



**O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI PEDAGOG KADRLARNI  
QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING  
MALAKASINI OSHIRISH TARMOQ  
(MINTAQAVIY) MARKAZI**

# **FOTONIKANING ZAMONAVIY MASALALARI**

**MODULI BO'YICHA**

**O'QUV- USLUBIY  
MAJMUA**

**2024**

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLY TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**OLY TA‘LIM TIZIMI KADRLARINI QAYTA TAYYORLASH VA  
MALAKASINI OSHIRISH INSTITUTI**

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI PEDAGOG  
KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI  
OSHIRISH TARMOQ (MINTAQAVIY) MARKAZI**

**“Fotonikaning zamonaviy masalalari”**

**MODULI BO‘YICHA**

**O‘QUV – USLUBIY MAJMUUA**

**Toshkent – 2024**

**Mazkur o‘quv-uslubiy majmua Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2023-yil 25-avgustdagi 391-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv reja va dastur asosida tayyorlandi.**

**Tuzuvchilar:** O‘zMU, “Fotonika” kafedrası mudiri, f.-m.f.n.  
T.Axmadjanov.

**Taqrizchilar:** f.m.f.d., prof., Sh.U.Yuldashev O‘zbekiston Milliy universiteti

*O‘quv-uslubiy majmua O‘zbekiston Milliy universiteti Kengashining qarori bilannashrga tavsiya qilingan (2024-yil 20-yanvardagi № 4/2 -sonli bayonnomasi)*

## MUNDARIJA

<b>I. ISHCHI DASTUR.....</b>	<b>5</b>
<b>II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI .....</b>	<b>9</b>
<b>III. NAZARIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI.....</b>	<b>15</b>
<b>IV. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI.....</b>	<b>40</b>
<b>V. GLOSSARIY .....</b>	<b>42</b>
<b>VI. ADABIYOTLAR RO‘YXATI .....</b>	<b>47</b>
<b>NAZORAT SAVOLLARI.....</b>	<b>49</b>

## 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 muassasalarining 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 muassasalari 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 muassasalari 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 muassasalari 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 yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi va jamiyatning ma‘naviy asoslarini yoritib berish, oliy ta‘limning normativ-huquqiy asoslari bo‘yicha ta‘lim-tarbiya jarayonlarini tashkil etish, pedagogik faoliyatda raqamli kompetensiyalarni rivojlantirish, ilmiy-innovatsion faoliyat darajasini oshirish, pedagogning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish, ta‘lim sifatini ta‘minlashda baholash metodikalaridan samarali foydalanish, nanotexnologiyaning fizikaviy asoslari va amaliyotda qo‘llanishi, fotonikaning zamonaviy masalalari bo‘yicha tegishli bilim, ko‘nikma, malaka va kompetensiyalarni rivojlantirishga yo‘naltirilgan.

## **Kursning maqsadi va vazifalari**

Oliy ta'lim muasasalari pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va ularning malakasini oshirish kursining **maqsadi** pedagog kadrlarning innovatsion yondoshuvlar asosida o'quv-tarbiyaviy jarayonlarni yuksak ilmiy-metodik darajada loyihalashtirish, 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;

- pedagoglarning ijodiy-innovatsion faollik darajasini oshirish;

-pedagog kadrlar tomonidan zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, zamonaviy ta'lim va innovatsion texnologiyalar sohasidagi ilg'or xorijiy tajribalarning o'zlashtirilishini ta'minlash;

- o'quv jarayonini tashkil etish va uning sifatini ta'minlash borasidagi ilg'or xorijiy tajribalar, zamonaviy yondashuvlarni o'zlashtirish;

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

### **Kurs yakunida tinglovchilarning bilim, ko‘nikma va malakalari hamda kompetensiyalariga qo‘yiladigan talablar:**

Qayta tayyorlash va malaka oshirish kursining o'quv modullari 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:**

- nurlanish manbalaridan foydalanish;
- optik nurtolali datchiklarni ishlashini tahlil etish *ko'nikmalariga* ega bo'lishi lozim.

**Tinglovchi:**

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

**Tinglovchi:**

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

**Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar**

Modulni o'qitish ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar shaklida olib boriladi.

Kursni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

- ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentatsion va elektron-didaktik texnologiyalardan, o'tkaziladigan amaliy va ko'chma mashg'ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so'rovlar, test so'rovlari, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, va boshqa interaktiv ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

**Modulning o'quv rejadagi boshqa modullar bilan bog'liqligi va uzviyligi**

"Fotonikaning zamonaviy masalalari" kursi o'quv rejadagi Nanotexnologiyaning fizikaviy asoslari va amaliyotda qo'llanishi kabi mutaxassislik fanlarining sohalari bilan uzviy bog'langan xolda pedagoglarning umumiy tayyorgarlik darajasini oshirishga xizmat qiladi.

**Modulning oliy ta'limdagi o'rni**

Modulni o'zlashtirish orqali tinglovchilar ta'lim jarayonini tashkil etishda yangicha yondashuv asoslarini va bu boradagi ilg'or tajribani o'rganadilar, ularni tahlil etish, amalda qo'llash va baholashga doir yangi bilimlarga ega bo'lishga doir kasbiy kompetentlikka ega bo'ladilar.

## Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Auditoriya o'quv yuklamasi		
		Jami	jumladan	
			Nazariy	Amaliy mashg'ulot
1.	Fotonika tarixi	4	2	2
2.	Optik nurtolalar	4	2	2
3	Amaliy fotonika	4	2	2
4	Kvant interneti va kvant kompyuterlari	6	2	4
<b>Jami:</b>		<b>18</b>	<b>8</b>	<b>10</b>

### NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

#### 1-Mavzu: Fotonika tarixi (2 soat)

- 1.1. Fotonika tarixi. Lazer fizikasi va fotonika asoslari.
- 1.2. Fotonika usullari va asosiy yo'nalishlari
- 1.3. Nurlanish manbalari. Nurdiod

#### 2-Mavzu: Optik nurtolalar (2 soat)

- 2.1. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish. Bir jinsli muhit optikasi.
- 2.2. Optik nurtolalar. Optik nurtolali aloqa tizimlari. Optik nurtolali datchiklar.

#### 3-Mavzu: Amaliy fotonika (2 soat)

- 3.1. Optik giroskoplar. Kvant chigallik. Kvant interferensiya.
- 3.2. Kvant interferensiya. Fotinni teleportatsiya qilishga mo'ljallangan eksperimental qurilmalar.

#### 4-Mavzu: Kvant interneti va kvant kompyuterlari (2 soat)

- 4.1. Kvant interneti va kvant kompyuterlari.
- 4.2. Kremniyli fotonika. Nanoskopiya. Nanofotonika.
- 4.3. Bir fotonli nurlanish manbalari.



## AMALIY MASHG‘ULOTLAR MAZMUNI

### 1-Mavzu: Fotonika tarixi (2 soat)

- 1.1. Fotonika tarixi. Lazer fizikasi va fotonika asoslari.
- 1.2. Fotonika usullari va asosiy yo‘nalishlari
- 1.3. Nurlanish manbalari. Nurdiod

### 2-Mavzu: Optik nurtolalar (2 soat)

- 2.1. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish. Bir jinsli muhit optikasi.
- 2.2. Optik nurtolalar. Optik nurtolali aloqa tizimlari. Optik nurtolali datchiklar.

### 3-Mavzu: Amaliy fotonika (2 soat)

- 3.1. Optik giroskoplar. Kvant chigallik. Kvant interferensiya.
- 3.2. Kvant interferensiya. Fotolni teleportatsiya qilishga mo‘ljallangan eksperimental qurilmalar.

### 4-Mavzu: Kvant interneti va kvant kompyuterlari (4 soat)

- 4.1. Kvant interneti va kvant kompyuterlari.
- 4.2. Kremniyli fotonika. Nanoskopiya. Nanofotonika.
- 4.3. Bir fotonli nurlanish manbalari.

## O‘QITISH SHAKLLARI

### Mazkur modul bo‘yicha quyidagi o‘qitish shakllaridan foydalaniladi:

- ma’ruzalar, amaliy mashg‘ulotlar (ma’lumotlar va texnologiyalarni anglab olish, aqliy qiziqishni rivojlantirish, nazariy bilimlarni mustahkamlash);
- davra suhbatlari (ko‘rilayotgan loyiha yechimlari bo‘yicha taklif berish qobiliyatini oshirish, eshitish, idrok qilish va mantiqiy xulosalar chiqarish);
- bahs va munozaralar (loyihalar yechimi bo‘yicha dalillar va asosli argumentlarni taqdim qilish, eshitish va muammolar yechimini topish qobiliyatini rivojlantirish).

## II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL

### TA’LIM METODLARI

#### “KWHL” metodi

**Metodning maqsadi:** Mazkur metod tinglovchilarni yangi axborotlar tizimini qabul qilishi va bilimlarni tizimlashtirishi uchun qo‘llaniladi, shuningdek, bu metod tinglovchilar uchun mavzu bo‘yicha qo‘yidagi jadvalda berilgan savollarga javob topish mashqi vazifasini belgilaydi.

**Izoh. KWHL:**

*Know – nimalarni bilaman?*

*Want – nimani bilishni xohlayman?*

*How - qanday bilib olsam bo'radi?*

*Learn - nimani o'rganib oldim?*

"KWHL" metodi	
<b>1. Nimalarni bilaman:</b> -	<b>2. Nimalarni bilishni xohlayman, nimalarni bilishim kerak:</b> -
<b>3. Qanday qilib bilib va topib olaman:</b> -	<b>4. Nimalarni bilib oldim:</b> -

**"W1H" metodi**

**Metodning maqsadi:** Mazkur metod tinglovchilarni yangi axborotlar tizimini qabul qilishi va bilimlarni tizimlashtirishi uchun qo'llaniladi, shuningdek, bu metod tinglovchilar uchun mavzu bo'yicha qo'yidagi jadvalda berilgan oltita savollarga javob topish mashqi vazifasini belgilaydi.

What?	Nima? (ta'rifi, mazmuni, nima uchun ishlatiladi)	
Where?	Qaerda (joylashgan, qaerdan olish mumkin)?	
What kind?	Qanday? (parametrlari, turlari mavjud)	
When?	Qachon? (ishlatiladi)	
Why?	Nima uchun?	
	(ishlatiladi)	
How?	Qanday qilib? (yaratiladi, saqlanadi, to'ldiriladi, tahrirlash mumkin)	

## “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.

<b>S – (strength)</b>	• kuchli tomonlari
<b>W – (weakness)</b>	• zaif, kuchsiz tomonlari
<b>O – (opportunity)</b>	• imkoniyatlari
<b>T – (threat)</b>	• xavflar

*2.1-rasm.*

## “VEER” metodi

**Metodning maqsadi:** Bu metod murakkab, ko‘ptarmoqli, 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. “Veer” 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.

## Metodni amalga oshirish tartibi:



trener-o'qituvchi ishtirokchilarni 5-6 kishidan iborat kichik guruhlariga ajratadi;



trening maqsadi, shartlari va tartibi bilan ishtirokchilarni tanishtirgach, har bir guruhga umumiy muammoni tahlil qilinishi zarur bo'lgan qismlari tushirilgan tarqatma materiallarni



har bir guruh o'ziga berilgan muammoni atroflicha tahlil qilib, o'z mulohazalarini tavsiya etilayotgan sxema bo'yicha tarqatmaga yozma bayon qiladi;



navbatdagi bosqichda barcha guruhlar o'z taqdimotlarini o'tkazadilar. Shundan so'ng, trener tomonidan tahlillar umumlashtiriladi, zaruriy axborotlr bilan to'ldiriladi va mavzu yakunlanadi.

2.2-rasm.

Muammoli savol					
1-usul		2-usul		3-usul	
afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi
<b>Xulosa:</b>					

## “Keys-stadi” metodi

«**Keys-stadi**» - inglizcha soʻz boʻlib, («case» – aniq vaziyat, hodisa, «stadi» – oʻrganmoq, tahlil qilmoq) aniq vaziyatlarni oʻrganish, tahlil qilish asosida oʻqitishni

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 metodi” ni amalga oshirish bosqichlari

Ish bosqichlari	Faoliyat shakli va mazmuni
<b>1-bosqich:</b> Keys va uning axborot ta'minoti bilan tanishtirish	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ yakka tartibdagi audio-vizual ish;</li> <li>✓ keys bilan tanishish (matnli, audio yoki media shaklda);</li> <li>✓ axborotni umumlashtirish;</li> <li>✓ axborot tahlili;</li> <li>✓ muammolarni aniqlash</li> </ul>
<b>2-bosqich:</b> Keysni aniqlashtirish va o'quv topshirig'ni belgilash	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ individual va guruhda ishlash;</li> <li>✓ muammolarni dolzarblik ierarxiasini aniqlash;</li> <li>✓ asosiy muammoli vaziyatni belgilash</li> </ul>
<b>3-bosqich:</b> Keysdagi asosiy muammoni tahlil etish orqali o'quv topshirig'ining yechimini izlash, hal etish yo'llarini ishlab chiqish	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ individual va guruhda ishlash;</li> <li>✓ muqobil yechim yo'llarini ishlab chiqish;</li> <li>✓ har bir yechimning imkoniyatlari va to'siqlarni tahlil qilish;</li> <li>✓ muqobil yechimlarni tanlash</li> </ul>
<b>4-bosqich:</b> Keys yechimini shakllantirish va asoslash, taqdimot.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ yakka va guruhda ishlash;</li> <li>✓ muqobil variantlarni amalda qo'llash imkoniyatlarini asoslash;</li> <li>✓ ijodiy-loyiha taqdimotini tayyorlash;</li> <li>✓ yakuniy xulosa va vaziyat yechimining amaliy aspektlarini yoritish</li> </ul>

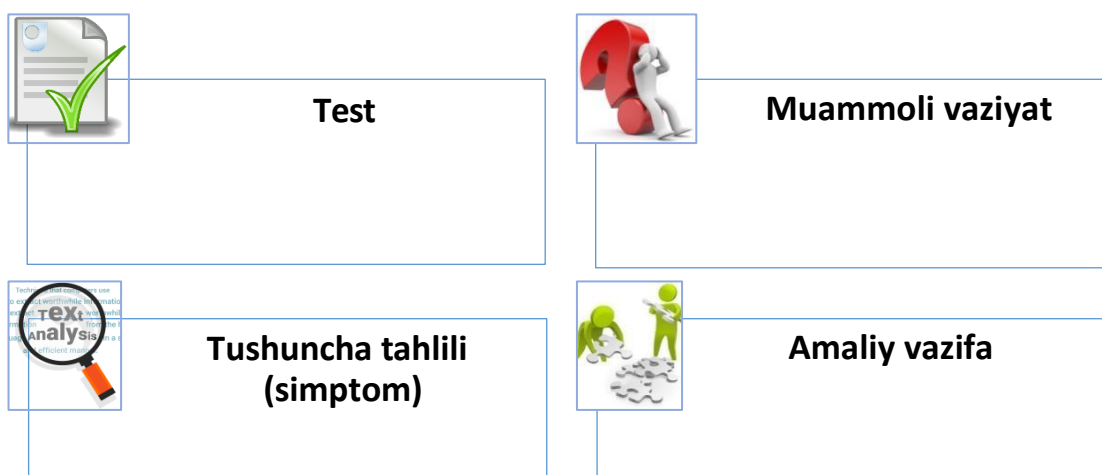
### “Assesment” metodi

**Metodning maqsadi:** mazkur metod ta'lim oluvchilarning bilim darajasini baholash, nazorat qilish, o'zlashtirish ko'rsatkichi va amaliy ko'nikmalarini tekshirishga yo'naltirilgan. Mazkur texnika orqali ta'lim oluvchilarning bilish faoliyati turli yo'nalishlar (test, amaliy ko'nikmalar, muammoli vaziyatlar mashqi, qiyosiy tahlil, simptomlarni aniqlash) bo'yicha tashhis qilinadi va baholanadi.

### Metodni amalga oshirish tartibi:

“Assesment”lardan ma'ruza mashg'ulotlarida talabalarning yoki qatnashchilarning mavjud bilim darajasini o'rganishda, yangi ma'lumotlarni bayon qilishda, seminar, amaliy mashg'ulotlarda esa mavzu yoki ma'lumotlarni o'zlashtirish darajasini baholash, shuningdek, o'z-o'zini baholash maqsadida individual shaklda foydalanish tavsiya etiladi. Shuningdek, o'qituvchining ijodiy yondashuvi hamda o'quv maqsadlaridan kelib chiqib, assesmentga qo'shimcha topshiriqlarni kiritish mumkin.

Har bir katakdagi to'g'ri javob 5 ball yoki 1-5 balgacha baholanishi mumkin.



2.3-rasm.

### “Insert” metodi

#### Metodni amalga oshirish tartibi:

- o‘qituvchi mashg‘ulotga qadar mavzuning asosiy tushunchalari mazmuni yoritilgan matnni tarqatma yoki taqdimot ko‘rinishida tayyorlaydi;
- yangi mavzu mohiyatini yorituvchi matn ta’lim oluvchilarga tarqatiladi yoki taqdimot ko‘rinishida namoyish etiladi;
- ta’lim oluvchilar individual tarzda matn bilan tanishib chiqib, o‘z shaxsiy qarashlarini maxsus belgilar orqali ifodalaydilar. Matn bilan ishlashda talabalar yoki qatnashchilarga quyidagi maxsus belgilardan foydalanish tavsiya etiladi:

Belgilar	Matn
“V” – tanish ma’lumot.	
“?” – mazkur ma’lumotni tushunmadim, izoh kerak.	
“+” bu ma’lumot men uchun yangilik.	
“-” bu fikr yoki mazkur ma’lumotga qarshiman?	

Belgilangan vaqt yakunlangach, ta’lim oluvchilar uchun notanish va tushunarsiz bo‘lgan ma’lumotlar o‘qituvchi tomonidan tahlil qilinib, izohlanadi, ularning mohiyati to‘liq yoritiladi. Savollarga javob beriladi va mashg‘ulot yakunlanadi.

### III. NAZARIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI

#### 1- Mavzu: Fotonika tarixi

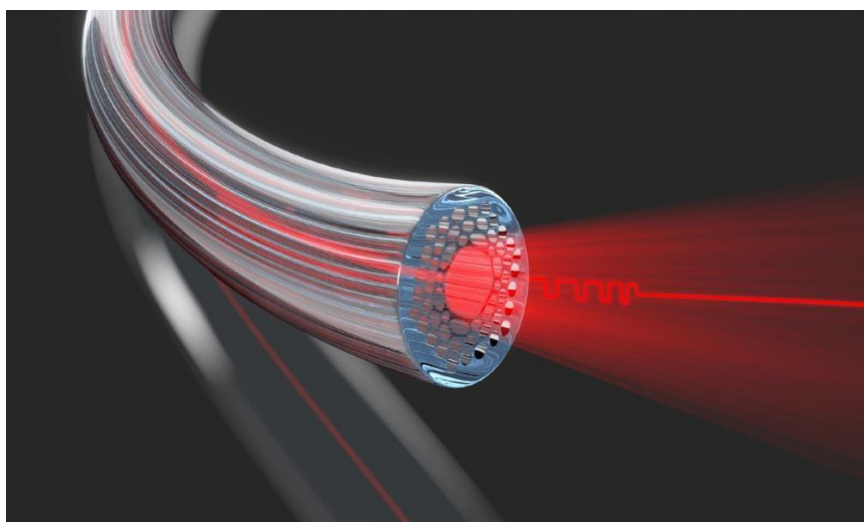
##### **REJA**

- 1.1. Fotonika tarixi. Lazer fizikasi va fotonika asoslari.
- 1.2. Fotonika usullari va asosiy yo‘nalishlari
- 1.3. Nurlanish manbalari. Nurdiod.

**Tayanch iboralar:** *Fotonika, laser, fotodiod, nurdiod, optic nurtola, kvant texnologiya.*

#### **1.1. Fotonika tarixi. Lazer fizikasi va fotonika asoslari.**

Fotonika nisbatan yosh fan. Uning paydo bo‘lishi 1960-yillarda lazer ixtirosi bilan bevosita bog‘liq. Aytishimiz mumkinki, bu voqea fotonikaning fan sifatida rivojlanishiga turtki berdi. 60 yillik faoliyati davomida u katta yo‘lni bosib o‘tdi va tadqiqotning eng ustuvor yo‘nalishlaridan biriga aylandi. So‘nggi yillarda tibbiyot, fizika, kimyo, muhandislik va boshqa sohalarda ko‘plab kashfiyotlar fotonika tufayli amalga oshirildi.

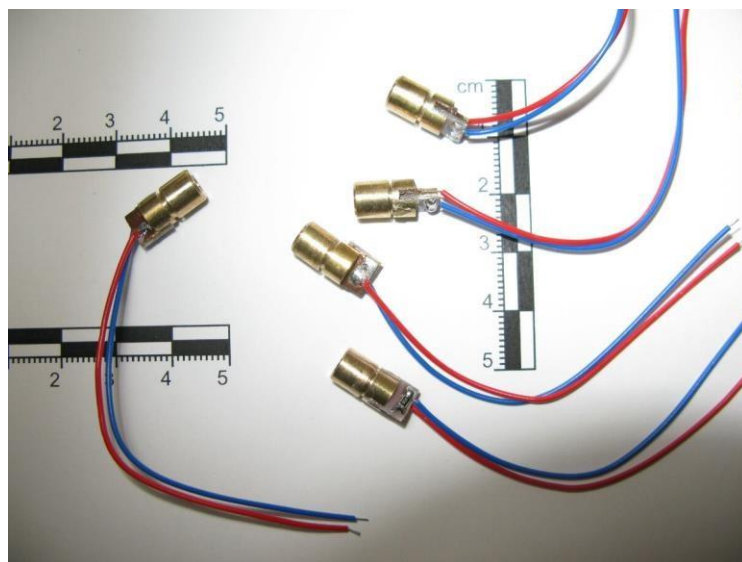


*Optik nurtolada nur tarqalishi.*

Dastlab fotonika faqat telekommunikatsiya sohasi bilan bog‘liq bo‘lgan tor yo‘nalish sifatida taqdim etilgan. Shu kunlarda u turli xil fundamental va amaliy muammolarni hal qiladi. Ularning aksariyati foton axborot tashuvchisi bo‘lgan tizimlardan foydalanish va ulardan foydalanish bilan bog‘liq.

"Fotonika" atamasi birinchi marta 1967-yilda A. N. Terenin tomonidan ishlatilgan. U fotonikani "oʻzaro bogʻliq fotofizik va fotokimyoviy jarayonlar toʻplami" deb taʼriflagan. Zamonaviy, kengroq maʼnodagi talqini, 1970-yilda tezkor fotosuratlar boʻyicha 9 xalqaro Kongressda taqdim etilgan.

Lazer diodi, optik tola va optik signalni kuchaytirish moslamalarining ixtirosi - bularning barchasi fotonikaning paydo boʻlishi uchun qulay sharoit yaratgan shartlardir. 1980-yillarda Internetning faol rivojlanishi yosh fotonikaning jadal kengaytirishga turtki boʻldi.



*Lazer diod*

Hozirgi vaqtda u qamrab olgan vazifalar telekommunikatsiya sohasi bilan cheklanmaydi va quyidagilarni oʻz ichiga oladi:

- lazer uskunalarini ishlab chiqarish va qoʻllash;
- biologik, fizik, kimyoviy va boshqa tadqiqotlar;
- optik hisoblash;
- ekologik monitoring;
- tibbiy diagnostika va terapiya;
- termoyadroviy energiya;
- harbiy texnika;
- optik giroskoplar va boshqalar.

*Fotonika nimani oʻrganadi?*

Fotonika – bu ham texnologiya va fan va texnikaning sohasidir. Ikkala holatda ham optik signallarni yaratish, oʻzgartirish va aniqlash uchun turli xil qurilmalardan (optik komponentlar, lazerlar, elektro-optik va boshqalar) foydalanish nazarda tutilgan.

Shunday qilib, fotonika:



- fotonlarni kogerent nurlanish manbalar bilan hosil qilish jarayonlarini (lazerlar);
- optik nurlanishning fazoda yoki optik tolalarda tarqalish jarayonlarini;
- elektro-optik, elektroakustik va optik nurlanishni modulyatsiya qilishning boshqa usullarini;
- optik nurlanishning chiziqli bo‘lmagan muhitlar bilan o‘zaro ta‘sirini;
- optik nurlanishni aniqlashni o‘rganadi.

Fotonika ko‘p jihatdan amaliy fan. Fotonikadan oldin hech kim yorug‘lik bizning hayotimizda qanchalik foydali bo‘lishi mumkinligini o‘ylamagan. Eng yangi texnologiyalar tobora ko‘proq yorug‘likdan foydalanishga intilmoqda. Biz allaqachon ma‘lumotni yorug‘lik tezligida juda katta masofalarga qanday etkazishni bilamiz. Va tez orada biz uni shifrlashni o‘rganamiz, shunda hech kim bizni "tinglay olmaydi". Yorug‘lik texnologiyasi yordamida turli xil jiddiy kasalliklarni davolashga o‘tiladi. Endi eng murakkab operatsiyalar paytida jarrohlar eng aniq kesiklarni amalga oshirish uchun lazer skalpellaridan foydalanadilar. Fotonikaning yutuqlari o‘simtani olib tashlash yoki arteriyani davolash uchun hech qanday jarroxlik qilmaslikka imkon beradi. Fotonika tufayli chuqur kosmik tadqiqotlar biz uchun unchalik erishib bo‘lmaydigan maqsad emas.

## **1.2. Fotonika usullari va asosiy yo‘nalishlari. Lazer fizikasi va fotonika asoslari**

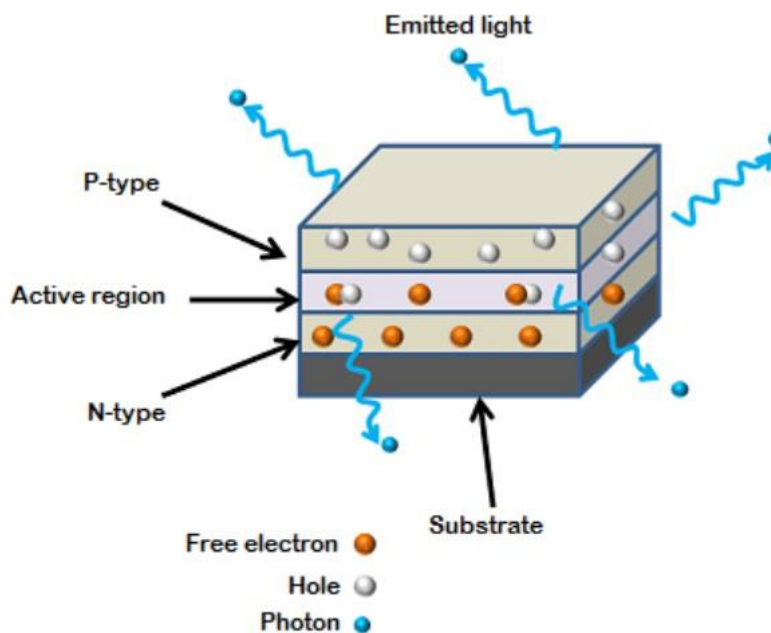
Fotonika yorug‘likning kvant tabiatini hisobga olgan holda materiya bilan o‘zaro ta‘sirini o‘rganadi. Foton aslida elektronning analogidir, elektronlar o‘rniga elektromagnit maydon kvantlari - fotonlar ishlatiladi. Zamonaviy kvant optika (fotonika) foton signallarni qayta ishlash texnologiyalari bilan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

Aloqa tizimlari bizning dunyomizni rivojlantirishda muhim rol o‘ynaydi. Axborot uzatish kanallari turli xil axborot tarmoqlarini yagona global Internetga bog‘lab, sayyoramizni tom ma‘noda o‘rab oladi. Zamonaviy texnologiyalarning g‘aroyib dunyosi kvant dunyosining hayratlanarli imkoniyatlari bilan bog‘liq bo‘lgan fan va texnikaning zamonaviy kashfiyotlarini o‘z ichiga oladi. Aytish 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.

## **1.3. Nurlanish manbalari. Nurdiod**

Yorugiik diodi nomonoxromatik va nokogerent nurlanish manbayi boiib, uni tayyorlashda GaAs, GaAlAs, InGaAsP, GaP, SiC kabi to‘g‘ri zonah yarimo‘tkazgich materiallardan foydalaniladi. Rasmda GaAs asosidagi yorugiik

diodining odatiy tuzilishi ko'rsatilgan. U n turdagi GaAs qatlami sirtiga rux atomlarini diffuziya qilib, p - GaAs qatlamini shakllantirish va shu tariqa p-n o'tishli tuzilma hosil qilish y o i i bilan tayyorlanadi. So'ngra p - GaAs v an - GaAs qatlamlarining tashqi sirlari mos ravishda aluminiyli va AuGe aralashmali pardasimon metallashtirilgan qatlamlar bilan qoplanadi va ularga oltin simli chiqqichlar o'rnatiladi. Asbob asosini tashkil etgan kristallning yuza sirti o'lchamlari 0,3 - 0,5 mm li kvadrat ko'rinishiga ega bo'ladi.



Tolali optik aloqa tizimlarida nurlanuvchi sirt yuzasi nisbatan kichik o'lchamli ( $J=50$  mkm) yorug'lik diodlaridan foydalaniladi. Buning uchun yorug'lik diodi emitter sohasi (p - GaAs sohasi)ning chetki qismlari protonlar bilan bombardimon qilinadi. Natijada bu qismlar nurlanish sohasini cheklovchi amorf tuzilishli dielektrik qatlamga aylanadi.

Injeksion yorug'lik diodi (uni bundan keyin qisqacha qilib, yorug'lik diodi deb ataymiz) p-n tuzilishli optoelektron asbob bo'lib, uning ish mexanizmi to'g'ri ulangan p-n o'tish orqali n sohadan p sohaga injeksiyalanayotgan elektronlar va p sohadan n sohaga injeksiyalanayotgan kovaklarning o'zaro rekombinatsiyasi jarayonidan foydalanishga asoslangan. Bu jarayon natijasida elektronlar yuqori energiyali qo'zg'algan holatdan (o'tkazuvchanlik energetik sohasidan) quyi energiyali qo'zg'alman holatga (valent elektronlarining energetik sohasiga) o'tib, p-n o'tish va unga yaqin hajmiy fazoda energiyasi quyidagi munosabat bilan aniqlanadigan fotonlar - yorug'lik nurlanishi hosil bo'ladi:

$$h\nu \geq \Delta W_{mes}$$

bunda

$h$  — Plank doimiysi;  $\nu$  — yorug‘lik chastotasi;

$W_{mes}$  — yarimo‘tkazgich materiali man etilgan energetik sohasining kengligi.

### **Nazorat savollari**

1. Fotonika so‘zi qachon paydo bo‘lgan?
2. Fotonika nimalarni o‘rganadi?
3. Fotonika usullari va asosiy yo‘nalishlari ayting?
4. Nur diod qanday ishlaydi?

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Skalli M. O., Zubayri M. S. Kvantovaya optika: Per. s angl. / Pod red.V.V. Samarseva. - M.: FIZMATLIT, 2003. - 512 s.
2. Barsukov, V.I.Fizika. Volnovaya i kvantovaya optika : uchebnoye posobiye /V.I. Barsukov, O.S. Dmitriyev. – Tambov : Izd-vo FGBOU VPO “TGTU”, 2012. – 132 s.
3. Samarsev V.V. Korrelirovannyye fotony i ix primeneniye. M.: FIZMATLIT, 2014. — 168 s.
4. Kuznetsov S.I. Kvantovaya optika. Atomnaya i yadernaya fizika. Fizika elementarnyykh chastis: uchebnoye posobiye. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. – 154 s.

## 2- Mavzu: Optik nurlolar

### **REJA**

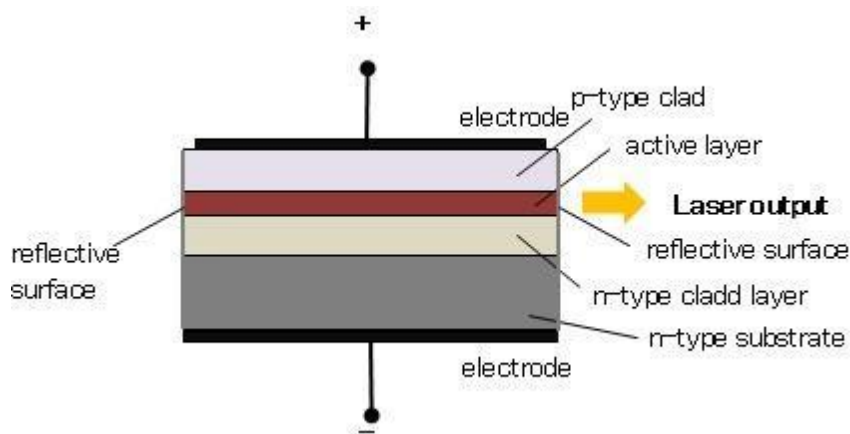
- 1.4. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish. Bir jinsli muhit optikasi.
- 1.5. Optik nurlolar. Optik nurlolali aloqa tizimlari. Optik nurlolali datchiklar.

**Tayanch iboralar:** *Lazerli diod optic nurtola, Sanyak effect, Optik nurlolali datchiklar*

### **1.1. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish. Bir jinsli muhit optikasi**

Yarimo'tkazgichli lazer diodining ixtirosi o'tgan asrning ikkinchi yarmida fizika sohasidagi eng yaxshi yutuqlardan biri deb hisoblanadi. Yarim asrdan ko'proq vaqt oldin amalga oshirilgan qattiq jisimli materiallarning optik nurlanishi sohasidagi sovet va amerikalik olimlarning mustaqil ishlanmalari bugungi kunda ularning ichki, sanoat va harbiy sohalarda samaradorligini ko'rsatmoqda. Fotonlarning o'z-o'zidan nurlanishiga asoslangan yorug'lik chiqaradigan diodlardan farqli o'laroq, lazer diodlari yanada murakkab ishlash printsipi va kristall tuzilishga ega.

Yarimo'tkazgichli lazerning asosiy tuzilishi rasmda ko'rsatilgan. P - va n-tipli (ikki tomonlama heterostruktura) qatlam-qatlamlari orasiga joylashtirilgan faol qatlam (yorug'lik chiqaradigan qatlam) n-tipli substratda hosil bo'ladi va kuchlanish p-n ga beriladi. Faol qatlamning ikkala qirradi ham oyna yuzasiga ega. To'g'ri kuchlanish qo'llanilganda, elektronlar pn o'tishdagi kovaklarga joylashadi va yorug'lik chiqaradi. Bu yorug'lik hali lazer emas, u faol qatlam ichida cheklangan, chunki qoplama qatlamlarining sindirish ko'rsatkichi faol qatlamga qaraganda past. Bundan tashqari, faol qatlamning ikkala uchi ham aks ettiruvchi oyna vazifasini bajaradi, bunda yorug'lik faol qatlamda o'zaro harakat qiladi. Keyin yorug'lik stimulyatsiya qilingan nurlanish jarayonida kuchayadi va lazer nurlanishi hosil bo'ladi.



Yarimoʻtkazgich sifatida kremniy oʻrniga boshqa materialdan, yaʼni alyuminiy va galliy arsenid qotishmasidan foydalaniladi (yana bir mashhur tanlov-indiy galliy arsenid fosfidi). Elektronlar diodga kiritiladi, kovaklar bilan bogʻlanadi va ularning ortiqcha energiyasining bir qismi fotonlarga aylanadi, ular koʻproq kiruvchi elektronlar bilan oʻzaro taʼsir qiladi va koʻproq fotonlar ishlab chiqarishga yordam beradi - va hokazo rezonans deb ataladigan oʻz-oʻzini takrorlaydigan jarayonda. Bu kiruvchi elektronlarning chiquvchi fotonlarga qayta-qayta aylanishi oddiy gaz lazerida sodir boʻladigan stimulyatsiya qilingan nurlanish jarayoniga oʻxshaydi.

Fotonlar qayerdan kelganini tushunish uchun rekombinatsiya jarayonini eslang (bir juft erkin tashuvchilar - elektron va kovakning xosil boʻlishi). Diodning pn oʻtishiga toʻgʻri kuchlanish berilganda, inʼeksiya sodir boʻladi, yaʼni. muvozanatsiz tashuvchilar konsentratsiyasining keskin oshishi. Inyeksiya jarayonida bir-biriga qarab harakatlanuvchi elektronlar va kovaklar rekombinatsiyalanib, zarracha - foton va kvazizarra - fonon shaklida energiya chiqaradi. LEDlarda kuzatilgan spontan emissiya shunday sodir boʻladi.



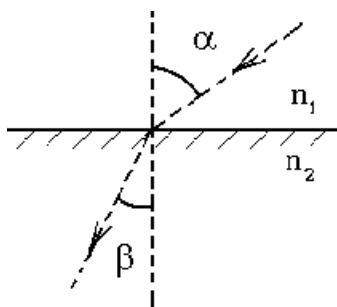
Yagona fotonli koʻchki diodi (SPAD) fotodiodlar va koʻchki fotodiodlari (APDs) bilan bir xil oiladagi qattiq holatdagi fotodetektor boʻlib, ayni paytda asosiy diodlarning xatti-harakatlari bilan bogʻliq. Fotodiodlar va APDlarda boʻlgani kabi, SPAD gamma, rentgen nurlari, beta va alfa zarralari kabi ionlashtiruvchi nurlanish

va ultrabinafsha (UV) dan elektromagnit spektrning keng qismi bilan yoritilishi mumkin bo‘lgan yarim o‘tkazgichli pn birikmasi atrofida joylashgan. ko‘rinadigan to‘lqin uzunliklari orqali va infraqizil (IR) ga.

Past teskari kuchlanishli fotodiodda qochqin oqimi fotonlarning yutilishi bilan chiziqli ravishda o‘zgaradi, ya’ni ichki fotoelektrik effekt tufayli oqim tashuvchilar (elektronlar va / yoki teshiklar) . Biroq, SPADda teskari moyillik shunchalik yuqoriki, zarba ionizatsiyasi deb ataladigan hodisa yuzaga keladi va bu ko‘chki oqimining rivojlanishiga olib kelishi mumkin. Oddiy qilib aytganda, foto-hosil bo‘lgan tashuvchi qurilmadagi elektr maydoni ta’sirida kinetik energiyaga tezlashadi, bu esa ommaviy materialning ionlanish energiyasini engib, atomdan elektronlarni urib yuborish uchun etarli. Joriy tashuvchilarning katta ko‘chkisi eksponent ravishda o‘sib boradi va bitta foton bilan boshlangan tashuvchidan kelib chiqishi mumkin. SPAD hisoblanishi mumkin bo‘lgan qisqa muddatli tetik pulslarini ta’minlaydigan yagona fotonlarni aniqlay oladi. Shu bilan birga, ular ko‘chkining yuqori tezligi va qurilmaning past vaqt jitteri tufayli hodisa fotonning kelish vaqtini olish uchun ham ishlatilishi mumkin.

## 1.2. Optik nurtolalar. Optik nurtolali aloqa tizimlari. Optik nurtolali datchiklar

Ma’lumki yorug‘lik, biror bir muhitda, to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladi. Ikki muhit chegarasida, masalan, havodan suvga, shishaga tushayotganda, yorug‘likning qaytishi, sinishi va yutilishi kuzatiladi.



Agar yorug‘lik sindirish ko‘rsatkichlari  $n_1$  va  $n_2$  shaffof ikki muhit chegarasiga tushayotgan bo‘lsa, u qisman qaytadi, qisman sinadi. Qaytish burchagi tushish burchagiga teng, sinish burchagi esa muhitlarning sindirish ko‘rsatkichlari nisbatiga bog‘liq (hamma burchaklar tekislikka o‘tkazilgan normalga nisbatan o‘lchanishini ta’kidlaymiz).

Sinellius qonuniga ko‘ra, tushish va qaytish burchaklari muhitlar sindirish ko‘rsatkichlari bilan quyidagicha:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2, \text{ bundan } \sin\theta_2 = \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \sin\theta_1 \quad (1)$$

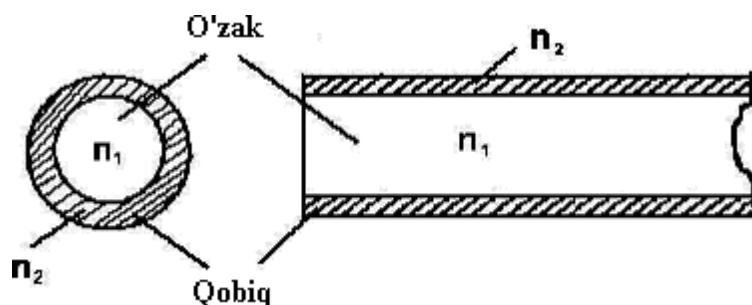
bog‘langan. Agar  $n_1 < n_2$  va  $|\sin\theta_1| < 1$ , u holda  $|\sin\theta_2| < 1$ . Lekin  $n_1 > n_2$ , ya‘ni yorug‘lik optik zichligi kattaroq muhitdan, optik zichligi kichikroq bo‘lgan muhitga o‘tsa, unda  $\theta_1$  tushish burchagi o‘zgarishida shunday payt bo‘ladiki  $\sin\theta_1 = 1$  va (1) ga asosan  $\sin\theta_2 > 1$ , bo‘lishi mumkin bo‘lmagan holga kelib qolamiz, sababi sinusning maksimal qiymati  $\sin\theta_2 = 1$ . Demak,

$$\sin\theta_{1kp} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (2)$$

bunda,  $\theta_{1kp}$  chegaraviy (kritik) burchak deyiladi. Endi nur ikki muhit chegarasiga shu kritik  $\theta_{1kp}$  burchakdak katta burchaklarda tushsa, ikkinchi muhitga o‘tmaydi va ajratuvchi chegaradan to‘la qaytadi. Bu ho‘disa *to‘la ichki qaytish effekti* deyiladi.

Agar sindirish ko‘rsatkichi  $n_1$  bo‘lgan qatlam, sindirish ko‘rsatkichlari  $n_2$  bo‘lgan qatlamlar orasida joylashgan bo‘lsa, u holda yorug‘lik nuri, sindirish ko‘rsatkichi  $n_1$  bo‘lgan o‘rtadagi qatlamda tarqaladi. Optik nurtolalarda nurlarning tarqalishi xuddi shunga asoslangan.

Optik nurtola turli optik xarakteristikalariga ega o‘zak va qobiqdan iborat.



O‘zak elektromagnit energiyani uzatish vazifasini bajaradi. Qobiqning vazifasi: "o‘zak-qobiq" chegarasida nurning yaxshi qaytishini ta‘minlovchi sharoitni yaratish va atrof muhitga energiyaning nurlanishidan himoya qilish. Qobiq ham tashqaridan himoya qatlami bilan o‘ralgan bo‘lib, uning vazifasi optik nurtolani mexanik va boshqa turli ta‘sirlardan himoya qilishdan iborat.

Nurtolaga kiritilayotgan nur, uning o‘zagida to‘la qaytib tarqalishi uchun

quyidagi shart bajarilishi kerak:



$$0 \leq \theta \leq \arcsin \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} = \theta_{\max} \quad (3)$$

O‘zak va qobiq sindirish ko‘rsatkichlarining farqi juda ham kichik  $\sim 0,01$  bo‘lgani uchun,  $\theta_{\max}$  kattalikni quyidagicha yozish mumkin:

$$NA = \sin \theta_{\max} \approx \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} \quad (4)$$

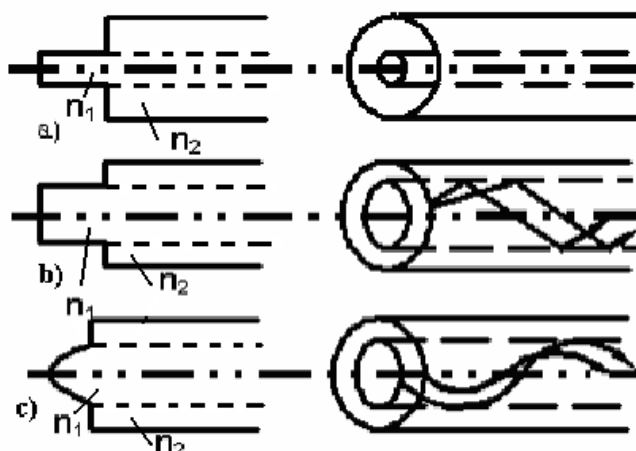
Bu optik nurtolaga kiritilayotgan nurlarning mumkin bo‘lgan maksimal burchagi. Bunday burchak *sonli apertura* deb ataladi va *NA* (Numeral Aperture) bilan belgilanadi. Odatda,  $n_1$  va  $n_2$  lar o‘rniga, sindirish ko‘rsatkichlarining nisbiy farqi degan kattalik ko‘proq qo‘llaniladi:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1} \approx \frac{n_1 - n_2}{2} \quad (5)$$

Agar  $\Delta$  kattalikdan foydalaniladigan bo‘lsa, u holda *NA* va  $\Delta$  orasidagi bog‘lanishni quyidagicha yozish mumkin:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (6)$$

Optik nurtolalarda elektromagnit to‘lqin dastalari optik o‘qqa nisbatan turli burchak ostida tarqalishiga qarab, *mo‘dalarga* ajratiladi. Optik nurtolalar, ularda tarqalayotgan mo‘dalar soniga qarab, *bir mo‘dali* va *ko‘p mo‘dali* nurtolalarga bo‘linadi.

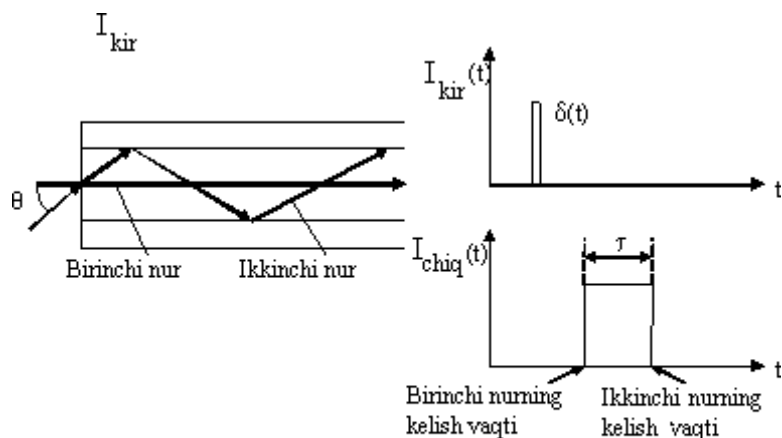


Rasm.3.3. Optik nurtola turlari: a - bi mo‘dali; b - ko‘p mo‘dali, zinasimon; c - ko‘p mo‘dali, gradientli.

Rasm 3 da optik aloqa tizimlarida keng qoʻllaniladigan, optik nurtolalarning uch turi koʻrsatilgan. Nurtolalar optik aloqa tizimlaridan boshqa koʻplab sohalarda ham keng qoʻllanilishini taʼkidlab oʻtish lozim. Masalan, turli fizik maydonlarni qayd etuvchi nurtolali optik datchiklar, nurtolali optik giroskoplar, optik asbobsozlik va boshqalar. Bir moʻdali nurtola oʻzaginging diametri 2÷8 mkmga, koʻp moʻdaliniki esa 50 mkmga teng.

Birmoʻdali nurtolar nurni oʻtkazish qobiliyati va uzoqqa oʻzatish parametrlari boʻyicha eng yaxshi koʻrsatkichlarga ega. Gradiyentli nurtolalarda oʻzakning sindirish koʻrsatkichi, markazdan radius boʻylab periferiyagacha, bir tekisda kamayib boradi. Gradiyentli nurtolalarda nurning tarqalish traektoriyasi toʻlqinsimon egri chiziqdan iborat boʻladi (rasm 3c).

Zinasimon koʻp moʻdali nurtola orqali optik impuls (yorugʻlik chaqnashi) tarqalishida (rasm 4.), optik nurtola oʻqiga nisbatan kichik burchak ostida tarqalayotgan moʻdalarning optik yoʻli, oʻq bilan katta burchak hoʻsil qilib tarqalayotgan moʻdalar optik yoʻlidan kam boʻladi. Oqibatda, ularning tarqalish vaqti orasida farq yuzaga kelib, nurtola kirishidagi qisqa toʻgʻri toʻrtburchak koʻrinishdagi optik impuls, nurtola chiqishida uzayadi (davri ortadi). Bu hodisa **moʻdalar dispersiyasi**, bunday dispersiya hosil boʻladigan nurtolalar - **koʻp moʻdali** deyiladi.



Rasm.3.4 Optik impulsning nurtoladan oʻtishida kengayishi

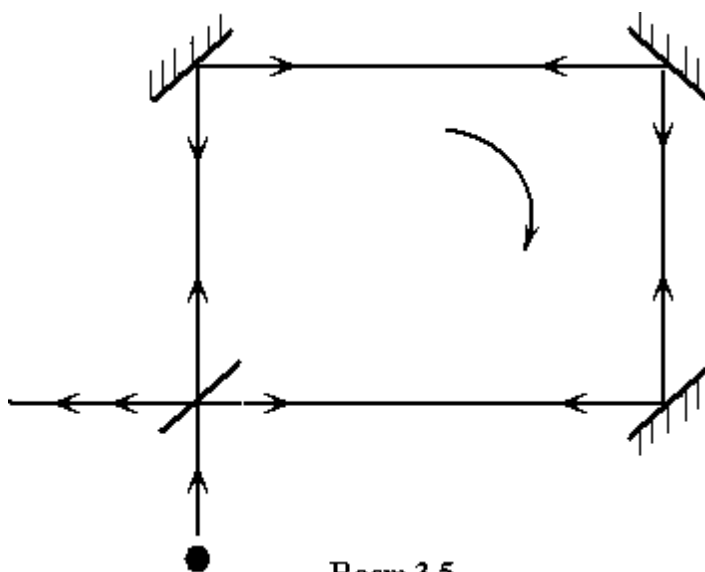
Moʻdalar dispersiyasi optik nurtola orqali uzatiladigan informatsiyani uzatish tezligini kamaytiradi. Informatsiya uzatish tezligini orttirish uchun nurtola diametrini bir necha mikrongacha kamaytiriladi. Bunday nurtolalarda moʻdalar faqatgina optik nurtola oʻqi bilan kichik burchaklar hoʻsil qilib

tarqaladi va informatsiyani uzatish tezligi ortadi. Bunday nurtolalar *bir mo‘dali* deyiladi.

### Sanyak effekti

Yorug‘lik tezligiga, kuzatuvchi to‘g‘ri chiziqli tezligining ta‘sirini o‘rganishga bag‘ishlangan klassik tajribalardan keyin, analogik tajribalar tekis aylanma harakatlar uchun ham tadqiq etilgan. Bunday tajriba Sanyak tomonidan 1913-yili bajarilgan. Nisbiylik nazariyasi asosinng eksperimental tasdiqi bo‘lgan, Maykelson tajribalari bergan salbiy natijalardan o‘laroq, Sanyak tajribalaridan oddiy hisoblashlar bilan mos keluvchi ijobiy natija olingan.

Tajribaning g‘oyasi 5 rasmda keltirilgan interferometrning aylanishida interferension manzarani kuzatishdan iborat bo‘lgan. Sanyak qurilmasi 4 ta ko‘zgu va bitta, nurni bo‘luvchi yarim shaffof ko‘zgudan tashkil topgan. Bunday sxema, rasm 3.5 dan ko‘rinishicha nurlarni kontur bo‘ylab soat strelkasi va unga teskari yo‘nalishlarda tarqalishiga, so‘ngra ularni bir joyda uchrashtirish imkonini beradi.

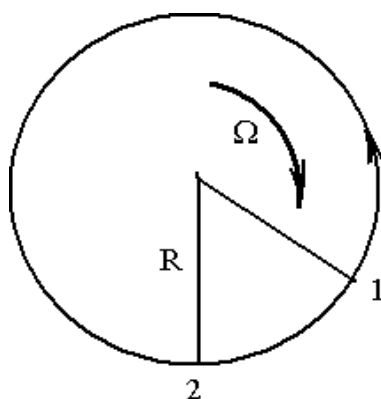


Rasm 3.5

Qurilma to‘g‘ri sozlanganda, kontur aylanmay tinch tursa, har ikki nur teng yo‘llarni o‘tadi va fazalar farqi bo‘lmaydi, ya‘ni bir vaqtda keladi. Kuzatilayotgan interferension manzaralarni suratga olib, so‘ngra butun interferometrni ma‘lum burchak tezlik bilan aylantirib, yana interferension manzaralarni suratga olish mumkin. Tajriba natijalariga ko‘ra, hattoki juda kichik burchak tezliklarda ham, aylanish hisobiga yuzaga kelgan faza farqini yoki boshqacha aytganda kontur perimetrining effektiv uzunligini topishga

imkon beruvchi, interferension kengliklarning siljishi kuzatilgan. Bu hodisa *Sanyak effekti* nomini olgan.

Kashf etilganidan yarim asr o‘tib Sanyak effekti, uni burchak tezliklarni optik o‘lchashga tadbiiq etish mumkinligi bilan, yana ko‘plab tadqiqotchilar diqqatini torta boshladi. Optik giroskoplarni, bugungi kunda mukammal ko‘rinishga ega bo‘lib, ko‘pgina parametrlari bo‘yicha mexanik giroskoplardan ustun turadi.



Rasm 3.6

Sanyak effektining sodda nazariyasi bilan tanishaylik. Sanyak tajribasida optik kontur to‘g‘ri to‘rtburchak ko‘rinishida bo‘lgan, lekin biz hisoblashlarni soddalashtirish maqsadida, uni rasm 6 dagidek aylana bilan almashtiramiz va unda yorug‘likning soat strelkasi va unga teskari yo‘nalishda tarqalishi mumkin bo‘lgan, hayoliy tajribani ko‘ramiz.

Real tajribada ko‘p o‘ramli optik nurlar g‘altagi ishlatiladi. Hayoliy tajribada esa, markazidan, uning tekisligiga perpendikulyar o‘tuvchi o‘q atrofida  $\Omega$  burchak tezlik bilan soat strelkasi yo‘nalishida aylanuvchi, bitta o‘ram mavjud. Qulaylik uchun, yorug‘likning soat strelkasi yo‘nalishi bo‘yicha tarqalish tezligini  $c_b$ , teskari yo‘nalish bo‘yicha tarqalish tezligini  $c_T$  deb belgilab olamiz. Faraz qilaylik, fotonlar, o‘ram kesimining 1 deb belgilangan nuqtasidan, soat strelkasiga teskari yo‘nalishda start olgan bo‘lsin. Ular start olgan 1-chi nuqta bilan kesimning 2 holatida yana uchrashishadi. Startdan uchrashguncha ketgan vaqtni  $t_T$  deb belgilab, foton bosib o‘tgan yo‘l uchun quyidagi ifodani yoza olamiz:

$$2\pi R - \Omega R t_T = c_T t_T . \quad (7)$$

Bundan

$$t_T = \frac{2\pi R}{c_T + \Omega R} . \quad (8)$$

Xuddi shunday tenglama soat strelkasi yoʻnalishida tarqaluvchi fotonlar uchun quyidagicha boʻladi:

$$t_b = \frac{2\pi R}{c_b - \Omega R}. \quad (9)$$

$\Omega R \ll c$  ekanligini eʼtiborga olib, fotonlar oʻramni soat strelkasi aylanishi va unga teskari yoʻnalishlarda oʻtishi uchun ketadigan vaqtlar farqini, topamiz:

$$t_b - t_T = \Delta t = 2\pi R \frac{c_T - c_b + 2\Omega R}{c_T c_b} \quad (10)$$

Agar, soat strelkasi va unga teskari yoʻnalishlarda tarqaluvchi yorugʻlik tezliklarining bir xil ekanligini va  $c$  ga teng ekanligini hisobga olsak, (3.10) formula soddalashib, quyidagicha koʻrinishda boʻladi:

$$\Delta t = 4 \frac{S}{c^2} \Omega, \quad (11)$$

bunda  $S$  - oʻram yuzasi.

(11) tenglamani keltirib chiqarishda biz muhit sindirish koʻrsatkichini 1 ga teng deb oldik, masalan havo, lazer aktiv muhiti boʻlgan biror bir gaz. Lekin, analiz bu formula biror bir muhit uchun ham oʻrinli ekanligini koʻrsatadi. Shuning uchun, optik nurtolada yorugʻlikning fazaviy tezligi  $c/n$ , uning vakuumdagi tezligidan kichik boʻlsa ham, bu formulani nurtolali oʻram uchun ham qoʻllash mumkin.

### Nazorat savollari

5. Lazerli diod nima?
6. Lazerli diodning nurdioddan farqi?
7. Lazerli diod ishlash prinsipini tushintiring
8. Optik nurtola nima?
9. Optik nurtola turlari
10. Nurtolaga nur tarqalishi uchun qanday shart bajarilishi kerak?
11. Moʻda nima?
12. Moʻdalar dispersiyasi nima?

**13.** Qanday hodisa *Sanyak effekti* deyiladi.

**14.** Sanyak effektini tushuntiring.

## Foydalanilgan adabiyotlar

5. Skalli M. O., Zubayri M. S. Kvantovaya optika: Per. s angl. / Pod red.V.V. Samarseva. - M.: FIZMATLIT, 2003. - 512 s.
6. Barsukov, V.I.Fizika. Volnovaya i kvantovaya optika : uchebnoye posobiye /V.I. Barsukov, O.S. Dmitriyev. – Tambov : Izd-vo FGBOU VPO “TGTU”, 2012. – 132 s.
7. Samarsev V.V. Korrelirovannyye fotony i ix primeneniye. M.: FIZMATLIT, 2014. — 168 s.
8. Kuznetsov S.I. Kvantovaya optika. Atomnaya i yadernaya fizika. Fizika elementarnyykh chastis: uchebnoye posobiye. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. – 154 s.

### 3- mavzu: Amaliy fotonika

#### **REJA**

3.1. *Optik giroskoplar. Kvant chigallik. Kvant interferensiya.*

3.2. *Kvant interferensiya. Fotolni teleportatsiya qilishga mo'ljallangan eksperimental qurilmalar..*

**Tayanch iboralar:** *Foton, laser, fotonika, kvant texnologiya, kvant chigallik, kvant teleportatsiya, kvant interferensiya.*

Zamonaviy dunyoda aloqa tizimlari bizning dunyomizni rivojlantirishda muhim rol o'ynaydi. Axborot uzatish kanallari turli xil axborot tarmoqlarini yagona global Internetga bog'lab, sayyoramizni tom ma'noda o'rab oladi. Zamonaviy texnologiyalarning g'aroyib dunyosi kvant dunyosining hayratlanarli imkoniyatlari bilan bog'liq bo'lgan fan va texnikaning zamonaviy kashfiyotlarini o'z ichiga oladi. Aytish 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.

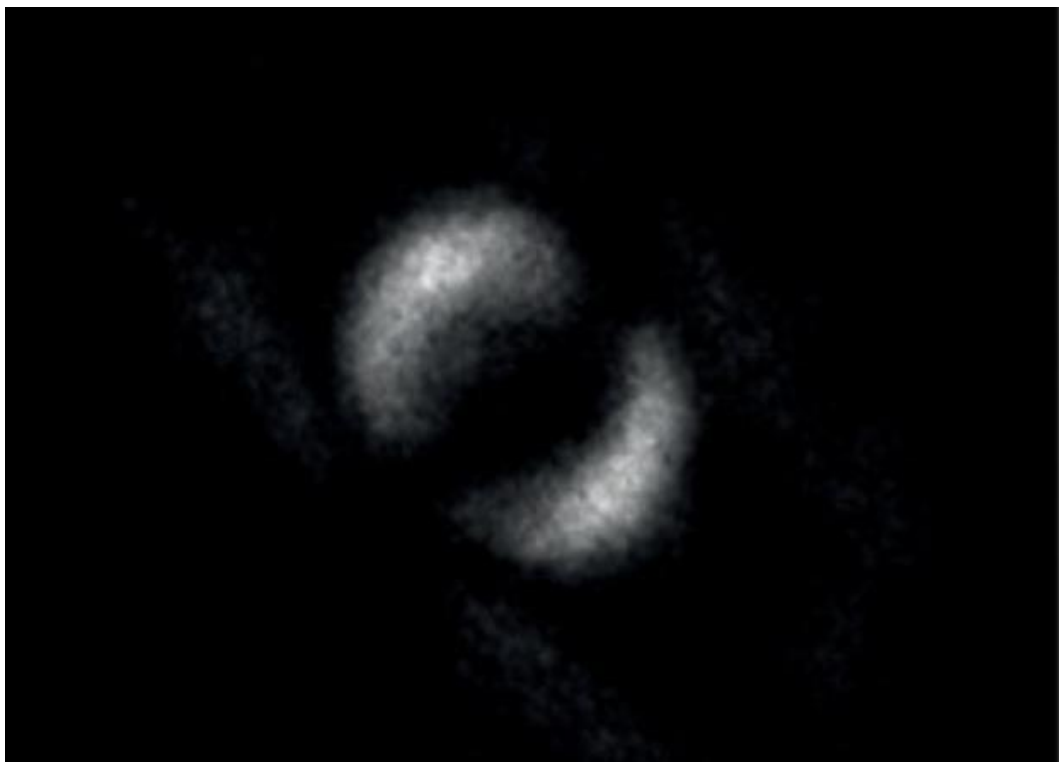
Ushbu qismda biz yorug'likning interferensiyasini ko'rib chiqamiz va kvant texnologiyalaridan foydalangan holda tezkor ma'lumot uzatish uchun aloqa kanalini qurish usullarini tahlil qilamiz. Garchi ko'pchilik ma'lumotni yorug'lik tezligidan tezroq uzatish mumkin emas deb hisoblasa-da, to'g'ri yondashuv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

## 2.1. Optik giroskoplari. Kvant chigallik. Kvant teleportatsiya.

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

**Kvant "chigallik"** - bu bir necha zarralarning kvant holatlari ular orasidagi masofadan qat'i nazar o'zaro bog'liq bo'lgan hodisadir. Ushbu hodisa kvant teleportatsiyasi, kriptografiya va kompyuter texnologiyalarida qo'llaniladi. Eynshteyn 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 ma'lumot yorug'lik tezligidan tezroq uzatiladi, bu klassik fizika qonunlariga binoan imkonsizdir.

Kvant mexanikasida zarralar bir vaqtning o'zida kosmosda ma'lum bir pozitsiyaga ega bo'lmagan to'lqinlardir. Kuzatuvchi paydo bo'lgandan keyingina tizim bitta aniq kvant holatini qabul qilishi kerak. Buzilgan zarralar, ular orasida ming kilometrdan ko'proq masofa bo'lsa ham, bir-birlarining tanlov holatiga ta'sir qiladi.

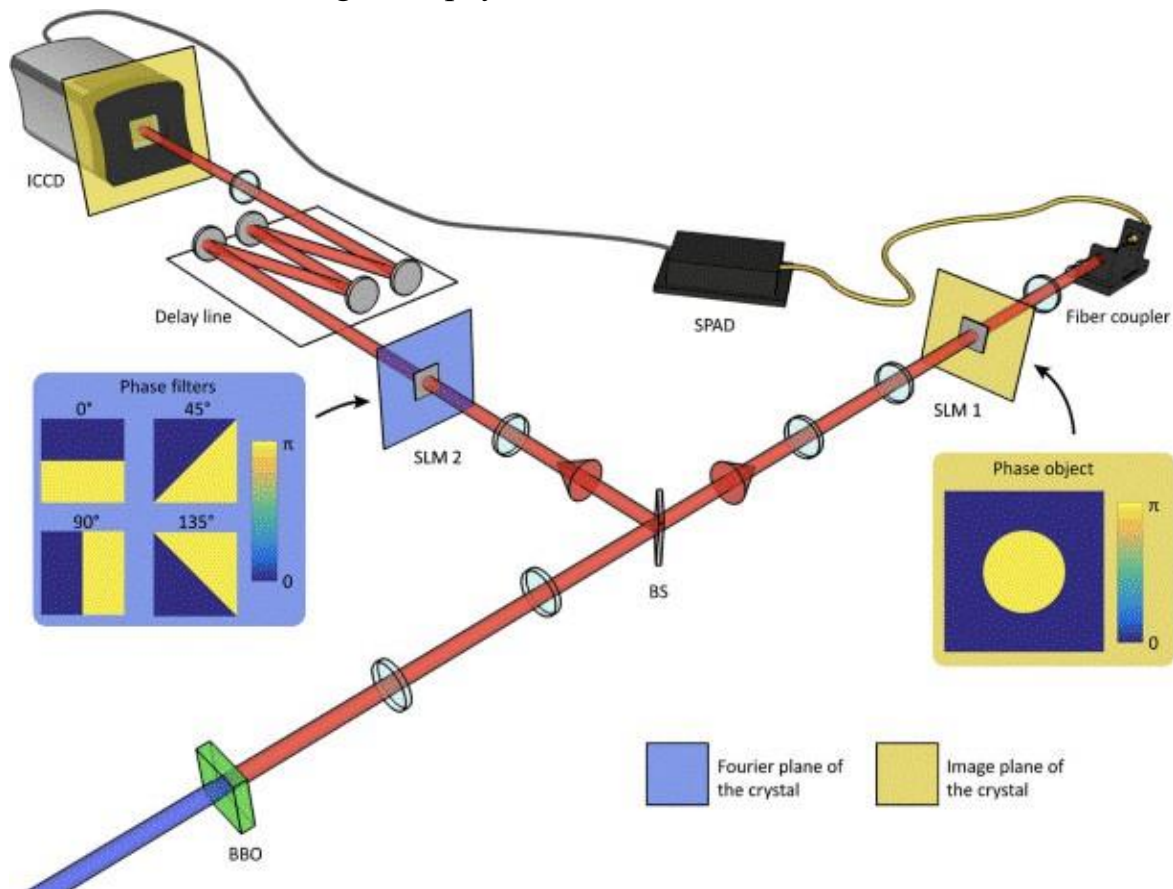


Bellning tengsizligi buzilganligini isbotlagan tajribalar allaqachon bir necha bor o'tkazilgan bo'lib, asosan fotonlarning polarizatsiyalari, lekin ba'zan elektronlarning aylanishlari bilan mos kelishini tekshirdi. Ushbu ishda olimlar aylanayotgan yorug'lik fotonlarining orbital burchak momentida tengsizlik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

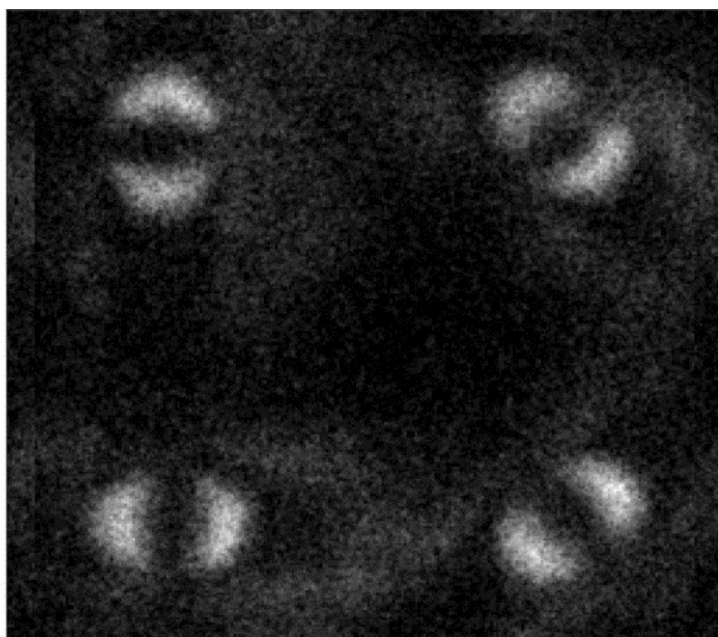
Pol-Antuan Mour va Glazgo universiteti hamkasblari fazoviy yorug'lik modulyatori rolini o'ynagan va fotonlarning fazasini o'zgartirgan suyuq kristall orqali yo'naltirilgan "chigal" fotonlar juftlarini ajratishdi, ikkinchisi esa to'g'ridan-



to'g'ri detektorga tushdi. Kamera, ular fazoda bir-biridan ajratilgan bo'lsa ham, bir xil o'zgarishlarni boshdan kechirgan paytda barcha fotonlarning rasmlarini suratga oldi. Ya'ni, kvant "chigallik" paytida.



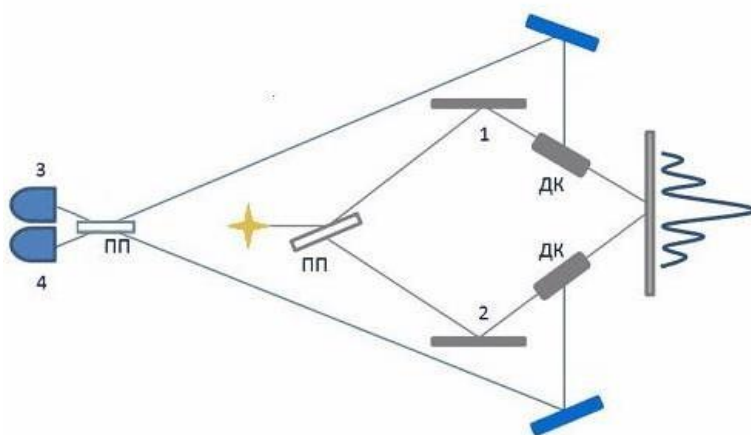
**Eksperimental qurilma sxemasi.** Pastki chap burchakda kristalda hosil bo'lgan "chigal" fotonlar ikkita nurga bo'lingan. Birinchisi filtrlardan, keyin detektorga o'tadi. Ikkinchi nur darhol detektorga uriladi. Fyurer tekisligi ko'k, rasm tekisligi esa sariq rangda. (Paul-Antoine Moreau et al., / Science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



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

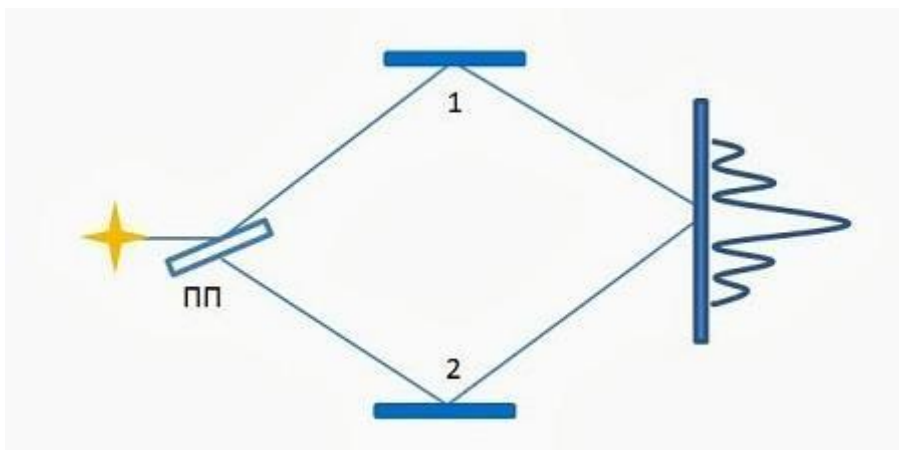
O'ta sezgir kamera bitta fotonlarni suratga olishga va suratga faqatgina bir vaqtning o'zida bir juft fotonlar detektorlarga tushgan paytda olindi. To'rt xil filtdan o'tgan juftlarning to'rtta alohida rasmlaridan tashqari, ish mualliflari fazani o'zgartirishning barcha to'rtta variantini o'z ichiga olgan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

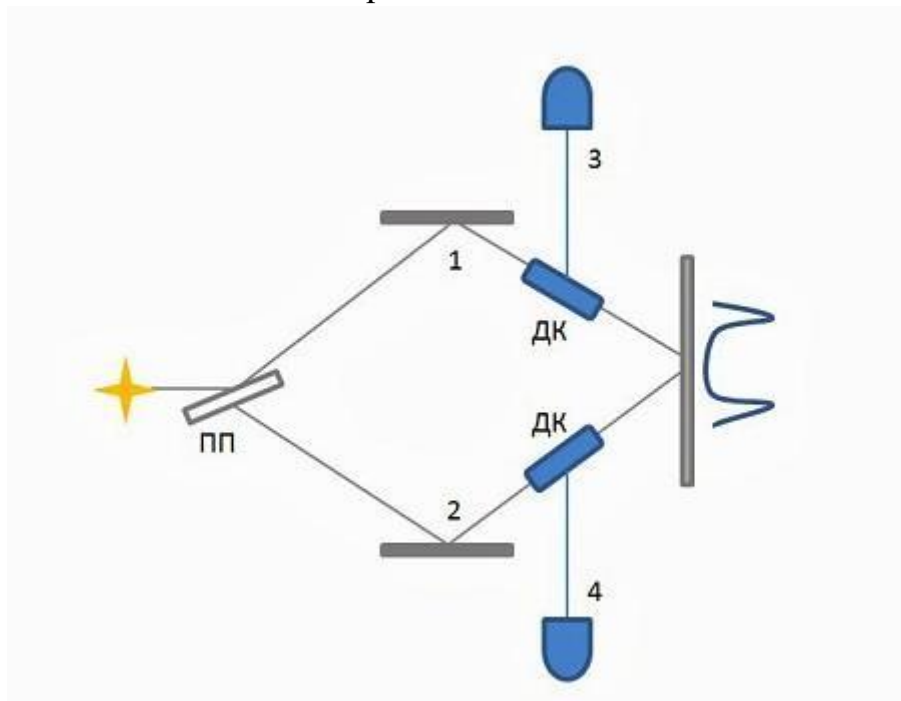


### **3.2. Kvant interferensiya. Fotonni teleportatsiya qilishga mo'ljallangan eksperimental qurilmalar**

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

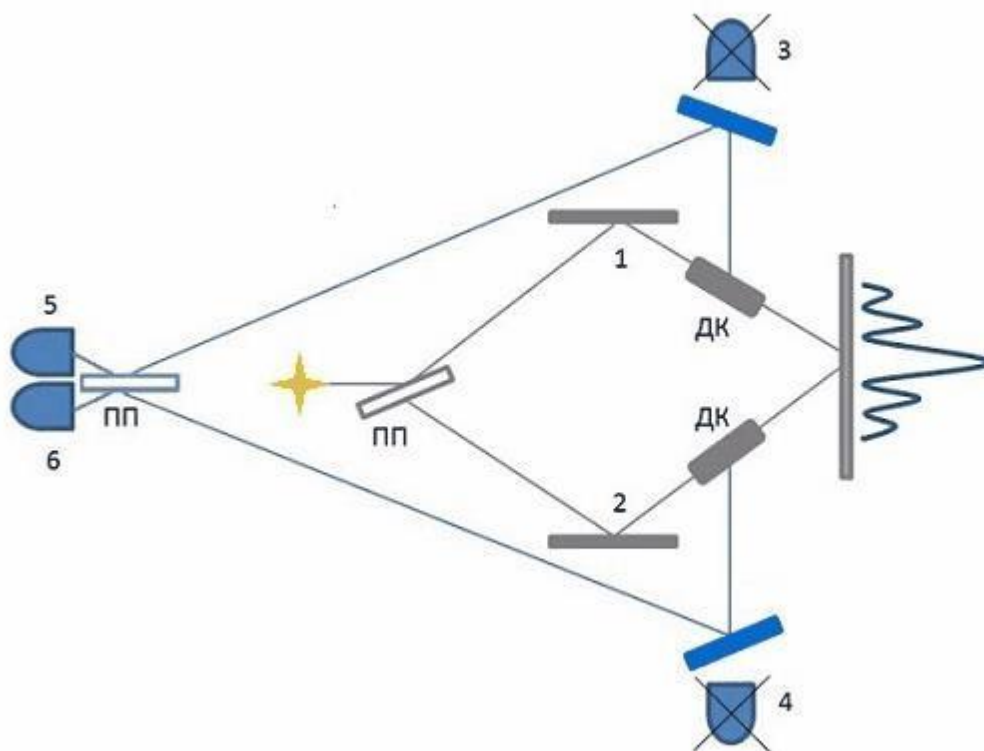


Biz lazer nurini shaffof oynaga (PP) yoʻnaltiramiz. Odatda, bunday oyna ustidagi yorugʻlik hodisasining yarmini aks ettiradi, qolgan yarmi oʻtadi. Ammo kvant noaniqlik holatida boʻlgan fotonlar shaffof oynaga tushib, ikkala yoʻnalishni bir vaqtning oʻzida tanlashadi. Keyin har bir nur ekranga (1) va (2) koʻzgu bilan aks ettiriladi, bu yerda biz interferensiyani kuzatamiz. Hammasi oddiy va tushunarli: fotonlar toʻlqin kabi harakat qilishadi.



Endi fotonlar yuqori yoki pastki qismida qanday yoʻl bosib oʻtganligini tushunishga harakat qilaylik. Buning uchun har bir yoʻlda daun–konvertorlarni (DK) qoʻyamiz. Daun–konvertor - bu bitta foton unga kirganda, chiqish paytida 2 ta foton (har biri yarim energiya bilan) chiqaradigan qurilma, ulardan biri ekranga (signal fotoni), ikkinchisi esa detektorga (3) yoki (4) tushadi (boʻsh foton). Detektorlardan maʼlumotlarni olgach, har bir foton qaysi yoʻldan yurganini bilib olamiz. Bunday holda, interferensiya tasviri yoʻqoladi, chunki biz fotonlar aniq qayerdan oʻtganini

aniqladik va kvant noaniqlikni buzdik.



Bundan tashqari, biz tajribani biroz murakkablashtiramiz. Har bir “bo’sh foton”ning yo‘lida qaytaruvchi ko‘zgularni joylashtiramiz va ularni ikkinchi yarimshaffof ko‘zguga (diagrammadagi manbaning chap tomoniga) yo‘naltiramiz. Ikkinchi yarimshaffof oynaning o‘tishi “bo’sh foton”larning trayektoriyasi to‘g‘risidagi ma‘lumotlarni yo‘q qiladi va interferensiyani tiklaydi (Max Syender interferometrining sxemasiga muvofiq). Detektorlardan qaysi biri ishlamasligidan qat‘i nazar, biz fotonlar qaysi yo‘lni bosib o‘tganligini aniqlay olmaymiz. Ushbu murakkab sxema yordamida biz yo‘lni tanlash haqidagi ma‘lumotlarni o‘chirib tashlaymiz va kvant noaniqligini tiklaymiz. Natijada ekranda interferensiya paydo bo‘ladi.

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

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

## **Nazorat savollari**

1. Kvant chigallik nima?
2. Kvant internet nima?
3. “Chigal” fotonlar qanday hosil qilinadi?
4. Kvant chigallikni tasvirga olish mumkinmi?

## **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Skalli M. O., Zubayri M. S. Kvantovaya optika: Per. s angl. / Pod red.V.V. Samarseva. - M.: FIZMATLIT, 2003. - 512 s.
2. Barsukov, V.I.Fizika. Volnovaya i kvantovaya optika : uchebnoye posobiye /V.I. Barsukov, O.S. Dmitriyev. – Tambov : Izd-vo FGBOU VPO “TGTU”, 2012. – 132 s.
3. Samarsev V.V. Korrelirovannyye fotony i ix primeneniye. M.: FIZMATLIT, 2014. — 168 s.
4. Kuznetsov S.I. Kvantovaya optika. Atomnaya i yadernaya fizika. Fizika elementarnyykh chastis: uchebnoye posobiye. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. – 154 s.

## 4- mavzu: Kvant interneti va kvant kompyuterlari

### *REJA*

4.1. *Kvant interneti va kvant kompyuterlari.*

4.2. *Kremniyli fotonika. Nanoskopiya.*

*Nanofotonika. Bir fotonli nurlanish manbalari.*

**Tayanch iboralar:** *Foton, laser, fotonika, kvant texnologiya, kvant internet, kvant kompyuter*

Yevropalik va rus olimlari tomonidan olib borilgan so‘nggi tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, kvant va klassik ma‘lumotlarning harakati bir xil optik tolali ma‘lumotlarni uzatish liniyalari chegaralarida muvaffaqiyatli birga yashashi mumkin. Bu kelajakda oddiy Internetdan elementar zarrachalar paradokslariga asoslangan tarmoq, kvant Internet tarmog‘iga bosqichma-bosqich o‘tish imkonini beradi.

### **4.1. Kvant interneti va kvant kompyuterlari**

Kompyuter sanoatida inqilob sodir bo‘lmoqda. Pensilvaniya universiteti fiziklari an‘anaviy kremniy chiplari to‘rt yil ichida o‘z chegarasiga etishini aytishdi. Ularni yanada qisqartirib bo‘lmaydi, shuning uchun oddiy kompyuterlar uzoq umr ko‘rmaydi.

Ular o‘rnini tubdan yangi texnologiyalar, kvant kompyuterlari egallaydi. Chiplar o‘rniga elementar zarralar bo‘ladi. Buning yordamida hajmini keskin qisqartirish va mahsuldorlikni oshirish mumkin. Hozircha bu prototiplar kuchsiz kompyuterdan tezroq emas, ammo bu vaqt masalasidir. O‘z navbatida, eng kuchli salohiyatdan foydalangan holda, uni tezroq hal qilish mumkin bo‘laditubdan yangi, kvant Internetni amalga oshirishdagi muammolar va qiyinchiliklar.



### ***Kvant internet sirlari***

Kvant interneti qanday ishlaydi? Bu nima va uning mohiyati nimada? Farqi shundaki, u kvant mexanikasi qonunlariga asoslanadi. U olimlar tomonidan to'liq tushunilmagan hodisalarni tasvirlash uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan issiq, o'tkir maydon sifatida qabul qilingan. Ulardan biri fotoelektr effektidir.

### ***Kvant fizikasining paradokslari insoniyat xizmatida***

Bugun aniq: bizning yaqin kelajakda kvant Internet kabi hodisa kirib keladi. Bu bizga nima olib kelishi mumkin yoki qanday bo'ladi? Ehtimol, bu o'tmishda yarimo'tkazgichli tranzistorlar joriy qilinganiga o'xshash yana bir sakrash bo'ladi.

Uning printsipti superpozitsiya va kvant chalkashlik xususiyatiga asoslanadi. U aniq bir spinga ega emas va bir o'lchaganida, ikkinchisi buning aksini ko'rsatadi. To'liqroq tushunish uchun bu ma'lumotni tashuvchi har bir elementar zarrachaning "chimlangan" juftligi bilan ko'rinmas tarzda bog'langanligini anglatadi. Bundan tashqari, ular orasidagi masofa hech qanday rol o'ynamaydi, ma'lumotlar bir zumda uzatiladi.

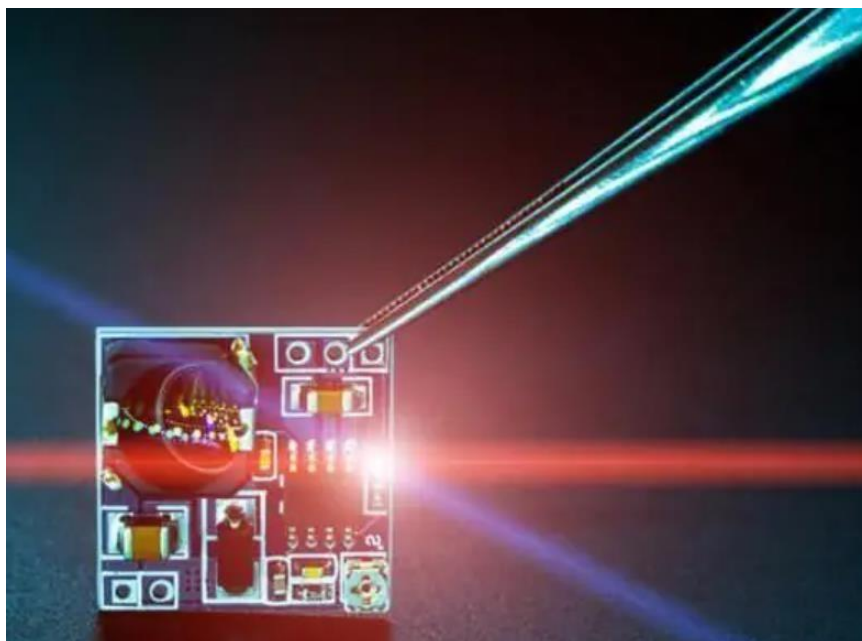
Ushbu g'ayritabiiy qonunlardan foydalangan holda ma'lumotlarni uzatish tezligi va maxfiylikida katta imkoniyatlar ochiladi. Bu tarzda yuborilgan ma'lumotni sezdirmasdan ushlab bo'lmaydi: har qanday o'qish asl ma'lumotni iz qoldiradi yoki yo'q qiladi.

### ***Tezlik o'ylagandan ham tezroq***

Ma'lumot uzatish tezligini o'lchash bo'yicha so'nggi ma'lumotlarga kelsak, ular bizning tasavvurimizni hayratda qoldiradi. U yorug'lik tezligidan o'nga oshadiming marta. Ammo, ehtimol, kelajakda olimlar signal uzatish tezligi ilgari aniqlanganidan ancha yuqori ekanligini aniqlaydilar, masalan, kvant Internet. Bu nima degani? Bu bizga nima berishi mumkin? Ehtimol, signallarning kosmosdagi ilgari tasavvur qilib bo'lmaydigan masofalarga uzatilishi va yangi kashfiyotlar.

### ***Fotonlardagi yangi texnologiyalar***

Fotonlarni axborot tashuvchisiga aylantirish texnologiyasida rossiyalik olimlar sun'iy ravishda o'stirilgan kristallar, ya'ni olmoslardan foydalanishni topdilar.



Ma'lum bo'lishicha, yorug'lik kristallardan o'tganda suyuqlik xususiyatini oladi va tomchilar, girdoblar, to'liqlar hosil qila boshlaydi. U har qanday kanal orqali yo'naltirilishi mumkin. Umuman olganda, u suyuqlik kabi harakat qiladi. Jumladan, u juda sekin tezlikda tarqalishi yoki hatto to'xtashi mumkin.

Bu bir tomondan juda qiziq va juda muhim, chunki u yorug'likni manipulyatsiya qilish va har qanday narsani qilish, jumladan kvant Internet tarmog'i kabi hodisani olish imkonini beradi. Bu esa undan axborot uzatish agenti sifatida foydalanish imkonini beradi. Endi uning asosiy tashuvchisi elektr zaryadidir. Ammo bu nomukammal ob'ekt. Shu sababli, elektr zaryadining har qanday harakati yoki tezlashishi atrof-muhitga kirib, protsessor va mikroshema elementlarini isitadigan energiya yo'qotilishiga olib keladi.

Internetning o'zi insoniyatga ishlab chiqaradigan energiyaning 5% dan ko'prog'iga tushadi. Shuning uchun elektronni fotonlar bilan almashtirish juda katta energiya yo'qotilishining kamayishiga olib keladi. Shunga ko'ra, Internetning o'zi narxhitushadi.

#### *Rossiyadagi kvant Internet*

Rossiyada kvant internetida ishlash noyobdir. Kam mablag' va har xil to'siqlarga qaramay, olimlar yetarlicha tajribalar o'tkazdilar va bu sohada yetakchi o'rinni egallashdi.

Natijada biz noyob, yuqori darajadagi muassasa yaratishga muvaffaq bo'ldik. U eksperimental va nazariy guruhlarini hamda amaliy tadqiqotlarni birlashtiradi. Ushbu institut qisman Gazprombank tomonidan, qisman davlat tomonidan turli



shakllarda moliyalashtiriladi. Har holda, bu rus fani hech narsada to'xtamasdan o'rnatish kerak.

Yangi hududlarni zabt etish

Kvant Internet rivojlanishining hozirgi bosqichida faqat kvant kriptografiyasidan foydalangan holda ma'lumotlarni himoya qilish texnologiyalarini nomlash mumkin. Bunday tarmoqlar bugungi kunda juda oddiy nuqtadan nuqtaga ulanishdir. Olimlar turli kanallar va shifrlash usullarini birlashtirgan hamkorlikdagi yechimlarni yaratishni maqsad qilgan.

Goyaning amalga oshirilishini kuzatib borsangiz, rossiyalik tadqiqotchilarning natijalari sezilarli bo'ladi. Bunga misol qilib, Kurchatov institutida ishlab chiqilayotgan yagona fotonli emitent detektorini keltirish mumkin.

*Kvant internet tezligi*

Kvant Interneti kabi kashfiyot mavjudligi uchun olimlar bugungi kunda mavjud bo'lgan kvant ma'lumotlarini uzatish va telekommunikatsiya tarmoqlari uchun maxsus jihozlarni birlashtirishdagi qiyinchiliklarni hal qilishlari kerak.

Asosiy masalalar kommutatsiya va signalni kuchaytirishni hal qilishda yotadi. Agar siz kvantga asoslangan ma'lumotni standart optik tola orqali yuborsangiz, u regeneratordan o'tmaydi. Shuning uchun bitta yechim signalni elektr signaliga aylantirish va keyin asl holatiga qaytishdir.

Bugungi chegara uch yuz kilometr. Bu optik signalni qayta tiklash uchun zarur bo'lgan masofa. Bizga kvant kaliti prototipi ham kerak. Muammoli vazifalarning umumiy miqdori faqat o'n yil ichida hal qilinishi mumkin. Shunga qaramay, ilmiy doiralarda ular kvant Internetni "egarlash" imkoniyati haqida bahslashmoqda. Bu nima olib kelishi mumkin va u qanday yordam berishi mumkin? Bugungi kunda aniq javob yo'q, ammo bunday texnologiyalarni oddiy fuqaroga joriy etish va olib kelish masalasini hal qilish, albatta, uning hayot sifati va xavfsizligini yaxshilaydi.

Xitoy sun'iy yo'ldosh yordamida 1200 kilometrlik kvant tarmog'ini uzatish bo'yicha ulkan loyihani amalga oshirdi.

Ayni damda maksimal masofa yuz kilometrga yetdi. Olimlar signalni meteorologik sharoitlar ta'siridan qanday himoya qilishni ishlab chiqdilar. Biroq, bu hissiyot yil sayin ortib borayotgan teleportatsiya bilan emas, balki kvant kriptografiyasi, boshqacha aytganda, yangi ma'lumotlarni shifrlash tizimi bilan bog'liq.

Kvant kodini buzib bo'lmaydi, aniqrog'i, u buzilganda ma'lumot yo'qoladi. Kiber urush davrida bu daxlsizlikni anglatadi. Kvant kriptografiyasi uzoq vaqtdan beri kafolat izlayotganlar tomonidan qo'llanilgan xavfsizlik. Qanday qilib, masalan, bir necha yil oldin Shveysariya banklari kvant tarmog'i orqali o'z mijozlari haqida ma'lumot almashishni boshladilar. Bugungi kunda ular bir necha o'nlab kilometr masofa bilan cheklangan. Rossiya Kvant markazi xuddi shu tizimni joriy etishga, shuningdek, kosmik sun'iy yo'ldosh orqali kvant signalini uzatishni o'zlashtirishga tayyorlanmoqda.

*Kirish va amalga oshirish*

Ayni vaqtda Sankt-Peterburgda Rossiyadagi ikkita universitet binosi o'rtasida birinchi kvant Internet tarmog'i ishga tushirildi.

Ma'lumotlar kvant fizikasi qonunlari yordamida uzatiladi. Hozirda eng aqlli korporatsiyalar va hukumatlar bu sohaga sarmoya kiritmoqda. Kelajakdagi axborot uzatish texnologiyasi mavjud bo'lgan texnologiya asosida amalga oshirilmoqda. Optik tolali kabel, tanish kompyuter, lekin yangi router va foton generator.

Yangi Internetning mavjudligi lazerdan boshlanadi, u erda yagona fotonlar manbai joylashgan. Ular ma'lumotni xavfsiz tarzda uzatish uchun yaxshi xususiyatga ega. Bitta fotonni bo'lish mumkin emas. Kalit shunday shakllanganki, o'qish mumkin emas. Fotonni axborot tashuvchisiga aylantirish uchun tizim o'z holatini, impuls to'liqining tebranish fazasini o'zgartiradi. Bugungi kunda kvant texnologiyasining rivojlanish darajasi mobil aloqaning o'ttiz yil oldingi ko'rinishi bilan solishtirish mumkin, yana besh-o'n yil o'tadi va foton kvantlari bizga xavfsiz axborot Internetini bera oladi.

### **Nazorat savollari**

1. Kvant komputer nima?
2. Kvant internet nima?

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Skalli M. O., Zubayri M. S. Kvantovaya optika: Per. s angl. / Pod red.V.V. Samarseva. - M.: FIZMATLIT, 2003. - 512 s.
2. Barsukov, V.I.Fizika. Volnovaya i kvantovaya optika : uchebnoye posobiye /V.I. Barsukov, O.S. Dmitriyev. – Tambov : Izd-vo FGBOU VPO “TGTU”, 2012. – 132 s.
3. Samarsev V.V. Korrelirovannyye fotony i ix primeneniye. M.: FIZMATLIT, 2014. — 168 s.
4. Kuznetsov S.I. Kvantovaya optika. Atomnaya i yadernaya fizika. Fizika elementarnyykh chastis: uchebnoye posobiye. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. – 154 s.

## IV. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI

### 1- Mavzu: Fotonika tarixi (2 soat)

- 1.1. Fotonika tarixi. Lazer fizikasi va fotonika asoslari.
- 1.2. Fotonika usullari va asosiy yo‘nalishlari
- 1.3. Nurlanish manbalari. Nurdiod.

### 2- Mavzu: Optik nurtolalar (2 soat)

- 2.1. Lazerli diod. Fotonlarni qabul qilish. Bir jinsli muhit optikasi.
- 2.2. Optik nurtolalar. Optik nurtolali aloqa tizimlari. Optik nurtolali datchiklar.

### 3- Mavzu: Amaliy fotonika (2 soat)

- 3.1. *Optik giroskoplar. Kvant chigallik. Kvant interferensiya.*
- 3.2. *Kvant interferensiya. Fotinni teleportatsiya qilishga mo‘ljallangan eksperimental qurilmalar.*

### 4- Mavzu: Kvant interneti va kvant kompyuterlari (4 soat)

- 4.1. *Kvant interneti va kvant kompyuterlari.*
- 4.2. *Kremniyli fotonika. Nanoskopiya. Nanofotonika.*
- 4.3. *Bir fotonli nurlanish manbalari.*

## V. GLOSSARIY

Termin	O'zbek tilidagi sharhi	Ingliz tilidagi sharhi
1. Tezlanish	bu jism tezligining vaqt o'tishi bilan o'zgarishi.	it is the change in velocity of an object over time.
2. Vektor	bu kattalikka ham, yo'nalishga ham ega bo'lgan miqdor.	it is a quantity that has both magnitude and direction.
3. Gravitatsion maydon	tortishish kuchi ta'sir qiladigan fazo hududi.	a region of space affected by gravity.
4. Diffraktsiya	to'lqinlarning pregradient yuzasi bo'ylab tarqalishi, o'tkazgichning yo'nalishini o'zgartirish.	propagation of waves along the surface of the pregradient, changing the direction of the conductor.
5 Umumjahon tortishish qonuni	bu ikki jismga ta'sir etuvchi ikki jismning kuchi massaga proporsional va masofa kvadratiga teskari proporsional bo'lgan tortishish kuchi ekanligini bildiruvchi qonun.	this is the law stating that the force of two bodies acting on two bodies is proportional to the mass and inversely proportional to the square of the distance.
6. Impuls	vektor kattalik, massiv jism tomonidan yaratilgan tekislik va uning tezligi.	vector quantity, the plane created by a massive body and its velocity.
7. Kinetik energiya	uning harakati bilan bog'liq energiya ob'ekti.	an object of energy associated with its movement.
8. Ob'ektiv	yorug'likni fokuslaydigan va uning yo'nalishini o'zgartiradigan shaffof optik qurilma.	a transparent optical device that focuses light and changes its direction.
9. Magnit maydon	magnit o'zaro ta'sir sodir bo'lgan magnit yoki elektr toki atrofidagi maydon.	the field around a magnet or electric current in which a magnetic interaction occurs.
10. Nyuton mexanikasi	klassik fizik nazariya, harakatlanuvchi jismlarning tavsifi.	classical physical theory, description of moving bodies.
11. Optika	yorug'likning fizik, optik xususiyatlari va tarqalishining bir qismi.	part of the physical, optical properties and propagation of light.

12. Davr	teksiklik harakat, masalan, tebranishlar yoki aylanishlar takrorlanadigan vaqt.	time during which a uniform motion, such as oscillations or rotations, is repeated.
13. Bir tekis tezlashtirilgan harakat	jismning tezligi vaqt o'tishi bilan bir xilda o'zgarib turadigan harakat.	motion in which the velocity of an object varies uniformly with time.
14. Yorug'lik oqimi - ma'lum vaqt ichida	ma'lum bir sirt orqali o'tadigan yorug'lik energiyasining miqdori.	the amount of light energy that passes through a given surface.
15. Issiqlik o'tkazuvchanligi	materiialarning issiqlik va energiyani uzatish qobiliyati.	ability of materials to transfer heat and energy.
16. Shok to'lqini	bu tez harakatlanuvchi jismni shu qadar tez harakatga keltiruvchi to'lqin, u yuqori tezlikda tovush chiqaradi.	it is a wave that propels a fast-moving object so fast that it emits sound at a high speed.
17. Fokus uzunligi	linzadan uning fokusgacha bo'lgan masofa.	the distance from the lens to its focus.
18. Kimyoviy energiya	kimyoviy reaksiyalar va jarayonlar bilan bog'liq energiya.	energy associated with chemical reactions and processes.
19. Massalar markazi	bu jismning butun massasini hisoblash mumkin bo'lgan nuqta.	this is the point from which the entire mass of the object can be calculated.
20. Chastota	vaqt birligida ob'ekt tomonidan bajariladigan tsikllar yoki tebranishlar soni.	the number of cycles or oscillations performed by an object per unit of time.
21. Elektr maydoni	elektr o'zaro ta'sirlar sodir bo'ladigan zaryad mintaqasi.	a region of charge where electrical interactions occur.
22. Yadro atomi	proton va neytronlardan tashkil topgan markaziy chastotali atomdir.	is an atom with a central frequency composed of protons and neutrons.
23. Geometrik optika	yorug'lik va yorug'likni tortuvchi, geometrik qonunlarni yaqinlashtiruvchi optika bo'limi.	the branch of optics that draws light and light, approximates geometric laws.
24. Dielektrik	bu material, elektr tokining tekis o'tkazuvchisi.	this material is a flat conductor of electricity.
25. Energiyaning saqlanish qonuni	energiyani yaratish yoki yo'q qilish mumkin emas, faqat bir ko'rinishdan ikkinchi	is a law that states that energy cannot be created or destroyed, but only

	ko‘rinishga o‘tishini bildiruvchi qonundir.	transformed from one form to another.
26. Induksiya	elektr tokini o‘tkazish va magnit maydonlarni o‘tkazish.	conduction of electric current and conduction of magnetic fields.
27. Kvant mexanikasi	mikrozarrachalarning kichik masofalarda va kichik vaqt shkalalarida harakatini tavsiflovchi nazariyadir.	is a theory that describes the movement of microparticles over small distances and small time scales.
28. Mexanik balans	yig‘indisi nolga teng, operator ob‘ekt emas va daraja nolga teng bo‘lgan balansdir.	sum is zero, the operator is not an object, and the degree is a balance of zero.
29. Nyuton	xalqaro birlik tizimidagi kuch birligi.	unit of power in the system of international unity.
30. Optik tola	yorug‘lik signalini uzoq masofalarga uzatishga qodir nozik shaffof ip.	a thin transparent thread capable of transmitting a light signal over long distances.
31. Sinishi	yorug‘likning bir va boshqa muhitda tarqalish yo‘nalishining o‘zgarishi.	change of direction of propagation of light in one and another environment.
32. Kuch	o‘z holati va shaklini o‘zgartirishga qodir jismoniy ob‘ekt.	a physical object capable of changing its state and shape.
33. Termik analiz	atomlar va molekulalarning issiqlik harakati natijasida yuzaga keladigan elektromagnit to‘lqinlarni tahlil qilish.	analysis of electromagnetic waves resulting from thermal motion of atoms and molecules.
34. Gravitatsiya tezlanishi	bu jismning tortishish kuchi ta‘sirida erkin qulashda oladigan tezlanishi.	this is the acceleration of an object in free fall under the influence of gravity.
35. Formula	har xil fizik kattaliklar orasidagi munosabatni tavsiflovchi matematik ifoda.	a mathematical expression describing the relationship between different physical quantities.
36. Qora tuynuk	bu kuchli tortishish maydoniga ega bo‘lgan fazo hududi bo‘lib,	it is a region of space with a strong

	u orqali hech narsa, hatto yorug'lik ham qochib qutula olmaydi.	gravitational field through which nothing, not even light, can escape.
37. Elektr zaryadi	elektromagnit o'zaro ta'sir qilish xususiyatini tavsiflovchi fizik miqdor.	a physical quantity that describes the nature of the electromagnetic interaction.
38. Maksvell fenomeni	o'tkazgichdagi magnit maydon yoki magnit oqim o'zgarganda elektr tokining paydo bo'lishidan iborat hodisa.	a phenomenon consisting of the generation of an electric current when the magnetic field or magnetic flux in a conductor changes.
39. O'ngga aylanadigan mos yozuvlar ramkasi	ijobiy xunuklari soat miliga teskari aylanishlarga mos keladigan mos yozuvlar ramkasi.	the reference frame corresponding to positive negative rotations.
40. Diffuziya	bu ba'zi narsalarni yuqori konsentratsiyali hududdan pastroq konsentratsiyali hududga o'tkazish jarayoni.	it is the process of moving something from an area of higher concentration to an area of lower concentration.
41. Izotrop material	barcha yo'nalishlarda bir xil xususiyatlarga ega bo'lgan materialdir.	is a material with the same properties in all directions.
42. Sifatli tahlil	muayyan moddalarning mavjudligi yoki yo'qligini aniqlashga asoslangan tadqiqot usuli.	a research method based on determining the presence or absence of certain substances.
43. Yer magnit maydoni	magnit maydon, Yer yadrosining geodinamik jarayoni.	magnetic field, geodynamic process of the Earth's core.
44. Ilmiy metod	tadqiqotga tizimli yondashish, gipotezalarni har tomonlama shakllantirish, tajribalar o'tkazish va olingan ma'lumotlarni tahlil qilish.	systematic approach to research, comprehensive formulation of hypotheses, conducting experiments and analyzing the obtained data.
45. Ob'ektiv	yorug'likni to'playdigan va fokuslaydigan optik uskuna.	optical equipment that collects and focuses light.

46. Davriy harakat	maʼlum vaqt oraligʻida takrorlanadigan harakat.	an action that repeats itself over a period of time.
47. Reaktiv kuch	bu boshqa kuchga javoban taʼsir qiluvchi kuch.	it is a force acting in response to another force.
48. Yoʻldosh	tortishish kuchi taʼsirida boshqa obʻektga qarab harakatlanadigan jism.	an object moving towards another object under the influence of gravity.
49. Harorat	energiya, uzatish obʻekti va natija - harorat.	energy, the object of transfer and the result - temperature.
50. Markazdan qochma kuch	bu aylanish markazidan yoʻnaltirilgan va jism aylana boʻylab harakatlanayotganda paydo boʻladigan kuch.	this is the force directed from the center of rotation and generated when the body moves in a circle.



## **VI. ADABIYOTLAR RO‘YXATI**

### **I. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari**

1. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – T.: “O‘zbekiston”, 2017. – 488 b.
2. Mirziyoyev Sh.M. Milliy taraqqiyot yo‘limizni qat’iyat bilan davom ettirib, yangi bosqichga ko‘taramiz. 1-jild. – T.: “O‘zbekiston”, 2017. – 592 b.
3. Mirziyoyev Sh.M. Xalqimizning roziligi bizning faoliyatimizga berilgan eng oliy bahodir. 2-jild. T.: “O‘zbekiston”, 2018. – 507 b.
4. Mirziyoyev Sh.M. Niyati ulug‘ xalqning ishi ham ulug‘, hayoti yorug‘ va kelajagi farovon bo‘ladi. 3-jild.– T.: “O‘zbekiston”, 2019. – 400 b.
5. Mirziyoyev 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 muassasalarining 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. Ўзбекистон Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 avgustdagi “Oliy ta’lim muassasalari 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 muassasalari 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. Скалли М. О., Зубайри М. С. Квантовая оптика: Пер. с англ. / Под ред. В.В. Самарцева. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 512 с.

2. 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.

3. Самарцев В.В. Коррелированные фотоны и их применение. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. — 168 с.

4. Кузнецов С.И. Квантовая оптика. Атомная и ядерная физика. Физика элементарных частиц: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 154 с.

### **IV. Elektron ta’lim resurslari**

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

## NAZORAT SAVOLLARI

№	Savollar
1.	Gauss lazer nuri
2.	Yassi elektromagnit to'liqin qanday tarqaladi?
3.	Maksimal intensivlikka nisbatan qiymati ikki marta kamaygan chastotalar oralig'i qanday nomlanadi?
4.	Qabul qiluvchiga nisbatan nurlanish manbaining xarakati natijasida to'liqin uzunligining o'zgarishi nima deyiladi?
5.	Optik aloqa kanallarining elektromagnit maydonlar ta'siriga berilmasligining sababi...
6.	Nurlarni boshqaruvchi qurilmalar to'g'ri ko'rsatilgan javobni belgilang.
7.	Elektr energiyasini nokogerent nurlanish energiyasiga aylantiruvchi qurilma qanday nomlanadi?
8.	Yutilish koeffitsiyentining tushayotgan yorug'lik to'liqin uzunligiga bog'liqligi nima deyiladi?
9.	Fotorezistiv effekt nima?
10.	Berilgan qonuniyat asosida lazer nurlanishining bir va bir nechta parametrlarini vaqt bo'yicha o'zgartiruvchi qurilma nima deyiladi?
11.	Moddaning optik xossalarini magnit maydoni ta'sirida o'zgarishi qanday ataladi?
12.	Optik nurtolalarda optik signalning so'nishi o'lchov birligi?
13.	Golografiya nima?
14.	Svetodiod nurlanishining to'liqin uzunligi nimaga bog'liq?
15.	Fotoelektron kuchaytirgichlarda fototokni kuchaytirish uchun qo'llaniladigan prinsip:
16.	Gradiyentli nurtolalarda nurning tarqalish trayektoriyasi:
17.	Zinasimon nurtolalarda nurning tarqalish trayektoriyasi:
18.	Mo'dalar dispersiyasi optik nurtola orqali uzatiladigan informatsiyani uzatish tezligini:
19.	Optik giroskoplar, bugungi kunda mukammal ko'riniga ega bo'lib, ko'pgina parametrlari bo'yicha mexanik giroskoplardan ustun turadi va uning ishlashi:
20.	Fotoo'tkazuvchanlik hodisasi deb ... :
21.	Fotogalvanik effekt deb ...:
22.	Moddaga yorug'lik tushishi natijasida uning sindirish ko'rsatkichi o'zgarishiga ..... deyiladi:
23.	Tungi ko'rish qurilmasi qaysi hodisaga asosan ishlaydi?
24.	Bir modali va ko'pmodali optik nurtolaning bir biridan farqi nimada?
25.	Kompakt diskda ma'lumotni yozish paytida lazer nurining quvvati o'qish paytidan qancha marta katta bo'ladi?
26.	Optik nurtolada nurni tarqalishi qaysi hodisaga asoslangan?
27.	Modalar dispersiyasi qanday nurtolada kuzatiladi?

28.	Elektr energiyasini yorug'lik energiyasiga aylantirib beruvchi qurilma qaysi?
29.	Ikkilamchi emissiya prinsipi asosida ishlaydigan qurilma qaysi?
30.	Bir mo'dali nurtola o'zagining diametri qancha?
31.	Malumotlar o'lchov birligi qaysi javobda to'g'ri ko'rsatilgan.
32.	Optik nurtolaning kaysi kismida nur sindirish ko'rsatkichi katta bo'ladi?
33.	Fotonlarni yutub elektr signallariga aylantirib beruvchi qurilma ... .
34.	Tebranishlar fazasi deyilganda, nima nazarda tutiladi?
35.	Qaysi signal vositasida ko'prok informatsiyani uzatish mumkin ?
36.	Fazalar farqi qanday signallar orasida o'lchanadi?
37.	YArimo'tkazgichli lazerning optik rezonatori nimadan iborat?
38.	Inversiya deb nimaga aytiladi?
39.	Kvant chigallik nima?
40.	Qanday sochilishga kombinatsion sochilish deyiladi?
41.	Yassi elektromagnit to'lqin qanday tarqaladi?
42.	Svetodioldlarning ishlash prinsipi
43.	Qanday moddalar qutblanish tekisligini buradi?
44.	Qachon muhitning optik xususiyatlarining nurlanish intensivligiga bog'liqligi kuzatiladi:
45.	Yorug'lik nurining tabiyati
46.	Fotonning tezligi qaysi muxitda katta buladi
47.	Elektromagnit to'lqin tenglamalari qaysi olim nomi bilan aytiladi?
48.	Muxitning absolyut sindirish ko'rsatkichi
49.	Qanday nurga chizikli qutblangan nur deyiladi