariga* ega bo‘lishi lozim.

Tinglovchi:

- fotonlarni qabul qilish;
- optik nurtolali aloqa tizimlarinidan amaliyotda foudalanish *malakalariga* ega bo‘lishi zarur.

Tinglovchi:

- fotonikaning zamonaviy masalalarini o‘zlashtirish;
- fotonni teleportatsiya qilishga mo‘ljallangan eksperimental qurilmalardan foidalanish;
- kvant interneti va kvant kompyuterlarini qo‘llash *kompetensiyalariga* ega bo‘lishi lozim.

Modul hajmi

“Fotonikaning zamonaviy masalalari” jami 18 soatni – 8 soat nazariy hamda 10 soat amaliy mashg‘ulotni tashkil etadi. Malaka oshirishning bevosita shaklida uchinchi haftadagi o‘quv yuklamasining hajmi - 10 soatni, to‘rtinchi haftada esa - 8 soatni tashkil etadi.

“FOTONIKANING ZAMONAVIY MASALALARI” O‘QUV MODULINING MAZMUNI

Fotonika tarixi. Lazer fizikasi va fotonika asoslari. Fotonika usullari va asosiy yo‘nalishlari. Nurlanish manbalari. Nurdiod. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish. Bir jinsli muhit optikasi. Optik nurlolalar. Optik nurlolali aloqa tizimlari. Optik nurlolali datchiklar. Optik giroskoplar. Kvant chigallik. Kvant teleportatsiya. Kvant interferensiya. Fotonni teleportatsiya qilishga mo‘ljallangan eksperimental qurilmalar. Kvant interneti va kvant kompyuterlari. Kremniyli fotonika. Nanoskopiya. Nanofotonika. Bir fotonli nurlanish manbalari

Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Mavzular	Umumiy soat	Jami ayditoriya soati	Jumladan		
				nazariy	amaliy	ko'chma mashg'ulot
1	Nazariy mashg'ulot					
1.1	Fotonika tarixi. Lazer fizikasi va fotonika asoslari. Fotonika usullari va asosiy yo'nalishlari. Nurlanish manbalari. Nurdiod. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish.	2	2	2		
1.2	Bir jinsli bo'lmagan muhit optikasi. Optik nurtolalar. Optik nurtolali aloqa tizimlari. Optik nurtolali datchiklar. Optik giroskoplar.	2	2	2		
1.3	Kvant chigallik. Kvant teleportatsiya. Kvant interferensiya. Fotonni teleportatsiya qilishga mo'ljallangan eksperimental qurilmalar. Kvant interneti va kvant kompyuterlari.	2	2	2		
1.4	Kremniyli fotonika. Nanoskopiya. Nanofotonika. Bir fotonli nurlanish manbalari.	2	2	2		
II.	Amaliy mashg'ulot					
2.1.	Nurlanish manbalari. fotoelementlar. nurdiod.	2	2		2	
2.2.	Lazerli diod. fotonlarni qabul qilish	2	2		2	
2.3.	Optik nurtolali aloqa tizimlari. optik nurtolali datchiklar. optik giroskoplar.	2	2		2	
2.4.	Kremniyli fotonika. nanoskopiya	2	2		2	
2.5.	Nanofotonika. Bir fotonli nurlanish manbalari	2	2		2	
III.	Malakaviy attestatsiya					
	Jami	18	18	8	10	

Nazariy mashg'ulot materiallari

1-mavzu. Fotonika tarixi. Lazer fizikasi va fotonika asoslari. Fotonika usullari va asosiy yo'nalishlari. Nurlanish manbalari. Nurdiod. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish

Modul maqsadi va vazifalari. Fotonika tarixi. Lazer fizikasi va fotonika asoslari. Fotonika usullari va asosiy yo'nalishlari. Nurlanish manbalari. Nurdiod. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish.

2-mavzu. Bir jinsli bo'lmagan muhit optikasi. Optik nurtolalar. Optik nurtolali aloqa tizimlari. Optik nurtolali datchiklar. Optik giroskoplar Amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar

Bir jinsli bo'lmagan muhit optikasi. Optik nurtolalar. Optik nurtolali aloqa tizimlari. Optik nurtolali datchiklar. Optik giroskoplar.

3-mavzu. Kvant chigallik. Kvant teleportatsiya. Kvant interferensiya. Fotonni teleportatsiya qilishga mo'ljallangan eksperimental qurilmalar. Kvant interneti va kvant kompyuterlari.

Kvant chigallik. Kvant teleportatsiya. Kvant interferensiya fizik asoslari. Fotonni teleportatsiya qilishga mo'ljallangan eksperimental qurilmalar. Kvant interneti va kvant kompyuterlari.

4-mavzu. Kremniyli fotonika. Nanoskopiya. Nanofotonika. Bir fotonli nurlanish manbalari.

Kremniyli fotonika. Nanoskopiya. Nanofotonika. Bir fotonli nurlanish manbalari. Fotonika asosan elektronlar o'rniga elektromagnit maydon kvantlaridan — fotonlardan foydalanadigan elektronikaning analogidir. Fotonik signallarni qayta ishlash texnologiyalari energiya yo'qotilishini va qurilmalar hajmini kamaytirishga imkon beradi

AMALIY MASHG'ULOT MATERIALLARI

1-amaliy mashg'ulot. Nurlanish manbalari. fotoelementlar. nurdiod.

Fotoelementlar haqida tushincha. Fotodiodlar to'g'risida malumotlar. Tunelli fotodiodlar. Nurdiodlar. Nurdiodlar uchun materillar. 3. Nurdiodlar uchun kvant effektivligini oshirish usullari.

2-amaliy mashg'ulot. Lazerli diod. fotonlarni qabul qilish.

Yarimo'tkazgichli lazerlar. Lazer diodlar. Ko'pelementli fotoqabulqilgichlar. Optronlar va ularning klassifikatsiyasi. Tok bo'yicha uzatish koeffitsienti.

3-amaliy mashg'ulot. Optik nurtolali aloqa tizimlari. optik nurtolali datchiklar. optik giroskoplar.

Planar va kanalli nurtolalarda yorug'likning tarqalishi. Optik tola bo'ylab yorug'lik nurining tarqalish nazariyasi. Nurtolali optik aloqa tarmoqlari. Konstruktsiya.

4-amaliy mashg'ulot. Kremniyli fotonika. nanoskopiya

Kremniyli fotonika. Kremniy yorug'lik manbalari. Kremniy modulyatorlar Kremniy fotodetektorlar. Raman uzluksiz Kremniy lazer. Gibrid Kremniy lazer.

5-amaliy mashg'ulot Nanofotonika. Bir fotonli nurlanish manbalari

Nanofotonika. Plazmonik optik hodisalar. Bir fotonli nurlanish manbalari. Nanofotonik qurilmalarga o'lchamlari 100 nm yoki undan kam bo'lgan tuzilmalarni ishlatadigan qurilmalar kiradi. Bunday qurilmalar ko'plab optik tizimlarni miniatyuralashtirish muammolarini hal qiladi. Nanofotonika va optika sohasidagi tadqiqotlar va ishlanmalar o'ziga xos xususiyatlarga yoki mutlaqo yangi funktsionallikka ega fotonik qurilmalarni yaratishga qaratilgan.

Amaliy mashg'ulotlarda tinglovchilar o'quv modullari doirasidagi ijodiy topshiriqlar, keuslar, o'quv loyihalari, texnologik jarayonlar bilan bog'liq vaziyatli masalalar asosida amaliy ishlarni bajaradilar.

Amaliy mashg'ulotlar zamonaviy ta'lim uslublari va innovatsion texnologiyalarga asoslangan holda o'tkaziladi. Bundan tashqari, mustaqil holda o'quv va ilmiy adabiyotlardan, elektron resurslardan, tarqatma materiallardan foudalanish tavsiya etiladi.

Dasturning axborot-metodik ta'minoti

Modulni o'qitish jarayonida ishlab chiqilgan o'quv-metodik materiallar, tegishli soha bo'yicha ilmiy jurnallar, Internet resurslari, multimedia mahsulotlari va boshqa elektron va qog'oz variantdagi manbaalardan foudalaniladi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

I. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari

1. Mirziyoev Sh.M. Byuuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – T.: “O‘zbekiston”, 2017. – 488 b.
2. Mirziyoev Sh.M. Milliy taraqqiyot yo‘limizni qat’iyat bilan davom ettirib, yangi bosqichga ko‘taramiz. 1-jild. – T.: “O‘zbekiston”, 2017. – 592 b.
3. Mirziyoev Sh.M. Xalqimizning roziligi bizning faoliyatimizga berilgan eng oliy bahodir. 2-jild. T.: “O‘zbekiston”, 2018. – 507 b.
4. Mirziyoev Sh.M. Niyati ulug‘ xalqning ishi ham ulug‘, hayoti yorug‘ va kelajagi farovon bo‘ladi. 3-jild.– T.: “O‘zbekiston”, 2019. – 400 b.
5. Mirziyoev Sh.M. Milliy tiklanishdan – milliy yuksalish sari. 4-jild.– T.: “O‘zbekiston”, 2020. – 400 b.

II. Normativ-huquqiy hujjatlar

1. O‘zbekiston Respublikasining Konstitutsiyasi. – T.: O‘zbekiston, 2023.
2. O‘zbekiston Respublikasining 2020-yil 23-sentabrda qabul qilingan “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni.
3. O‘zbekiston Respublikasining “Korrupsiyaga qarshi kurashish to‘g‘risida”gi Qonuni.
4. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyundagi “Oliy ta’lim myassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish to‘g‘risida”gi PF-4732-sonli Farmoni.
5. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 maydagi “O‘zbekiston Respublikasida korrupsiyaga qarshi kurashish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PF-5729-son Farmoni.
6. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 avgustdagi “Oliy ta’lim myassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to‘g‘risida”gi PF-5789-sonli Farmoni.
7. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 23 sentabrdagi “Oliy ta’lim myassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 797-sonli Qarori.
8. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktabrdagi “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847- sonli Farmoni.
9. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-son Farmoni.
10. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 25-yanvardagi

“Respublika ijro etuvchi hokimiyat organlari faoliyatini samarali yo‘lga qo‘yishga doir birinchi navbatdagi tashkiliy chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PF-14-sonli Farmoni.

III. Maxsus adabiyotlar

1. Vittorio Degiorio, IlariaCristiani /Photonics. A short course/ Springer International Publishing Switzerland 2014.
2. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wileu & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.
3. Arxangelskaya I.V., Rozental I.L., Chernin A.D. Kosmologiya i fizicheskiy vakyum. Izd. stereotip. URSS. 2020. 214 s. ISBN 978-5-396-00993-6.
4. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/54216/1/978-5-9544-0083-0_2017.pdf

IV. Elektron ta’lim resurslari

1. www.edu.uz.
2. www.aci.uz.
3. www.ictcouncil.gov.uz.
4. www.lib.bimm.uz
5. [www. Ziyonet. Uz](http://www.Ziyonet.Uz)
6. www.sciencedirect.com
7. www.acs.org
8. www.nature.com
9. <http://www.kornienko-ev.ru/BCUD/index.html..>

II. MODULNI O'QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTREFAOL TA'LIM METODLARI

“SWOT-tahlil” metodi.

Metodning maqsadi: mavjud nazariy bilimlar va amaliy tajribalarni tahlil qilish, taqqoslash orqali muammoni hal etish yo'llarni topishga, bilimlarni mustahkamlash, takrorlash, baholashga, mustaqil, tanqidiy fikrlashni, nostandart tafakkurni shakllantirishga xizmat qiladi.

S – (strength)	• кучли томонлари
W – (weakness)	• заиф, кучсиз томонлари
O – (opportunity)	• имкониятлари
T – (threat)	• тўсиқлар

Namuna: Nanotexnologiyaning fizikaviy asoslari va amaliyotda qo'llanishi SWOT tahlilini ushbu jadvalga tushiring.

S	Nanotexnologiyaning fizikaviy asoslari va amaliyotda qo'llanishi modulini kuchli tomonlari	Nanofizika va nanotexnologiy fanlarining hamkorligi
W	Nanotexnologiyaning fizikaviy asoslari va amaliyotda qo'llanishi modulini kuchsiz tomonlari	Nanomateriallar yaratishning noyob xom-ashyolar va yangi texnologiya-larga ehtiyojining yuqori ekanligi
O	Nanotexnologiyaning fizikaviy asoslari va amaliyotda qo'llanishi modulini imkoniyatlari (ichki)	Innovatsion ishlab chiqarishning keng qo'llanishi va samaradorligi
T	To'siqlar (tashqi)	Nanomateriallar ishlab chiqarishda qo'shimcha xarajatlar paydo bo'lishi

Xulosalash (Rezyume, Veyer) metodi

Metodning maqsadi: Bu metod murakkab, ko'p tarmoqli, mumkin qadar, muammoli xarakteridagi mavzularni o'rganishga qaratilgan. Metodning mohiyati shundan iboratki, bunda mavzuning turli tarmoqlari bo'yicha bir xil axborot beriladi va ayni paytda, ularning har biri alohida aspektlarda muhokama etiladi. Masalan, muammo ijobiy va salbiy tomonlari, afzallik, fazilat va kamchiliklari, foyda va zararlari bo'yicha o'rganiladi. Bu interfaol metod tanqidiy, tahliliy, aniq mantiqiy fikrlashni muvaffaqiyatli rivojlantirishga hamda o'quvchilarning mustaqil g'oyalari, fikrlarini yozma va og'zaki shaklda tizimli bayon etish, himoya qilishga imkoniyat yaratadi. "Xulosalash" metodidan ma'ruza mashg'ulotlarida individual va juftliklardagi ish shaklida, amaliy va seminar mashg'ulotlarida kichik guruhlardagi ish shaklida mavzu yuzasidan bilimlarni mustahkamlash, tahlili qilish va taqqoslash maqsadida foydalanish mumkin.

Методни амалга ошириш тартиби:



тренер-ўқитувчи иштирокчиларни 5-6 кишидан иборат кичик гуруҳларга ажратади;



тренинг мақсади, шартлари ва тартиби билан иштирокчиларни таништиргач, ҳар бир гуруҳга умумий муаммони таҳлил қилиниши зарур бўлган қисмлари туширилган тарқатма материалларни



ҳар бир гуруҳ ўзига берилган муаммони атрафлича таҳлил қилиб, ўз мулоҳазаларини тавсия этилаётган схема бўйича тарқатмага ёзма баён қилади;



навбатдаги босқичда барча гуруҳлар ўз тақдимотларини ўтказадилар. Шундан сўнг, тренер томонидан таҳлиллар умумлаштирилади, зарурий ахборотлар билан тўлдирилади мавзу

Namuna:

Materiallar qiyosiy tahlili					
Metall		Keramika		Polimer	
afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi
Mustahkam, qattiq, elektr-issiqlikni yaxshi o'tkazadi	Og'ir, yuqori haroratda qayta ishlanadi, zanglaydi	Yuqori haroratlarga chidamli, xom-ashyo zahirasi katta	Mo'rt, og'ir, nafis	Yengil, past haroratlarda qayta ishlanadi, zahira-si katta	Yuqori haroratlarda kuchli mexanik ta'sirlarga chidamsiz
Xulosa: Barcha materiallar ham o'zining afzalligi va kamchiligi bilan bir biridan jiddiy farqlanadi. Lekin, ularning kompleks tarzda amaliy qo'llanishi kamchiliklari bartaraf etilishiga va afzalliklarini yanada oshirishga imkon beradi.					

“Keys-stadi” metodi

«**Keys-stadi**» - inglizcha so'z bo'lib, («case» – aniq vaziyat, hodisa, «study» – o'rganmoq, tahlil qilmoq) aniq vaziyatlarni o'rganish, tahlil qilish asosida o'qitishni amalga oshirishga qaratilgan metod hisoblanadi. Mazkur metod dastlab 1921 yil Garvard universitetida amaliy vaziyatlardan iqtisodiy boshqaruv fanlarini o'rganishda foydalanish tartibida qo'llanilgan. Keysda ochiq axborotlardan yoki aniq voqea-hodisadan vaziyat sifatida tahlil uchun foydalanish mumkin. Keys harakatlari o'z ichiga quyidagilarni qamrab oladi: Kim (Who), Qachon (When), Qayerda (Where), Nima uchun (Why), Qanday/Qanaqa (How), Nima-natija (What).

“Keys metodi” ni amalga oshirish bosqichlari

Ish bosqichlari	Faoliyat shakli va mazmuni
1-bosqich: Keys va uning axborot ta'minoti bilan tanishtirish	yakka tartibdagi audio-vizual ish; keys bilan tanishish(matnli, audio yoki media shaklda); axborotni umumlashtirish; axborot tahlili; muammolarni aniqlash
2-bosqich: Keysni aniqlashtirish va o'quv topshirig'ni belgilash	individual va guruhda ishlash; muammolarni dolzarblik iyerarxiyasini aniqlash; asosiy muammoli vaziyatni belgilash
3-bosqich: Keysdagi asosiy muammoni tahlil etish orqali o'quv topshirig'ining yechimini izlash, hal etish yo'llarini ishlab chiqish	individual va guruhda ishlash; muqobil yechim yo'llarini ishlab chiqish; har bir yechimning imkoniyatlari va to'siqlarni tahlil qilish; muqobil yechimlarni tanlash
4-bosqich: Keys yechimini yechimini shakllantirish va asoslash, taqdimot.	yakka va guruhda ishlash; muqobil variantlarni amalda qo'llash imkoniyatlarini asoslash; ijodiy-loyiha taqdimotini tayyorlash; yakuniy xulosa va vaziyat yechimining amaliy aspektlarini yoritish

Keys. Kompozit material shakllantirish uchun komponentlar tanlandi. Ularni suyuq fazaga o'tkazib aralashtirishda suyuqlanish harorati harxilgi bo'yicha muammo kelib chiqdi. Kompozit olish uchun yangicha ilmiy yondashish talab etilmoqda.

Кейси бажариш босқичлари ва топшириқлар:

- Кейсдаги муаммони келтириб чиқарган асосий сабабларни белгиланг (индивидуал ва кичик гуруҳда).
- Мобил иловани ишга тушириш учун бажариладагина ишлар кетма-кетлигини белгиланг (жуфтликлардаги иш).

“AQLIY HUJUM” METODI

“Aqliy hujum” metodi muayyan mavzu yuzasidan berilgan muammolarni hal etishda keng qo`llaniladigan metod hisoblanadi. Bu metod o`quvchilarni muammo xususida keng va har tomonlama fikr yuritish, shuningdek, o`z tasavvurlari va g`oyalaridan ijobiy foydalanish borasida ma`lum ko`nikma va malakalarni hosil qilishga rag`batlantiradi. Ushbu metod yordamida tashkil etilgan dars jarayonida ixtiyoriy muammolar yuzasidan bir necha original yechimlarni topish imkoniyati tug`iladi.

Ushbu metoddan samarali foydalanish maqsadida quyidagi qoidalarga amal qilish lozim:

Talabalarning o`zlarini erkin xis etishlariga sharoit yaratib berish;

G`oyalarni yozib borish uchun yozuv taxtasi yoki varaqlarni tayyorlab qo`yish;

Muammo (yoki mavzu)ni aniqlash;

Mashg`ulot jarayonida amal qilinishi lozim bo`lgan shartlarni belgilash;

Bildirilayotgan g`oyalarni ularning mualiflari tomonidan soslanishiga erishish va ularni yozib olish;

Qog`oz varaqlari g`oya bilan to`lgandan so`ng ularni yozuv taxtasiga osib qo`yish;

Bildirilgan fikrlarni yangi g`oyalar bilan boyitish asosida ularni quvvatlash;

Boshqalar tomonidan bildirlgan fikrlar ustidan kulishga, kinoyali sharxlarning bildirilishiga yo`l qo`ymaslik;

Yangi g`oyalarni bildirish davom etayotgan ekan, muammoning yagona to`g`ri yechimini e`lon qilishga shoshilmaslik.

“Aqliy hujum” metodlaridan fizikadagi har bir bobni takrorlashda foydalanish samarali natija beradi. Shuningdek, yangi mavzular bayonidan so`ng shu mavzuni mustahkamlash uchun ham ushbu metodni qo`llash tavsiya

“SCORE” interfaol uslubi

(umumiy o`rta maktab, O`MKHTM, OTM talabalar va talabalari hamda malaka oshirish va qayta kurslari tinlovchilari uchun)

Uslub maqsadi: talabalarga o`zgalar fikrini hurmat qilgan holda dalillash, ishontirish, asoslash; murosaga kelish va izlash qobiliyatlarini rivojlantirish; muammoli vaziyatlarni oldindan ko`ra bilish, ularni hal qilish yo`llarini izlab topish, munozara olib borish mahorati, o`z fikrini boshqalarga o`tkaza olish, ta`sir eta olishga o`rgatish va bahslashish madaniyatini shakllantirish.

Uslubdan kutiladigan natija: talabalar mashg`ulot davomida nostandart vaziyatlarda o`zini va jamoani boshqara olish, muammoli vaziyatlarni tushuna bilish va ularning yechimini aniqlashda va o`z uslublarini topa bilish, o`z fikrlarini boshqalarga o`ztkaza olish, ta`sir eta olish usullariga hamda bahslashish madaniyatiga o`rganadilar.

Mashg`ulotni o`tkazish tartibi: mashg`ulot belgilangan vaqtda talabalarning xonaga (mashg`ulot o`tkaziladigan joyga) kirib kelishidan boshlanadi. Talabalar xonaga kirib kelishar ekan, mashg`ulotdan oldin o`qituvchi tomonidan eshikning yonidagi stol ustiga tayyorlab qo`yilgan, ingliz tilida yozilgan xarflardan (S,C,O,R,E) bittasini olib, stol atrofiga joylashadilar (stollarga ham shu harflar qo`yilgan, har bir stol atrofida talabalar soni bir xil bo`lishi hisobga olinadi). Talabalar joylashib olishgach, o`qituvchi mashg`ulotni boshlaydi.

O`qituvchi mashg`ulotni o`tkazish tartibi bilan talabalarni tanishtirishdan boshlaydi. O`qituvchi shu kunning dolzarb muammolaridan kelib chiqqan holda, mashg`ulotga talabalar bilan birgalikda mavzu yoki muammo tanlaydi va guruhlardan ularning har biri tanlangan mavzu yoki muammoni bir tomonini o`rganishlarini (stollarga shu guruh tomonidan umumiy muammoning qaysi jihatlari haqida so`z yuritishlari kerakligini ko`rsatuvchi belgi yoki yozuvli material qo`yiladi), so`ngra, munozara yuritib, o`zlarining fikrlarini yozma

(og`zaki) bayon qilishlari kerakligini tushuntiradi. Vazifa uchun vaqt belgilaydi. Guruhlarining ishlari tayyor bo`lgach, ular birin-ketin o`rtaga chiqib, ishlarini taqdimot qiladilar. Taqdimot avval muammoning –bedgisi (S), keyin uning – sababi (S), so`ngra –natijasi (O), manbai (R) va samarasi (Ye) tartibda olib boriladi. Boshqa guruh a`zolari taqdimot materiallari umumlashtirilib, xulosa qilinadi. O`qituvchi talabalar bilan birgalikda guruhlar faoliyatiga baho beradi, mashg`ulotga yakun yasaydi, talabalarning mashg`ulot haqidagi fikrlarini anilaydi.

“FIKRIY HUJUM” METODI

Ta`limning “Fikriy hujum” metodi o`quvchilarning dars jarayonida faolliklarini ta`minlash ularni bir xil standart tarzida fikrlashdan ozod qilish, erkin fikrlashga rag`batlantirish, muayyan mavzu yuzasidan turli- tuman g`oyalarni to`plash, ijodiy yondoshishga o`rnatish uchun xizmat qiladi.

“Fikriy hujum” metodining asosiy tamoili va sharti har bir o`quvchi tomonidan o`rtaga tashlanadigan fikrga nisbatan tanqidni mutlaqo taqiqlash, har qanday luqma va hazil mutoibalarni rag`bantlantirishlan iborat. Bundan ko`zlangan maqsad o`quvchilarning dars jarayonidagi erkin ishtirokini ta`minlashdir.

Ta`lim jarayonida ushbu metoddan samarali va muvaffaqiyatli foydalanish o`qituvchilarning pedagogik mahorati taffakur ko`lamining kengligiga bog`liq bo`ladi.

“Fikriy hujum” metodidan foydalanish chog`ida o`quvchilarning soni 15 nafardan oshmasligi maqsadga muvofiqdir. Bu metoddan fizikaning ma`lum bobini takrorlash darslarida, laboratoriya ishi yakunida, ekskursiya darslarida samarali foydalanish mumkin.

“6 X 6” METODI

“6 x 6” metodi yordamida bir vaqtning o`zida 26 nafar o`quvchining muayyan faoliyatga jalb etish orqali ma`lum topshiriq yoki malakani xal etish, shuningdek, guruxlarning har bir a`zosi imkoniyatlarini aniqlash, ularning qarashlarini bilib olish mumkin. Bu metod asosida tashkil etilayotgan darsda har birida 6 nafardan

ishtirokchi bo`lgan 6 ta guruh o`qituvchi tomonidan o`rtaga tashlangan muammoni muhokama qiladi. Belgilangan vaqt nihoyasiga yetgach, o`qituvchi 6 ta guruhni qaytadan tuzadi. Qaytadan shakllangan guruhlarining har birida avvalgi 6 ta guruhdan bittadan vakil bo`ladi. Yangi shakllangan guruh a`zolari o`z jamoadoshlariga avvalgi guruh tomonidan muammo yechimi sifatida taqdim etilgan xulosani bayon etib beradilar va mazkur yechimlarni birgalikda muhokama qiladilar.

“6 x 6” metodining afzallik jihatlari quyidagilardan iborat:

- guruhlarining har bir a`zosini faol bo`lishga undaydi;
- ular tomonidan shaxsiy qarashlarning ifoda etilishini ta`minlaydi;
- guruhning boshqa a`zolarining fikrlarini tinglay olish ko`nikmalarini hosil qilish;
- ilgari surilayotgan bir necha fikrni umumlashtira olish, shuningdek, o`z fikrini himoya qilishga o`rgatadi.

Eng muhimi, har bir o`quvchi qisqa vaqt (15 – 20 minut) davomida ham munozara qatnashchisi, ham ma`ruzachi sifatida faoliyat ko`rsatadi.

Ushbu metodni 4,5,7, 8 nafar o`quvchidan iborat bo`lgan bir necha guruhlarda ham qo`llash mumkin.

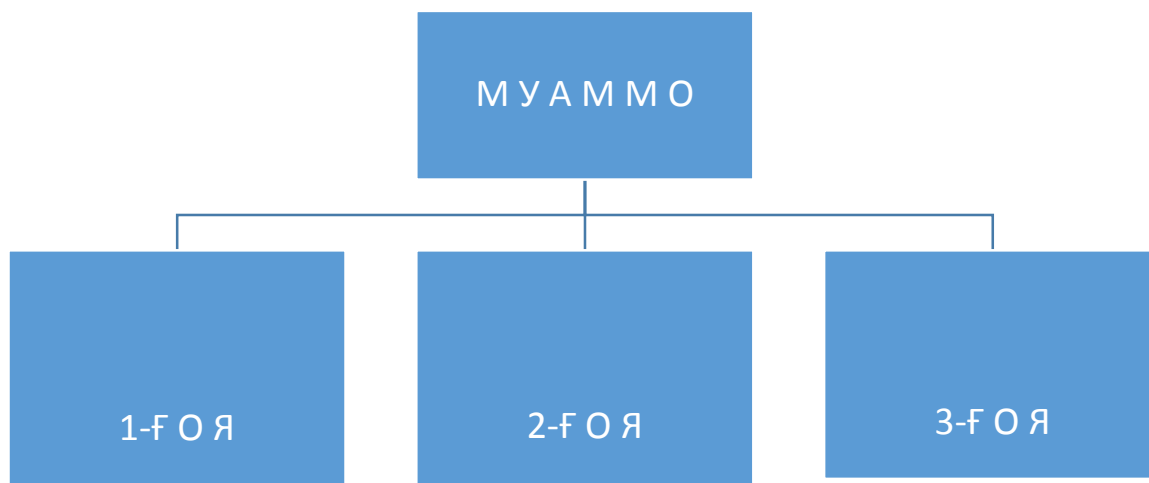
“XULOSALAR QABUL QILISH TEXNOLOGIYASI”

METODI

Ushbu metod birmuncha murakkab mavzularni o`zlashtirish, ma`lum muammolarni har tomonlama, puxta tahlil qilish asosidaular yuzasidan muayyan xulosalarga kelish, bir muammo xususida bildirilayotgan bir necha xulosalar orasidan eng maqbul hamda to`g`risini topishga yo`naltirilgan texnik yonashuvdir.

“Xulosalar qabul qilish tenologiyasi” metodi, shuningdek, avvalgi vaziyatlarda qabul qilingan xulosalar mohiyatini yana bir bor tahlil qilish va uni mukammal tushunishga xizmat qiladi. Guruh talabalari ishtirokida qo`llaniladigan bu metod bir necha o`n nafar talabalarning bilimlari darajasini aniqlash, ularning fikrlarini jamlash va baholash imkonini beradi. Ta`lim jarayonida mazkur metodning qo`llanilishi muayyan muammo yuzasidan oqilona xulosaga kelishda

talabalar tomonidan bildirilayotgan har bir variant, ularning maqbul hamda nomaqbul jihatlarini mufassal tahlil etish imkoniyatini yaratadi. Mashg`ulot jarayonida talabalar quyidagi chizma asosida tuzilgan jadvalni to`ldiradilar.



XULOSA

“Xulosalar qabul qilish texnologiyasi” metodi quyidagi shartlar asosida qo`llaniladi.

1.O`qituvchi mashg`ulot boshlanishidan oldin munozara, tahlil uchun mavzuga oid biror muammoni belgilaydi. Guruhlar tomonidan qabul qilingan xulosalarni yozish uchun plakatlarni tayyorlaydi.

2.O`qituvchi talabalarni 4 yoki 6 nafar talabalardan iborat guruhlariga ajratadi. Muammoning hal etilishi, bu borada eng maqbul xulosaningqabul qilishi uchun muayyan vaqt belgilanadi.

3.Xulosani qabul qilish jarayonida guruhlarning har bir a`zosi tomonidan bildirilayotgan variantlarningmaqbullik hamda nomaqbullik darajalari batafsil muhokama qilinadi.

4.Munozara uchun ajratigan vaъt nihoyasiga yetgach, har bir guruh a`zolari o`z guruhining xulosasi borasida axborot beradilar.Agarda barcha guruhlar tomonidan muammo yuzasidan bir xil xulosaga kelingan bo`lsa,o`qituvchi buning sababini izohlaydi.

“ KLAUSTER” METODI

Ushbu metod talabalarga ixtiyoriy muammolar xususida erkin, ochiq o`ylash va shaxsiy fikrlarni bemalol

“YALPI FIKRIY HUJUM” METODI

Bu metodni 30 – 40 nafar talabalardan iborat guruhlarda qo`llash Metod o`quvchilar tomonidan yangi g`oyalarning o`rtaga tashlanishi uchun sharoit yaratib berishga xizmat qiladi. Har biri 5 yoki 6 nafar talabalarni o`z ichiga olgan guruhlariga 15 minut ichida ijobiy hal etilishi lozim bo`lgan turli xil topshiriq yoki ijodiy ishlar beriladiyu Topshiriq yoki ijodiy ishlar belgilangan vaqt ichida ijobiy hal etilgach, bu haqida guruh a`zolaridan biri axborot beradi.

Guruh tomonidan berilgan axborot o`qituvchi va boshqa guruhlar a`zolari tomonidan muhokama qilinadi va unga baho beriladi. Dars yakunida o`qituvchi berilgan topshiriq yoki ijodiy vazifalarning yechimlari orasidan eng yaxshi va o`ziga xos deb topilgan javoblarni e`lon qiladi. Dars jarayonida guruh a`zolarining faoliyatlari ularning ishtiroklari darajasiga ko`ra baholab boriladi.

III. NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

Mavzu 1. FOTONIKA TARIXI. LAZER FIZIKASI VA FOTONIKA ASOSLARI. FOTONIKA USULLARI VA ASOSIY YO'NALISHLARI. NURLANISH MANBALARI. NURDIOD. LAZERLI DIOD. FOTONLARNI QABUL QILISH.

Reja:

1. Modul maqsadi va vazifalari
2. Fotonika tarixi.
3. Lazer fizikasi va fotonika asoslari.
4. Fotonika usullari va asosiy yo'nalishlari.
5. Nurlanish manbalari.
6. Nurdiod. Lazerli diod.
7. Fotonlarni qabul qilish.

Tayanch iboralar: *Fotonika, fotonik kristallar, lazer, nurlanish manbalari. nurdiod. lazerli diod, fotonlarni qabul qilish.*

Fotonika, informatsiyani qayta ishlash, saqlash va uzatishda optik va elektr metodlarini qo'llash masalalarini qamrab olgan, elektronikaning yo'nalishi hisoblanadi. Optoelektronika, radioelektronika va hisoblash texnikasining rivojlanish bosqichida yuzaga kelgan bo'lib, ularning tendentsiyasi sistemaning informatsion va texno-iqtisodiy ko'rsatkichlari (ishonchliligi, o'chamlari va og'irligining kamayishi, tezkorligi) ortishida uni uzluksiz murakkablashtirishdan iborat.

Umuman aytganda fotonika xalq xo'jaligining va fanning ikki – elektronika va optika sohalarining yutuqlarini bir-biriga birlashtirishidan vujudga kelgan fan hisoblanadi. Fotonikaning rivojlanish bosqichlarini quyidagicha belgilash mumkin:

"Fotonikaning zamonaviy masalalari" modulning maqsadi – ma'lumotlarni uzatuvchi, qayta ishlovchi, qabul qiluvchi va akslantiruvchi optoelektron qurilmalarning fizik asoslarini o'rganishdan iborat.

vazifasi – tinglovchilarni nurlanish manbalari, optronlar, optik va elektron-optik, elektrooptik va magnitoptik qurilmalarda ma'lumotlarni almashtirishlarning uslublari, o'zgartirishlarni, optik sistemalarining parametrlari, optik nurlanish xarakteristikalarini, qayta qiluvchi va o'lchov-hisoblash sistemasida olib boriladigan keuingi qayta ishlovlar bilan tanishtirish.

Optik nurlarni axborotni qayta ishlash va uzatish uchun foudalanish g'oyasi 50-yillarda yuzaga keldi. Ammo shu davrdagi elektr va optik signallarni o'zaro bir-

biriga aylantirish vositalari va optik signalni amalda foudalanish va uning tezligi bilan bog`liq vositalarni ixcham qilib yaratish imkoni bo`lmagan. Bu imkoniyat 60-yillarda lazer nuri va yorug`lik diodlari yaratilgandan keyin yuzaga keldi. 1966-68 yillarda yarim o`tkazgichli va suyuq kristalli indikatorlar, 1969-yili ko`p elementli foto qabul qilgichning asosiy tipi-zaryadli bog`lanishga asoslangan kremniyli ekranli asboblari, 1966-67 yillarda optik eslab qoluvchi qurilmalar yaratildi. Tolali optika tarmog`i yaratish g`oyasi 1966-yili paydo bo`lgan bo`lsa, u 1970-yilda amalga oshirildi. 1970-yilda integral optika yaratilgandan keuin optik elementlar va qurilmalarni o`ta ixchamlashtirish boshlandi. 1984- yildan sanoat miqyosida diskret optik saqlagichlar ishlab chiqarila boshlandi.

Fotonika asosan kvant elektronikasi, yarim o`tkazgichlar elektronikasi, qattiq jism fizikasi va optikadagi fundamental muvaffaqiyatlar tufayli yuzaga keldi. Optik spektrning oralig`i deganda to`lqin uzunligi 1 mm dan 1 nm gacha bo`lgan elektromagnit to`lqinlar olinadi. Radiotexnikaning rivojlanishi shunga olib keldiki, bu sohaning uzun to`lkin chegarasi (0,1 - 1 mm) submillimetr radioto`lqinlarga, qisqa to`lqin soxasi (1 - 10 nm) yumshoq rentgen nurlanishga qarashli deb hisoblanadi. Optik sohaning nurlantirgich va fotoqabulqilgichlar bilan amalda egallagan sohasi optoelektronika uchun foudalanadigan sohani yanada qisqartirishga olib keladi. Amalda optoelektronikada 0,2-50 mkm to`lqin sohasi haqida fikr yuritiladi. Bu hol tasodifiy emas. Energiya kattaligi bo`uicha bu diapazon (0,02-5 ev) taqiqlangan zona kengligiga to`g`ri keladiki, bu nurlanish kvantlari yarim o`tkazgichning faqat valent elektronlarini (xususiy aralashmali) ionlashtirishga uetarli bo`ladi. Haqiqatdan ham keng zonali yarim o`tkazgichlardan ruh sulfid va karbit kremniyning taqiqlangan zonasi kengligi 3-3,5 ev atrofida, germaniy va kremniydagi donor va aktseptorlarninig ionizatsiyasi 0,01ev atrofida. Yuqorida ko`rsatilgan nurlanishlardan ham kichik to`lqin uzunlikdagi foudalanish atomning ichki qobiqlarining yug`onishiga olib kelgan bo`lar edi, yoki nurlanishning modda bilan boshqa ta`sirlashuv mexanizmini yug`otgan bo`lar edi.

Kichik energiyali kvantlardan foudalanish (uzun to`lqin sohasi) esa bu uzunlikdagi to`lqin sohasining atomlarni o`ug`onishiga uetarli bo`lmaydi. Ular faqat eksiton va foton generatsiyasiga olib kelish mumkin. Shunga binoan optoelektron sohada foudalanilayotgan nurlanishlar, chapdan ham o`ngdan ham modda bilan ta`sirlashuvi boshqacha bo`lgan mexanizmlarga tegishli va priborlar ham boshqacha bo`ladi. Shunga binoan optoelektronika sohasidan foudalanishning effektiv bo`lgan nurlanishi 0,2-50 mkm. Ammo zamonaviy optoelektron asboblarda va qurilmalarda asosan 0,5-1,5 mkm sohadagi nurlanishlar ishlatiladi.

Bu asboblarning va qurilmalarning ishlashi har xil ko'rinishdagi lyuministsentsiyalar (elektro-, katodo-, fotolyuministsentsiya) dan foudalanishga, elektr, magnito-, va akustikooptik hodisalardan (masalan: Kerr, Pokkels, Faradeu, akustooptik difraktsiya) foudalanishdan iborat. Bu sohada har xil fotoelektrik hodisalar (masalan, fotoelektrik effekt), optik nurlanishning izotrop va anizotrop muhitlarda tarqalish qonuniyatlari (masalan tolali va integral optik yorug'lik o'tkazgichlar), har xil noxiziq optik hodisalardan foudalaniladi.

Vakuum yoki yarim o'tkazgichli elektronikadan optoelektronikaning ustunligi shundan iboratki, bu asbob va qurilmalar axborotni uzatish, saqlash, qayta ishlash va aks ettirishda optik nurlanishlardan foudalaniladi.

Optik nurlanish kvantlari, fotonlar elektr jihatdan neutral bo'lib yuqori chastotadagi yorug'lik tebranishlaridan iborat - 10¹⁵ gertsgacha. Optik nurlanish to'lqiniga asosan 1 mm gacha, va yorug'lik nurlari kichik sochilishga (~1') ega va uni yuqori darajada fokuslash mumkin.

Fotonlarning elektr neutral bo'lishi optik elektr tarmoqlarini elektr maydon ta'siriga berilmasligi (shovqinlardan himoya qilinganlik, o'zaro kesishgan to'siqlarni va h. k.) ichki optik aloqali optik elektron qurilmalarda to'liq galvanik bo'shash va ochilish, optik nurlanish oqimini ikkilangan modulyatsiyasi (fazo va vaqt bo'uicha) bir vaqtning o'zida juda katta axborot ko'lamini qayta ishlashga imkon beradi.

Yorug'lik to'liklarining katta chastotaga ega bo'lishi optik aloqa kanallarining juda katta axborot sig'imiga ega bo'lishini ta'minlaydi. Optik nurlanishning juda kichik to'lqin uzunligiga ega bo'lishi axborotni juda katta optik zichligida yozishga olib keladi. Yorug'lik nurlarning juda kichik sochilishi va uni fokuslash optik energiyasini fazoning kerakli sohasiga juda kichik yo'qotish bilan uetkazib berish imkonini beradi. Shu sababli fotonikada kogerent nurlanishlardan foudalanish ko'pgina hollarda bu asboblarning va qurilmalarning funksional imkoniyatlarini oshiradi.

Lazer fizikasi va fotonika asoslari. Fotonika usullari va asosiy yo'nalishlari.

Uzoq tarixdan ma'lumki, bizning ongimizdan tashqarida yashayotgan ob'ektiv borliq, ya'ni materiya atomlardan tashkil topgan. O'sha davrdan atomga materiyaning bo'linmas eng kichik zarrasi deb qaralgan edi. SHuning uchun ham atom grekcha «atomos» so'zidan olingan bo'lib, «bo'linmas» degan ma'noni anglatadi.

Atomning tuzilishi haqidagi birinchi atom modelini 1904 yilda ingliz olimi J.J.Tomson (1856-1940) yaratdi. Bu modelga binoan atom shar shaklida bo'lib, uning butun hajmida zaryadlar bir tekis taqsimlangan. SHu musbat zaryadlar orasida elektronlar ham joulashgan bo'lib, ularning soni musbat zaryadlar soniga teng bo'gani uchun atom neutral hisoblanadi. Elektron muvozanat vaziyatidan

siljiganda uni muvozzant vaziyatiga qaytaruvchi elastik kuchga o'xshash kuch hosil bo'ladi. SHu kuch ta'sirida elektron garmoni k tebranma harakat qiladi. Maksvell elektromagnit to'lqin nazariyasiga asosan elektron atomda tebranma harakat qilgani uchun atom monoxromatik elektromagnit to'lqin sochadi.

Bu elektromagnit to'lqin chastotasi elektronning tebranish chastotasiga to'g'ri keladi. Tomson shu atom modeli bilan atomning nurlanish spektri chiziqli bo'lishini tushuntirib berdi. G.N.Lorents, Tomsonning bu atom modeli asosida yorug'lik dispersiyasining elektron nazariyasini yaratdi. Bu nazariya normal va anomal dispersiyalarini tushuntirib berdi. O'z vaqtida Tomson modeli fizikada muhim ro'ly o'ynaydi. Ammo bu model' uzoq yashamadi.

Ingliz olimi Rezerfordning radioaktiv moddalardan chiquvchi α -zarrachalarini yupqa metal qatlamidan o'tganda sochilishini o'rganib, 1911 yilda atom tuzilishining yangi modelini yaratdi. Rezerford atom tuzilishini quyidagicha faraz qildi: *atomning nihoyat kichik sohasida musbat zaryad joulashgan, uning atrofidagi atomning barcha sohasi esa manfiy zaryadli elektronlar bulutidan iborat bo'lib, bu elektronlarning to'liq zaryadi musbat zaryadga miqdoran teng.*

Rezerford yuqoridagi tajriba natijalari asosida atomning yadro modelini yaratdi. Bu modelga binoan atom markazida musbat zaryadlangan yadro («mag'iz» degan ma'noni anglatadi) joulashgan. Yadro bilan elektronlar o'zaro ta'sirlashishi natijasida elektronlar yadro atrofida aylana shaklidagi orbitalar bo'ylab aylanma harakat qiladilar. Yadro kuchlari maydoni markazga intilma kuch vazifasini bajaradi. Yadro atrofida aylanayotgan elektron uchun Nyutonning III qonuni quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{m_e v^2}{r}$$

bu yerda v – elektronning orbitadagi tezligi, m_e – elektronning massasi, e – elektron zaryadi, r – orbita radiysi, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} F/m$ – elektr doimiy. Elektronlarning umumiy zaryadi, yadrodagi musbat zaryadlarning umumiy zaryadiga teng bo'lgani uchun atom elektr zaryadiga ega emas.

Rezerford tajribaga va atom yadro modeliga asoslanib atom zaryadini va o'lchamini aniqlashga muvaffaq bo'ldi. Yadroning zaryadi elektron zaryadiga karrali bo'lib,

$$q = +Ze$$

ekanligi aniqlandi. Bu yerda Z – elementning Mendeleev davriy sistemasidagi tartib raqami. Rezerford ana shu narsaga aniqlik kiritadiki, elementning davriy sistemadagi o'rnini Mendeleev ko'rsatganidek, uning atom massasi bilan emas, balki yadro zaryadi bilan aniqlanadi. Rezerford ayrim elementlarning davriy sistemadagi o'rniga tuzatishlar kiritdi, ya'ni ularning tartib

raqamlarini o'zgartiradi. Rezerford tadqiqotlari yadro o'lchami ($10^{-13}sm$) ni aniqlashga imkon berdi.

Ammo atom tuzilishi to'g'risidagi Rezerford modeli klassik fizika qonunlari doirasida joulashmaydi. Bu model yadro atrofida aylanayotgan elektronning orbitasi nima sababdan turg'un ekanligiga ham javob bera olmaydi. Atom sochilayotgan yorug'lik spektri ham uzluksiz bo'lmay, balki chiziqlidir. Daniyalik fizik Nil's Bor M.Plankning kvant energiyasi haqidagi ta'limotini va tajribada kuzatilgan vodorod atomi spektral seriyalarini o'rganib, atom tuzilishining yangi nazariyasini yaratdi.

Atomning energetik holatlarining diskretligi to'g'risidagi tasavvurga tayanib, N.Bor 1913 yilda Rezerfordning atom modeliga o'sha vaqtda tajribada kuzatilgan vodorod atomi spektri va nurlanish kvanti tushunchalarini mohirlik bilan umumlashtirib, atomning yangi nazariyasini yaratdi. Bor o'zining atom nazariyasiga isbotsiz qabul qilinuvchi uch postulatni asos qilib oldi. Bu postulatlar quyidagicha ta'riflanadi.

I postulat. Atom uetarlicha uzoq vaqt turg'un holatlarda bo'lishi mumkin, bu holatlardagi atom enegriyasining qiymatlari $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ diskret qatorni tashkil etadi. Atom ana shu turg'un holatlarini birida bo'lishi mumkin xolos. Atomning turg'un holatiga elektronning turg'un orbitalarda aylanishi mos keladi. Elektronlar turg'un orbitalarda aylanganda atom yorug'lik sochmaydi va yutmaydi.

II postulat. Atomdagi elektron ixtiyoriy orbitalar bo'ylab aylanmasdan impul's momenti Plank doimiysiga karrali bo'lgan orbitalar bo'ylab aylanadilar:

$$L_n = m_e v r_n = n \hbar$$

bu yerda $n = 1, 2, 3, \dots$, qiymatlarni oladi va elektronorbitasining tartib raqamini bildiradi, $r_n - n$ -orbita radiysi, $\hbar = h/2\pi = 1,055 \cdot 10^{-34} J \cdot s$.

III postulat. Atom energiyasi W_n bo'lgan bir turg'un holatdan energiyasi W_m bo'lgan ikkinchi turg'un holatga o'tganda energiyaning bitta kvanti chiqariladi yoki yutiladi. Bu kvantning chastotasi quyidagi

$$\omega = \frac{W_n - W_m}{\hbar}$$

munosabat bilan aniqlanadi. $W_m < W_n$ shart bajarilsa, kvant nurlantiriladi, $W_m > W_n$ bo'lganda esa kvant yutiladi.

Elektron yuqori orbitadan qyui orbitaga tushsa, atom yorug'lik kvanti sochadi. Elektron kyui orbitadan yuqori orbitaga chiqishi uchun esa tashqaridan yorug'lik kvanti yutadi.

Lazer ishlashining asosiy printsiplari. Yorug'lik moddaga tushganda unda kuchayishi uchun sistemani muvozanatli bo'lmagan holatini amalga oshirish kerak.

Bunday xolatda yug'ongan atomlarning soni yug'onmagan, turg'un xolatdagi atomlar sonidan ko'p bo'lishi kerak. Mana shunday sistemada majburiy nurlanish ko'chkisimon tarzda kuchayadi.

Modda qatlamidan yorug'lik o'tganda uningi intensivligining o'zgarishini ko'ramiz. ω chastotali yorug'lik to'liqini, qandaydir kvant o'tish rezonans bo'lgan, dz qalinlikdagi modda qatlamiga tushayotgan bo'lsin. Bunda bu to'liqin intensivligi I va yorug'likning spektral zichligi u bir-biri bilan bog'langan:

$$I = cu\Delta\omega,$$

bu yerda $\Delta\omega$ - spektr kengligi, c - yorug'lik tezligi. Muhitda yorug'lik esa eksponentsial qonun asosida o'zgaradi, bunda eksponenta belgisi $N_2 - N_1$ ga bog'liq bo'ladi:

$$I(z) = I_0 \exp(Gz).$$

bu yerda $B = B_{12} = B_{21}$,

$$G = B(N_2 - N_1) \frac{\hbar\omega}{c\Delta\omega},$$

G - yutish koeffitsienti. Bu koeffitsient klassik yutish $\delta(\omega)$ koeffitsienti bilan quyidagicha bog'lanadi:

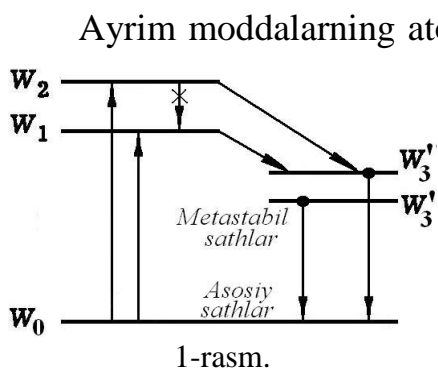
$$G = \left(\frac{N_2 - N_1}{N} \right) \delta(\omega).$$

Klassik modeldan farqli ravishda kvant model muhitda *yorug'likning eksponentsial kuchayishini* ko'rsatadi. Buning uchun, ifodalarga binoan, yuqori ishchi sathning to'ldirilganligi pastki sath to'ldirilganligidan katta bo'lishi kerak:

$$N_2 > N_1,$$

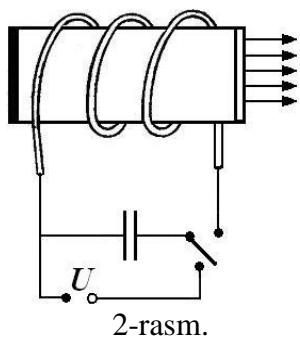
ya'ni *to'ldirilganliklar inversiyasi* vujudga keladi. Mana shu effekt lazerlarda ishlatiladi. Bu har xil yo'llar bilan vujudga keltiriladi.

Lazerda kuchaytirish rejimidan generatsiya rejimiga o'tish uchun teskari bog'lanishni ishlatadilar. Bu esa *optik rezonator* yordamida amalga oshiriladi. Lazer ishlashi uchun uning ishchi moddasidagi ko'p atomlarni *metastabil holatlar* deb ataladigan bir xil yug'ongan holatlarga o'tkazish kerakki, bunday holatda atom nisbatan uzoq vaqt (10^{-8} sek dan ko'proq) bo'lsin. Buning uchun ishchi moddaga maxsus manbadan uetarlicha elektromagnit energiyasi beriladi. SHundan so'ng lazerning ishchi moddasida barcha yug'ongan atomlar normal holatga deyarli bir xil vaqtda *majburiy* o'tish boshlanadi. Bu o'tishlarda deyarli bir vaqtda chastotalari va fazalari bir xil, hamda bir xil yo'nalishda lazer o'qi bo'yicha harakatlanadigan ko'plab yorug'lik kvantlari $h\nu$ birga chiqadi. Bu fotonlar oqimi lazerdan chiqadigan monoxromatik yorug'likning kuchli ingichka dastasini hosil qiladi.



Yoqut kristalli yorug'lik bilan yoritilganda xrom ionlari qo'zg'aladi va W_1 satxdan W_3 energetik sathga mos keluvchi holatga o'tadi.

Xrom atomlari qo'zg'algan W_3 holatda qisqa vaqt ($\sim 10^{-8} s$) bo'lgandan keuin



W_2 energiyali metastabil holatga o'tadi. W_3 sathdan W_2 sathga o'tishda nurlanish sochilmaydi, bu o'tishda ajralgan energiya kristall panjaraga beriladi, natijada kristallning temperaturasi ko'tariladi. Yoqut kristalli ma'lum vaqt kuchli yoritilsa, xrom ionlarining W_2 mestastabil sathda elektronlarning juda zich «joulashuvi» yuz beradi. Agar yoqut sterjenga asoslaridan biri orqali uni o'qi yo'nalishida kuchsiz

yorug'lik dastasi tushsa, energiyasi xrom ionining metastabil va asosiy holatlari energiyalari ayirmasi $W_2 - W_1$ ga teng bo'lgan fotonlar, bu ionlarning W_2 holatdan W_1 holatga o'tishlarini va energiyasi

$\hbar\omega = W_2 - W_1$ bo'lgan fotonlarning nurlanishini yuzaga keltiradi. Fotonlar soni ikki marta ortadi. Soni ikki marta ortgan bir xildagi fotonlar yoqut sterjenny ichida harakatlanib, xromning yangi ionlari nurlanishini yuzaga keltiradi. Bunda fotonlar soni yana 2 marta ortadi. Bu jarayon uzuluksiz davom etadi. Fotonlar soni shiddat bilan ko'chkisimon ortib boradi.

Lazerning o'ziyug'otilish sharti *fazaviy shart* deyiladi:

$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Bu shart bajarilganda yorug'lik nurining rezanatorni ikki marta o'tganda fazaviy yugurishi 2π ga karrali bo'ladi. Ushbu formula lazer generatsiyasi quyidagicha aniqlanadigan diskret chastotalarda bo'lib o'tishini ko'rsatadi:

$$\nu_n = n \Delta \nu, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Bu chastotalar rezonator L uzunligiga bog'liq va ular *rezonatorning hususiy modalari* deyiladi.

Yug'otilgan hususiy modalar M soni moda oraligi intervali va lazer kuchayishi spektral polosasi kengligi $\Delta\nu_{\kappa}$ nisbatiga bog'liq:

$$M = \frac{\Delta\nu_{\kappa}}{\Delta\nu}$$

SHunday qilib yoqut kristallidan unga kirgan yorug'likka kogorent bo'lgan va kuchaygan yorug'lik dastasi chiqadi. 1955 yilda rus olimlari N.G.Basov, A.I. Proxorov, ulardan behabar holda amerikalik fizik CH.Tayns yuqorida bayon etilgan shartlar bajariladigan usullarni qo'llab *mazer* deb ataladigan qurilmalarni ixtiro qiladilar. Ularning bu ixtirolari uchun 1964 yilda Nobel mukofoti berilgan. SHundan keuin tez orada yoqut kristalli asosida monoxromatik qizil yorug'lik sochuvchi ($\lambda=0,6443 \text{ mkm}$) lazer qurilmasi ham yaratildi.

Lazer tuzilishining asosiy printsiplari. «Lazer» so'zi bu qurilmaning ishlash printsiptini aks ettiruvchi jarayonning inglizcha so'zlarining bosh xarflaridan tashkil topgan: «*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*» - «Yorug'lik nurlanishining majburiy chiqarilish hisobiga kuchaytirilishi». Lazerlardan oldin *mazerlar* yaratilgan. Lazerlar ko'zga ko'rinadigan, infraqizil yoki ultrabinafsha nurlanishlar chiqarsa, mazerlar o'ta yuqori chastotali (O'YuCH) elektromagnit to'lqinlar sohasida ishlaydi. «Mazer» so'zidagi «M» harfi ingliz tilidagi mikroto'lqin (Microwave) so'zining birinchi harfidan olingan, qolgan harflar lazer so'ziniki bilan bir xil.

Yoqut tsilindr (sterjenъ) shaklida olingan bo'lib, uning asoslari yuqori darajada silliqqlangan.

Yoqut sterjenni bir asosi kumush bilan to'liq qoplangan bo'lib, u yorug'likni to'la qaytaradi, ikkinchi asosiga kumush yarim shaffof qilib qoplangan. Bu kumush qatlamlari rezonator vazifasini bajaradi. Yoqut sterjenni spiralsimon gazli lyuminescent lampa o'rab olgan. Yoqut sterjenni spiralsimon gazli lyuminescent lampa o'rab olgan. Yoqut kristalli o'qi bilan katta burchak hosil qilib paydo bo'lgan fotonlar sterjenp asoslaridan ko'p marta qaytadi, natijada fotonlarning kuchli oqimi xosil bo'lib, u qisman shaffof asosdan tashqariga chiqadi. SHundan so'ng qurilmaga tashqi manbadan qayta energiya beriladi va yana lazer nurlanishi olinadi.

Lazer nuri *qyuidagi asosiy xususiyatlarga* ega:

1. Lazer nuri fazo va vaqt bo'yicha kogorentdir. Kogorentlik vaqti – $10^{-3}s$ bo'lib, u 10^5m kogorentlik uzunligiga to'g'ri keladi. Bu uzunlik oddiy kogorent manbalarinikidan 10^7 marta katta.

2. Lazer nuri qat'iy monoxromatlikka ega ($\Delta\lambda < 10^{-11}m$).

3. Lazer nuri katta nurlanish quvvatiga ega. Masalan, yoqut kristali asosidagi lazerdan $10^{-3}s$ davomida $20J$ energiya olinsa, bunda nurlanish quvvati

$$\Phi_e = W/t = 20J/10^{-3}s = 2 \cdot 10^4 Vt.$$

bo'ladi. Agar bu lazer nurini $1mm$ yuzaga fokuslasak,

$$\omega = \frac{\Phi_e}{S} = 2 \cdot 10^4 Vt / 10^{-6} m^2 = 2 \cdot 10^{10} Vt/m^2$$

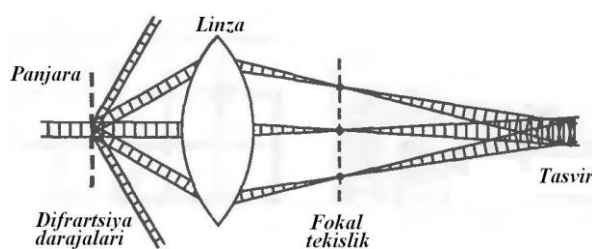
quvvat zichligi olinadi. Lazer nuri kichik burchakli sochilishga ega. Masalan, Ouga fokuslangan lazer nuri $3 km$ diametrli jouni yoritadi. Projektor nuri fokuslanganda edi, u $40000 km$ diametrli jouni yoritar edi.

Lazerlarning foudali ish koeffitsienti (f.i.k.) $0,01\%$ dan ($He = Ne$ lazeri) 75% gacha (neodimli shisha asosidagi lazerda) uetadi. Lekin ko'pchilik lazerlarning f.i.k. $0,1 \div 1\%$ atrofida, CO_2 gazi asosida uzluksiz holda infraqizil nurlanish ($10,6 mkm$) beradigan quvvatli lazerlarning f.i.k. 30% va undan yuqori.

Lazerlarning ishlatilishi. Hozirgi vaqtda lazer nurlari ko'plab sohalarida keng qo'llanilmoqda. Lazer nurlaridan foudalanib o'ta kattik moddalarga (olmos va boshqalarga) ishlov berish mumkin. Lazer nurlari mahsulotlardagi defektlarni aniqlashda, uzoq masofalardagi radioaloqada, kichik hajmlarda juda yuqori temperatura xosil qilishda, meditsinada juda nozik xirurgik operatsiyalarini bajarishda (masalan, ko'z jarrohligida) qo'llanilmoqda.

Lazerlar yordamida olingan nurlar yuqori darajada kogerent, dastasi esa nihoyatda ingichka bo'lganligi uchun ular fan va texnikaning turli sohalarida: uzoq masofalardagi radioaloqada, kichik hajmlarda juda yuqori temperaturali plazma xosil qilinib, u o'rganilmokda. Ma'lumki, yuqori temperaturali plazmani o'rganish boshqariluvchi termoyadro reaksiyasini amalga oshirish bilan bog'liqdir. Lazer nuri yordamida predmetning hajmli tasvirini hosil qilish va bu hajmli tasvirni maxsus usulda yozib olish mumkin. Bu soha *golografiya* deb ataladi. Lazer turlari, ishlash printsipi va xarakteristikalari bilan «Kvant elektronikasi» kursida tanishtirib o'tiladi.

Optik tasvirning vujudga kelishi. Abbe nazariyasi. Abbe-Porter tajribasi

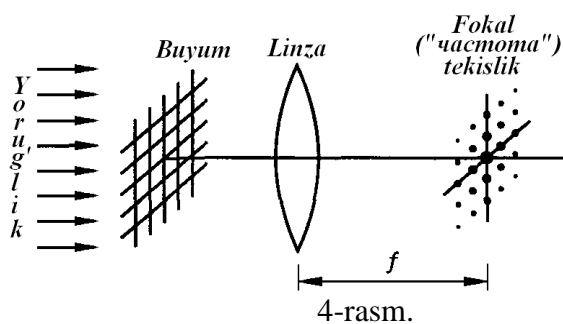


3-rasm.

XIX asrning 70-yillarida Ernst Abbe mikroskop ob'ektivining aperturasi qancha katta bo'lsa, shuncha yaxshi aniqlashtirish berishini qayd qildi. Bu hodisa na'munadagi yorug'lik difraksiyasi tufayli kelib chiqishini tajribaviy yo'l bilan Abbe tomonidan

ko'rsatildi. To'lqin nazariyasini Abbe instrumental optikaga olib kirdi.

Optik tasvirning linza orqali vujudga kelishi Abbe nazariyasiga binoan ikki etapga bo'linadi: ob'ektning to'liq maydonining Fur'be-analizi va tasvirning

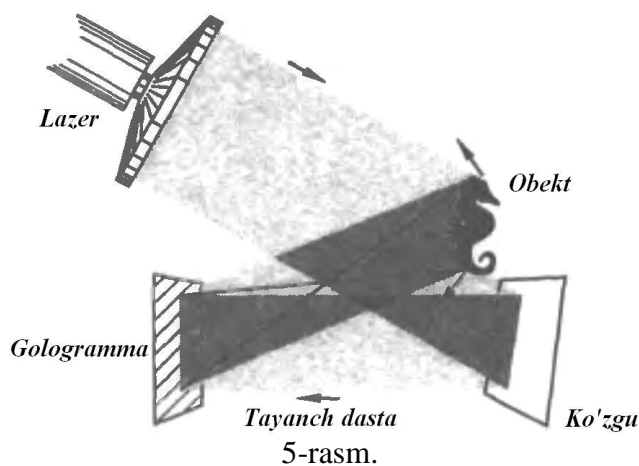


4-rasm.

Fur'be-sintezi. Bunda fokal tekislik juda muhim rol o'ynaydi. Unda manba maydonning Fur'be obraziga proporsional bo'lgan maydonning taqsimlanishi vujudga keladi. Abbe bo'yicha tasvirning vujudga kelishi 3-rasmda ko'rsatilgan. Panjaradan o'tgan yorug'lik diskret burchak spektrga ega bo'lganligi sabab, har bir spektral komponentning yo'lini kuzatish mumkin. Bunda linza to'liq maydonini Fur'be analiz qiladi, bu linza bilan uning fokal tekisligi orasida amalga oshadi. Erkin difraktsiyaning ikkinchi etapida tasvirning Fur'be sintezi amalga oshadi, u fokal tekislik va tasvir orasida amalga oshadi.

Abbe-Porter tajribasi. Eksperiment sxemasi 4-rasmda ko'rsatilgan. Ingichka simlardan qilingan to'rga kogerent yorug'lik tushayapti deulik. To'r orqali o'tgan yorug'lik linzaga tushadi. U to'rning tasvirini ekranda hosil qiladi. To'rning strukturasi davriy bo'lganligini sababli, uning Fur'be-spektri dog'lar sistemasi ko'rinishida bo'ladi. Bunda alohidagi dog'ning o'lchami to'r o'lchami bilan aniqlanadi.

Golografiya. Yorug'lik maydonini yozish va qayta tiklash



5-rasm.

Odatdagi fotoplyonka yoki fotoplastinkaga yorug'lik maydoni haqidagi axborotning qismi qayd qilinadi, ya'ni yorug'lik intensivligining fazoviy taqsimoti qayd qilinadi. Bu yerda optika uchun muhim bo'lgan maydon fazasining fazoviy taqsimoti to'g'risida axborot oddiy surat olishda yo'qotiladi. Bunday amplituda va faza

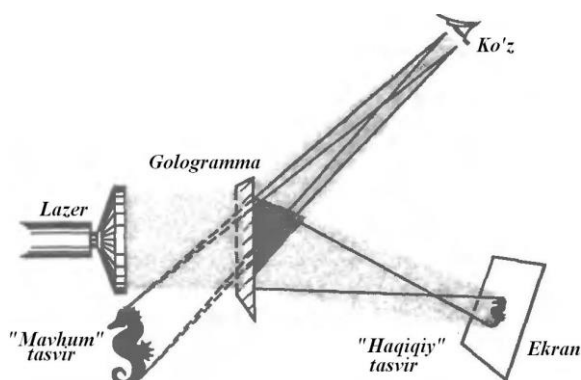
to'g'risidagi axborotni yozish usuli mavjud va ugolografiya nomini oldi.

Golografiya g'oyasi juda oddiy bo'lib, unda ob'ektdan kelayotgan yorug'lik maydonining o'zi emas, balki kogerent tayanch to'liq bilan bu maydonning interferentsiyasini fotografiyalash hisoblanadi. Fotoplastinkaga yozilgan byuum va tayanch to'liq interferentsiyasi gologramma deyiladi. Interferentsiya manzarasining ko'rinishi nafaqat amplitudaga, balki fazaga ham bog'liqligi

sababli, gologrammada predmet to'liqini haqidagi barcha axborot - maydonning amplitudasi ham, fazasi ham yozilgan bo'ladi.

Aytilganlardan ko'rinib turibdiki, golografiya uchun yorug'lik kogerentligi muhim rol o'ynaganligi sababli, gologrammani yozish lazerlar paydo bo'lgandan keuin rivojlandi. Agar golografiya g'oyasi D.Gabor tomonidan 1948 yilda aytilgan bo'lsa, birinchi gologramma 1964 yilda E.Leut va Yu.Upatnieks tomonidan yozildi.

Golografiyada yorug'lik maydonini yozish 5-rasmda, qayta tiklash 6-rasmda



6-rasm.

ko'rsatilgan. Golografiyani olish uchun lazer dastasi ikkita – «signal» va «tayanch» dastalarga bo'linadi. Ob'ektdan qaytgan "ob'ekt" dastasi ham fotoplastinkaga yo'naltiriladi va u tayanch to'liqin bilan interferentsiyalanadi. Ob'ekt tomonidan chiqarilgan yorug'lik maydonini qayta tiklash uchun gologramma «tayanch» dasta bilan yorug'lantiriladi. Dasta bunda

gologrammada difraktsiyalanadi va difraktsiyalangan to'liqlar paydo bo'ladilar, ularning bittasi ob'ekt to'liqli o'zining strukturasi bo'yicha takrorlaydi. SHunday qilib ob'ektni qayta tiklaydi.

ТИББИЁТ

■ CO₂ ЛАЗЕР



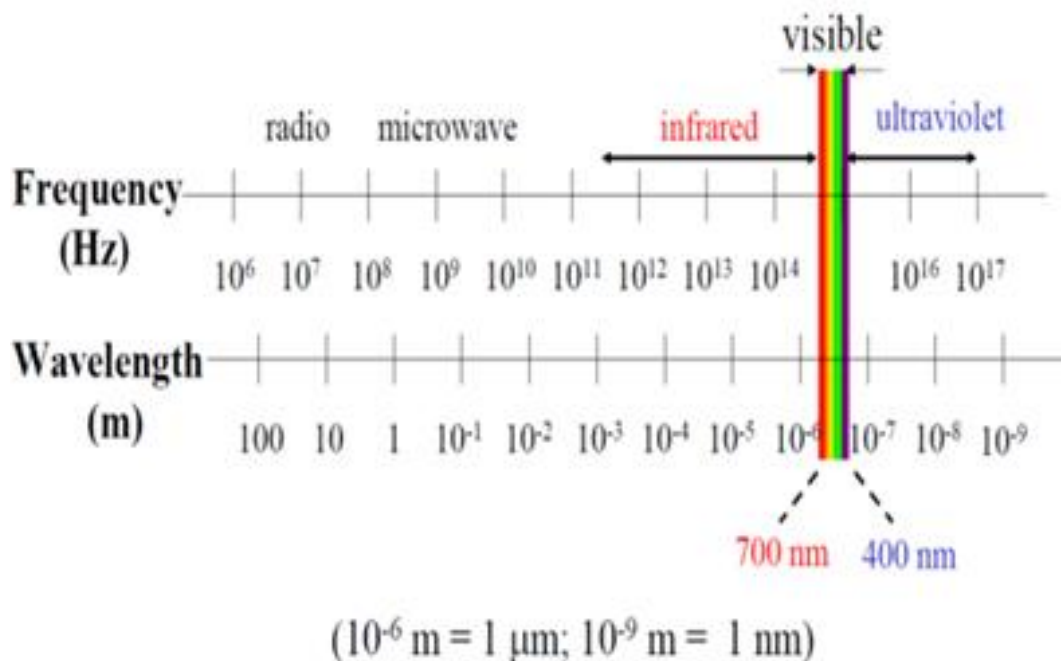
Fotonika asoslari, fotonik kristallar va ularning xususiyatlari.

Fotonika termini kelib chiqishi elektronika terminiga o'xshash bo'lib, yorug'likning turli muxitlarda tarqalish va modda bilan o'zaro ta'sirlashuv

xususiyatlarini o'rganuvchi fanni ifodalaydi. Fotonika fani yorug'likni kvant xususiyatlarini o'rganadi va shu fizik jarayonlar asosida yorug'likni generatsiyalash, uni xususiyatlarini boshqarish, yorug'likni uzatish, qayd qilish va boshqalarni uz ichiga oladi.

Yorug'lik elektromagnit nurlanishning Infraqizil ($\lambda = 2 \text{ mm}$ ($\nu = 1,5 \times 10^{11}$ Gts)) sohasidan to Ultrabinafsha ($\lambda = 10^{-6} \text{ cm}$ ($\nu = 3 \times 10^{16}$ Gts)) sohasigacha bo'lgan oraliqni egallaydi.

Ko'rinuvchi soha $\lambda = 400 - 760 \text{ nm}$, Ultrabinafsha - $\lambda = 10 - 400 \text{ nm}$, Infraqizil - $\lambda = 760 \text{ nm} - 2 \text{ mm}$.

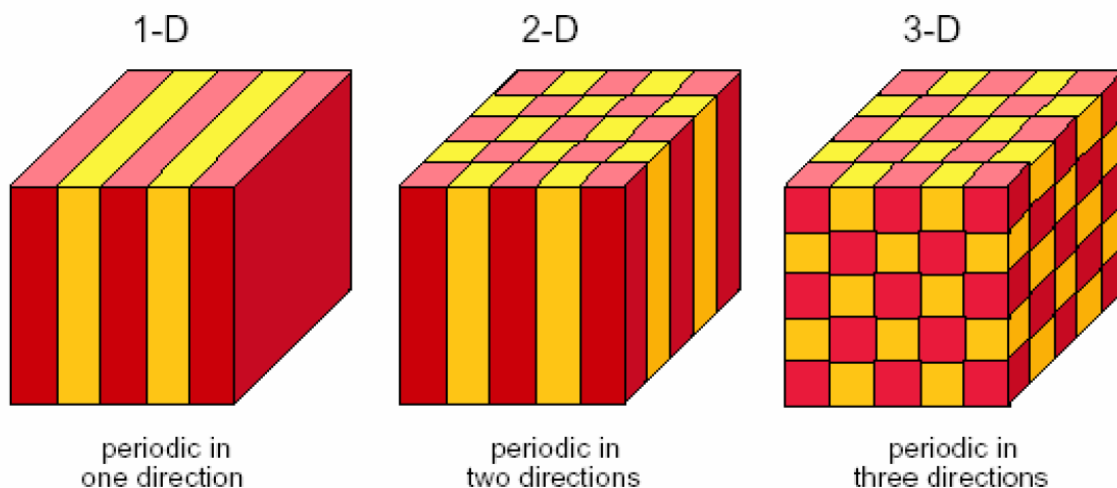


Foton kristallar umuman olganda uch turda bo'ladi:

- Bir o'lchamli foton kristallar
- Ikki o'lchamli foton kristallar.
- Uch o'lchamli foton kristallar

Bir o'lchamli kristallarda muxit sindirish koeffitsiyenti periodik jihatida bir yo'nalish bo'ylab o'zgaradi (1D). Bunday strukturalar birinchi marta spektral filtrlar ishlab chiqishga to'g'ri keldi. Keyinchalik turli optik elementlarni shu turdagi plenkalar bilan qoplash boshlandi va bu turdagi elementlar yoritilgan optika nomi bilan ataldi.

Quyidagi rasmda turli foton kristallari sxematik tasviri keltirilgan



Ikki o'lchamli foton kristallar fazoda ikki yo'nalish bo'yicha periodik strukturaga ega bo'ladi(2D).

Uch o'lchamli foton kristallar fazoda uch yo'nalish bo'yicha periodik strukturaga ega bo'ladi(3D).

Foton kristallarini o'rganish tarixi.

❖ First studied by *Lord Rayleigh in 1887, in connection* with the peculiar reflective properties of a crystalline mineral with periodic “twinning” planes.

❖ He identified a narrow band gap prohibiting light propagation through the planes

❖ In **1987**, when Yablonovitch and John joined the tools of classical electromagnetism and solid-state physics, that the concepts of omnidirectional photonic band gaps in two and three dimensions was introduced

❖ This generalization, inspired the name “*photonic crystal*”

Nurlanish manbalari. Nurdiod. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish.

Yorug'lik manbalarining spektrlarida spektraskopiyada asosan ikkita vazifa bajariladi.

1) Manba spektroskopik tadqiqot obekti vazifasini bajaradi.

2) Yorug'lik manbasi yordamida biror ob'ekt xaqida spektraskopik malumot olinadi.

Birinchi xolda yorug'lik manbasi chiqarayotgan nurlanish manba xaqida mahlumot olib keladi. Bu xolda spektroskopik analiz usullari manba xolatiga hech qanday tasir o'tkazmaydi. Ikkinchi xolda yorug'lik manbasi yordamida tekshirish obektiga biror tahsir o'tkazmaydi.

Ikkinchi xolda yorug'lik manbasi yordamida tekshirish obektiga biror tahsir o'tkaziladi va natijada xosil bo'lgan nurlanish kuzatiladi.(Misol fotolyumensetsiya yutish spektri va xo.zo)

Birinchi xolda manbaga xar qanday tasvir olmaymiz, yahni manbani spektri yoki uni yorqinligini o'zgartira olmaymiz.

Ikkinchi xolda biz manbani xarakteristikalarini o'zimizga qulay qilib tanlashimiz mumkin.

Yorug'lik manbasi tasir vositasi sifatida ishlatilganda uni asosan ikki xarakteristikasiga etibor beriladi.

1.Yorug'lik manbasi quvvati va uni (quvvatini) vaqtga intensivlikning bog'liqligi.

2.Spektral taqsimoti va uni (taqsimotni) vaqt bo'yicha o'zgarishi.

Manba o'garmas deyiladi agarda nurlanish quvvati vaqt bo'yicha o'zgarmasa.

Bu xarakteristikani ko'rsatgichi sifatida (stabillik ko'rsatgichi)

$$M = \sqrt{\frac{\Delta B^2}{B^2}} \quad \text{-kattalik olinadi. Bu yerda B- yorug'lik}$$

$$B = \frac{\Delta I}{\Delta S} \cos \varphi$$

$$I = \frac{\Phi}{\omega} = \left[\frac{vatt}{m^2 \cdot fer} \right] \text{-yorug'lik kuchi}$$

S- manba yuzasi φ – manba sirtiga o'tkazilgan normal bilan kuzatish orasidagi burchak $\Phi = \frac{w}{t}$ -yorug'lik oqimi w-nurlanish energiyasi.

Ideal stabillangan nurlanish manbasida $M=0$ bo'ladi ko'p xolda 3÷5% og'ishlik spektral intinsivliklarni aniqlash xatoligiga tahsir ko'rsatmaydi .Bazi xolda obg'ektga qisqa muddat tahsir o'tkazib, uni reyaksiyasi kuzatiladi.U xolda nurlanish impuls ko'rinishida bo'lishi kerak. Uxolda stabil manbadan kelayotgan yorug'lik modulyattsiyalanadi, yoki gazlardan tok impulsi o'tkazib razryad olinadi. Mexanik modulyatsiyalarda olinadigan impulslarda

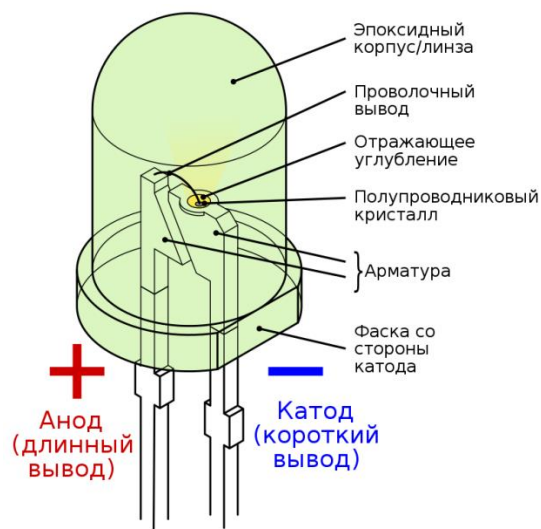
$$\tau = 10^{-4} \div 10^{-5} \text{sek}$$

Pezoelektrik defpektorda $10^{-6} \div 10^{-7}$ gacha olish mumkin Lazerlarda modular fazasini sinxronlashtirib $10^{-13} \div 10^{-14}$ sek olish mumkin.

Nurdiod

Nurdiod yoki svetodiod (yorug'lik diodi) arsenit – fosfid – galiy asosida yasaladi. Svetodiod orqali tok o'tganda u o'zidan yorug'lik chiqaradi.

Bir necha milliamper tokda nurdiod aniq yiltiraydi. Yiltirash to'g'ri tokka proporsional bo'ladi. Shuning uchun ulardan yarimo'tkazgichli asboblarda indikatsiya elementi sifatida foydalaniladi.



Rasm. Nurdiod tuzilishi

Mabodo bitta gilofga nurdiod (yorug'lik tarqatuvchi) va fotorezistor elementi (yorug'lik qabul qiladigan), xolda masalan, fotorezistor joulashtirilsa, zanjirlarni to'la galvanik ajratgan xolda kirish tokini chiqish tokiga aylantirish mumkin bo'ladi.

Bunday optoelektrik elementlar **optronlar** deb ataladi. Optronlarda tokni uzatish koeffitsenti 0,1 dan bir-necha mingga birlikni tashkil qiladi.

Optronlar. a) diodli, b) rezistorli, v) tranzistorli, g) tiristorli.

Optron asboblari deb, u yoki boshqa ko'rinishda o'zaro aloqani oshiruvchi nurlanish manbai va qabul qilgichga (yorug'liknurlagich va fotoqabulqilgich) ega bo'lgan yarimo'tkazgichli asbobga aytiladi. Har qanday optronlarni ishlash prinsipi quidagilarga asoslangan.

Nurlagichda elektr signal energiyasi yorug'likka, fotoqabulqilgichda esa, uni teskarisi yorug'lik signali elektr signaliga o'zgaradi. Amalda tarqalgan optronlar bo'lib, qaysiki unda nurlagichdan fotoqabulqilgichga tomon to'g'ri optik aloqaga ega bo'lganlari bo'lib, bunda elementlar orasidagi hamma ko'rinishidagi elektr aloqalar bo'lmaydi.

Optik aloqani mavjudligi kirish (nurlagich) va chiqish (fotoqabulqilgich) orasidagi elektr izolyasiyani ta'minlaydi. Shunday qilib, bunday asbob elektron zanjirlarda aloqa elementi funksiyasini bajaradi, shu bilan bir vaqtda kirish va chiqish elektr (galvanik) yechimi amalga oshirilgan. Optoelektron asboblarni qo'llanilishi yetarlicha turli: apparat bloklari aloqasi uchun, qaysiki ular orasida ancha katta potentsiallar farqi bo'ladi; o'lchash qurilmalarini kirish zanjirlarini shundan himoyalash uchun va yuqori kuchlanishli zanjirlarni sozlash, optik, kontaktsiz boshqarish, quvvatli tiristorlar, simistorlarni ishga tushirish, elektromexanik releli qurilmalarni boshqarishlar kiradi.

“Uzun” optronlarni (optik kanal sifatida uzun ingichka optik – tolali asboblari) yaratilishi optron texnika maxsulotlarini qo'llashni mutlaqo yangi yo'nalish – optik

tola bo'yicha masofaviy aloqani ochdi. Optoelektron asboblari sop radiotexnik sxemalar modulyasiyasi, kuchayishni avtomatik boshqarish va boshqalarda qollaniladi. Bu yerda optik kanalga ta'sir natijasida sxemani optimal rejimga o'tkazish uchun, kontaktsiz rejimni sozlash va shunga o'xshashlardan foudalaniladi.

Optronlarda ancha keng universal ko'rinishdagi nurlagichlardan biri yario'tkazgichli ijeksion yorug'liknurllovchi diod – yorug'diod hisoblanadi. Uni afzalliklari qyuudadilarga bog'liq:elektr energiyasini optikka aylantirishda FIK ni yuqoriligi; nurlanish spektrini (kvazimonoxromatikligi) qisqaligi; turli yorug'lik diodlar bilan keng spectral diapazonda yopilishi; nurlanishni yonalishligi;yuqori tezkorligi; ta'minlovchi kuchlanish va toklar qiymatlarini kichikligi; trnzistorlar va integral sxemalar bilan mosligi; to'g'ri tokni o'zgartirish bilan nurlanish quvvatini modullashni soddaligi; impuls va uzluksiz pejimda ishlash mumkinligi; ancha keng kirish toklar diapazonida vat-amper xarakteristikasini chiziqiligi; yuqori mustaxkam va chi damlilik;kichik o'lchamlilig;mikroelektron maxsulotlar bilan texnologik mosligi.

Nurdiodlari elektronlar va kovaklar rekombinasiyasi hisobiga elektr energiyasini yorug'lik energiyasiga aylantiradi. Oddiy diodlarda elektronlar va kovaklar rekombinasiyasi issiqlik ajralishi bilan yuz beradi, yani yorug'lik nurlanishsiz. Bunday rekombinasiya fononli deyiladi. Nurdiodlarda 39 rekombinasiya yorug'lik nurlanish yuz berib, qaysiki fotonli deyiladi. Odatda bunday nurlanish rezonansli va qisqa polosa chastotada yotadi. Nurlanishni to'lqin uzunligini o'zgartirish uchun tayorlangan nurdiodining materialini o'zgartirish kerak, yoki ma'lum hollarda (ikkirangli nurdiodlar) yorug'lik diod orqali to'g'ri tok o'zgartiriladi. 3 – a.b rasmlarda yorug'likdiod qurilmasimi sxematik belgisi, 3 – v rasmda esa uni nurlanish spectral xarakteristikalari berilgan. Ko'zga ko'rinadigan spektrda nurlaydigan yorug'likdiodlarini tayorlash uchun fosfid galliy yoki qattiq eritma GaAsP dan foudalaniladi. IQ – diapason yaqin uchun diodlar ko'pincha kremniy, arsenid galiy yoki qattiq eritma GaAlAs lardan foudalaniladi.

Nazorat savollari

1. Fotonlar guruhlanish effekti.
2. Lazer fizikasi asoslari.
3. Lazer tuzilishining asosiy printsiplari.
4. Lazer ishlash printsiplari.
5. Mazer
6. Fotonika asoslari.
7. Fotonika usullari va asosiy yo'nalishlari.
8. Foton kristallar

9. Bir o'lchamli foton kristallar
10. Ikki o'lchamli foton kristallar.
11. Uch o'lchamli foton kristallar
12. Optik nurlanishlarni qayd qiluvchi qurilmalar.
13. Elektromagnit to'lqin nurlanishlarini fotogarfik usulda qayd qilish.
14. Elektromagnit nurlanishlarini fotoelektirik usulda qayd qilish.
15. Nurdiodlar. Ularning asosiy xarakteristikalar.
16. Lazerdiodlar. Ularning asosiy xarakteristikalar.
17. Fotopriyomniklarning spektral sezgirliklari.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. David+ L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Phusics. Published bu John Wileu & Sons. Inc., Hoboken, New Jersu.
2. B. Salex, M. Teux. Optika i fotonika. Printsipq i primenenie. Per s angl. Dolgoprudnqu, Izdatelg'skiy dom «Intelekt», 2012.
3. W. Lucke. Introduction to Photonics. Draft. Technical Universetu of Claysthal. 2005
4. Nanoparticles – nanocomposites – nanomaterials: An Introduction for Beginner. First Edition. Dieter Vollath. Published 2013 bu Wileu – VCH Verlag GmbH & KGaA
5. A.D. Pomagaulo, A.S. Rozenberg, I.E. Uflyand. Nanochastitsq metalov v polimerax, M., Ximiya, 2000 g.
6. www.manchester.ac.uk.

MAVZU 2. BIR JINSLI BO'LMAGAN MUHIT OPTIKASI. OPTIK NURTOLALAR. OPTIK NURTOLALI ALOQA TIZIMLARI. OPTIK NURTOLALI DATCHIKLAR. OPTIK GIROSKOPLAR.

Reja:

1. Bir jinsli bo'lmagan muhit optikasi.
2. Optik nurtolalar.
3. Optik nurtolali aloqa tizimlari.
4. Optik nurtolali datchiklar.
5. Optik giroskoplari.

***Tayanch iboralar:** bir jinsli bo'lmagan muhit optikasi, optik nurtolalar, optik nurtolali aloqa tizimlari, optik nurtolali datchiklar, optik giroskoplari.*

Bir jinsli bo‘lmagan muhitlar optikasi — optikaning sindirish ko‘rsatkichi p bir xil bo‘lmay, koordinataga bog‘liq ravishda o‘zgaradigan, optik jihatdan bir jinsli bo‘lmagan muhitlarda elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish qonunlarini o‘rganadigan bo‘limi. Optik bir jinslilik muhitning sirtida va hajmida buzilishi mumkin. Fizik tabiatidan qat’i nazar, bir jinslilikning buzilishi nurning boshlang‘ich tarqalish yo‘nalishidan og‘ishiga olib keladi. Turli sindirish ko‘rsatkichlariga ega muhitlarni ajratuvchi sirtlarda nurning qaytish va sinish hodisalari yuz beradi. Muhit ichidagi sindirish ko‘rsatkichi muhitnikidan farq qiladigan, mikrohajmli bir jinsli bo‘lmagan joularda nurning sochilishi kuzatiladi. Bir jinsli bo‘lmagan muhitlarga xira muhitlar kiradi. Bunday muhitlarda bir jinslilik buzilgan joularning o‘lchamlari, odatda, yorug‘lik to‘lqin uzunligi X dan katta bo‘ladi.

Bir jinsli bo‘lmagan muhitlarga molekulalarning issiklik harakati natijasida kichik hajmlarda muhit zichligi fluktyatsiyalari (tebranishlari) hisobiga shu joudagi sindirish ko‘rsatkichining o‘zgarishlari sodir bo‘ladigan muhitlar ham kiradi. Yorug‘likni yutmaydigan dielektrik zarralarda bo‘ladigan nurning sochilish intensivligi (I) X , ga mutanosib bo‘lib, zarralarning o‘lchamining yorug‘lik to‘lqin uzunligiga nisbatiga bog‘liq parametr. O‘lchamlari X dan ancha kichik issiklik (zichlik) fluktyatsiyalari yuz beradigan muhitlarda sochilish intensivligi $1 \sim X^{-2}$ (Releu qonuni). O‘lchamlari X dan ancha katta zarralardagi sochilish uchun r ning qiymati nolga yaqin va sochilish intensivligi to‘lqin uzunligiga bog‘liq bo‘lmaydi. Bunday hol yorug‘likning tuman va bulutlarda sochilishida kuzatiladi.[

Insoniyat taraqqiyotida aloqaning, xususan, optik aloqaning roli katta bo‘lgan, bunga sabab uning tarqalish tezligining juda kattaligidir, ($v \approx 3 \cdot 10^{10}$ sm/s) ham to‘g‘ri chiziqli tarqalish va boshqa xususiyatlariga bog‘liq. Masalan, XVIII asrdayoq quyosh nurini qaytaruvchi ko‘zgularidan foidalanish asosida ishlaydigan optik telegraf va murakkab signallarni uzatish qobiliyatiga ega bo‘lgan semaforlar yaratildi. Axborotni masofaga uzatishda yorug‘lik nurining qulayligini sezgan amerikalik telefon ixtirochisi A. Bell bundan 125 yil avval optik telefon (fotofon)ni yaratdi.

U o‘zining qurilmasi yordamida odam ovozi nur orqali 200 metr masofaga uzatdi. Bunda mikrofonning tebranishidan qaytuvchi quyosh nuri ovozi tashuvchi bo‘lib xizmat qildi. Hozirgi kunda deyarli har bir yuda radio, televizor va telefon bor, shaharlar va maydonlar o‘rtasida yotqizilgan kabellar yordamida koinotdan Yerning sun‘iy yo‘ldoshlari orqali keng miqyosda axborotlar uzatilib turiladi. Ammo aloqa texnikasining rivojlanishi, elektronikaning zamonaviy yutuqlari, elektromagnit to‘lqinlarining sm va mm diapazonining o‘zlashtirilishi ham hozirgi paytda mislsiz ko‘payib ketayotgan axborot talablariga javob bermay qoldi: amaliyot axborotning zichligi, uzatish chastotasining oshirilishi aloqa kanallarini

zichlashtirish kabi qator talablarni qo'ymoqda. Shuning uchun ham dunyo mutaxassislari birinchi navbatda optik diapazonga qayta-qayta e'tibor bera boshladilar.

Shuningdek, dunyodagi mis konlari borgan sari kamayib bormoqda. Vaholanki, texnikada juda kerak bo'lgan bu metallning deyarli yarmi kabellar uchun ishlatiladi. Olimlarning taxmini bo'yicha mis ishlab chiqarish XXI asrda keskin ravishda kamayadi.

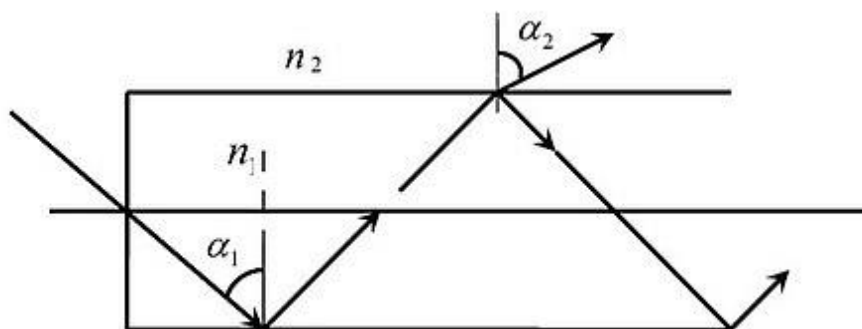
Demak, biror chora topilmasa, kabel ishlab chiqarish tushkunlikka uchrashi turgan gap. Shuning uchun ham mis simlardan voz kechib, axborotni shaffof shisha tolalar orqali nur yordamida uzatishga o'tish lozimligini tushunib uetildi. Demak, shisha tolalarni ishlatish ikki ijobiy yutuqqa — axborot uzatish tezligini keskin oshirib, qimmat hisoblangan misni katta miqdorda iqtisod qilishga imkon beradi. Ta'kidlash lozimki, O'YuCh -diapazoni ($\lambda=1-20\text{sm}$) bo'lgan elektromagnit to'lqinlar mukammal o'zlashtirilgandan so'ng navbat optik diapazonga uetib keldi. 60-yillarda kashf etilgan lazerlar ham katta samara bermadi. Chunki axborotni lazer nuri bilan ochiq atmosferada uzatish yaxshi natija bermadi. Bunga sabab atmosferadagi temperatura, havo oqimi, changlar, tuman va h.k. lar tinimsiz o'zgarib turganligi uchun ochiq havo nur o'tkazuvchi muhit sifatida ishlatishga yaroqsizligi aniqlandi.

Lazer nurini trubalar ichida uzatib ko'rildi, lekin bu yo'l ham fouda bermadi. Shuni aytish kerakki, nur o'tkazuvchi shisha tolalar 60 — yillarda ma'lum edi. Ularning diametri 100 mkm bo'lib, o'zak va uni o'rab olgan qobiqdan iborat edi. O'zakning sindirish ko'rsatkichi qobiqning sindirish ko'rsatkichidan biroz katta bo'lishi kerak. Lazer nurini shunday tolalar orqali uzatishga urinib ko'rildi, ammo bunday tolalar juda katta yutish koeffisientiga ega bo'lib, taxminan 1000 db/km ga teng. Bunday tolaga kiritilgan nur bir necha metr masofadan so'ng deyarli butunlay yutilib ketadi. Ammo 1966 yilda ingliz olimlari Kao va Xokxem o'zlarining ilmiy izlanishlarida optik shishalardagi nurning yutilish sabablarini taxlil qilib, nurning yutilishiga asosiy sabab He, Ni, Si, Sg va shunga o'xshash metallar shisha sintez qilinayotganda tashqaridan (havodan, tigeldan) kirib qolgan metall ionlari ekan. Agar shishalar ana shu ionlardan tozalansa, yutish koeffisienti $a < 20\text{db/km}$ bo'lgan tolalar olish mumkinligini isbotlangan.

Bu maqoladan so'ng dunyo miqyosida yutish koeffisienti kichik bo'lgan nur o'tkazuvchi tolalarni olish bo'yicha ishlar juda kuchayib ketdi. Nihoyat, 1970 yil "Korning Glass" firmasi mutaxassislari to'lqin uzunligi $\lambda=0.63\text{ mkm}$ bo'lgan nur uchun yutish koeffisienti 20 db/km dan kichik bo'lgan nur uchun nur o'tkazuvchi tolalarni yaratdilar. Bunday tolalar uzun to'lqinli optik aloqa liniyalarida ishlatilgan bo'ladigan sifatlarga ega edi. Shuning uchun 1970 yil tolali optikaning tug'ilgan yili deb sanala boshlandi. Ana shundan so'ng tolali optika aloqasi misli

ko'rilmagan tezlik bilan rivojlanib ketdi, ular ishlatiladigan sohalar ko'paya boshladi: telefon tarmoqlari orqali ishlaydigan televidenie, aviatsiya va dengiz flotida, bort aloqasi, hisoblash texnikasi, texnologik jarayonlarni boshqarish va nazorat qilish tizimi va h.k.larda ham ishlatila boshlandi.

Bundan tashqari, nurli tolalarning tashqaridan tushuvchi elektromagnit to'lqinlarning ta'sirini sezmasligi, vaznlari kam va ixchamligi ham aniqlandi. Shunday qilib, optik aloqa tizimlarining negizi shaffof va toza shishadan qilingan tola bo'lib, u yaxshi xizmat qiladi.

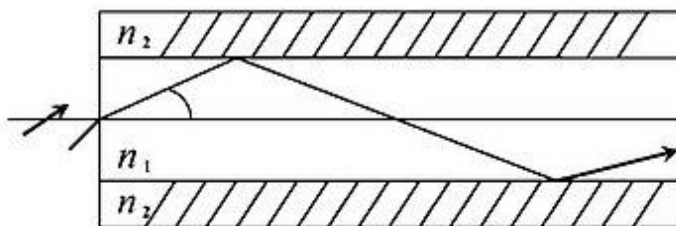


1-rasm.

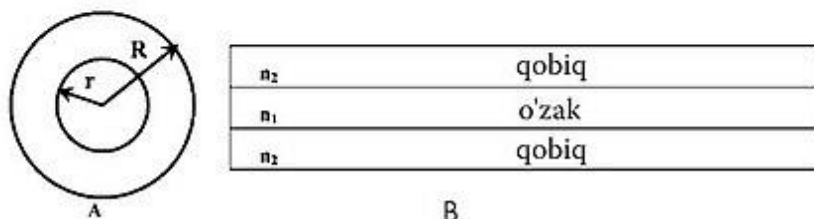
Optika qonunlaridan ma'lumki, tola ichiga kiritilgan nur tashqariga chiqmasdan tarqala oladi. Bunda tola to'g'ri chiziq bo'yicha yo'nalgan yoki barabanga o'ralgan bo'lishi mumkin. Buning sababi nur tola ichida tarqalar ekan, uning chegarasiga tushadi va yana ichkariga to'la qaytadi. Bu nur tolaning ikkinchi chegarasiga tushadi va yana undan ichkariga to'la qaytadi va h.k., bu jarayon uzluksiz davom etadi.

Demak, nurning tarqalish sharti uning tola yon chegarasida to'la ichki qaytishi ekan. Bu juda oddiy va optikada keng qo'llaniladigan hodisadir. Faraz qilaylik (1-rasm), nur sindirish ko'rsatkichi n_1 va radiysi r bo'lgan silindr shaklidagi muhitda tarqalayotgan bo'lsin. Tashqi muhitning sindirish ko'rsatkichi n_2 bo'lsin. U holda nur ikki muhit chegarasiga tushganda sinadi va qisman qaytadi. Sinish (α_2) va tushish (α_1) burchaklari Snelliys qonuniga bo'ysinadi: $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$ yoki $\sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin \alpha_2$. Agar biz tushish burchagini (α_1) kattalashtirib borsak, sinish burchagi α_2 ham ortib boradi va ikkinchi muhitga singan nur tola chegarasiga qarab ko'proq egila boshlaydi. α_1 burchak ma'lum kritik qiymatga erishganda $\alpha_2 = 90^\circ$ bo'ladi. Bu holda singan nur tola chegarasi bo'ylab tarqaladi va

ikkinchi muhitga o'tmaydi, to'la ichki qaytish sodir bo'ladi.



2 (a) - rasm. Tolaning ko'ndalang (a) va bo'ylama (b) kesimi.



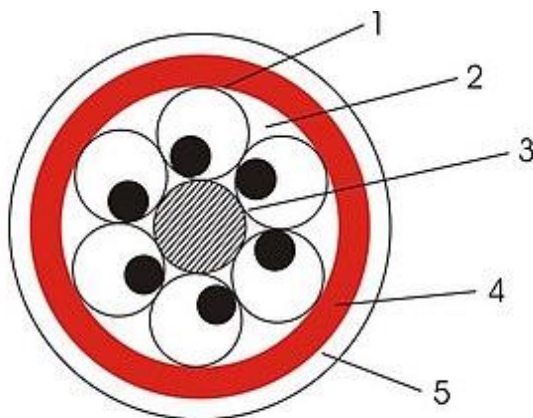
2 (b) - rasm.

Bu burchak $\sin \alpha \leq n_2/n_1$ ga teng biladi. Nihoyat tushish burchagi $\alpha \leq \alpha_c$ bo'lganda tola chegarasiga tushayotgan nur energiyasining deyarli hammasi yana tola ichiga qaytadi, agar $\alpha > \alpha_c$



Shisha tola nur tarqatishga juda qulay muhit bo'lsa ham, uning kamchiliklari bor: 1) u ochiq havoda ($p_2 < 1$) bo'lgani uchun unga tashqi muhit ta'sir ko'rsatadi, uning ustiga changlar o'tirib iflos qiladi, bu esa nurning so'nishiga olib keladi; 2) tolni ushlab turuvchi tayanchlarning kontaktlarida qo'shimcha so'nish paydo bo'ladi. Bundan tashqari, shisha tola mo'rt bo'ladi. Agar uning ustiga qandaydir muhofaza qatlamlari yotqizilmasa, sinib ketishi juda oson. Bu kamchiliklar ikki qatlamlik hisobiga bartaraf etiladi. (2 (a -b) - rasm). Shishali tolalar cho'zib olinib ($qT = 2000^\circ s$ ga yaqin), barabanlarga o'rab olinganliklari uchun bunday tolalarda nurning troektoriyasi egri chiziq bo'lib, uning aniq qaytadigan chegarasi bo'lmaydi. Qobiq tarafga yo'nalgan nur tola o'qi tarafiga qarab egila boshlaydi va u yana o'zak markaziga qarab tarqaladi. Shisha tolalar orqali axborot yuborilganligi uchun ularning so'nish koeffisienti minimal bo'lishi zarur, chunki optik aloqa liniyalari (1-100) km masofalarga cho'zilishi mumkin. Buning uchun

ularning yutish koeffisienti $qq_{01-1db/km}$ bo'lishi kerak. Bunday katta talabga faqat a'lo sifatli optik shishalar, ayniqsa shishasimon kvarslar javob beradi. Kvars boshqa shishalardan o'zining bir jinsliliigi va nurning Relecha sochilish koeffisienti kichikligi bilan ajraladi.



Optik kabelning qirqimi: 1 - shisha tola; 2 - polietilenli trubka;
3 - plastmassali o'zak; 4 - polietilenli himoya qobig'i;
5 - polietilenli himoyalovchi shlang

Sanoatda ishlatiladigan shisha tolalar juda toza kvardan cho'zib $2000S^\circ$ da olinadi va maxsus lak bilan qoplanadi. Bu uning mexanik mustahkamligini ancha oshiruvchi lak bilan, so'ng bu tola ustiga polimer materialdan muhofaza qatlami qoplanadi. Shundan so'ng sanoatda (aloqada) ishlatiladigan optik tola tayyor bo'ladi

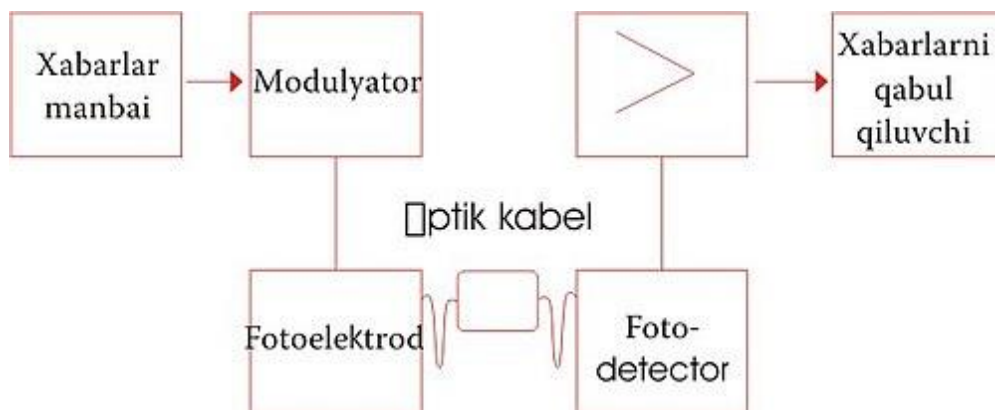


Optik tolali kabel

Bu tolali optik aloqa liniyalarining buyukligi shundaki, ular orqali millionlarcha telefon signallarining bir vaqtda uzatilishini ta'minlash mumkin. Bu kabellar suv ostida, yer ostida xonalarda va boshqa sharoitlarda ishlatilishi mumkin. Optik aloqa tizimlarining asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat: Keng sathlilik (agar nur manbai sifatida yarim o'tkazuvchanlik dioddan foudalanilsa) va qq_{10q250} Mgs tashkil qiladi, yarim o'tkazuvchili lazer ishlatilsa, u holda $\sim 0,5$ MGs ga teng bo'ladi. Bu kabi aloqa liniyalarini kuchli tokli kabellar va yuqori voltli elektroenergiyani uzatuvchi liniyalar yaqiniga joulashtirish mumkin.

Optik kabelning haqiqiy tuzilishlaridan birining kesimi 3-rasmda keltirilgan. Optik kabelli tolalar orasidan o'tuvchi halaqitlarning juda kamligi, bu tolalarning sonini bir necha yuz bor oshirish imkonini beradi. Atrof -muhitga optik kabeldan elektromagnit nur tarqalmaydi. Yuqori texnologik integrasiyaga egaligi; tabiiy

ofatlarni (Er qimirlashi, toshqinlar, sel va hokazo) sodir bo'lishi kutilayotgan mintaqalardagi muhitlarda ishlay olish qobiliyatining borligi, ularning simli kabellardan afzalliklarini ko'rsatadi.



Optik tolali aloqa tizimida axborot uzatishning umumiy ko'rinishini 10-rasm orqali tushuntirish mumkin. Aloqa liniyasida uzatish uchun mo'ljallangan uzluksiz yoki raqamli elektr signali uzatish tomonidagi yarimo'tkazuvchanli lazerli yoki yorug'lik manбайдan chiqayotgan optik nurlarni modulyasiyalaydi va buning oqibatida elektr signalini optik (yorug'lik) signaliga aylantirib, so'ngra optik tola bo'ylab uzatiladi. Tizimning qabul qilish tomonidagi toladan chiqib kelayotgan optik signal r-1-p yoki ko'chkili fotodiod asosida qurilgan fotodetektorga kiritiladi. Fotodetektor esa, unga tushayotgan optik nurlarni dastlabki uzluksiz raqamli elektr signaliga aylantirib beradi.

Optik nurtolalarda nurlarning tarqalishi.

Optik tolali aloqaning tarixiy rivojlanish bosqichlari haqida ilmiy dalillar asosida ma'lumotlar professor Yu.R.Nosovning ilmiy-ommabop kitobida bayon qilingan

Tolali optik tizimlarda asosan uch turdagi yorug'lik manbalaridan foudalanib kelinayapti: qattiq jisimli lazerlar, yarimo'tkazgichli yorug'lik sochuvchi diodlar va yarim o'tkazgichli injeksion lazerlar. Ammo hozirgi paytda uzluksiz tartibda ishlash uchun, geterolazerlar qo'llanilmoqda. Bunday lazerlar maxsus ko'p qatlamli geterolazerlar tizimidan iborat bo'lib, ularning tavsiflari mavjud: 1. Lazerdan o'tayotgan tok bilan nurning sochilish quvvatini bog'lovchi volt-amper tavsifi; 2. Nurlanishning modali tarkibi; 3. Nurlanishning yo'naltirish diagrammasi.

Yuqorida keltirilgan fikrlar va mulohazalarga binoan quyidagi ta'rif asosli bo'la oladi: Fizikaviy muhit sifatida optik kabeldan foudalanib uzatish tomonidagi birorta punktdan qabul qilish tomonidagi boshqa bir punktga axborotlarni uzatishni ta'minlovchi texnik vositalar to'plami tolali aloqa tizimi, deb ataladi.

4) bu toklarni uzatkichning elektr tebranishlarining modulyatsiyasiga mos ravishda aylantirish va 5) modulyatsiya qilingan-modulyasiyalangan elektromagnit to'liqlarni uzatish. Endi qabul qiluvchi televizion radiostansiyalarda antennalar tomonidan qabul qilib olinayotgan o'zi bilan ko'rinuvchi signallarni (tasvir signallarini) olib keluvchi, radioto'liqlar bilan bog'liq bo'lgan hodisalarni qarashga o'taylik.

Televizion stansiyaning radioqabul qiluvchisini televizor deb atalib, uning asosiy qismi maxsus konstruksiyaga ega bo'lgan elektron nurli trubka — kineskopdir (kineskop — grekcha so'z bo'lib, u yoki bu predmetning harakat, holatini ko'rsata oladigan qurilmadan iborat). Kineskop ekranining ichki qismi nurlanuvchi modda bilan qoplangan. Bu modda (SS yoki kadmiyning volframli birikmasi) bir qancha talablarga javob beradi: 1) uning ko'rinishi elektrodlar dastasi yordamida vujudga kelib, uning to'xtashi bilan nurlanish to'xtashi zarur; 2) nurlanishning elektron nur intensivligiga to'g'ri mutanosib bo'lishi shart va h.k.

Elektron nuri kineskop ekрани bo'ylab ikonoskop elektron dastasi harakatiga sinxron ravishda harakatlanib chiqadi. Uzatuvchi va qabul qiluvchi stansiyalar yoyuvchi generatorlarning sinxron ishlaganida biz televizor ekranida ikonoskop sezgir qatlamining oldida turgan predmetni ko'ramiz. Ikonoskop va kineskop elektron dastalarining sinxronizasiyasi uzatuvchi stansiyadan jo'natiluvchi-sinxronizasiyalovchi signallar yordamida amalga oshiriladi. Bu signallar qabul qiluvchi stansiyaning yoyuvchi generatorlariga ta'sir qiladi.

Ko'rinuvchi signallarning har xil intensivligi elektron dastadagi elektronlar sonini o'zgartiradi, bu esa o'z elektron dastasi tushayotgan kineskop ekranining ko'p yoki kam nurlanishiga olib keladi. Shunday qilib, kuzatuvchi ekranida ikonoskop sezgir qatlamiga tushirilgan tasvirning teng qiymatli suratini ko'radi. Bunda tasvir signallari qora va yorug' elementlar ko'rinishi (oq-qora televidenie) da namoyon bo'ladi.

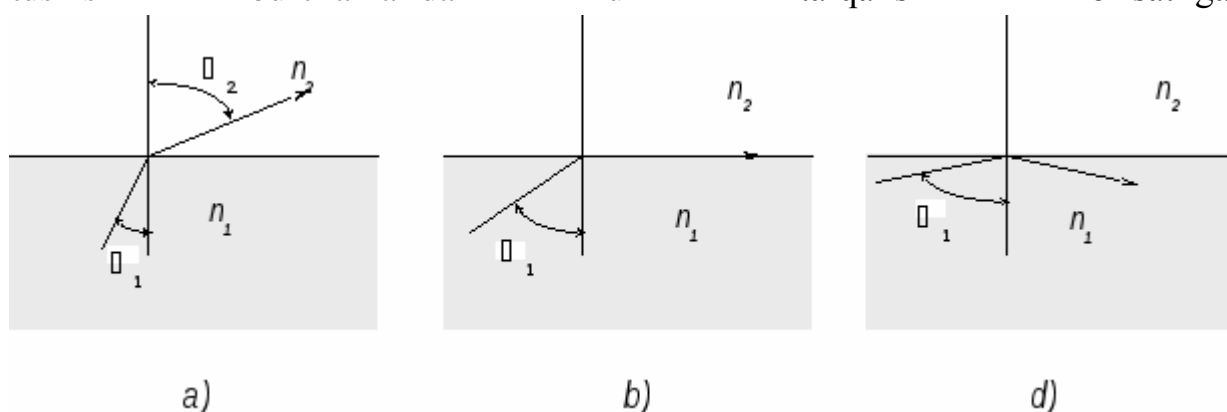
Tola optikasi — yorug'lik va ma'lumotlarni optik diapazondagi nur o'tkazgichlar (nur tolalari) da tarqalishini urganadigan optika bo'limi. Tola

optikasi 20-asrning 50-yillarida vujudga kelib, 70-yillarning boshida spektrning ko‘rinuvchi va infraqizil sohalarida so‘nish koeffitsienti 20 dBG‘km dan kam bo‘lgan kvarts shishasi olinishi bilan jadal rivojlana boshlagan. Nur tola sindirish ko‘rsatkichlari bir-biridan farq qiluvchi silindr shaklidagi shisha yoki plastik o‘zak va uni o‘rab turuvchi qobiqdan tashkil topgan. O‘zakning sindirish ko‘rsatkichi qobiqnikidan katta bulgani uchun, ular chegarasida yorug‘likning to‘la ichki qaytish hodisasi yuz berib, uzak ichiga kiritilgan nur tashqariga chiqib ketmasdan nur tola ichida tarqaladi. Hup tola o‘zagining diametri bir necha mikrondan yuzlab mikrongacha, qobiq qalinligi o‘nlab mikrondan yuzlab mikrongacha o‘zgarishi mumkin.

Tola optikasi sohasida olib borilgan tadqiqotlar nur tolalarning keng ko‘lamda optik aloqada qo‘llanilishiga olib keldi. Hozirgi kunda an’anaviy simli aloqa kabellari o‘rnini axborot uzatish imkoniyatlari katta bo‘lgan nur tolali kabellar egallamoqda. Atlantika va Tinch okeanlari suv ostidan o‘tkazilgan nur tolali aloqa kabellari Osiyo va Uevropa davlatlarini Amerika qitasi bilan bog‘lab turibdi.

Optik tasvir myayyan tartib bilan joulashtirilgan nur tolalar dastasi orqali uzatiladi. Dastadagi tolalar soni bir necha ming, hatto, millionlarni tashkil etib, dasta uchlariga maxsus ishlov beriladi. Nur tolalar dastasi tibbiyotda odam ichki a‘zolarini yoritish va kurishda (endoskop), tezkor kinoga olishda, yadro zarralarining yuqori tezlik (trek) larini qayd qilishda va boshqa sohalarda keng qo‘llaniladi.

Optik tolada yorug'lik nurini uzatish geometrik optika qonunlariga asoslangan. Bu qonunlarga muvofiq yorug'lik nuri o'zak bo'ylab zigzaksimon liniyalar hosil qilib tarqaladi. O'zakning sindirish ko'rsatkichi n_1 qobiqning sindirish ko'rsatkichi n_2 dan katta bo'lishi sababli optik nur faqat o'zak bo'ylab tarqaladi. Bu nur sindirish ko'rsatkichi katta muhitdan sindirish ko'rsatkichi kichik muhitga o'tganda ikki muhit chegarasida singan nurni normal nurdan og'ishi bilan tushuntiriladi. Masalan: buni nur suvdan xavoga o'tganda ham kuzatish mumkin. Ikki muhit chegarasiga tushish burchagi Θ_1 oshgan sari singan nurni normal nurdan og'ishi ham oshib boradi. Normal nurga nisbatan singan nur burchagi Θ_2 90° ga uetgach, singan nur chegara yuzasi bo'ylab tarqala boshlaydi. 1-rasmda turli tushish burchaklarida nurni tarqalishi ko'rsatilgan.



1-rasm. Bir necha tushish burchaklari uchun nurni tarqalish yo'li, $n_1 > n_2$, bu yerda n_1 va n_2 ikki turli muhitlarning sindirish ko'rsatkichlari 1(a)-rasmda tushish burchagi Θ_1 kichik bo'lganda singan nur to'liq qobiqqa o'tib ketadi. 1(b)-rasmdagidek signal kritik burchak ostida tushganda singan nur chegara bo'ylab tarqaladi. 1(v)-rasmda tushish burchagi kritik tushish burchagidan oshganda to'liq ichki qaytish yuzaga kelishi tasvirlangan. «O'zak-qobiq» chegarasida signal energiyasi to'liq qaytadigan bu burchak to'liq ichki qaytish burchagi $\Theta_{t.i.q.}$ deyiladi. To'liq ichki qaytish burchagi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Theta_{t.i.q.} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

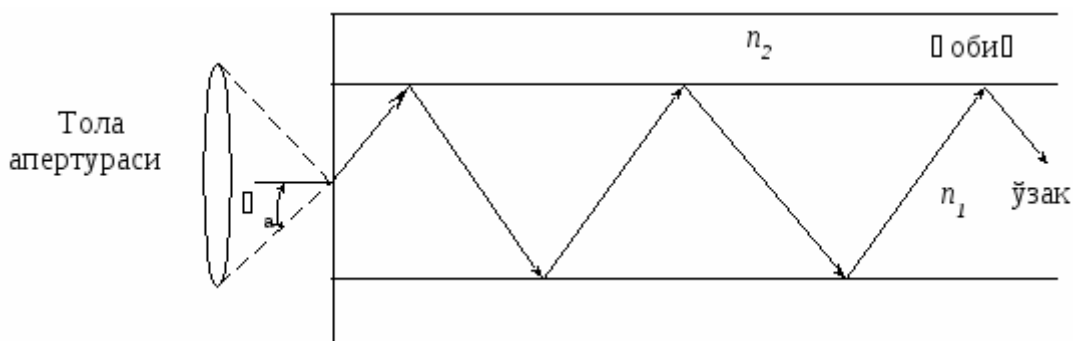
bu yerda n_1 -o'zakning sindirish ko'rsatkichi; n_2 -qobiqning sindirish ko'rsatkichi. O'zak va qobiq tayyorlanadigan materiallarning sindirish ko'rsatkichlari nisbatini optimal tanlash orqali yorug'lik nurining o'zak ichida to'liq ichki qaytishi ro'y beradi va nurni faqatgina optik tola o'zagi bo'ylab tarqalishi ta'minlanadi.

Uzatish uchun nur ma'lum bir burchak ostida optik tolaga kiritiladi. Yorug'lik nurining tola o'zagiga maksimal tushish burchagi burchak aperturasi Θ_a deyiladi.

Burchak aperturasining sinusi sonli apertura deyiladi va NA xarflari bilan belgilanadi (N-number-son, A-aperture-teshik). Sonli apertura quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$NA = \sin \Theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Keltirilgan formuladan ko'rinib turibdiki, optik tolaning sonli aperturasi NA faqatgina o'zak va qobiqning n_1 va n_2 sindirish ko'rsatkichlariga bog'liq. Bunda xar doim $n_1 > n_2$ shart bajariladi 2-rasm.



-rasm. Optik tolada yorug'lik nurining tarqalishi.

Optik tolaning sonli aperturasi

Optik tolada nurni tarqalish tezligi o'zakning sindirish ko'rsatkichlariga bog'liq bo'lib, quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$C_m = \frac{c}{n_1}$$

bu yerda S -vakyumda nurni tarqalish tezligi; n_1 -o'zakning sindirish ko'rsatkichi.

O'zak materialining sindirish ko'rsatkichi 1,45-1,55 oraliqda yotadi.

Ma'lumki to'lqin uzunligi uchun xarakterli bo'lgan optik tolaning yana bir xususiyati bu normallashtirilgan chastota n bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi

$$n = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Bu yerda a -o'zak radiysi, n_2 -qobiqsiz optik tola uchun 1 ga teng.

Nurni tolada tarqalish jarayonini ta'riflash uchun bir necha asosiy parametrlar qo'llaniladi. Bu muhim parametrlarga so'nish va dispersiya kiradi.

So'nish va dispersiya oraliq punktlarsiz optik aloqa liniyasi uzunligini yoki oraliq punktlar orasidagi masofani qisqartirishi mumkin.

Dispersiya asosan ikki omil tufayli yuzaga keladi. Ulardan biri material dispersiyasi, boshqasi-moda dispersiyasi.

Optik tola orqali tarqala oladigan, ruxsat etilgan yorug'lik to'lqinlari modalar (yoki shaxsiy to'lqinlar) deyiladi.

Material dispersiyasi material sindirish ko'rsatkichini chastotaga bog'liq xolda o'zgarishi bilan hosil bo'ladi. Moda dispersiyasi tola orqali bir necha modalarni uzatishdan hosil bo'ladi. Tola orqali turli modalar turli faza va guruhli tezlikda uzatiladi, qabul qiluvchi punktlarga xam turli vaqtlarda uetib keladi. Natijada tolada turli modalarni xar xil kechikish bilan tarqalishidan buzilishlar (dispersiya) yuzaga keladi.

Modalar sonini yorug'lik uzatgich optik tolaning tuzilishi va o'lchamini o'zgartirgan xolda kamaytirish mumkin. Yuqoridagi formuladan kelib chiqadigan bo'lsak, n_2/n_1 nisbatni amaliy mumkin bo'lgan xolda saqlab, o'zak radiysini kamaytirish yo'li orqali modalar sonini chegaralash mumkin. CHastota (n)ga bog'liq xolda modalar soni:

$$N = \frac{v^2}{2}$$

Agar, $n=2,405$ bo'lsa, u xolda bitta moda uzatiladi. Agar $n>2,405$ bo'lsa, unda bittadan ortiq moda uzatilishi mumkin. Uzatiladigan modalar soniga qarab optik tola bir modali va ko'p modaliga bo'linadi.

Optik tola turlari va ularning tavsiflari. Bir modali va ko'p modali optik tolalar. Pog'onali, gradient va maxsus sindirish ko'rsatkichli optik tolalar

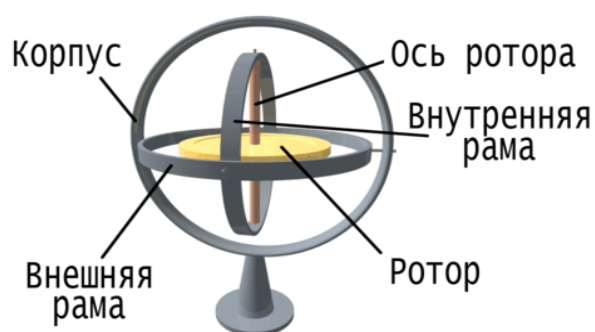
To'lqin uzunligiga nisbatan o'zak diametriga bog'liq ravishda optik tolalar bir modali va ko'p modaliga bo'linadi. Bir modali optik tolalarda ko'pincha o'zak diametri 7-10 mkm (1,a-rasm), ko'p modali optik tolalarda esa 50-62,5 mkm (1,b-rasm) bo'ladi. Ikkala turda qobiq diametri 125 mkm ni tashkil etadi. Amaliyotda ko'p modali va bir modali optik tola diametrlarining boshqa qiymatlari ham mavjud. Bir modali optik toladan faqat bir moda (yorug'lik tashuvchi) uzatiladi. Ko'p modali optik toladan esa apertura burchagi doirasida tolaga turli burchaklar ostida kiritiladigan bir necha yuzlab ruxsat etilgan modalarni bir vaqtda uzatish mumkin. Barcha ruxsat etilgan modalar turli tarqalish yo'li va vaqtiga ega. Ko'p modali optik tolalar sindirish ko'rsatkichi n bo'yicha pog'onali va gradient tolalarga bo'linadi. Pog'onali sindirish ko'rsatkichli ko'p modali optik tolalar ikki muhit chegarasida sindirish ko'rsatkichlarining keskin (pog'ona ko'rinishida) o'zgarishi (n_1 dan n_2 ga) bilan xarakterlanadi. Pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tolalar o'tkazish polosasini chegaralaydi, lekin gradient sindirish ko'rsatkichli optik tolalarga nisbatan arzon hisoblanadi.

Optik giroskopl

Ular optik tolali va lazerli giroskoplarga bo'linadi. Faoliyat printsipi 1913 yilda kashf etilgan Sagnac effektiga asoslangan. Nazariy jihatdan, SRT yordamida tushuntiriladi. Yorug'lik tezligi har qanday inersial yo'nalishda o'zgarmasdir. Inertial bo'lmagan tizimda u c dan farq qilishi mumkin. Qurilmaning aylanish yo'nalishi bo'yicha va aylanish yo'nalishiga qarshi yorug'lik nurini

yuborayotganda, nurlarning kelishi vaqtidagi farq (interferometr tomonidan aniqlanadi) inertsiyadagi mos yozuvlar doirasidagi nurlarning optik yo'llarida farqni topishga imkon beradi va shuning uchun nurni o'tish paytida qurilmaning burchakli aylanish qiymati. Effektning kattaligi interferometrning burilish tezligi va interferometrda yorug'lik to'lqinlarining tarqalishi bilan bevosita mutanosibdir:

bu yerda turli yo'nalishlarda tarqaladigan nurlarning kelishi vaqtidagi farq, konturning maydoni, giroskopning burilish tezligi. Qiymat juda kichik bo'lgani uchun uni passiv interferometrlar yordamida to'g'ridan-to'g'ri o'lchash faqat tolasi uzunligi 500-1000 m bo'lgan tolali-optik girozlarda mumkin. Lazerli giroskopning aylanuvchi halqali interferometrida kontrpropagatsiya to'lqinlarining fazaviy siljishini o'lchash mumkin:



Gimbaldagi eng oddiy mexanik Giroskopning sxemasi

Giroskopning xususiyatlari qurilmalarda - giroskoplarda qo'llaniladi, uning asosiy qismi tez aylanadigan rotor bo'lib, u bir necha darajali erkinlikka ega (mumkin bo'lgan aylanish o'qlari).

Nzorat savollari:

1. Bir jinsli bo'lmagan muhit optikasi.
2. Optik nurtolalar.
3. Optik nurtolali aloqa tizimlari.
4. Optik nurtolali datchiklar.
5. Bir modali optik nur tolalar
6. Ko'p modali optik nur tolalar
7. Bir va ko'p modali optik nur tolalarning turlari
8. Optik nurtolalarda nurlarning tarqalishi.
9. Optik tolali va lazerli giroskoplar
10. Giroskopning xususiyatlari

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Skalli M. O., Zubauri M. S. Kvantovaya optika: Per. s angl. / Pod red.V.V. Samartseva. - M.: FIZMATLIT, 2003. - 512 s.
2. Barsukov, V.I.Fizika. Volnovaya i kvantovaya optika : uchebnoe posobie /V.I.

- Barsukov, O.S. Dmitriev. – Tambov : Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2012. – 132 s.
3. Samartsev V.V. Korrelirovannqe fotonq i ix primeneniye. M.: FIZMATLIT, 2014. — 168 s.
 4. Kuznetsov S.I. Kvantovaya optika. Atomnaya i yadernaya fizika. Fizika elementarnqx chastits: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. – 154 s.
 5. Vittorio Degiorgio, Ilaria Cristian. Photonics. A Short Course. Springer International Publishing Switzerland, 2014
 6. David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Phusics. Published bu John Wileu & Sons. Inc., Hoboken, New Jersu.
 7. B. Salex, M. Teux. Optika i fotonika. Printsipq i primeneniye. Per s angl. Dolgoprudnqu, Izdatelg'skiy dom «Intelekt», 2012.
 8. W. Lucke. Introduction to Photonics. Draft. Technical Universetu of Claysthal. 2005
 9. www.manchester.ac.uk.
 10. www.photonics.com/

MAVZU 3. KVANT CHIGALLIK. KVANT TELEPORTATSIYA. KVANT INTERFERENSIYA. FOTONNI TELEPORTATSIYA QILISHGA MO‘LJALLANGAN EKSPERIMENTAL QURILMALAR. KVANT INTERNETI VA KVANT KOMPYUTERLARI.

REJA

1. *Kvant chigallik. Kvant teleportatsiya.*
2. *Kvant interferentsiya fizik asoslari.*
3. *Fotonni teleportatsiya qilishga mo‘ljallangan eksperimental qurilmalar.*
4. *Kvant interneti va kvant kompyuterlari.*

Tayanch iboralar: *Foton, lazer, fotonika, kvant texnologiya, kvant chigallik, kvant teleportatsiya. kvant interferentsiya fizik asoslari, fotonni teleportatsiya qilishga mo‘ljallangan eksperimental qurilmalar, kvant interneti va kvant kompyuterlari.*

Axborot nazariyasida signal eng asosiy tushuncha hisoblanadi. Boshqa fundamental tushunchalar kabi u formal tahriflarga tushmaudi. Vaziyatga bog‘liq ravishda **signal** qandaudir voqelik, obhekt xolati xaqida xabarni eltuvchi belgi, fizik jarayon yoki xodisa shuningdek, boshqarish sistemasidagi uzatilayotgan

byuruqlar sifatida karaladi. Bu mavzuda signallarning asosiy xossalari, ularni uzatish va qauta ishlash printsiplariga oid qiziqarli texnologiyalar bilan tanishamiz.

Inson jamiyati doimo o'zgarib turadigan va to'ldiriladigan axborot dunyosida yashadi. Inson nimani ko'radi, eshitadi, eslaudi, biladi, boshdan kechiradi, bular har xil ma'lumot shakllari.

SHuning uchun, keng ma'noda, **axborotni** atrofimizdagi dunyo haqida ma'lumot to'plami sifatida aniqlash mumkin. Bu tushunishda axborot ilmiy-texnik taraqqiyot va jamiyatning ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishining muhim manbai bo'lib, materiya va energiya bilan bir qatorda fanning fundamental falsafiy toifalariga kiradi.

"Axborot" tushunchalari (lotincha. *informatio* - tushuntirish, taqdim etish) va "xabar" endi chambarchas bog'liqdir. Mahnoga yaqin bo'lgan bu tushunchalar murakkab va sodda tushunchalar orqali aniq tahrif berish oson emas.

Axborot - bu har qandau voqea, hodisa yoki obyektlar haqidagi ma'lumotlar yoki ma'lumotlar to'plami, yahni atrofimizdagi dunyo haqidagi bilimlar to'plami.

Axborotni uzatish va saqlash turli xil **belgilar (simvollar)** yordamida amalga oshiriladi, bu ularni biron-bir shaklda taqdim etishga imkon beradi.

Xabar bu ma'lum bir ma'lumotlarni aks ettiradigan belgilar to'plamidir. Xabarlarni (va shunga mos ravishda ma'lumotni) masofadan uzatish har qandau moddiy vosita, masalan, qog'oz yoki magnit lenta yoki jismoniy jarayon, masalan, tovush yoki elektromagnit to'lqinlar, oqim va boshqalar yordamida amalga oshiriladi.

Signal bu uzatilgan xabarni aks ettiradigan (olib boradigan) jismoniy jarayon. Hozirgi vaqtda signal sifatida asosan elektr va optik signallari ishlatiladi. Elektronikada signal kompg'yuterning raqamli impulslaridan tortib VHF radio to'lqinlari tomonidan boshqariladigan impulslarga qadar bo'lgan hamma narsa bo'lishi mumkin. Signal o'z vaqtida xabarni uzatadi (kengautiradi), yahni har doim vaqt funktsiyasi. Signallar uzatilayotgan xabarga muvofiq jismoniy muhitning ma'lum parametrlarini o'zgartirish orqali hosil bo'ladi.

Xabarlar vaqt funktsiyalari bo'lishi mumkin, masalan, telefon suhbatlarini uzatish pautida nutq, telemetrik ma'lumotlarni uzatish pautida harorat yoki bosim, televizorda uzatish pautida ishlash va boshqalar. Boshqa hollarda, xabar vaqt vazifasi emas (masalan, telegramma matni, harakatsiz rasm va boshqalar).

Xabarni signal vaqt bo'yicha yuboradi. SHuning uchun, xattoki xabar bo'lmasa ham (masalan, harakatsiz rasm), signal har doim **vaqt funktsiyasidir**.

Diskret yoki diskret darajadagi (amplituda) signal bu kattalikdagi (amplituda) faqat ma'lum diskret qiymatlarni qabul qiladigan signaldir.

Uzluksiz yoki analog signal bu ma'lum bir qiymat oralig'idagi har qandau qiymatlarni qabul qilishi mumkin bo'lgan signaldir.

Vaqtning ajratuvchi signal bu faqat ma'lum bir vaqtning o'zida berilgan signaldir.

Vaqt bo'yicha uzluksiz signal bu butun vaqt o'qida aniqlangan signaldir.

Masalan, nutq bu daraja va vaqt ichida uzluksiz bo'lgan xabardir va har 5 daqiqada uning qiymatlarini ko'rsatadigan harorat sensori uzluksiz kattalikdagi, ammo vaqt o'tishi bilan uzatiladigan xabarlarining manbai bo'lib xizmat qiladi.

Zamonaviy kvant optika (fotonika) yorug'likning kvant tabiatini hisobga olgan holda materiya bilan o'zaro ta'sirini o'rganadi. Foton aslida elektronning analogidir, elektronlar o'rniga elektromagnit ma'don kvantlari - fotonlar ishlatiladi. Zamonaviy kvant optika (fotonika) foton signallarni qayta ishlash texnologiyalari bilan shug'ullanadi.

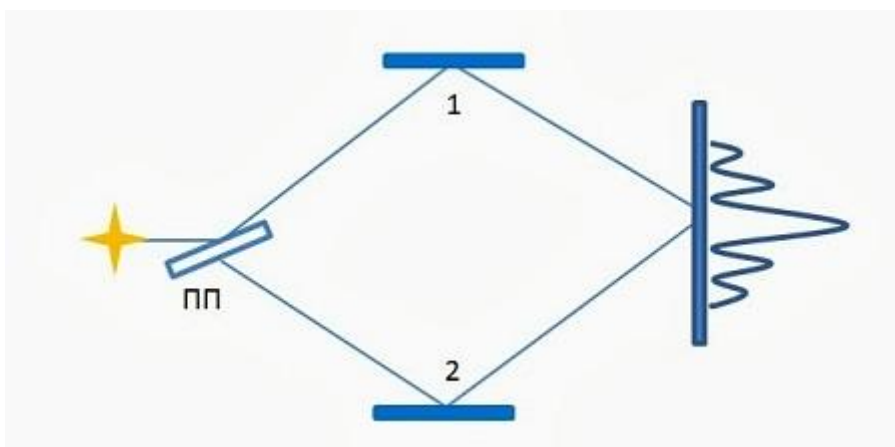
Kvant chigallik. Kvant teleportatsiya. Kvant interferentsiya. Zamonaviy axborot uzatishning fizik asoslari

Zamonaviy dunyoda aloqa tizimlari bizning dunyomizni rivojlantirishda muhim rol o'ynaydi. Axborot uzatish kanallari turli xil axborot tarmoqlarini yagona global Internetga bog'lab, sauyoramizni tom mahnodan o'rab oladi. Zamonaviy texnologiyalarning g'aroyib dunyosi kvant dunyosining hauratlanarli imkoniyatlari bilan bog'liq bo'lgan fan va texnikaning zamonaviy kashfiyotlarini o'z ichiga oladi. Autish mumkinki, bugungi kunda kvant texnologiyalari bizning hayotimizga qat'iy kirib bordi. Bizning cho'ntaklarimizdagi har qanday mobil qurilmalar kvant zaryad tunnel yordamida ishlaydigan xotira chipi bilan jihozlangan.

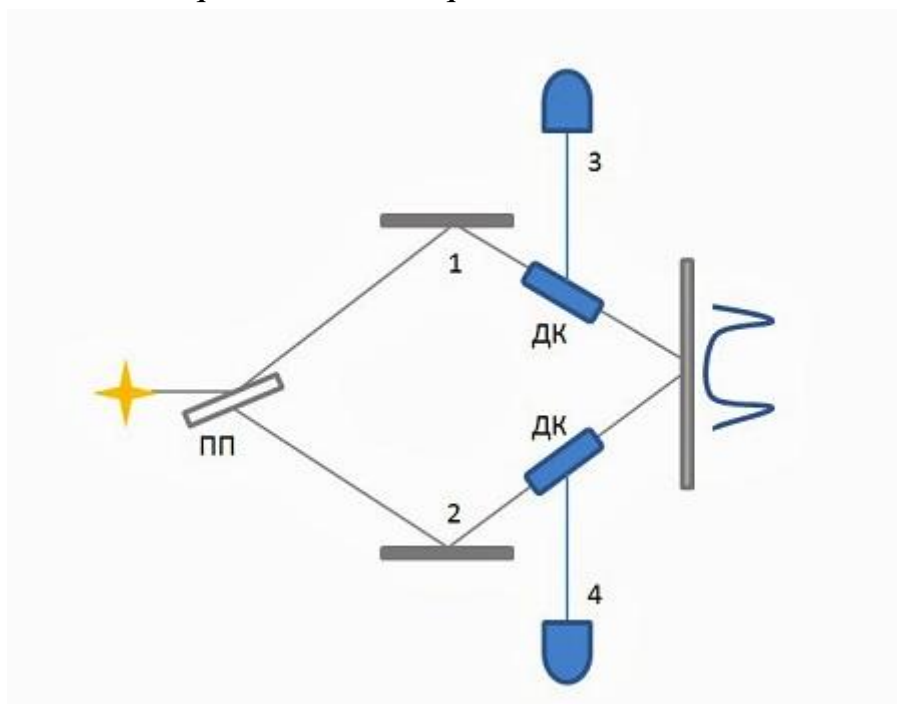
Ushbu qismda biz yorug'likning interferentsiyasini ko'rib chiqamiz va kvant texnologiyalaridan foydalangan holda tezkor ma'lumot uzatish uchun aloqa kanalini qurish usullarini tahlil qilamiz. Garchi ko'pchilik ma'lumotni yorug'lik tezligidan tezroq uzatish mumkin emas deb hisoblasada, to'g'ri yondashuv bilan, hatto bunday vazifani hal qilish mumkin bo'ladi.

Kvant interferentsiya

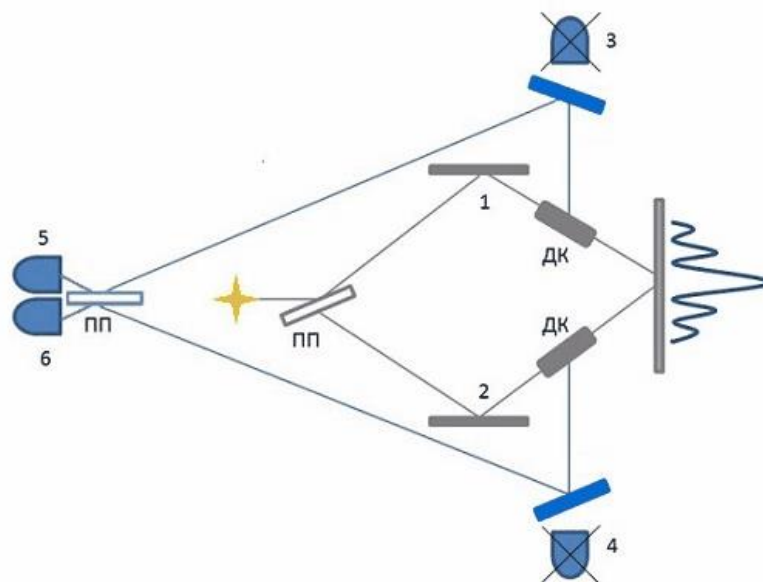
Eng oddiy sxemadan boshlab (bu shunchaki o'rnatish sxemasi emas, balki tajribaning sxematik ko'rinishi).



Biz lazer nurini shaffof ounaga (PP) yo'naltiramiz. Odatda, bundau ouna ustidagi yorug'lik hodisasining yarmini aks ettiradi, qolgan yarmi o'tadi. Ammo kvant noaniqlik holatida bo'lgan fotonlar shaffof ounaga tushib, ikkala yo'nalishni bir vaqtning o'zida tanlashadi. Keuin har bir nur ekranga (1) va (2) ko'zgu bilan aks ettiriladi, bu erda biz interferentsiyani kuzatamiz. Hammasi oddiy va tushunarli: fotonlar to'lqin kabi harakat qilishadi.



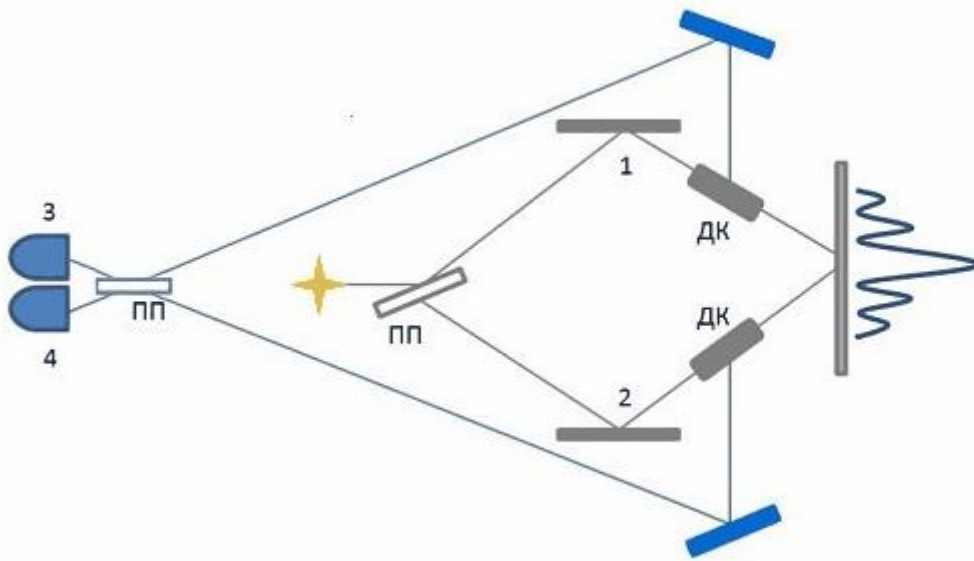
Endi fotonlar yuqori yoki pastki qismida qandau yo'l bosib o'tganligini tushunishga harakat qilaulik. Buning uchun har bir yo'lda daun-konvertorlarni (**ДК**) qo'yamiz. Daun-konvertor - bu bitta foton unga kirganda, chiqish pautida 2 ta foton (har biri yarim energiya bilan) chiqaradigan qurilma, ulardan biri ekranga (*signal fotoni*), ikkinchisi esa detektorga (3) yoki (4) tushadi (*bo'sh foton*). Detektorlardan ma'lumotlarni olgach, har bir foton qausi yo'ldan yurganini bilib olamiz. Bundau holda, interferentsiya tasviri yo'qoladi, chunki biz fotonlar aniq querdan o'tganini aniqladik va kvant noaniqlikni buzdik.



Bundan tashqari, biz tajribani biroz murakkablashtiramiz. Har bir “bo’sh foton”ning yo’lida qataruvchi ko’zgularni joulashtiramiz va ularni ikkinchi yarimshaffof ko’zguga (diagrammadagi manbaning chap tomoniga) yo’naltiramiz. Ikkinchi yarimshaffof o’ynaning o’tishi “bo’sh foton”larning traektoriyasi to’g’risidagi ma’lumotlarni yo’q qiladi va interferentsiyani tiklaadi (Max TSender interferometrining sxemasiga muvofiq). Detektorlardan qaysi biri ishlamasligidan qat’i nazar, biz fotonlar qaysi yo’lni bosib o’tganligini aniqlau olmaumiz. Ushbu murakkab sxema yordamida biz yo’lni tanlash haqidagi ma’lumotlarni o’chirib tashlaumiz va kvant noaniqligini tiklaumiz. Natijada ekranda interferentsiya paudo bo’ladi.

Agar biz ko’zgularni siljitishga qaror qilsak, unda "bo’sh" fotonlar yana detektorlarga (3) va (4) tushadi va biz bilamizki, interferentsiya ekranda yo’qoladi. Bu shuni anglatadiki, ko’zgularning o’rnini o’zgartirib, biz ekrandagi rasmni o’zgartirishimiz mumkin. SHundau qilib, siz ikkilik ma’lumotlarini kodlash uchun undan Foydalanishingiz mumkin.

Siz eksperimentni biroz soddalashtirishingiz va "bo’sh" fotonlar yo’lida shaffof o’ynani harakatlantirish bilan bir xil natijaga erishishingiz mumkin.



Kvant teleportatsiya

Kvant teleportatsiya - bu kvant xolatini fazoning bir nuqtasidan boshqasiga bir zumda olib o'tilishi bo'lib, bunda ular qanday masofada joulashganligi ahamiyatsizdir.



Kvant teleportatsiya xodidasida A zarrachaning xossalari undan uzoqlashgan xudda shunday B zarrachaga nusxasi olinadi.

Bunday samaraga ega bo'lish uchun ikkita zarrachani bir biriga chalkashtirish kerak bo'ladi – ya'ni ularni bir biriga bog'lash zarur bo'ladi, u xolda birining foton spini musbat tomonga aulansa, ikkinchisidiki manfiy tomonga aulanadi, bu esa axborot bitlarini oniy tezlikda uzatilishiga imkon yaratadi.



Ya'ni kvant teleportatsiya zarracha (atom, foton) xaqidagi axborotni boshqa zarrachaga ko'chish usulidir. SHundau xolatlaridan biri kvant chigallik deyiladi. Haqiqatdan esa bu chigallik emas, balki bog'lanish bo'lib, u ularni ixtiyoriy masofada bir biriga bog'langan qiladi.

SHOTlandiya olimlari fizik holati noaniq bo'lgan pautda, "chigal" fotonlarning dunyodagi birinchi tasvirini olishdi. Tadqiqot *Science Advances* -da nashr etilgan.

Kvant "chigallik" - bu bir necha zarralarning kvant holatlari ular orasidagi masofadan qathi nazar o'zaro bog'liq bo'lgan hodisadir. Ushbu hodisa kvant teleportatsiyasi, kriptografiya va kompg'yuter texnologiyalarida qo'llaniladi. Eunshteun va uning hamkasblari, agar kvant mexanikasi voqelikni to'liq aks ettirsa, bog'lab qo'yilgan tizimning bir qismi holatini bilish avtomatik ravishda boshqa qismning holatini aniqlashini ko'rsatishgan. Aniqlanishicha, bu holda mahlumot yorug'lik tezligidan tezroq uzatiladi, bu klassik fizika qonunlariga binoan imkonsizdir.

"Kvant chigalligi" kvant mexanikasi tenglamalaridan kelib chiqadigan nazariy farazdan paydo bo'ldi. Bu shuni anglatadiki: agar 2 ta kvant zarralari (ular elektronlar, fotonlar bo'lishi mumkin) o'zaro bog'liq bo'lib chiqsa (chalkash), u holda ular koinotning turli qismlariga olib borilgan bo'lsa ham, aloqa saqlanib qoladi.

Kvant chigalligining kashf etilishi teleportatsiyaning nazariy imkoniyatini ma'lum darajada tushuntiradi.

Agar siz bir vaqtning o'zida bir nechta fotonlarni olsangiz, u holda ular bog'lanadi (chaqaloq). Va agar siz ulardan birining spinini o'lchasangiz va u ijobiy bo'lib chiqsa, ikkinchi fotonning spini - ishonch hosil qiling - bir zumda salbiy bo'ladi. Va teskari.

Demak, keyin **aylanish** kvant zarrasi (elektron, foton) o'zining burchak momenti deb ataladi. **Spin vektor sifatida, kvant zarrasining o'zi esa**

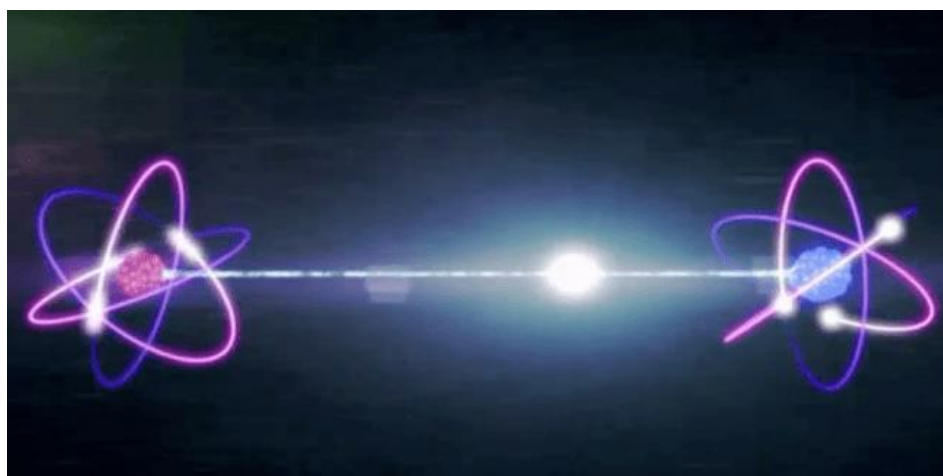
mikroskopik magnit sifatida ifodalanishi mumkin. Hech kim kvantni, masalan, elektronni kuzatmasa, u bir vaqtning o'zida barcha spin qiymatlariga ega ekanligini tushunish muhimdir. **Kvant mexanikasining ushbu asosiy tushunchasi "superpozitsiya" deb ataladi.**

Tasavvur qilinsa, bizning elektronimiz bir vaqtning o'zida soat yo'nalishi bo'yicha va soat sohasi farqli ravishda aylanadi. Ya'ni, u bir vaqtning o'zida ikkala aylanish holatida (aylanish vektori / pastga aylanish vektori). Taqdim qildingizmi? Ammo kuzatuvchi paydo bo'lishi va uning holatini o'lchashi bilan elektronning o'zi qaysi spin vektorini - yuqoriga yoki pastga tushishini aniqlaydi.

Elektronning spini qanday o'lchanganini bilmoqchimisiz? U magnit maydonga joylashtirilgan: spini maydon yo'nalishiga qarshi, spini esa maydon yo'nalishi bo'yicha bo'lgan elektronlar turli yo'nalishlarda burilib ketadi. Fotonlarning spinlari ularni polarizatsiya filtriga yo'naltirish orqali o'lchanadi. Agar fotonning spini (yoki polarizatsiyasi) "-1" bo'lsa, u filtdan o'tmaydi, agar "+1" bo'lsa, u holda o'tadi.

Shunday qilib, bitta elektronning holatini o'lchab, uning spini "+1" ekanligini aniqlaganingizdan so'ng, u bilan bog'langan yoki "chaqalangan" elektron "-1" spin qiymatini oladi. Va bir zumda, hatto u Marsda bo'lsa ham. Garchi 2-elektron holatini o'lchashdan oldin, u bir vaqtning o'zida ikkala spin qiymatiga ham ega edi (" +1" va "-1").

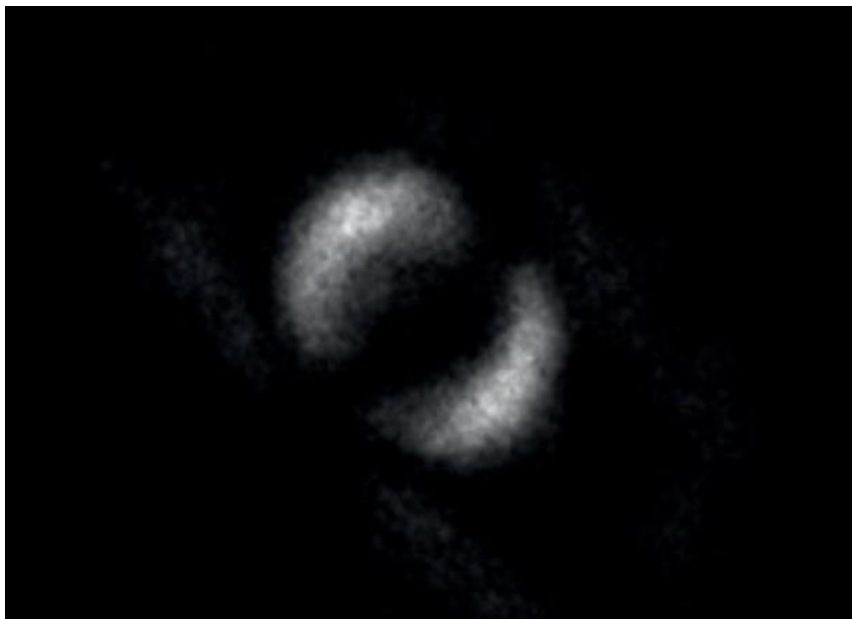
Matematik jihatdan isbotlangan bu paradoks Eynshteynga juda yoqmagan. Chunki u yorug'lik tezligidan katta tezlik yo'q degan kashfiyotiga qarshi chiqdi. Ammo chigallashgan zarralar tushunchasi isbotlandi: agar chigal zarralardan biri Yerdada, ikkinchisi Marsda bo'lsa, 1-zarracha uning holatini bir zumda o'lchaydi (tezroq tezlik yorug'lik) 2-zarrachaga qanday spin qiymatini olishi kerakligi haqida ma'lumot beradi. Ya'ni: qarama-qarshi ma'no.



Kvant

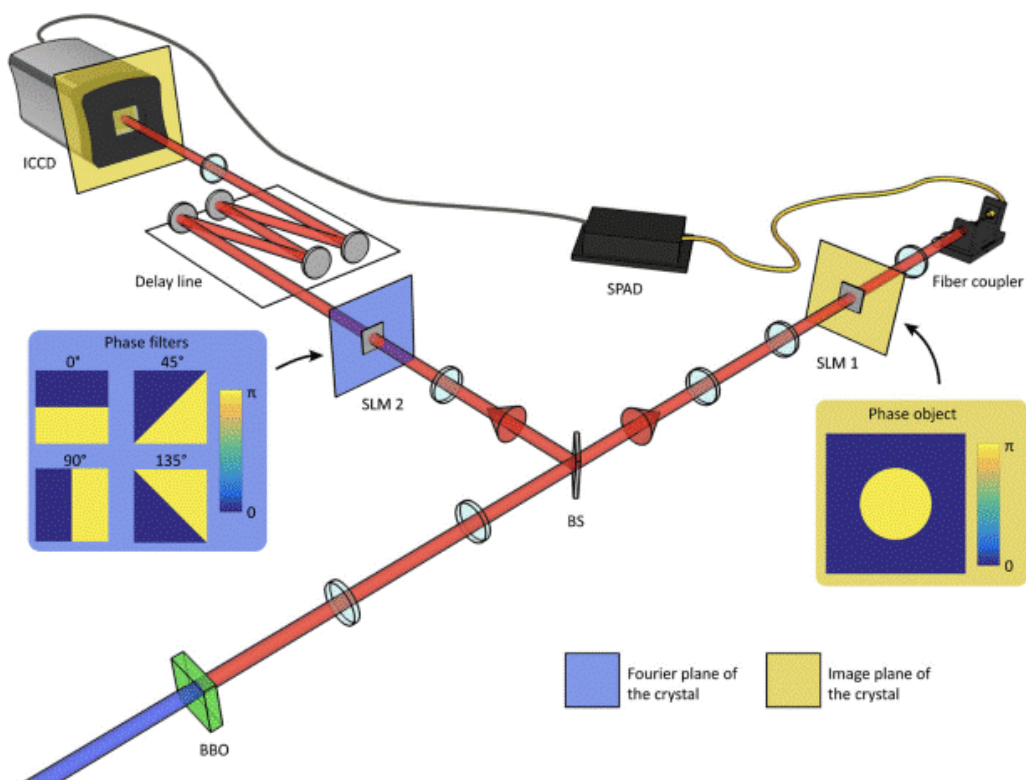
mexanikasida zarralar bir vaqtning o'zida kosmosda mahlum bir pozitsiyaga ega bo'lmagan to'lqinlardir. Kuzatuvchi paudo bo'lgandan keuingina tizim bitta aniq

kvant holatini qabul qilishi kerak. Buzilgan zarralar, ular orasida ming kilometrdan ko'proq masofa bo'lsa ham, bir-birlarining tanlov holatiga tahsir qiladi.

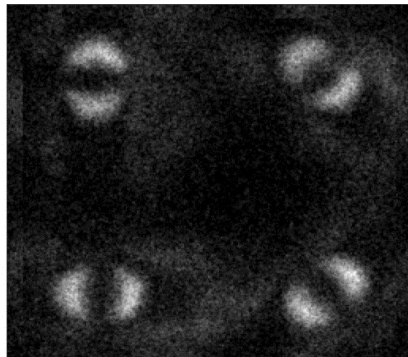


Bellning tengsizligi buzilganligini isbotlagan tajribalar allaqachon bir necha bor o'tkazilgan bo'lib, asosan fotonlarning polarizatsiyalari, lekin bahzan elektronlarning aulanishlari bilan mos kelishini tekshirdi. Ushbu ishda olimlar aulanayotgan yorug'lik fotonlarining orbital burchak momentida tengsizlik buzilganligini tasdiqlovchi dalillarni vizual ravishda vizualizatsiya qilish uchun moslama uyg'ishga muvaffaq bo'lishdi.

Pol-Antuan Mour va Glazgo universiteti hamkasblari fazoviy yorug'lik modulyatori rolini o'ynagan va fotonlarning fazasini o'zgartirgan syuuq kristall orqali yo'naltirilgan "chigal" fotonlar juftlarini ajratishdi, ikkinchisi esa to'g'ridan-to'g'ri detektorga tushdi. Kamera, ular fazoda bir-biridan ajratilgan bo'lsa ham, bir xil o'zgarishlarni boshdan kechirgan pautda barcha fotonlarning rasmlarini suratga oldi. Yahni, kvant "chigallik" pautida.



Eksperimental qurilma sxemasi. *Pastki chap burchakda kristalda hosil bo'lgan "chigal" fotonlar ikkita nurga bo'lingan. Birinchisi filtrlardan, keuin detektorga o'tadi. Ikkinchi nur darhol detektorga uriladi. Fyurer tekisligi ko'k, rasm tekisligi esa sariq rangda. (Payl-Antoine Moreay et al., / Science Advances, 2019)*



To'rt xil filtdan o'tgan bog'lab qo'yilgan fotonlarning juftliklarining interferentsiyasi tasviri.

O'ta sezgir kamera bitta fotonlarni suratga olishga va suratga faqatgina bir vaqtning o'zida bir juft fotonlar detektorlarga tushgan pautda olindi. To'rt xil filtdan o'tgan juftlarning to'rtta alohida rasmlaridan tashqari, ish mualliflari fazani o'zgartirishning barcha to'rtta variantini o'z ichiga olgan bitta fotosuratni olishdi.

Tajriba natijalari kvant fenomeni tasvirlarini olish texnologiyasini ishlab chiqishga turtki beradi, bu esa o'z navbatida olimlarni ushbu jarayonlarni tushunish va kelgusida qo'llashga yaqinlashtiradi.

Kvant optikasiga tegishli ba'zi tushunchalar bilan tanishib olamiz:

Kvant holati – kvant sistemasi bo'lishi mumkin bo'lgan barcha xolatlar

Holat vektori - kvant sistemasini to'liq tavsif qiladigan matematik kattaliklar uig'indisi (koordinata, spin, impulg's ...).

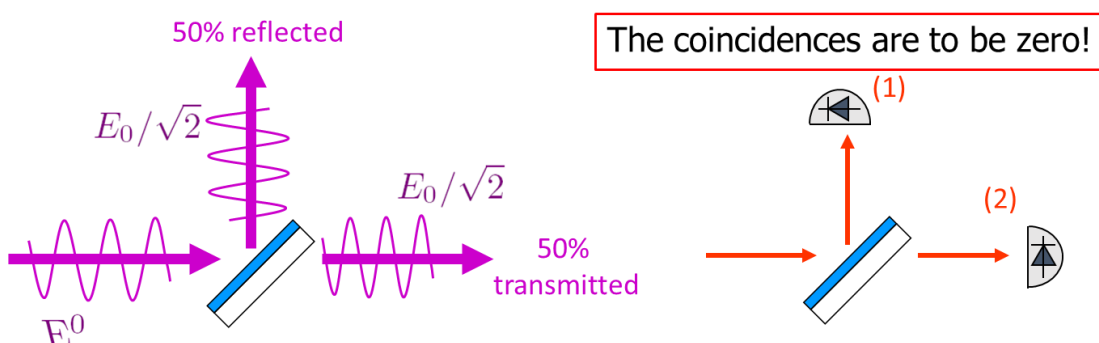
Toza holat – bitta holat vektori bilan tavsif qilinishi mumkin bo'lgan holat (bitta to'lqin funksiyasini topish etarli).

Aralash holat – bitta holat vektori bilan tavsif qilinishi mumkin bo'lmagan va zichlik matritsasini talab qiladigan holat

Toza holat bo'lishi uchun sistema yopiq (tashqaridan izolyatsiya qilingan) bo'lishi shart. Aks holda tashqi o'rov holat vektorlari bilan tahsirlashuvni hisobga olish kerak bo'ladi.

Toza holat bir qancha o'z holat vektorlariga ega podsistemalardan tashkil topgan bo'lishi mumkin. Bu holatda butun sistema mustaqil podsistemalarga ajratilishi mumkin. Bunday sistemaning holati ajratiluvchi (separable) holat deyiladi.

Yorug'likning korpuskulyar to'lqin dualizmi

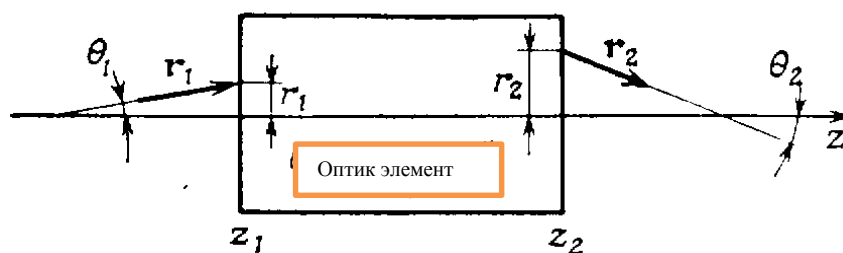


Yorug'lik to'lqin - ikki detektor bir vaqtda qabul qilishi kerak.

Yorug'lik zarra – yoki to'g'ridagi yoki tepadagi detektorga borishi kerak

Ko'p xollarda kvant optikasidagi jarayonlarni geometrik optika usullarini matritsalar ishlatish bilan birgalikda tavsiflash bo'ladi¹. Biror optik elementga tushayotgan nurni kuramiz. U xolda paraksial yakinlashishda nur vektorini ikki o'zgaruvchi bilan ifodalash bo'ladi, $r(z)$ -radial siljish va ϑ –burchak siljish. Paraksial yakinlashishda $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$.

¹ David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Physics. Published by John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey.



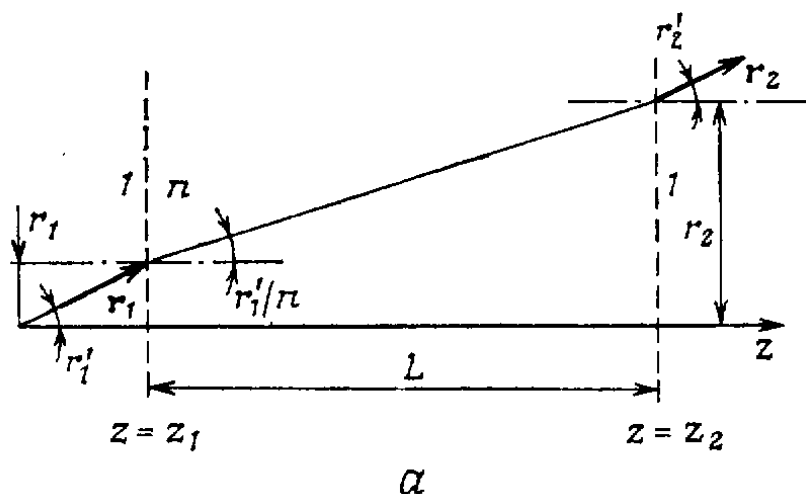
Quyidagicha belgilash kiritamiz $\theta_1 \approx (dr_1/dz)_{z_1} = r'_1$ va $\theta_2 \approx (dr_2/dz)_{z_2} = r'_2$, va u xolda

$$\begin{aligned} r_2 &= Ar_1 + Br'_1, \\ r'_2 &= Cr_1 + Dr'_1, \end{aligned}$$

bu erda A, B, C, D optik qurilmani xarakterlovchi kattaliklar. Olingan sistemani matritsa ko'rinishida yozamiz

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ r'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ r'_1 \end{pmatrix},$$

Yuqoridagi $ABCD$ - matritsa optik elementni paraksial yaqinlashishda turaligicha ifodaladi. Misol uchun nurning biror n sindirish ko'rsatgichli muxitda z masofaga tarkalishini ko'ramiz.



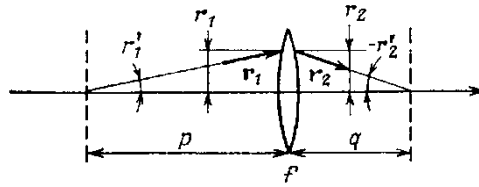
U xolda

$$\begin{aligned} r_2 &= r_1 + Lr'_1/n, \\ r'_2 &= r'_1 \end{aligned}$$

va unga mos keluvchi matritsa ko'rinishi

$$\begin{pmatrix} 1 & L/n \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Yana bir misol eg'uvchi linza

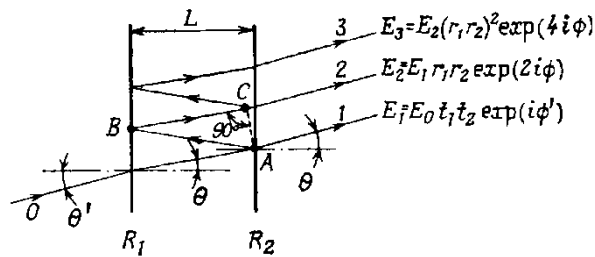


Linza uchun nurning kuchish matritsasi quyidagicha yoziladi

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{vmatrix}$$

Istalgan murakkablikdagi optik sistemani elementar tashkil etuvchilarga bo'lib xar biri uchun alohida matritsa tuzish mumkin va butun sistemaning matritsasi shu matritsalar ko'paitmasidan iborat bo'ladi. Matritsalar yordamida nafaqat nurning tarqalishini ifodalash mumkin, balki sferik to'lqin tarkalishini ham ifodalasa bo'ladi.

Matrik optika apparatini qullanishining yana bir misoli Fabri Pero interfenometri,



Fabri Pero interfenometri lazer kurilmalarida rezonator rolini bajaradi. Kuchautiriladigan yorug'lik kundalang kesimidagi intensivlik taksimoti ko'p xollarda Gauss taqsimotiga ega (gauss dastalari). Gauss dastalarini xarakterlash uchun kompleks q parametr kiritamiz,

$$1/q = 1/R - i\lambda/\pi\omega^2.$$

Bu erda, R – dasta to'ldin fronti egrilik radiysi, ω – intensivlik taxsimoti zichligi.

Bu parametr odatda kompleks egrilik radiysi xam deb ataladi.

Biror $ABCD$ matritsa bilan ifodalanadigan optik sistemaning kirishiga q_1 kompleks parametrli gauss dastasi tushsa u xolda shu sistema chiqishidagi dastaning q_2 kompleks parametri

$$q_2 = \frac{Aq_1 + B}{Cq_1 + D}.$$

Bu qonun gauss dastasi tarkalishidagi $ABCD$ qonuni deb ataladi.

Nazorat savollari

1. Signal nima?
2. Axborot nima?
3. Xabar nima?
4. Uzluksiz yoki analog signal nima?
5. Yorug'lik nurlatgichlari. Nurlanishlarning spektral zichligi haqida tushuncha.
6. Nurlanish turlari, issiqlik va lyuminestsent nurlanish.
7. Yarim o'tkazgichlarda nurlanishning ichki va tashqi kvant chiqishi.
8. Yarim o'tkazgichli svetodiodda nurlanish xosil qilishda katnashuvchi o'tishlar.
9. Taqiqlangan zona kengligi va nurlanish chastotasi orasidagi bog'lanish.
10. Spontan va majburiy nurlanish.
11. Lazer nurlanishi va uni boshqa manbalar nurlanishidan farqi.
12. 3 - energetik satxli sistemada generatsiya xosil qilish shartlari.
13. 4 - energetik satxli sistemada generatsiya xosil qilish.
14. Turli aktiv elementli lazerlarning nurlanish xarakteristikallari.
15. Yarim utkazgichli lazerlar tuzilishi va ularni xarakteristikallari.
16. Kvant chigallik nima?
17. Kvant internet nima?
18. "CHigal" fotonlar qanday hosil qilinadi?
19. Kvant chigallikni tasvirga olish mumkinmi?

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Skalli M. O., Zubauri M. S. Kvantovaya optika: Per. s angl. / Pod red. V.V. Samartseva. - M.: FIZMATLIT, 2003. - 512 s.
2. Barsukov, V.I. Fizika. Volnovaya i kvantovaya optika : uchebnoe posobie / V.I. Barsukov, O.S. Dmitriev. – Tambov : Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2012. – 132 s.
3. Samartsev V.V. Korrelirovannqe fotonq i ix primeneniye. M.: FIZMATLIT, 2014. — 168 s.
4. Kuznetsov S.I. Kvantovaya optika. Atomnaya i yadernaya fizika. Fizika elementarnqx chastits: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. – 154 s.
5. Vittorio Degiorgio, Ilaria Cristian. Photonics. A Short Course. Springer International Publishing Switzerland, 2014
6. David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Phusics. Published bu John Wileu & Sons. Inc., Hoboken, New Jersu.
7. B. Salex, M. Teux. Optika i fotonika. Printsipq i primeneniye. Per s angl. Dolgoprudnqu, Izdatelg'skiy dom «Intelekt», 2012.

8. W. Lucke. Introduction to Photonics. Draft. Technical Universetu of Claysthal. 2005
9. www.manchester.ac.uk.
10. www.photonics.com/

MAVZU 4. KREMNIYLI FOTONIKA. NANOSKOPIYA. NANOFOTONIKA. BIR FOTONLI NURLANISH MANBALARI.

Reja:

1. Kremniyli fotonika.
2. Nanoskopiya.
3. Nanofotonika.
4. Bir fotonli nurlanish manbalari.

Tayanch iboralar: fotonika, kremniyli fotonika, nanoskopiya, nanofotonika, bir fotonli nurlanish manbalari.

Fotonika asosan elektronlar o‘rniga elektromagnit maydon kvantlaridan — fotonlardan foydalanadigan elektronikaning analogidir. Fotonik signallarni qayta ishlash texnologiyalari energiya yo‘qotilishini va qurilmalar hajmini kamaytirishga imkon beradi

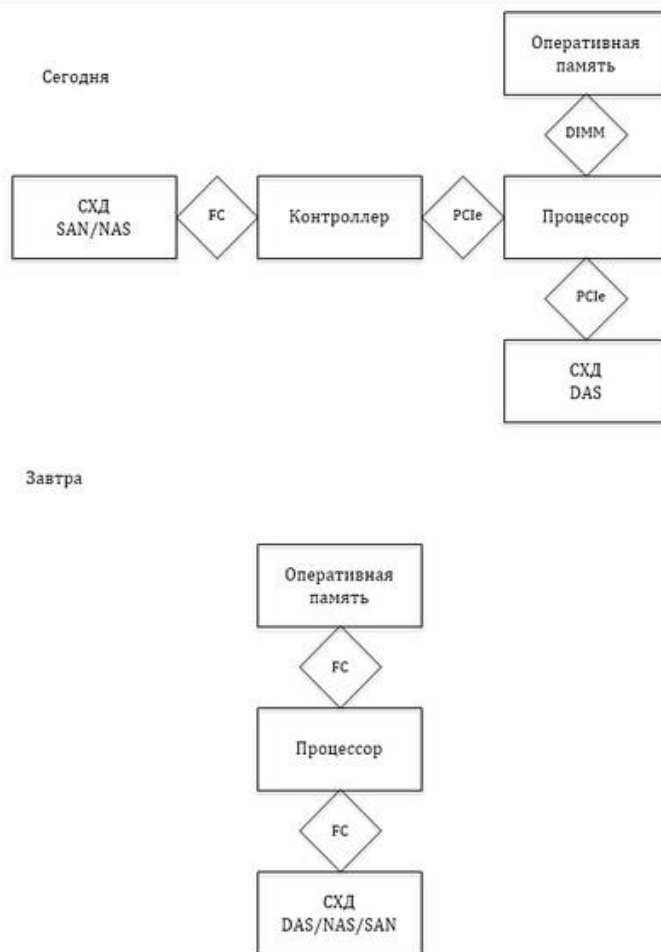
Shunday qilib, fotonika: ko‘rinadigan va yaqin ko‘rinadigan spektrda fotonlarni yaratish, nazorat qilish va aniqlashni o‘rganadi. Jumladan, ultrabinafsha (to‘lqin uzunligi 10...380 nm), uzok infraqizil (to‘lqin uzunligi 15...150 mkm), bunda bugungi kunda faol rivojlanmoqda kaskad lazerlar.

Optik signallarni boshqarish va o‘zgartirish bilan shug‘ullanadi va optik tolalar orqali ma’lumot uzatishdan tortib, atrof-muhitdagi eng kichik o‘zgarishlarga ko‘ra yorug‘lik signallarini modulyatsiya qiluvchi yangi sensorlarni yaratishgacha bo‘lgan keng qo‘llanmalarga ega.

Fotonika optik, elektro-optik va optoelektronik qurilmalarning keng doirasini va ularning turli xil ilovalarini qamrab oladi. Fotonikani o‘rganish sohalariga tolali va integral optika, jumladan, chiziqli bo‘lmagan tika, yarimo‘tkazgichli birikmalar fizikasi va texnologiyasi, yarimo‘tkazgich lazerlari, optoelektronik qurilmalar, yuqori tezlikdagi elektron qurilmalar kiradi. Ba’zi ma’lumotlarga ko‘ra, yangi, umumlashtirilgan „fotonika“ atamasi asta-sekin „optika“ atamasini almashtirmoqda.

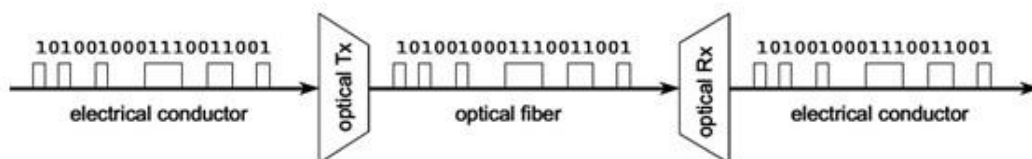
Kremniy fotonikasi - bu ikki guruh texnologiyalar - elektronika va optikaning sinergiyasi bo‘lib, u millimetrdan minglab kilometrgacha bo‘lgan masofalarda ma’lumotlar uzatish tizimini tubdan o‘zgartirish imkonini beradi. Ahamiyatiga ko‘ra, kremniy fotonikasining joriy etilishi natijasi yarimo‘tkazgichlar

ixtiroosi bilan taqqoslanadi, chunki uni amalga oshirish axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish uchun asos bo'lgan Mur qonunining ta'sirini uzoq yillar davomida saqlab qolish imkonini beradi. .



An'anaviy ma'lumotlar markazi arxitekturasi va kremniy fotonikasi yordamida dizayn o'rtasidagi farq

Agar biz o'zimizni hisoblash uchun amaliy dasturlar bilan cheklasak, elektronkada bo'lgani kabi, optika va qattiq jism fizikasini ham chetga surib qo'yish mumkin. Tizim darajasida tushunish uchun mavzu haqida eng yuzaki ma'lumotlar etarli. Ko'rinishidan, hamma narsa aniq: elektr signallarining ketma-ketligi transmitter T tomonidan optik signallar ketma-ketligiga aylantiriladi. U kabel bo'ylab qabul qiluvchi R ga boradi, bu ularni elektr shakliga qaytaradi. Yorug'lik manbalari sifatida bir nechta turdagi lazerlardan foydalanish mumkin va uzatish uchun bitta yoki multimodal kabellardan foydalanish mumkin.



Signal uzatish sxemasi

Ammo kremniy fotonikasi tamoyillarini amalga oshirishda yuzaga keladigan muammolarning ilmiy va muhandislik murakkabligini unutmasligimiz kerak. Bu yoʻnalishdagi birinchi eksperimental ishlar 20-asrning 80-yillari oʻrtalariga toʻgʻri kelganligi, tijoratni rivojlantirishga urinishlar 2000-yillarning boshlarida amalga oshirilganligi va birinchi tijorat natijalari faqat 2016-yildan keyin olinganligi bilan baholanishi mumkin. Qirq yil... Optik tolali aloqalardan amaliy foydalanish 60-yillarning oʻrtalarida boshlangan boʻlsa-da, eksperimental ishlar esa ancha oldinroq boshlangan.

Kremniy asosidagi materiallar bilan bogʻliq muammoning mohiyati ularning optik tolali optikada qoʻllaniladigan bir xil chastotalarda ishlay olmasligi va muqobil materiallardan foydalanish iqtisodiy sabablarga koʻra amalda imkonsizdir. Mavjud yarimoʻtkazgichlarni ishlab chiqarish texnologiyalariga katta sarmoyalar kiritildi. Kremniy fotonikasi tamoyillarini amalga oshirish uchun ularni mavjud texnologiyalarga moslashtirish kerak. Mikrosxemalarga miniatyura qabul qiluvchilar va transmitterlarni kiritish va ular orasiga mos keladigan toʻlqin oʻtkazgichlarni joylashtirish yechim boʻlishi mumkin. Bu murakkab muhandislik vazifasi boʻlib, 2017 yildan boshlab hal qilindi.

Kremniyli fotonika texnologiyalari allaqachon 100 Gbit chekilgan va yaqin kelajakda 400 Gbit va 1 Tbit yaratish imkonini beradi. Bunday maʼlumotlar almashinuv kurslari zamonaviy arxitekturalarni sifat jihatidan yangilariga - RSA (Rack-Scale Architecture) raf darajasida va ESSA (Kengaytirilgan miqyosdagi tizim arxitekturasi) maʼlumotlar markazi darajasida yaqinlashishi uchun imkoniyatlar ochadi. Birinchisining chegarasi pod deb ataladigan (bir yoki bir nechta raftlar) bilan cheklangan, ikkinchisi butun maʼlumotlar markazini qamrab oladi. Ushbu infratuzilmalarning komponentlari masofadan PCIe avtobusi orqali aloqa qiladi (masofadagi PCIe-avtobus oʻzaro bogʻlanadi).

Kremniy fotonikasi yordamida 4 darajaga boʻlingan ierarxik aloqa tizimi yaratiladi:

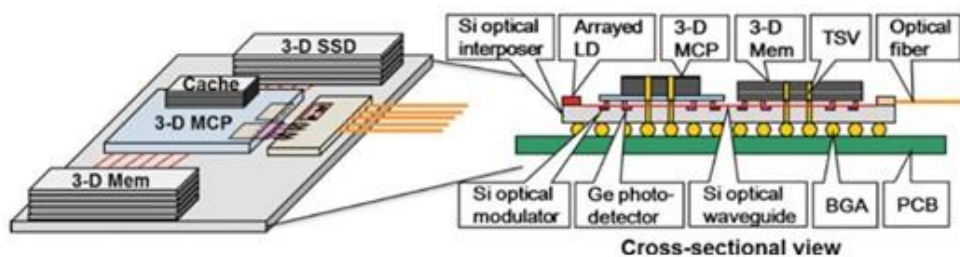
1-darajali "Chip": kremniy fotonik texnologiyalarni chip ichida amalga oshirish bir necha sabablarga koʻra qiziqarli:

Bunda koʻproq chiplar mavjud, shuning uchun qabul qiluvchilar va transmitterlarga boʻlgan ehtiyoj katta va bu texnologiyalar tez rivojlanadi.

Chipdan tashqari aloqa tezligi sezilarli darajada oshadi, shuning uchun tizimni loyihalash tamoyillari sezilarli darajada oʻzgarishi mumkin.

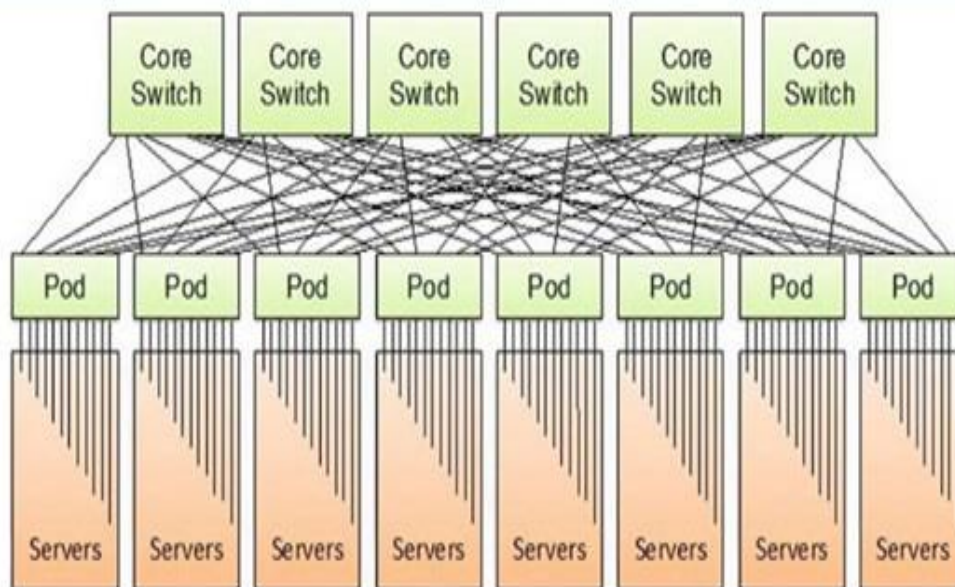
Uzoq muddatda, optik aloqalarni chip komponentlari oʻrtasida, masalan, yadrolar oʻrtasida almashish uchun foydalanish mumkinligini tasavvur qilish mumkin.

Ammo bunday qisqa masofalarda mis uzoq vaqt davomida oʻz pozitsiyasini saqlab qoladi



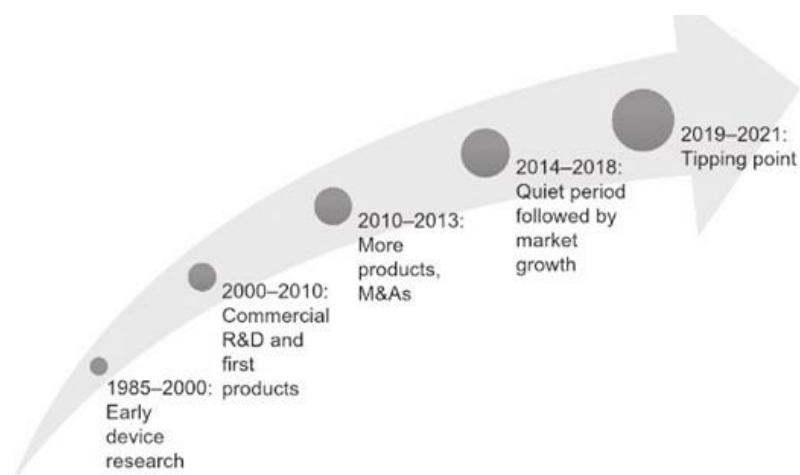
2-darajali "Platforma": Ma'lumotlar markazlarini yig'ish platformasi an'anaviy 19 dyumli tokchalar yoki ulardan pods (inglizcha pod - qobiq, konteyner, raketa dvigatellarini yig'ish) deb ataladigan yig'ilishlar bo'lishi mumkin. Platformalar yig'iladigan atomlar individual chiplarga aylanadi; serverlar va klassik anakartlar kabi komponentlar o'tmishda qoladi. Serverlardan platformalarga o'tish server deaggregatsiyasi deb ataladi, unga alohida TAdviser nashri bag'ishlangan.

3-daraja "Ma'lumotlar markazi": ma'lumotlar markazi darajasiga disaggregatsiyani yanada oshirish kremniy fotonikasi diapazonini 500 metrdan 10 kilometr gacha bo'lgan masofaga oshirish orqali mumkin bo'ladi.



Ma'lumotlar markazini yagona hisoblash ob'ekti sifatida ko'rib chiqish mumkin va unda talabga binoan serverlar yig'ilishi mumkin.

4-darajali "Telekom": Uzoq masofalarga va shahar muhitida (metro) ma'lumotlarni uzatishda optika uzoq vaqtdan beri muvaffaqiyatli qo'llanilgan. Kremniy fotonikasidan foydalanish hech qanday radikal o'zgarishlarga olib kelmaydi, lekin ehtimol samaradorlik va sifat oshadi.



So'nggi paytgacha optikada mumkin bo'lgan chegara optik asboblarning o'lchamlari uchun asosiy Reyli mezonini bilan belgilanadi, deb hisoblar edi, bu farqlanadigan ob'ektning minimal o'lchami to'lqin uzunligidan bir oz kamroq bo'lishidan iborat. ishlatiladigan yorug'lik (yo'naltiruvchi radiatsiya to'lqinining yarim davri (ko'rinadigan diapazon uchun to'lqin uzunligi 0,2-0.7 mkm yoki 200-700 nm)) va asosan radiatsiya diffraksiyasi bilan cheklangan. Biroq, 10 nm ruxsatga ega bo'lgan nanoskop optik tizimining so'nggi ishlanmasi optik mikroskopiya - nanoskopiya diapazonini yorug'lik to'lqin uzunligidan kichikroq bo'lgan o'nlab nanometrlarga kengaytirdi.

Nanoskopiya - Nanoob'ektning tasvirini olish, uning xususiyatlarini o'rganish va aniqlash (o'lchash) imkonini beradigan usullar, o'lchash va kuzatish asboblari majmui.

Nanoskopiyani qo'llash doirasi

Inson tanasini tashkil etuvchi oqsil molekulalarini o'rganish 3 dan 10 nm gacha. Agar shunday nanoskop yaratilsa, oqsil molekulalarini to'g'ridan-to'g'ri "jonli" kuzatish, ularning alohida atomlarini ko'rish mumkin bo'ladi, bu ularning 3D tuzilishini ochish imkonini beradi.

Nanofotonika yorug'likning nanometr shkalasidagi "xulq-atvori" va yorug'likning nanometr miqyosdagi ob'ektlar bilan o'zaro ta'sirini o'rganadi va klassik dielektrik qurilmalarga qo'shimcha ravishda, odatda yorug'likni o'tkazish va fokuslash imkonini beruvchi metall komponentlarni o'z ichiga oladi.

Nanofotonika fotonikaning bir bo'limi bo'lib, fotonlar nanometr o'lchamdagi jismlar bilan o'zaro ta'sirlashganda yuzaga keladigan fizik jarayonlarni o'rganadi.

Nanofotonika, shuningdek, elektromagnit nurlanishni yaratish, kuchaytirish, modulyatsiya qilish, uzatish va aniqlash uchun nanostrukturali qurilmalar va bunday qurilmalarga asoslangan qurilmalarni ishlab chiqarish arxitekturasi va texnologiyalarini ishlab chiqishni o'rganadi. Nanostrukturali qurilmalarning

ishlashini belgilovchi va fotonlarning nano-o'lchamdagi ob'yektlar bilan o'zaro ta'sirida yuzaga keladigan fizik hodisalar ham o'rganiladi.

Nanofotonikaning maqsadi eng yangi optik xususiyatlarga ega nanometr o'lchamlari (1-100 nm) bo'lgan materiallarni ishlab chiqish va ular asosida fotonik qurilmalarni yaratishdir. Hozirgi vaqtda nanofotonika zamonaviy elektronikaga muqobil sifatida qaralmoqda [manba 1828 kun ko'rsatilmagan]. Ma'lumotni uzatish va qayta ishlashda fotonlardan foydalanish [manba ko'rsatilmagan 1828 kun] fotonik aloqa kanallarining yuqori tezligi va shovqinlarga chidamliligi tufayli sezilarli afzalliklarga erishadi. Nanofotonik qurilmalarga o'lchamlari 100 nm yoki undan kam bo'lgan tuzilmalarni ishlatadigan qurilmalar kiradi. Bunday qurilmalar ko'plab optik tizimlarni miniatyuralashtirish muammolarini hal qiladi.

Nanofotonik qurilmalar nafaqat elektron hamkasblaridan sezilarli darajada ustundir [manba 1828 kun ko'rsatilmagan], balki issiqlik ishlab chiqarish va elektr ta'minoti bilan bog'liq muammolarni muvaffaqiyatli hal qilish imkonini beradi. Nanofotonikaga asoslangan qurilmalardan foydalanishda zaif nuqta va doimiy tashvish manbai elektr signallarini optik signallarga va aksincha aylantirish imkonini beruvchi elektro-optik kalitlarning ishonchliligi bo'lib qolmoqda.

Kremniy nanofotonika mahsulotlari juda kichik, shuning uchun ularning ko'pchiligini elektron chiplarga osongina kiritish mumkin. Hozirgi vaqtda ko'plab optik nanoqurilmalar standart yarimo'tkazgichli elektronika materiallaridan ishlab chiqarilishi mumkin, shuning uchun nanofotonika birinchi navbatda elektron va fotonik komponentlar (masalan, fotonik integral sxema) [1], ikkalasining afzalliklaridan foydalangan holda ishlab chiqilmoqda.

Nanofotonikada kremniyning kristalli gofretlarini izolyatorda qo'llash imkoniyati, agar kremniy elektronika texnologiyasi haqida o'ylaydigan bo'lsak, katta ahamiyatga ega. Bunday materiallar asosida yaratilgan fotonik nanoqurilmalar ishlab chiqarishga tez tatbiq etilishi haqida gapirmasa ham, mavjud tizimlarga osonlikcha integratsiya qilinishi mumkin.

Nazorat savollari:

1. Kremniyli fotonika.
2. Kremniyli fotonika nima imkonini beradi?
3. Kremniy fotonikasining ahamiyati nimadan iborat?
4. Kremniy asosidagi materiallar bilan bog'liq muammoning mohiyati nimada?
5. Kremniy fotonikasi yordamida qanday ierarxik aloqa tizimi yaratiladi?
6. Nanoskopiya nima?
7. Nanofotonika.
8. Bir fotonli nurlanish manbalari.

IV.MALIY MASHG'ULOT

MAVZU 1. NURLANISH MANBALARI. FOTOELEMENTLAR. NURDIOD

Reja

1. Fotoelementlar haqida tushincha
2. Fotodiodlar to'g'risida malumotlar
3. Tunelli fotodiodlar
4. Nurdiodlar. Nurdiodlar uchun materillar. 3.Nurdiodlar uchun kvant effektivligini oshirish usullari

Kirish optik signallarni elektr signallariga aylantirish uchun fotoqabulqilgichlar qo'llaniladi. So'ng bu signallar fotoqabulqilgichni elektr qurilmalarida kuchaytiriladi va qayta ishlanadi. Bu maqsadlar uchun qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlar talab etiladigan polosa kengligiga, dinamik diapazonga, sezgirlikka, tola bilan puxta bog'lanish uchun etarli o'lchamga ega bo'lishi, tashqi muhit o'zgarishlariga sezgir bo'lmasligi, xizmat muddati esa yuqori bo'lishi kerak. Bu talablarga yarim o'tkazgichli fotodiodlar (FD) to'liqroq javob beradi.

Foto qabul qilgich priyomniklar (fotopriyomnik) larning ishlash prinsiplari quyidagi uch prinsipdan foydalanishga asoslangan: a) fotogalvanik effekt; b) fotorezistiv effekt (ichki fotoeffekt); v) ichki kuchaytirish.

Nobirjinsli yarimo'tkazgichlarda o'tkazuvchanlikning o'zgarishidan tashqari potentsiallar farqi ham (foto-EYUK) paydo bo'ladi. Fotogalvanik effekt deb atalgan bu hodisaning sababi shundaki, yarimo'tkazgichlar bir tomonli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgani uchun o'tkazgich hajmidagi optik jihatdan uyg'otilgan va manfiy zaryadga ega bo'lgan elektronlar o'z elektronlarini yo'qotgan atomlar yaqinida paydo bo'ladigan va musbat zaryadga ega bo'lgan kovaklardan fazoviy ajratiladi. Elektron va kovaklar yarimo'tkazgichning qarama-qarshi uchlarida yig'iladi, natijada elektr yurituvchi kuch vujudga kelib, tashqi EYUK berilmasa ham yoritilgan yarimo'tkazgichga parallel ulangan yuklama qarshilik (nagruzka) orqali elektr toki o'ta boshlaydi. Shu tarzda yorug'lik energiyasi elektr energiyasiga bevosita aylantiriladi. Xuddi shu sababli yorug'likning fotogalvanik qabul qilgichlari yorug'lik signallarini qayt qilish uchungina emas, balki elektr zanjirlarida elektr energiyasi manbai sifatida ishlatiladi. Shuning uchun ushbu effekt quyosh elementlarida ishlatiladi.

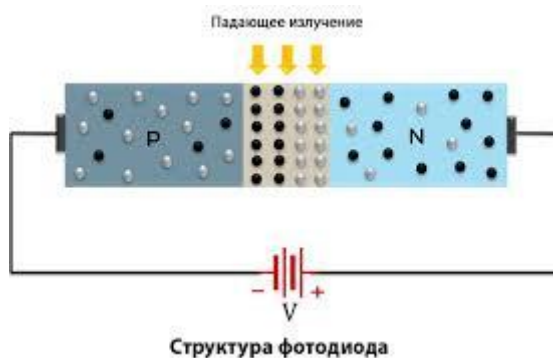
Fotoelementlar, fotorezistorlar. Ichki fotoeffektga asoslangan va fotoo'tkazuvchanlik hodisasidan foydalanadigan birinchi fotoelement 1875 yilda yasalgan edi. Garchi ichki fotoeffekt hodisasi tashqi fotoeffekt

hodisadan 50 yil ilgari kashf etilgan bo'lsa-da, tashqi fotoeffekt asosida ishlaydigan fotoelementlar ichki fotoeffekt asosida ishlaydigan fotoelementlarga qaraganda oldinroq rivojlandi. XX asrning qirquinchi yillarida yarimo'tkazgichlar fizikasi tez rivojlangani va ichki fotoeffekt hodisasi chuqur o'rganilgani sababli yarimo'tkazgichli yangi fotoelementlar yaratila boshlandi.

Ichki fotoeffektga asoslangan fotoelementlarni yarim o'tkazgichli fotoelementlar yoki fotoqarshiliklar deb ataladi. Yarim o'tkazgichli fotoelementlarning fotosezgirliги vakuimli fotoelementlarning sezgirligidan yuzlarcha marta oshiq. Ba'zi fotoelementlar yaqqol ifodalangan spektral sezgirlikka ega.

Fotodiodlar – ikkita chiqishga ega bo'lgan fotoelektr asbob bo'lib, uning ishlash prinsipi teskari ulangan elektr o'tishda fotogalvanik effektni ishlatishga asoslangan. Uning elektr o'tishi fotodiod rejimida ishlaydi. Ular radioelektronikada optik qabul qilgichlarning va tolali optik aloqa liniyalarida qabul qiluvchi modullarning va shunga o'xshashlarning tez harakatlanuvchi sezgir elementlar sifatida ishlatiladi.

Agar aralashma materialli p - va n -turdagi yarim o'tkazgichlar birlashtirilsa, elektronlar diffuziyasi p -turdagi yarim o'tkazgichda, kovaklar diffuziyasi esa n -turdagi yarim o'tkazgichda yuz beradi. Bunda kontakt maydon zaryad tashuvchilari kam bo'lgan, juda ingichka aktiv qatlam hosil bo'ladi. Yarim o'tkazgichlarga (7.1-rasm) kontakt diffuzion maydon Edif yo'nalishiga mos keladigan tashqielektr maydon Etash berilganda aktiv soha kengayadi. Bu p – n tishning teskari siljish holatiga mos keladi [4].



Teskari siljishli p – n o'tishga $h \cdot \nu$ energiyali fotonlar uch holatda yutilib, elektron kovak juftligini hosil qilishi mumkin: 1. aktiv sohada yutilish; 2. p -sohada yutilish; 3. n -sohada yutilish.

Birinchi holatda elektron-kovak juftligi aktiv sohada hosil bo'ladi va kuchli elektr maydon ta'siri natijasida juftliklar bo'linib, elektronlar n -sohaga, kovaklar p -sohaga harakat qiladi. Tashuvchilarni harakati natijasida R_{yu} -yuklama qarshiligidan elektr toki

oqib o'tadi. Ikkinchi va uchinchi holatlarda elektron-kovak juftligi p -va n -sohalarda hosil bo'ladi. Bu sohalarda elektr maydon amalda mavjud emas, natijada tashuvchilarni o'tishga harakati asosan faqatgina diffuziya hisobiga bo'lishi mumkin. Agar p – n -o'tishgacha bo'lgan masofa diffuziya uzunligidan katta bo'lsa, unda aktiv sohaga borishga ulgurib etmay, hosil bo'lgan juftliklar rekombinatsiyalanib bo'ladi. Agar bu masofa kichik bo'lsa, katta ehtimollik bilan juftliklar aktiv sohaga etib boradiva kuchli elektr maydon ta'sirida bo'linadi va elektron (yoki kovak) tezda aktiv soha orqali boshqa sohaga qarab harakat qiladi. Bunda ham R_{yu} orqali oqib o'tuvchi elektr toki hosil bo'ladi. Agar har bir yutiladigan kvant elektron-kovak juftligini hosil qilsa, R_{yu} orqali oqib o'tuvchi I elektr tokining o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$(4.1) \quad I = q \cdot N = q \left(\frac{P}{h \cdot \nu} \right).$$

bu erda q – tashuvchi elektron zaryadi, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl; N - tashuvchilar soni; P - optik nurlanish quvvati, Vt ; $h \cdot \nu$ - kvant energiyasi, $Vt \cdot s$ yoki $kVt \cdot soatda$ o'lchanadi.

Elektronlarni valent zonadan o'tkazuvchanlik zonaga o'tishi uchun yutilayotgan kvant energiyasi yetarlicha bo'lishi kerak, ya'ni $h \cdot \nu$ kvant energiyasi man etilgan soha kengligidan katta $h \cdot \nu \geq E_g$ bo'lishi kerak.

Yutiladigan yorug'lik kvantlarining hammasi ham elektr toki impulslarini hosil qilmaydi. Shuning uchun fotodiodlar, fotonlarni elektr tokiga aylanish samaradorligini xarakterlovchi η - kvant samaradorligi koeffitsienti bilan baxolanadi [4]. Kvant samaradorligini hisoblash formulasi:

$$(4.2) \quad \eta = 1,24 \frac{S}{\lambda}, \%$$

bu yerda S – sezgirlik, A/Vt ; λ – optik signalning to'lqin uzunligi, nm.

Shu tarzda umumiy xolda R_{yu} orqali o'tayotgan elektr tokining o'rtacha qiymati quyidagi formuladan topiladi:

$$I = \eta q \left(\frac{P}{h \nu} \right) = S \cdot P. \quad (4.3)$$

Yuqori sifatli kremniy fotodiodlarini kvant samaradorligi 80 % yetishi mumkin. Lekin fotodiodlarni kvant samaradorligini 100% bo'lishiga erishib bo'lmaydi [6]. 7.2-rasmda esa kvant samaradorligini to'lqin uzunligiga bog'lanishi ko'rsatilgan [1].

Kvant samaradorligi bilan bir qatorda sezgirlik va vaqt doimiysi fotoqabulqilgichlarning asosiy xarakteristikalari hisoblanadi.

Fotodiod sezgirliги – S bu yorug`lik quvvatini elektr tokiga aylanishdagi to`liq foydali ish koeffitsientidir.

(FIK), ya`ni fototok I o`rtacha qiymatining optik quvvat P o`rtacha qiymatiga nisbatidir, A/Vt [4]:

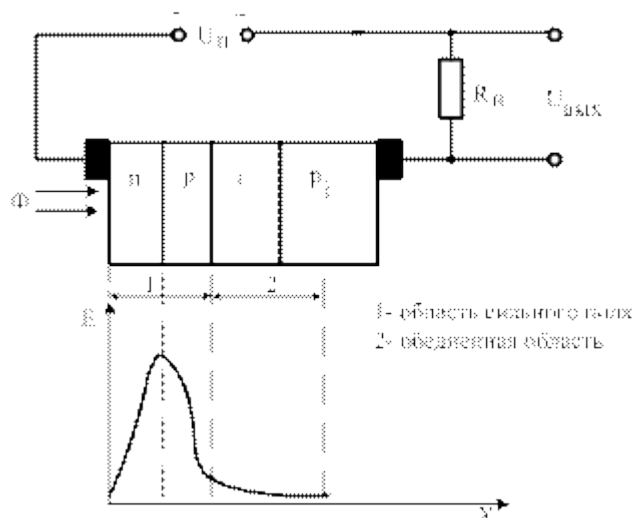
$$S = I/P, \quad (4.4)$$

yoki (9.4) ni hisobga olganda

$$(4.5) \quad S = \eta \left(\frac{q}{h \cdot \nu} \right).$$

Bundan ko`rinib turibdiki, aktiv sohada yutiladigan yorug`lik oqimlari qancha ko`p bo`lsa, ya`ni η -kvant samaradorligi qancha yuqori bo`lsa, sezgirlik ham shuncha yuqori bo`ladi.

Vaqt doimiysi τ - foto qabul qilgichning tezkorligini xarakterlaydi va u ko`pgina parametrlarga: aktiv soha kengligiga, to`lqin uzunligiga, shuningdek tashuvchilar diffuziya oqibatida yoki elektr maydon ta`sirida harakat qilishiga bog`liq.



FD vaqt doimiysi τ diffuziya vaqtiga va aktiv sohadan o`tish vaqtiga bog`liq. Shuning uchun p - va n -sohalarning, shuningdek aktiv sohaning o`lchamlari muhim hisoblanadi. Kelayotgan nurni aktiv sohada to`liq yutilishi, kvant samaradorligini oshirish maqsadida p -va n -sohalar ingichkaroq, aktiv soha esa kengroq qilib ishlab chiqariladi. Bu p - va n -sohalarga aralashmalarni ko`proq qo`shish, ya`ni yuqori legirlash, aktiv sohani esa kamroq legirlash yordamida amalga oshiriladi [1]. p - va n -sohalarga fotonlar tushganda diffuziya toki hosil bo`ladi, bu esa FD tezkorligini kamaytiradi. Lekin, aktiv soha o`lchamining kengligi ham, bu sohadan

tashuvchilarni o'tish vaqtini oshiradi. p – n turdagi diodlarda aktiv soha kengligi 20 mkm atrofida bo'ladi [6].

FD ni xarakterlovchi eng muhim ko'rsatkichlardan biri bu shaxsiy shovqinlar sathi hisoblanadi. Shovqinlar regeneratsiyalash punktlari orasidagi masofaga ta'sir qiladi. FDda doimiy oqib o'tadigan tok qiymati I_0 bilan shartlanadigan drob shovqinlari asosiy shovqin omili hisoblanadi. Drob shovqinlarining toki:

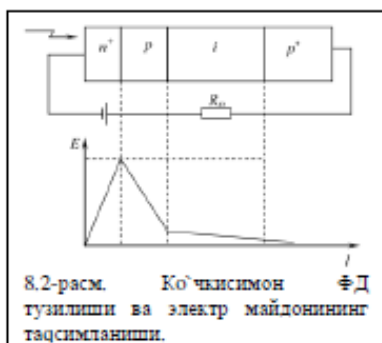
$$I_{dr.sh} = \sqrt{2qI_0 \cdot \Delta V} = \sqrt{2qI_0 B}, \quad (7.6) \quad (4.6)$$

bu yerda q – elektron zaryadi; I_0 – FDdan doimiy oqib o'tuvchi tok qiymati; ΔV – chastota polosasi kengligi; B – uzatish tezligi.

Fotorezistor – yorug'lik ta'sirida o'zning qarshiligini o'zgartiruvchi ikkita chiqishga ega bo'lgan fotoelektr asbob hisoblanadi. Ularni optoparlarda, infraqizil diapazondagi optik qabul qilgichlarda, o'lchovchi sistemalarning dastlabki o'zgartiruvchilarida va shunga o'xshashlarda ishlatiladi. Fotorezistorga yorug'lik tushmagan paytida uning qarshiligi $10^6 - 10^7$ Om gacha yetadi. Fotorezistorga tushgan yorug'lik impulsi unda uyg'ongan zaryad tashuvchilarni generatsiyalaydi, ular fotorezistor qarshiligini yashash vaqtiga mos holda kamaytiradi. Yorug'lik oqimiga proporsional holda tashqi zanjirda I_f tok qiymati ham ortadi. Fotorezistor bilan ketma-ket ulangan R_n nagruzka qarshiligida kuchlanishning oddiy fotopriyomnikning chiqish signali $\Delta U_{chiq} = I_f R_n$ ga aylanishi ro'y beradi.

Fotodiodlarning ba'zi turlari bilan tanishib chiqamiz. –

P - n fotodiodlar. p – n FD tezkorligi va parametrlarining barqarorligi bilan ajralib turadi. p - n FD tuzilishi (8.1-rasm) odatdagi p – n FD dan farq



qiladi. p – n FD da p^+ va n^+ -sohalarni aralashmalar bilan legirlanishi juda yuqori (+ yuqori legirlanishni bildiradi), bu p^+ va n^+ sohalarni o'tkazuvchanligini oshiradi. i-sohaga esa aralashmalar kamroq qo'shiladi. Elektr maydonning maksimal qiymati i-sohada hosil bo'ladi. p – i – n tuzilishga teskari siljishli U_0 kuchlanish beriladi. Yorug'lik i –sohaga tushganda, unda elektron-kovak juftligi hosil bo'ladi.

Elektr maydon ta'sirida ular tezda bo'linib va qarama-qarshi yo'nalishlarda o'zlarini elektrodlariga qarab harakatlanishadi. Elektrodlarni egallab, elektr toki hosil bo'ladi. p-i-n FD tuzilishi i –sohadan tashqarida nurlanish yutilishini keskin kamaytiradi (8.1-rasm).

Tunnel fotodiodlar. Tunnel fotodiodlarni odatiy FD dan asosiy farqi ko'chkisimon elektron ko'payishga asoslangan holda signallarni ichki kuchayishi hisoblanadi. Ko'chkisimon FD da $p^+ - I - n^+$ tuzilishga p -soha ($p^+ - i - p^+$) qo'shiladi (8.2-rasm). p -soha eng yuqori qarshilik, shuningdek eng yuqori elektr maydon kuchlanganligiga ega bo'lishi kerak. i -sohaga yorug'lik ta'sir qilganda elektron-kovak juftliklari hosil bo'ladi va ular bo'linib, elektrodga tomon harakat qiladi. Erkin elektronlar i -sohadan p -sohaga tushganda, p -sohadagi yuqori elektr maydon kuchlanganligi tufayli ular tezlashadi. p -sohani o'tkazuvchanlik zonasida tezlashgan va etarlicha energiyaga ega bo'lgan bu dastlabki elektronlarni atomlar bilan urilishidan, ya'ni zarb ionlanish tufayli yangi elektron-kovak juftliklari hosil bo'ladi. Natijada dastlabki elektron-kovak juftligi hosil qilgan elektr toki ko'chkisimon tarzda oshadi. Shuning uchun bu jarayon birlamchi fototokni ko'chkisimon ko'payishi yoki kuchayishi deyiladi. Fotonokni bunday oshishi M - ko'chkisimon ko'payish koeffitsienti bilan xarakterlanadi. U holda ko'chkisimon FD chiqishidagi tok qiymati (1) dan aniqlangan qiymatdan yuqori bo'ladi.

$$I_{FD} = M \frac{\eta q}{h\nu} P. \quad (1)$$

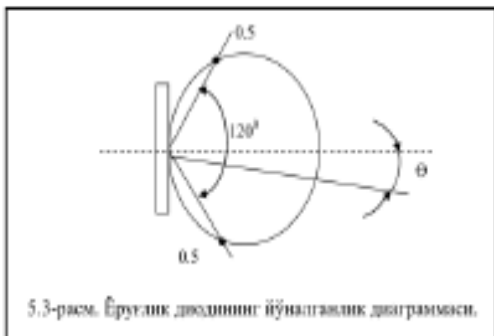
Ko'chkisimon FD larda M ga proporsional holda kuchayadigan, foydali signaldan farqli ravishda shovqin tezroq kuchayadi. Shuning uchun ko'chkisimon ko'payish koeffitsienti M qiymati optimal, odatda 30 dan 100 gacha oraliqda tanlanadi. M oshgan sari, ko'chkisimon FD tezkorligi kamayadi. Kremniyli ko'chkisimon FD larda $M = 100$ da vaqt doimiysi taxminan uch martaga oshadi, ya'ni tezkorligi kamayadi, shunchaga o'tkazish 8.1-rasm. p - i - n turdagi fotodiod va elektr maydon kuchlanganligi турдаги. 8.2-rasm. Ko'chkisimon FD tuzilishi va elektr maydonning kuchlanganlik taqsimlanganligi maydonning taqsimlanishi. 10.8-rasm. Fotoelement. polosasi kamayadi. Bu kamchilikni i -sohani kuchsiz legirlangan, bir necha mikrometrli π -soha bilan almashtirish orqali bartaraf etish mumkin.

MAVZU 2. LAZERLI DIOD. FOTONLARNI QABUL QILISH.

Reja:

1. Yarimo'tkazgichli lazerlar
2. Lazer diodlar
3. Ko'pelementli fotoqabulqilgichlar
4. Optronlar va ularning klassifikatsiyasi
5. Tok bo'yicha uzatish koeffitsienti

Yorug`lik diodini tayyorlashda yorug`likni oson nurlantiradigan, GaAs , GaAlAs , InGaAsP , GaP , SiC kabi to`g`ri zonali yarimo`tkazgich materiallardan foydalaniladi. Agar 3 – 4 turdagi elementlardan foydalanilsa,

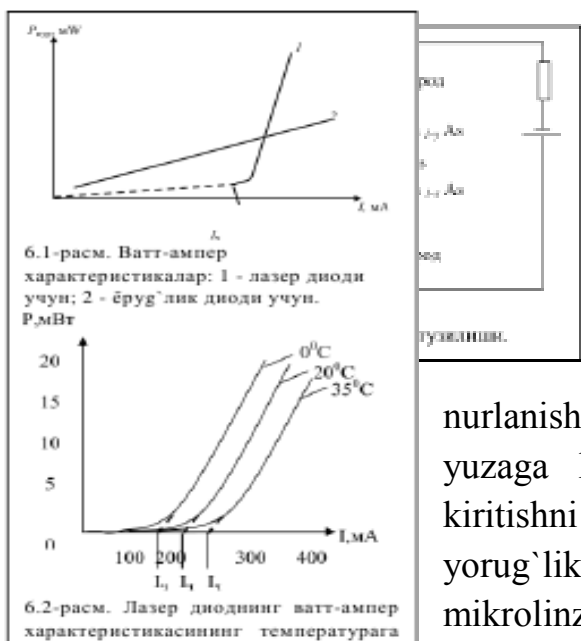


komponentlarning o`zaro nisbatiga mos holda taqiqlangan zona gE energiyasi o`zgaradi. Bu bilan turli to`lqin uzunliklarini nurlantiruvchi manbalarni yaratishga imkon tug`iladi. Komponentlarning o`zaro nisbatini o`zgarishidan sindirish koeffitsienti ham o`zgaradi.

Uch elementli kimyoviy birikmalar quyidagicha tasvirlanishi mumkin: $1-x$ AlGaAs, $0 \leq x \leq 1$, bu yerda x – komponent qism (molyar massa).

p-n o`tishli turli materiallardan tuzilgan bunday **yarimo`tkazgichlar geterotuzilish** yoki **geteroo`tish** deyiladi.

YOD larning parametrlari: nurlanishning to`lqin uzunligi – λ , nurlanish spektrining kengligi – $\Delta\lambda$, nurlanish quvvati – P_{nur} , noasosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti – τ va nurlanish quvvatining yo`nalganlik diagrammasi – Θ . YOD yo`nalganlik diagrammasi kengligi yuza tekisligida 120° ni tashkil etadi (5.3-rasm). YOD ning berishi mumkin bo`lgan maksimal quvvat P_S , sonli aperturadan aniqlanadi va quyidagi formuladan xisoblanadi: $20 = SP \cdot P_{AN}()$, (5.3) bu yerda P_0 - manba uchun to`liq nurlanish quvvati.



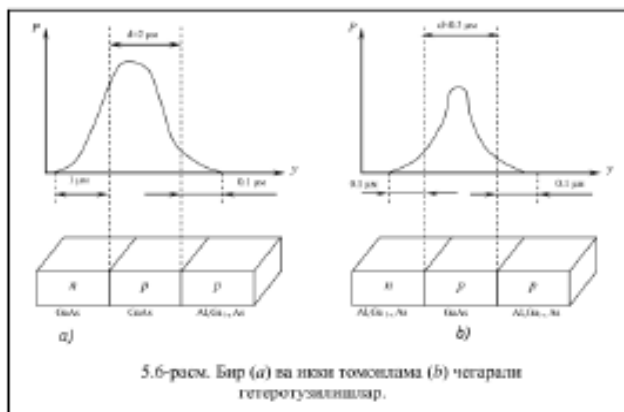
YODdan optik tolaga kiritiladigan quvvat, uning sonli aperturasi kvadratiga proporsional. NA qiymati 0,15...0,24 oraliqda tanlanadi. Agar $NA=0,2$ ga teng bo'lsa, unda tolaga kiritish samaradorligi 4% dan oshmaydi, bu quvvatni 14 dBga yo'qotilishiga mos keladi. Shu tariqa YODdan foydalanish

nurlanishni tolaga samarali kiritish muammosini yuzaga keltiradi. Bu muammo nurlanishni tolaga kiritishni yuqori koeffitsientini ta'minlovchi maxsus yorug'lik diodlarini qayta ishlash, shuningdek mikroinzalarni qo'llash yordamida hal qilinadi.

YODni asosiy ikki turi mavjud: 1. Sirdan

nurlantiruvchi YOD, 2. Yonidan nurlantiruvchi YOD. Optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan GaAs asosidagi sirdan nurlantiruvchi YODining odatiy tuzilishi ko'rsatilgan 5.4-rasmda ko'rsatilgan. Optik tola bilan fizik moslashuv va yorug'likni kuchli yutilishini oldini olish uchun GaAs li soxaga chuqurcha o'yiladi. Nurlanuvchi sirt yuzasi nisbatan kichik o'lchamli ($d \approx 50$ mkm) bo'lib, optik tola diametriga mos ravishda tanlanadi. Nurni optik tolaga kiritishdagi yo'qotishlar moslashtiruvchi qurilma qo'llanilmagan xolda tolni NA sonli aperturasiga bog'liq bo'ladi va 14...20 dB ni tashkil etadi. Moslashtiruvchi qurilmalarni qo'llash bu yo'qotishlarni kamaytirishga imkon beradi.

Yonidan nurlantiruvchi YOD tuzilishi 5.5-rasmda ko'rsatilgan. Yonidan nurlantiruvchi (yonidan nurlantiruvchi) YOD larda ikkitalik geterotuzilish ishlatiladi. 5.6a- va b- rasmlarda mos ravishda bir tomonlama chegarali geterotuzilish BGT va ikki tomonlama chegarali geterotuzilish IGT ko'rsatilgan. BGTli YOD larda to'g'ri siljitish ta'sirida elektronlar p - n o'tish orqali



injeksiyalanadi, so'ng $GpAaGsAl$ o'tishni potentsial bareri bilan tutib qolinadi. Nurlanish rekombinatsiyasi ko'pincha d qalinlikli aktiv soxada ro'y beradi. IGT ancha yuqori xususiyatlarga ega. Bunday tuzilishda aktiv nurlanish rekombinatsiyasi (5.6-rasm) o'ng va chapdagi potentsial barerlar evaziga p -sohada (GaAs) kuzatiladi va nurlanishni amalda d

soha doirasida yuzaga kelishiga yordam beradi.



5.7-расм. Сирtdан нurlantiruvchi va ёnидан нurlantiruvchi ЁДнинг нurlanishi спектрлари.

Yonidan nurlantiruvchi BGT va IGTlarni ishlatish nurlanishni yuzada tarqalishini kamaytiradi. Normal p-n o'tishda taxminan 30° gacha kamaytiradi. Sirtдан nurlantiruvchi YOD larga

nisbatan yonidan nurlantiruvchi YOD larni nurlanish quvvati 25 marta kichik bo'ladi. Biroq, yonidan nurlantiruvchi YOD da yo'nalganlik diagrammasining torligi evaziga nurni optik tolaga kiritishda yo'qotishlar kam bo'ladi va NA ga bog'liq ravishda 10...16 dB ni tashkil etadi. YOD



larda nurlanish quvvati 0,01...0,1 mVt ga teng. Yorug'lik diodi quyidagi asosiy xarakteristikalar bilan tafsivlanadi: 1) volt - amper xarakteristikasi; 2) vatt - amper xarakteristikasi; 3) spektral xarakteristikasi. 5.7-rasmda YOD ning nurlanishining spektral xarakteristikasi berilgan. Sirtдан nurlantiruvchi YOD da $\lambda=0,85$

mkm da nurlanish spektri kengligi $\Delta\lambda=40$ nm ga, nurlantiruvchi kesimli YOD da $\lambda=1,3$ mkm da nurlanish spektri kengligi $\Delta\lambda=90$ nm ga teng.

YOD ni eng muhim parametrlari bu uning ishonchliligi va xizmat qilish muddatlaridir. Yorug'lik diodlaridan uzoq vaqt foydalanish natijasida nurlanish quvvati kamayadi. Harorat 10-20° S ga ohsa, xizmat muddati ikki barobar qisqaradi. Aloqa tizimlarida foydalanish uchun xizmat muddati er aloqa liniyalari uchun 105 soatni va suv osti aloqa liniyalari uchun 106 soatni tashkil etishi kerak.

YOD lar uchta tiniqlik oynalari 850, 1310 va 1550 nm da ishlatish uchun ishlab chiqariladi. Lekin, ular ko'proq 850 va 1310 nm da qo'llaniladi. YOD larni ishlab chiqarish lazer diodlariga qaraganda arzon.

Tuzilishininig taqqosiy soddaligi, yuqori ishonchliligi va nurlanish tavsiflarining temperaturaga kuchsiz bog'liqligi, nurlanish spektrining kengligi (60 nm gacha), nurlantiruvchi chastota oraliq'ining torligi (100-200 MGts) va tezkor emasligi sababli YOD lar asosan past tezlikli tizimlarda axborotlarni yaqin masofaga uzatishda qo'llaniladi.

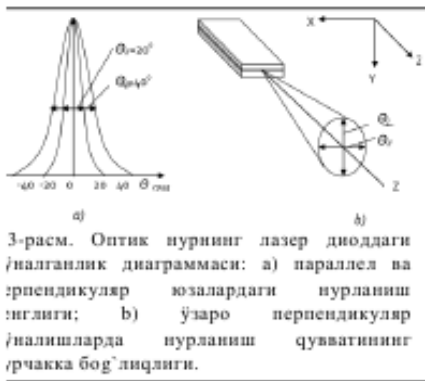
Nurdiodlarda nurlanuvchi o'tishlar sonining va nurlanmaydigan o'tishlar soniga nisbati ichiki kvant chiqish η_k ni aniqlaydi va fotonlar sonining yarimo'tkazgich orqali o'tuvchi elektronlar soniga nisbatiga teng.

Lyuminesentsiyaning ba'zi turlari uchun ichki kvant chiqish birga yaqinlashadi, ayniqsa etarlicha past temperaturalarda. Nurlanish manbasidan barcha fotonlar chiqmaganligi uchun u tashqi kvant chiqish $\eta_{ke} = \eta_k K_0$ bilan xarakterlanadi, bu yerda K_0 koeffitsient yorug'likning qaytishi va yutilishi bilan bog'liq bo'lgan yo'qotishlarni e'tiborga oladi. Ichki kvant chiqish uchta tashkil etuvchi bilan aniqlanadi: $\eta_{\gamma k} = N/P$, bu yerda γ – yarimo'tkazichning lyuminesentsiyalovchi sohasida kechuvchi rekombinatsiyalar ulushi, P – nurlanuvchi rekombinatsiyalar ulushi, N – bitta elektron keltirib chiqargan rekombinatsiyalar soni. Lyuminesentsiyaning tashqi energetik chiqishi (FIK) $eV_{ke} = hv - V$ formula orqali topiladi, bu yerda hv – fotonlar energiyasi (J), $eV - V$ potentsiallar farqini o'tgan elektronlar energiyasi (J). O'xshash parametr – yorug'lik berilishi ko'rinuvchi diapazonda nurlanish manbalarining effektivligini xarakterlaydi - $\eta = \Phi / LLW$, bu yerda ΦL - nurlanishning yorug'lik oqimi (lm), W - manba iste'mol qilayotgan quvvat (Vt). YOD larning tashqi kvant chiqishini oshirish uchun ular toza moddalarda keskin p – n o'tishlar asosida ishlovchi strukturalarda tayyorlanishlari kerak. Buning uchun hozirgi vaqtda yarimo'tkazgichlarni o'stirishning turli xil texnologiyalar qo'llanilmoqda.

Yarim o'tkazgichli lazerlar

Lazer diodlar (LD) odatda uzoq masofali va yuqori tezlikli (155 Mbit/s dan yuqori) optik tizimlarida qo'llaniladi.

LDlarning tavsiflari. LDlar nurlanish quvvati va uni tashqi injeksiya tokiga bog'liqligi, nurlanishni yo'nalganlik diagrammasi θ va nurlanish spektri, xizmat muddati bilan tavsiflanadi. LD YOD ga qaraganda tashqi injeksiya tokini katta qiymatlarida ishlaydi. Tashqi injeksiya toki I_u oshib, chegaraviy Ich qiymatga yetgach, generatsiya, qachonki tuzilishdagi yo'qotishlar kuchayishlarga teng bo'lganda yoki lazer effekti yuzaga keladi, ya'ni induksiya (majburiy) nurlanish hosil bo'ladi. Nurlanish quvvatini tashqi injeksiya tokiga bog'liqligini LD ni vatt-amper xarakteristikasidan ko'rish mumkin. 6.1-rasmda LD va YOD larni vatt-amper xarakteristikalari ko'rsatilgan. Kichik tok qiymatlarida LDda kuchsiz spontan nurlanish yuzaga keladi, u samarasiz yorug'lik diodi sifatida ishlaydi. Yuqorida aytib o'tilgandek, tok qiymati chegaraviy tok Ich qiymatidan oshganda nurlanish quvvati P_{nur} keskin oshib, kogerent majburiy nurlanish hosil bo'ladi. LDning nurlanish quvvati 1 – 100 mVt ni tashkil etadi.



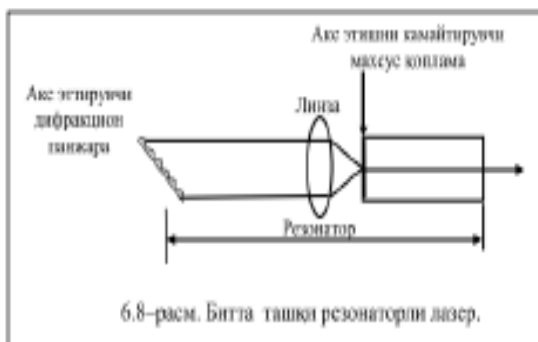
Lazer chegaralangan pik quvvatli nurlanish manbai hisoblanadi. Bu damlash tokining katta qiymatlarida quvvatning kamayib borishi bilan bog'liq.

Atrof muhit temperaturasi o'zgarsa, vatt-ampere xarakteristikasi suriladi (6.2 – rasm). Bu chegaraviy tok va chiqish quvvati qiymatlarining o'zgarishiga olib keladi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun kompensatsiyalashning elektr

sxemalari, shuningdek mikrosovutgichning ishini boshqaruvchi, termokompensatsiyalash sxemalaridan foydalaniladi. 6.3 – rasmda LD optik nurlanishining yo'nalganlik diagrammasi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, lazer nurlanishining diagrammasi nosimmetrik. Quvvatning yarim sathida o'lchanganda uning kengligi o'tishga parallel yuzada 20° dan kichik va perpendikular yuzada 40° dan katta (6.3,a-rasm). 6.3,b–rasmda o'zaro perpendikular yo'nalishlarda nurlanish quvvatining burchakka bog'liqligi ko'rsatilgan. Yo'nalganlik diagrammasi ellips konus ko'rinishiga ega.

Generatsiyalanadigan nurlanishning yetarli katta yoyilganligi, uni kichik sonli aperaturali optik tolaga samarali kiritishga to'sqinlik qiladi. Buning uchun maxsus moslashtiruvchi qurilmalarni qo'llash talab etiladi. Magistral aloqa liniyalari kabellari bir moddali tolalardan iborat bo'lgani uchun ham LDdan foydalanish kerak. Chunki YOD ga qaraganda LDning nurlanishini yo'nalganlik diagrammasi tor. Bu nurlanishni tolaga kiritishni osonlashtiradi.

LDning bir necha turlari mavjud: a) ko'p modali yoki Fabri-Pero rezonatorli lazerlar; b) bir modali lazerlar; v) bir modali taqsimlangan teskari aloqali (DFB) lazerlar; g) taqsimlangan Bregg aks etishli lazerlar; d) tashqi rezonatorli lazerlar.



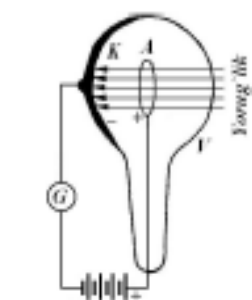
Tashqi rezonatorli lazerlar. Tashqi rezonatorli lazerlarda bir yoki ikkala ko'ndalang yoni aks ettirishni kamaytiruvchi, maxsus qatlam bilan qoplanadi va mos ravishda yarim o'tkazgich aktiv sohasini atrofida bitta yoki ikkita ko'zgu qo'yiladi. 6.8-rasmda bitta tashqi rezonatorli lazer ko'rsatilgan.

Aks etishni kamaytiruvchi qoplama aks etish koeffitsientini taxminan to'rt tartibga kamaytiradi, aktiv qatlamni boshqa ko'ndalang yoni esa 30% gacha yorug'lik oqimini aks ettiradi. Aks ettiruvchi difraksion panjara ko'zgu va difraksion panjaradan tashkil topgan.

Ko`zgu difraksion panjara vazifasini to`ldiradi. Ko`zgu va aktiv element o`rtasida teskari aloqani yaxshilash uchun linza o`rnatiladi. Aks ettiruvchi difraksion panjaragacha bo`lgan masofani oshirib yoki kamaytirib, shuningdek panjarani burish hisobiga panjara qadamini o`zgartirish orqali nurlanish to`lqin uzunligini bir tekisda o`zgartirish mumkin.

Shuning uchun bunday lazerlar sozlanuvchan lazerlar deyiladi. Bu lazerlarda to`lqin uzunligini 30 nm oraliqgacha o`zgartirish mumkin. Tashqi rezonatorli lazerlar to`lqin uzunligi bo`yicha zichlashtirish apparaturalarini va TOA uchun o`lchov qurilmalarini yaratishda juda kerakli hisoblanadi [1].

Ko`p elementli fotoqabulqilgichlar. Hozirgi vaqtda tashqi va ichki fotoeffektga asoslangan yorug`lik signalini elektr signaliga aylantiruvchi juda ko`p qabul qilgichlar ishlab chiqarilyapti; bularning umumiy nomi fotoelementlar deb ataladi. Ular texnikada va ilmiy tekshirishlarda juda keng qo`llaniladi. Hozirgi zamonda o`tkaziladigan turli-tuman ob`ektiv optik o`lchashlarni biror turdagi fotoelementlardan foydalanmay o`tkazib bo`lmaydi. Hozirgi zamon fotometriyasi, spektrometriyasi va spektrning keng sohasidagi spektrofotometriyasi, moddaning spektral analizini, yorug`likning kombinatsion sochilishida kuzatiladigan zaif yorug`lik oqimlarini ob`ektiv o`lchashlarni, astrofizika, biologiya va boshqalarni fotoelementlarni qo`llamasdan tasavvur qilish qiyin; infraqizil spektrlar ko`pincha spektrning uzun to`lqinli sohasida ishlaydigan maxsus fotoelementlar yordamida qayt qilinadi. Fotoelementlar texnikada juda keng qo`llaniladi: ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarish va nazorat qilish, tasvir uzatish va televideniadan tortib lazerlarga asoslangan optik aloqagacha bo`lgan turli aloqa sistemalari hamda kosmik texnika fotoelementlar qo`llaniladigan sohalarning bir bo`lagi bo`ladi xolos, bu sohalarda fotoelementlar hozirgi zamon sanoati va aloqasining turli-tuman texnik masalalarini hal qilib beradi.



10.8-rasm. Fotoelement.

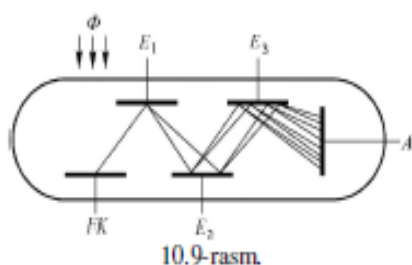
Tashqi fotoeffektga asoslangan fotoelementlar. Tashqi fotoeffekt asosida ishlaydigan birinchi vakuum fotoelementi 1889-yilda yasalgan. Tashqi fotoeffekt hodisasi vakuumli fotoelementlarda ishlatiladi (10.8-rasm). Vakuum hosil qilingan shisha balon ichki devoriga surkalgan metall qatlami vakuum fotoelementning K katodi bo`lib xizmat qiladi. Anod A metall halqa tarzida yasalgan bo`lib, balonning markaziy qismiga joylashtirilgan. Katodni yoritganda fotoelement zanjirda elektr toki paydo bo`ladi. Bu tokning kuchi yorug`lik oqimi kattaligiga proporsionaldir.

Fotoelementlar yordamida hal qilinadigan masalalar juda turli-tuman bo`lgani uchun har xil texnik xarakteristikalariga ega bo`lgan

fotoelementlarning juda ko'p turlari yaratildi. Har bir masalani hal qilishda fotoelementning optimal turini tanlash uchun bunday xarakteristikalaridan xabardor bo'lish kerak. Tashqi fotoeffektga asoslangan fotoelementlarning (vakuum fotoelementlarining) quyidagi xarakteristikalarini bilish zarur: 1) spektrning qaysi sohasida ishlashi; 2) spektral sezgirligining nisbiy xarakteristikasi (bu xarakteristika monoxromatik yorug'lik bilan yoritilgan holdagi spektral sezgirlikning xarakteristikaning maksimumdagi sezgirlikka bo'lgan o'lchamsiz nisbatining tushayotgan yorug'likning to'lqin uzunligiga bog'liqligidan iborat); 3) umumiy sezgirlik (bu sezgirlik fotoelementni standart yorug'lik manbai bilan yoritganda aniqlanadi); 4) beradigan kvantlari miqdori (chiqayotgan fotoelektronlar sonining fotokatodga tushayotgan fotonlar soniga bo'lgan nisbatning protsent hisobidagi qiymati); 5) inertsionlik (vakuum fotoelementlarida bu xarakteristika elektronlarning fotokatoddan anodga uchib borishiga ketadigan vaqt bilan aniqlanadi). Fotoelementning qorong'ilik toki ham muhim parametr bo'lib, u odatda fotokatodning xona temperaturasidagi termoemissiyasi bilan sirqish toki orqali aniqlanadi.

Fotokatodning materiali va kolbaning materialiga qarab fotoelementlarni 0,2 – 1,1 mkm diapazonida ishlatish mumkin. Ularning 1 lyumen yorug'lik oqimiga to'g'ri kelgan umumiy (integral) sezgirligi 20 – 100 mkA bo'ladi, termoemissiyasi esa 10-11 – 10-16 A/sm² ichida o'zgaradi. Vakuum fotoelementlarining eng muhim afzalligi ularning juda doimiy bo'lishi va yorug'lik oqimi bilan fototok orasidagi bog'lanishining chiziqli ekanligidir. SHuning uchun ular spektrning ko'rinuvchan va ultrabinafsha sohasida ob'ektiv fotometriya, spektrometriya, spektrofotometriya va spektral analizda uzoq vaqt ko'p qo'llanib kelindi. Vakuum fotoelementlarining yorug'lik o'lchashlarida qo'llanishdagi eng asosiy kamchiligi ular ishlab chiqaradigan elektr signallarning zaifligidir. Bu kamchilik fotoelektron kuchaytirgichlarda (FEK larda) butunlay bartaraf qilingan bo'lib, bu asboblarni rivojlangan fotoelementlar deb hisoblash mumkin.

Fotoelektron kuchaytirgichlar. Dastlab FEK lar 1934-yilda yasalgan



edi. FEK ning ishlash printsiptini 10.9-rasmdan ko'rib chiqishimiz mumkin. FK fotokatoddan chiqqan (emissiyalangan) fotoelektronlar elektr maydoni ta'sirida tezlashadi va birinchi oraliq E_1 elektrodga tushadi. Tushayotgan fotoelektronlar ikkilamchi elektronlarning chiqishiga sababchi bo'ladi; ma'lum sharoitlarda ikkilamchi emissiya fotoelektronlarning dastlabki

oqimidan bir necha marta katta bo'lishi mumkin. Elektrodlarning

konfiguratsiyasi shundayki, fotoelektronlarning ko'pchiligi E_1 elektrodga, ikkilamchi elektronlarning ko'pchiligi esa navbatdagi E_2 elektrodga tushadi, bu elektrodda ko'payish jarayoni qaytariladi va hokazo. Elektrodlar (dinodlar) 10 – 15 ta bo'ladi; bularning eng oxirgisidan chiqayotgan ikkilamchi elektronlar anodga yig'iladi. Bunday sistemalarning umumiy kuchaytirish koeffitsienti 107 – 108 ga, umumiy (integral) sezgirligi lyumenga to'g'ri kelgan minglab amperga etadi. Bundan FEK lar yordamida juda katta toklar olish mumkin degan xulosa chiqarmay, balki juda zaif yorug'lik oqimlarini o'lchash mumkin degan xulosa chiqarish kerak.

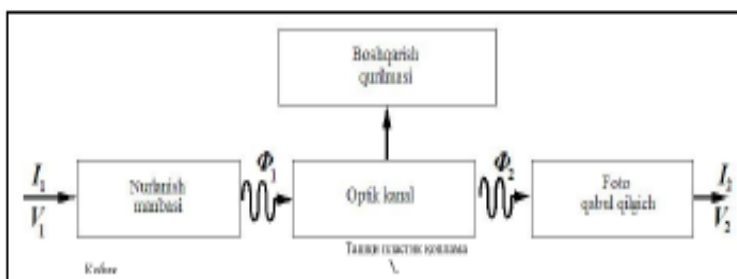
Ravshanki, vakuum fotoelementlaridagidek texnik xarakteristikalar, shuningdek, kuchaytirish koeffitsienti va uning ta'minlovchi kuchlanishga bog'liqligi FEK ni to'liq ta'riflab beradi. Hozirgi vaqtda hamma erda vakuum fotoelementlarining o'rniga fotoelektron kuchaytirgichlar qo'llanilmokda. FEK larning kamchiliklari sifatida yuqori voltli va stabillashtirilgan manbaadan foydalanish zarurligi, sezgirlik stabilligining bir oz yomon ekanligi va shovqinlar ko'p ekanligini ko'rsatish mumkin. Lekin fotokatodlar sovitilsa va chiqish toki emas, balki impulslar soni (har bir impuls bitta fotoelektronga mos keladi) qayt qilinsa, yuqorida aytib o'tilgan kamchiliklarning salbiy ta'siri ancha kamaytirilgan bo'ladi.

Tashki fotoeffektga asoslangan yorug'lik qabul qilgichlarning eng afzal tomoni fototokning yuklama qarshilik (nagruzka) o'zgarganda o'zgarasligidir. Demak, fototokning qiymati qancha kichik bo'lmasin qarshiligi katta bo'lgan nagruzka qo'llash va natijada qarshilikda qayt qilish va kuchaytirish uchun etarli kattalikdagi kuchlanish tushishiga ega bo'lish mumkin. Ikkinchi tomondan, qarshilik o'rniga sig'im ulash va bu sig'imdagi kuchlanishni o'lchab, ma'lum vaqt davomida tushayotgan o'rtacha yorug'lik oqimiga proporsional kattalikni aniqlash mumkin. Bu esa o'z navbatida yorug'likning stabillashmagan manbaidan tushayotgan yorug'lik oqimini o'lchash, ya'ni spektroanalitik o'lchashlarga hos bo'lgan hol uchun juda muximdir.

Optronlar va ularning klassifikatsiyasi. Tok bo'yicha uzatish koeffitsienti. Optronlar—o'zaro bog'langan nurlangich—qabul qilgich jufti va unga mos keluvchi sxemotexnika amerikalik Lebner (Loebner) tomonidan 1955-yilda taklif qilingan. Dastlabki potronlar na'munalari 1961-yilda yaratilgan, sanoatda esa 1965-yilda chiqarila boshlandi.

Optronlarda nurlanish manbalari bo'lib cho'g'lanma lampalar, neon lampalar, elektrolyuminescent nurlantirgichlar va, ko'p hollarda, yorug'lik diodlari xizmat qiladilar. Qabul qilgichlar sifatida esa fotoqarshiliklar, fotodiodlar, fotoelementlar, fototranzistorlar ishlatiladilar. Optik kanal muhiti sifatida esa — havo, shisha, plastmassa yoki bo'qa shaffof muhitlardan foydalaniladi.

Elementar optron bitta nurlantirgich va bitta qabul qilgichdan tashkil topadi. SHuning uchun ular **optojuft (optopara)** deyiladi. Integral mikrosxemaga birlashgan bitta yoki bir necha moslanuvchi va kuchaytiruvchi qurilmalarga ega boʻlgan ancha murakkab optronlar **optoelektron integral mikrosxemalar** deyiladi.



Optronlarning alohida xususiyati energiyaning ikki marta oʻzgartirilishi hisoblanadi, odatda elektr kirish va chiqishlarga ega boʻlib, elektr energiya optik energiyaga va aksincha.

Elektr kirish va chiqishlarga ega boʻlgan optron sxemasi 4.1-rasmda berilgan.

Agar manba va qabul qilgichlar elektr jihatdan birlashmagan boʻlsa, u holda galvanik kirish va chiqish ishlatiladi. Elektr va (yoki) optik teskari aloqadan foydalanish, optik va elektr signallarni, xotira qurilmalarini va boshqalarni generatsiyalash va kuchaytirish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Optronlarning **afzalliklarini** quyidagilar hisoblanadi: halaqitlardan himoyalashining yuqoriligi, signallar uzatilishining bir tomonga yoʻnalganligi, chastotaviy oʻtkazish polosasining kengligi (impulsi va doimiy signallar uzatilish imkoniyatligining mavjudligi), mikroelektronikaning boshqa qurilmalari bilan mos kelishi.

Kamchiliklari: energiyaning ikki marta oʻzgartirilishi bilan bogʻliq boʻlgan foydali ish koeffitsientining kichikligi, temperatura oʻzgarishiga parametrlarning sezgirliigi, xususiy shovqinlarning yuqori darajadaliigi, gibridd texnologiya.

Nurlanish manbaalari sifatida GaAs, GaAlAs, GaAsP va boshqa yarimoʻtkazgich birikmalar asosida tayyorlash yorugʻlik diodlari ishlatiladi, ular infraqizil diapazonda ishlaydi.

Optik kanal materiallari boʻlib, 1) polimer optik elimlar, laklar, yopishqoq moddalar, shishalarning baʼzi materiallari; 2) havo kanallari; 3) optik tolali svetovodlar ishlatiladi.

Foto qabul qilgichlar sifatida esa Si, fotorezistorlar esa CdS, CdSe va boshqa xalkogenidlar asosida tayyorlanadi.

Hozirda esa rezistorli, diodli, tranzistorli, tiristorli optronlar ishlab chiqarilmoqda.

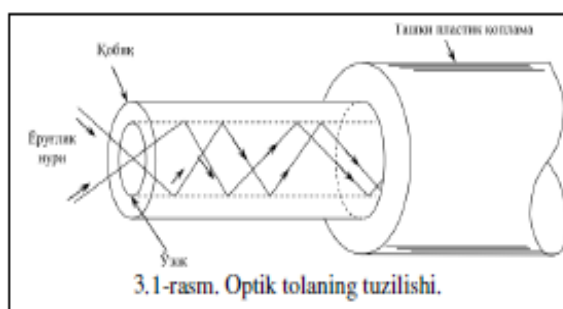
Nazorat uchun savollar

1. Yorug`lik manbaining umumiy xarakteristikasi.
2. Nurdiodlar. Nurdiodlar uchun materiallar. Nurdiod uchun kvant effektivlik. Nurdiodlarning tashqi kvant effektivligini oshirish usullari.
3. Yarim o`tkazgichli lazerlar.
4. Fotorezistor va fotodiodlar. Tunelli fotodiodlar.
5. Ko`p elementli fotoqabul qilgichlar.
6. Optronlar. Klassifikatsiya. Tok bo`yicha uzatish koeffitsienti.

MAVZU 3. OPTIK NURTOLALI ALOQA TIZIMLARI. OPTIK NURTOLALI DATCHIKLAR. OPTIK GIROSKOPLAR.

Reja

1. Planar va kanalli nurtolalarda yorug`likning tarqalishi.
2. Optik tola bo`ylab yorug`lik nurining tarqalish nazariyasi.
3. Nurtolali optik aloqa tarmoqlari. Konstruktsiya.



Tolali optik aloqa tizimida optik tebranishlarning tarqalishini chegaralovchi va yorug`lik energiyasi oqimini berilgan yo`nalishda yo`naltiruvchi, uzatish va qabul qilish traktlarini bog`lab turuvchi muhit **optik tola** deyiladi.

Optik tolalar o`zak va qobiqdan iborat bo`ladi. Ular qiymat bo`yicha bir-biriga yaqin turli sindirish ko`rsatkichlariga ega. O`zak uzatuvchi muhit, qobiq esa o`zi va o`zak orasida chegara hosil qiluvchi sifatida ishlatiladi. Bu chegara yorug`likni yo`naltiruvchi fizik kanalni shakllantirib, u orqali uzatilgan signalning tashuvchisi yorug`lik nuri tarqaladi. Yorug`lik nurining faqatgina o`zak bo`ylab tarqalishini ta`minlash uchun

$$n_1 > n_2,$$

shart bajarilishi kerak. Mos ravishda bu erda n_1 - o`zakning sindirish ko`rsatkichi, n_2 - qobiqlarning sindirishko`rsatkichlari.3.1-rasm. Optik tolaning tuzilishi.

Sindirish ko`rsatkichi n , yorug`likning vakuumdagi tezligini (s) materialdagi yorug`lik tezligiga (sm) nisbati orqali ifodalanadi:

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

Turli moddalardan yorug`lik turli tezliklarda tarqaladi.

OT uchun asosiy material juda toza va tiniq kvarts shishasi, kremniy ikki oksidi ($2 SiO$) hisoblanadi.

Agar dengiz suvi shunchalik tiniq bo`lganda, u holda Tinch okeanida joylashgan 33,177 futli Mariana cho`kmasining eng chuqur joyini ko`rish mumkin bo`lardi [2].

O`zak va qobiqning kerakli sindirish ko`rsatkichlarini olish uchun kvarts shishasiga qo`shimchalar qo`shiladi. Masalan: germaniy va fosfor sindirish ko`rsatkichini oshiradi, bor va fluor esa aksincha uni kamaytiradi.

Tolaning qo`shimcha qobiqlari himoya qobig`i hisoblanadi. 3.1-rasmda tashqi plastik qoplama ko`rsatilgan[14]. Tashqi plastik qoplama optik tolaning xususiyatlariga ta`sir etuvchi mexanik va atrof muhit ta`sirlaridan uni himoya qiladi.

Optik tola bo`ylab yorug`lik nurining tarqalish nazariyasi. Optika qonuniyatlari yorug`lik nurining to`g`ri chiziqli tarqalishiga, to`la muhiti bilan o`zaro ta`sirlashuviga va izotroplik xususiyatiga –muhitda barcha yo`nalishlarda yorug`likning bir xil tarqalishiga (shisha bir turdagi va izotrop muhit hisoblanadi) asoslangan. Bu qonuniyatlarga yorug`likning qaytish/sinish qonunlari va ularga asoslangan hodisalar ta`luqli.

Yorug`lik bir materialdan boshqasiga o`tganda uning tarqalish tezligi o`zgaradi, ya`ni to`lqin nazariyasi nuqtadan bu harakat yo`nalishining o`zgarishiga olib keladi. Bu hodisa - yorug`likning to`g`ri yo`nalishdan og`ishi *sinish* deb ataladi.

Optik toladan signallarning uzatilishida ham yuqorida ko`rib chiqilgan sinish hodisasi ro`y beradi. Bu quyida batafsil tushintirilgan.

To`liq ichki qaytish. Yorug`lik nuri sindirish ko`rsatkichi katta muhitdan sindirish ko`rsatkichi kichik muhitga o`tganda, ikki muhit chegarasida nur 3.4-rasmda tasvirlangandek perpendikulardan og`adi. Tushish burchagi α_1 kichik bo`lganda (3.4,a-rasm) singan nur to`liq qobiqqa o`tib ketadi. Tushish burchagini oshirgan sari sinish burchagi 90° ga intiladi. Sinish burchagi 90° ga teng bo`lgan holdagi tushish burchagi – kritik burchak α_{kr} deyiladi. Yorug`lik nuri kritik burchak α_{kr} ostida tushganda singan nur ikki muhit chegarasi bo`ylab tarqaladi(3.4,b-rasm). Yorug`lik nuri kritik burchakdan katta burchak ostida tushganda, nur ikkinchi muhitga o`tmasdan, ikki muhit chegarasidan to`liq qaytadi (3.4,v-rasm). Bunda tushish burchagi sinish burchagiga teng $\alpha_1 = \alpha_2$ bo`ladi.

Snellius qonuni bo`yicha tushgan va qaytgan nurlar o`rtasidagi munosabat:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2.$$

$\theta_2=90^\circ$ da kritik tushish burchagi quyidagiga teng:

$$\theta_{kr} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

□ kr dan katta burchak ostida tushgan nurlar to'liq qaytadi.

Bu jarayon, ya'ni yorug'lik energiyasining turli sindirish ko'rsatkichli ikki muhit chegarasidan to'liq qaytishi **to'liq ichki qaytish** (TIQ) hodisasi deyiladi. TIQ hodisasi yorug'lik uzatgich bo'ylab optik signallarni tarqalishining fizik asosi hisoblanadi. Uni amalga oshirish uchun optik tola o'zagingning sindirish ko'rsatkichi 1 n qobiqning sindirish ko'rsatkichi 2 n dan kata bo'lishi kerak. O'zak va qobiq tayyorlanadigan materiallarning sindirish ko'rsatkichlari nisbatini optimal tanlash orqali yorug'lik nurining o'zak ichida to'liq ichki qaytishi ro'y beradi va nurni faqatgina optik tola o'zagi bo'ylab zigzagsimon tarqalishi ta'minlanadi.

Masalan, optik tola uchun xos bo'lgan $n_1 = 1,48$, $n_2 = 1,46$ bo'lsa, u holda (3.1) qo'llab, kritik tushish burchagini aniqlash mumkin:

$$\theta_{kr} = \arcsin\left(\frac{1,46}{1,48}\right) = \arcsin(0,9864) = 80,6^\circ.$$

Shunday sindirish ko'rsatkichlari nisbatiga ega, kritik tushish burchagi □ $kr=80,6^\circ$ ga teng, tushish burchagi □2 esa □ $kr =80,6^\circ$ dan katta, masalan □2=81° bo'lganda nur ikkinchi muhitga o'tmay, boshlang'ich muhitda to'liq ichki qaytadi. Optik tola bo'ylab signallarning tarqalishi ana shu printsipga asoslangan. Ana shunday sindirish ko'rsatkichlari, kritik chastota va tushish burchagi qiymatlariga ega optik tola orqali optik signallarning tarqalishi 3.5-rasmda ko'rsatilgan. 3.5-rasmda kritik burchakdan katta burchak ostida □ > □ kr yuak-qobiq chegarasiga tushgan nurlar (nur 1) chegarada to'liq ichki qaytadi. Tushish va sinish burchaklari teng $\Theta_1 = \Theta_2$ bo'lgani uchun, nur 1 takroriy qaytishlarga uchrab, o'zak muhiti bo'ylab zigzaksimon tarqaladi.



Ideal xolda yorug'likning sochilishi va nolinci dispersiya bo'lmaganda nur 1 o'zak bo'ylab istalgan masofaga tarqalishi mumkin [1]. Nur 1 yo'naluvchi nur (moda) deyiladi. Nur 2 □ kr burchak ostida tushib, sinadi va o'zakqobiq chegarasi bo'ylab tarqaladi. □ □ < □ □ kr ostida tushgan nur 3

sinadi va qobiq chegarasiga tushib, qobiq bo'ylab tarqalishida so'nadi yoki qobiqdan tashqariga chiqib ketadi. Ular nurlanuvchi nurlar deyiladi.

Nurtolali optik aloqa tarmoqlari. Materiallar uchun talablar. Jahon sivilizatsiyasi axborot va telekommunikatsion texnologiyalarning mukammalashuvi bilan rivojlanmoqda. Global Axborot Infratuzilmasi (GAI) sayyoramizning har bir kishisi uchun axborot resurslariga erkin kirish imkoniyatini ta'minlashi kerak. Axborot infratuzilmasini ma'lumotlar bazasi, axborotga ishlov berish vositalari yig'indisi, telekommunikatsiya tarmoqlari va xizmatlardan foydalanuvchilarning terminallari tashkil etadi. Bugungi kunga kelib infokommunikatsion xizmatlarning rivojlanishi asosan, Internet kompyuter tarmog'idoirasida amalga oshiriladi, ularning xizmatlariga kirish imkoniyati an'anaviy telekommunikatsiya tarmog'i orqali yuz beradi.

Shu munosabat bilan infokommunikatsion xizmatlarning rivojlanishi bilan telekommunikatsiya tarmoqlarining vazifalarini kengaytirishni taqozo etadi va ularga o'ziga xos talablar qo'yadi.

Optik aloqa tarmoqlariga qo'yiladigan talablar. Infokommunikatsion xizmatlarning xususiyatlari istiqbolli – optik aloqa tarmog'iga quyidagi talablarni belgilaydi:

- multiservislik, bu xizmatlarni ko'rsatish texnologiyalarining transport texnologiyalariga bog'liq emasligi (mustaqilligi) tushuniladi;
- keng polosalilik, bunda xizmatlardan foydalanuvchining joriy ehtiyojlaridan bog'liq holda keng diapozonda axborotni uzatish tezligining qulay va dinamik o'zgartirish imkoniyati tushuniladi;
- multimedialik, bunda telekommunikatsiya tarmog'ining ko'p komponentli axborotlarini (nutq, ma'lumotlar, video, audio) real vaqtda bu komponentlarni zarur sinxronlashtirish bilan va birikmalarning turli xil konfiguratsiyalardan foydalanib uzatish qobiliyati tushuniladi;
- intellektuallik, bunda xizmatlarni taqdim etish jarayonida bir nechta operatorning ishtirok etishi va ular ma'suliyatlarining faoliyat sohasiga muvofiq bo'linishi tushuniladi.

An'anaviy telekommunikatsiya tarmoqlari xalqaro, shaharlararo, hududiy, mahalliy (shahar va qishloq) hamda abonentlik kirishi tarmoqlariga bo'linadi.

Mavjud kanallari kommutatsiyalangan umumiy foydalanishdagi telekommunikatsiya tarmoqlari hozirgivaqtda yuqorida sanab o'tilgan talablarga javob bermaydi. An'anaviy tarmoqlarning cheklangan imkoniyatlari yangi infokommunikatsion xizmatlarni joriy etish yo'lida tutib turuvchi omil hisoblanadilar.

Shu munosabat bilan an'anaviy telekommunikatsiya tarmoqlarining optik tarmoqlar asosida yaratish yo'nalishida infokommunikatsion xizmatlarni joriy

etishni va bundan keyin rivojlantirishni hisobga olish zarur. Shuning uchun paketli kommutatsiya negizida tolali - optik telekommunikatsiya tarmog`ini yasash kontseptsiyasiasosida universal telekommunikatsiya tarmog`ini yaratish to`g`risidagi g`oya yotadi, u axborotning har qanday turlarini – nutq, video, audio, grafika va x.k.larni o`tkazishga imkon beradi, shuningdek cheksiz doirada infokommunikatsion xizmatlar taqdim etish imkonini ta'minlaydi.

Optik aloqa tarmoqlarining turlari. To`lqin uzunligi bo`yicha bo`linish bilan (WDM) multipleksorlash texnologiyasining paydo bo`lishi keng polosali tolali-optik uzatish tizimlarining vujudga kelishini va tezkor rivojlanishiga olib keldi, va aloqa kanali sig`imini keskin oshirishga imkon berdi.

Tolali-optik aloqaning bundan keyingi rivojlanishi to`la optik fotonli telekommunikatsiya tarmoqlarini yaratishga yo`naltirilgan. Mazkur tizimlarda signallarni uzatish, qabul qilish, ishlov berish va kommutatsiyalash sof foton darajasida, elektron jarayonlar va elektr qurilmalarning ishtirokisiz yuz beradi.

Foton tarmog`i modeli ikki darajadan iborat: servis darajasi va fotonli transport darajasi. Yangi arxitekturafotonli kommutatsiya va DWDM texnologiyalari yangiliklarining afzalliklari kombinatsiyasi sifatida qarabchiqiladi.



Bugungi kunda tarmoqlarning to`rtta turi mavjud bo`lib, ular bir xil optik tarmoqlar deb ataladi. Quyida tarmoqlarning shu turlari sanab o`tilgan va ularning qisqa tavsifi berilgan [1]:

1) SDH/SONET negizidagi tarmoqlar, ularda faqat — “nuqta-nuqta” bir to`lqinli uzatish optik uzatish hisoblanadi. Asli bu optoelektron tarmoqlardir.

2) To`lqin uzunligi bo`yicha ajratilgan multipleksorlash texnologiyasi foydalaniladigan tarmoqlar ko`p, ko`p to`lqinli optik uzatishni ta'minlab, bu vaqtda kommutatsiya va boshqarish to`liq ravishda elektr sohasida amalga oshiriladi. Bular hali ham optoelektron

tarmoqlardir, biroq ular optik uzatishning ilg`or texnologiyasidan foydalanadilar va ularda optik operatsiyalar birinchi turdagi tarmoqlarga qaraganda ancha ko`pdir.

3) To`lqin uzunligi bo`yicha ajratilgan multiplesorlash texnologiyasi foydalaniladigan tarmoqlar va optik kommutatsiya, kommutatsiyani va tarmoqiboshqarish elektrik tarzda amalga oshirilmoqda. Bu ittifoqlik darajasi turlichabo`lgan optik tarmoqlardir. (Tarmoqning ittifoqligi deganda tarmoqning istalgan turdagi axborotni protokolga va kodlash turiga, uzatish tezligiga, shuningdek modulyatsiya texnikasiga bog`liq bo`lmagan holda uzatish

imkoniyatitushuniladi.). bog`liq shaffof tarmoqlarning orolchalar shaklida bo`lishi mumkin[2].

4) Barcha operatsiyalar va funktsiyalar, kommutatsiyani va tarmoqni boshqarishni ham hisobga olganda optik amalga oshiriladi. Bu to`liq ravishda optik tarmoqlardir.

Optik aloqa tarmoqlari.To`la optik tarmoqlar (bundan keyin inglizcha qisqartma AON/All Optical Networks dan foydalaniladi), ularning faoliyat yuritishida kommutatsiyada, multipleksorlashda retranslyatsiyada bosh rol nielektron (optoelektron) texnologiyalar emas, balki sof optik texnologiyalar o`ynaydi [3].

To`liq optik tarmoqlar ham bugungi kundagi, ham ertangi tarmoq axborot ilovalari uchun ham ulkan o`tkazish polosasini ta`minlashga qodir.

To`liq optik tarmoqlar (AON) uchta asosiy toifaga bo`linadi [4,5]: ko`p to`lqinli aloqa liniyalaridan foydalanuvchi tarmoqlar, kanallarini kommutatsiyalanuvchi kanallar va paketlari kommutatsiyalanadigan tarmoqlar(12.1-jadval).

AON ning birinchi ikki toifasi bir muhim tavsifga ega – tarmoqning foydalanilayotgan ilovaga nisbatan shaffofligi. Optik shaffoflikka WDM optik kanallarining istalgani bo`yicha manba – bo`g`indan belgilangan joydagi bo`g`ingacha signalni o`zgartiruvchi optoelektron qurilmalardan foydalanilmasdan erishiladi. Har bir WDM kanalichegarasida signal formati tejamkorlikni va ulkan imkoniyatlarni to`plagan holda virtual jihatdan ixtiyoriy bo`lishim mumkin.

Shaffof AON da optik terminal qurilmani eng umumiy holda qayta quriluvchi lazer uzatkichlar va yoki qayta quriluvchi burish filtrlar ifodalaydi. Tarmoqning ikki chetki bo`g`ini bunday tarmoq orqali ma`lum ikki rasmda. Диелектрикоптикамикронуртоларнинг трлари: а – юпқаплёнкали; б – диффузион; в – каналли. to`lqinga (qabul qilish va uzatish uchun) sozlash yo`li bilan aloqa kanalini o`rnatishlari mumkin bo`lib, buto`lqinlarni ularga optik terminalning tarmoq kontrolleri tegishli dastlabki so`rovga ishlov berib, taqdim etadi. Ulanish o`rnatilgandan so`ng magistral kanal foydalanilayotgan ilovaga nisbatan shaffof bo`lib qoladi.

MAVZU 4 KREMNIYLI FOTONIKA. NANOSKOPIYA.

Reja

1. Kremniyli fotonika
2. Kremniy yorug'lik manbalari
3. Kremniy modulyatorlar
4. Kremniy fotodetektorlar
5. Raman uzluksiz Kremniy lazer
6. Gibrid Kremniy lazer

Kremniy fotonika - bu to'g'ridan-to'g'ri bosilgan elektron platalarda yorug'lik bilan ishlash uchun chiplarni yaratish texnologiyasi. Uning yordamida nafaqat kompyuter tarmoqlarida ma'lumotlar uzatish tezligini oshirish, balki kompyuterda ko'rishning ilg'or tizimlari va suyuqlik va gazlarning kimyoviy analizatorlarini yaratish mumkin bo'ladi.

An'anaviy optik tolali aloqa kanallari asta-sekin o'z imkoniyatlarini tugatmoqda. Ularning o'rnini kremniy fotonikasi va ushbu texnologiya asosida yaratilgan, optik tolali uzatgichlarning barcha funksiyalariga ega bo'lishi mumkin bo'lgan, biroq ayni paytda kamroq energiya sarflaydigan va kamroq joy egallagan maxsus chiplar egallaydi.

Kremniy fotonikasi an'anaviylardan farqi shundaki, qurilma alohida qismlardan yig'ilgan emas, balki bitta bosilgan elektron platadan iborat. Bu kam quvvat sarflagan holda soniyasiga ko'proq ma'lumotni qayta ishlashga qodir bo'lgan optik qabul qiluvchilar va transmitterlarni sezilarli darajada kamaytirish imkonini beradi.

Bugungi kunda optik ulanishlar asosan qurilmadan qurilmaga yoki optik tarmoqlarda qo'llaniladi. Ularning asosiy tarkibiy qismlari va ishlash tamoyillari avvalgilaridan birida muhokama qilinadi. Shu bilan birga, o'zaro bog'lanishlarning yana uchta toifasi mavjud - platadan plataga, chipdan chipga va elektron ulanishlar, optik ulanishlarni amalga oshirishdagi asosiy qiyinchilik optik va elektron funktsiyalarni umumiy yarimo'tkazgichli substratda birlashtirish zarurati hisoblanadi. . Bu muammoni kremniy fotonikasi yordamida hal qilish mumkin, bu yorug'likni yaratish, uzatish, boshqarish va aniqlash uchun kremniy asosidagi materiallardan foydalanadi.

Protsessor sanoatida soat tezligi poygasi to'xtaydimi yoki yo'qmi, bashorat qilish qiyin, chunki Mur qonunini ekstrapolyatsiya qilsak, biz 2010 yil oxiriga kelib soat tezligi 10 gigagerts atrofida bo'lgan chiplarni kutishimiz mumkin. Biroq, hatto mavjud chastotalarda ham kerakli tarmoqli kengligini ta'minlash tobora qiyinlashib bormoqda [bosilgan elektron platalar](#) yoki mis barlarga asoslangan modullar. Mis simli FR-4 (Flame Resistance 4) bosilgan elektron platalardagi

yo'qotishlar 1 GGts dan yuqori chastotalarda tez ortib borishi, signal-shovqin nisbati yomonlashishi va sinxronizatsiya xatolari paydo bo'lishi ko'rsatilgan. Bundan tashqari, o'zaro bog'liqlik simlarning zichligini cheklaydi. Mikrosxemalar orasidagi uzunligi 10 sm gacha bo'lgan yuqori tezlikdagi optik kanallar misga nisbatan bir qator afzalliklarga ega. Ular yuqori tarmoqli kengligi bilan kamroq yo'qotishlarga ega va EMI o'zaro bog'lanishiga tobe emas. O'tgan 20 yil ichida mis simlarining cheklovlarini bartaraf etish uchun optik texnologiyalar taklif qilindi, ammo nisbatan yuqori narx va ekzotik materiallardan foydalanish ularni keng ko'lamli ishlab chiqarish uchun yaroqsiz holga keltirdi.

Bir necha gigagerts chastotalarida ishlaydigan integral mikrosxemalar ichidagi elektr aloqalarini rivojlantirish ham doimiy ravishda murakkablashib bormoqda. Bunday holatda, odatda uzunligi 1 sm dan kam bo'lgan optik kanallar potentsial jozibador bo'lib qoladi. Bunga quyidagi sabablar yordam beradi:

- mis o'tkazgichlardan foydalanish bilan solishtirganda kechikish vaqtlarini qisqartirish;

- o'sishni ushlab turmaydigan katta tarmoqli kengligi [soat chastotalari](#) tranzistorlar;

- quvvat sarfini kamaytirish;

- elektromagnit parazitlarga befarqlik.

Biroq, bugungi kunda optika va elektronikani integratsiya qilish bo'yicha ishlar nafaqat dastlabki bosqichda, balki misga asoslangan an'anaviy texnologiyalarga nisbatan juda qimmat.

Muammoni hal qilishga yondashuvi kremniy fotonikasiga asoslangan Intelning ushbu sohasida juda jadal tadqiqotlar olib bormoqda. Bu yerda taklif etilayotgan integratsiyalashgan platformaning asosiy qurilish bloklari sozlanishi mumkin bo'lgan tashqi bo'shliq lazeri (ECL), kremniy modulyatori, Kremniy-germaniy fotodetektor va arzon narxlardagi o'zaro ulanish texnologiyasidir.

Kremniy yorug'lik manbalari

Kremniy asosidagi lazerlarga hali erishib bo'lmasa-da, ko'rinadigan va infraqizil diapazonlarda chiqaradigan bunday yorug'lik manbalari ustida ishlash butun dunyoda keng miqyosda olib borilmoqda. Kremniy manbalari monolit integratsiyaning organik qismlaridan biridir, chunki ular bitta substratda ham optik elementlarni, ham boshqaruv elektronikasini ishlab chiqarishga imkon beradi. Kremniy tolalardan foydalanganda nurlanish to'lqin uzunligi 1,1 mkm dan ortiq bo'lgan infraqizil diapazonda bo'lishi kerak, chunki bu oynada yo'qotishlar minimal bo'ladi.

Hozirgi vaqtda ko'pgina tadqiqotlar elektrolyuminesans ta'siridan foydalanish yo'nalishi bo'yicha olib borilmoqda - elektr nasoslari natijasida olingan nurlanish. Ishonchli va samarali kremniy emitentlari olinmaguncha, gibrid integratsiya qilish

imkoniyati, ya'ni kremniy yorug'lik yo'riqnomalariga ulangan kremniy bo'lmagan yorug'lik manbalaridan foydalanish ko'rib chiqilmoqda.

Kremniy yorug'lik manbalarini ishlab chiqarishdagi qiyinchilik bilvosita o'tish bilan band bo'shlig'ining mavjudligi bilan bog'liq. Bu radiatsiyaviy bo'lmagan o'tishlar ehtimoli (xususan, Auger rekombinatsiyasi) yorug'lik emissiyasiga qaraganda yuqori bo'lishiga olib keladi.

Infraqizil nurlanishni olish uchun kremniyga, masalan, erbiyga tegishli aralashmalarni kiritish kerak. Erbiy bilan qo'shilgan kremniy tolalari, agar ular qo'shimcha ravishda kislorod bilan qo'shilsa, panjarada optik faol ionlar hosil qilsa, infraqizil diapazonda chiqaradi. Biroq [berilgan tur](#) qurilmalar sezilarli kamchilikka ega: radiatsiya intensivligi 100°K da nisbatan yuqori bo'lsa-da, xona haroratida u keskin pasayadi.

Kremniydagi yorug'lik chiqishi samaradorligini oshirishning navbatdagi usuli - elektron-teshik rekombinatsiyasi paytida radiatsion bo'lmagan o'tishlar sonini kamaytirishdir. Bunga tashuvchilarning panjaradagi radiatsion bo'lmagan rekombinatsiya markazlariga tarqalishini kamaytirish orqali erishiladi, bu yorug'lik emissiyasi bilan o'tish ehtimolini oshiradi. VLSI texnologiyasiga mos keladigan bunday cheklash usullaridan biri nanokristallardan foydalanishga asoslangan. Boshqa vositalar GeSi yoki panjara nuqsonlarida kvant quduqlaridan foydalanishni o'z ichiga oladi.

Boshqa to'lqin uzunliklari bilan nurlanishni olish uchun erbiydan boshqa aralashmalarni kiritish mumkin. Masalan, terbium 0,98 va 0,54 mikron to'lqin uzunlikdagi nurlanishni ta'minlaydi. Biroq, bunday qurilmalarning ishlash muddati va ishonchliligi amaliy dasturlar uchun juda past.

To'g'ridan-to'g'ri to'g'ridan-to'g'ri kremniy yorug'lik manbalarining barcha turlari uchun yana bir cheklov - 1 MGts chastotada to'g'ridan-to'g'ri modulyatsiyaning past tezligi. Bu shuni anglatadiki, ular yuqori tezlikdagi kanallarni yaratish uchun tashqi modulyatorlarni talab qiladi.

Qurilma arxitekturasi

Kremniy yorug'lik manbalarini yaratish bo'yicha ishlar davom etmoqda, ammo ular hali ham to'liq emas. Va ishonchli va samarali kremniy yorug'lik manbai paydo bo'lgunga qadar, o'rnatilgan fotonik tizimlar davriy jadvalning III-V guruhlari an'anaviy materiallariga muhtoj bo'ladi.

Intel-dan so'ng biz tashqi bo'shliqqa ega lazer va Bragg panjarali kremniy tolasidan kerakli to'lqin uzunligini olish uchun III-V guruh kristallari tomonidan yaratilgan yorug'lik uchun filtr sifatida qanday foydalanish mumkinligiga misol keltiramiz. optik aloqa. Kremniydagi kuchli termo-optik effekt hosil bo'lgan to'lqinni sozlash uchun ishlatilishi mumkin.

Bragg panjarasi 1,2 x 2,3 x 3,4 mkm o'lchamdagi ko'p yivlarga ega bo'lgan kremniyli izolyator (SOI) gofretini o'rash orqali qilingan. Keyinchalik, tegishli ishlov berishdan so'ng, biz uning tafsilotlarini o'tkazib yuboramiz, Bragg panjarasi yorug'lik qo'llanmasiga joylashtirildi. ELC kuchaytirgich chipi bilan Bragg panjarasini o'z ichiga olgan yorug'lik qo'llanmasini ulash orqali qurilgan. Rezonator bir tomonda ko'zgu vazifasini o'tagan Bragg panjarasi va 90% aks ettiruvchi qoplamali kuchaytirgich chipi o'rtasida hosil bo'lgan, bu esa qarama-qarshi tomonda oyna hosil qilgan. Bragg panjarasi bo'lgan yorug'lik qo'llanmasi kuchaytiruvchi chipga 8 ° burchak ostida ulangan, bu esa aks ettirmaydigan qoplama bilan birgalikda yuzning samarali aks ettirish qobiliyatini 10-5 ga tushirdi. Yaratilgan nur lazer diodining yuzidan chiqdi, uning ustiga 90% aks ettiruvchi qoplama qo'llaniladi va linzali bitta rejimli optik tolaning konusiga tushdi (1-rasm). Ob'ektiv optik tola va lazer o'rtasidagi bog'lanishni kuchaytirishga xizmat qildi. Bragg panjarasi yordamida tashqi rezonator bilan lazerning ishlash printsiptini yaxshiroq tushunish uchun biz uning sxemasini ko'proq an'anaviy komponentlar bo'yicha taqdim etamiz (2-rasm).

Kremniy modulyatorlar

Shunday qilib, kompleksga asoslangan sozlanishi lazer [yarimo'tkazgichli diod](#) III-V guruhlari va kremniy Bragg panjarasi. Biroq, chiqish lazeri ma'lumotni olib o'tmaydigan doimiy to'lqin hosil qiladi. Optik aloqa kanallari orqali ma'lumotlarni uzatish uchun optik modulyator kerak bo'ladi. Modulyatsiya chastotasi 1 gigagerts dan yuqori bo'lgan bunday qurilmalar odatda litiy niobat (LiNbO₃) ferroelektrik kristallaridan yoki mahalliy Stark effektidan foydalanadigan ko'plab kvant quduqlari bo'lgan murakkab yarimo'tkazgichlardan ishlab chiqariladi (atomning spektral chiziqlari ta'sirida bo'linadi). tashqi elektr maydoni) yoki elektroabsorbsiya ta'siri. Ushbu qurilmalarda modulyatsiya chastotasi 40 gigagerts ga etadi.

Arzon echimlarga bozor talabi kremniy asosidagi modulyatorlarni ishlab chiqishni rag'batlantirdi. Bundan tashqari, kremniy fotonikasi CMOS texnologiyasi asosida monolitik integratsiyalashgan optik elementlarni olish imkonini beradi.

Kremniy asosidagi optik modulyatorlar ko'plab tadqiqot markazlari tomonidan taklif qilingan va namoyish etilgan. Biz bu yerda Mach-Zehnder interferometri (MCI) asosidagi qurilmaning eksperimental versiyasini taqdim etamiz. MZI passiv kremniy to'lqin o'tkazgichiga o'rnatilgan MOS kondansatkichiga asoslangan fazali o'tish davrining dastlabki rivojlanishi tufayli 1,55 mkm to'lqin uzunligi uchun 2,5 gigagertsli modulyatsiya chastotasiga erishish mumkin.

MCI ning sxematik ko'rinishi shaklda ko'rsatilgan. 3. Kiruvchi yorug'lik teng ikkita qismga bo'linadi va interferometrning ikki qo'lga yo'naltiriladi. Ularning har

biri faol qismni o'z ichiga olishi mumkin, bu esa qo'llaniladigan kuchlanish yordamida qo'lda yorug'lik tarqalish tezligini biroz o'zgartiradi. Natijada, chiqishda nurlarning fazaviy siljishi olinadi, bu shovqin tufayli hosil bo'lgan nurda intensivlikning o'zgarishiga olib keladi.

Kremniy fotodetektorlar

To'liq kremniyli optik platformaga o'rnatiladigan oxirgi faol komponent bu fotodetektordir. Kremniy fotodetektorlar raqamli kameralar va skanerlar kabi ko'rinadigan yorug'lik diapazonidan (0,4-0,7 mkm) foydalanadigan ilovalar uchun allaqachon keng tarqalgan bo'lib, ularning ushbu to'lqin uzunliklarida yuqori samaradorligi tufayli. Biroq, aloqada ishlatiladigan ko'pchilik yarimo'tkazgichli lazerlar yaqin infraqizil mintaqada ishlaydi, odatda 850, 1310 va 1550 nm, kremniy shaffof bo'lgan diapazon, ya'ni yomon detektor. Kremniy fotodetektorlarning chiqish oqimini oshirishning eng keng tarqalgan usuli germaniyni qo'shishdir, bu tarmoqli bo'shliqning pasayishiga va aniqlangan yorug'lik to'lqin uzunligining oshishiga olib keladi.

Shaklda. 4-rasmda Intel tomonidan ishlab chiqilgan SiGe yorug'lik qo'llanmalari asosidagi fotodetektorning ko'ndalang kesimi ko'rsatilgan. U ilgari ko'rib chiqilgan modulyator bilan bir xil SOI platformasida ishlab chiqariladi. SiGe qatlami tolaning kremniy boncukchasi tepasida joylashgan.

Detektorning birinchi versiyasida yutuvchi material sifatida Si_{0.5}Ge_{0.5} asosidagi 18 ta kvant quduqlari ishlatilgan. Ba'zi qurilmalar uchun sezgirlik 1316 nm yorug'lik to'lqin uzunligida 0,1 A / V ga etdi. Ishlab chiquvchilar, ba'zi yaxshilanishlar orqali sezgirlikni 0,5 A/V ga oshirish mumkinligiga ishonishadi. Valentlik diapazonining sezilarli siljishi tufayli tarmoqli kengligi 500 MGts dan past edi, bu esa teshiklarni tashishga to'sqinlik qildi. Biroq, bu kamchilikni film tarkibini o'zgartirish orqali tuzatish mumkin, deb ishoniladi. Modellashtirish shuni ko'rsatadiki, o'tkazish qobiliyati 10 Gbit / s ga yetishi mumkin.

Kremniy asosidagi planar optika sohasidagi tadqiqotlar bir necha o'n yillar davomida dunyoning ko'plab laboratoriyalarida olib borildi, ammo sanoat namunalari hali olinmagan. Biroq, so'nggi yillarda tushunishda sezilarli yutuqlarga erishildi [haqiqiy muammolar](#) va [mumkin bo'lgan usullar](#) ularning qarorlari.

Kremniy fotonikasi tarixi

Kremniy fotonikasi Intel korporatsiyasining tadqiqot ishlarining asosiy yo'nalishlaridan biridir. Kompaniyaning ushbu sohadagi navbatdagi yutug'i dunyodagi birinchi elektr nasosli gibrid kremniy lazerining yaratilishi bo'ldi.

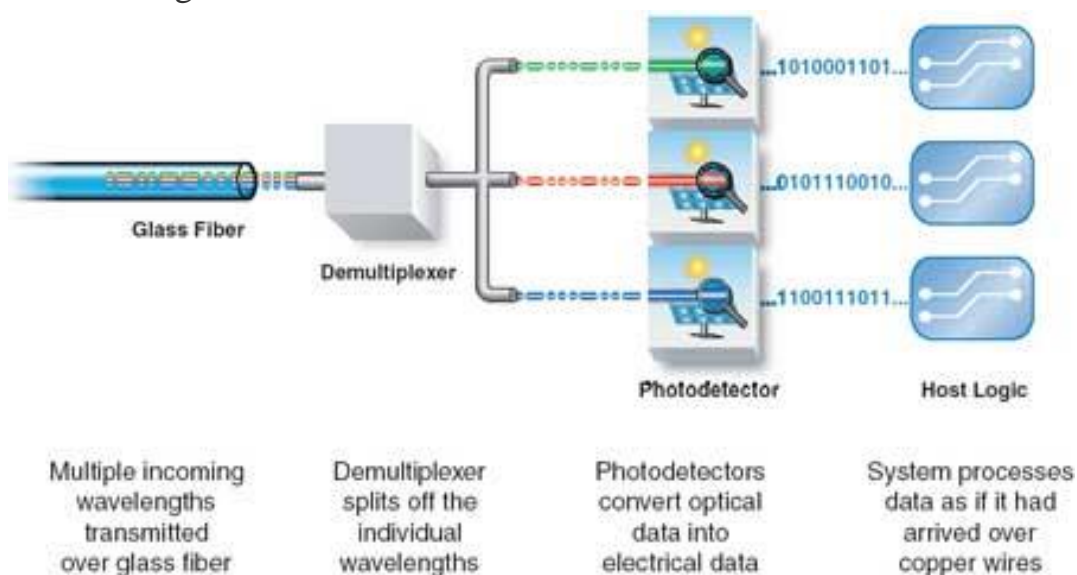
Endi, aslida, kremniy mikrosxemalarini ishlab chiqarishning yaxshi yo'lga qo'yilgan texnologiyasidan foydalangan holda optik kuchaytirgichlar, lazerlar va yorug'lik to'lqin uzunligini o'zgartirgichlarni yaratishga yo'l ochildi. Asta-sekin fotonikaning "Kremniyizatsiyasi" haqiqatga aylanib bormoqda va kelajakda

shaxsiy kompyuter ichida ham, undan tashqarida ham ma'lumotlar almashinuvini ta'minlaydigan arzon narxlardagi yuqori samarali optik sxemalarni yaratishga imkon beradi.

Optik aloqa tizimlari an'anaviylarga nisbatan ma'lum afzalliklarga ega. [kabel tizimlari](#), ularning asosiy o'tkazish qobiliyati ularning katta o'tkazish qobiliyatidir. Misol uchun, bugungi kunda aloqa tizimlarida qo'llaniladigan optik tolalar bir vaqtning o'zida 128 tagacha turli ma'lumotlar oqimini uzatishi mumkin. Tolalar orqali ma'lumotlarni uzatishning nazariy chegarasi soniyasiga 100 trillion bitga baholanadi. Ushbu ulkan raqamni taqdim etish uchun oddiy taqqoslashni amalga oshiramiz: bunday o'tkazish qobiliyati sayyoramizning barcha aholisiga telefon suhbatlarini bir vaqtning o'zida uzatishni ta'minlash uchun etarli. Shu sababli, optik aloqa tizimlari barcha tadqiqot laboratoriyalarining diqqatini jalb qilishi juda tushunarli.

Yorug'lik nurlanishidan foydalangan holda ma'lumotni uzatish uchun bir nechta majburiy komponentlarga ega bo'lish kerak: nurlanish manbalari (lazerlar), yorug'lik to'lqini modulyatorlari, ular orqali ma'lumot yorug'lik to'lqiniga kiritilgan, detektorlar va ma'lumotlarni uzatish uchun optik tola.

Turli to'lqin uzunlikdagi to'lqinlarni chiqaradigan bir nechta lazerlar va modulyatorlar yordamida bir optik tola orqali bir vaqtning o'zida ko'plab ma'lumotlar oqimini uzatish mumkin. Qabul qiluvchi tomonda, axborotni qayta ishlash uchun turli to'lqin uzunlikdagi tashuvchilarni kiruvchi signaldan ajratuvchi optik demultipleksator va optik signallarni elektr signallariga aylantirish imkonini beruvchi optik detektorlar qo'llaniladi. Optik aloqa tizimining blok diagrammasi shaklda ko'rsatilgan. bitta.



Rasm. 1. Optik aloqa tizimining strukturaviy sxemasi

Optik aloqa tizimlari va optik sxemalar sohasidagi tadqiqotlar 1970-yillarda boshlangan - keyin optik sxemalar optik protsessor yoki super-optik chip sifatida

taqdim etilgan bo'lib, ularda uzatish moslamasi, modulyator, kuchaytirgich, detektor va boshqalar mavjud. barcha kerakli elektron komponentlar. Biroq, bu g'oyaning amalga oshirilishiga optik zanjirlarning tarkibiy qismlarining [turli materiallar](#), shuning uchun barcha kerakli komponentlarni kremniyga asoslangan yagona platforma (chip) ga birlashtirish mumkin emas edi. Kremniyning elektronika sohasidagi g'alabasiga qaramay, uni optikada qo'llash juda shubhali bo'lib tuyuldi.

Optik zanjirlar uchun kremniydan foydalanish imkoniyatlarini o'rganish ko'p yillar davomida - 1980-yillarning ikkinchi yarmidan boshlab davom etmoqda. Biroq, bu vaqt ichida ozgina muvaffaqiyatga erishildi. Boshqa materiallar bilan taqqoslaganda, optik zanjirlarni qurish uchun Kremniydan foydalanishga urinishlar kutilgan natijalarni bermadi.

Gap shundaki, kremniyning kristall panjarasining tarmoqli bo'shlig'ining strukturaviy xususiyatlaridan kelib chiqqan holda, undagi zaryadlarning rekombinatsiyasi asosan fotonlarning chiqarilishiga emas, balki issiqlik chiqishiga olib keladi, bu esa uni yaratish uchun ishlatishga imkon bermaydi. kogerent nurlanish manbalari bo'lgan yarimo'tkazgichli lazerlar. Shu bilan birga, galliy arsenid yoki indiy fosfidi kabi yarim o'tkazgichlarda rekombinatsiya energiyasi asosan infraqizil fotonlar shaklida chiqariladi; shuning uchun bu materiallar foton manbalari bo'lib xizmat qilishi va lazerlarni yaratish uchun ishlatilishi mumkin.

Optik kontaktlarning zanglashiga olib keladigan material sifatida Kremniydan foydalanishga to'sqinlik qiladigan yana bir sabab, kremniyning chiziqli elektro-optik Pockels effektiga ega emasligi, uning asosida an'anaviy tezkor optik modulyatorlar qurilgan. Pockels effekti qo'llaniladigan elektr maydoni ta'sirida kristalldagi yorug'likning sinishi indeksini o'zgartirishdan iborat. Aynan shu ta'sir tufayli yorug'likni modulyatsiya qilish mumkin, chunki moddaning sinishi ko'rsatkichining mos ravishda o'zgarishi uzatiladigan nurlanish fazasining o'zgarishiga olib keladi.

Pockels effekti faqat piezoelektrlarda namoyon bo'ladi va past inertsiya tufayli nazariy jihatdan yorug'likni 10 TGts chastotasiga qadar modulyatsiya qilishga imkon beradi. Bundan tashqari, tufayli [chiziqli bog'liqlik](#) sinishi indeksi va elektr maydon kuchi o'rtasida yorug'lik modulyatsiyasi paytida chiziqli bo'lmagan buzilishlar nisbatan kichikdir.

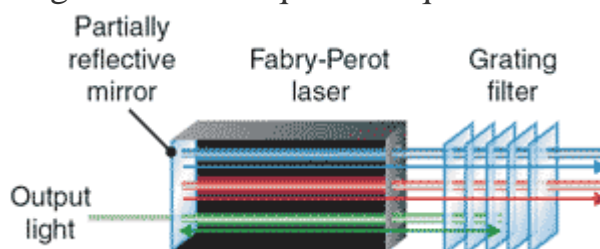
Boshqa optik modulyatorlar qo'llaniladigan elektr maydoni ta'sirida yorug'likning elektro-absorbsiyasi yoki elektro-sinishi kabi effektlarga asoslanadi, ammo bu effektlar ham kremniyda zaif ifodalangan.

Kremniydagi yorug'likning modulyatsiyasini termal effekt asosida olish mumkin. Ya'ni, kremniy harorati o'zgarib, uning sinishi indeksi va yorug'lik yutilish koeffitsienti o'zgaradi. Shunga qaramay, histerezis mavjudligi sababli,

bunday modulyatorlar juda inert va bir necha kilogerts dan yuqori modulyatsiya tezligini olishga imkon bermaydi.

Kremniy modulyatorlarga asoslangan radiatsiya modulyatsiyasining yana bir usuli yorug'lik yutilishining erkin tashuvchilarga (teshiklar yoki elektronlar) ta'siriga asoslangan. Ushbu modulyatsiya usuli yuqori tezlikka erishishga imkon bermaydi, chunki u Kremniy modulyator ichidagi zaryadlarning jismoniy harakati bilan bog'liq bo'lib, bu o'z-o'zidan inert jarayondir. Shu bilan birga, shuni ta'kidlash kerakki, tavsiflangan effektga asoslangan kremniy modulyatorlari nazariy jihatdan modulyatsiya tezligini 1 gigagertsgacha ushlab turishi mumkin, ammo amalda hozirgacha 20 MGts gacha bo'lgan modulyatorlar joriy etilgan.

Kremniyni optik sxemalar uchun material sifatida ishlatishning barcha qiyinchiliklariga qaramay, yaqinda bu yo'nalishda sezilarli yutuqlarga erishildi. Ma'lum bo'lishicha, kremniyni erbiy (Er) bilan doping qilish tarmoqli bo'shlig'ining tuzilishini shunday o'zgartiradiki, zaryadning rekombinatsiyasi fotonlarning emissiyasi bilan birga keladi, ya'ni yarim o'tkazgich lazerlarni olish uchun kremniydan foydalanish mumkin bo'ladi. . Birinchi tijoriy doplangan Kremniy lazer ST Micro-electronics tomonidan ishlab chiqilgan. Sozlanishi mumkin bo'lgan yarimo'tkazgichli lazerlardan foydalanish ham istiqbolli hisoblanadi [Intel tomonidan](#) 2002 yilda. Bunday lazerlar rezonator sifatida Fabry-Perot interferometridan foydalanadi va bir nechta chastotalarda (multimod) chiqaradi. Monoxromatik nurlanishni izolyatsiya qilish uchun diffraksiya panjaralari (dispersion filtrlar) asosidagi maxsus tashqi filtrlar qo'llaniladi - rasm. 2.



Rasm. 2. Filtrlar bilan sozlanishi lazerlar dispersion panjaralar asosida

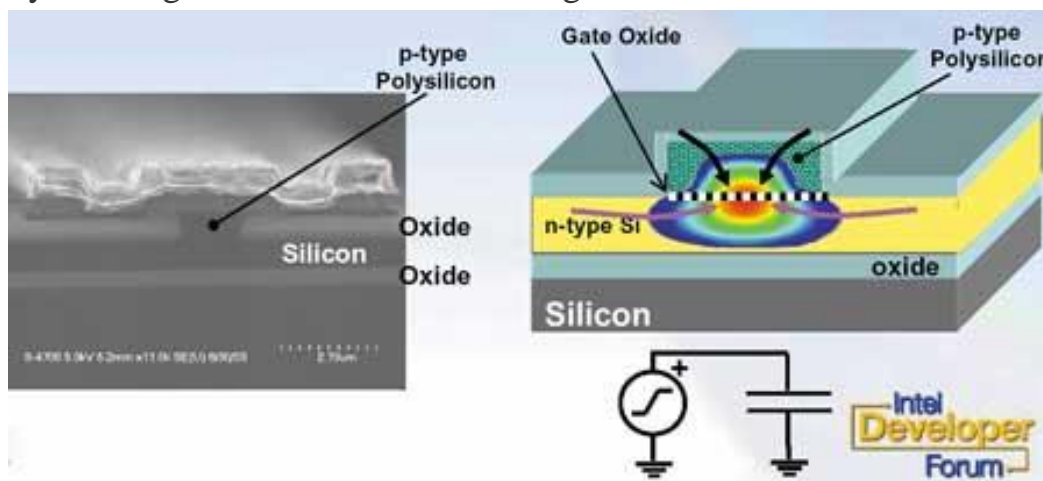
Olingan tashqi dispersiv rezonatorga ega lazer tizimi radiatsiya to'lqin uzunligini sozlash imkonini beradi. An'anaga ko'ra, kerakli to'lqin uzunligini olish uchun filtrlar rezonatorga nisbatan nozik sozlangan.

Intel hech qanday harakatlanuvchi qismlarga ega bo'lmagan sozlanishi lazerni yaratishga muvaffaq bo'ldi. U to'lqin o'tkazgichning ichiga o'rnatilgan panjarali arzon multimodli lazerdan iborat. Panjara haroratini o'zgartirish orqali ma'lum bir to'lqin uzunligini sozlash, ya'ni alohida lazer rejimlari o'rtasida almashish mumkin.

Kremniy optik modulyatorlar

2004 yil fevral oyida Intel 1 gigagertsli chastotada dunyodagi birinchi Kremniy optik faza modulyatorini namoyish qilib, kremniy fotonikasida yana bir yutuqni amalga oshirdi.

Ushbu modulyator yorug'lik tarqalishining erkin zaryad tashuvchilarga ta'siriga asoslangan va uning tuzilishi ko'p jihatdan SOI (izolyatorida kremniy) texnologiyasiga asoslangan CMOS tranzistoriga o'xshaydi. Optik faza modulyatorining tuzilishi shaklda ko'rsatilgan. 3.



Rasm. 3. Optik kremniy faza modulyatorining struktura diagrammasi

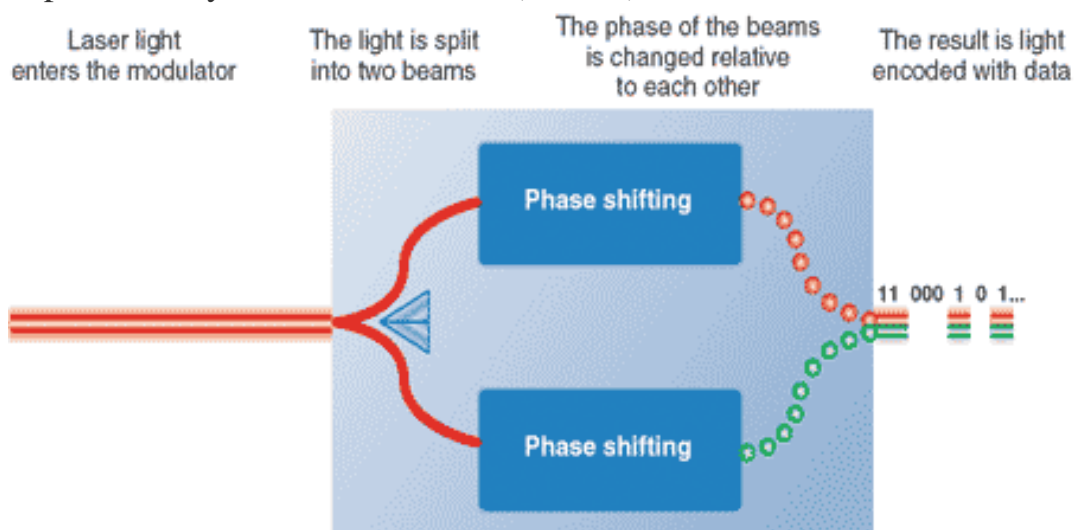
Izolyator qatlami (kremniy dioksidi) bo'lgan kristalli kremniyning substratida kristalli kremniy qatlami mavjud. *n*-turi. Buning ortidan kremniy dioksidi qatlami paydo bo'ladi, uning markazida polikristalli kremniy qatlami joylashgan. *p*-to'lqin o'tkazgich vazifasini bajaradigan tip. Bu qatlam kristall kremniydan ajratilgan *n*-qalinligi atigi 120 angstrom bo'lgan izolyatorning eng yupqa qatlamini (darvoza dielektri) yozing. Metall bilan aloqa qilish natijasida yorug'lik tarqalishini minimallashtirish uchun metall kontaktlar kremniy oksidi qatlamidan to'lqin o'tkazgichning har ikki tomonida yupqa polikristal kremniy qatlami bilan ajratiladi.

Darvoza elektrodiga musbat kuchlanish qo'llanilganda, eshik dielektrining ikkala tomonida va to'lqin uzatuvchi tomonida (polikristal kremniy) zaryad induksiya qilinadi. *p*-turi) bu teshiklar va kremniy tomondan *n*-turi - erkin elektronlar.

Kremniyda erkin zaryadlar mavjud bo'lganda, kremniyning sindirish ko'rsatkichi o'zgaradi. Sinishi indeksining o'zgarishi, o'z navbatida, uzatiladigan yorug'lik to'lqinining fazaviy siljishiga olib keladi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan modulyator mos yozuvlar signalining fazali modulyatsiyasini yaratishga imkon beradi. Fazali modulyatsiyani amplitudali modulyatsiyaga aylantirish uchun (mos yozuvlar signali yo'q bo'lganda fazada modulyatsiyalangan signalni aniqlash qiyin) optik modulyator qo'shimcha ravishda

har biri ikkita qo'li bo'lgan Mach-Zender interferometridan (MZI) foydalanadi. fazali optik modulyatorni birlashtiradi (4-rasm).



Rasm. 4. Optik modulyatorning blok diagrammasi

Interferometrning ikkala qo'lida fazali optik modulyatorlardan foydalanish interferometrlarning qo'llarining optik uzunliklarining tengligini ta'minlash imkonini beradi.

Optik tola bo'ylab tarqaladigan mos yozuvlar yorug'lik to'lqini Y-splitter tomonidan ikkita kogerent to'lqinga bo'linadi, ularning har biri interferometrning qo'llaridan biri bo'ylab tarqaladi. Agar ikkala to'lqin ham interferometr qo'llarining birikish nuqtasida fazada bo'lsa, u holda bu to'lqinlarning qo'shilishi natijasida interferometrdan oldingi kabi bir xil to'lqin olinadi (bu holda yo'qotishlar e'tiborga olinmaydi) (konstruktiv shovqin). Agar to'lqinlar antifazada qo'shilsa (buzg'unchi shovqin), u holda olingan signal nol amplitudaga ega bo'ladi.

Ushbu yondashuv tashuvchi signalning amplitudali modulyatsiyasini amalga oshirishga imkon beradi - faza modulyatorlaridan biriga kuchlanish qo'llash orqali interferometrning qo'llaridan biridagi to'lqinning fazasi o'zgaradi. n yoki umuman o'zgarماسligi, shuning uchun halokatli yoki konstruktiv aralashuv uchun shart-sharoitlarni ta'minlaydi. Shunday qilib, chastotali faza modulyatoriga kuchlanishni qo'llash f , bir xil chastotali signalning amplitudali modulyatsiyasini amalga oshirish mumkin f .

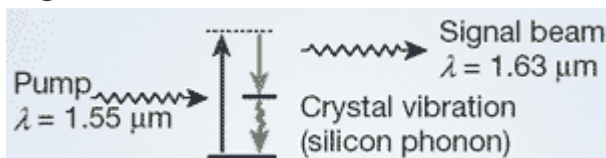
Yuqorida aytib o'tilganidek, 2004 yil fevral oyida namoyish etilgan Intel kremniy optik modulatori 1 gigagertsli tezlikda nurlanishni modulyatsiya qilish qobiliyatiga ega edi. Keyinchalik, 2005 yil aprel oyida Intel 10 gigagertsli chastotada ishlaydigan modulyatorni namoyish etdi.

Raman uzluksiz Kremniy lazer

2005 yil fevral oyida Intel yana bir texnologik yutuq - Raman effekti asosida uzluksiz to'lqinli kremniy lazer yaratilishini e'lon qildi.

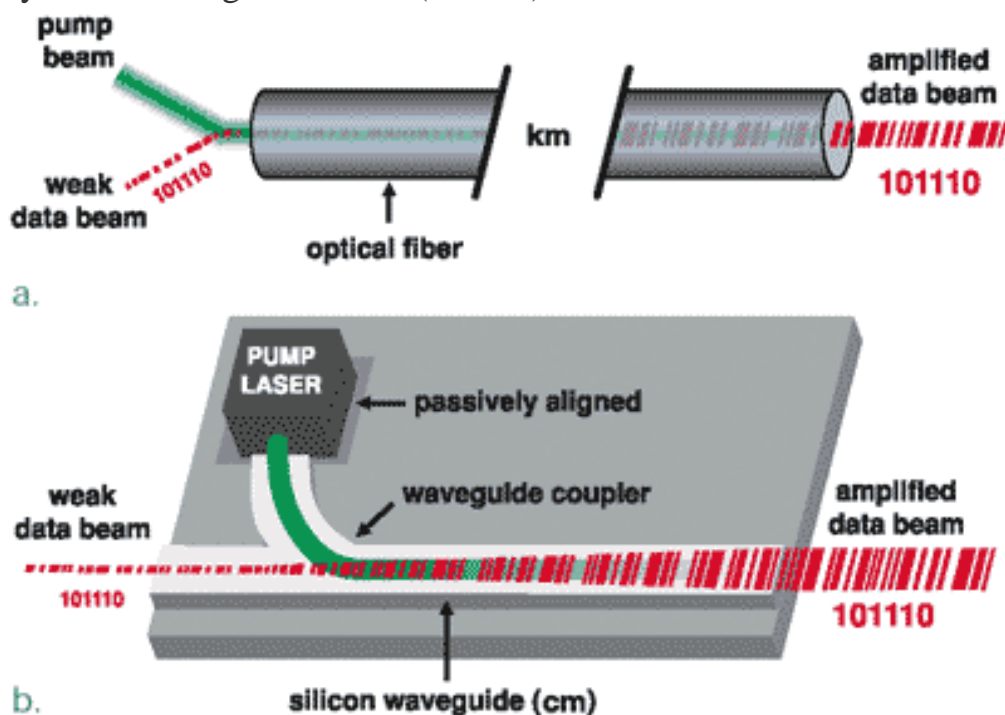
Raman effekti ancha vaqtdan beri qo'llanilgan va optik tolalar asosida yorug'lik kuchaytirgichlari va lazerlarni yaratish uchun keng qo'llaniladi.

Bunday qurilmalarning ishlash printsipti quyidagicha. To'lqin uzunligi bo'lgan lazer nurlanishi (nasos nurlanishi) optik tolaga AOK qilinadi (5-rasm). Optik tolada fotonlar kristall panjaraning atomlari tomonidan so'riladi, buning natijasida ular "aylana boshlaydi" (tebranish fononlari hosil bo'ladi) va qo'shimcha ravishda kamroq energiyaga ega fotonlar hosil bo'ladi. Ya'ni, to'lqin uzunligi bilan har bir fotonning yutilishi $l = 1,55 \text{ mm}$ to'lqin uzunligiga ega bo'lgan fonon va foton hosil bo'lishiga olib keladi $l=1,63 \text{ mm}$.



Rasm. 5. Raman effekti tufayli yorug'lik kuchaytirgichining ishlash printsipti

Endi tasavvur qiling-a, modulyatsiyalangan nurlanish ham bor, u nasos nurlanishi bilan bir xil tolaga birlashtiriladi va fotonlarning rag'batlantirilgan emissiyasiga olib keladi. Natijada, bunday toladagi nasos nurlanishi asta-sekin signalli, modulyatsiyalangan, kuchaytirilgan nurlanishga aylanadi, ya'ni optik kuchaytirish effektiga erishiladi (6-rasm).



Rasm.6. Yaxshilash uchun Raman effektidan foydalanish optik tolada modulyatsiyalangan nurlanish

Ammo muammo shundaki, nasos nurlarining signal nurlanishiga bunday aylanishi va shunga mos ravishda signal nurlanishining kuchayishi signal nurlanishining ham, nasos nurlanishining ham tola bo'ylab bir necha kilometrta harakatlanishini talab qiladi. Albatta, ko'p kilometrli optik tolaga asoslangan

kuchaytirish sxemalarini oddiy va arzon deb atash mumkin emas, buning natijasida ularning qo'llanilishi sezilarli darajada cheklangan.

Optik tolaning asosini tashkil etuvchi shishadan farqli o'laroq, kremniydagi Raman effekti 10 ming marta kuchliroqdir va optik toladagi kabi natijaga erishish uchun nasos nurlanishi va signal nurlanishining bir nechta radiatsiya bilan birga tarqalishi kifoya qiladi. santimetr. Shunday qilib, kremniyda Raman effektidan foydalanish miniatyura va arzon yorug'lik kuchaytirgichlari yoki optik lazerlarni yaratishga imkon beradi.

Kremniy optik kuchaytirgichni yoki Raman lazerini yaratish jarayoni optik kremniy to'lqin o'tkazgichni yaratish bilan boshlanadi. Ushbu texnologik jarayon kremniy substratlardan foydalangan holda an'anaviy CMOS chiplarini yaratish jarayonidan farq qilmaydi, bu, albatta, katta afzallikdir, chunki u ishlab chiqarish jarayonining o'zi narxini sezilarli darajada kamaytiradi.

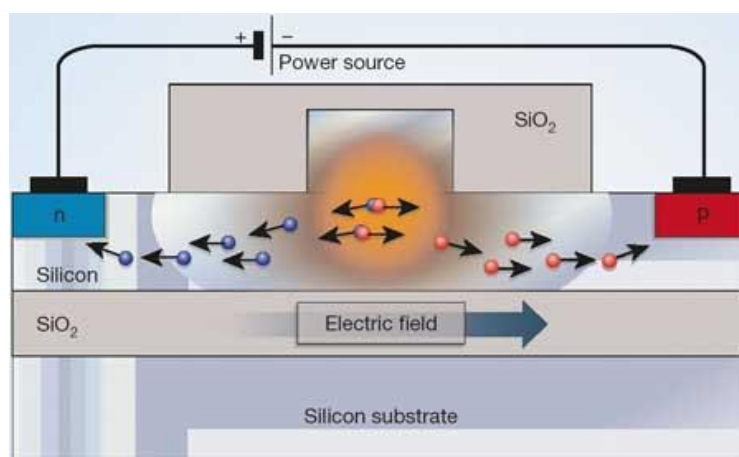
Bunday kremniy to'lqin o'tkazgichga oziqlangan nurlanish bor-yo'g'i bir necha santimetr masofani bosib o'tadi, shundan so'ng (Raman effekti tufayli) u to'liq uzunroq to'lqin uzunligi bilan signal nurlanishiga aylanadi.

Tajribalar davomida ma'lum bo'ldiki, nasosning radiatsiya quvvatini faqat ma'lum bir chegaragacha oshirish maqsadga muvofiqdir, chunki quvvatning yanada oshishi signal nurlanishining oshishiga olib kelmaydi, aksincha, uning zaiflashishiga. Ushbu ta'sirning sababi ikki fotonli yutilish deb ataladi, uning ma'nosi quyidagicha. Kremniy infraqizil nurlanish uchun optik jihatdan shaffof moddadir, chunki infraqizil fotonlarning energiyasi kremniyning tarmoqli oralig'idan kamroq va Kremniy atomlarini elektron chiqishi bilan qo'zg'atilgan holatga o'tkazish etarli emas. Biroq, agar fotonlarning zichligi yuqori bo'lsa, ikkita foton bir vaqtning o'zida kremniy atomi bilan to'qnashganda vaziyat yuzaga kelishi mumkin. Bunday holda, ularning umumiy energiyasi atomni elektronning chiqishi bilan o'tkazish uchun etarli, ya'ni atom bir vaqtning o'zida ikkita fotonni yutish bilan qo'zg'aluvchan holatga o'tadi. Bu jarayon ikki fotonli yutilish deb ataladi.

Ikki fotonli yutilish natijasida hosil bo'lgan erkin elektronlar, o'z navbatida, nasos va signal nurlanishini o'zlashtiradi, bu esa optik kuchaytirish effektining kuchli zaiflashishiga olib keladi. Shunga ko'ra, nasosning nurlanish kuchi qanchalik yuqori bo'lsa, ikki fotonli yutilish va nurlanishning erkin elektronlarga singishi ta'siri shunchalik kuchli bo'ladi. Uzoq vaqt davomida yorug'likning ikki fotonli yutilishining salbiy oqibati uzluksiz to'lqinli kremniy lazerining yaratilishiga to'sqinlik qildi.

Intel laboratoriyasida yaratilgan kremniy lazerida birinchi marta nurlanishning ikki fotonli yutilish ta'siridan, aniqrog'i, ikki fotonli yutilish hodisasining o'zidan emas, balki uning salbiy oqibatlaridan - yutilishdan qochish mumkin bo'ldi. hosil bo'lgan erkin elektronlarda nurlanish. Kremniy lazer PIN-kod

deb ataladigan tuzilmadir (P-tipi - Intrinsic - N-tipi) (7-rasm). Bunday strukturada kremniy to'liqin o'tkazgich P- va N-hududiga ega bo'lgan yarim o'tkazgich strukturasi ichiga kiritilgan. Bunday struktura drenaj va manbaga ega bo'lgan planar tranzistor sxemasiga o'xshaydi va darvoza o'rniga Kremniy to'liqin qo'llanmasi birlashtirilgan. Kremniy to'liqin o'tkazgichning o'zi kremniy oksidi qobig'i (sinishi indeksi 1,5) bilan o'ralgan ko'ndalang kesimdagi (sinishi indeksi 3,6) kremniy to'rtburchaklar mintaqasi sifatida hosil bo'ladi. Kristalli kremniy va kremniy oksidining sindirish ko'rsatkichlaridagi bu farq tufayli optik to'liqin o'tkazgichni hosil qilish va ko'ndalang tarqalish tufayli radiatsiya yo'qotishlarini oldini olish mumkin.

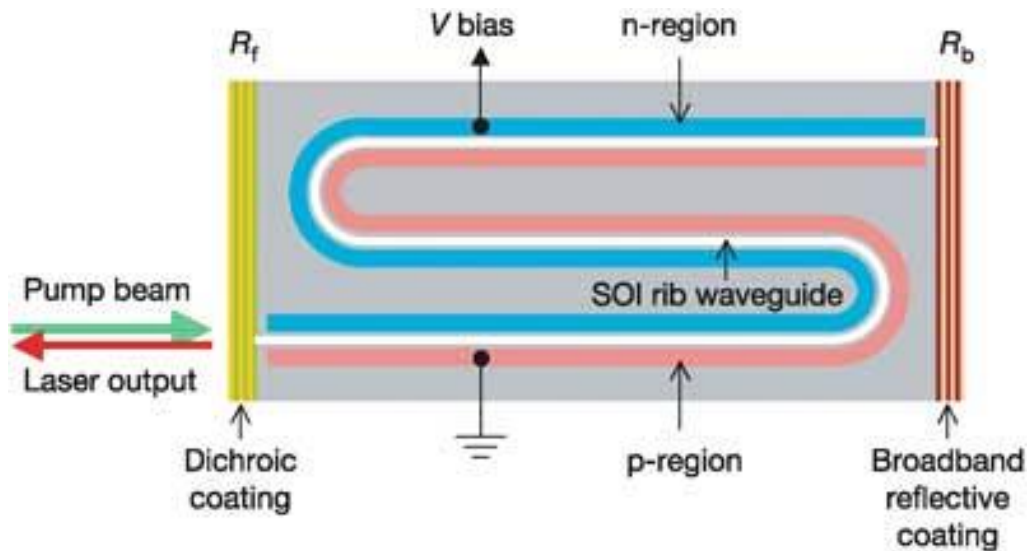


Rasm. 7. Uzluksiz to'liqinli kremniy lazerining PIN-kod tuzilishi

Bunday to'liqin strukturasi va vattning fraksiyalari quvvatiga ega nasos lazeridan foydalanib, to'liqin o'tkazgichda taxminan $25 \text{ MVt} / \text{sm}^2$ zichlikdagi radiatsiya hosil qilish mumkin, bu olinishi mumkin bo'lgan radiatsiya zichligidan ham yuqori. Yuqori quvvatli yarimo'tkazgichli lazerlardan foydalanish. Bunday nurlanish zichligida Ramanning kuchayishi unchalik yuqori emas (santimetr uchun bir necha desibel tartibida), ammo bu zichlik lazerni amalga oshirish uchun etarli.

Ikki fotonli yutilish natijasida to'liqin o'tkazgichda hosil bo'lgan erkin elektronlarga nurlanishning yutilishining salbiy ta'sirini bartaraf etish uchun ikkita eshik orasiga kremniy to'liqin o'tkazgich o'rnatiladi. Agar bu eshiklar o'rtasida potentsial farq paydo bo'lsa, u holda elektr maydoni ta'sirida erkin elektronlar va teshiklar kremniy to'liqin qo'llanmasidan "tashqariga chiqariladi" va shu bilan ikki fotonli yutilishning salbiy oqibatlarini bartaraf qiladi.

Ushbu PIN strukturasi asosida lazerni hosil qilish uchun to'liqin o'tkazgichning uchlariga ikkita ko'zgu qo'shish kerak, ulardan biri yarim shaffof bo'lishi kerak (8-rasm).

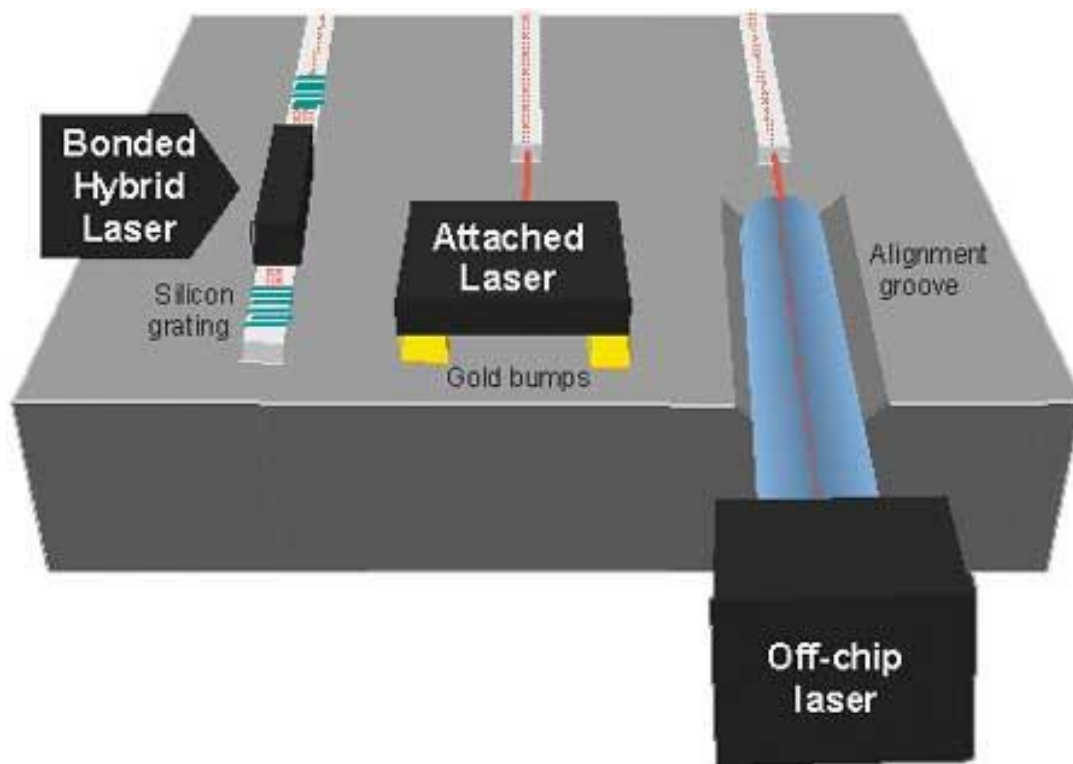


Rasm. 8. Uzluksiz kremniy lazerning sxemasi

Gibrid Kremniy lazer

Raman effektiga asoslangan uzluksiz to'lqinli Kremniy lazer, asosan, nasos nurlanishi sifatida ishlatiladigan tashqi nurlanish manbai mavjudligini taxmin qiladi. Shu ma'noda, bu lazer kremniy fotonikasining asosiy muammolaridan birini - barcha strukturaviy bloklarni (radiatsiya manbalari, filtrlar, modulyatorlar, demodulyatorlar, to'lqin o'tkazgichlar va boshqalar) bir kremniy chipiga birlashtirish qobiliyatini hal qilmaydi.

Bundan tashqari, optik nurlanishning tashqi manbalaridan foydalanish (chipdan tashqarida yoki hatto uning yuzasida joylashgan) kremniy to'lqin o'tkazgichga nisbatan lazerni tekislashning juda yuqori aniqligini talab qiladi, chunki bir necha mikronning noto'g'ri moslashuvi butun qurilmaning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. (9-rasm). Aniq sozlash talabi ushbu toifadagi qurilmalarni ommaviy bozorga olib chiqishga imkon bermaydi va ularni ancha qimmat qiladi. Shu sababli, kremniy lazerni kremniy to'lqin o'tkazgichga nisbatan tekislash kremniy fotonikasidagi eng muhim muammolardan biridir.

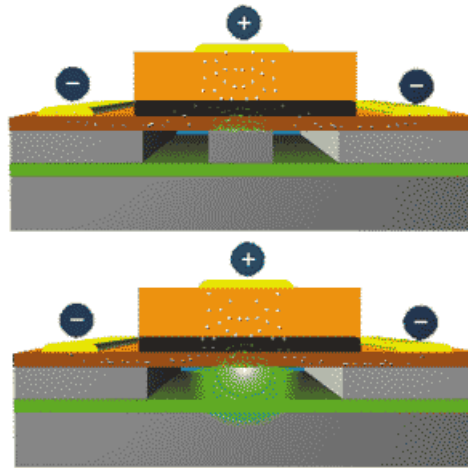


Rasm. 9. Tashqi lazerlardan foydalanganda lazerni aniq tekislash talab qilinadi va to'lqin o'tkazgich

Agar lazer va to'lqin o'tkazgich bir xil texnologik jarayonda bir kristalda yaratilgan bo'lsa, bu muammoni hal qilish mumkin. Shuning uchun gibridd kremniy lazerining yaratilishi kremniy fotonikasini yangi bosqichga olib chiqdi, deb hisoblash mumkin.

Bunday gibridd lazerning ishlash printsipi juda oddiy va indiy fosfidining (InP) chiqarish xususiyatlariga va kremniyning yorug'lik o'tkazish qobiliyatiga asoslangan.

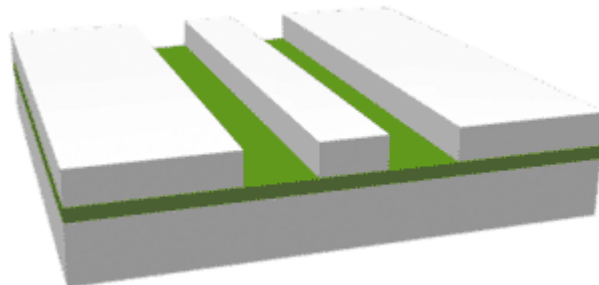
Gibridd lazerning tuzilishi shaklda ko'rsatilgan. 10. Yarimo'tkazgichli lazerning faol moddasi sifatida ishlaydigan indiy fosfidi to'g'ridan-to'g'ri kremniy to'lqin o'tkazgichning ustida joylashgan va undan dielektrikning eng nozik qatlami (uning qalinligi atigi 25 atom qatlami) - kremniy oksidi bilan ajralib turadi, bu " hosil bo'lgan nurlanish uchun shaffof". Elektrodlar o'rtasida kuchlanish qo'llanilganda, elektronlar oqimi manfiy elektrodlardan ijobiy tomonga yo'nalishda sodir bo'ladi. Natijada indiy fosfidining kristall strukturasi elektr toki o'tadi. Elektr toki indiy fosfididan o'tganda, teshiklar va elektronlarning rekombinatsiyasi jarayoni natijasida fotonlar, ya'ni nurlanish paydo bo'ladi. Ushbu nurlanish to'g'ridan-to'g'ri kremniy to'lqin uzatgichga kiradi.



Rasm. 10. Gibridd kremniy lazerning tuzilishi

Kremniy lazerning tavsiflangan tuzilishi kremniy to'lqin o'tkazgichga nisbatan lazerni qo'shimcha sozlashni talab qilmaydi, chunki ularning bir-biriga nisbatan o'zaro joylashishi gibridd lazerning monolit tuzilishini shakllantirish jarayonida bevosita amalga oshiriladi va boshqariladi.

Bunday gibridd lazerni ishlab chiqarish jarayoni bir necha asosiy bosqichlarga bo'linadi. Dastlab, kremniy qatlami, izolyator qatlami (kremniy oksidi) va boshqa kremniy qatlamidan iborat bo'lgan "sendvichda" to'lqin o'tkazgich strukturasi etching orqali hosil bo'ladi (11-rasm) va ishlab chiqarishning ushbu texnologik bosqichidan farq qilmaydi. mikrochiplarni ishlab chiqarishda ishlatiladigan jarayonlar.



Rasm. 11. Kremniyda to'lqin uzatuvchi strukturaning hosil bo'lishi

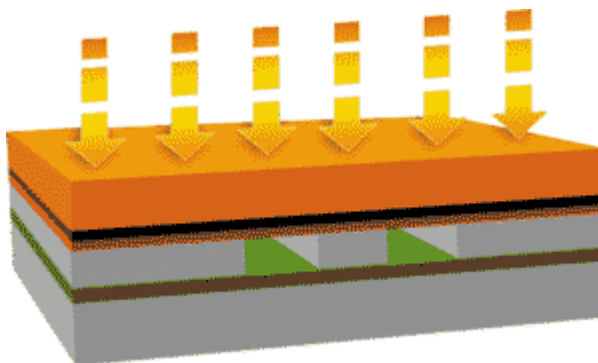
Keyinchalik, to'lqin o'tkazgich yuzasida indiy fosfidining kristalli tuzilishini hosil qilish kerak. Indiy fosfid kristalli strukturasi allaqachon shakllangan to'lqin uzatuvchi strukturada o'stirishning texnologik jihatdan murakkab jarayonidan foydalanish o'rniga, yarim o'tkazgich qatlami bilan birga indiy fosfidi substrati. n -turi alohida shakllanadi, bu ancha sodda va arzon. Muammo indiy fosfidini to'lqin uzatuvchi strukturaga ulashdir.

Buning uchun kremniy to'lqin uzatmalarining tuzilishi ham, indiy fosfidi substrati ham past haroratli kislorod plazmasida oksidlanish jarayoniga duchor bo'ladi. Ushbu oksidlanish natijasida ikkala material yuzasida qalinligi atigi 25 atom qatlami bo'lgan oksid plyonkasi hosil bo'ladi (12-rasm).



Rasm. 12. Indiy fosfid substrati
hosil bo'lgan oksid qatlami bilan

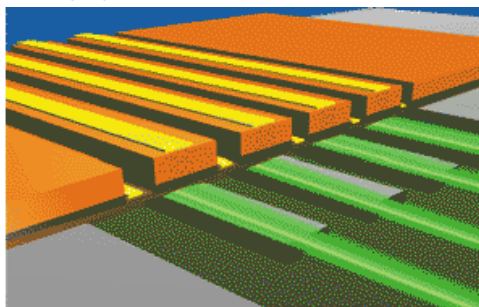
Ikkita material qizdirilganda va bir-biriga bosilganda, oksid qatlami shaffof elim vazifasini bajaradi va ularning yagona kristallga birlashishini ta'minlaydi (13-rasm).



Rasm. 13. Kremniy to'lqin o'tkazgichlar tuzilishini "yopishtirish" indiy fosfidi yordami bilan

Ta'riflangan dizayndagi kremniy lazeri bir-biriga yopishtirilgan ikkita materialdan iborat bo'lganligi sababli u gibril lazer deb ataladi. Bog'lanish jarayonidan so'ng, ortiqcha indiy fosfidi etching orqali chiqariladi va metall kontaktlari hosil bo'ladi.

Gibril kremniy lazerlarini ishlab chiqarishning texnologik jarayoni bir chipga o'nlab va hatto yuzlab lazerlarni joylashtirish imkonini beradi (14-rasm).



Rasm. 14. To'rttadan iborat chipning sxemasi
gibril Kremniy lazer

Intel tomonidan Kaliforniya universiteti bilan birgalikda namoyish etilgan birinchi chipda ettita gibril kremniy lazer mavjud edi (15-rasm).



Rasm. 15. Etti gibril kremniy lazerining nurlanishi, bitta chipda yaratilgan

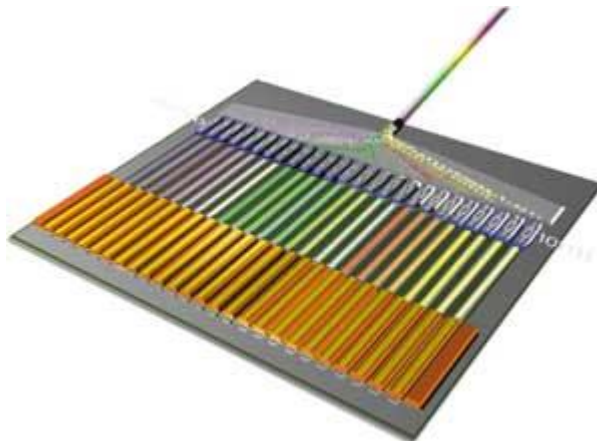
Ushbu gibril lazerlar 1577 nm to'lqin uzunligida 65 mA chegara oqimida 1,8 mVt gacha chiqish quvvatiga ega.

Hozirgi vaqtda gibril Kremniy lazer 40 ° C dan past haroratlarda ishlaydi, ammo kelajakda ish haroratini 70 ° C ga oshirish va chegara oqimini 20 mA ga kamaytirish rejalashtirilgan.

Kremniy fotonikasi kelajagi

Gibril kremniy lazerining yaratilishi kremniy fotonikasi uchun keng qamrovli ta'sir ko'rsatishi va yuqori unumdorlikdagi hisoblash davri uchun boshlang'ich nuqta bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Yaqin kelajakda o'nlab kremniy lazerlari, modulyatorlari va multipleksorlari chipga integratsiya qilinadi, bu esa terabit o'tkazish qobiliyatiga ega optik aloqa kanallarini yaratish imkonini beradi (16-rasm).



Rasm. 16. Optik aloqa kanalining chipi, o'nlab Kremniy lazerlarni o'z ichiga olgan, filtrlar, modulyatorlar va multipleksorlar

“Ushbu ishlanma tufayli kelajak kompyuterlari uchun terabit o'tkazish qobiliyatiga ega, arzon narxlardagi optik ma'lumotlar avtobuslarini yaratishimiz mumkin bo'ladi. Shunday qilib, biz yuqori unumli hisoblashning yangi davrini yaqinlashtirishimiz mumkin”, dedi Intel korporatsiyasi fotonika texnologiyalari laboratoriyasi direktori Mario Paniccia. "Ushbu texnologiyadan tijorat maqsadlarida foydalanish hali juda uzoq bo'lishiga qaramay, biz o'nlab va hatto yuzlab gibril kremniy lazerlarni, shuningdek, kremniy fotonikasiga asoslangan

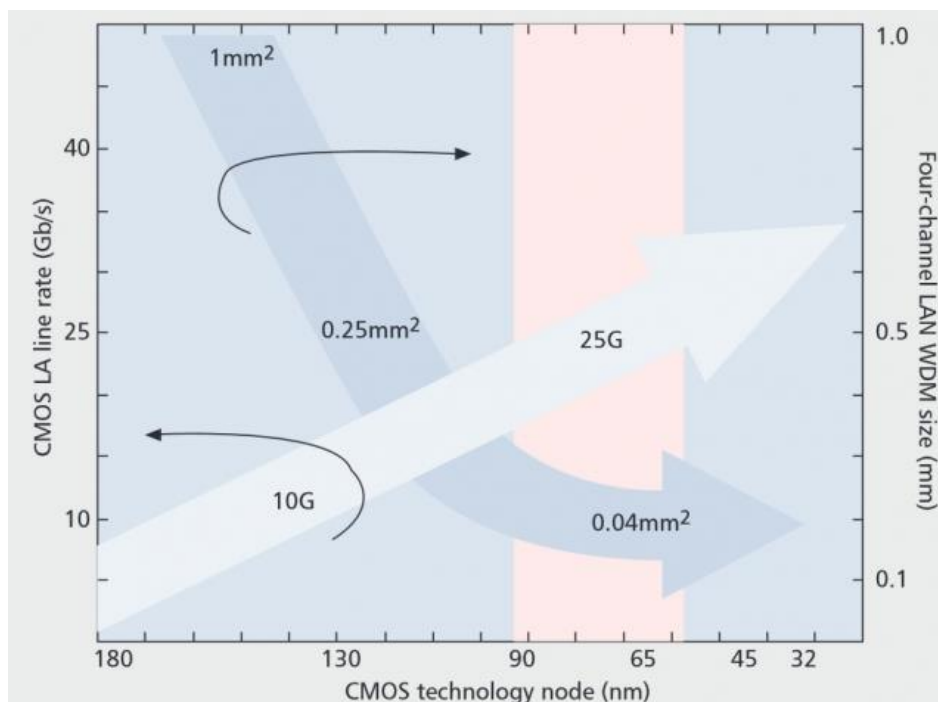
boshqa komponentlarni bitta kremniy chipiga joylashtirish mumkinligiga ishonchimiz komil."

IBM birinchi to'liq integratsiyalangan multiplekslangan chipni yaratish bilan kremniy fotonikasidagi yutuqni e'lon qildi. Yangi qurilma alohida chiplarga elektromagnit to'lqinlar emas, balki optik to'lqinlar yordamida bir-biri bilan aloqa o'rnatish imkonini beradi, bu esa o'tkazish qobiliyatini sekundiga 100 Gb va undan ham ko'proq oshiradi. Ushbu chip bitta kremniy chipiga joylashtirilgan va mavjud [hal qiluvchi ahamiyatga ega](#) mikro miqyosda optik texnologiyalarni uzoq muddatga joriy etish uchun. Lekin nega IBM va Intel kabi kuchli kompaniyalar kremniy fotonikasini o'rganishga o'nlab yillar sarfladilar?

Nazariy jihatdan, Kremniy fotonikasi yordamida mis konnektorlarini keyingi ishlatish bilan bog'liq ko'plab jiddiy muammolarni hal qilish mumkin. Mis sim bilan bog'liq asosiy muammolardan biri shundaki, uni zamonaviy protsessorning boshqa muhim qismlari kabi agressiv tarzda o'lchab bo'lmaydi. Muayyan nuqtadan tashqari, mis simni uning ishlashi va / yoki saqlash muddatini buzmasdan qisqartirish jismonan mumkin emas. Nazariy jihatdan, optik ulanishlar kamroq quvvat sarflagan holda ma'lumotlarni tezroq uzatishi mumkin. Bundan tashqari, ko'pgina kompaniyalar kremniy fotonikasi superkompyuterlarni yaratish uchun zarur deb hisoblaydi [hisoblash quvvati](#) taxminan bir eksaflops (exascale hisoblash).

	2013	2016	2019	2022
Flops	20 P	160 P	1.28 E	10.2 E
Aggregate BW	80 Pbps	640 Pbps	5.12 Ebps	40.8 Ebps
Energy/bit	75 pJ/bit	11 pJ/bit	1.7 pJ/bit	250 fJ/bit
Size	< 2400 mm ³ / Gbps	< 120 mm ³ / Gbps	< 6 mm ³ / Gbps	< 50 mm ³ / Tbps
Cost	6 \$/Gbps	1 \$/Gbps	0.16 \$/Gbps	< 0.02 \$/Gbps

Afsuski, kremniy optik qurilmalar uchun yomon vosita hisoblanadi, chunki ishlab chiqarish ko'lami juda xilma-xildir (optik to'lqin o'tkazgichlar va boshqa komponentlar CMOS kremniyiga qaraganda ancha katta) [muhandislik yechimlari](#), bu galliy arsenid kabi qimmat muqobil materiallardan ko'ra kremniydan foydalangan holda optik elementlarni mavjud CMOS-ga samarali va arzon tarzda birlashtirishi mumkin. Endi kompaniya kremniy fotonik chiplarini bevosita protsessor moduliga joylashtirishga muvaffaq bo'ldi.



Intel kompaniyasining kremniy fotonikasi bo'yicha taqdimotidagi grafik ishlab chiqaruvchilar erishmoqchi bo'lgan quvvat sarfini ham ko'rsatadi. Kremniy fotonikasi uchun uzoq muddatli rejalar mis ulanishlari uchun mavjud bo'lmagan ma'lumotlarning bitiga bir xil tarmoqli kengligi va energiyani taklif qiladi. O'nlab yillar davomida ishlagandan so'ng, kremniy fotonikasi qog'ozda yaxshi ko'rinadigan, ammo amalda mutlaqo qo'llanilmaydigan yana bir aqldan ozgan g'oya kabi ko'rinishi mumkin, ammo taraqqiyot hali to'xtamaydi va IBM, Intel yoki HP kabi ilg'or kompaniyalar chiqarmasligi mumkin. Yaqin kelajakda tijorat darajasidagi texnologiya ilmiy laboratoriyalarda, superkompyuterlarda va ma'lumotlar markazlarida qo'llanilishi aniq bo'ladi.

MAVZU 5. NANOFOTONIKA. BIR FOTONLI NURLANISH MANBALARI

Reja:

1. Nanofotonika.
2. Plazmonik optik hodisalar
3. Bir fotonli nurlanish manbalari

Nanofotonik qurilmalarga o'lchamlari 100 nm yoki undan kam bo'lgan tuzilmalarni ishlatadigan qurilmalar kiradi. Bunday qurilmalar ko'plab optik tizimlarni miniatyuralashtirish muammolarini hal qiladi. Nanofotonika va optika sohasidagi tadqiqotlar va ishlanmalar o'ziga xos xususiyatlarga yoki mutlaqo yangi funkcionallikka ega fotonik qurilmalarni yaratishga qaratilgan. Ushbu qurilmalarda yangi optik hodisalar tufayli yuzaga kelgan konsentratsiya va maydonni boshqarish

ta'siri yorug'likning materiya bilan o'zaro ta'sirini boshqarish mexanizmlarini amalga oshiradi.

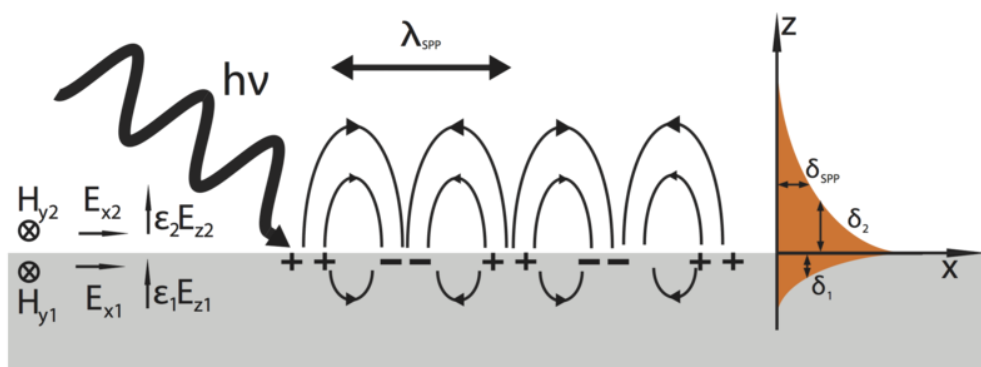
Bu ultra yuqori unumdorlikka ega hisoblash, xavfsiz aloqa, boshqariladigan materiallar va yuqori samarali quyosh panellaridan tortib, inson hayotiy ko'rsatkichlarini real vaqt rejimida individual monitoring qilishning shaxsiy vositalarigacha fotonik qurilmalarning keng spektrini ilmiy va amaliy rivojlantirish uchun istiqbolli ufqlarni ochadi. biologik ob'ektlarning o'ta past konsentratsiyasi va kimyoviy tarkibini aniqlashga qodir.

Hozirgi vaqtda mikro va nanotexnologiyalar yorug'likni nazorat qilish va mikro va nano miqyosda optik aniqlash uchun innovatsion yondashuvlar va metodologiyalarni yaratishda qo'llaniladi. Ushbu yondashuvlarni amalga oshirish uchun klassik mikrotexnologiyalar bilan bir qatorda elektromagnit to'lqinlarni boshqarish, yorug'likning materiya va nanostrukturalar bilan o'zaro ta'siri, kichik siljishlar va tezlanishlarni boshqarish uchun yangi optoelektromexanik, magnit-optik va optoluidik usullar ishlab chiqilmoqda.

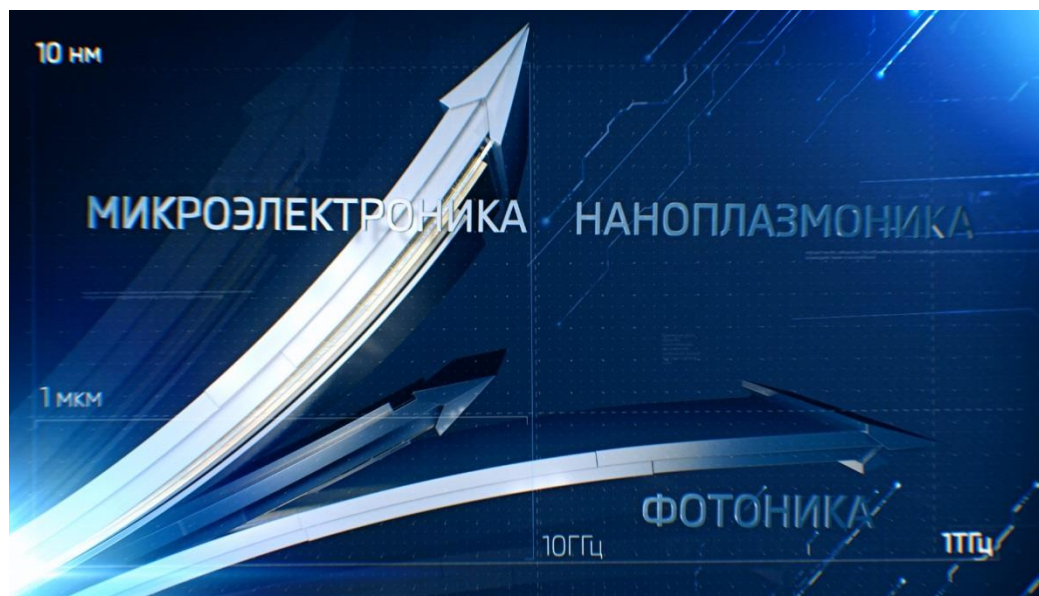
Ushbu imkoniyatlar va eng so'nggi ishlanmalar quyidagi sohalarda noyob integratsiyalashgan tizimlarni yaratish uchun ishlatiladi:

- yangi fizik tamoyillarga asoslangan element bazasi (kogerent nurlanishning kichik o'lchamli manbalari, yuqori tezlikdagi optoelektronik konvertorlar va boshqalar);
- yuqori tezlikdagi ma'lumotlarni uzatish tizimlari;
- birlashtirilgan optika;
- adaptiv optik tizimlar;
- inertial, harorat va akustik datchiklar;
- bir fotonli detektorlar;
- mikrosuyuqlik laboratoriyalari uchun biologik ob'ektlarning o'rnatilgan optik sensorlari.

Nanofotonika yorug'likning nanometr shkalasidagi "xulq-atvori" va yorug'likning nanometr miqyosdagi ob'ektlar bilan o'zaro ta'sirini o'rganadi va klassik dielektrik qurilmalarga qo'shimcha ravishda, odatda yorug'likni o'tkazish va fokuslash imkonini beruvchi metall komponentlarni o'z ichiga oladi. Nanofotonikaning bu sohasi odatda plazmonika deb ataladi. Plazmonik qurilmalarda elektromagnit tebranishlar (to'lqinlar) qo'llaniladi, ular sirt plazmon polaritonlari (yoki sirt plazmonlari, SPlar) deb nomlanadi, ular tashqi yorug'lik manbai qo'zg'atilganda metall-dielektrik interfeysida tarqaladi.



Plazmonik optik hodisalar so'nggi yillarda yorug'likni fokuslash va aniq ishlab chiqilgan va ishlab chiqarilgan nanoob'ektlar yaqinidagi optik maydonlarni kuchaytirish qobiliyati tufayli faol o'rganilmoqda. Bu mos ravishda fotonika va mikroelektronikaga xos bo'lgan yuqori unumdorlik va ultra yuqori darajadagi integratsiyani bir qurilmada birlashtira oladigan printsipl jihatdan yangi texnik echimlarni izlash imkonini beradi.



rida (subtoto'lo

qurilmaga birlashtirishga imkon beradi. . Plazmonika sohasidagi tadqiqotlarimiz yorug'likning nanostrukturalar bilan o'zaro ta'sirining fizik tamoyillarini aniqlashga, plazmonik tuzilmalarni shakllantirish texnologiyasini va optoelektronik qurilmalarning yangi sinfini yaratish uchun sirt plazmonlarini boshqarish usullarini ishlab chiqishga qaratilgan.

Plazmonik qurilmalarning keng tarqalgan amaliy qo'llanilishi bir qator fizik va texnologik cheklovlar bilan to'sqinlik qiladi. Asosiy jismoniy cheklov metallardagi katta ohmik yo'qotishlar bo'lib, ular plazmonik qurilmalarning ishlashiga zararli ta'sir ko'rsatadigan sirt plazmonlarining tez susayishiga olib keladi. FMN da passiv plazmonik tizimlardagi yo'qotishlarni kamaytirish uchun biz yangi materiallar va qurilmalar konstruksiyalarini, shuningdek konstruktiv

jihtadan ilg'or materiallarni (epitaksial plyonkalar qalinligi 50 nm dan kam bo'lgan sirt pürüzlülüğü 1 nm dan kam) va konstruksiyalarni shakllantirishning texnologik usullarini ishlab chiqmoqdamiz. ular asosida.

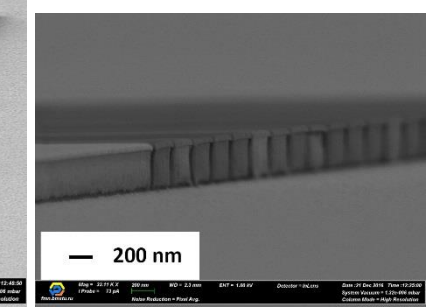
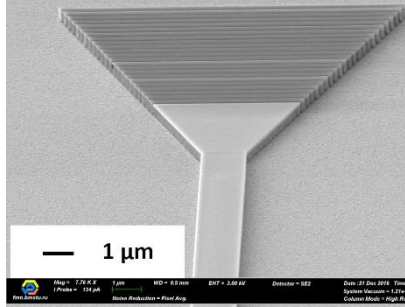
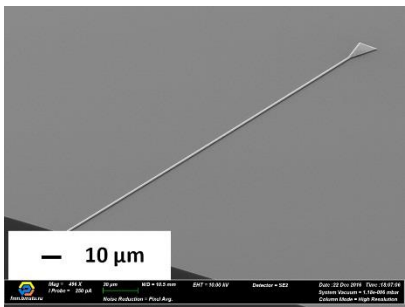
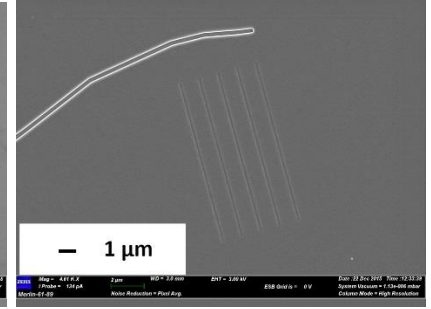
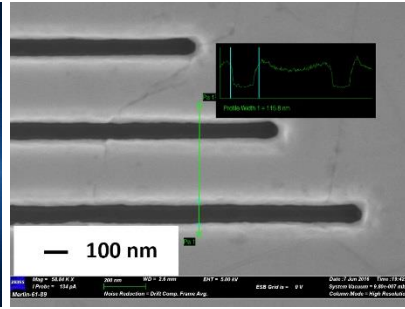
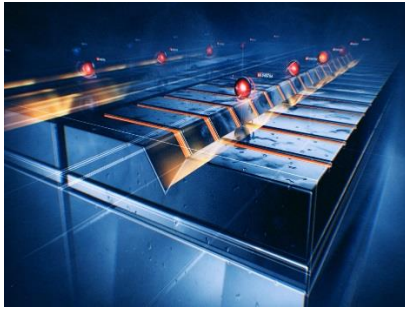
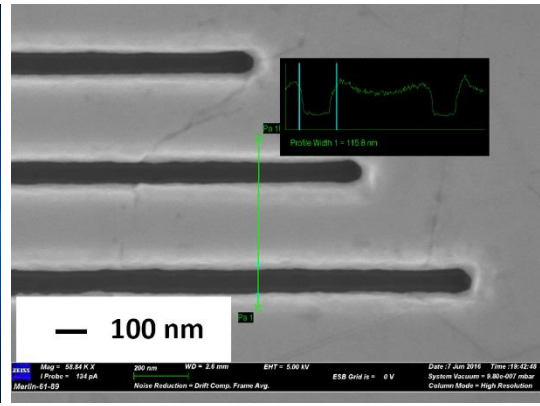
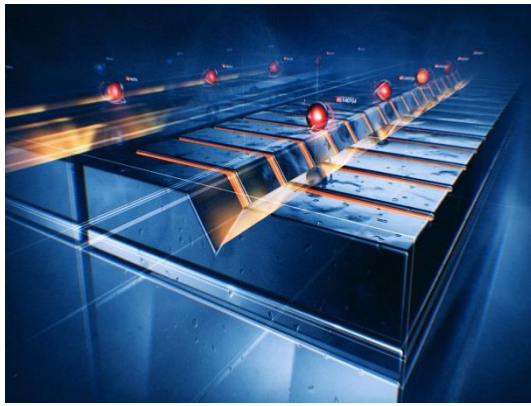
Faol plazmonik tizimlarda sirt plazmonlarining tarqalish yo'li bo'ylab "energiya zaryadini" ta'minlaydigan kuchaytiruvchi vositalarni (kvant nuqtalari, bo'yoqlar) kiritish orqali yo'qotishlarni qoplash texnologiyalari.

Asosiy texnologik cheklov - bu plazmonik tuzilmalarni yaratish uchun yuqori bardoshlik talablari tufayli amalga oshirishni tubdan murakkablashtiradigan katta maydonlarda (amaliy qo'llash uchun) 100 nm ostidagi topologik elementlarni shakllantirishning takrorlanadigan texnologiyasi.

Qo'shimcha salbiy omil (ko'p qatlamli yarimo'tkazgichli qurilmalarni ishlab chiqarish uchun standart "pastdan yuqoriga" texnologiyasidan foydalanganda) asboblar dizaynini shakllantirish texnologik jarayonlarida (ishlab chiqarishning birinchi bosqichlarida allaqachon yaratilgan) strukturaviy mukammal materiallarning mumkin bo'lgan buzilishidir (litografiya, qirqish va boshqalar).

Olimlar ommaviy ishlab chiqarish texnologiyalariga mos keladigan bir qator asosiy texnologik jarayonlarni ishlab chiqdilar (elektron nurli litografiya, plazma-kimyoviy o'yma va boshqalar), bu 100 nm dan past topologik elementlarga ega qurilmalarni yaratishga imkon beradi. zamonaviy protsessorning standart chipi. Bunday qurilmalarni ishlab chiqarishda plazmonik elementlarning o'lchamlari bo'yicha nanometrli bardoshlik ta'minlanadi.

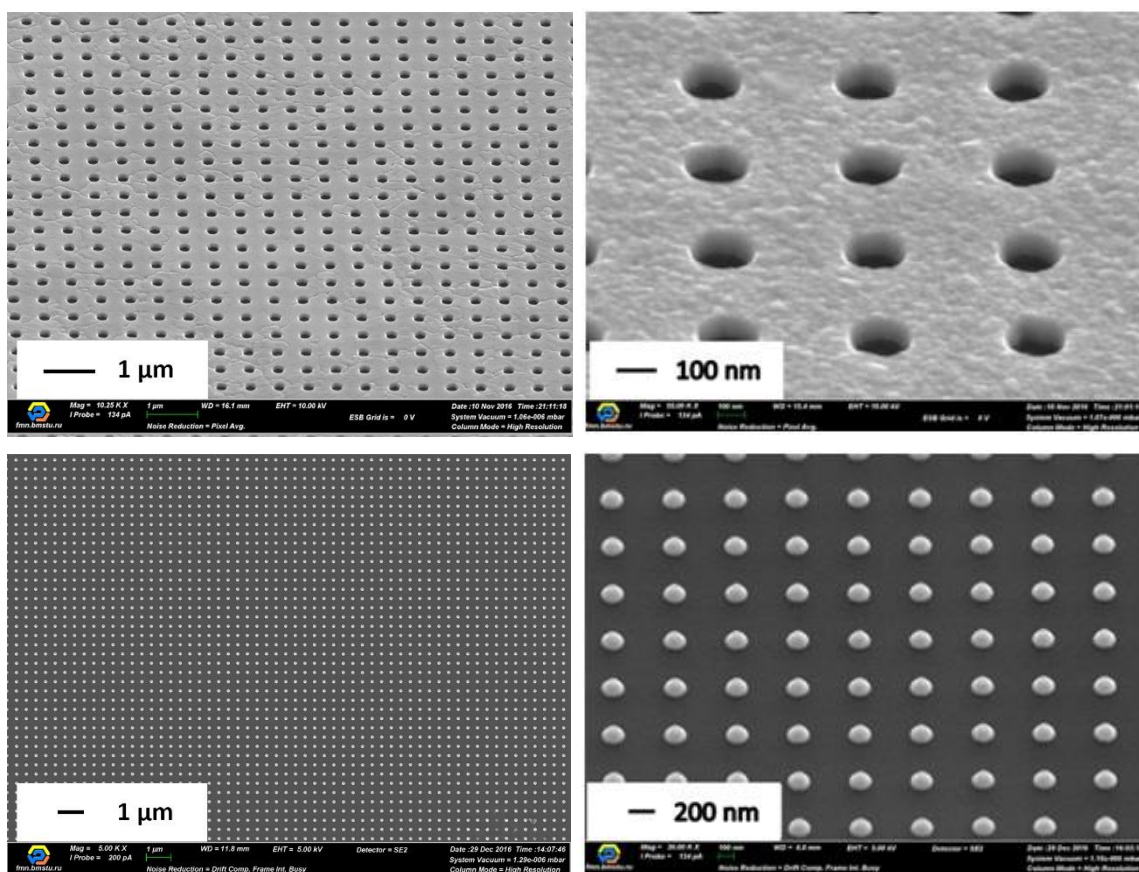
Signalni kiritish-chiqarish elementlariga ega bo'lgan plazmonik to'lqin o'tkazgichlar yuqori yuklangan hisoblash tizimlarida optik axborot uzatish liniyalari (optik tolali kabellar) va hisoblash yadrosi (protsessor integral mikrosxemalari) o'rtasidagi oraliq bo'g'in sifatida ishlatilishi mumkin, bu esa tizimlarda protsessorlararo ma'lumotlar uzatishni tezlashtiradi. ish, shuningdek, protsessor ichidagi ma'lumotlarni uzatish. Maqsadga va kerakli uzatish diapazoniga qarab (bir necha mikrondan bir necha millimetrgacha) ham passiv, ham faol plazmonik to'lqin o'tkazgichlardan foydalanish mumkin.



Plazmonik to'liqin o'tkazgichlardan foydalanish diffraksiya cheklovlariga ega bo'lgan kontaktlarning zanglashiga olib keladigan fotonik qismining hajmini sezilarli darajada kamaytirishi va faol komponentlarning energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishi mumkin.

Turli konstruksiyadagi plazmonik to'liqin o'tkazgichlar, radiatsiya kiritish-chiqarish tizimlari, kommutatsiya elementlari, shuningdek, ular asosida yuqori tezlikdagi ma'lumotlarni uzatish tizimlarini ishlab chiqarishning texnologik jarayonlari ishlab chiqilmoqda.

Plazmonik kogerent yorug'lik manbalarini yoki spaserlarni yaratish uchun. lazerlarning plazmonik analoglari, biz bir necha nanometr aniqlik bilan yuzlab mikron maydonlarida ishlab chiqarilgan rezonator nanostrukturalarining har xil turlarini o'rganmoqdamiz.



Dizaynga qarab, bunday rezonator nanostrukturari fotonlar, plazmonlar yoki elektromagnit maydonlarning universal nano-miqyosli manbalarini ishlab chiqishga olib kelishi mumkin.

Kvant nazariyasiga ko'ra atom va molekular spektri uzluksiz emas, balki energiyaning diskret qiymatlariga ega. Yorug'likning muhit bo'ylab tarqalishida energiyaning bir qismi sistemalari uyg'onishiga sarf bo'ladi, bir qismi esa muhitdan chiqadi. Bunday o'zaro ta'sir natijasida muhitdan chiqqan nurning intensivligi muhitga tushgan yorug'likning intensivligidan kamroq bo'ladi. Shuni ta'kidlash kerakki, har bir elementar harakatda muhitning atom va molekulari ta'sirda bitta foton yo'qoladi, oqibatda atom va molekula uyg'ongan holatga o'tadi. Bu **foton** energiya asosiy va uyg'ongan holat energiyaning farqiga mos kelishi kerak bunday yutilishi bir fotonli yutilishi deyiladi.

Moddadan yorug'lik o'tayotganda to'lqinning elektronmagnit maydon ta'sirida muhitning elektronlari tebranadi. Hamda bu to'lqin energiyaning bir qismi elektronlarni tebrantirishga sarf bo'ladi. Elektronlarga berilgan bu energiyaning bir qismi elektronlar tarqatadigan ikkilamchi to'lqinlar ko'rinishida yana yorug'lik qaytarib beriladigan uning boshqa bir qismi esa energiyaning boshqa bir turiga ham o'tishi mumkin. Agar moddaning sirtiga intensivlikli parallel nurlar dastasi tushayotgan bo'lsa yuqorida aytilgan

protsess oqibatda to'liqin modda ichiga kiradi. Borgan sari uning intensivligi kamaya boradi. Haqiqatdan ham tajriba yassi to'liqinning intensivligi qonun bo'yicha simmetrik ravishda kamayadi. Bunda moddadan o'tgan to'liqin intensivligi - to'liqin uzunligiga bog'liq bo'lgan yutilish koeffistenti qatlaminig qalinligi. o'lchaganda albatta, yorug'likning bir qismi tekshirilayotgan modda chegarasidan qaytishini hisobga olish va masalani real formulalari yordamida tegishli tuzatmalar kiritish kerak. Qalinligi va bo'lgan qatlamlardan o'tgan yorug'likning mos va intensivliklarini o'lchash yana ham qulayroq

Lazer nurlanishining modda bilan o'zaro ta'siri mohiyati shu nurlanishning xarakterli xususiyatlari: kogerentligigi, monoxromatliligi, ingichka yo'naluvchanligi, yuqori intensivlikka egaligi va qisqa davomiyligi kabilar hisoblanadi. Aynan shu ko'rsatilgan xususiyatlari yangi va xilma-xil fizik jarayonlarga asoslangan bo'lib, uni fizikaning alohida bo'limi qilib ajratdi. Nurlanish tizimining yutug'i o'zaro ta'sirning boshlang'ich holatidayoq modda o'zini namoyon qilishidir, ya'ni elementar aktdan moddaga tashqi maydonning bir necha fotonlari yutiladi. Bu jarayon bir fotonli, ya'ni lazerdan boshqa nurlanish manbalari uchun ko'p fotonli jarayonga aylanadi.

Ko'p fotonli uyg'onishlar shunday jarayonki, kvant sistemasida (atomda, molekulada) elektron bog'langan bir holatdan (boshlang'ich), tashqi maydonning bir necha fotonlarini yutishi natijasida, boshqa bog'langan holatga (oxirgi) o'tadi. Bunda boshlang'ich va oxirgi holatlar orasida boshqa bog'langan elektron holatlari yo'q deb hisoblanadi. Agar shunday holat mavjud bo'lsa, foton (yoki bir necha fotonlar) yutganda aniq bir o'tish sodir bo'lmaydi, foton (bir necha foton) energiyasi bilan o'tish energiyasi o'rtasida rezonans bo'lmaydi, yoki bunday o'tish tanlash qoidasi bo'yicha ta'qiqlangan bo'ladi. Bu qoida nurlanish xususiyatiga va kvant sistemaga bog'liqdir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Skalli M. O., Zubauri M. S. Kvantovaya optika: Per. s angl. / Pod red.V.V. Samartseva. - M.: FIZMATLIT, 2003. - 512 s.
2. Barsukov, V.I.Fizika. Volnovaya i kvantovaya optika : uchebnoe posobie /V.I. Barsukov, O.S. Dmitriev. – Tambov : Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2012. – 132 s.
3. Samartsev V.V. Korrelirovannqe fotonq i ix primenenie. M.: FIZMATLIT, 2014. — 168 s.

4. Kuznetsov S.I. Kvantovaya optika. Atomnaya i yadernaya fizika. Fizika elementarnyx chastits: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. – 154 s.
5. Vittorio Degiorgio, Ilaria Cristian. Photonics. A Short Course. Springer International Publishing Switzerland, 2014
6. David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Physics. Published by John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey.
7. B. Salex, M. Teux. Optika i fotonika. Printsipy i primeneniye. Per s angl. Dolgoprudnyy, Izdatel'skiy dom «Intelekt», 2012.
8. W. Lucke. Introduction to Photonics. Draft. Technical University of Claysal. 2005
9. www.manchester.ac.uk.
10. www.photonics.com/

V. KEYSLAR BANKI

I. Mini keys. Spektral qurilmalar xususiyatlari

Spektroskopiyaning asoosiy tenglamasining ko'rinishi

$$U(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x')\varphi(x - x')dx'$$

Bu erda $U(x)$ -tasvir, $\varphi(x)$ -spektr kengligi, $F(x)$ -apparat funktsiya. U xolda apparat funktsiya va tasvirni ulchab, o'rta miyona spektral qurilmada spektrni ixtiyoriy aniqlikda ulchansa bo'ladi.

Natija: Spektral qurilmaning sifatining axamiyati bo'lmau qoldi. U xolda nega spektral qurilmalar sifatini oshirishga xarakat qilinadi?

Izoxlab bering.

II. Mini keys. Fikriy eksperiment

Zarraning boshlang'ich impulgi'si R. Zarra ikkiga bo'linadi: Xosil bo'lgan zarralar impulgi'si R1 va R2. Impulgi's saqlanish qonuniga ko'ra: $R=R1+R2$.

Birinchi zarra impulgi'si R1 ni o'lchab, $R2 = R - R1$, aniq topish mumkin.

Ikkinchi zarra koodinatasini aniq o'lchash mumkin X2.

Natija: bir vaqtda ikkinchi zarra impulgi'si va koodinatasi aniqlandi. Kvant mexanikasi qonunlariga zid!

Izoxlab bering.

III. Mini keys. Eksperiment natijalari

SHisha prizmalı spektral qurilmada keng spektr ulchandi. Spektrning binafsha tomonida intensivlik taxminan 0.4 *mkm* to'lqin uzunlikga ega to'lqinlardan boshlab to'lqin uzunligi kamaishi bilan intensivlik kamauib ketgan.

Olingan natijani izoxlab bering.

Test savollari

1. Yorug'lik bosimi nimaga bog'liq?

A. Foton energiyasiga, B. Yorug'lik tezligiga, V. Qutblanishga, G. Yorug'lik tushayotgan jism sindirish ko'rsatkigichiga

2. Bir xil yorug'lik oqimi normal ostida absolyut oq va absolyut qora sirtga tushyapti. Yorug'likning qora va oq sirtlarga berayotgan bosimlari nisbati...

A. 2, B. 1/2, V. 4, G. 1/4

3. Bell tengsizligi bajarilishi qausi nazariya to'g'riligini tasdiqlaudi?

A. Kvant nazariyasi, B. Nisbiylik nazariyasi, V. Kengayayotgan olam nazariyasi, G. Pinxon parametrlar nazariyasi

4. Quyosh nurlanish qobiliyati spektral masimumi 500 nm da joulashgan. Uning energetik nurlanuvchanligini qausi qonunlarni ishlatib topsa bo'ladi?

A. Stefan- Bolg'tsman va Kirxgof, B. Stefan- Bolg'tsman va Vin, V. Eunshteun fotoeffekt va Kirxgof, G. Vin va Kirxgof

5. Nurlanishga tegishli Eunshteun koeffitsientlari nimaga bog'liq?

A. Temperaturaga, B. Yorug'lik intensivligiga, V. Modda elektron tuzilishiga, G. Bosimga

6. Nima uchun ikki elektron sathli atom sistemalarida lazer generatsiyasi olib bo'lmaidi?

A. Metastabil holat bo'lmagani uchun, B. Yug'ongan sathga elektronlarni o'tkazish effektivligining pastligi uchun, V. Asosiy holatda elektronlarning etarli bo'lmagani uchun, G. Yug'ongan sathga elektronlarni o'tkazish effektivligining yuqoriligi uchun

7. Atom sistemalarida elektron sathlar orasida elektronlarning o'tish ehtimolliklarining qausi biri tushayotgan yoki nurlanayotgan yorug'lik parametrlariga bog'liq emas?

A. Majburiy nurlanish, B. Xech biri, V. Spontan nurlanish, G. Yutilish

8. Kompton effektida nolg' gradus burchakda sochilgan foton chastotasi qandau o'zgaradi?

A. O'zgarmaidi, B. Oshadi, V. Kamayadi, G. Aniqlab bo'lmaidi

9. Klassik fizika qonunlariga asosan fotoeffekt hodisasida elektron metal sirtini tark etishi uchun

A. Tushayotgan yorug'lik chastotasi biror bir kritik qiymatdan oshishi kerak, B. Tushayotgan yorug'lik intensivligi biror bir kritik qiymatdan oshishi kerak, V. Anod va katod orasidagi potentsiallar farqi biror bir kritik qiymatdan oshishi kerak, G. Klassik fizikada bu hodisani tushuntirilmaidi.

10. Issiqlik nurlanishi jism bilan termodinamik muvozanatda bo'lganda quyidagi fikrlarning kausi biri noto'g'ri?

A. Jismning nurlanishga sarflayotgan energiyasi shu miqdorda yutilayotgan energiya bilan kompensatsiyalanadi, B. Muvozanatdagi nurlanish faqat adiabatik yopiq sistemada bo'lishi mumkin, V. Muvozanatdagi nurlanish yopiq termodinamik muvozanatdagi sistemani tashkil etgan jismlar qandau materialdanligiga bog'liq emas, G. Termodinamik muvozanatdagi sistema qismlari haroratlari bir-biridan farq qilishi mumkin.

11. Vakyum fotoelement katodi kvantlari energiyasi 10 eV bo'lgan yorug'lik bilan yoritilyapti. Agarda fototok fotoelementga 4 V yopuvchi (tormozlovchi) kuchlanish berilganda to'xtasa katod chiqish ishi qancha?

A. 14 eV, B. 6 eV, V. 2.5 eV, G. 0.4 eV

12. Metal sirtiga tushayotgan yorug'lik elektronlar emissiyasiga sabab bo'lyapti. Agarda yorug'lik intensivligi kamausa va chastotasi o'zgarmau qolsa...

A. CHiqayotgan elektronlar soni kamayadi, ularning kinetik energiyasi o'zgarmasdan qoladi, B. CHiqayotgan elektronlar soni oshadi, ularning kinetik energiyasi kamayadi, V. CHiqayotgan elektronlar soni va ularning kinetik energiyasi oshadi, G. CHiqayotgan elektronlar soni o'zgarmaudi, ularning kinetik energiyasi oshadi

13. Yorug'lik energiyasining xajmiy zichligini 2 marta oshirilsa, yorug'lik bosimi....

A. o'zgarmasdan qoladi, B. 2 marta oshadi, V. 4 marta oshadi, G. 2 marta kamayadi

14. Yorug'lik bosimi nimaga bog'liq?

A. Foton energiyasiga, B. Muxitdagi yorug'lik tezligiga, V. Yorug'likning qutblanish darajasiga, G. Yorug'lik tushayotgan jism sindirish qo'rsatkichiga

15. Fotonlari soni bir xil, to'lqin uzunligi λ bo'lgan yorug'lik sirtga normal tushyapti. Qausi holatda yorug'lik bosimi maksimal bo'ladi?

A. $\lambda = 400$ nm, absolyut qora sirt, B. $\lambda = 700$ nm, absolyut qora sirt, V. $\lambda = 400$ nm, ideal ko'zgu sirt, G. $\lambda = 700$ nm, idealg'noe ko'zgu sirt

16. Katta chastotalar sohasida absolyut qora jism nurlanishi uchun Plank formulasi quyidagi qausi formula bilan mos tushadi?

A. Kirxgof, B. Stefan – Bolg'tsman, V. Releu – Djins, G. Vin

17. Eunshteunning fotoeffekt formulasida qausi qonun qo'llanilgan?

A. energiya saqlanish qonuni, B. Impulg's saqlanish qonuni, V. Nur sinishi va qautish qonunlari, G. Zaryad saqlanish qonuni

18. Fotoeffektning qizil chegarasini nima belgilaudi?

A. katod sirt yuzasi, B. Tushayotgan yorug'lik chastotasi, V. Tushayotgan yorug'lik intensivligi, G. Fotokatod materiali

19. Tashqi fotoeffektda fotoelektronlar kinetik energiyasi oshadi, agarda...

A. elektronlarning metaldan chiqish ishi oshsa, B. elektronlarning metaldan chiqish ishi kamausa, V. Tushayotgan yorug'lik kvantlari energiyasi kamausa, G. Yorug'lik intensivligi oshsa

20. Kvant energisi va chastotasi orasidagi proportsionallik koeffitsienti nomi ...

A. Bolg'tsman doimiysi, B. Ridberg doimiysi, V. Plank doimiysi, G. Faradeu doimiysi

21. Kompton effektida fotonning nimasi o'zgaradi?

A. Impulg'si, B. Tezligi, V. Kuchi, G. To'g'ri javob yo'q

22. Fotnning erkin elektronlar bilan to'qnashuvida qausi hodisa kuzatiladi?

A. Sochilish, B. Yutilish, V. Sochilish va yutilish, G. Nur qautishi

23. Eunshteun koeffitsienti A_{ji} bu...

A. Birlik vaqtda spontan nurlanish ehtimolligi, B. Birlik vaqtda zarrachalarning spontan o'tishlari soni, V. Birlik vaqtda zarrachaning majburiy nurlanishlari soni, G. Birlik vaqtda birlik hajmdagi zarrachalarning spontan o'tishlari soni

24. Yug'otilgan holatning o'rtacha nurlanish vaqti...

A. Zarrachaning yug'otilgan holatdan kvant o'tishi qilish vaqti, B. Zarrachaning yug'otilgan holatda bo'lish o'rtacha vaqti, V. Yug'ongan holat bandligining majburiy nurlanish natijasida e marta kamauish vaqti, G. Yug'ongan holat bandligining spontan nurlanish natijasida e marta kamauish vaqti.

25. E_j – energetik sath bandligi bu...

A. Birlik hajmda birlik vaqtda E_j sathdan spontan o'tish qilayotgan zarrachalar soni, B. Birlik hajmda birlik vaqtda E_j sathga o'tayotgan zarrachalar soni, V. Birlik hajmda E_j energiyaga ega zarrachalar soni, G. Birlik hajmda birlik vaqtda E_j sathdan majburiy o'tish qilayotgan zarrachalar soni,

26. Termodinamik muvozanat holatida E_j – yug'otilgan energetik sath bandligi...

A. Sath energiyasi oshishi bilan eksponentsial qonun bo'yicha oshadi, B. Sath energiyasi oshishi bilan eksponentsial qonun bo'yicha kamayadi, V. Muxit absolyut harorati oshishi bilan chiziqli qonun bo'yicha oshadi, G. Muxit absolyut harorati oshishi bilan chiziqli qonun bo'yicha kamayadi

27. E_j energetik sathdan nurlanishsiz o'tish ehtimolligining oshishi bilan bandlik o'zgarish tezligi (dN_j/dt) ...

A. Eksponentsial qonun bilan oshadi, B. Eksponentsial qonun bilan kamayadi, V. Chiziqli qonun bilan kamayadi, G. O'zgarmaudi.

28. 375nm va 750 nm to'lqin uzunliklarida ikkita manba yorug'lik chiqaryapti. Birinchi manba fotonlari impulsg'sining ikkinchi manba fotonlari impulg'sina nisbati...

A. 2; B. 4; V. $\frac{1}{4}$, G. $\frac{1}{2}$

29. Ikki foton impulg'slari nisbati $P_1/P_2 = 2$. Ularga mos keluvchi elektromagnit to'lqin uzunliklar nisbati λ_1/λ_2 qancha?

A. 0,5; B. 0,25; V. 2; G. 4.

30. Ikki foton impulg'slari nisbati $P_1/P_2 = 2$. Ularga mos keluvchi elektromagnit to'lqin chastotalari nisbati ν_1/ν_2 qancha?

A. 0,5; B. 0,25; V. 2; G. 4.

31. Harakatdagi foton massasi m . Uning tinchlikdagi massasi m_0 ...

A. $m_0 = m$; B. $m_0 = 0$; V. $m_0 > m$; G. $0 < m_0 < m$.

32. Kompton effekti jismda qausi nurlar sochilganda kuzatiladi?

A. Gamma nurlari; B. Ulg'trabinafsha nurlar, V. Qattiq rentgen nurlari; G. Ko'rinuvchi sohadagi nurlar.

33. O'lchamlari bir xil bo'lgan va bir xil sharoitda turgan absolyut qora (1), kulrang (2) va oq jismlar bor. Agarda ularga bir xil yorug'lik oqimi yuborilsa ularning temperaturalari haqida nima deush mumkin?

A. $T_1=T_2>T_3$; B. $T_1>T_2>T_3$, G. $T_1<T_2>T_3$; G. $T_1<T_2<T_3$

34. Elektronning chiqish ishi nimaga bog'liq?

A. Sirt holatiga ; B. Tushayotgan yorug'lik chastotasiga, V. Metal tabiatiga; G. Tushayotgan yorug'lik intensivligiga.

35. Metal sirtini yoritayotgan oddiy monoxromatik yorug'lik manbai shu to'lqin uzunligida nur chiqarayotgan kuchli lazer bilan almashtirilsa nima hodisa yuz beradi?

A. Fototok to'yinish toki keskin oshadi; B. Fototok qizil chegarasi qisqa to'lqinlar sohasiga suriladi, V. Fototok qizil chegarasi uzun to'lqinlar sohasiga suriladi; G. Hech nima o'zgarmadi.

36. Yarim o'tkazgich yoki dielektrik yorug'lik nuri bilan yoritilganda qandau hodisa yuz beradi?

A. Sirdan elektronlar uchib chiqadi; B. Energetik sathlar bo'yicha elektronlar qauta taqsimlanadi, V. Elektr o'tkazuvchanlik oshadi; G. Donor va aktseptor sathlari paudo bo'ladi.

37. Metal sharcha vakyumda cheklanmagan uzoq vaqt to'lqin uzunligi fotoeffekt qizil chegarasidan kichik bo'lgan yorug'lik bilan yoritilyapti. SHarcha sirtidan fotoeffekt qachongacha davom etishi mumkin?

A. SHarcha qizib erib ketguncha; B. Metaldagi barcha erkin elektronlar tugaguncha, V. SHarcha potentsiali tormozlovchi potentsial bilan tenglashguncha; G. CHeksiz davom etadi.

38. Yorug'lik elektromagnit nazariyasi va sistema energiyasining erkinlik darajalari bo'yicha tekis tavsimoti haqidagi klassik fizika teoremasini bir vaqtda qo'llash olib keladi...

A. Kvant gipotezasiga, B. Koinot issiqlik halokatiga, V. Ulg'trabinafsha katastrofaga; G. Vin qonuniga.

39. Nima uchun jism oq ko'rinadi?

A. Kam yorug'likni qautaradi, B. Turli yorug'lik diapazonida turlicha nurlanadi, V. Butun yorug'lik diapazonidagi nurni qautaradi; G. Ko'rinuvchi diapazondagi yorug'likni yutadi.

VI. GLOSSARIY

№	Tushunchalar	Tahrifi	Definition
1.	<u>Akusto-optik chastota o'zgartirgichlar:</u>	lazer nurlarining optik chastotasini o'zgartirish uchun akusto-optik qurilmalar.	Acousto-optical frequencu converters: acousto-optical devices for changing the optical frequencu of laser beams.
2.	<u>Argon ion lazerlari:</u> asoslangan gaz lazerlari.	gaz razryadida ionlashtirilgan argonda yorug'likni kuchaytirishga	Argon ion lasers: gas lasers based on light amplification in ionized argon in a gas discharge.
3.	Kvant mexanikasi	Fizikaning alohida atom va elementar (subatom) zarralar kabi mikroskopik jismlar (obhektlar) tabiatini o'rganuvchi bo'limi	Qyantum mechanics is a fundamental branch of phusics concerned the nature of atoms and subatomic particles.
4.	Erkinlik darajalari soni	Nuqtaning fazodagi vaziyatini to'liq aniqlovchi o'zaro bog'liq bo'lmagan koordinatalari soni	The number of degrees of freedom can be defined as the minimum number of independent coordinates that can specifu the position of the sustem completelu.
5.	Tebranish-lar	Ma'lum bir qonuniyatga muvofiq davriy ravishda takrorlanib turuvchi jaraenlar	Oscillations are a repeating process which submits to the certain law
6.	<u>Tolali optikada qabul qilish burchagi:</u>	tola yadrosiga yoki to'lqin o'tkazgichga yorug'lik kiritish uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan yorug'lik nurining maksimal tushish burchagi.	Acceptance angle in fiber optics: the maximum angle of incidence of a light beam that can be used to introduce light into a fiber core or waveguide.

7.	Garmonik tebranish-lar	Tebranaётgan jismning ko'chishi sinus ёki kosinus qonuniga muvofiq yuz beradigan davriy jaraён	Harmonious oscillations are a periodic process in which changes of some physical magnitude occur under the law of sine or cosine
8.	Garmonik ostsillyator	Garmonik tebranishlar yuzaga kelishi mumkin bo'lgan sistema	Harmonious oscillator is sistem in which harmonious oscillation are possible
9.	Tebranishlar ampli-tudasi	Tebranaётgan fizikaviy kattalikning muvozanat holatidan eng katta og'ishi	Amplitude of fluctyations is the greatest deviation of a oscillating magnitude from a condition of balance
10.	Xususiy chastota	Qarshilik kuchlari bo'lmaganida sodir bo'ladigan erkin tebranishlar chastotasi	Self-resonant frequencu is a frequencu with which a free fluctyations occur in sistem in absence extraneous forces
11.	Majburiy tebranish-lar	Tashqi kuch tahsirida sodir bo'ladigan tebranishlar	The compelled fluctyations are a fluctyations which appear under influence of external forces
12.	Rezonans	Majburiy tebranishlar chastotasining sistema erkin tebranishlari chastotasiga yaqinlashganida tebranishlar amplituda-sining keskin ortib ketishi hodisasi	Resonance - fast increasing a amplitude of oscillating at approach of frequencu of the compelled oscillation to a frequencu of self-resonant frequencu
13.	To'lqin	Tebranishlarning fazoda tarqalishida yuzaga keladigan ob'ekt	Wave - a object arising at propagation of oscillations in a space

14.	To'lqin uzunligi	Tebranishlar davriga teng bo'lgan vaqt oralig'i mubaunida to'lqin tarqaladigan masofa	The length of a wave - a distance which is propagated a wave in a time which equal to one period of oscillations
15.	To'lqinlar soni	2π sonining to'lqin uzunligiga nisbatiga teng bo'lgan fizikaviy kattalik	Wavenumber - a physical magnitude which amount to the ratio of constant 2π to length of a wave
16.	Kogerent to'lqinlar	Fazalar farqi o'zgarmsdan saqlanadigan to'lqinlar	Coherent waves - waves with a constant difference of phases
17.	Interferentsiya	Kogerent to'lqinlar qo'shilishi tufauli yuzaga kelgan natijaviy to'lqinning energiyasi fazoda qauta taxsimlanishi	Interference - redistribution of energu of oscillations in a space in consequence of addition of coherent waves
18.	Yorug'lik-ning to'g'ri chiziq bo'y-lab tarqalish qonuni	Optik jihatdan bir jinsli bo'lgan muhitda erug'lik nuri to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini isbotlovchi ilmiy xulosa.	The law confirmatoru about rectilinear propagation of a light beam in opticallu homogeneous mediyum.
19.	Tushish burchagi	Ikki muhit chegarasida erug'lik nuri tushish nuqtasida sirtga tushirilgan normal va tushgan nur orasidagi burchak.	Light angle - a angle in a point of falling of a beam on mediyms boundaru formed bu normal to boundaru and bu the falling beam
20.	Qautish burchagi	Ikki muhit chegarasida erug'lik nurining tushish nuqtasida sirtga tushirilgan normal va qautgan nur orasidagi burchak	Angle of incidence - an angle on boundaru of two mediyms forming in a falling point bu normal to boundaru and bu the reflected beam

21.	Sinish burchagi	Ikki muhit chegarasida èrug'lik nurining tushish nuqtasida sirtga tushirilgan normal va singan nur orasidagi burchak	Angle of refraction - an angle on boundaru of two mediymns forming in a falling point bu normal to boundaru and bu the refracted beam
22.	Difrak-tsiion panjara	Ko'p miqdordagi bir xil bo'lgan va bir-biridan bir xil masofada joulashgan tirqishlar to'plami	A grating is anu regularlu spaced collection of essentiallu identical, <u>parallel</u>, elongated elements.
23.	Yorug'lik dispersiyasi	Modda sindirish ko'rsatkichining èrug'lik to'lqini uzunligiga bog'liqligi tufauli sodir bo'ladigan hodisa	Dispersion -the dependence of wave velocitu on frequencu or wavelength
24.	Qutblangan èrug'lik	Tebranishlar yo'nalishi mahlum bir qoidaga ko'ra tartiblangan èrug'lik nuri.	polarized ligh - radiation in which oscillation are ordered somehow
25.	Qutblagich	Tabiiy (qutblanmagan) nurni yassi qutblangan nurga aulantirib beruvchi pribor	A polariser is an <u>optical filter</u> that passes light of a specific <u>polarization</u> and blocks waves of other polarizations
26.	Kvant	Modda tomonidan nurlanaètgan èki yutilaètgan energiyaning chekli portsiyasi.	Qyantum -the minimal portion radiation absorbed or radiated bu substance
27.	Tashqi fotoeffekt	Yorug'lik nuri tahsirida moddadan elektronlarning uzilib chiqishi hodisasi	Extrinsic photoeffect is the production of <u>electrons</u> or other free carriers

			when <u>light</u> shines upon a material
28.	Foton	Elektromagnit nurlanish kvanti;	Photon is a <u>qyantum</u> of all forms of <u>electromagnetic radiation</u> including <u>light</u>
29.	<u>Fononlar:</u>	qattiq muhitda kvantlangan mikroskopik tebranishlar.	Phonons: qyantized microscopic vibrations in a solid mediyum.
30.	<u>Nur ajratgichlar:</u>	lazer nurini ikki yoki undan ortiq nurlarga bo'lish uchun asboblalar.	
31.	De-Broul to'lqini	Materiyaning universal zarra-to'lqin dualizmining namo'ni bo'lishi: har qandau energiya va impulsga ega zarraga to'lqin uzunligi h/p va chastotasi $\nu = E/h$ ga teng de-Broulg' to'lqini deb ataluvchi to'lqin mos keladi. Bu erda h — Plank doimiysi. De-Broulg' to'lqinlari ehtimollik to'lqinlari deb izohlanadi; ularning mavjudligi haqida 1924 yilda L. de Broul fikr bildirgan. Bu fikr xususan elektronlar difraktsiyasini kuzatish orqali tasdiqlangan.	Wave-particle duality is the concept that every <u>elementary particle</u> or <u>quantic</u> entity may be partly described in terms not only of <u>particles</u> , but also of <u>waves</u> . It expresses the inability of the classical concepts "particle" or "wave" to fully describe the behavior of quantum-scale objects All matter, not just light, has a wave-like nature; he related <u>wavelength</u> and <u>momentum</u> : $\lambda = h/p$ $\nu = E/h$
32.	To'lqin funktsiyasi (psi-funktsiya)	Holat vektori. Kvant mexanikasida sistema holatini ifodalovchi va ehtimollikni va uni	A wave function in <u>quantum mechanics</u> is a description of

		<p>tavsiflovchi fizikaviy kattaliklar o'rtacha qiymatlarini topishga imkon beruvchi asosiy kattalik. To'lqin funksiyasi modulining kvadrati berilgan holat ehtimoligiga teng, shuning uchun to'lqin funksiyasini ehtimollik amplitudasi deb ham atashadi.</p>	<p>the <u>quantum state</u> of a sistem. The wave function is a <u>complex-valued probability amplitude</u>, and the probabilities for the possible results of measurements made on the sistem can be derived from it. The most common symbols for a wave function are the Greek letters ψ</p>
33.	<p>Geuzenbergning noaniqlik printsiipi</p>	<p>Mikrozarrani bir vaqtning o'zida mahlum bir koordinata (x,u,z) va unga mos impuls'ni (px pu pz) istalgan aniklikda ulchab bulmaudi.</p>	<p>Heisenberg's uncertainty principle, is anu of a varietu of mathematical inequalities asserting a fundamental limit to the precision with which certain pairs of phusical properties of a particle, known as <u>complementaru</u> variab les, such as <u>position</u> x and <u>momentum</u> p, can be known simultaneously.</p>
34.	<p>Orbital kvant soni l</p>	<p>Berilgan bosh kvant soni n uchun $l=0,1,\dots(n-1)$ qiymatlarni qabul qiluvchi va atomdagi impuls's momentini aniqlovchi butun son</p>	<p>The oorbital quantum number describes the <u>subshell</u>, and gives the magnitude of the orbital <u>angular momentum</u>. The value of l ranges from 0 to $n - 1$,</p>
35.	<p><u>Optik modulyatorlar:</u></p>	<p>yorug'lik nurlarining xususiyatlarini, masalan, optik quvvat yoki fazani</p>	

		boshqarishga imkon beruvchi qurilmalar.	
36.			
37.	Magnit kvant soni m_l	Berilgan l soni uchun $m_l = -l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$ qiymatlarni qabul qiluvchi va elektronning mahlum yo'nalishga impulsga momenti proyeksiyasini aniqlovchi butun son	The <u>magnetic quantum number</u> describes the specific <u>orbital</u> within that subshell, and yields the projection of the orbital <u>angular momentum</u> along a specified axis: The values of m_l range from $-l$ to l , with integer steps between them
38.	Spin	Mikrozarraning kvant tabiatiga ega va zarraning butunligicha harakati bilan bog'liq bo'lmagan xususiy harakat miqdori momenti; Plank doimiysiga karrali qiymatlarda butun (0, 1, 2,...) eki yarim butun bo'lish mumkin ($1/2, 3/2, \dots$).	The <u>spin projection quantum number</u> (m_s) describes the spin of the electron within that orbital, and gives the projection of the <u>spin</u> angular momentum S along the specified axis. In general, the values of m_s range from $-s$ to s , where s is the <u>spin quantum number</u> , an intrinsic property of particles:
39.	Pauli printsipi	Tabiatning fundamental qonuni. Unga ko'ra kvant sistemasida ikkita (e'ki undan ko'p) yarim butun spinga ega bo'lgan aunan bir xil zarralar bir xil holatda joulasha olmaudilar.	The Pauli exclusion principle is the <u>quantum mechanical</u> principle that states that two <u>identical fermions</u> (particles with half-integer <u>spin</u>) cannot occupy the same <u>quantum state</u> simultaneously.
40.	Kvant	Fizikaning alohida atom	Quantum mechanics is a

	mexanikasi	va elementar (subatom) zarralar kabi mikroskopik jismlar (obhektlar) tabiatini o'rganuvchi bo'limi	fundamental branch of physics concerned the nature of atoms and subatomic particles.
41.	Erkinlik darajalari soni	Nuqtaning fazodagi vaziyatini to'liq aniqlovchi o'zaro bog'liq bo'lmagan koordinatalari soni	The number of degrees of freedom can be defined as the minimum number of independent coordinates that can specify the position of the system completely.
42.	Tebranish-lar	Mahlum bir qonuniyatga muvofiq davriy ravishda takrorlanib turuvchi jarayonlar	Oscillations are a repeating process which submits to the certain law
43.	Garmonik tebranish-lar	Tebranaётgan jismning ko'chishi sinus ёki kosinus qonuniga muvofiq yuz beradigan davriy jarayon	Harmonious oscillations are a periodic process in which changes of some physical magnitude occur under the law of sine or cosine
44.	Garmonik ostsillyator	Garmonik tebranishlar yuzaga kelishi mumkin bo'lgan sistema	Harmonious oscillator is system in which harmonious oscillation are possible
45.	Tebranish-lar ampli-tudasi	Tebranaётgan fizikaviy kattalikning muvozanat holatidan eng katta og'ishi	Amplitude of fluctuations is the greatest deviation of a oscillating magnitude from a condition of balance
46.	Xususiy chastota	Qarshilik kuchlari bo'lmaganida sodir bo'ladigan erkin tebranishlar chastotasi	Self-resonant frequency is a frequency with which a free fluctuations occur in system in absence extraneous forces
47.	Majburiy	Tashqi kuch taъsirida	The compelled

	tebranish-lar	sodir bo'ladigan tebranishlar	fluctuations are a fluctuations which appear under influence of external forces
48.	Rezonans	Majburiy tebranishlar chastotasining sistema erkin tebranishlari chastotasiga yaqinlashganida tebranishlar amplitudasining keskin ortib ketishi hodisasi	Resonance - fast increasing a amplitude of oscillating at approach of frequencu of the compelled oscillation to a frequencu of self-resonant frequencu
49.	To'lqin	Tebranishlarning fazoda tarqalishida yuzaga keladigan obhekt	Wave - a object arising at propagation of oscillations in a space
50.	To'lqin uzunligi	Tebranishlar davriga teng bo'lgan vaqt oralig'i mobaunida to'lqin tarqaladigan masofa	The length of a wave - a distance which is propagated a wave in a time which equal to one period of oscillations
51.	To'lqinlar soni	2π sonining to'lqin uzunligiga nisbatiga teng bo'lgan fizikaviy kattalik	Wavenumber - a phusical magnitude which amount to the ratio of constant 2π to length of a wave
52.	Kogerent to'lqinlar	Fazalar farqi o'zgarmasdan saqlanadigan to'lqinlar	Coherent waves - waves with a constant difference of phases
53.	Interferentsiya	Kogerent to'lqinlar qo'shilishi tufauli yuzaga kelgan natijaviy to'lqinning energiyasi fazoda qauta taxsimlanishi	Interference - redistribution of energu of oscillations in a space in consequence of addition of coherent waves
54.	Yorug'lik-ning to'g'ri chiziq bo'y-lab tarqalish qonuni	Optik jihatdan bir jinsli bo'lgan muhitda erug'lik nuri to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini isbotlovchi ilmiy xulosa.	The law confirmatoru about rectilinear propagation of a light beam in optically homogeneous mediyum.

55.	Tushish burchagi	Ikki muhit chegarasida èrug'lik nuri tushish nuqtasida sirtga tushirilgan normal va tushgan nur orasidagi burchak.	Light angle - a angle in a point of falling of a beam on mediym's boundaru formed bu normal to boundaru and bu the falling beam
56.	Qautish burchagi	Ikki muhit chegarasida èrug'lik nurining tushish nuqtasida sirtga tushirilgan normal va qautgan nur orasidagi burchak	Angle of incidence - an angle on boundaru of two mediym's forming in a falling point bu normal to boundaru and bu the reflected beam
57.	Sinish burchagi	Ikki muhit chegarasida èrug'lik nurining tushish nuqtasida sirtga tushirilgan normal va singan nur orasidagi burchak	Angle of refraction - an angle on boundaru of two mediym's forming in a falling point bu normal to boundaru and bu the refracted beam
58.	Difrak-tsiyon panjara	Ko'p miqdordagi bir xil bo'lgan va bir-biridan bir xil masofada joulashgan tirqishlar to'plami	A grating is anu regularlu spaced collection of essentiallu identical, parallel, elongated elements.
59.	Yorug'lik dispersiyasi	Modda sindirish ko'rsatkichining èrug'lik to'lqini uzunligiga bog'liqligi tufauli sodir bo'ladigan hodisa	Dispersion -the dependence of wave velocitu on frequencu or wavelength
60.	Qutblangan èrug'lik	Tebranishlar yo'nalishi mahlum bir qoidaga ko'ra tartiblangan èrug'lik nuri.	polarized ligh - radiation in which oscillation are ordered somehow
61.	Qutblagich	Tabiiy (qutblanmagan) nurni yassi qutblangan	A polariser is an optical filter that passes light of a

		nurga aulantirib beruvchi pribor	specific polarization and blocks waves of other polarizations
62.	Kvant	Modda tomonidan nurlanaётgan ёki yutilaётgan energiyaning chekli portsiyasi.	Qyantum -the minimal portion radiation absorbed or radiated bu substance
63.	Tashqi fotoeffekt	Yorug'lik nuri tahsirida moddadan elektronlarning uzilib chiqishi hodisasi	Extrinsic photoeffect is the production of electrons or other free carriers when light shines upon a material
64.	Foton	Elektromagnit nurlanish kvanti;	Photon is a qyantum of all forms of electromagnetic radiation including light
65.	De-Broulg' to'lqini	Materiyaning universal zarra-to'lqin dualizmining namoён bo'lishi: har qandau energiya va impulg'sga ega zarraga to'lqin uzunligi h/p va chastotasi $v = E/h$ ga teng de-Broulg' to'lqini deb ataluvchi to'lqin mos keladi. Bu erda h —Plank doimiysi. De-Broulg' to'lqinlari ehtimollik to'lqinlari deb izohlanadi; ularning mavjudligi haqida 1924 yilda L. de Broulg' fikr bildirgan. Bu fikr xususan elektronlar difraktsiyasini kuzatish orqali tasdiqlangan.	Wave-particle dyalitu is the concept that everu elementaru particle or qyantic entitu may be partlu described in terms not onlu of particles, but also of waves. It expresses the inability of the classical concepts "particle" or "wave" to fullu describe the behavior of qyantum-scale objects <i>All</i> matter, not just light, has a wave-like nature; he related wavelength and momentum : $\lambda = h/p$ $v = E/h$
66.	To'lqin funktsiyasi (psi-funktsiya)	Holat vektori. Kvant mexanikasida sistema holatini ifodalovchi va ehtimollikni va uni	A wave function in qyantum mechanics is a description of the qyantum state of a

		tavsiflovchi fizikaviy kattaliklar o'rtacha qiymatlarini topishga imkon beruvchi asosiy kattalik. To'lqin funktsiyasi modulining kvadrati berilgan holat ehtimoligiga teng, shuning uchun to'lqin funktsiyasini ehtimollik amplitudasi deb ham atashadi.	sistem. The wave function is a complex-valued probability amplitude, and the probabilities for the possible results of measurements made on the system can be derived from it. The most common symbols for a wave function are the Greek letters ψ
67.	Geuzenbergning noaniqlik printsiipi	Mikrozarrani bir vaqtning o'zida mahlum bir koordinata (x,u,z) va unga mos impulg'sni (p_x p_u p_z) istalgan aniklikda ulchab bulmaudi.	Heisenberg's uncertainty principle , is anu of a varietu of mathematical inequalities asserting a fundamental limit to the precision with which certain pairs of phusical properties of a particle, known as complementaru variable s, such as position x and momentu $m p$, can be known simultaneouslu.
68.	Orbital kvant soni l	Berilgan bosh kvant soni n uchun $l=0,1,\dots(n-1)$ qiymatlarni qabul qiluvchi va atomdagi impulg's momentini aniqlovchi butun son	The oorbital qyantum number describes the subshell, and gives the magnitude of the orbital angular momentum. The value of ℓ ranges from 0 to $n - 1$,
69.	Magnit kvant soni m_l	Berilgan l soni uchun $m_l = -l, -(l-1), \dots, 0, \dots, (l-1), l$ qiymatlarni qabul qiluvchi va elektronning mahlum yo'nalishga impulg's momenti	The magnetic qyantum number describes the specific orbital within that subshell, and uields the <i>projection</i> of the orbital angular

		proektsiyasini aniqlovchi butun son	momentum <i>along a specified axis</i> : The values of m_ℓ range from $-\ell$ to ℓ , with integer steps between them
70.	Spin	Mikrozarraning kvant tabiatiga ega va zarraning butunligicha harakati bilan bog'liq bo'lmagan xususiy harakat miqdori momenti; Plank doimiysiga karrali qiymatlarda butun (0, 1, 2,...) èki yarim butun bo'lish mumkin (1/2, 3/2,...).	The spin projection quantum number (m_s) describes the spin of the electron within that orbital, and gives the projection of the spin angular momentum S along the specified axis. In general, the values of m_s range from $-s$ to s , where s is the spin quantum number, an intrinsic property of particles:
71.	Pauli printsipi	Tabiatning fundamental qonuni.Unga ko'ra kvant sistemasida ikkita (èki undan ko'p) yarim butun spinga ega bo'lgan aunan bir xil zarralar bir xil holatda joulasha olmaudilar.	The Payli exclusion principle is the quantum mechanical principle that states that two identical fermions (particles with half-integer spin) cannot occupy the same quantum state simultaneously.

VII. ADABIYOTLAR RO'YXATI

I. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari

1. Mirziyoev SH.M. “Erkin va farovon, demokratik O'zbekiston davlatini mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz” mavzusidagi O'zbekiston Respublikasi Prezidenti lavozimiga kirishish tantanali marosimiga bag'ishlangan Oliy Majlis palatalarining qo'shma majlisidagi nutqi. – T.: “O'zbekiston”, 2016. – 56 b.
2. Mirziyoev SH.M. Tanqidiy tahlil, qat'iy tartib-intizom va shaxsiy javobgarlik – har bir rahbar faoliyatining kundalik qoidasi bo'lishi kerak. –T.: “O'zbekiston”. – 2017.– 102b.
3. Mirziyoev SH.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob halqimiz bilan birga quramiz. – T.: “O'zbekiston”, 2017. – 488 b.
4. Mirziyoev SH.M. Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash-yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi -T.: “O'zbekiston”, 2017.48 b.
5. Mirziyoev SH.M. Milliy taraqqiyot yo'limizni qathiyat bilan davom ettirib, yangi bosqichga ko'taramiz. 1-jild – T. : O'zbekiston, 2017. - 592 b. (.’df 170Mb)
6. Mirziyoev SH.M.«Xalqimizning roziligi bizning faolyatimizga berilgan eng oliy bahodir» 2-jild -T. : O'zbekiston, 2019, 592 b.
7. Mirziyoev SH.M. «Niyati ulug' xalqning ishi ham ulug', hayooti yorug' va kelajagi farovon bo'ladi» 3-jild Toshkent : O'zbekiston, 2019 .- 400 b

II. Normativ-huquqiy hujjatlar

8. O'zbekiston Respublikasining Konstitutsiyasi. – T.: O'zbekiston, 2023.
9. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining “O'zbekistonning yangi taraqqiyot davrida ta'lim-tarbiya va ilm-fan sohalarini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi 2020 yil 6 noyabr PF-6108-son Farmoni.
10. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining “Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish kontsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida”gi 2020 yil 29 oktyabr PF-6097-son Farmoni
11. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining “Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to'g'risida@ 2019 yil 27 avgustdagi PF-5789-son Farmoni
12. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining “O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida»gi 2019 yil 8 oktabr PF- 5847 Farmoni

13. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “O‘zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo‘nalishi” 2019 yil 17 yanvar, PF-5635-son Farmoni.
14. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi 2017 yil 7 fevral Farmoni.
15. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Oliy ta‘lim tizimini yanada rivojlantirish chora tadbirlari to‘g‘risida”gi 2017 yil 20 apreldagi 2909-son Qarori.
16. “Ta‘lim to‘g‘risida”gi qonun. 2020 yil 23 sentyabr, O‘RQ-637-son
17. Vazirlar Mahkamasining 797-son “Oliy ta‘lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida” 2019 yil 23 sentyabrdagi Qarori.

III. Maxsus adabiyotlar.

1. Vittorio Degiorgio, Ilaria Cristian. Photonics. A Short Course. Springer International Publishing Switzerland, 2014
2. David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Physics. Published by John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey.
3. Б. Салех, М. Теух. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер с англ. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2012.
4. W. Луске. Интродустион то Пъотонисс. Драфт. Течнисал Универсету оф Слайстълал. 2005
5. Nanoparticles – nanocomposites – nanomaterials: An Introduction for Beginner. First Edition. Dieter Vollath. Published 2013 by Wiley – VCH Verlag GmbH & KGaA
6. Цаплин А.И. Фотоника и оптоэлектроника. Введение в специальность. Пермь, Издательство Пермского Национального университета, 2012.
7. А.Д. Помагауло, А.С.Розенберг, И.Е. Уфлянд. Наночастицы металлов в полимерах, М., Химия, 2000 г.
8. Скалли М. О., Зубаури М. С. Квантовая оптика: Пер. с англ. / Под ред. В.В. Самарцева. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 512 с.
9. Барсуков, В.И. Физика. Волновая и квантовая оптика : учебное пособие / В.И. Барсуков, О.С. Дмитриев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 132 с.
10. Самарцев В.В. Коррелированные фотоны и их применение. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. — 168 с.
11. Кузнецов С.И. Квантовая оптика. Атомная и ядерная физика. Физика

элементарных частиц: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 154 с.

IV. Internet resurslar

- 1 <http://www.photonics.com>
- 2 www.optics.arizona.edu › Research › Specialties
- 3 www.manchester.ac.uk.
- 4 www.photonics.com/

- 5 www.photonics21.org/
- 6 www.phus.soton.ac.uk/module/PHUS1004
- 7 photonics.cusat.edu/
- 8 www.britannica.com/science/nanoparticle

