

**ЎЗБЕКИСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ЖОҚАРЫ ҲӘМ ОРТА  
АРНАЎЛЫ БИЛИМ МИНИСТРЛИГИ**

**БАС ИЛИМИЙ-МЕТОДИКАЛЫҚ ОРАЙЫ**

**БЕРДАҚ АТЫНДАҒЫ ҚАРАҚАЛПАҚ МӘМЛЕКЕТЛИК  
УНИВЕРСИТЕТИ ҚАСЫНДАҒЫ ПЕДАГОГ КАДРЛАРДЫ  
ҚАЙТА ТАЯРЛАЎ ҲӘМ ОЛАРДЫҢ ҚӘНИГЕЛИГИН  
ЖЕТИЛИСТИРИЎ АЙМАҚЛЫҚ ОРАЙЫ**

**“ӘМЕЛИЙ ОПТИКА: СПЕКТРОСКОПИЯ, ЛАЗЕР ФИЗИКАСЫ ҲӘМ  
ФОТОНИКА”**

**модули бойынша**

**ОҚЫЎ–МЕТОДИКАЛЫҚ КОМПЛЕКС**

**Нөкис – 2017**

**Бул оқыў-методикалық комплекс жоқары хэм орта арнаўлы билим министрлигиниң 2017-жыл «\_\_»- \_\_\_\_\_ дағы “\_\_”-санлы буйрығы менен тастыйықланған оқыў реже хэм дәстүр тийкарында таярланды.**

**Дүзиўшилер:**

ҚМУ Электроэнергетика кафедрасы  
баслығы, ф-м.и.к., доцент Шарибаев М.Б.

ҚМУ Ярымөткизгишлер физикасы  
кафедрасы оқытыўшысы, ф-м.и.к.,  
доцент Бекбергенов С.Е.

**Пикир билдириўши:**

НМПИ Илимий ислер бойынша  
проректоры, ф-м.и.к., доцент Жалелов М.

***Пәнниң исши оқыў бағдарламасы аймақлық орайдың илимий методикалық кеңесиниң 2017 жыл «\_\_» \_\_\_\_\_ дағы \_\_-санлы баяннама менен тастыйықланған.***

## МАЗМУНЫ

ИС БАҒДАРЛАМА.....	4
МОДУЛДИ ОҚЫТЫҰДА ПАЙДАЛАНЫЛАТУҒЫН ИНТРЕАКТИВ БИЛИМ МЕТОДЛАРЫ.....	12
ТЕОРИЯЛЫҚ ШЫНЫҒЫҰ МАТЕРИАЛЛАРЫ .....	15
ӘМЕЛИЙ ШЫНЫҒЫҰ МАТЕРИАЛЛАРЫ.....	67
ӨЗ БЕТІНШЕ ЖУМЫС ТЕМАЛАРЫ.....	73
ГЛОССАРИЙ.....	75
ӘДЕБИЯТЛАР ДИЗИМИ.....	82

## ИС БАҒДАРЛАМА

### Кирисиў

Бул модул раўажланған шет ел мәмлекетлериниң жоқары билимлендириў тараўында ерискен жетискенликлери хәмде арттырған тәжирийбелери тийкарында “Физика” қайта таярлаў хәм қәнигелигин асырыў бағдары бойынша таярланған үлги оқыў реже хәмде бағдарлама мазмунынан келип шыққан халда дүзилди. Модулда заманагөй талаплар тийкарында қайта таярлаў хәм қәнигелигин асырыў процесслериниң мазмунын жетилистириў хәмде жоқары билимлендириў мекемелериниң педагог кадрлардың кәсиплик компетентлигин турақлы түрде асырып барыўды мақсет етеди.

Жәмийеттиң раўажланыўы тек ғана мәмлекеттиң экономикалық дәрежесиниң көрсеткиши менен емес, бәлки хәр бир инсанның камал табыўы хәм раўажланыўына қаншелли бағытланғанлығы, инновациялардың қолланыў дәрежеси менен де өлшенеди. Демек, билимлендириў системасы сапасын асырыў, педагогларды заманагөй билим хәмде әмелий көнликпе хәм қәнигелер менен қуралландырыў, шет ел алдыңғы тәжирийбелерин үйрениў хәм практикаға усыныў бугинги күнниң әхмийетли ўазыйпасы болып табылады. “Әмелий оптика: спектроскопия, лазер физикасы хәм фотоника” модули усы бағыттағы мәселелерди шешиўге қаратылған.

Әмелий оптика: спектроскопия, лазер физикасы хәм фотоника пәни - заманагөй оптикалық қурылмалар менен таныстырыў, олардың ислеў принципери хәм тийкарғы оптикалық характеристикаларды үйрениў, нурланыў спектрлерин оптикалық усыллар менен регистрациялаў, наноструктуралар спектроскопиясы, квант оптикалық, классикалық емес нурлар хәм олардың қолланылыўы, лазер физикасы хәм фотоника тийкарлары, фотоникалық кристаллар хәм олардың түрлери, нур талшықлы, компьютер фотоникасы, оптоинформатика, оптикалық сигналлар, олардың фундаментал хәм әмелий процесслери тийкарында заманагөй әсбаплар жаратыў машқалалары баян етилген.

## **Модулдің мақсет хәм ұазыйпалары**

Әмелий оптика: спектроскопия, лазер физикасы хәм фотоника модулинің мақсет хәм ұазыйпалары:

- Заманагөй оптикалық қурылмалар менен таныстырыў, олардың ислеў принциптери хәм тийкарғы оптикалық характеристикаларын үйрениў, оптикалық нурланыўды регистрациялаў усыллары менен таныстырыў, электромагнитлик толқынларды орталықлардың атом хәм молекулалары менен өз-ара тәсирлесий процесслериндеги физикалық қубылысларды үйрениў, наноструктуралар спектроскопиясы тийкарлары менен танысыў. квант оптикалық хәм классикалық емес нурлар хаққында мағлыўмат бериў хәм олардың қолланылыўы менен таныстырыў, фотоника тийкарлары, фотоникалық кристаллар хәм олардың кәсийеттери, фотон компьютерлар жаратылыў тенденциялары менен таныстырыў хәм алынған билимлерди әмелиятқа қоллаў қәнигелик көнликпелерди раўажландырыў.

### **Модул бойынша тыңлаўшылардың билими, көнликпе, қәнигеликке хәм компетенцияларына қойылатуғын талаплар**

“Әмелий оптика: спектроскопия, лазер физикасы хәм фотоника” курсың өзлестирий процессинде әмелге асырылатуғын мәселелерге:

#### **Тыңлаўшы:**

- заманагөй спектроскопикалық қурылмалар, оларды ислеў принциптери хәм тийкарғы характеристикалары;

- квант оптика тийкарлары хәм квант оптикалық сызықлы емес процесслер;

- фотоника тийкарлары, фотоникалық кристаллар хәм жақтылық нурын басқарыў усыллары хаққында **билимлерге ийе болыўы;**

#### **Тыңлаўшы:**

- спектроскопикалық қурылмаларды ислете алыў;

- квант оптикалық хәм лазер физикасының заманагөй жетискенликлеринен пайдаланыў;

- фотоникалық кристаллар, олардың қәсийетлери билиў хәм ислете алыў **көнликпе хәм малакаларды ийелеўи;**

#### **Тыңлаўшы:**

- спектроскопикалық изертлеўлер өткерий хәм алынған нәтийжелерди анализ етиў;

- лазер қурылмалары жәрдемінде квант оптикасына тийисли мәселелерди шешиў ушын тәжирийбелер өткерий **компетенцияларын ийелеўи тийис.**

#### **Модулды шөлкемлестириў хәм өткерий бойынша усыныслар**

“Әмелий оптика: спектроскопия, лазер физикасы хәм фотоника” курсы лекция, әмелий хәм қоспа шынығыўлар формасында алып барылады.

Курсты оқытыў процессінде билим бериўдиң заманагөй методлары, педагогикалық технологиялар хәм ахборот-коммуникация технологиялары қолланылыўы нәзерде тутылған:

- лекция сабақларында заманагөй компьютер технологиялары жәрдемінде презентациялық хәм электрон-дидактикалық технологиялардан;

- өткерилтуғын әмелий шынығыўларда техникалық қураллардан, экспресс-сораўлар, тест сораўлары, ақылы хәжим, топар менен пикирлеў, киши топарлар менен ислеў, коллоквиум өткерий хәм басқа интерактив билим усылларын қоллаў нәзерде тутылады;

- қоспа сабақларда Республикамыздағы жетекши илимий изертлеў институтларында алып барылатуғын изертлеўлер менен танысыў нәзерде тутылған.

#### **Модулдың оқыў режесіндеги басқа модуллер менен байланыслығы хәм үзликсизлиги**

“Әмелий оптика: спектроскопия, лазер физикасы хәм фотоника” модули мазмуны оқыў режедеги “Жоқары энергиялар физикасы хәм астрофизиканың заманагөй ҳалаты” хәм “Заманагөй материалтаныў хәм нанопизика” оқыў модуллири менен үзликсиз байланысқан ҳалда педагоглардың кәсиплик педагогикалық таярлық дәрежесин асырыўға хызмет етеди.

### Модулдиң жоқары билимлендириўдеги орны

Модулды өзлестириў арқалы тыңлаўшылар спектрал қурылмалар, лазерлар хәм фотоникалық кристалларды әмелде қоллаў хәм бахалаўға тийисли кәсиплик компетентликке ийе болады.

### Модул бойынша саатлардың бөлистирилиўи

№	Модул темалары	Тыңлаўшының оқыў жүклемеси, саат					
		Хәммеси	Аудитория оқыў юкламаси				Өз бетинше жұмыс
			Жәми	жумладан			
				Теориялық	Әмелий шынығыў	Қоспа шынығыў	
1.	Заманагөй спектрал қурылмалар, олардың ислеў принциптери хәм тийкарғы оптикалық характеристикалары.	8	8	2	6		
2.	Оптикалық нурланыўлар, оларды регистрациялаў усыллары, электромагнитлик толқынларды орталықтың атом хәм молекулалары менен өз-ара тәсирлеўи	2	2	2			
3.	Наноструктуралар спектроскопиясы тийкарлары.	2	2	2			

4.	Квант оптикасы хәм классикалық емес нурлар, сызықлы емес процесслер.	8	8	2		4	
5.	Фотоника тийкарлары, фотоникалық кристаллар хәм олардың қәсийетлери, фотон компьютерлер жаратыў тенденциялары.	8	6	2	6		2
<b>Жәми:</b>		<b>28</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

## **ТЕОРИЯЛЫҚ ШЫНЫҒЫҰЛАР МАЗМУНЫ**

### **1 - Тема: Заманагөй спектрал қурылмалар, олардың ислеў принциплери хәм тийкарғы оптикалық характеристикалары**

Спектрал қурылмалардың классификациясы. Тийкарғы характеристикалары. Оптикалық схемалары хәм ислеў принциплери. Ажырата алыў қәбилети. Призмалы спектрал қурылмалар. Призмалы спектрал қурылмалар қәсийетлери.

### **2 - Тема: Оптикалық нурланыўлар, оларды регистрациялаў усыллары, электромагнитлик толқынлардың орталық атом хәм молекулалары менен өз-ара тәсирлесіўи**

Нурланыў дереклериниң түрлери. Оптикалық нурланыў изертлеўлерде дереклерге қойылатуғын талаптар. Оптикалық квант генераторлары. Сызықлы (үзликли) хәм үзликсиз спектрлер тарқатыўшы жақтылық дереклери. Оптикалық нурланыўды регистрациялаў усыллары.

### **3 - Тема: Наноструктуралар спектроскопиясы тийкарлары**

Наноструктуралар спектроскопияның өзине тән тәреплери. Зеeman кубылысы магнитлик резонанс (ЭПР, ЯМР). Пашен-Бак эффекти. Штарк кубылысының улыўма тәрийпи.

### **4 - Тема: Квант оптикасы хәм классикалық емес нурлар, сызықлы емес процесслер**



Квант оптикасының тийкарғы түсиниклери. Квант оптикасы хәм лазер физикасының заманагөй жетискенликлериниң корпускулалық толқын дуализми. Фотон массасы хәм импульсы. Комптон эффекти. Классикалық емес нур хәм оның қолланылыуы. Браун-Твисс тәжирийбеси. Белл теңсизлиги.

## **5 - Тема: Фотоника тийкарлары, фотоникалық кристаллар хәм олардың қәсийетлери, фотон компьютерлар жаратылыў тенденциялары**

Фотоника тийкарлары, фотоникалық кристаллар хәм олардың қәсийетлери. Фемтосекунд узынлығындағы лазер импульсларын генерациялаў. Өз-өзин фокуслаў. Оптикалық транспорантлар. Оптикалық компьютерлерде математикалық әмеллерди орынлаў.

### **ӘМЕЛИЙ ШЫНЫҒЫҰ МАЗМУНЫ**

#### **1-Әмелий шынығыў:**

##### **Спектрал курылмалардың тийкарғы характеристикалары**

Замаманагөй спектрал курылмалардың оптикалық схемалары хәм ислеў принциплери. Түрли атомлардың спектрлерин компьютерде моделлестириў. Сыпат спектрал анализ өткериў техникасын үйрениў хәм көнликпелерди пайда етиў.

#### **2-Әмелий шынығыў:**

##### **Фотонлық кристаллардың оптикалық қәсийетлери**

Бир, еки хәм үш өлшемли фотон кристаллары. Фотон кристаллары қәсийетлерин матрицалар жәрдеминде характерлеў. Периодикалық структуралы орталықларда Фурье оптикасы элементлерин қоллаў.

### **ҚОСПА ШЫНЫҒЫҰ МАЗМУНЫ**

Қоспа шынығыўларда фотоника тараўында Республикамызда алып барылып атырған илим изертлеў жумыслары менен танысыў, усы тараўда излениў алып барып атырған алымлар менен ушырасыўлар шөлкемлестириў хэм имканият көлеминде экспериментал изертлеўлерде қатнасыў нәзерде тутылған.

## **ОҚЫТЫҰ ФОРМАЛАРЫ**

Бул модуль бойынша төмендеги оқытыў формаларынан пайдаланылады:

- лекциялар, әмелий шынығыўлар (Әмелий оптика: спектроскопия, лазер физикасы хэм фотоника тийкарларын өзлестириў, бул тараўдағы билимлерди әмелий қоллаў малакасын ийелеў).

- Әмелий оптика: спектроскопия, лазер физикасы хэм фотоника раўажланыўында физиканың орнын билиў, өзлестирилген билимлерди үзликсиз рәўиште беккемлеп барыў);

- Әмелий тәжирийбелер хэм олардың анализлери (спектроскопия, лазер физикасы хэм фотоникаға тийисли әмелий тәжирийбелер өткериў, нәтийжелерди анализ етиў, физикалық қәсийетлери ҳаққындағы теориялық хэм әмелий билимлерди оқыў хэм илим изертлеўлерде қоллай алыў малакасын ийелеў);

- өзлестирилген билимлерди анализ етиў хэм беккемлеў (лекциялар хэм әмелий шынығыўлар бойынша өзлестирилген билимлерди Әмелий оптика: спектроскопия, лазер физикасы хэм фотоника көз-қарасынан анализ етиў, керекли жағдайларда қосмыша әдебиятлар материаллары менен байытыў, тереңлестириў хэм жәнede беккемлеп барыў көнликпесин ийелеў).

## БАҒАЛАҰ КРИТЕРИЯСЫ

№	Оқыу-тапсырма түрлері	Макси- мал балл	Бағалау критериясы		
			"айрықша" 2,2-2,5	"жақсы" 1,8-2,1	"орта" 1,4-1,7
1.	Тест-сынау тапсырмаларын орынлау	0,5	0,4-0,5	0,34- 0,44	0,28-0,3
2.	Оқыу-проект жұмыстарын орынлау	1	0,9-1	0,73- 0,83	0,56-0,7
3.	Өз бетінше тапсырмаларын орынлау	1	0,9-1	0,73- 0,83	0,56-0,7

## **МОДУЛДИ ОҚЫТЫҰДА ПАЙДАЛАНЫЛАТУҒЫН ИНТРЕАКТИВ БИЛИМ МЕТОДЛАРЫ.**

### **“Түсиниклер анализи” методы**

**Методтың мақсети:** Бул метод студентлер яки қатнасыушыны тема бойынша таяныш түсиниклерди өзлестириу дәрежесин анықлау, өз билимлерин өз бетинше тексериу, бахалау, сокдай-ақ, таза тема бойынша дәслепки билимлер дәрежесин анализ етиу мақсетинде қолланылады.

Методты әмелге асырыу тәртиби:

- қатнасыушылар шынығыу қағыйдалары менен таныстырылады;
- оқыушыларға тема яки бапқа тийисли болган сөзлер, түсиниклер атлары түсирилген тарқатпа материаллар бериледи ( индивидуал яки топар менен);
- оқыушылар бул түсиниклер қандай мәнисти аңлатыуы, қашан, қандай жағдайларда қолланылыуы хаққында жазба мағлыуат береди;
- белгиленген уақыт жуумақланғанда оқытыушы берилген түсиниклердиң тууры толық жуумағын оқып еситтиреди яки слайд арқалы көрсетип береди;
- хәр бир қатнасыушы берилген тууры жууаплар менен өзиниң жеке қатнастарын салыстырады, айырмашылықларды анықлайды хәм өз билим дәрежесин тексерип, бахалайды.

### **“Ассесмент” методы**

**Методтың мақсети:** Бул метод билим алыушылардың билим дәрежесин бахалау, контрол етиу, өзлестириу корсеткиши хәм әмелий көнликпелерди тексериуге бағдарланған. Бул техника арқалы билим алыушылардың билиу дәрежесин түрли бағытлар (тест, әмелий көнликпелер, машқалалы жағдайлар шынығыу, қыялай анализ, симптомларды анықлау) бойынша анализ исленеди хәм бахаланады.

**Методты әмелге асырыу тартиби:**

“Ассесмент” лерден лекция шынығыуларда тыңлаушылардың билим дәрежесин үйрениуде, жаңа мағлыуатларни баян етиуде, семинар, әмелий шынығыуларда болса тема яки мағлыуатларды өзлестириу дәрежесин бахалау, өзин-өзи бахалау мақсетинде индивидуал формада пайдаланыу

усыныс етиледі. Сондай-ақ, оқытушының творчестволық қатнасы хәмде оқыу мақсетлеринен келип шығып, ассесментге қосымша тапсырмаларды киритиу мүмкин.

### **“Инсерт” методи**

**Методтың мақсети:** Бул метод оқыушыларда жаңа ахборотлар системасын қабыл етиу хәм билимлердиң өзлестирилиуин жеңиллестириу мақсетинде қолланылады, сондай-ақ, бул метод оқыушылар ушын ядта сақлау хызмети ұазыйпасын да атқарады.

**Методты әмелге асыруу тәртиби:**

➤ оқытушы шынығыуға жакын теманың тийкарғы түсиниклери мазмуны келтирилген инпут-текстти таркатпа яки презентация көринисинде таярлайды;

➤ жаңа тема әхмийетин көрсетиуши текст билим алыушыларға тарқатылады яки презентация көринисинде таярлайды;

➤ билим алыушылар индивидуал тәризде текст пенен танысып шығып, өз жеке көз қарасларын арнаулы белгилер арқалы сыпатлайды. Текст пенен ислеуде талабалар яки қатнасыушыларға төмендеги махсус белгилерден пайдаланыу усыныс етиледі:

Белгилер	1-текст	2- текст	3- текст
“V” – таныс мағлыұмат.			
“?” – Бул мағлыұматды түсинбедим, түсиндириу керек.			
“+” бу мағлыұмат мен ушын жаңалық			
“– ” бул пикир яки бул мағлыұматға қарсыман?			

Белгиленген уақыт жуымақланғанда, билим алыўшылар ушын таныс емес хәм түиниксиз болған мағлыўматлар оқытыўшы тәрeпинен анализ етилип, олардың әхмийети толық көрсетиледи. Сораўларға жуўап бериледи хәм шынығыў жуўмақланады.

### “Портфолио” методи

“Портфолио” – ( итал. portfolio-портфель, ингл.хүжжетлер ушын папка) билим хәм кәсиплик творчество нәтийжелерин аутентик баҳалаўға хызмет етиўши заманагөй билим технологиялардан есапланады. Портфолио кәнигениң сайлап алынған оқыў-методикалық жумыслары, кәсиплик жетискенликлери жыйындысы сыпатында көрсетиледи. Атап айтқанда талаба яки тыңлаўшылардың модуль бойынша өзлестириў нәтийжесини электрон портфолиоар арқалы тексерийў мүмкин болады. Жоқары билимлендирийў мекемелеринде портфолионың төмендеги түрлери бар:

Хызмет түри	Жумыс формасы	
	Индивидуал	Топар бойынша
Билимли творчество	Талабалар портфолиосы, питкерийўши, докторант, тыңлаўшы портфолиосы хәм басқ.	Талабалар топары, тыңлаўшылар топары портфолиосы хәм басқ.
Педагогикалық творчество	Оқытыўшы портфолиосы, басшы хызметкер портфолиосы	Кафедра, факультет, орай, ЖОО портфолиосы хәм басқ.

## ТЕОРИЯЛЫҚ ШЫНЫҒЫҰ МАТЕРИАЛЛАРЫ

### 1 – ТЕМА. ЗАМАНАҒӨЙ СПЕКТРАЛ ҚУРЫЛМАЛАР, ОЛАРДЫҢ ИСЛЕҰ ПРИНЦИПТЕРИ ХӘМ ТИЙКАРҒЫ ОПТИКАЛЫҚ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРЫ

#### **РЕЖЕ**

*1.1.Спектрал құрылмалардың классификациясы. Тийкарғы  
характеристикалары. Оптикалық схемалары хәм ислеу принциптери.*

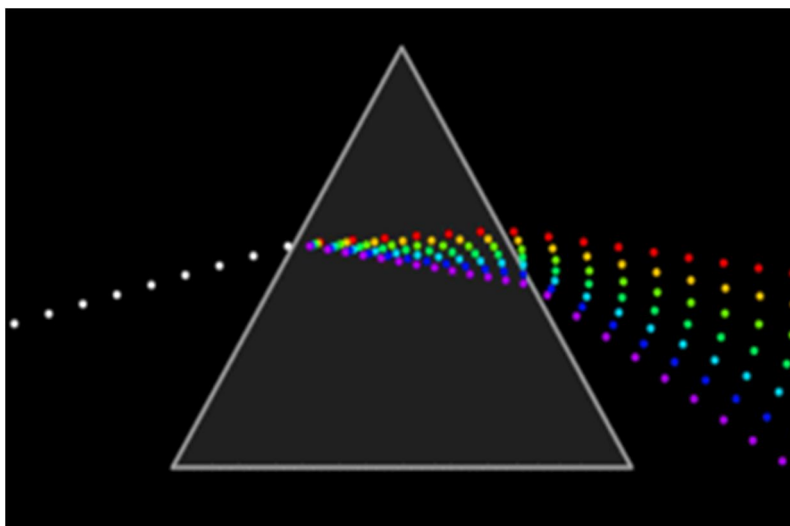
*1.2.Ажырата алыу қәбилиети. Призмалы спектрал құрылмалар.*

*1.3. Призмалы спектрал құрылмалар қәсийеттери.*

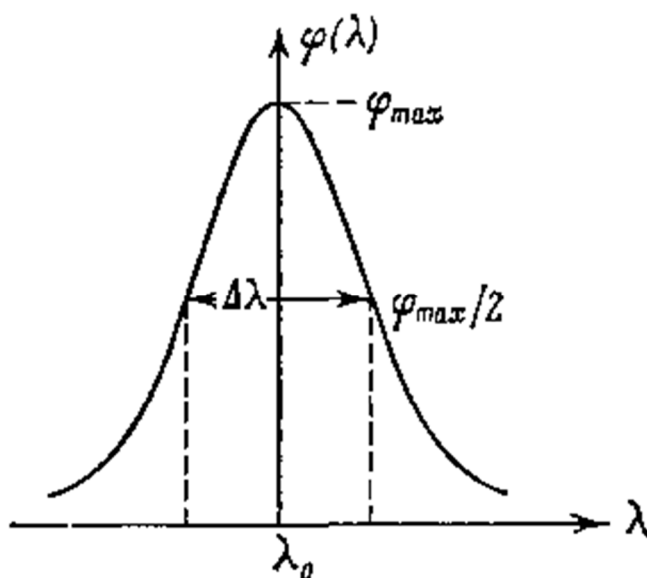
**Таяныш сөзлер:** *Спектрал сызық, дисперсия, кварц призма, ажырата  
алыу қәбилиети, аппарат функция, линза фокус аралық.*

#### **1.1. Спектрал құрылмалардың классификациясы. Тийкарғы характеристикалары. Оптикалық схемалары хәм ислеу принциптери.**

Бизге белгилли инсан орталық хәккындағы мағлыұматтың 80 % тин көриу арқалы қабил етеди. 20 % ти басқа төрт сезиу органлары арқалы қабил етиледи. Усы себепли де инсанның көриу қәбилиети, имкониятлары асырыу ушын мыңлаған түрли қыйлы құрылмалар жаратылды. Әне усы құрылмалардың хәммесин ислеу шығыу хәм қоллау Әмелий оптикаға тийисли ұазыйпа. Бизиң ұазыйпамыз жақтылықтын спектрал анализ етиу техникасын үйрениу.



Спектр өз не? Жақтылық спектри бул жақтылық интенсивлигиниң (энергиясының) жийиликлер (толқын узынлығы) бойынша бөлистирилиўи.



Бул түрдеги байланыс жыллылық нурланыўы ушын билемиз<sup>1</sup>. Жыллылық нурланыўы ушын

$$E_{\nu.T} = \frac{2\pi h\nu}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

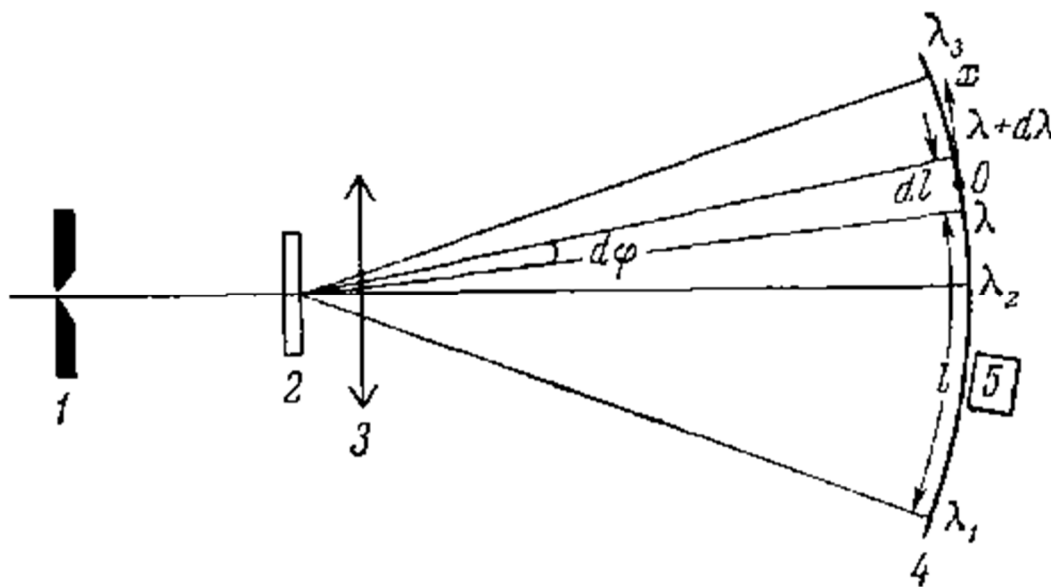
Планк формуласы орынлы болады. Мысал; металл кристалл формасында, металл газ формасында. Денениң жақтылықты жутыўы ондағы атомлардың энергетикалық өтиўлерине байланыслы. Жақтылық спектри сызықлы,

<sup>1</sup> Vittorio Degiorgio, Ilaria Cristian. Photonics. A Short Course. Springer International Publishing Switzerland, 2014

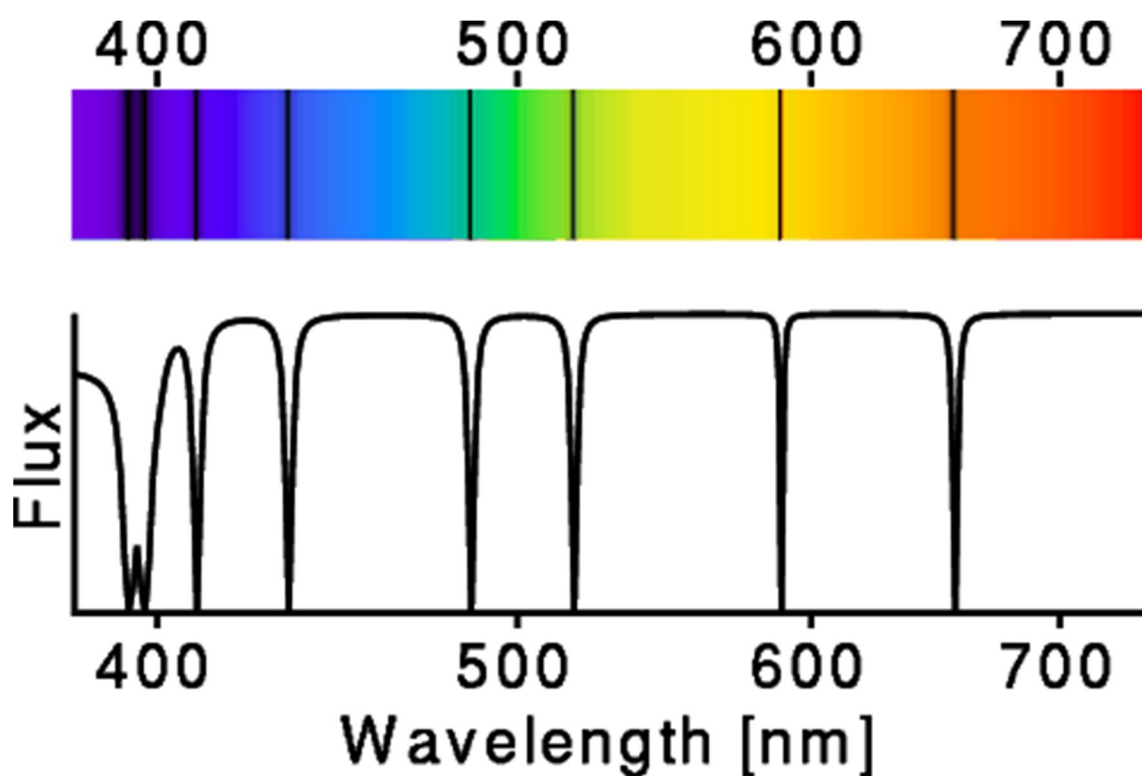


полосалы хәм үзликсиз болыуы мүмкин. Спектр дене атомын дүзилисин тусиндириуде ең тийкарғы курал.

Жақтылықты спектрге жайыу усылының ең әпиұайы халы. Франгоуфер спектрометри. Бул усыл дисперсия кубылысына тийкарланған яғный  $n(\lambda)$ . Сондай денеден жасалған призма спектрометр тийкары болады.



Спектрал құрылмаларды характерлеуши шамалар. 1-тесикше, 2-дисперсия пайда етиуши элемент, 3-линза, 4-фокал тегислик, 5-қабыл еткис



Егерде дисперсиялаушы элементтен соң жиңишке тесикше қойылса, ол халда шығыуда тек ғана бир толқын узынлығыдаги нур шығады. Бул түрдеги қурылманы монохраматор деп атайды. Егерде бир неше тесикше қойылып бир неше толқын узынлығын алсақ ол халда ол полихраматор деп аталады.

Спектрди регистрация кылыу усылларына карай, төмендегише:

Спектроскоп - егерде бақлау визуал болса;

Спектрограф - егерде спектр фотопластикада пайда болса;

Спектрометр - егерде фотоқабыл қылғыш ислетилсе.

Спектрал қурылмалардың базыбир характеристикалары:

Мүйешлик дисперсия

$$D_{\varphi} = \frac{d\varphi}{d\lambda}$$

Сызықлы дисперсия

$$D_l = \frac{dl}{d\lambda}$$

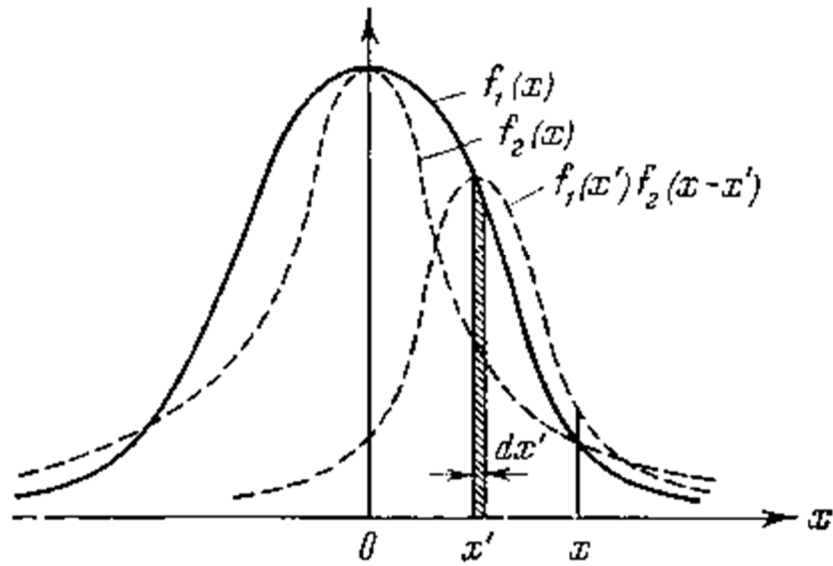
Көпшилик халлатларда кери дисперсия қолланылады

$$\frac{1}{D_l} = \frac{d\lambda}{dl} \left[ \frac{A^\circ}{mm} \right]$$

Идеал қурылмада тесикше сүүрети фокал тегисликде жиңишке сызықлар сыпатында көриниуи керек еди. Лекин реал қурылмада бундай емес. Бир қанша себеплер бойынша сүүретлениу бузылып көринеди. Қурылманың тәсири:

1. Тесикше кеңлиги шекли мәниске ийе.
2. Дифракциялық кубылыслар есабынан сүүретлениудин кеңейиуи.
3. Оптикалық системаның дефектлери.
4. Регистрация қуралы киритетуғын кеңейиу.

Демек спектрал қурылма монохраматикалық жақтылық пайда еткенде бир сызық орнына қандайда контурды регистрация етеди.



Усы контурдан киши бир бөлөктү алсақ

$$\partial\Phi = \Phi f(\lambda) d\lambda$$

Бул жерде  $\Phi$  толқын ағымына сәйкес интеграллық сигнал.  $f(\lambda)$  функция курылманың аппарат функциясы делинеди.

Аппарат функция нормалланған болады

$$\int_0^{\infty} f(\lambda) d\lambda = 1$$

Аппарат функция қандай болыуы мүмкин болған базыбир халларды көрип өтемиз.

1-хал. Тесикше шексиз киши нур монохроматикалық болсын. Ол халда фокал тегисликтеги сүүретлениў тек ғана дифракция менен анықланады.

$$E_{\varphi} = E_0 \frac{\sin^2 \varphi}{n^2} \text{бу ерда } n = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi$$

б-диафрагма өлшеми.

$\varphi$  – орайдан баслап хәр еки тәрәпке саналатуғын мүйеш  $\varphi$  лер киши болғанда  $\varphi \rightarrow$  деп алыў мүмкин.

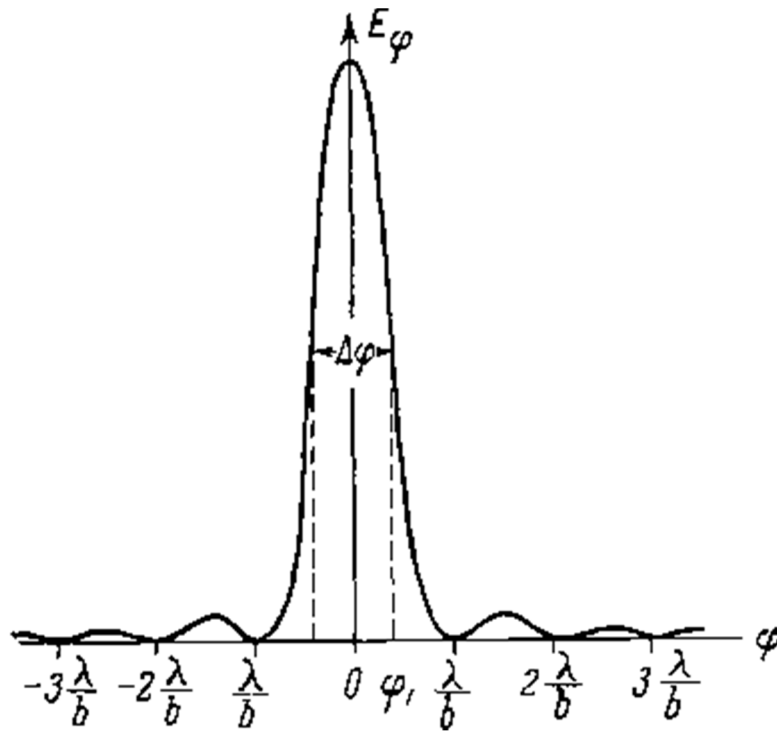
$$f(\varphi) = \frac{E_{\varphi}}{E_0} = \frac{\sin^2 \frac{\pi b}{\lambda} \varphi}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)^2}$$

Бул функцияның көриниси бизге белгили. Бул байланысты  $f_1(x)$  – деп

жазыў мүмкин

$\varphi = \frac{x}{r}$  — линзаның фокус аралығы

$$f_1(x) = \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b x}{\lambda r}\right)}{\left(\frac{\pi b x}{\lambda r}\right)^2}$$



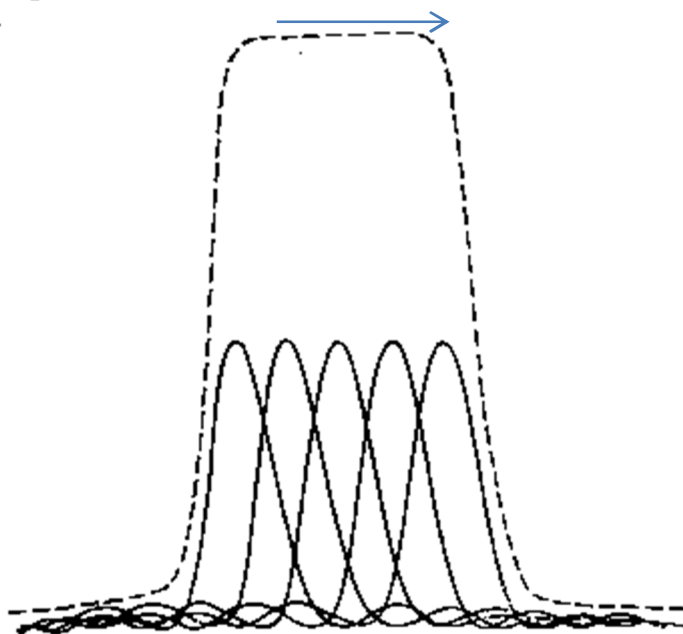
2-хал. Тесикше кең нурланыў монохроматик тесикше нолинши дифракциялық максимумнан бир қанша кең, ол халда дифракцияны есапқа алмаса да болады хәм сүүретлениў бир тегис жарытылған деп есаплаймыз.

$$f_2(x) = \begin{cases} \frac{1}{a_1}, & |x| \leq \frac{a_1}{2} \\ 0, & |x| \geq \frac{a_1}{2} \end{cases} \quad a_1 \text{ — сүүретлениў кеңлиги}$$

Демек жуўмақлап айтканда, басқа тәсирлерди есапқа алмағанда аппарат функция бул системаға монохроматикалық жақтылық түскенде шығыўдағы жарытылғанлық бөлистирилиўин беретуғын функция.

## 1.2 Ажырата алыў кәбилиети. Призмалы спектрал эсбаплар

Тесикше кеңлиги жетерлише үлкен, лекин дисперсия бар, яғный дисперсияны есапқа алыўға туўры келеди. Ол жағдайда тесикшени бир қатар шексиз киши тесикшелерге бөлемиз. Тесикше тегислигин  $X$  координата менен белгилеймиз ол жағдайда элементар тесикше кеңлиги оның координатасы  $y_1$  деп аламыз. Ол жағдайда ҳәр бир элементар тесикше фокал текислигинде дифракциялық сүүретлениў пайда етеди. Пайда болған сүүретлениў максимумлари  $x_1$  точкаға туўры келеди, бул жарытылғанлық (1) көринисиндеги функция менен анықланады. Тек ғана аргументти  $x$  ( $x - x_1$ ) өзгерттириў керек  $y_1(x) f_1(x - x_1)$



Тесикшелер когерент емес. Ол жағдайда улыўма жарытылғанлықты анықлаў ушын  $f_1(x - x_1)$  ди  $-\frac{a_1}{2}$  дан  $\frac{a_1}{2}$  ге шекем интеграллаў керек. Демек

$$F(x) = \int_{-\frac{a_1}{2}}^{\frac{a_1}{2}} f_1(x - x_1) dx_1 = \int_{-\frac{a_1}{2}}^{\frac{a_1}{2}} \frac{\sin^2\left(\frac{\pi(x - x_1)}{\delta l}\right)}{\left(\frac{\pi(x - x_1)}{\delta l}\right)^2} dx_1$$

бул жерде  $\delta l = \frac{\lambda r}{b}$ . Егерде тесикшелар когерент болса ол жағдайда

$$F(x) = \left[ \int_{-\frac{a_1}{2}}^{\frac{a_1}{2}} \frac{\sin\left(\frac{\pi(x - x_1)}{\delta l}\right)}{\left(\frac{\pi(x - x_1)}{\delta l}\right)} dx_1 \right]^2$$

Енди сызыклы кеңейіу кеңейіу 2 та түрлі себеплер есабынан келип шығады деп есаплаймыз. Ол жағдайда

$f_1(x)$  - биринши себеп контуры

$f_2(x)$  - екинши себеп контуры

Жыйынды контурды алыу үшін және интеграллау керек болады. Яғный мысал үшін  $f_1(x)$  –ды майда интегралларға бөлеміз бул элементлер координатасы  $x_1$ , кеңлиги  $dx_1$

Хәр бир  $f_1(x)$ - ды элементи  $f_2(x)$ -дын тәсири нәтийжесинде кеңейеди хәм кенейген контур  $f_2(x)$  менен анықланады, лекин координата  $x_1$  ға жылысады хәм жарытылғанлық  $f_1(x_1)dx_1$ -ға пропорциональ болады. Демек усы элементтиң тәсири улыуа контурға  $x$  нуктадағы тәсири

$$F(x) = f_1(x_1)f_2(x - x_1)dx_1$$

Улыуа контур

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x_1)f_2(x - x_1)dx_1 \quad (2)$$

Шеп тәрәпте турған интеграл свертка деп аталадц. Көпшилик жағдайда  $f_1(x)$  хәм  $f_2(x)$  лар қандайда бир  $x_1 < x < x_2$  аралықда нолден үлкен болады. Ол жағдайда

$$F(x) = \int_{x_1}^{x_2} f_1(x')f_2(x - x')dx$$

дееп жазыу мүмкин.

Сверткада қайсы функция қайсы бирине қосылыуының әхмийети жоқ.

Яғный

$$F(x) = \int_{x_1}^{x_2} f_1(x')f_2(x - x')dx = \int_{x_1}^{x_2} f_1(x - x')f_2(x')dx'$$

Свертканың және бир әхмийетли қәсийети, егерде үш сүүрет болса ол жағдайда

$$F_n(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_3(x - x') \left[ \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x')f_2(x - x')dx' \right] dx''$$

Егерде  $n$  функция тәсир етсе

$$F_n(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_n(x - x')F_{n-1}(x')dx'$$

2- интегралға қайтамыз, бұл интегралда  $F(x)$  хәм  $f_2(x)$  елгили болса  $f_1(x)$  анықлау мүмкин (дәлиллеуісиз). Бундай салыстырыу оптика хәм радиофизикада үлкен орын ийелейди.

Спектрал сызықлар кеңлиги усы ўақытқа шекем идеал жағдайды көрип спектрографға түсип атырған жақтылық монохроматикалық деп есаплап келдик. Лекин ҳақыйқатында хәр қандай спектрал сызық кеңликке ийе хәм ондағы энергия шама менен

$$\varphi(\lambda) = \frac{d\Phi}{d\lambda}$$

Көпшилик жағдайларда  $\varphi(\lambda)$  максимумнан еки тәрәпте асимтотикалық рәуиште нолге умтылады. Соның ушын оның кеңлигин анық айтып болмайды. Усы себепли спектрал сызық кеңлиги деп оны ярым бийикликтеги кеңлиги алынған.

Бул интервал сызық ярым кеңлиги делинеди хәм базы жғдайларда  $\frac{I_{max}}{e}$ -ге қатнасы алынады

Тап сондай спектрал құрылманың аппарат функциясы кеңлиги хәм анықланады.

Мысал: дифракциялық сүүретлениу ушын тууры мүйешли контурда ярым кеңлик

$$\Delta\varphi = 0,88 \frac{\lambda}{b}$$

Ақырғы нәтийжеден

$U(x)$ -сүүретлениу,  $\varphi(x)$ -спектр кеңлиги,  $F(x)$ -аппарат функцияны есапқа алып

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

Деп жзыу мүмкин

Демек спектрограф шығыуындағы сүүретлениуди билсек спектрограф

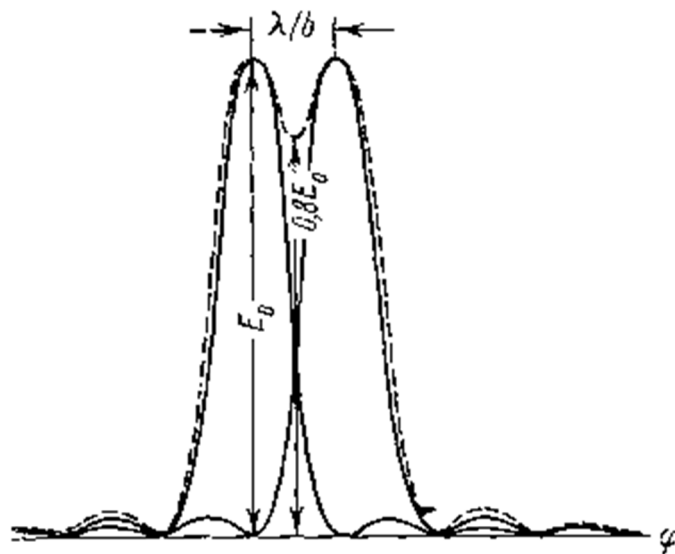
аппарат функциясын анықласақ, ол жағдайда түсіп атырған спектрди анық айтып бере аламыз.

$\varphi(x)$ -ды аналитикалық анықлау барлық уақытта мүмкін емес. Соның үшін интегралламасдан турып айырым жеке жағдайларды көреміз.

1-хал. Спектр кеңлиги аппарат функция кеңлигинен кишкене хэм  $\varphi(x)$  нолден  $[x - \Delta x ; x + \Delta x]$  аралығында айырмашылыққа ийе. Демек

$$U(x) = \int_{x-\Delta x}^{x+\Delta x} F(x')f(x-x')dx'$$

$F(x)$ -дың мәніси  $[x - \Delta x ; x + \Delta x]$  интервалда көп өзгермейди



Усы себепли орташа мәніс теоремасына мууапық функцияны қандайда бир мәніси менен усы аралықта алмастырса болады.  $F(x) = F(\bar{x})$  бул жерде  $\bar{x} \in [x - \Delta x ; x + \Delta x]$  ол жағдайда

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

$$\int_{x-\Delta x}^{x+\Delta x} \varphi(x-x')dx' = 1$$

Демек  $U(x)=F(x)$

Және бир мәрте  $F(x)$  ны берилген интервалда да өзгерисин есапқа алсақ, ол жағдайда

$$U(x)=F(x)$$

Демек шығыу контуры аппарат функция менен сәйкес келеди.



Жуўмақ. Егерде шығыў контуры аппарат функция менен сәйкес туссе, ол жағдайда кириўдеги нурланыўды монохраматикалық деп есапласа болады. Кери процесде орынлы болады. Нурланыўда энергияны толқын узынлықлары бойынша бөлистирилиўин анықлаў ушын (спектрди анықлаў), спектрал қурылманың аппарат функциясы спектр кеңлигинен киши болыўы керек. Әдетде аппарат функция кеңлиги ангестрем яки  $\frac{1}{sm}$  да өлшенеди.

Өлшеў қәтеликлери тәсири, яғный тийкарғы нәтийжеге қайтамыз.

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

Егерде  $F(x)$  белгили болса  $U(x)$  ни ўлчаб алсақ ол жағдайда  $\varphi(x)$  ни қәлеген анықлықда анықлаў мүмкин деген жуўмаққа ийе боламыз, яғный қурылманың сыпаты хеш нәрсени анықламайды.

Бу ерда  $U(x)$  хәм  $F(x)$  ларды анықлаўдағы қәтелик есапқа алынбаған. Қурылманың қәтеликлар киритиўи ушын ажырата алыў қәбилиети менен анықланады. Ажырата алыў қәбилиетин анықлаўдан алдын еки сызықты қайсы халатта ажыралған деймиз. Соны анықлап аламыз. Сызықларды ажралғанын Релий критериясы менен айырыў қулай болады. Релий критериясы: ең киши ажырата алыўы мүмкин болған интервал деп усы контурдағы бас максимум хәм биринши минимум арасындағы аралыққа айтамыз.

Егерде бириншиниң минимума екиншисиниң максимумына сәйкес келсе, еки монохраматик бирдей жаркынлықтағы сызықлар ажралған болады.

Бул контурлар сызықлары кесилискен орны  $\varphi = \frac{b}{2\lambda}$  усы мәнисти

$$\frac{E_{\varphi}}{E_0} = \frac{\sin^2 \frac{\pi b}{\lambda} \varphi}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)^2} = \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} = 0,4$$

Ол жағдайда жарытылғанлық 0,8 жарытылғанлық береді. Демек жарытылғанлықтағы чтереңлик максимумнан 20 % ти қурайды. Бул айырмашылықты көзимиз көре алады. Усы себепли еки сызық  $\delta\varphi = \frac{\lambda}{b}$  аралықда жайласқан болса, ол жағдайда олар өз алдына көринеди. Енди

мүйеш мүйеш дисперсиясының формуласы төмсендегише

$$\rightarrow D_{\varphi} = \frac{d\varphi}{d\lambda} d\lambda = \frac{d\varphi}{D_{\varphi}} \delta\lambda = \frac{\lambda}{bD_{\varphi}}$$

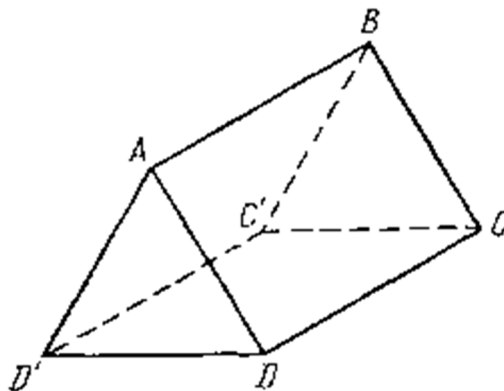
Ең киши ажыралатуғынн интервал, яғный қурылманың ажыралыуы шегерасы. Пайдаланыуға басқа шама қулайлы болады.

$R = \frac{\lambda}{\delta l} = bD_{\varphi}$  Релий критериясы бойынша ажырата алыу күши, яки теориялық ажырата алыу күши.

Мысал: Мейли еки бир-бирине жақын сызык жарқынлықлары 10:1 қатнаста қатнаста хәм олар арасындағы арасындағы аралық  $\frac{\lambda}{b}$  болсын, ол жағдайда оларды ажыратып болмайды.

Демек Релий критериясы еки сызык ажыралыуы хәкқында анық пикир жүритпейди, тек ғана қурылмаларды салыстырыуға жүдә қолай критерия болып табылады.

Призмалы спектрал қурылмалар спектрларды үйрениудеги биринши қурылма. Спектрал призма бул мөлдир материалдан таярланған, үлкен дисперсияға ийе болған көп тәрәпли дене ( $\frac{dn}{d\lambda}$ -дисперсия). Призма жасалатуғын материалға бир қатар талаптар қойылады.

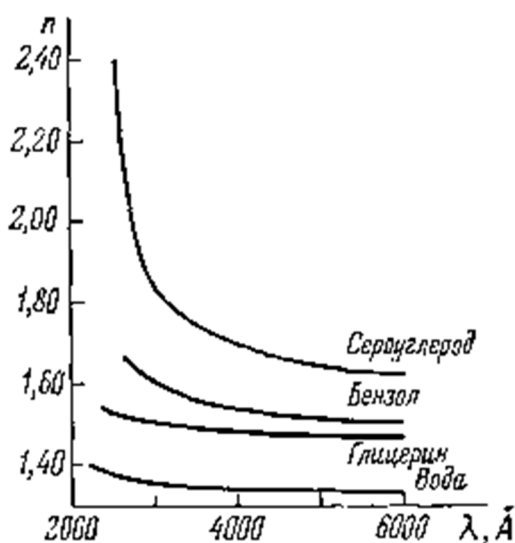


Материал изертлеу өткерилетуғын толқын узынлықларында мөлдир хәм жоқары дисперсияға ийе болыу,  $\frac{dn}{d\lambda}$  және ол оптикалық тәрәптен бир текли хәм изотроп болыуы, қалаберсе оған жеңил ислеу берилиуи хәм ол арзан

болыуы керек.

Табийий кварц  $2000 \div 4000 \text{ \AA}$  арасында жақсы дисперсияға ийе. Лекин  $4000 \text{ \AA}$  қыйын дисперсия тез кемедейди. Еритилген кварц да усыған уқсас, лекин дисперсияси киши, өзи арзанырақ. Тәбиятта үлкен кварц кристаллары аз ушырайды, соның менен ол қымбат турады.

Шийше:  $5000 \div 7000 \text{ \AA}$  орасында дисперсиясы жақсы “(кварцда да)  
Өткеріу спектри



Кварцда: өткеріу қәбилиети  $2500 \text{ \AA}$  дан баслап бирге жақын  
базыбир табийий кристаллар  $2000 \text{ \AA}$  да жақсы өткеріуі мүмкин.

Шийше:  $\sim 4200 \text{ \AA}$  лерден баслап өткеріуі бирге жақын.

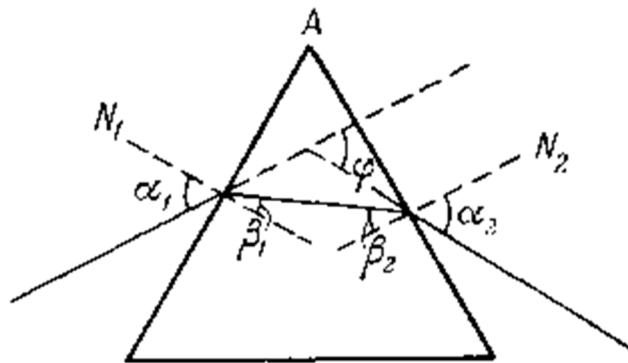
Жуўмақ: Ультрафиолет бөлекте  $2000 \text{ \AA}$  үлкен толқынларда табийий  
кварцтың өз алдына үлгилери ислеуі мүмкин.  $2500 \text{ \AA}$  узын толқынларда  
кварц призмалар ислетиуге қолай.  $4200 \text{ \AA}$  лардан баслап шийше призмалар  
қулай болады.

Өлшемлери:

Призмалар әдетте 10 см ден киши болады. Оннан үлкен призма ислеп  
шығыу қыйын хәм қымбат болады. Кең деталлар менен ислеу керек  
болғанда, призма формасындағы ыдысқа дисперсиясы үлкен суйықлық  
салынады. Базыбир халатларда болса бир қанша призмаларды биргеликте  
ислетеди. (қурамалы призмалар)

### 1.3. Призмалы спектрал қурылмалардың қасиеттері

Мейли  $n$  хәм  $\frac{dn}{d\lambda}$  призманың пүткил көлеми бойынша бирдей болсын. Призмаға түсип атырған барлық нурлардың траекториясын анықлау қыйын болады. Соның ушын эпийайыластырылған халат болған тийкарғы кесимде жатыушы нурларды көрип өтемиз.



Тийкарғы кесимде нурлардын сыныуы

$$\begin{cases} \varphi = \alpha_1 + \alpha_2(\beta_1 - \beta_2) \\ A = \beta_1 + \beta_2 \\ \sin \alpha_1 = n \sin \beta_1 \\ \sin \alpha_2 = n \sin \beta_2 \end{cases}$$

Көпшилик халатларда  $A$ ,  $n$ ,  $\alpha$  лерди алдындан анықлау мүмкин. Қалганларын жоқарыдағы спектрден аниқласа болады.

#### Призманы характерлеуши шамалар

1. Шегералық мүйеш. Шегералық мүйешти анықлау ушын  $\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ$  ( $\sin \alpha_1 = \sin \alpha_2 = 1$ ) ол халатта  $\beta_1 = \beta_2 = \arcsin \frac{1}{n} A_{max} = 2 \arcsin \frac{1}{n}$ . Егерде  $A > A_{max}$  болса, ол жағдайда призмаға түскен қәлеген нур екінши

сындырыушы тәрәпкә толық ишки қайтыу мүйешинен үлкен мүйешке түседі хәм призма тийкарынан шығады.

Егерде  $n = 1,5 \div 1,8$  арасында болса, ол жағдайда  $A_{max} = 84^\circ \div 64^\circ$  болады. Көп халатларта  $A \approx 60^\circ$  алынады.

2. Ең үлкен аўысыу мүйеши және сол теңлемелер системасынан анықлау мүмкин  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_0$  болғанда  $\varphi = \varphi_{min}$ . Бул жағдайда түсиуши хәм шыгыушы нурлар призмаға салыстырғанда симметриялы болады хәм призма ишинде тийкарына параллел болады.

Онын мәнисин анықлау ушын

$A = 60^\circ$ ,  $n = 1,6$  деп аламыз, онда

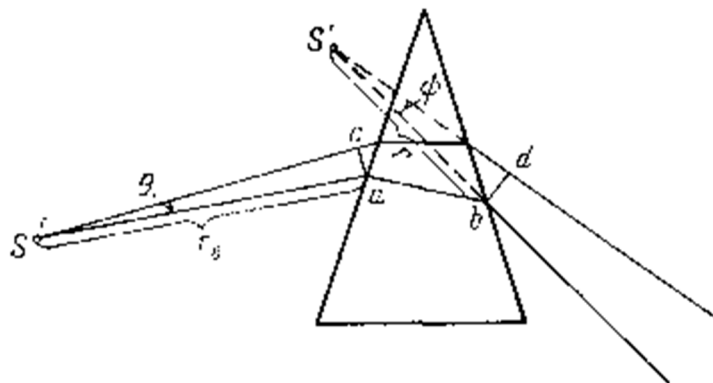
$$\alpha_0 = n \sin \frac{A}{2} = \sin \frac{A+\varphi}{2} \text{ бу ерда } \varphi_{min} \approx 46^\circ$$

3. Призманын мүйешти үлкейттириуи.

Бир яки еки шамаларда призмаға бир нур түсип атырыпты деп қарайық. Жақыйқатында да призмаға гатоцентриқ нурлар дәстеси түседі.

Мүйеш күшейттириуи деп  $\omega = \frac{\psi}{\theta} = \frac{b}{d}$

$b$  хәм  $d$ - лер түсиуши хәм чиқувчи дәсте кесимлери. Призманың мүйеш үлкейттириуи сан тәрәпинен толық фронтының призмадан өтгенде қысылыуына тең.



Параллел дәстелер де қысылыуы хәм кеңейиуи мүмкин.

Қурылманың мүйеш дисперсиясы  $D_\varphi =$  буны анықлау ушын және сол тийкарғы теңлемелер системасын дифференциаллау керек болады хәм  $\frac{d\alpha_1}{d\lambda} = 0$

түсіу мүйеши турақлы деп есапласақ, ол жағдайда призманы ең үлкен аўысыу мүйешинде орнатылған деп дисперсия ушын аламыз.

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = 2 \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} \frac{dn}{d\lambda} = \frac{2 \sin \frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \frac{A}{2}}} \frac{dn}{d\lambda}$$

Базыбир белгилеулер киритип сол сүүретлениуден

$$\sin \beta = \frac{1}{2} \frac{T}{a} \cos \beta = \frac{b}{a}$$

Демек

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{T}{a} \frac{dn}{d\lambda} \quad (1)$$

А-мүйешин  $60^\circ$  деп алсақ  $\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{2}{\sqrt{4-n^2}} \frac{dn}{d\lambda}$

Көп ҳалларда призмалар ең аз аўысыу мүйешине қойылады ҳәм оларды сыныу мүйеши  $A=60^\circ$  болады. Бул екиа формула да базыбир әпиуайыластырылған есабынан алынған болса да жақсы нәтийжелер береді.

Егерде бизде призмалар системаси берілген болса, ол жағдайда

$$\frac{d\varphi_{um}}{d\lambda} = \frac{d\varphi_1}{d\lambda} + \frac{d\varphi_2}{d\lambda}$$

Егерде призмалар ең аз аўысыу халатында болса, яғный жоқарыдағы шәрт орынланбаса

$$\frac{d\varphi_{um}}{d\lambda} = \omega_2 \frac{d\varphi_1}{d\lambda} + \frac{d\varphi_2}{d\lambda}$$

Егерде бизде үлкен призма берілген болса, ол жағдайда

$$\frac{d\varphi_{um}}{d\lambda} = \frac{d\varphi_{k-1}}{d\lambda} \omega_k + \frac{d\varphi_k}{d\lambda}$$

Егерде сыныу мүйешлери қарама-карсы тәрепке қараса, ол жағдайда жыйынды белги минус деп алынады.

Ажырата алыу қәбилиети  $R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = bD_\varphi$

Лекин ҳақыйқый ажырата алыу қәбилиети бул мәнистен бир қанша аз болады.

Себеби бул мәнис геометрикалық оптика жақынласыуда алынған ҳәм онда

призма тәреплеріндегі дифракция есапқа алынбаған. Дифракцияны есапқа алыу ең аз ауысыу жағдайы орынланады хәм төмендегіше анықланады.

$$R = (t_1 - t_2) \frac{dn}{d\lambda}$$

Егерде дәсте призманы толық қапласа, ол жағдайда  $R = T \frac{dn}{d\lambda} bD_\varphi > T \frac{dn}{d\lambda}$

Соның ушын  $P = bD_\varphi$  теориялық ажырата алыу қәбилиети делинеди. Шийше хәм кварц призмалардың ең тийкарғы кемшиликлериниң бири дисперсияның мәниси. Толқын узынлығы артыуы менен кемедейди.

Мысал: ТФ-5 типіндегі шийше ушын спектрдің хауа рең бөлеги ушын  $\frac{dn}{d\lambda} = 3200 \text{ см}^{-1}$ , қызыл бөлеги ушын  $\frac{dn}{d\lambda} = 1170 \text{ см}^{-1}$ . Ол жағдайда базасы 5 см болған призма ушын  $P=5000$ , хауа рең ушын  $P=15000$ .

Демек спектрди қурылып атырған диапазонға қаратып дүзетиу киритиу керек.

Алынған нәтийжелерден пайдаланып бизди қызықтырған сызықларды ажырата алыу ушын қандай призма кереклигин анықлау мүмкин.

Мысал: натрийдің  $6000 \text{ \AA}^\circ$  -дағы дуплет сызықлары арасында аралық  $6 \text{ \AA}^\circ$ .

Демек ажратыу ушын  $R = \frac{6000}{6} = 1000$  қызыл диапазонын есапқа алыу керек.

$\frac{dn}{d\lambda} = 1170 \text{ см}^{-1}$   $R = T \frac{dn}{d\lambda}$   $T \approx 1 \text{ см}$ . Егерде водород изотопы дуплетин алсақ ол да  $6000 \text{ \AA}^\circ$  жақын арасы  $2 \text{ \AA}^\circ$   $P=3000$  хәм  $T=3 \text{ см}$ . Ажырата алыу қәбилиетин асырыу ушын  $k$  - та призмадан дүзилген дүзилген система ислетиу мүмкин. Бул жағдайда  $R_{um} = \sum_{i=1}^k R_k$  болады.

Ажырата алыу қәбилиетине түрли факторлар кері тәсир қылыу мүмкин: жутылыу, призма ислеп шығарыудағы дефектлер қайтарыу бул  $\delta_0$  Соның ушын да  $R_{real} \ll R_{reley}$ . Призмалардың түрли характеристикаларын жақсылау ушын призмалардың түрли формадағы түрли избе-излиги ислетиледи. Мысалы: Резерфорд призмасы, Амичи призмасы, Аббе призмасы хәм басқалар.

## Қадағалау үшін сораулар

1. Жақтылық дереклерінің спектрлері спектроскопиясында тийкарынан неше ұазыйпа орынланады?
2. Призманы характерлеуши шамаларға нелер киреди?
3. Геометриялық оптикада жақтылықтың оптикалық қәсийетлерин түсиндириуде қандай сыпатлау ұсыллары пайдаланылады?

## Пайдаланылған әдебиятлар

1. David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Physics. Published by John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey.
2. Б. Салех, М. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер с англ. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2012
3. <http://www.photonics.com>
4. [www.optics.arizona.edu](http://www.optics.arizona.edu)Research
5. Specialties [www.manchester.ac.uk](http://www.manchester.ac.uk)



## 2 - ТЕМА: ОПТИКАЛЫҚ НУРЛАНЫҰЛАР, ОЛАРДЫ РЕГИСТРАЦИЯЛАҰ УСЫЛЛАРЫ, ЭЛЕКТРОМАГНИТЛИК ТОЛҚЫНЛАРДЫ ОРТАЛЫҚЛАРДЫҢ АТОМ ХӘМ МОЛЕКУЛАЛАРЫ МЕНЕН ӨЗ-АРА ТӘСІРЛЕСІҰИ

### **РЕЖЕ**

*1.1. Нурланыұ дереклериниң тўрлери. Оптикалық изертлеўлерде нурланыұ дереклерине қойылатуғын талаплар.*

*1.2. Оптикалық квант генераторлары. Сызықлы (ўзликли) хәм ўзликсиз спектрлар тарқатыўшы жақтылық дереклери.*

*1.3. Оптикалық нурланыұды регистрациялаўшы қурылмалар.*

**Таяныш сўзлер:** *Интенсивликтиң спектрал бөлистирилиўи бөлистирилиўи, ўзликсиз спектр, сызықлы спектр, монохроматикалық нурланыұ, лазер, фотоэлектронлық күшейткиш.*

### **1.1. Нурланыұ дереклериниң тўрлери. Оптикалық изертлеўлерде нурланыұ дереклерине қойылатуғын талаплар.**

Жақтылық дереклериниң спектрлеринде спектроскопияда тийкарынан еки ўазыйпа орынланады.

1) Дерек спектроскопиялық изертлеў обекти ўазыйпасын орынлайды.

2) Жақтылық дереги кандайда бир объект хаққында спектраскопиялық мағлыұмат алынады.

Биринши халатта жақтылық дереги шығарып атырган нурланыұ дереги хаққында мағлыұмат алып келеди. Бул халатта спектроскопиялық анализ усыллариы дерек халатына хеш кандай тәсир көрсетпейди. Екинши халатта жақтылық дереги жәрдеминде тексеріў обектине хеш кандай тәсир көрсетпейди.

Екинши халатта жақтылық дереги жәрдемінде тексеріу обектине хеш кандай тәсир көрсетиледи хәм нәтийжеде пайда болған нурланыу бакланады.(Мысал фотолюмениценция жутыу спектри хәм т.б.)

Биринши халатта деректе хәр кандай сүүретлениу алмаймыз, яғный деректиң спектри яки оның жарқырауын өзгерттире алмаймыз.

Екинши халатта биз деректиң характеристикаларын өзимизге қолай етип таңлауымыз мүмкин.

Жақтылық дереги тәсир куралы сыпатында ислетилгенинде оның тийкарынан еки характеристикасына итибар бериледи.

1.Жақтылық дереги кууатлығы хәм оны (кууатлығын) уақытқа интенсивликтің байланыслығы.

2.Спектрал бөлистириуи хәм оның уақыт бойынша өзгериуи.

Дерек турақлы делинеди. Егерде нурланыу кууатлығы уақыт бойынша өзгермесе. Бул характеристиканың көрсеткиши сыпатында (стабиллик көрсеткиши)

$M = \sqrt{\frac{\Delta B^2}{B^2}}$  -шама алынады. Бул жерде B- жақтылық

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

$$I = \frac{\varphi}{\omega}; \left[ \frac{\text{vatt}}{\text{m}^2 \text{fer}} \right] \text{ -жақтылық күши}$$

S- деректиң майданы,  $\varphi$ -бетине өткерилген нормал менен бақлау арасындағы мүйеш  $\Phi = \frac{w}{t}$  -жақтылық ағымы w-нурланыу энергиясы.

Идеал стабилленген нурланыу дерегинде  $M=0$  болады. Көпшилик жағдайларда 3÷5% ауысыу спектрал интинсивликлерди анықлау қәтелигине тәсир көрсетпейди. Базыбир жағдайларда объектге қысқа уақыт тәсир өткерип, оның реакциясы бакланады. Ол жағдайда нурланыу импульс көринисинде болыуы керек. Ол халатта стабил дерекден келип атырған жақтылық модулиятцияланады, яки газлардан ток импульсин өткерип разряд алынады. Механикалық модулятцияларда алынатуғын импульсларда

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

Пезоэлектрик дефпекторда  $10^{-6} \div 10^{-7}$  ға шекем алыў мүмкин. Лазерлерде денелер фазасын синхронластырылып  $10^{-13} \div 10^{-14}$  сек алыў мүмкин.

## 2.Спектрал характеристикалар.

Дереклер спектрлери бойынша шәртли рәуиште 3 топарға бөлинеди.

1. Үзликсиз спектрли
2. Полосалы спектрли
3. Сызықлы спектрли

1-ши түрдеги әдетте **чўғланиш** лампалары ислетиледи. Кирхгоф нызамы бойынша нурланыў кәбилиетине катнасы ўақыт хәм толқын узынлығына байланыслы универсал функция төмендегише

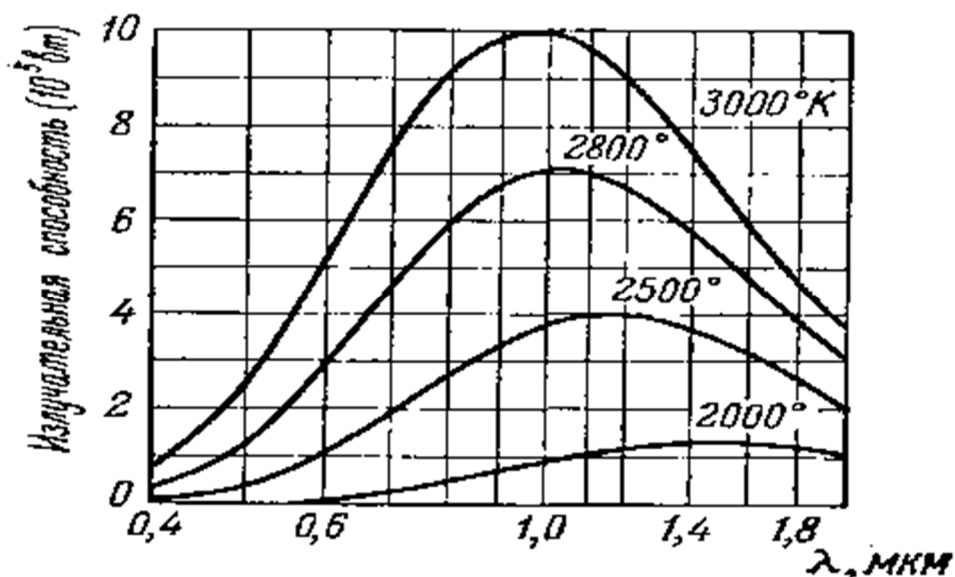
$\frac{\varepsilon_{\lambda t}}{a_{\lambda t}} = r(\lambda, t)$  Кирхгоф универсал функциясы деп аталады. Барлық жийиликлердеги нурланыў  $P_{T=0} = \int_0^{+\infty} r(\lambda, t) - \text{энергетикалық нурланыў,}$

$P = \sigma T^4$  Стефан Больцман нызамы, бунда  $\sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{\text{ват}}{\text{м}^2 \text{к}^4}$ .

Винниң жылжыў нызамы  $\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$   $b = 2.9 * 10^{-3} \text{м.к.}$

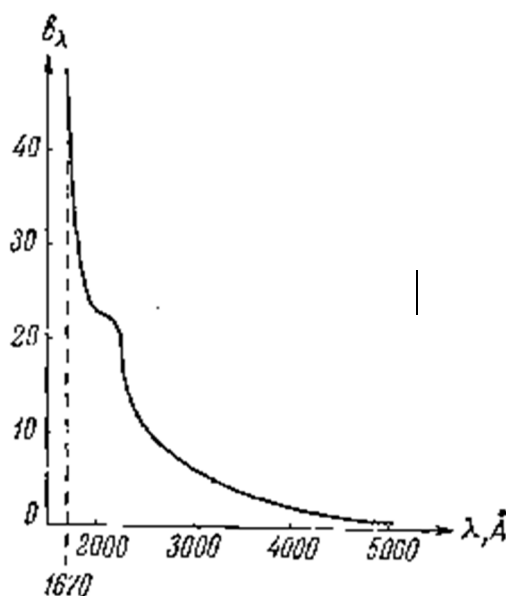
1-ши формула  $r(\lambda, t)$   $r_{\nu, \lambda} = \frac{2_{\text{нкт}}}{c^2} \nu^2$  Релей-Джинс формуласы

$r_{\nu, \lambda} = \frac{2_{\text{нх}}}{c^2} \nu^3 * \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$  Планк формуласы



Кемшилиги ультрафиолет областьта нурланыў интинсивлиги аз болады.

Водород лампы бл кемшиликти толтырады. Толқын узынлығы 5000-ден  $1650\text{Å}$  ге шекем аралықта үзликсиз спектрге ийе. Водород жоқары басымда



Жоқары басымға ийе болған басқа газлардағы разряд есабынан ультрафиолет областьта нурланыў алыў мүмкин. (Мысалы –жоқары басымлы инерт газлар менен толдырылған лампалар) .

Импульсли нурланыў алыў ушын импульсли үлкен электр тоги инерт газларден өткериледи.

## 2.2 Оптикалық квант генераторлары. Сызықты (үзликли) хәм үзликсиз спектрлер тарқатыўшы жақтылық дереклери.

Сызықты спектр алыў ушын көпшилик халатларда төмен басымлы газларда яки метан парларынан электр тоги өткериледи (газлардағы электр разряды).

Ең аз алыныўы мүмкин болған сызық кеңлиги бул тәбийий кеңлик пенен анықланады.

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

Көриў диапазонында  $\Delta t \approx 10^{-8}$  сек ўақытта толқын узынлығы  $\Delta \lambda = 10^{-4} \text{Å}$  ға тең.

Сызық кеңлиги бөлекшелер арасындағы соқлығысыўы есабынан артыўы мүмкин (жоқары басым). Соқлығысыўдағы тәсир бир текли болмаған, стационар емес Штарк эффекти менен тусиндириледи.

Басым 1-атм болғанда кеңейиў тийкарынан Штарк эффекти есабынан болады.

Төмен басымда  $\approx 10$  мм.сын. бағ. кеңейиўине тийкарғы себеп бул Доплер эффекти болады.

Лазерлар хәзирги күнде спектроскопияда ең тийкарғы жарытқышқа айланды.

Лазер спектроскопиясы пәни классикалық спектроскопиядан қолланылыўы бойынша айрылып кетти.

Лазерларни спектроскопия ушын әҳмийетли қәсийетлери:

**1. Спектрал тығызлықтың үлкенлиги.** Лазерлар нурланыўының спектрал тығызлығы әпиўайы нурландырғышларды спектрал тығызлығынан бир неше тәртип жоқары болыўы мүмкин. Бул қәсийети лазерларда иске

түсіргенде шаўқымларды кемейттириўге имкан береді. Және үлкен спектрал тығызлық көп фотонлы қәсийетлерин бақлаўға имкан береді.

## ***2. Лазер нурларының мүйеш кеңейиўи кемшилиги.***

3. Мысал ушын жутылыў болғанда узын орталықты тексерип жутылыўды үйрениў мүмкин.

## ***4. Спектрал кеңликтиниң кишилиги.***

Бул ҳалат жоқары ажырата алыў қәбилиетини әмелге асырыўда қолай келеді.

## ***5. Жийиликти өзгерттириў имканияты.***

## ***6. Субмикросекунд импульслар генерациялаў имканияты***

Комбинациялық шашыраўда лазерлар үлкен әҳмийетке ийе.

Лазерларды актив дене дүзилісине қарап шәртли тәризде 3 топарға ажыратса болады.

1. Газ лазерлары
2. Қатты денели лазерлар
3. Ярымөткізгішли лазерлар.

1. Газ лазерларының ең көп қолланылатуғыны He-Ne лазер болып, оның нурланыўы өте тар диапазонда ислейди, резанаторлар арасындағы аралық үлкенлиги есабынан.

$\lambda = 0.63 \mu\text{m}$   $\text{CO}_2$  –  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$  интенсиивлиги үлкен болмайди, газ болғани ушын.

2. Қатты денели лазерларға мысал етип  $4\text{Ae}_5\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$  итрий алюминий гранат допированный неодимый лазерин алыўға болады.

Спектри газ лазерларына қарағанда кеңирек. Бул лазерлар менен үлкен интенсиивлик алыў мүмкин. Усы түрдеги лазерларда субпемтасекундли импульслар алынады. Тез өтиўши процессларди үйрениўде қолай келеді.

Ярымөткізгішли лазерлар. Спектрал диапазоны қатты денелердикинен де кең. Мүйеш жайылыуы кең. П.Ж.К-ти үлкен 20÷ 25% кетеді. Спектропияда көп ислетилмейді, лекин қатты денели лазерларды қууатлауда жақсы имкан береді.

Жуумақ: Нурландырғышлар көп керегин таңлап алыу керек.

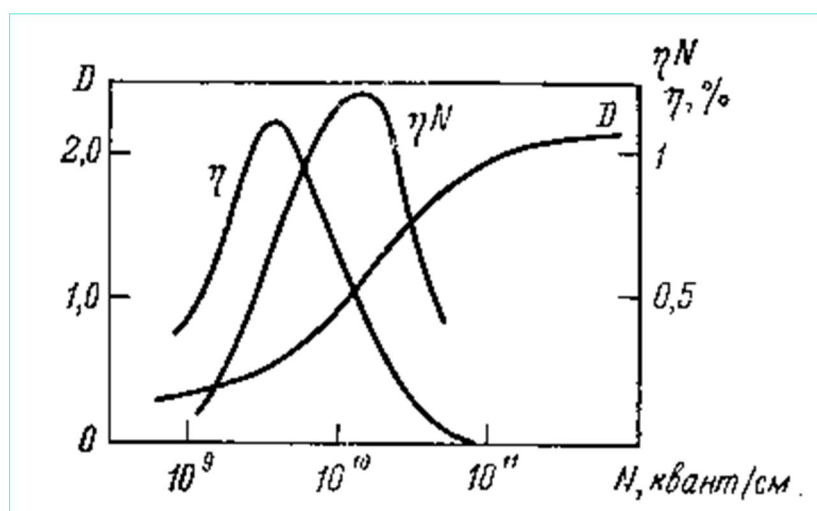
### 2.3. Оптикалық нурлануларды регистрациялаушы құрылмалар.

Барлық жақтылықты **регистрациялау** дереклерин бир неше топарға бөлиу мүмкин. Ең биринши қабыл қылғыш құрылмасы да өзиниң әхмийетлигин жоғалтпады.

#### 1. Визуал методлар.

Қабыл қылғыш сыпатында инсанның көзи хызмет етеді. Көз жәрдемінде майданларды салыстыруу мүмкин. Яғный стандарт хәм үйренип атырған интинсивликти айырууда хәм салыстырууда ~4-5% болады.

Спектрал ажыратууы яғный еки бир-бирине жақын сызықларды ажырата алыу қәбилиети ~20%. Демек еки сызық арасында  $20\text{Å}^0$  айырмашылық болса ажыратуу мүмкин.



Фотографикалық методлар. Пластинкаға (яки пленка) фотосезгіш қатлам сүртиледі. Фотопластинка қарайыуына қарап түскен жақтылық муғдары анықланады. Қарайыу дәрежеси төмендегише анықланады.

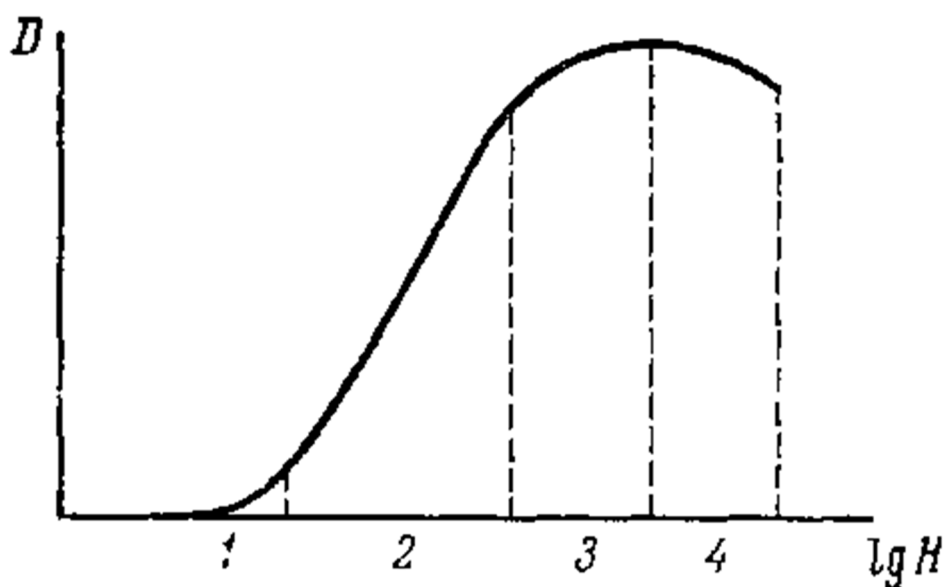
$D = \lg \frac{\Phi_0}{\Phi}$  бул жерде  $\Phi_0$ -қараймаған орыннан жақтылық агымы.

$\Phi$ -қарайған жерден өткени.

Қарайыу дәрежесі ең дәслепки экспозицияға байланысly  $D = E * t$

$E$ -жарытылғанлық  $t$ -ұақыт.

Бирақ ол және жарытылыу характерли, плёнканы қайта ислеуге байланысly хэм және қарайыу дәрежесі өлшеуусылына.



1- Аз жақтыртылған интервал.

2-нормал экспозиция.

3-Көп жақтыртылған область.

4-соляризация областы.

Сезгишлик, оны характерлеу бир қанша құрамалы. Соның ушын түрли ГОСТ лар бар. Яғный эквивалент квант шығыуы түсиниги киритиледи.

Мейли бизде сондай қатлам бар болсын, ол хәр бир фотонды сезетуғын болсын, онда эквивалент квант шығыуы  $\eta = \frac{N_{id}}{N_{tush}}$ . Көби менен  $\eta = 0.01$  тең, яғный сезгирлиги бир қанша аз.

### **Вакуумли фотоэлементлер.**



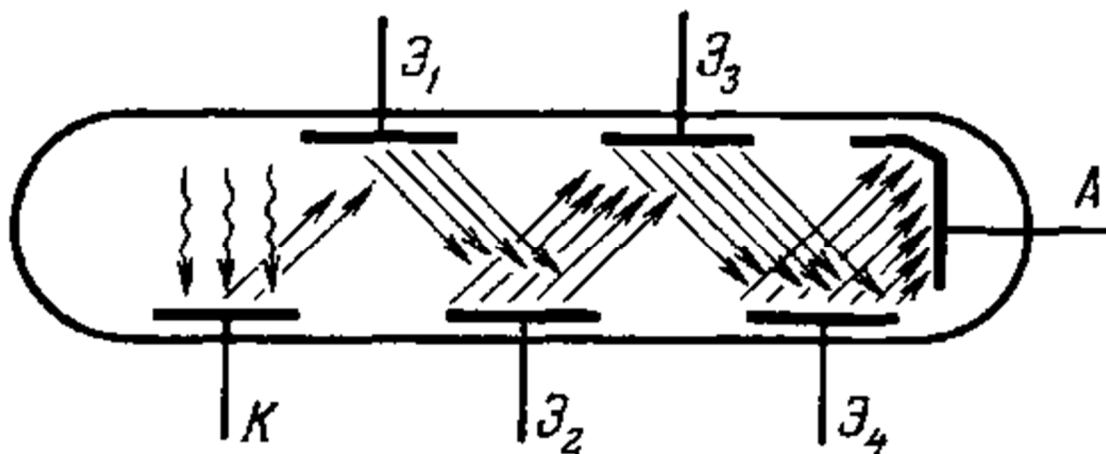
Әдетте шийше колба бир бөлегине фотоэфффект кубылысына ийе катлам сүртиледі, қызыл шегера  $\lambda_0 = \frac{hc}{e\phi} = \frac{1236}{\phi} \text{Å}$   $\phi$  – эВ\*В-дағы шығыу жұмысы.

### Спектрал сезгирлик

Түрли фотокатодлар ушын түрлише, ярым бийикликте спектрал сезгирлик  $200 \div 400 \text{Å}^0$  [м/вт] этирапында болады. Кемшилиги – меншикли шаўқымы үлкен, усы себепли, киши жартылғанлықты сезбейди. ИК диапазонында көп халатларда интеграл жартылғанлық өлшенеди, оонда балометрлар ислетиледи. УФ областта ислеу ушын газ менен толтырылган фотоэлементге үлкен кернеу бериледи хәм газда ионизация пайда етиледи, нәтийжеде ток күшейеди. Гейгер сётчиклерине уксас қурылмалар жәрдемінде төмен фотонлар ағымы өлшенеди, олар фотонлар ағымы  $10 \div 100$  та/сек болғанда ислейди.

Фотоэлектронлық күшейткишлер күшсиз сигналларды қабыл етиуде ислетиледи. Олардың ислеуи екилемши эмиссиясы қәсийетине тийкарланған.

Күшейткиш коэффициенти  $10^6 \div 10^8$   $k \approx (\alpha\sigma)^4$   $\alpha$ -кеңлиги эмиттирге етип барған фототоклар саны  $\sigma$ -урып шығарылған электронды түскен электронлара қатнасы.



## Қадағалау үшін сораулар

1. Лазерларды актив дене дүзилисине қарап шәртли тәризде неше топарға ажыратыуға болады хәм қандай?
2. Линзанын оптикалык куши дегенимиз не?
3. Көздиң көриу мүйеши дегенимиз не?

## Пайдаланылған әдебиятлар

1. David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Physics. Published by John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey.
2. Б. Салех, М. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер с англ. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2012.
3. W. Lucke. Introduction to Photonics. Draft. Technical University of Clausthal. 2005
4. [www.manchester.ac.uk](http://www.manchester.ac.uk).

### 3 - ТЕМА: НАНОСТРУКТУРАЛАР СПЕКТРОСКОПИЯСЫ ТИЙКАРЛАРЫ

#### **РЕЖЕ**

3.1. *Наноструктураларда жақтылық жутылыуы хәм шашырауының өзине тән қасиетлери.*

3.2. *Нанобөлекшелер спектроскопиясы.*

**Таяныш сөзлер:** *Нанобөлекшелер, дисперсия орталығы, коллоид еритпеси, дисперсиялық дузилс, метал перделер, оптикалық қасиетлер, резонанстық жутылыуы*

#### **3.1 Наноструктураларда жақтылықтың жутылыуы хәм шашырауының өзине тән қасиетлери.**

Нанобөлекшелер де жақтылықты жутылыуы хәм шашырауы ири үлгилерге салыстырғанда өзине тән қасиетлерге ийе. Бул қасиетлер көп санлы бөлекшелерди үйрениуде көриуге болады. Мәселен, коллоид еритпелер хәм даналанған перделер нанобөлекшелердің арнаулы қасиетлери себепли тезирек бузылыуы мүмкин. Дисперсиялық орталық оптикалық қасиетлерин үйрениудің ең жақсы үлгиси бул алтын болып есапланады. Өз дәуиринде Фарадей алтынның еритпеси жуқа пердесинің реңлерине уқсас екенлигине итибар берди хәм алтынның дисперсиялық дузилсине ийе екенлиги хаққында пикир билдирген.

Жақтылықтың металл перделерде жутылыуында спектрдің көринетуғын бөлегинде ири үлгилерде ушырамайтуғын жутылыу сызықлары пайда болады<sup>1</sup>. Мәселен, Ag бөлекшелердің данадарлық 4 нм диаметрли

<sup>1</sup> Nanoparticles – nanocomposites – nanomaterials: An Introduction for Beginner. First Edition. Dieter Vollath. Published 2013 by Wiley – VCH Verlag GmbH & KGaA

перделери жақтылықтың  $\lambda=560-600$  нм аралығында айнықса пайда болатуғын жутылыу максимумына ийе. Усыған уқсас Ag, Cu, Mg, Li, K, Na, K нанобөлекшелери де оптикалық диапазонда ең көп жутылыуды көрсетеди.

Даналанған перделердің қасиетлеринің бири жақтылық спектринің көриниуі областынан инфрақызыл обласқа өткенде жутылыудың кемейтиуі. Тутас металл перделерде болса, буннан айырмашылықлы рәуиште, жақтылық толқын узынлығы артыуы менен жутылыу да атып барады.

Оптикалық параметрлердің өлшемлик эффектлери у жақтылық толқын узынлықларынан сезилерли дәрежеде киши болған хэм 10-15 нм ден үлкен болмаған нанобөлекшелер ушын әхмийетли рол ойнайды.

Нанобөлекшелер хэм ири металлар жутылыу спектрлариндеги айырмашылықлар олардың диэлектрлик сиңириушилик а йырмашылығы  $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$  себепли пайда болады. Дискрет энергетикалық спектрли нанобөлекшелер диэлектрлик сиңириушилик бөлекшелер өлшемлерине хэм нурланыу жийиликлерине байланыслы. Диэлектрлик сиңириушилик нурланыу жийилигине монотон емес, балки электронлар жағдайлары арасындағы өтиулер себепли тез өзгерип турыушы халатта байланысқан.

Тәжирийбелерде оптикалық параметрлерди өлшеу ушын бөлекшелердің саны  $10^{10}$  ден кем болмауы керек. Бундай муғдардағы бирдей өлшем хэм формадағы бөлекшелерди пайда етиу әмелде мүмкин болмағанлығы ушын реал шәраятларда бөлекшелер топламы ушын тербелислер тегис болып көринеди.

Оған қарамасдан  $\varepsilon$  ниң орташа мәниси ири үлгиден парк етеди. Диэлектрлик сиңириушиликтің бир бөлеги бөлекше радиусы  $r$  ге кери пропорционаллығын көриу мүмкин:

$$\varepsilon_2(\omega) = \varepsilon_{\infty,2}(\omega) + \frac{A(\omega)}{r},$$

бунда  $\varepsilon_{\infty,2}(\omega)$  – ири кристал. Диэлектрлик сиңириушиликтің бир бөлеги,  $A(\omega)$ -жийилигине байланыслы функция. Тәжирийбелерде  $p=0,9-3,0$  нм лы

алтын бөлекшелери ушын  $\lambda=510$  нм лы турақлы толқын узынлықлы нурланыўда  $\varepsilon_2 \approx 1/p$  екенлиги тастыйықланған. Бөлекшелер өлшеминен жутылыў областы кеңлиги хэм унинг төмен жийилиги тәрәпи формасы да байланыслы. Au хэм Ag нанобөлекшелерде жақтылықтың жутылыў областы кеңейиўи тәжирийбелерде байқалған.

Және бир өлшемлик эффекти - жақтылықтың резонанс жутылыўы шыңының жылжыўы болып табылады. Диаметри ири металлдағы электронлардың еркин жүриў жолы  $\lambda_\infty$  дан киши бөлекшелердеги электронлардың еркин жүриў жолы бөлекше радиусы  $r$  ға тең. Бул жағдайда жақтылық жутылыўындағы эффектив релаксация ўақты төмендегиге тең

$$\tau_{ef}^{-1} = \tau^{-1} + \frac{g_F}{r}$$

көринисинде аңлатыў мүмкин. Бунда  $\tau = \lambda_\infty / g_F$  - ири металл үлгисиндеги релаксация ўақты;  $g_F$  - электронлардың Ферми кәддиндеги тезлиги. Зоналар аралық өтиўлерди есапқа алмастан, тек ғана еркин электронлар хәрәкетин есапқа алған жағдайда

$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{w_p^1}{w_p^2 + 1/\tau_{ef}} \varepsilon_1 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega_1^2 + 1/\tau_{ef}}$$

деп жазыў мүмкин. Бунда  $\omega_p = 4\pi N e^2 / m^*$  - плазма жийилиги,  $N$ ,  $e$ ,  $m^*$  - еркин электронлар тығызлығы, заряды хэм эффектив массасы.

Бунда жақтылық жутылыўының ең үлкен мәниси  $\varepsilon_m = -\varepsilon_1(\omega_1)$  болғанда ерисиледи. Буны есапқа алған, жүдә майда бөлекшелер ушын  $\tau_{ef}^{-1} \approx g_F / r$  болған ҳалатта (2.56) дан резонанс жийилиги

$$\omega_1 = \left( \frac{\omega_p^2}{1 + 2\varepsilon_m} - \frac{g_F^2}{r^2} \right)^{1/2}$$

көриниске келеди. Буған тийкарланып, бөлекше өлшеми киширейгенде резонанс жийилигиде кемейеди, яғный жутылыў областы төмен жийиликлер тәрәпке жылжыўы керек. Лекин, квант механикалық есаплар бөлекше өлшемлери киширейгенде резонанс жутылыў шоққысы жоқары жийиликлер

тәрепке жылжыуын көрсетеді. Мине усындай қарама-қарсы нәтижелер тәжіриыйбелерде де көринеді. Бундай жылжыулар ушын электрон бултының бөлекше бетінде жүдә аз муғдарда өзгеріуіде жетерли екенлиги анализ қылынады. Соған тийкарланып, жақтылықтың жутылыу областы кеңлиги бөлекшелар өлшеминиң курамалы функциясы болып, ол  $D \approx 1,1\text{нм}$  этирапында ең үлкен мәниске ериседи.

### 3.2. Нанобөлекшелер спектроскопиясы

Соңғы ўақытлары ярымөткизгишлердің оптикалық хәм люминесценция қәсийетлерини үйрениўде өлшем эффектларине қызығыўшылық артпақда, себеби ярымөткизгиш зоналар системасын үйрениўде оптикалық жутылыу тийкарғы усыллардың бири. Ярымөткизгишлерде бөлекшелер молекулалар аралық өз-ара тәсирлесиў энергиясы үлкен болғаны ушын макроскопиялық ярымөткизгишли кристалды үлкен бир молекула деп қабыл етиў мүмкин. Ярымөткизгиш кристаллары электронларды қозғатыў күшсиз байланысқан электрон-геўекше жуплығы – экситонлардың пайда болыуына алып келеди. Экситон тарқалыу (делокализация) областы ярымөткизгиш кристалл решеткасы дәуиринен көп мәрте артық болыуы мүмкин. Ярымөткизгиш кристалын экситон өшемлерине жақын өлшемлерге шекем киширейтилсе, оның қәсийетлери өлшемге байланыслы болып қалады.

Солай етип, ярымөткизгиш нанобөлекшелердің өзине тән қәсийетлери нанобөлекшелер өшемлери менен де, микроскопиялық кристаллдағы экситонларды Бор радиуслары  $[r_x \approx n^2 \eta^2 \epsilon / \mu_{ex} e^2; \mu_{ex} = m_e m_x / (m_e + m_x)]$ - экситонның келтирилген массасы;  $m_e m_x$  – электрон хәм геўекшелрдің массалары;  $\eta = 1, 2, 3..$ ] менен де белгиленеди. Ярымөткизгишлерде Бор радиусы 0,7нм (Cu, Cl да) ден 10нм (Ga As да) ге шекем өзгеріуи мүмкин. Айырым молекулада электронды қозғатыў энергиясы макроскопиялық ярымөткизгишлердеги областьлар ара (қадаған етилген зона область кеңлиги энергиясы) өтиў энергиясынан сезилерли дәрежеде үлкенирек

болады.

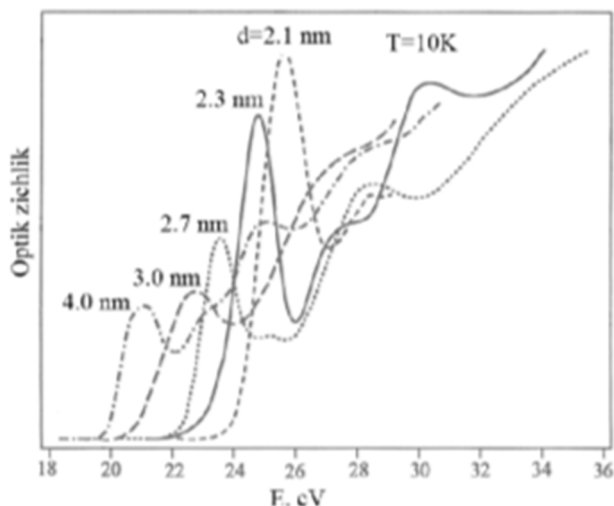
Демек, кристаллдан молекулаға өтиуде, яғный бөлекшени киширейткенде электронды қозғатыу энергиясы киши мәнистен үлкен мәниске өткен өлшемлер областы бар болыуы керек. Басқаша айтқанда, ярымөткізгіш нанобөлекшелери өлшемлерин киширейтиу жутылыу областының жоқары жийиликлер областына жылжыуына алып келеди. Бундай эффекттиң тәжирийбеде тастыйықланыуы белгиси сыпатында ярымөткізгішли нанобөлекшелер өлшемлерин киширейтиуден экситонда жутылыу областының көк рең (жоқарырақ жийилигине) тәрепке жылжыуын көриу мүмкин. Үйренілген ярымөткізгіш – CdS мине усындай жутылыу областының “көк” жылжыуы нанобөлекшелер диаметри  $D \leq 10-12$  нм болғанда байқалады. Нанобөлекшелер өлшемлериниң оптикалық жутылыу спектрлерине тәсири көплеген ярымөткізгішлерде байқалған.

Макроскопиялық кристаллда экситон энергиясы  $E$  кристаллдың қадаған етилген зонасы кеңлиги  $E_g$  дан электрон хәм геуекшениң байланыс энергиясы (Ридберг эффектив энергиясы  $\varepsilon_{ry} = \mu_{ex} e^4 / 2n^2 \eta^2$ ) хәм экситоннын ауырлық орайы кинетикалық энергиялары айырмасына тең.  $r$  өлшемли ярымөткізгіш нанобөлекшеси ушын соңғы қосылыушы ағза -  $n^2 \pi^2 \eta^2 / 2\mu_{ex} r^2$  ға тең, яғный  $r^2$  ге кери пропорционал. Нанобөлекше өлшеминиң экситон энергиясына тәсириниң, электрон хәм геуекшениң өз-ара Кулон тәсирлерин де итибарға алған халаттағы теңлемеси төмендегише:

$$E = E_g - 0,248E_{ry} + \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2\mu_{ex} r^2} - \frac{1,78e^2}{\varepsilon r}$$

Бундаги биринши хәм үшінши ағзалар жыйындысы қадаған етилген зонаның эффектив мәнисине тең. Бөлекше өлшеми киширейиуи қадаған етилген зона эффектив кеңлигиниң артыуына алып келеди. Мине усындай өзгеріу CdTe нанобөлекшелери ушын байқалған; ири кристаллдан диаметри 4 хәм 2 нм ли нанобөлекшелерге өтилгенде  $E_g = 1,5$  эВ дан сәйкес халатта 2 хәм 2,8 эВ ге шекем артады. Майда дисперсиялы бирикпелерге  $Si_3N_4$  кристалына салыстырғанда  $E_g$  артыуы ИҚ хәм флуоресенция эмиссиялық

спектрлерди үйрениуде анықланған.



сүўрет.10К да диаметрлери 2,1 ден 4,0 нм ге шекем болған CdSe нанобөлекшелердиң оптикалық жутылыў спектрлери

Экситонды қозғатыў энергиясы  $E = \eta \omega$  ( $\omega$ -түсип атырған жақтылық жийилигине байланыслы болғаны ушын, нанобөлекше өлшеми киширейийўи менен оптикалық спектр сызықлары жоқары жийилиги тәрәпине жылжыўы керек. Усындай жылжыў (0,1эВ ге шекем) CuCl нанобөлекшелер ( $D=31,10$  хэм 2нм) жутылыў спектрлеринде анықланған.

Сүўретте CdSe нанобөлекшелердиң оптикалық спектрлери көрсетилген: CdSe нанобөлекшелер киширейтилгенде жутылыў областы жоқарырақ энергиялы, яғный “көк” тәрәпке жылжыўы байқалған. Бирлемши жақынласыўда жутылыў областының максимум энергиясы CdSe бөлекшелери радиуси квадратына кери пропорционал. Жутылыў областы кеңлигиниң үлкен ( $\sim 0,15\text{eV}$  яки  $1200\text{ cm}^{-1}$ ) болыўы нанобөлекшелер өлшемлери дисперсиясына байланыслы – бөлекшелер диаметри орташа мәнисинен  $\pm 5\%$  ге аўысады. Ҳақыйқаттан, ең монодисперсия үлгилер үйренилгенде кеңейийў байқалады.

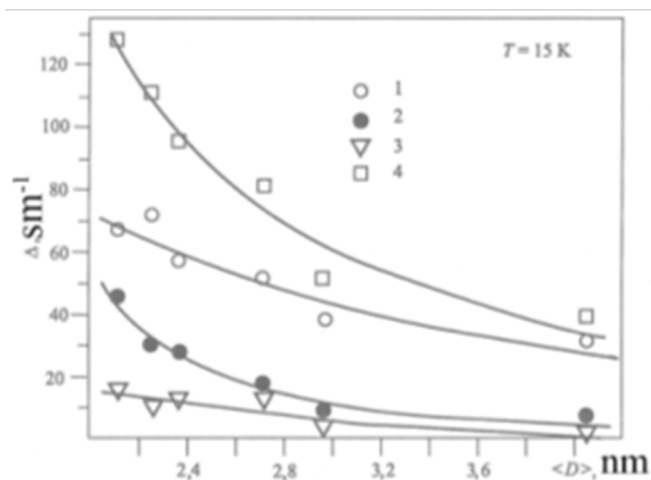
Соның ушын CdSe нанокристалларда экситонлар динамикасын үйрениў ушын фентосекундли фото-ехо техника қолланылады. Бул усыл гомоген болмаған кеңейийўлерди есапқа алмасдан нанобөлекшелердиң бир мәнисине анық сәйкес келетуғын “гомоген” сызықлар кеңлигин табыўға



жрдем береді. Буның нәтийжесинде нанобөлекшелер диаметрин киширейтиў жутылыў сызықлары кеңлиги артыўына алып келиўи көрсетилди.

“Гомоген” жутылыў сызықлары кеңлигине үш қыйлы бөлек қосылыўын көриў мүмкин. Ең үлкен үлеси – бул нурланыўдың кристаллдағы араласпа атомлары хәм решетка дефектлеринен деформациялық шашыраўы бөлеги. Бул үлес нанобөлекше өлшеми, анығырақ етип айтқанда бөлекшениң С/В (бунда С хәм В-нанобөлекше бети хәм көлеми) ине пропорционал шашылыў бети эффектив майданына байланыслы болып, температураға байланыслы емес.

Екинши үлеси – кристалл решетка тербеліслери төмен жийиликли бөлегиниң байланысып қалыўы себебинен. Бул үлеси температураға күшли байланысқан хәм температура артыўы менен сызықларының кеңейиўи сызықлы тәризде артып барады. Төмен жийиликли тербеліслер менен байланыслы болған фононлы кеңейиў “гомоген” кеңликке тек ғана жоқары емес, төмен температураларда да сезилерли (20-35% ке шекем) үлес қосады.



Жутылыў оптикалық сызықларының хақыйқый кеңлиги  $\Delta$  хәм оның үлеси үлкенлигинен 15 К да CdSe нанобөлекшелери диаметрларине байланыслылығы: 1- кириспелер хәм решетка дефектлеринде деформация шашыраў себебли пайда болатугын үлеси; 2- төмен жийиликли тербеліслер бөлеги байланып қалыўы менен байланыслы үлеси; 3- экситонның жасаў ўақтың есапқа алыўшы қосымша; 4-хақыйқый (“гомоген”) сызықлар кеңлиги – көрсетилген үш үлеслер жыйындысынан ибарат.

## Қадағалау үшін сораулар

1. Тәжірийбелерде оптикалық параметрлерди өлшеу үшін бөлекшелердин саны нешеден кем болмауы керек?
2. Спектрлик анализ дегенимиз не?
3. Жақтылық дереклери дегенимиз не?

## Пайдаланылған әдебиетлар

1. Nanoparticles – nanocomposites – nanomaterials: An Introduction for Beginner. First Edition. Dieter Vollath. Published 2013 by Wiley – VCH Verlag GmbH & KGaA
2. А.Д. Помагайло, А.С.Розенберг, И.Е. Уфлянд. Наночастицы металлов в полимерах, М., Химия, 2000 г.
3. [www.britannica.com/science/nanoparticle](http://www.britannica.com/science/nanoparticle)

**РЕЖЕ**

- 4.1. Квант оптикасының тийкарғы түсиниклери. Квант оптикасы хәм лазер физикасының заманагөй жетискенликлери.
- 4.2. Корпускуляр толқын дуализми. Фотонның массасы хәм импульсы. Комптон эффекти.
- 4.3. Классикалық емес нур хәм оның қолланылыұы. Браун-Твисс тәжірийбеси. Белл теңсизлиги.

**Таяныш сөзлер:** Квант халаты, квант системасы, халат векторы, фотон, квант, матрица, Фабри Перо интенферометри,

**4.1 Квант оптикасының тийкарғы түсиниклери. Квант оптикасы хәм лазер физикасының заманагөй жетикенликлери.**

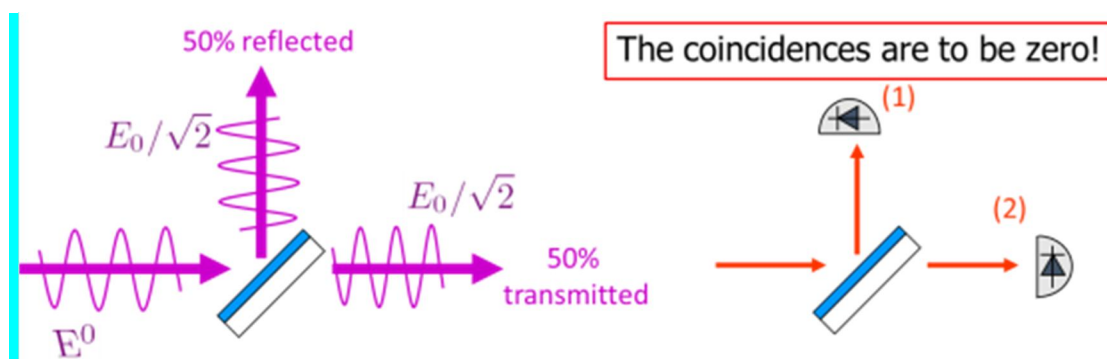
Квант оптикасына тийисли базыбир түсиниклер менен танысып шығамыз: Квант халаты – квант системасы болыұы мүмкин болған барлық халатлар халат векторы - квант системасын толығы менен характерлейтуғын математикалық шамалар жыйындысы (координата, спин, импульс ...).

Таза халат– бит халат векторы менен сыпатланыұы мүмкин болған халат (бир толқын функциясын табыұ жетерли).

Аралас халат – бир халат векторы менен сыпатланыұы мүмкин болмаған хәм тығызлық матрицасын талап ететуғын халат.

Таза халат– болыұы ушын система жабық (сырттан изоляция етилген) болыұы шәрт. Кери жаағдайда сырткы халат векторлары менен тәсирлесиұди есапқа алыұ керек болады.

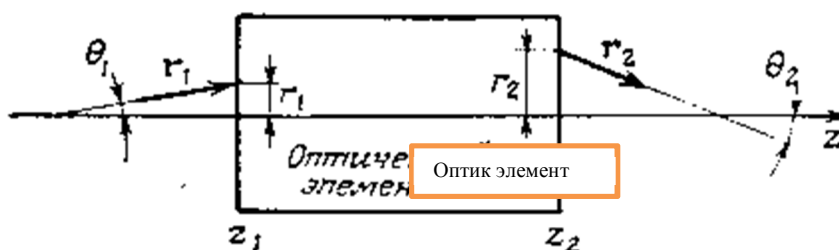
Таза халат– бир қанша өзиниң халат векторларына ийе подсистемалардан куралған болыұы мүмкин. Бул халатта пүтин система өз алдына подсистемаларға ажыралыұы мүмкин. Бундай системаның халаты ажыралыұшы (separable) халат деп аталады.



Жактылык толкынынын - еки детектор бир уакытта кабыл етиуи керек.

Жактылык бөлөкшеси – яки туурыдагы яки төбедеги детекторга барыуу керек.

Көпшилик халларда квант оптикасындагы процессларди геометриялык оптика усулларын матрицалар ислетиу менен биргеликте сыпатласа болады<sup>1</sup>. Қандайда бир оптикалык элементке түсип атырған нурды көремиз. Ол халатта параксиал жақынласыуда нур векторын еки өзгериуши менен сыпатласа болады,  $r(z)$  -радиаллык жылжыу хэм  $\vartheta$  –мүйешлик жылжыуы. Параксиал жақынласыуда  $\sin \theta \approx \text{tg } \theta \approx \theta$ .



Энди төмендеги белгилеулерди киритемиз

$\theta_1 \approx (dr_1/dz)_z = r'_1$  и  $\theta_2 \approx (dr_2/dz)_z = r'_2$ , хэм ол халатта

$$r_2 = Ar_1 + Br'_1,$$

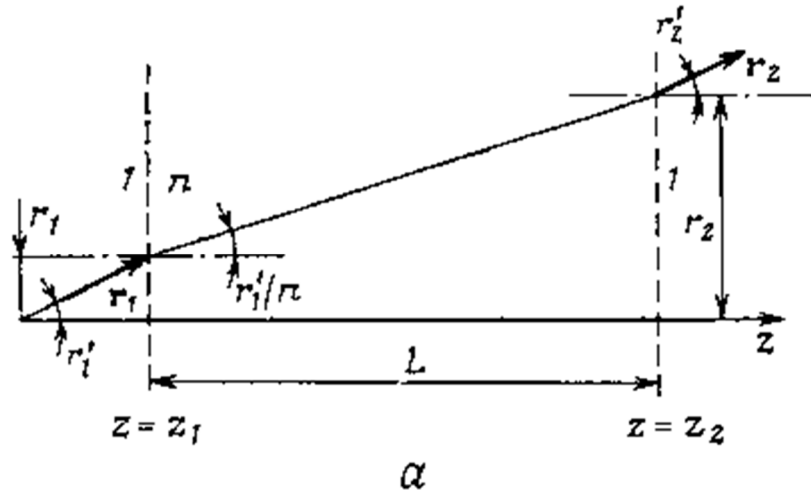
$$r'_2 = Cr_1 + Dr'_1.$$

Бул жерде  $A, B, C, D$  оптикалык курылманы характерлеуши шамалар. Алынған системаны матрицаны көринисинде төмендегише жазамыз

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

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

Жоқарыдағы  $ABCD$  - матрица оптикалық элементти параксиал жақынласуын толығы менен сыпатлайды. Мысал үшін нурдың қандайда бір  $n$  сындыруы көрсеткішли орталықта  $z$  аралыққа тарқалуын көріп өтейік



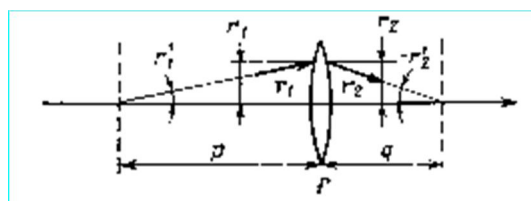
Ол қалатта

$$\begin{aligned} r_2 &= r_1 + L r_1' / n, \\ r_2' &= r_1' \end{aligned}$$

хәм оған сәйкес келиуши матрица көриниси

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

Және бир мысал жыйнаушы линза

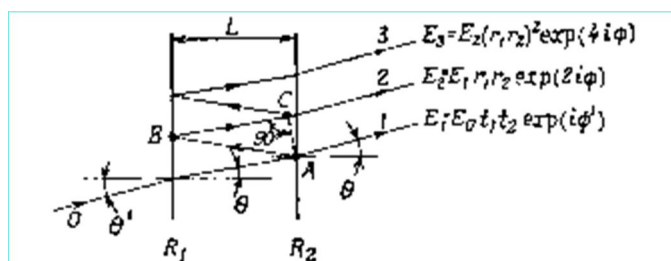


Линза үшін нурдың көшіу матрицасы төмендегише жазылады

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

Қалеген қурамадағы оптикалық системаны элементар қураушыларға бөліп хәр бири ушын өз алдына матрица дүзиу мүмкин хәм пүтин системаның матрицасы усы матрицалар көбеймесинен ибарат болады. Матрицалар жәрдемінде тек ғана нурдың тарқалыуын сыпатлау емес, бәлки сфералық толқын тарқалыуын сыптласада болады.

Оптика аппаратын қолланыуының және бир мысали Фабри Перо интерферометри болып табылады.



Фабри Перо интерферометри лазер қурылмаларында резонатор ролин орынлайды. Күшейттирилген жақтылық кесе-кесиміндеги интенсивликтің бөлистирилиуі көп халларда Гаусс бөлистирилиуіне ийе (Гаусс дәстелери). Гаусс дәстелерин характерлеу ушын комплекс  $q$  параметр киритемиз,

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

Бул е  $R$  – дәсте толқын фронты иймеклик радиусы,  $\omega$  – интенсивлик бөлистирилиуі тығызлығы. Бул параметр әдетте комплекс иймеклик радиусы деп аталады.

Қандайда бир  $ABCD$  матрица менен сыпатланатуғын оптикалық системаның кириуіне  $q_1$  комплекс параметрли Гаусс дәстеси түскен халатта усы система шыгыудағы дәстениң  $q_2$  комплекс параметри төмендегиге тең

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

Бул нызам Гаусс дәстеси тарқалыуындағы  $ABCD$  нызамы деп аталады.

## 4.2 Корпускулалык толқын дуализми. Фотонның массасы хәм импульси. Комптон эффекти.

Эйнштейн формуласынан фотонның массасы

$$E = mc^2$$

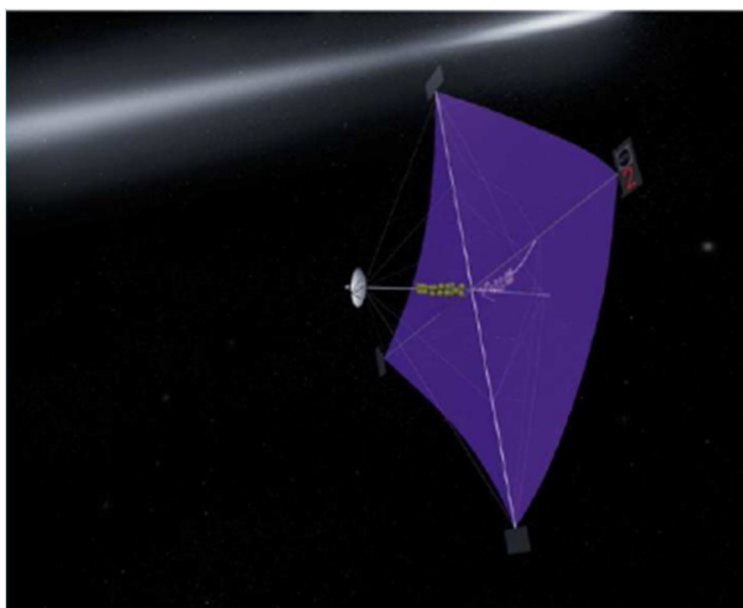
Фотон импульси

$$p_\gamma = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$$

Егерде нур қайтарыу коэффициенті  $\rho$  болған дене бірлік бетке бірлік уақытта  $N$  фотон түссе оның бетинен  $\rho N$  фотон қайтып,  $(1-\rho)N$  фотон жутылады. Жақтылықтың бетке тәсір етіуші басымы бетке секундта түсіп атырған  $N$  фотон импульсына тең

$$p = \frac{2h\nu}{c} \rho N + \frac{h\nu}{c} (1-\rho)N = (1+\rho) \frac{h\nu}{c} N.$$

Жақтылық басымы тәсірине тийкарланған космик кемелер проектлери

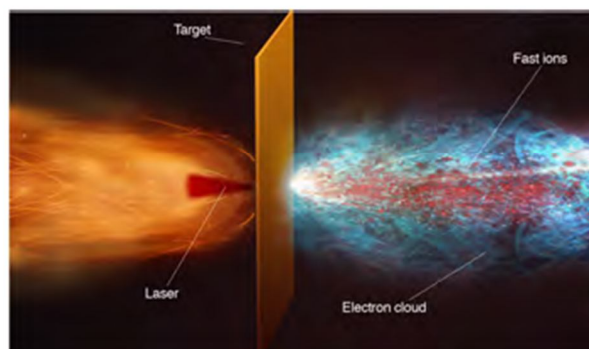


## Laser-plasma acceleration of ions (2000–)

Clark et al, PRL **84** (2000) 670

Maksimchuk et al, *ibid.* 4108

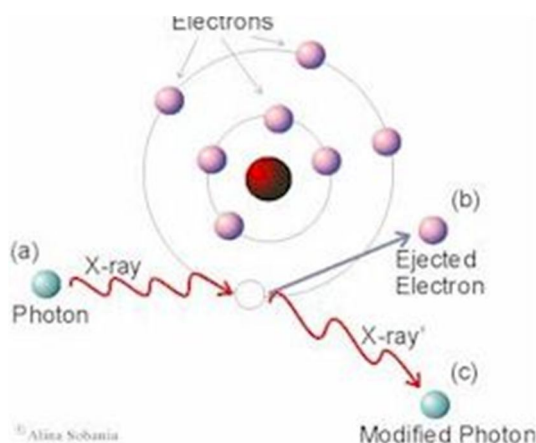
Snively et al, PRL **85** (2000) 2945



State of the art (2013):

- up to  $\simeq 70$  MeV protons observed
- $> 10^{13}$  protons,  $> 10^{11}$  C ions accelerated in single shots (as charge neutralized bunches)
- very low emittance measured ( $< 0.1\pi$  mm mrad)
- proofs-of-principle of spectral manipulation and beam focusing

Комптон эффекти<sup>1</sup>: Қысқа толқын ұзындығына ийе электромагниттик нурланыудың (рентгер хәм  $\gamma$ -нурлары) денениң еркин (яки күшсиз байланысқан) электронларында толқын ұзындығының артыуы менен жүз беретугын деформациялық шашырауы.



Шашыраған нур толқын ұзындығының өзгеріуі ( $\Delta\lambda$ ) тек ғана шашырау мүйеши ( $\theta$ ) ға байланыслы хәм  $\lambda > \lambda$ .  $\Delta\lambda$  барлық денелар ушын бирдей.

<sup>1</sup> Б. Салех, М. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер с англ. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2012.



$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta).$$

### 4.3 Классикалық емес нур хәм оның қолланылыўы. Браун-Твисс тәжирийбеси. Белл теңсизлиги.

Квант теориясында система еки хәм оннан көп жағдайларда суперпозициясы жағдайында болғанда система еки жағдайдын хеш бирине сәйкес характерли қәсийетке ийе болмайды, яғный система бир ўақытта еки яки оннан көп жағдайларда болмайды.

Суперпозиция ҳалатында болған жағдайлар- система локаллаўшы потенциал мүмкин жағдайлар. Системаның олардан бирине сәйкес болыўы ушын ол контактке кирисиўи керек– декогеренция.

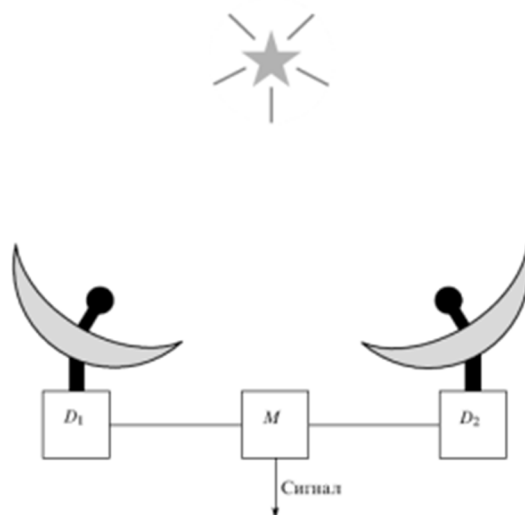
Еки түрли кеңисликли точкаларда жүз берип ўақыялардың бир ўақытта жүзеге келиўи **корреляция** деп аталады.

Биринши тәртипли когерентлик (ўақыт корреляция функциясы)

$$g^{(1)}(r_1, t_1; r_2, t_2) = \frac{\langle E^*(r_1, t_1) E(r_2, t_2) \rangle}{\left[ \langle |E(r_1, t_1)|^2 \rangle \langle |E(r_2, t_2)|^2 \rangle \right]^{1/2}}$$

Екинши тәртипли кеңисликли когерентлик (интенсивлик корреляциялық функциясы)

$$g^{(2)}(r_1, t_1; r_2, t_2) = \frac{\langle E^*(r_1, t_1) E^*(r_2, t_2) E(r_1, t_1) E(r_2, t_2) \rangle}{\langle |E(r_1, t_1)|^2 \rangle \langle |E(r_2, t_2)|^2 \rangle}$$

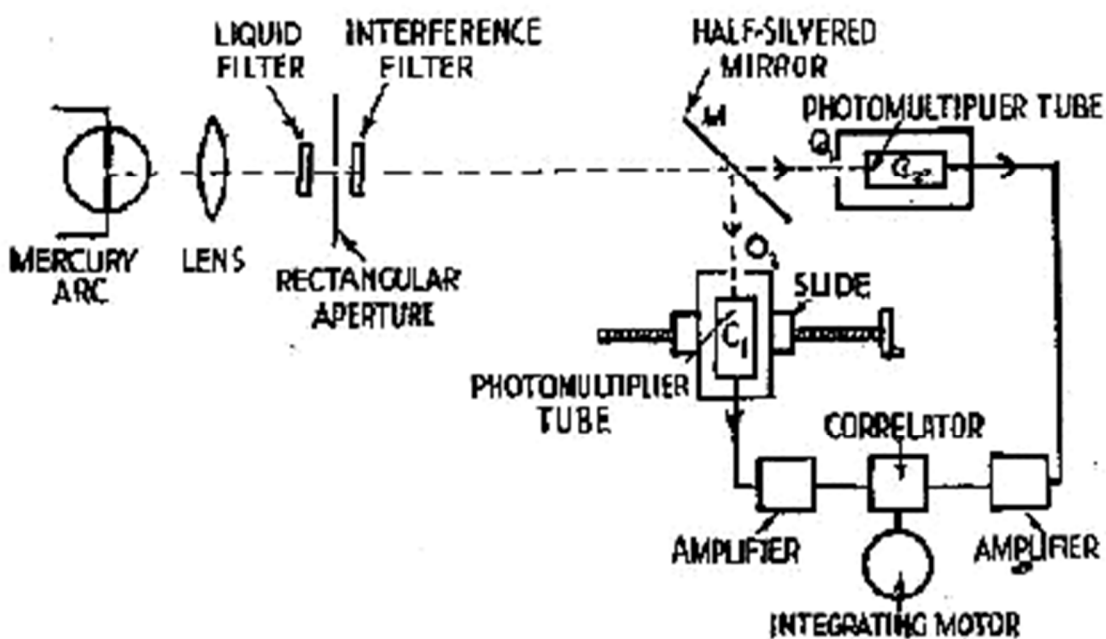


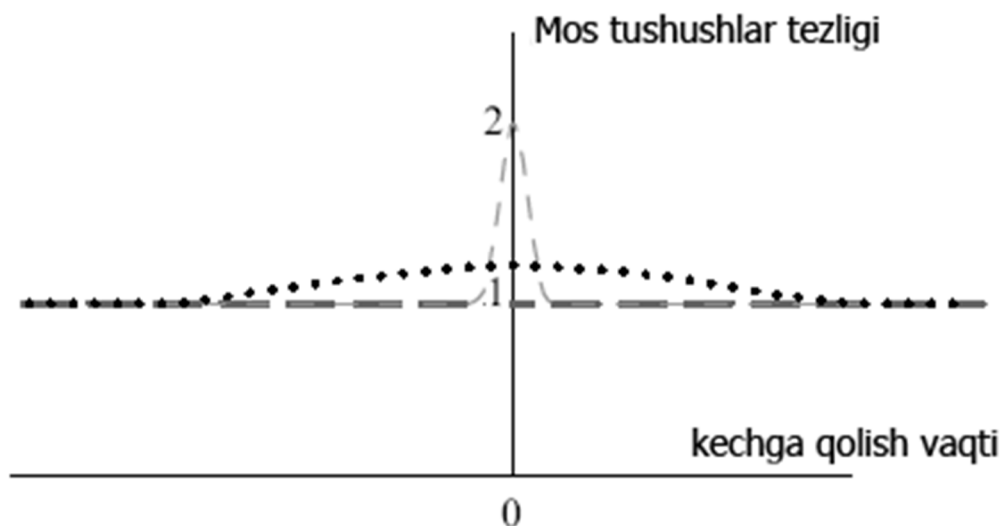
Ханбери Браун хэм Твиссинг радиотолқынлар менен тәжірийбесиниң схемасы.

Бул тәжірийбеде кабыл еткишлердеги сигнал төмендегише

$$C = \langle I(r_1)I(r_2) \rangle = I_0^2 g^{(2)}(r_1, r_2).$$

Қуйида Ханбери хэм Твис 1956-жылы Nature журналында баспадан шыққан мақаладан базыбир нәтийжелер келтирилген.





1 – эксперимент, 2 – фотодетектор тезлиги жетерликтей үлкен болғанда бақланатуғын нәтийже.

Эксперимент жуўмағы: еки когерент дәстедеги фотонлар өз-ара корреляцияда болады хәм бул корреляция фотоэлектронлық эмиссия процессинде де сақланып қалады.

## Қадағалау үшін сораулар

1. Квант халаты дегенимиз не?
2. Көздің ең жақсы көрий аралығы дегенимиз не?
3. Оптика аппараты қаерлерде қолланылады?

## Пайдаланылған әдебиетлар

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. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер с англ. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2012.
4. W. Lucke. Introduction to Photonics. Draft. Technical University of Clausthal. 2005
5. [www.manchester.ac.uk](http://www.manchester.ac.uk).
6. [www.photonics.com/](http://www.photonics.com/)

**5 - ТЕМА: ФОТОНИКА ТИЙКАРЛАРЫ, ФОТОНИКАЛЫҚ КРИСТАЛЛАР ХӘМ ОЛАРДЫҢ ҚӘСИЙЕТЛЕРИ, ФОТОН КОМПЬЮТЕРЛЕРИНИҢ ЖАРАТЫЛЫҢ ТЕНДЕНЦИЯЛАРЫ**

**РЕЖЕ**

- 5.1. *Фотоника тийкарлары, фотоник кристаллар хәм олардың қәсийетлери.*
- 5.2. *Фемтосекунд узынлығындағы лазер импульсларын генерациялаў. Өзин-өзи фокуслаў.*

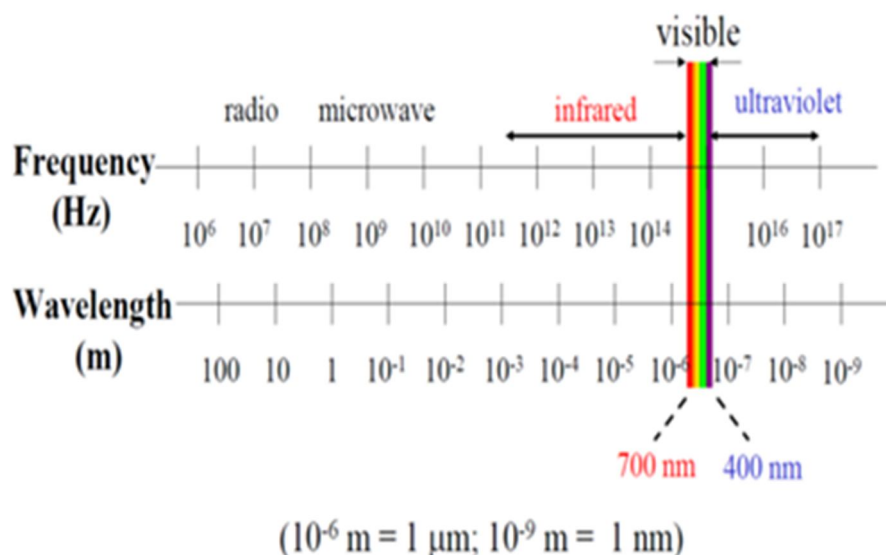
**Таяныш сөзлер:** *Фотоника, фотоник кристаллар, периодикалық структуралар*

**5.1 Фотоника тийкарлары, фотоник кристаллар хәм олардың қәсийетлери.**

Фотоника термини келип шығыўы электроника терминине уқсас болып, жақтылықтың түрли орталықларда тарқалыў хәм дене менен өз-ара тәсирлесіў қәсийетлерин үйрениўши пәнди сыпатлайды. Фотоника пәни жақтылықтың квант қәсийетлерин үйренеди хәм усы физикалық процесслер тийкарында жақтылықты генерациялаў, оның қәсийетлерин басқарыў, жақтылықты узаты, регистрациялаў хәм басқаларды өз ишине алады.

Жақтылық электромагнитлик нурланыўдың инфрақызыл ( $\lambda = 2$  мм ( $\nu = 1,5 \times 10^{11}$  Гц)) областынан ультрафиолет ( $\lambda = 10^{-6}$  см ( $\nu = 3 \times 10^{16}$  Гц)) областына шекем болған аралықты ийелейди.

Көриниўши область  $\lambda = 400 - 760$  нм, Ультрафиолет –  $\lambda = 10 - 400$  нм, инфрақызыл -  $\lambda = 760$  нм – 2 мм.

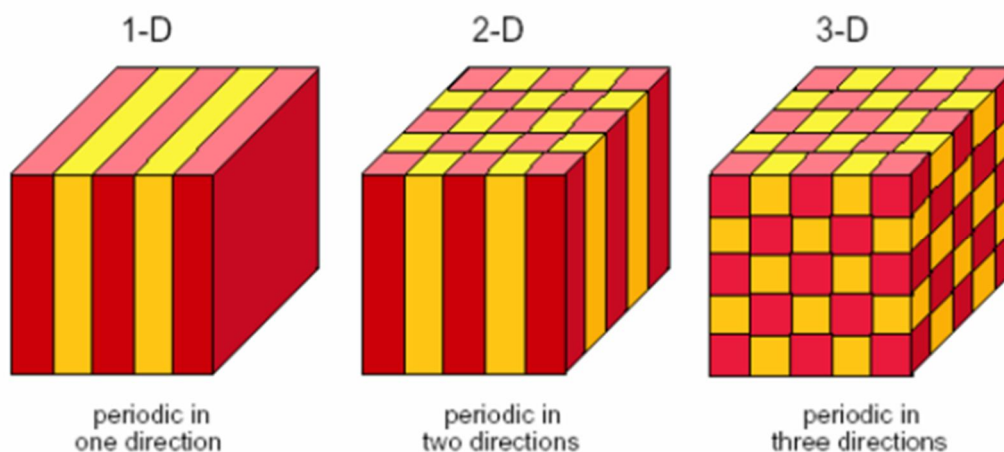


Фотонлық кристаллар улыўма алғанда үш түрли болады:

- Бир өлшемли фотонлық кристаллар
- Еки өлшемли фотонлық кристаллар.
- Үш өлшемли фотонлық кристаллар

Бир өлшемли кристалларда орталық сыныў көрсеткиши периодикалық тәрептен бир бағыт бойлап өзгереді (1D). Бундай структуралар биринши колланыўы спектрал фильтрлер ислеп шығыўға туўры келди. Кейиншелик түрли оптикалық элементлерди усы түрдегги пленкалар менен қаплаў басланды хәм бул түрдеги элементлер жақтыртылған оптика аты менен аталды.

Төмендеги сүүретте түрли фотон кристаллары схематикалық сүүретлениўи келтирилген.



Еки өлшемлі фотон кристаллар кеңістікте екі бағыт бойынша периодикалық структураға ийе болады (2D).

Үш өлшемлі фотон кристаллар кеңістікте үш бағыт бойынша периодикалық структураға ийе болады (3D).

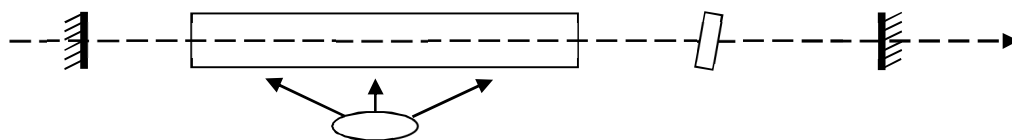
Фотон кристалларды үйреніу тарихы.

- ❖ 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*”

## 5.2 Фемтосекунд ұзындығындағы лазер импульстарын генерациялау. Өзін-өзі фокуслау.

### Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Лазердің функционал схемасы



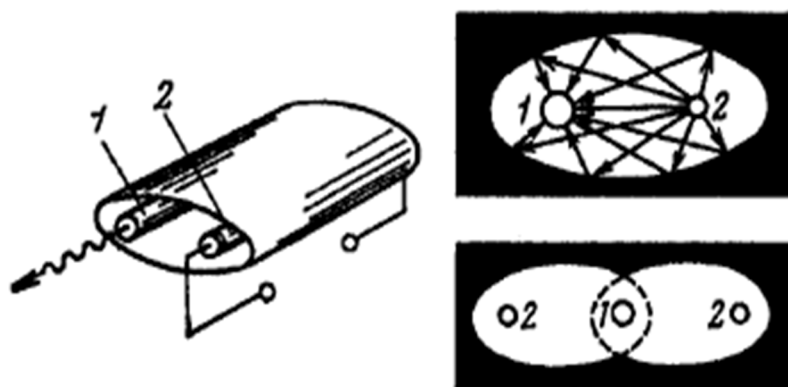
1-актив элемент, 2-оптикалық резонатор, 3-демлеу (накачка, pumping) системасы, 4-резонатор ишине қойылыуы мүмкін болған қосымша элементтер. AA' көшери - лазердің *оптикалық көшери*

**Оптикалық резонатор** екі тегіс, бири тегіс хәм екиншиси сферик яки екеуіде сферик айналардан ибарат болыуы мүмкин. Айналардың бириниң нурды қайтарыу коэффициенті 100 %, екинши айна толық өткермейди.

**Оптикалық резонатордың тийкаргы ұазыйпасы генерация шәрти – оң кері байланысты жүзеге келтириу.**

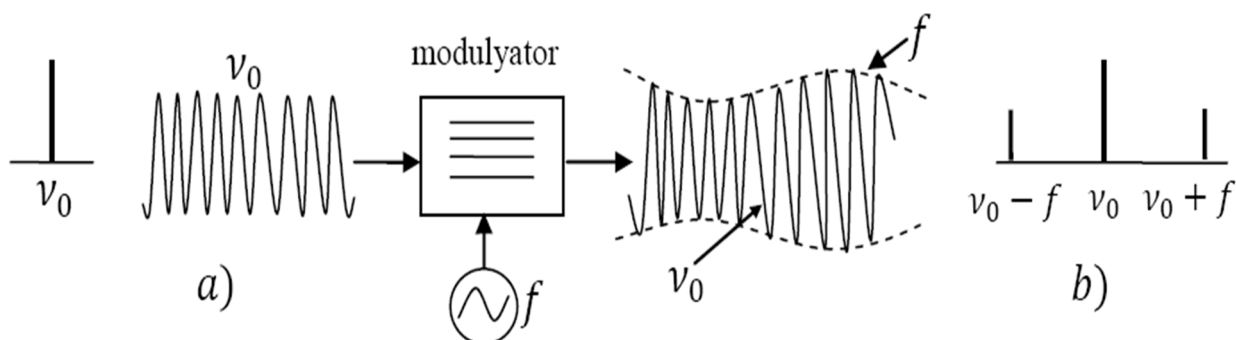
**Демлеу системасы** актив орайларды қозғатыу үшін ислетиледи. Жақтылық лампалары, электр разряды, химиялық реакция, ярымөткізгішли жақтылық диодлары хәм т.б.

**Оптикалық резонатор ишине қосымша элементлерди** (пластинка, призма хәм х.к..) орнатыу мүмкин хәм олар хәр қыйлы ұазыйпаларды орынлайды. Мәселен, лазер нурын модуляция етиу, жақтылық спектрин тарайтыриу, лазерди керекли режимде ислетиу хәм т.б.



Денелер синхронизациясы, фемтосекунд импульслар генерациясилау.

Лазер әпиуайы режимде ислесе, генерация болған импульслардың дауамлылығы миллисекундлар, гигант импульслар режимінде болса наносекундлар болады.

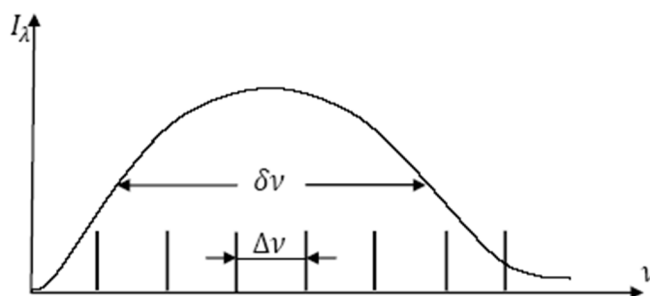




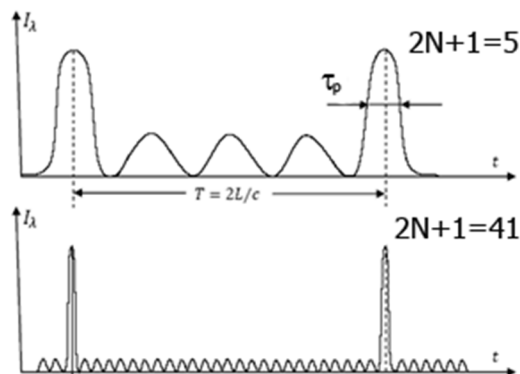
$n_0$  - жийиликли монохроматикалык толқын интенсивлигин  $f$  жийилик пенен модуляция етиў. а- модуляторға түсип атырған монохроматикалык толқын спектри. б- модулятордан шыққан толқын спектри.  $n_0$  - жийиликли монохроматикалык толқын интенсивлигин  $f$  жийилик менен модуляция етиў. а- модуляторға түсип атырған монохроматикалык толқын спектри. б- модулятордан шыққан толқын спектри.



Актив элемент люминесценциясы (кушейттириў) профили хәм резонатор бөлөклериниң бир-бирине салыстырғанда жайласыўы. Профильдиң  $dn$  – кеңлигинде 4 та бөлөкше генерациясы болыўы мүмкин



5 хәм 41 өз-ара синхронизация етилген лазер нуры интенсивлигиниң ўақытқа байланыслылығы.



## **Қадағалау үшін сораулар**

1. Фотоника термининің келип шығыуы қандай?
2. Аккомодация дегеніміз не?
3. Фотонлық кристаллар нешеге бөлінеді хәм қандай?

## **Пайдаланылған әдебиетлар**

1. David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Physics. Published by John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey.
2. Б. Салех, М. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер с англ. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2012.
3. W. Lucke. Introduction to Photonics. Draft. Technical University of Clausthal. 2005
4. Nanoparticles – nanocomposites – nanomaterials: An Introduction for Beginner. First Edition. Dieter Vollath. Published 2013 by Wiley – VCH Verlag GmbH & KGaA
5. А.Д. Помагайло, А.С.Розенберг, И.Е. Уфлянд. Наночастицы металлов в полимерах, М., Химия, 2000 г.

## ӘМЕЛИЙ ШЫНЫҒЫҰ МАТЕРИАЛЛАРЫ

### 1-Әмелий шынығыу:

#### Спектрал курилмаларнинг тийкарғы характеристикалары

**Жумыстың мақсети:** Заманағөй спектрал курылмалардын оптикалық схемалары хәм ислеу принциплерин үйрениу хәм спектрларди қайта ислеу процесси менен танысыу.

**Мәселениң қойылыуы:** Тыңлаушыларға түрли химиялық элементларди спектрларин моделлестириу хәм усы спектрларден сипат анализи ушын аналитикалық сызықлар анықлау усыныс етиледи.

#### Жумысты орынлау ушын үлги

Тыңлаушыларға Зайдель спектрлерин моделлестириу программасын орнатуу хәм жолға түсириу усыныс етиледи хәм олар түрли шараятларда спектрларди моделлестириулерин керек болады. Мысал ушын **ишхор** металлар спектрлерин моделлестириу.

## Қадағалау үшін сораулар

1. Оптикалық спектрал құрылмалары.
2. Оптикалық спектрал құрылмалардың классификациясы.
3. Тийкарғы характеристикалары.
4. Ажырата алыу қәбилиети, дисперсиясы хәмде оптикалық диапазоны.
5. Оптикалық схемалары.
6. Призмалыспектрал құрылмалары.
7. Дифракциялық решеткалы спектрал құрылмалар.
8. Интерференциялық спектрал құрылмалар.
9. Фабри-Перо интерферометри.

## Усыныс етилетуғын әдебиятлар

1. David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Physics. Published by John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey.
2. Б. Салех, М. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер с англ. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2012.

## Интернет ресурслар

- 2 [www.optics.arizona.edu](http://www.optics.arizona.edu) › Research › Specialties
- 3 [www.manchester.ac.uk](http://www.manchester.ac.uk).
- 4 [www.phys.soton.ac.uk/module/PHYS1004](http://www.phys.soton.ac.uk/module/PHYS1004)

## 2-Әмелийшынығыу:

### Фотон кристаллардың оптикалық қәсийетлери

**Жумыстың мақсети:** Бир өлшемли фотон кристаллары, еки хәм уш өлшемли фотон кристаллардың оптикалық қәсийетлерин компьютерде моделлестириу арқалы олардың оптикалық қәсийетлерини үйрениу. Фотон кристаллары қәсийетлерин матрицалар жәрдеминде классификациялау.

Периодикалық структуралы орталықларда Фурье оптикасы элементлерін қоллау.

**Мәселенің қойылуы:** Тыңлаушыларға Фурье алмастырыуларын әмелге асыратуғын программа менен танысып онда ислетилетугын параметрларди уйренип шығыу усыныс етиледі. Периодикалық структураға ийе булған денелерде толқынның тарқалыуы уйрениледі.

### **Жумысты орынлау үшін үлги**

Тыңлаушыларға Фурье алмаштиришларини алмастырыуларын әмелге асыратуғын программа усыныс етиледі, тыңлаушылар жақтылық толқынының фотоникалық кристаллдан өтиу процессин моделлестиреди.

### **Қадағалау үшін сораулар**

1. Оптикалық Фурье- алмастырыуы.
2. Тарқалыуда майданның өзгериуи, дифракция интегралы.
3. Линзада толқын фронтының алмастырыуы.
4. Оптикалық системада функционал алмастырыулар.
5. Линзалы системада Фурье- алмастырыуы.
6. Линзалы системаның кери функциясы.
7. Алмастырыулардың қәсийетлери.
8. Оптикалық сүүретлениуди пайда етиу.
9. Екинши тәртипли когерентликтің классикалық баяны.
10. Екинши тәртипли когерентлик функциясының тарқалиыуы: Ван Цитгерт–Цернике теоремасы.
11. Нурланыу спектри хәм когерентлик дәрежеси.

### **Усыныс етилетуғын әдебиятлар**

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. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер с англ. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2012.
4. W. Lucke. Introduction to Photonics. Draft. Technical University of Clausthal. 2005

### **Интернет ресурслар**

1. <http://www.photonics.com>
2. [www.optics.arizona.edu](http://www.optics.arizona.edu) › Research › Specialties
3. [www.photonics.com/](http://www.photonics.com/)
4. [www.photonics21.org/](http://www.photonics21.org/)
5. [photonics.cusat.edu/](http://photonics.cusat.edu/)

## **ҚОСПА ШЫНЫҒЫҰ МАЗМУНЫ**

### **Фемтосекунд узынлықлы лазер импульсларын генерациялаў хэм наноструктуралы орталықлар спектроскопиясы**

Шынығыў даўамында Өзбекистан Республикасы Илимлер Академиясы Ион плазма хэм лазерли технологиялар институтының бир қатар жетекши изертлеў лабораториялары менен танысыў нәерде тутылған. Атап айтқанда Лазерли технологиялар лабораториясында фемтосекунд диапазонындагы лазер импульсларын генерациялаў хэм олар жәрдемінде наноструктуралы орталықлар оптикалық қәсийетлерини үйрениў, нано структуралы денелер, соның ишинден фотоникалық кристалларды үйрениўда өз алдына роль ойнайтуғын электрон микроскоптың ислеў принципін хэм дүзилісін үйрениў көзда тутылған.

**Жумыстың мақсети:** Импульс узынлықлары фемтосекунд диапазонында жатыўшы лазер техникасы менен, сондай-ақ хэм фемтосекунд импульсларын алыў процессиниң түрли тәрәплери менен танысыў хэм фемтосекунд узынлықтагы импульсларының қолланыў тараўлары менен танысыў.

**Мәселениң қойылыўы:** Тыңлаўшылар ультрақысқа импульсларын генерациялаў процессінде қатнасады хэм бул процессте қолланлатуғын қурылмалар менен танысады. Электрон микроскоптың жумыс ислеў процесси менен танысады.

### **Қадағалау үшін сораулар**

1. Резонатордын **асиллиги** хәм оның модуляциялау усыллары.
2. Лазер актив орталығына қойылатуғын талаптар.
3. Тойыныушы жутыушы орталықлар.
4. Фуллеренлар хаққында түсиник.
5. Электрон микроскоптың ислеу принципи.
6. Спектрал шегераланған импульслар.

### **Усыныс етилетуғын әдебиятлар**

1. David L. Andrews. Fundamentals of Photonics and Physics. Published by John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey.
2. Nanoparticles – nanocomposites – nanomaterials: An Introduction for Beginner. First Edition. Dieter Vollath. Published 2013 by Wiley – VCH Verlag GmbH & KGaA

### **Интернет ресурслар**

- 5 [www.photonics.com/](http://www.photonics.com/)
- 6 [photonics.cusat.edu/](http://photonics.cusat.edu/)



## **ӨЗ БЕТИНШЕ ЖУМЫС ТЕМАЛАРЫ**

### **Өз бетинше жұмысты шөлкемлестіріу формасы хәм мазмуны**

Тыңлаушы өз бетинше жұмысты модульдің қәсийетлерин есапқа алған халда төмендеги формалардан пайдаланып таярлауы усыныс етиледі:

- норматив хұжетлерден, оқыу хәм илимий әдебиятлардан пайдаланыу тийкарында модуль темаларини үйрениу;

- тарқатпа материаллар бойынша лекцияларды өзлестіріу;

- автоматластырылған үйретиуши хәм контроль етиуши бағдарламалар менен ислеу;

- арнаулы әдебиятлар бойынша модуль бөлимлери яки темалары үстинде ислеу;

- тыңлаушының кәсиплик жолы менен байланыслы болған модуль бөлимлери хәм темаларды терең үйрениу.

### **Өз бетинше жұмыс темалары**

1. Дифракциялық решетка спектраль курылмаларды ажырата алыу қәбилиети.
2. Призмалы спектраль курылмаларды ажырата алыу қәбилиети.
3. Оптикалық системалардағы абберациялар.
4. Сызықлы хәм үзликсиз спектрлер.
5. Мәжбүрий нурланыу қубылыслары (оптикалық квант генераторлары мысалында).
6. Спектрларды фотографикалық усылда регистрациялау.
7. Спектрларды фотоэлектрикалық усылда регистрациялау.
8. Спектрларды толқын узынлығыни анықлау.
9. Жақтылықты тығызлықтың флукутациясы есабынан шашырауы.
10. Жақтылықтың комбинациялық шашылыуы хәм оны тәжирийбеде анықлау.

11. Орталықлар структурасын үйрениуде жақтылықтың молекулалық хәм комбинациялық шашырау спектрлериниң роли.
12. Электроптикалық дефлекторлар.
13. Брег дефлекторы.
14. Оптикалық процессорлардың ислеу принципи.
15. Сырткы тасыушыдағы оптикалық память.
16. Нурталшықлы оптикалық байланыс тармақларының улыўма конструкциясы.
17. Оптикалық нурталшықлардың түрлери хәм олардың характеристикалары.
18. Оптикалық нурталшықларда дисперсия турлари.
19. Нурталшықлардағы жутылыу механизмлери.
20. Кристалл структуралы денеларде энергетикалық зоналар түсиниги.
21. Жутылыу түрлери.
22. Фоторезистор хәм фотодиодлар.
23. Туннелли фотодиодлар.
24. Ярымөткизгишли лазерлар.
25. Голографикалық памятьның ислеу принципи

## ГЛОССАРИЙ

Термин	Тәрийпи	Definition
<b>Квант механикасы</b>	Физиканың өз алдына атом хәм элементар (субатом) бөлекшелар сыяқлы микроскопиялық денелер (объектлер) тәбиятын үйрениўши бөлими	<b>Quantum mechanics</b> is a fundamental branch of physics concerned the nature of atoms and subatomic particles.
<b>Еркинлик дәрежелери саны</b>	Точканың кеңисликтеги жағдайын толық анықлаўшы өз-ара байланыслы болмаған координаталары саны	<b>The number of degrees of freedom</b> can be defined as the minimum number of independent coordinates that can specify the position of the system completely.
<b>Тербелислер</b>	Белгили бир нызамлыққа муўапық периодлы рәўиште тәкирарланып турыўшы процесслер	<b>Oscillations</b> are a repeating process which submits to the certain law
<b>Гармоникалық тербелислер</b>	Тербелип атырған денениң көшиўи синус яки косинус нызамына муўапық жүз беретугын периодлы процесс	<b>Harmonious oscillations</b> are a periodic process in which changes of some physical magnitude occur under the law of sine or cosine
<b>Гармоникалық осциллятор</b>	Гармоникалық тербелислер пайда болыўы мүмкин болған система	<b>Harmonious oscillator</b> is system in which harmonious oscillation are possible
<b>Тербелислер</b>	Тербелип атырған физикалық	<b>Amplitude of fluctuations</b> is

<b>ампли- тудаси</b>	шаманың тенсалмақлық халатынан ең үлкен аўысыўи	the greatest deviation of a oscillating magnitude from a condition of balance
<b>Меншикли жийилик</b>	Қарсылық күшлери болмағанда пайда болатуғын еркин тербелислер жийилиги	<b>Self-resonant frequency</b> is a frequency with which a free fluctuations occur in system in absence extraneous forces
<b>Мәжбүрий тербелислер</b>	Сырткы күшлер тәсиринде пайда болатуғын тербелислер	<b>The compelled fluctuations</b> are a fluctuations which appear under influence of external forces
<b>Резонанс</b>	Мәжбүрий тербелислер жийилигиниң система еркин тербелислерим жийилигине жақынласқаньнда тербелислер амплитудасының кескин артып кетиў кубылыс	<b>Resonance</b> - fast increasing a amplitude of oscillating at approach of frequency of the compelled oscillation to a frequency of self-resonant frequency
<b>Толқын</b>	Тербелислердиң кеңисликте тарқалыўында пайда болатуғын объект	<b>Wave</b> - a object arising at propagation of oscillations in a space
<b>Толқын узынлығы</b>	Тербелислер дәўирине тең болған ўақыт аралығы даўамьнда толқын тарқалатуғын аралық	<b>The length of a wave</b> - a distance which is propagated a wave in a time which equal to one period of oscillations
<b>Толқынлар саны</b>	$2\pi$ санының толқын узьнлығына катнасына тең болған физикалық шама	<b>Wavenumber</b> - a physical magnitude which amount to the ratio of constant $2\pi$ to length of a wave

<b>Когерент толқынлар</b>	Фазалар айырмасы тұрақты болған толқынлар	<b>Coherent waves</b> - waves with a constant difference of phases
<b>Интерференция</b>	Когерент толқынлар қосылуы себепті пайда болған жуымақлаушы толқынның энергиясы кеңістікте қайта бөлістирілуі	<b>Interference</b> - redistribution of energy of oscillations in a space in consequence of addition of coherent waves
<b>Жақтылықтың тууы сызық бойлап тарқалыуының заңы</b>	Оптикалық тәрептен бір теклі болған орталықта жақтылық нұры тууы сызық бойлап тарқалуын сыпаттаушы иллимин жуымақ	<b>The law confirmatory about rectilinear propagation</b> of a light beam in optically homogeneous medium.
<b>Түсіу мүйісі</b>	Екі орталық шегерасында жақтылық нұры түсіу нүктесінде бетке түсірілген нормаль және түскен нұр арасындағы мүйіс.	<b>Light angle</b> - an angle in a point of falling of a beam on mediums boundary formed by normal to boundary and by the falling beam
<b>Шағылысу мүйісі</b>	Екі орталық шегерасында жақтылық нұры түсіу нүктесінде бетке түсірілген нормаль және шағылысқан нұр арасындағы мүйіс.	<b>Angle of incidence</b> - an angle on boundary of two mediums forming in a falling point by normal to boundary and by the reflected beam
<b>Сыну мүйісі</b>	Екі орталық шегерасында жақтылық нұры түсіу нүктесінде бетке түсірілген нормаль және сынған нұр арасындағы мүйіс.	<b>Angle of refraction</b> - an angle on boundary of two mediums forming in a falling point by normal to boundary and by the refracted beam

<b>Дифракциялық решетка</b>	Көп мұғдарда бірдей болған хәм бир-биринен бірдей аралықта жайласқан тесикшелер топламы	A <b>grating</b> is any regularly spaced collection of essentially identical, parallel, elongated elements.
<b>Жақтылық дисперсиясы</b>	Дене сындырыу көрсеткішинин жақтылық толқыны узынлығына байланыслығы себепли пайда болатугын қубылыс	<b>Dispersion</b> -the dependence of wave velocity on frequency or wavelength
<b>Поляризацияланған жақтылық</b>	Тербелислер бағыты белгили бир қағыйдага гөре тәртіпленген жақтылық нуры.	<b>polarized light</b> - radiation in which oscillation are ordered somehow
<b>Поляризатор</b>	Тәбийий (поляризацияланбаған) нурды тегис поляризацияланған нурға айлантырып бериуши әсбап	A <b>polariser</b> is an optical filter that passes light of a specific polarization and blocks waves of other polarizations
<b>Квант</b>	Дене тәрәпинен нурланып атырған яки жутылып атырған энергияның шекли порциясы.	<b>Quantum</b> -the minimal portion radiation absorbed or radiated by substance
<b>Сыртқы фотоэффект</b>	Жақтылық нуры тәсиринде денеден электронлардың ушып шығыу қубылысы	<b>Extrinsic photoeffect</b> is the production of electrons or other free carriers when light shines upon a material
<b>Фотон</b>	Электромагнитлик нурланыу кванты;	Photon is a quantum of all forms of electromagnetic radiation including light

<p><b>Де-Бройль толқыны</b></p>	<p>Материяның универсал бөлекше-толқын дуализмінің пайда болуы: хәр қандай энергия хәм импульсқа ийе бөлекшеге толқын узынлығы <math>h/p</math> хәм жиийлиги <math>v = E/h</math> ға тең де-Бройль толқыны деп аталуышы толқын сәйкес келеди. Бул жерде <math>h</math> —Планк турақлысы. Де-Бройль толқынлары итималлық толқынлары деп жүритиледи; олардың бар екенлиги хәққинда 1924 жылда Л. де Бройль пикир билдирген. Бул пикир электронлар дифракциясын бақлау арқалы тастыйықланған.</p>	<p><b>Wave–particle duality</b> is the concept that every elementary particle or quantic entity may be partly described in terms not only of particles, but also of waves. It expresses the inability of the classical concepts "particle" or "wave" to fully describe the behavior of quantum-scale objects. <i>All</i> matter, not just light, has a wave-like nature; he related wavelength and momentum : <math>\lambda = h/p</math> <math>v = E/h</math></p>
<p><b>Толқын функциясы (пси–функция)</b></p>	<p>Халат векторы. Квант механикасында система халатын характерлеуши хәм итималлықты хәм оны характерлеуши физикалық шамалардың орташа мәнисларин табуыға имкан бериуши тийкарғы шама. Толқын функциясы модулинің квадраты берилген халат итималлығынатең. Соның ушын толқын функциясы итималлық амплитудасы депте атайды.</p>	<p>A <b>wave function</b> in quantum mechanics is a description of the quantum state of a system. 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 <math>\psi</math></p>
<p><b>Гейзенбертиң анық</b></p>	<p>Микробөлекшени бир уақыттың өзінде белгили бир координата</p>	<p><b>Heisenberg's uncertainty principle</b>, is any of a variety of</p>

<p><b>емеслик принципі</b></p>	<p><math>(x, y, z)</math> хәм оған сәйкес импульсди <math>(p_x, p_y, p_z)</math> қәлеген анықлықта өлшеп болмайды.</p>	<p>mathematical inequalities asserting a fundamental limit to the precision with which certain pairs of physical properties of a particle, known as complementary variables, such as position <math>x</math> and momentum <math>p</math>, can be known simultaneously.</p>
<p><b>Орбитал квант саны <math>l</math></b></p>	<p>Берилген бас квант сан <math>n</math> ушын <math>l=0, 1, \dots, (n-1)</math> мәнислерди қабыл етиўши хәм атомдағы импульс моментин анықлаўшы етиўши сан</p>	<p><b>The orbital quantum number</b> describes the subshell, and gives the magnitude of the orbital angular momentum. The value of <math>l</math> ranges from 0 to <math>n-1</math>,</p>
<p><b>Магнит квант саны <math>m_l</math></b></p>	<p>Берилген <math>l</math> сани ушын <math>m_l = -l, -(l-1), \dots, 0, 1, \dots, l</math> мәнислерди қабыл етиўши хәм электронның белгили бағытға импульс моменти проекциясын анықлаўшы пүтин сан</p>	<p><b>The magnetic quantum number</b> describes the specific orbital within that subshell, and yields the <i>projection</i> of the orbital angular momentum <i>along a specified axis</i>: The values of <math>m_l</math> range from <math>-l</math> to <math>l</math>, with integer steps between them</p>
<p><b>Спин</b></p>	<p>Микробөлекшениң квант табиятына ийе хәм бөлекшениң пүтинлигинше қозғалысы менен байланыслы болмаған меншикли қозғалыс мұғдары моменти;</p>	<p><b>The spin projection quantum number (<math>m_s</math>)</b> describes the spin of the electron within that orbital, and gives the projection of the spin angular momen-</p>



	<p>Планк тұрақтысына есепті мәнісінде бүтін <math>(0, 1, 2, \dots)</math> және жарты бүтін болуы мүмкін <math>(1/2, 3/2, \dots)</math>.</p>	<p>tum <math>S</math> along the specified axis.</p> <p>In general, the values of <math>m_s</math> range from <math>-s</math> to <math>s</math>, where <math>s</math> is the spin quantum number, an intrinsic property of particles:</p>
<p><b>Паули принципі</b></p>	<p>Табиғаттың фундаментал заңы. Оған сәйкес квант системасында екі (яки одан көп) жарты бүтін спинге ие болған тап сондай бірдей бөлшектер бірдей жағдайда жайласа алмайды.</p>	<p>The <b>Pauli exclusion principle</b> is the quantum mechanical principle that states that two identical fermions (particles with half-integer spin) cannot occupy the same quantum state simultaneously.</p>

## ӘДЕБИЯТЛАР ДИЗИМИ

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. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер с англ. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2012.
4. W. Lucke. Introduction to Photonics. Draft. Technical University of Clausthal. 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. Помагайло, А.С. Розенберг, И.Е. Уфлянд. Наночастицы металлов в полимерах, М., Химия, 2000 г.

### Интернет ресурслар

1. <http://www.photonics.com>
2. [www.optics.arizona.edu](http://www.optics.arizona.edu) › Research › Specialties
3. [www.manchester.ac.uk](http://www.manchester.ac.uk).
4. [www.photonics.com/](http://www.photonics.com/)
5. [www.photonics21.org/](http://www.photonics21.org/)
6. [www.phys.soton.ac.uk/module/PHYS1004](http://www.phys.soton.ac.uk/module/PHYS1004)
7. [photonics.cusat.edu/](http://photonics.cusat.edu/)
8. [www.britannica.com/science/nanoparticle](http://www.britannica.com/science/nanoparticle)