

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ОЛИЙ ТАЪЛИМ ТИЗИМИ ПЕДАГОГ ВА РАЎБАР КАДРЛАРИНИ
ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШНИ
ТАШКИЛ ЭТИШ БОШ ИЛМИЙ - МЕТОДИК МАРКАЗИ**

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ПЕДАГОГ
КАДРЛАРИНИ ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ
ОШИРИШ ТАРМОК (МИНТАҚАВИЙ) МАРКАЗИ**

**“АМАЛИЙ ОПТИКА: СПЕКТРОСКОПИЯ,
ЛАЗЕР ФИЗИКАСИ ВА ФОТОНИКА”
модули бўйича**

Ў Қ У В – У С Л У Б И Й М А Ж М У А

Тошкент 2017

Мазкур ўқув-услубий мажмуа Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2017 йил 24 августдаги 603-сонли буйруғи билан тасдиқланган ўқув режа ва дастур асосида тайёрланди.

Тузувчи:

ЎзМУ, ф-м.ф.н., доцент
А.К. Касимов

Такризчи:

Катцухиро Накамура,
ЎзМУнинг физика факультети
ҳамда Осака шаҳар
университетининг нафақадаги
профессори (**Япония**).

*Ўқув -услубий мажмуа ЎзМУнинг кенгашининг 2017 йил _____ даги ____ -
сонли қарори билан тасдиққа тавсия қилинган.*

МУНДАРИЖА

I. ИШЧИ ДАСТУР	3
II. МОДУЛНИ ЎҚИТИШДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН ИНТРЕФАОЛ ТАЪЛИМ МЕТОДЛАРИ.....	9
III. НАЗАРИЙ МАШҒУЛОТ МАТЕРИАЛЛАРИ	9
IV. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ МАТЕРИАЛЛАРИ	66
V. КЕЙСЛАР БАНКИ.....	69
VI. МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ МАВЗУЛАРИ.....	76
VII. ГЛОССАРИЙ	78
VIII. АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ	84

I. ИШЧИ ДАСТУР

Кириш

Дастур Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июндаги “Олий таълим муассасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чоратадбирлари тўғрисида”ги ПФ-4732-сонли, 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги ПФ-4947-сонли Фармонлари, шунингдек 2017 йил 20 апрелдаги “Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чоратадбирлари тўғрисида”ги ПҚ–2909-сонли қарорида белгиланган устивор вазифалар мазмунидан келиб чиққан ҳолда тузилган бўлиб, у замонавий талаблар асосида қайта тайёрлаш ва малака ошириш жараёнларининг мазмунини такомиллаштириш ҳамда олий таълим муассасалари педагог кадрларининг касбий компетентлигини мунтазам ошириб боришни мақсад қилади.

Жамият тараққиёти нафақат мамлакат иқтисодий салоҳиятининг юксаклиги билан, балки бу салоҳият ҳар бир инсоннинг камол топиши ва уйғун ривожланишига қанчалик йўналтирилганлиги, инновацияларни тадбиқ этилганлиги билан ҳам ўлчанади. Демак, таълим тизими самарадорлигини ошириш, педагогларни замонавий билим ҳамда амалий кўникма ва малакалар билан қуроллантириш, чет эл илғор тажрибаларини ўрганиш ва таълим амалиётига тадбиқ этиш бугунги куннинг долзарб вазифасидир. “Амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника” модули айнан мана шу йўналишдаги масалаларни ҳал этишга қаратилган.

Амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника фани замонавий оптик қурилмалар билан таништириш, уларни ишлаш принциплари ва асосий оптик характеристикаларини ўрганиш, нурланиш спектрларини оптик усуллар билан қайд қилиш, наноструктуралар спектроскопияси, квант оптикаси, ноклассик нурлар ва уларнинг қўлланилиши, лазерлар физикаси ва фотоника асослари, фотоник кристаллар ва уларнинг турлари, нуртолали, компьютер фотоникаси, оптоинформатика, оптик сигналлар, уларнинг фундаментал ва амалий жараёнлари асосида замонавий асбоблар яратиш муаммолари баён этилган.

Модулнинг мақсади ва вазифалари

Амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника **модулининг мақсад ва вазифалари:**

- Замонавий оптик қурилмалар билан таништириш, уларни ишлаш принциплари ва асосий оптик характеристикаларини ўрганиш, оптик нурланишни қайд қилиш усуллари билан таништириш, электромагнит тулқинларни мухитларнинг атом ва молекулалари билан ўз-ара таъсирлашув жараёнларидаги физик ходисаларни ўрганиш, наноструктуралар спектроскопияси асослари билан танишиш. квант оптикаси ва ноклассик нурлар ҳақида маълумот бериш ва уларнинг қўлланилиши билан таништириш, фотоника асослари, фотоник кристаллар ва уларнинг

хусусиятлари, фотон компьютерлар яратилиш тенденциялари билан таништириш ва олинган билимларини амалиётга қўллаш малакавий кўникмаларини шакллантириш.

Модул бўйича тингловчиларнинг билими, кўникмаси, малакаси ва компетенцияларига қўйиладиган талаблар

“Амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника” курсини ўзлаштириш жараёнида амалга ошириладиган масалалар доирасида:

Тингловчи:

- замонавий спектроскопик қурилмалар, уларни ишлаш принциплари ва асосий характеристикалари;
- квант оптикаси асослари ва квант оптикасидаги нозикли жараёнлар;
- фотоника асослари, фотоник кристаллар ва ёруғлик нурини бошқариш усуллари ҳақида **билимларга эга бўлиши;**

Тингловчи:

- спектроскопик қурилмаларни ишлата олиш;
- квант оптикаси ва лазер физикасининг замонавий ютуқларинидан фойдаланиш;
- фотоник кристаллар, уларнинг хусусиятлари билиш ва ишлата олиш **кўникма ва малакаларини эгаллаши;**

Тингловчи:

- спектроскопик тадқиқотлар ўтказиш ва олинган натижаларни таҳлил қилиш;
- лазер қурилмалари ёрдамида квант оптикасига доир масалаларни хал қилиш учун тажрибалар ўтказиш **компетенцияларни эгаллаши лозим.**

Модулни ташкил этиш ва ўтказиш бўйича тавсиялар

“Амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника” курси маъруза, амалий ва кучма машғулотлар шаклида олиб борилади.

Курсни ўқитиш жараёнида таълимнинг замонавий методлари, педагогик технологиялар ва ахборот-коммуникация технологиялари қўлланилиши назарда тутилган:

- маъруза дарсларида замонавий компьютер технологиялари ёрдамида презентацион ва электрон-дидактик технологиялардан;
- ўтказиладиган амалий машғулотларда техник воситалардан, экспресс-сўровлар, тест сўровлари, ақлий ҳужум, гуруҳли фикрлаш, кичик гуруҳлар билан ишлаш, коллоквиум ўтказиш, ва бошқа интерактив таълим усуллари қўллаш назарда тутилади;
- кўчма дарсларда Республикамиздаги етакчи илмий тадқиқот институтларида олиб борилаётган тадқиқотлар билан танишиш назарда тутилган.

Модулнинг ўқув режадаги бошқа модуллар билан боғлиқлиги ва узвийлиги

“Амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника” модули мазмуни ўқув режадаги “Юқори энергиялар физикаси ва астрофизиканинг замонавий ҳолати” ва “Замонавий материалшунослик ва нанофизика” ўқув

модуллари билан узвий боғланган ҳолда педагогларнинг касбий педагогик тайёргарлик даражасини оширишга хизмат қилади.

Модулнинг олий таълимдаги ўрни

Модулни ўзлаштириш орқали тингловчилар спектрал қурилмалар, лазерлар ва фотоник кристалларни амалда қўллаш ва баҳолашга доир касбий компетентликка эга бўладилар.

“Амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника”

Модул бўйича соатлар тақсимооти

№	Модул мавзулари	Тингловчининг ўқув юкلامаси, соат					Мустақил таълим
		Ҳаммаси	Аудитория ўқув юкلامаси				
			Жами	Назарий	Амалий машғулот		
1.	Замонавий спектрал қурилмалар, уларни ишлаш принциплари ва асосий оптик характеристикалари.	8	8	2	6		
2.	Оптик нурланишлар, уларни қайд қилиш усуллари, электромагнит тулқинларни муҳитларнинг атом ва молекулалари билан ўзаро таъсирлашуви.	2	2	2			
3.	Наноструктуралар спектроскопияси асослари.	2	2	2			
4.	Квант оптикаси ва ноклассик нурлар, нозизиқли жараёнлар.	8	8	2		4	
5.	Фотоника асослари, фотоник кристаллар ва уларнинг хусусиятлари, фотон компьютерлар яратилиш тенденциялари.	8	6	2	6		2
Жами:		28	26	10	12	4	2

НАЗАРИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

1 - Мавзу: Замонавий спектрал қурилмалар, уларни ишлаш принциплари ва асосий оптик характеристикалари

Спектрал

қурилмаларни

классификацияси.

Асосий

характеристикалари. Оптик схемалари ва ишлаш принциплари. Ажрата олиш қобилияти. Призмали спектрал қурилмалар. Призмали спектрал қурилмалар хусусиятлари.

2 - Мавзу: Оптик нурланишлар, уларни қайд қилиш усуллари, электромагнит тулқинларни мухитларнинг атом ва молекулалари билан ўзаро таъсирлашуви

Нурланиш манбаларини турлари. Оптик тадқиқотларда нурланиш манбаларига қўйиладиган талаблар. Оптик квант генераторлари. Чизиқли (узлукли) ва узлуксиз спектрлар тарқатувчи ёруғлик манбалари. Оптик нурланишни қайд қилиш усуллари.

3 - Мавзу: Наноструктуралар спектроскопияси асослари

Наноструктуралар спектроскопиясининг узига хос томонлари. Зеeman ходисаси ва магнитавий резонанс (ЭПР, ЯМР). Пашен-Бак эффекти. Штарк ходисасининг умумий таърифи.

4 - Мавзу: Квант оптикаси ва ноклассик нурлар, ночизиқли жараёнлар

Квант оптикаси асосий тушунчалари. Квант оптикаси ва лазер физикасининг замонавий ютуқларини Корпучкуляр тўлқин дуализми. Фотон массаси ва импульси. Комптон эффекти. Ноклассик нур ва унинг қўлланилиши. Браун-Твисс тажрибаси. Белл тенгсизлиги.

5 - Мавзу: Фотоника асослари, фотоник кристаллар ва уларнинг хусусиятлари, фотон компьютерлар яратилиш тенденциялари

Фотоника асослари, фотоник кристаллар ва уларнинг хусусиятлари. Фемтосекунд узунлигидаги лазер импульсларини генерациялаш. Ўз – ўзини фокусилаш. Оптик транспортлар. Оптик компьютерларда математик амалларни бажариш.

АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ МАЗМУНИ

1-Амалий машғулот

Замонавий спектрал қурилмалар, уларни ишлаш принциплари ва асосий оптик характеристикалари.

Замоновий спектрал қурилмаларнинг оптик схемалари ва ишлаш принциплари. Турли атомларнинг спектрларини компьютерда моделлаштириш. Сифат спектрал анализ утказиш техникасини ўрганиш ва куникмалар ҳосил қилиш.

2-Амалий машғулот

Фотоника асослари, фотоник кристаллар ва уларнинг хусусиятлари, фотон компьютерлар яратилиш тенденциялари.

Бир ўлчамли фотон кристаллари, икки ва уч ўлчамли фотон кристаллари. Фотон кристаллари хусусиятларини матрицалар ёрдамида тавсифлаш. Периодик структурали мухитларда Фурье оптикаси элементларини қўллаш.

КЎЧМА МАШҒУЛОТ МАЗМУНИ

Кўчма машғулотлар модул соҳаси бўйича етакчи олий таълим

кафедралари ва илмий-тадқиқот муассасалари лабораториялари ҳамда ишлаб чиқариш корхоналари бўлимларида ташкил этилади. Мазкур машғулотлар соҳага оид долзарб мавзуларда тажриба-синов ва лаборатория машғулотлари ҳамда танишув амалиёти шаклларида олиб борилади. Шунингдек, таъкидланган муассасалар ва корхоналар етакчи мутахассислари томонидан республика ва хорижий илмий марказларда соҳа йўналишида амалга ошириладиган илғор илмий ва амалий тадқиқотлар бўйича таҳлилий шарҳлар берилиши масқадга мувофиқдир.

Қўчма машғулотлар учун қуйидаги мавзулар тавсия этилади:

1 мавзу: Квант оптикиси ва ноклассик нурлар, ночизикли жараёнлар.

Қўчма машғулотларда фотоника соҳасида Республикамизда олиб бориладиган илмий тадқиқотлар билан танишиш, шу соҳада изланаётган олимлар билан учрашувлар ташкил этиш ва имконият доирасида экспериментал тадқиқотларда қатнашиш назарда тутилган.

МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ

Тингловчи мустақил ишни модулни хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қуйидаги шакллардан фойдаланиб тайёрлаши тавсия этилади:

- ўқув, илмий адабиётлардан ва меъёрий ҳужжатлардан фойдаланиш асосида модул мавзуларини ўрганиш;
- тарқатма материаллар бўйича маърузалар қисмини ўзлаштириш;
- автоматлаштирилган ўргатувчи ва назорат қилувчи дастурлар билан ишлаш;
- махсус адабиётлар бўйича модул бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
- тингловчининг касбий фаолияти билан боғлиқ бўлган модул бўлимлари ва мавзуларни чуқур ўрганиш;
- фанга оид статистик маълумотларни ўрганиш, уларни таҳлил қилиш.

ЎҚИТИШ ШАКЛЛАРИ

Мазкур модул бўйича қуйидаги ўқитиш шаклларидан фойдаланилади:

- маърузалар, амалий машғулотлар (амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника асосларини ўзлаштириш, бу соҳадаги билимларни амалий қўллаш малакасини эгаллаш, амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника ривожланишида физиканинг ўрнини англаш, ўзлаштирилган билимларни узлуксиз равишда мустаҳкамлаб бориш);
- амалий тажрибалар ва уларни муҳокамалари (спектроскопия, лазер физикаси ва фотоникага оид амалий тажрибалар ўтказиш, натижаларни муҳокама этиш, физик хусусиятлари ҳақидаги назарий ва амалий билимларни ўқув ва илмий тадқиқотларда қўллай олиш малакасига эгаллаш);
- ўзлаштирилган билимларни таҳлил этиш ва мустаҳкамлаш (маърузалар ва амалий машғулотлар бўйича ўзлаштирилган билимларни амалий оптика: спектроскопия, лазер физикаси ва фотоника нуқтаи назаридан таҳлил қилиш,

зарур ҳолларда қўшимча адабиётлар материаллари билан бойитиш, чуқурлаштириш ва янада мукамаллаштириб бориш кўникмасини эгаллаш).

ЖОРИЙ НАЗОРАТ(АССИСМЕНТ)НИ БАҲОЛАШ МЕЗОНИ

Жорий назорат(ассисмент)ни баҳолаш Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва уларнинг малакасини ошириш Тармоқ (минтақавий) марказида тасдиқланган шакллари ва мезонлари асосида амалга оширади.

Ушбу модулнинг жорий назорат(ассисмент)га ажратилган максимал балл-**0,9 балл**.

II. МОДУЛНИ ЎҚИТИШДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН ИНТРЕФАОЛ ТАЪЛИМ МЕТОДЛАРИ.

“Тушунчалар таҳлили” методи

Методнинг мақсади: мазкур метод талабалар ёки қатнашчиларни мавзу бўйича таянч тушунчаларни ўзлаштириш даражасини аниқлаш, ўз билимларини мустақил равишда текшириш, баҳолаш, шунингдек, янги мавзу бўйича дастлабки билимлар даражасини ташхис қилиш мақсадида қўлланилади.

Методни амалга ошириш тартиби:

- иштирокчилар машғулот қоидалари билан таништирилади;
- ўқувчиларга мавзуга ёки бобга тегишли бўлган сўзлар, тушунчалар номи туширилган тарқатмалар берилади (индивидуал ёки гуруҳли тартибда);
- ўқувчилар мазкур тушунчалар қандай маъно англатиши, қачон, қандай ҳолатларда қўлланилиши ҳақида ёзма маълумот берадилар;
- белгиланган вақт якунига етгач ўқитувчи берилган тушунчаларнинг тугри ва тулиқ изоҳини уқиб эшиттиради ёки слайд орқали намойиш этади;
- ҳар бир иштирокчи берилган тугри жавоблар билан узининг шахсий муносабатини таққослайди, фарқларини аниқлайди ва ўз билим даражасини текшириб, баҳолайди.

“Ассесмент” методи

Методнинг мақсади: мазкур метод таълим олувчиларнинг билим даражасини баҳолаш, назорат қилиш, ўзлаштириш кўрсаткичи ва амалий кўникмаларини текширишга йўналтирилган. Мазкур техника орқали таълим олувчиларнинг билиш фаолияти турли йўналишлар (тест, амалий кўникмалар, муаммоли вазиятлар машқи, қиёсий таҳлил, симптомларни аниқлаш) бўйича ташхис қилинади ва баҳоланади.

Методни амалга ошириш тартиби:

“Ассесмент” лардан маъруза машғулотларида тингловчиларнинг мавжуд билим даражасини ўрганишда, янги маълумотларни баён қилишда, семинар, амалий машғулотларда эса мавзу ёки маълумотларни ўзлаштириш даражасини баҳолаш, шунингдек, ўз-ўзини баҳолаш мақсадида индивидуал шаклда фойдаланиш тавсия этилади. Шунингдек, ўқитувчининг ижодий ёндашуви ҳамда ўқув мақсадларидан келиб чиқиб, ассесментга қўшимча топшириқларни киритиш мумкин.

“Инсерт” методи

Методнинг мақсади: Мазкур метод ўқувчиларда янги ахборотлар тизимини қабул қилиш ва билмларни ўзлаштирилишини енгиллаштириш мақсадида қўлланилади, шунингдек, бу метод ўқувчилар учун хотира машқи вазифасини ҳам ўтайди.

Методни амалга ошириш тартиби:

➤ ўқитувчи машғулотга қадар мавзунинг асосий тушунчалари мазмуни ёритилган инпут-матнни тарқатма ёки тақдимот кўринишида тайёрлайди;

➤ янги мавзу моҳиятини ёритувчи матн таълим олувчиларга тарқатилади ёки тақдимот кўринишида намойиш этилади;

➤ таълим олувчилар индивидуал тарзда матн билан танишиб чиқиб, ўз шахсий қарашларини махсус белгилар орқали ифодалайдилар. Матн билан ишлашда талабалар ёки қатнашчиларга қуйидаги махсус белгилардан фойдаланиш тавсия этилади:

Белгилар	1-матн	2-матн	3-матн
“V” – таниш маълумот.			
“?” – мазкур маълумотни тушунмадим, изоҳ керак.			
“+” бу маълумот мен учун янгилик.			
“– ” бу фикр ёки мазкур маълумотга қаршиман?			

Белгиланган вақт якунлангач, таълим олувчилар учун нотаниш ва тушунарсиз бўлган маълумотлар ўқитувчи томонидан таҳлил қилиниб, изоҳланади, уларнинг моҳияти тўлиқ ёрилади. Саволларга жавоб берилади ва машғулот якунланади.

“Портфолио” методи

“Портфолио” – (итал. portfolio-портфель, ингл.хужжатлар учун папка) таълимий ва касбий фаолият натижаларини аутентик баҳолашга хизмат қилувчи замонавий таълим технологияларидан ҳисобланади. Портфолио мутахассиснинг сараланган ўқув-методик ишлари, касбий ютуқлари йиғиндиси сифатида акс этади. Жумладан, талаба ёки тингловчиларнинг модул юзасидан ўзлаштириш натижасини электрон портфолиолар орқали текшириш мумкин бўлади. Олий таълим муассасаларида портфолионинг

қуйидаги турлари мавжуд:

Фаолият тури	Иш шакли	
	Индивидуал	Гуруҳий
Таълимий фаолият	Талабалар портфолиоси, битирувчи, докторант, тингловчи портфолиоси ва бошқ.	Талабалар гуруҳи, тингловчилар гуруҳи портфолиоси ва бошқ.
Педагогик фаолият	Ўқитувчи портфолиоси, раҳбар ходим портфолиоси	Кафедра, факультет, марказ, ОТМ портфолиоси ва бошқ.

III. НАЗАРИЙ МАШҒУЛОТ МАТЕРИАЛЛАРИ

1 – МАВЗУ. ЗАМОНАВИЙ СПЕКТРАЛ ҚУРИЛМАЛАР, УЛАРНИ ИШЛАШ ПРИНЦИПЛАРИ ВА АСОСИЙ ОПТИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

РЕЖА

1.1.Спектрал қурилмаларни классификацияси. Асосий характеристикалари. Оптик схемалари ва ишлаш принциплари.

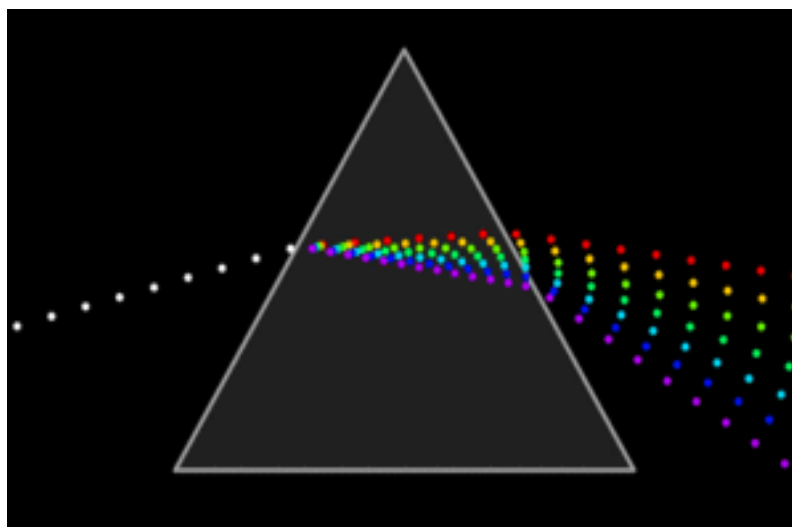
1.2.Ажрата олиш қобилияти. Призмали спектрал қурилмалар.

1.3. Призмали спектрал қурилмалар хусусиятлари.

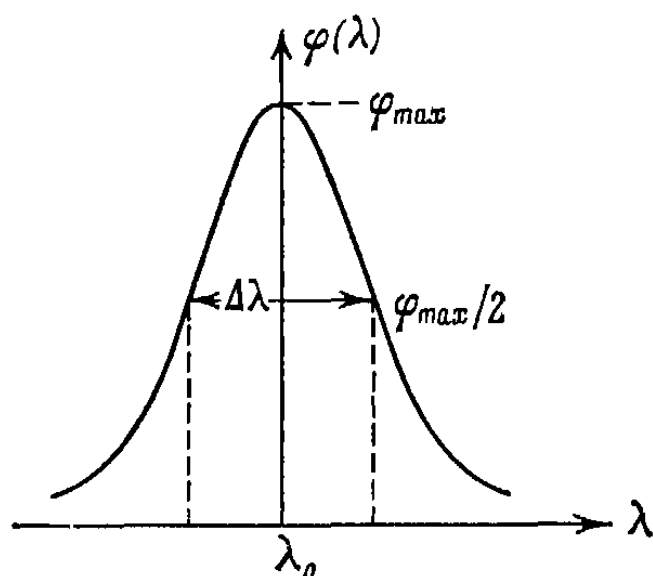
Таянч иборалар: *Спектрал чизик, дисперсия, кварц призма, ажрата олиш қобилияти, аппарат функция, линза фокус масофа.*

1.1.Спектрал қурилмаларни классификацияси. Асосий характеристикалари. Оптик схемалари ва ишлаш принциплари.

Маълумки инсон атроф муҳит ҳақидаги маълумотни 80 % ни кўриш орқали қабул қилади. 20 % бошқа тўртта сезиш органларига қолган. Шу сабабли ҳам инсонни кўриш қобилияти, имконийтларини жишириш учун минглаб турли хилдаги қурилмалар яратилди. Ана шу қурилмаларни барчасини ишлаб чиқиш ва қўллаш амалий оптикага доир вазифалар. Бизнинг вазифамиз ёруғликни спектрал анализ қилиш техникасини ўрганиш.



Спектр ўзи нима? Ёруғлк спектри бу ёруғлик интенсивлигини (нергиясини) частоталар (тўлқин узунлиги) бўйича тақсимооти.

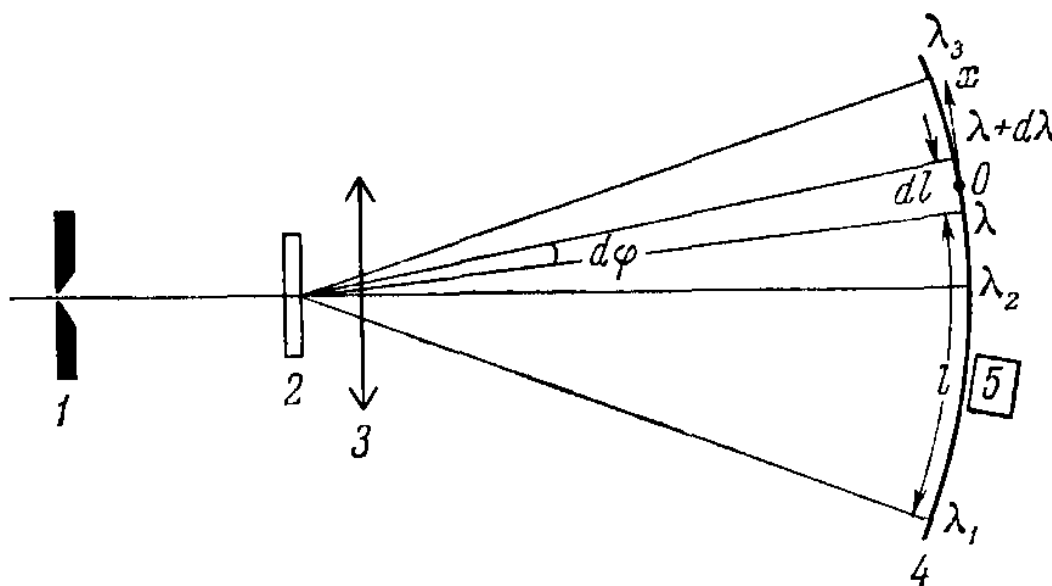


Бу турдаги боғланиш иссиқлик нурланиши учун биламиз¹. Иссиқли нурланиши учун

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

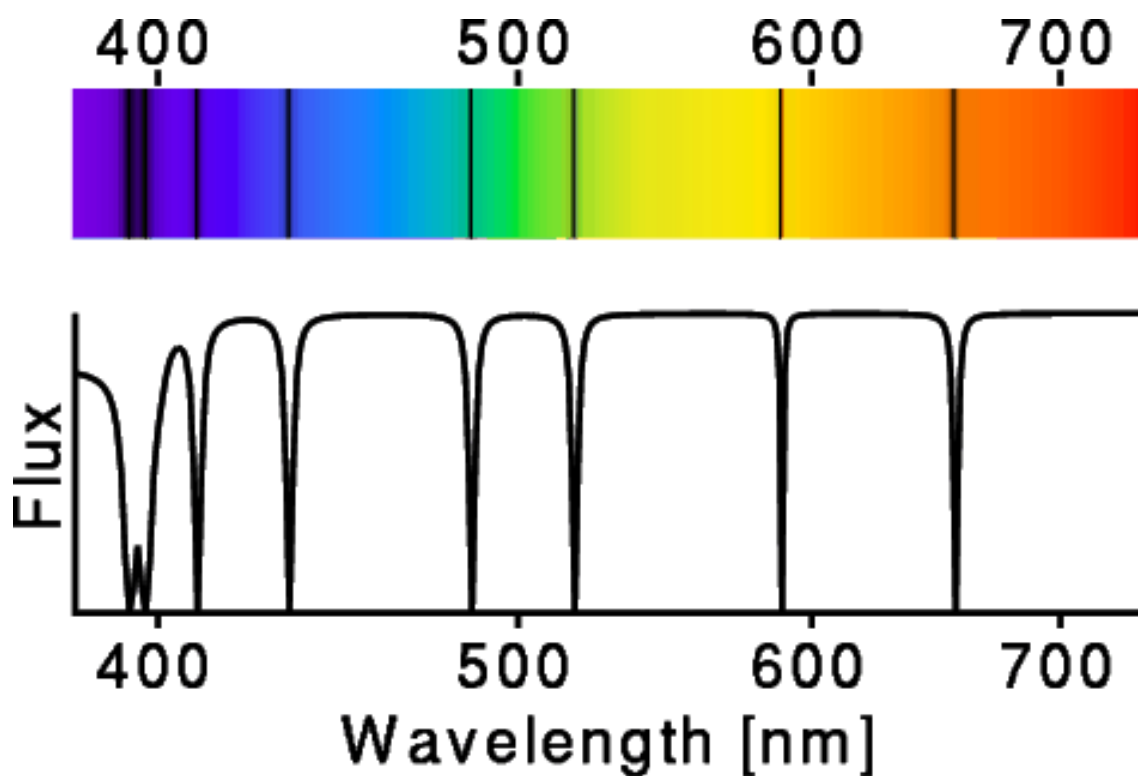
Планк формуласи ўринли деган эдик. Мисол; метал кристалл шаклида, метал газ шаклида. Моддани ёруғликни ютиши ундаги атомлар энергетик ўтишларига боғлиқ. Ёруғлик спектри чизикли, полосали ва узликсиз бўлиши мумкин. Спектр модда атомини тузлишини тушинтиришда энг асосий қурол. Ёруғликни спектрга ёйиш усулининг энг сода холи. Франгоуфер спектрометри. Бу усул дисперсия ҳодисасига асосланган яъни $n(\lambda)$. Шундай моддадан ясалган призма спектрометр асоси бўлади.

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



Спектрал қурилмаларни характерловчи катталиклар

1-тирқиш, 2-дисперсия ҳосил қилувчи элемент, 3-линза, 4-фокал эқислик, 5-қабул қилғич



Агарда дисперсияловчи элементдан сўнг ингичка тирқиш қўйилса у ҳолда чиқишда фақат битта тўлқин узинлигидаги нур чиқади. Бу турдаги қурилмани монохраматор

Агарда бир нечта тирқиш қўйилиб бир нечта тўлқин узунлигини олсак у ҳолда полихроматор.

Спектрни қайд қилиш қилиш усулларига қараб:

Спектроскоп - агарда кузатиш визуал

Спектрограф - агарда спектр фотопластикага қайд қилинса

Спектрометр - агарда фотоқабул қилгич ишлатилса

Спектрал қурилмалар баъзи характеристикалари:

Бурчак дисперсияси

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

Чизиқли дисперсия

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

Кўп ҳолда тескари дисперсия қўлланилади

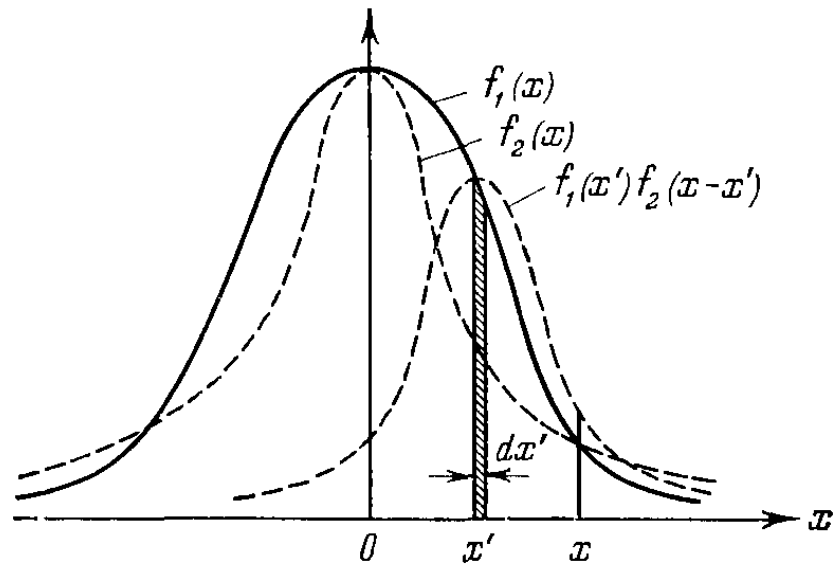
$$\frac{1}{D_l} = \frac{d\lambda}{dl} \left[\frac{A^\circ}{mm} \right]$$

Чалқштириш керак эмас материал дисперсияси билан

Идеал қурилмада тирқиш тасвири фокал текисликда ингичка чизиқлар сифатида кўриниши керак эди. Лекин реал қурилмада бундай эмас. Бир қанча сабаблар борки тасвир бузилиб кўринади. Қурилмани таъсири:

1. Тирқиш кенглиги чекли қийматга эга.
2. Дифракцион ҳодисалар ҳисобига тасвир кенгайиши.
3. Оптик системасини дефектлари.
4. Регистратсия воситаси киритадиган кенгайиш.

Демак спектрал қурилма монохроматик ёруғлик қайд қилганда битта чизиқ ўрнига қандайдир контурни регистратция қилади.



Ана шу контурдан кичик бир бўлақ олсак

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

Бу еда Φ тўлқин оқимга мос интеграл сигнал. $f(\lambda)$ функция қурилмани аппарат функцияси дейилади

Аппарат функция нормалланган бўлади

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

Аппарат функция қанақа бўлиши мумкин баъзи ҳолларини кўрамиз.

1-ҳол. Тирқиш чексиз кичик нур монохроматик бўлсин. У ҳолда фокал текисликдаги тасвир фақат дифраксия билан аниқланади.

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

б-диафрагма ўлчами

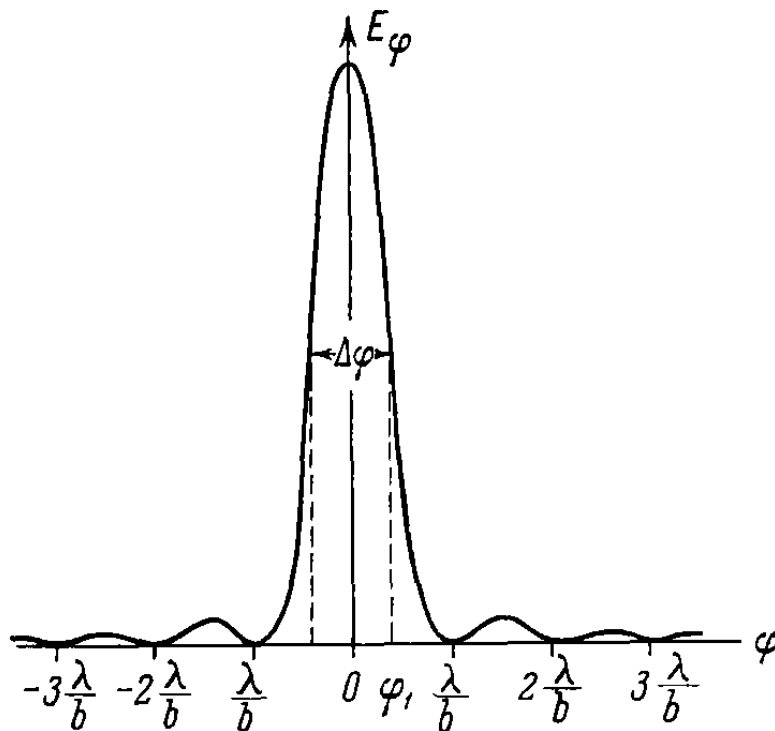
φ — марказдан бошлаб ҳар икки томонга саналадиган бурчак φ лар кичик бўлганда $\sin \varphi \approx \varphi$ деб олиш мумкин.

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

Бу функциянинг кўриниши маълум. Бу боғланишни $f_1(x)$ — ёзиш мумкин

$\varphi = \frac{x}{r}$ — линзанинг фокус масофаси

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



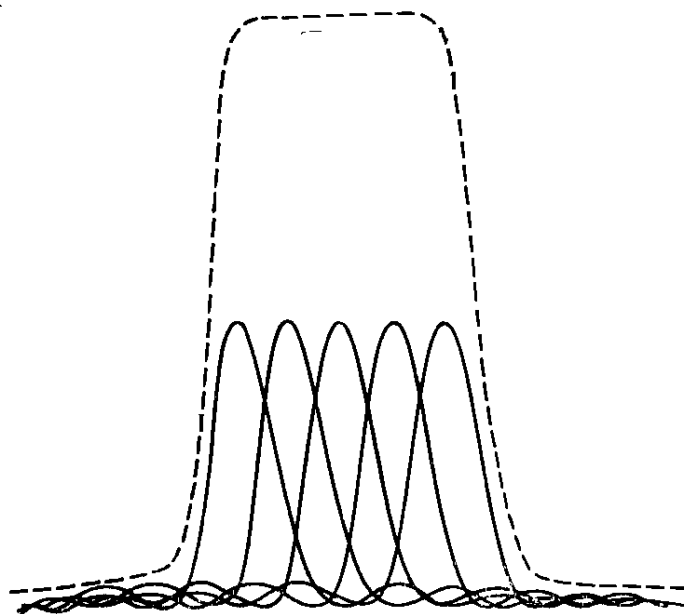
2-ҳол. Тирқиш кенг нурланиш монохроматик тирқиш нолинчи дифракцион максимумдан анча кенг уҳолда дифраксиани ҳисобга олмаса бўлади ва тасвир бир текис ёритилган деб ҳисоблаймиз.

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

Демак хулоса қилиб айтиш мумкинки бошқа таъсирларни ҳисобга олмаганда аппарат функция бу системага монохроматик ёруғлик тушганда чиқишдаги ёритилганлик тақсимотини бердиган функция.

1.2 Ажрата олиш қобилияти. Призмали спектрал приборлар.

Тирқиш кенлиги етарлича ката лекин дисперсия мавжуд, яни дисперсияни ҳисобга олишга тўғри келади. У ҳолда тирқишни бир қатор чексиз кичик тирқишларга бўламиз. Тирқиш текислигини y -координата билан белгилаймиз у ҳолда элементар тирқиш кенлиги δy унинг координатаси y_1 деб оламиз. У ҳолда ҳар бир элементар тирқиш фокал текислигида ифраксион тасвир ҳосил қилади. Ҳосил бўлган тасвир максимумлари x_1 нуқтага тўғри келади, бу ёритилганлик (1) кўринишидаги функция билан аниқланади. Фақат аргументни x ($x - x_1$) ўзгартириш керак



Тирқишлар когерент эмас. У ҳолда умумий ёритилганликни аниқлаш учун $f_1(x - x_1)$ ни $-\frac{a_1}{2}$ дан $\frac{a_1}{2}$ гача интеграллаш керак. Демак

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

бу ерда $\delta l = \frac{\lambda r}{b}$. Агарда тирқишлар когерент бўлса у ҳолда

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

Енди чизиқли кенгайиш 2 та турли сабаблар ҳисобига келиб чиқади деб ҳисоблаймиз. У ҳолда

$f_1(x)$ - биринчи сабаб контури

$f_2(x)$ - иккинчи сабаб контури

Йиғинди контурни олиш учун яна интеграллаш керак бўлади. Яъни мисол учун $f_1(x)$ –ни майда интегралларга бўламиз бу элементлар координатаси x_1 , кенглиги dx_1

Ҳар бир $f_1(x)$ - ни элементи $f_2(x)$ -ни таъсири натижасида кенгайди ва кенгайган контур $f_2(x)$ билан аниқланади лекин координата x_1 га суриладива ёритилганлик $f_1(x_1)dx_1$ -га пропорсионал бўлади. Демак шу элементнинг таъсири умумий контурга хнуктадаги таъсири

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

Умумий контур

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

Чап томонда турган интеграл свертка деб аталади. Кўп ҳолларда $f_1(x)$ ва $f_2(x)$ лар бирор $x_1 < x < x_2$ ораликда нолдан катта бўлади. У ҳолда

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

деб ёзиш мумкин.

Сверткада қайси функция қай бирига кўшилишини аҳамияти йўқ. Яъни

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

Свертканинг яна битта муҳим хусусияти, агрда учта тасвир бўлса у ҳолда

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

агарда n та функция таъсир этса

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

2- интегралга қайтамиз бу интегралда $F(x)$ ва $f_2(x)$ маълум бўлса $f_1(x)$ аниқлаш мумкин (исботсиз). Бу такидлаш оптика ва радиофизика ката ўрин

эгаллайди.

Спектрал чизиқлар кенглиги шу пайтгача идеал ҳолатни кўриб спектрографга тушаётган ёруғлик монохроматик деб ҳисоблаш келдик. Лекин аслида ҳар қандай спектрал чизиқ кенгликка эга ва ундаги энергия тахминан

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

Кўп ҳолларда $\varphi(\lambda)$ максимумдан иккала тарафда асимтотик равишда нолга интилади. Шунинг учун унинг кенглигини аниқ айтиб бўлмайди. Шу сабабли спектрал чизиқ кенглиги деб уни ярим баландликдаги кенглиги олинган.

Бу интервал чизиқ ярим кенглиги дейилади баъзи ҳолда $\frac{I_{max}}{e}$ га нисбати олинади

Худди шундай спектрал қурилманинг аппарат функцияси кенглиги ҳам аниқланади.

Мисол: дифраксион тасвир учун тўғри бурчакли контурда ярим кенглик

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

Охирги натижамиз

$U(x)$ -тасвир, $\varphi(x)$ -спектр кенглиги, $F(x)$ -аппарат функция хисобга олиб

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

деб ёзиш мумкин

Демак спектрограф чиқишидаги тасвирни билсак спектрограф аппарат функциясини аниқласак, у ҳолда тушаётган спектрни аниқ айтиб бера оламиз.

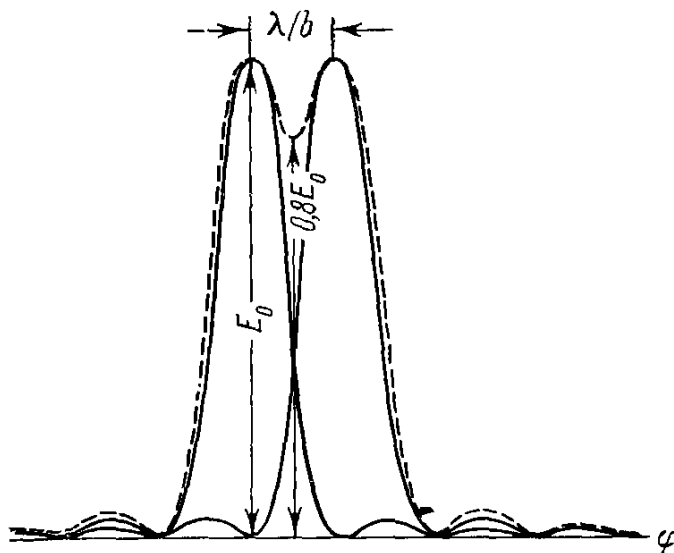
$\varphi(x)$ -ни аналитик аниқлаш ҳамма вақт ҳам мумкин эмас. Шунинг учун интегралламасдан туриб баъзи хусусий ҳолларни кўрамиз.

1-ҳол. Спектр кенглиги аппарат функция кенглигидан кичкина ва $\varphi(x)$

нолдан $[x - \Delta x ; x + \Delta x]$ оралиғида фарқли. Демак

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

$F(x)$ -ни қиймати $[x - \Delta x ; x + \Delta x]$ интервалида кўп ўзгармайди



Шу сабабли ўртача қиймат теоремасига асосан функцияни бирор қиймат билан шу орликда алмаштира бўлади. $F(x) = F(\bar{x})$ бу ерда $\bar{x} \in [x - \Delta x ; x + x\Delta]$ у хода

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

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

Демак $U(x)=F(x)$

Яна бир марта $F(x)$ ни берилган интервалда ҳам ўзгаришини ҳисобга олсак у холда

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

Демак чиқиш контури аппарат функция билан мос келаяпти.

Хулоса. Агарда чиқиш контури аппарат функция билан мос тушса у холда киришдаги нурланишни монохраматик деб ҳисобласа бўлади.

Тескари ҳам ўринли. Нурланишда энаргияни тўлқин узунликлари бўйича тақсимотини аниқлаш учун (сектрни аниқлаш), спектрал қурилманинг

аппарат функцияси спектр кенглигидан кичик бўлиши керак. Одатда аппарат функция кенглигини ангестрм ёки $\frac{1}{sm}$ да ўлчанади.

Ўлчаш хатоликлари таъсири, яъни асосий натижага қайтамыз.

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

Агарда $F(x)$ маълум бўлса $U(x)$ ни ўлчаб олсак у ҳолда $\varphi(x)$ ни ихтиёрий аниқликда аниқлаш мумкин деган хулосага каламиз, яъни қурилманинг сифати ҳеч нарсани аниқламайди.

Бу ерда $U(x)$ ва $F(x)$ ларни аниқлашдаги хатолик ҳисобга олинмаган. Қурилманинг хатоликлар киритиши учун ажрата олиш қобилияти билан аниқланади. Ажрата олиш қобилиятини аниқлашдан олдин иккита чизиқни қайси ҳолда ажралган диймиз. Шунини аниқлаб оламиз. Чизиқларни ажралганини Релий критерийси билан фарқлаш қулай бўлади. Релий критерийси: энг кичик ажрата олиши мумкин бўлган интервал деб шу контурдаги бош максимум ва биринчи минимум орасидаги масофани айтамыз.

Бурган ўлчов бирликларида

$$\delta\varphi = \frac{\lambda}{b}$$

Демак икки монохроматик бир хил ёрқинликдаги чизиқлар ажралган бўлади.

Агарда биринчисини минимуми ккинчисини максимумига мос келса

Бу контурлар чизиқлари кесишган жой $\varphi = \frac{b}{2\lambda}$ шу қийматни

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

У ҳолда ёритилганлик 0,8 ёритилганлик беради. Демак ёритилгандаги чуқурлик максимумдан 20 % ни ташкил қилади. Бу фарқни кўз илғай олади.

Шу сабабли икки чизиқ $\delta\varphi = \frac{\lambda}{b}$ масофада жойлашган бўлса, у ҳолда улар алиҳида кўринади. Энди бурчак дисперсияси формуласини эслаймиз.

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

Енг кичик ажраладиган интервал, яъни курилманинг ажратиш чегараси.

Ишлатишга бошқа катталиқ кулайроқ бўлади.

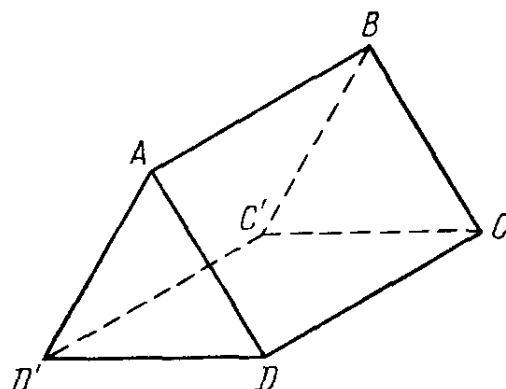
$R = \frac{\lambda}{\delta l} = bD_{\varphi}$ Релий критерийси бўйича ажрата олиш кучи, ёки назарий ажрата олиш кучи.

Бу критерий мукамал эмас.

Мисол: икки ёнма-ён чизиқ ёркинликлари 10:1 муносабатда бўлсин ва улар орасидаги масофа $\frac{\lambda}{b}$ бўлсин у ҳолда уларни ажратиб бўлмайди.

Демак Релий критерийси икки чизиқ ажралиши ҳақида аниқ тасаввур бўлмайди, лекин курилмаларни солиштиришда жуда кулай критерий.

Призмали спектрал курилмалар спектрларни ўрганишдаги биринчи курилма. Спектрал призма бу шаффоф материалдан тайёрланган, ката дисперсияга эга бўлган кўп киррали жисм. ($\frac{dn}{d\lambda}$ -дисперсия) демак призма ясаладиган материалга бир қатор талаблар қўйилади.

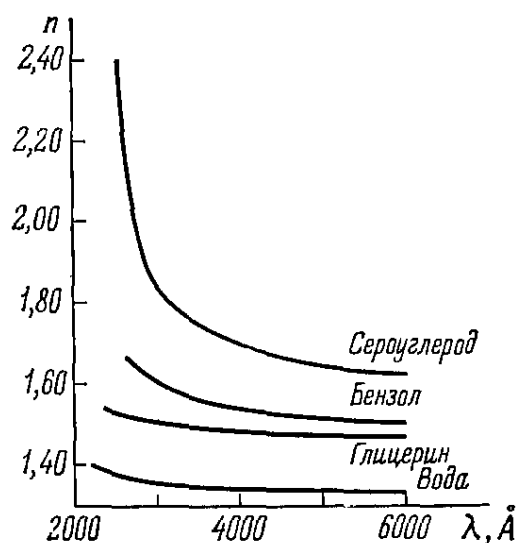


Яъни материал тадқиқот ўтказиладиган тўлқин узинликларида шаффоф ва юқори дисперсияга эга бўлиши керак. $\frac{dn}{d\lambda}$ яна у оптик жиҳатдан бир жинсли ва изотроп бўлиши керак. Қолаверса унга осон ишлов берилиши керак ва у арзон бўлиши керак.

Табиий кварс 2000÷4000 А° орасида яхши дисперсия эга. Лекин 4000 А° кийин дисперсия тез камаяди. Эритилган кварс ҳам шунга ўхшаш лекин дисперсияси камроқ ўзи арзонроқ. Табиатда ката кварс кристаллари кам учрайди у ҳам қиммат туради.

Шиша: 5000 ÷ 7000 Å орасида, дисперсияси яхши “(кварсда кам)

Ўтказиш спектри



Кварсда: ўтказиш қобилияти 2500 Å дан бошлаб бирга яқин баъзи табиий кристаллар 2000 Å да яхши ўтказиши мумкин.

Шиша: ~4200 Å лардан бошлаб ўтказиш бирга яқин.

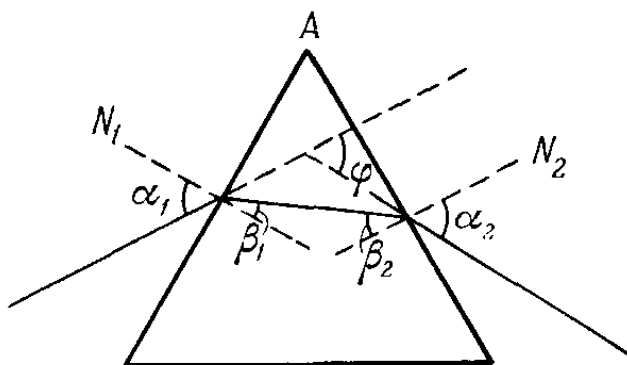
Хулоса: Ултирабинафша соҳада 2000 Å ката тўлқинларда табиий кварснинг алоҳида намуналари ишлаши мумкин. 2500Å узин тўлқинларда кварс призмалар ишлатишга қулай. 4200 Å лардан бошлаб шиша призмалар қулай бўлади.

Ўлчамлари:

Призмалар одатда 10 см дан кичик бўлади. Ундан ката пиризма ишлаб чиқиш қийин ва қиммат бўлади. Кенг деталлар билан ишлаш керак бўлганда, призма шаклидаги идишга дисперсияси катта суюқлик солинади. Баъзида эса бир канча призмаларни биргаликда ишлатилади. (мураккаб призмалар)

1.3. Призмали спектрал қурилмалар хусусиятлари.

Фараз қилайлик n ва $\frac{dn}{d\lambda}$ призманинг бутун ҳажми бўйича бир хил. Призмага тушаётган барча нурларни траекториясини аниқлаш қийин. Шунинг учун соддалаштирилган ҳол бўлган асосий кесимда ётувчи нурларни кўрамиз.



Асосий кесимда нурларни синиши

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

Кўп ҳолларда A , n , α ларни олдиндан аниқлаш мумкин. Қолганларини юқоридаги спектрдан аниқласа бўлади.

Призмани характерловчи катталиклар.

1. Чегаравий бурчак. Чегаравий бурчакни аниқлаш учун $\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ$ ($\sin \alpha_1 = \sin \alpha_2 = 1$) у ҳолда $\beta_1 = \beta_2 = \arcsin \frac{1}{n} A_{max} = 2 \arcsin \frac{1}{n} A$ агарда $A > A_{max}$ у ҳолда призмага тушган ихтиёрий нур иккинчи синдирувчи томонга тўла ички қайтиш бурчагидан ката бурчакда тушади ва призма асосидан чиқади.

Агарда $n = 1,5 \div 1,8$ ўртасида бўлади, у ҳолда $A_{max} = 84^\circ \div 64^\circ$ бўлади.

Кўп ҳолда $A \approx 60^\circ$ олинади.

2. Энг ката оғиш бурчаги яна ўша тенгламалар системасидан аниқлаш мумкинки $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_0$ бўлганда $\varphi = \varphi_{min}$. Бу ҳолда тушувчи ва чиқувчи нурлар призмага нисбатан симметрик бўлади ва призма ичида асосига параллел бўлади.

Унинг қийматини аниқлаш учун

$A = 60^\circ$, $n = 1,6$ деб оламиз унда

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

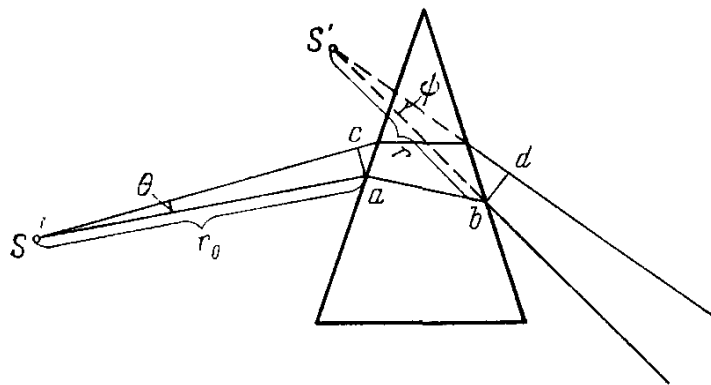
3. Призманинг бурчак катталаштириши

Бир икки катталикларда призмага битта нур тушаяпти деб фараз қилди. Аслида призмага гатосентрик нурлар дастаси тушади.

б ва д- лар тушувчи ва чиқувчи даста кесимлари.

$$\text{Бурчак кучайтириши деб } \omega = \frac{\psi}{\theta} = \frac{b}{d}$$

Призманинг бурчак катталаштиришисон жиҳатдан тўлиқ фронтини призмадан ўтганда сиқилишига тенг.



Параллел дасталар ҳам сиқилиши ва кенгайиши мумкин.

Қурилманинг бурчак дисперсияси $D_\varphi =$ буни аниқлаш учун яна ўша асосий тенгламалар системасини дифференциллаш керак бўлади ва $\frac{d\alpha_1}{d\lambda} = 0$ тушиш бурчагини ўзгармас деб ҳисобласак у ҳолда призмани энг ката оғиш бурчагида ўрнатилган деб дисперсия учун оламиз.

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

Баъзи белгилашлар киритайлик шу тасвирдан

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

Демак

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

А-бурчакни 60° эб олсак $\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{2}{\sqrt{4-n^2}} \frac{dn}{d\lambda}$

Кўп ҳолларда призмалар энг кам оғиш бурчагига қўйилади ва уларни синдириш бурчаги $A=60^\circ$ бўлади. Бу иккала формула ҳам баъзи соддалаштириш эвазига олинган бўлса ҳам яхши натижалар беради.

Агарда бизда призмалар системаси берилган бўлса у ҳолда

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

Агарда призмалар энг кам оғиш ҳолатида бўлса, агарда бус ҳарт бажарилмаса

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

Агарда бизда ката призма бўлса у ҳолда

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

Аград синдириш бурчаклар тескари томонларга қараса у ҳолда йиғиндида ишора минус олинади.

Ажрата олиш қобилияти $R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = bD_\varphi$

Лекин ҳақиқий ажрата олиш қобилияти бу қийматдан анча кам бўлар экан.

Сабаби бу қиймат геометрис оптика яқинлашишида олинган ва унда призма киррқларидаги дифраксия ҳисобга олинмаган. Дифраксияни ҳисобга олиш энг кам оғиш ҳолати бажарилади ва қуйидагича аниқланади.

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

Агарда даста призми тўла қопласа у ҳолда $R = T \frac{dn}{d\lambda} bD_{\varphi} > T \frac{dn}{d\lambda}$

Шунинг учун $P = bD_{\varphi}$ назарий ажрата олиш қобилияти дейилади. Шиша ва кварц призмаларнинг энг асосий камчиликларидан бири дисперсиянинг киймати. Тўлқин узунлиги ошиши билан камаяди.

Мисол: ТФ-5 типдаги шиша учун спектрнинг ҳаво ранг қисми учун $\frac{dn}{d\lambda} = 3200 \text{ sm}^{-1}$, қизил қисми учун $\frac{dn}{d\lambda} = 1170 \text{ sm}^{-1}$. У ҳолда базаси 5 см бўлган призма учун $P=5000$, ҳаво ранг учун $P=15000$.

Демак спектрни қурилаётган диапозонога қараб тузатиш киритиш керак.

Олинган натижалардан фотдаланиб бизни қизиқтирган чизиқларни ажрата олиш учун қандай призма кераклигини аниқлаш мумкин.

Мисол: натрийнинг 6000Å -даги дуплет чизиқлари орасида масофа 6 Å демак ажратиш учун $R = \frac{6000}{6} = 1000$ қизил диапазонлигини ҳисобга олиб.

$\frac{dn}{d\lambda} = 1170 \text{ sm}^{-1} R = T \frac{dn}{d\lambda}$ $T \approx 1 \text{ sm}$. Агарда водород изотопи дуплетини олсак у ҳам 6000 Å яқин ораси 2 Å $P=3000$ ва $T=3 \text{ см}$

Ажрата олиш қобилитини ошириш учун k - та призмадан тузилган система ишлатиш мумкин. Бу ҳолда $R_{um} = \sum_{i=1}^k R_k$

Ажрата олиш қобилитига турли факторлар манфий таъсир қилиш мумкин: ютилиш, призма ишлаб чиқаришдаги дефектлар қайтариш бу δ_0 шунинг учун ҳам $R_{real} \ll R_{reley}$ Призмаларнинг турли характеристикаларини яхшилаш учун призмаларнинг турли формадаги турлича кетма-кетлиги бирлашмалари ишлатилади. Бундай призмалар дейилади. Мисол: Резерфорд призмаси, Амичи призмаси, Аббе призмаси ва бошқалар.

Назорат саволлари

1. Ёруғлик спектри хақида тушунча. Спектрлар турлари, уларни қисқача характеристикалари, уларни ҳосил бўлиш сабаблари.
2. Энг содда спектрал қурилма блок схемаси. Спектрал қурилмалар асосий характеристикалари.
3. Монохроматор, полихроматор, спектроскоп, спектрограф ва спектрометр иборалар билан аталадиган қурилмаларнинг фарқи. Спектрал қурилма фокал текислигида ҳосил бўладиган тирқиш тасвирини кенгайтиш сабаблари.
4. Спектрал қурилма аппарат функцияси, уни хусусиятлари.
5. Спектрал қурилмада спектр чизиғи кенгайтишига сабаблар. Свертка хақида тушунча ва уни хоссалари.
6. Тирқиш кенлиги нолинчи дифракцион максимуми кенлигидан бир неча марта катта бўлган ҳол учун спектрал қурилма аппарат функцияси.
7. Аппарат функцияни аниқлашдаги ва фокал текисликдаги ёритилганлик тахсимотини ўлчашдаги хатоликларнинг хақиқий спектрни аниқлашдаги роли.
8. Спектрал чизик кенлиги хақида тушунча, спектрал чизик кенгайтиши сабаблари.
9. Ажратиладиган чизиклар орасидаги энг кичик интервални аниқлашда Релей критерийси. Релей критерийсига асосан ажрата олиш қобилияти.
10. Спектрал чизик кенлиги аппарат функция кенлигидан кўп марта кичик бўлган ҳолда спектрал қурилма фокал текислигида ёритилганлик тахсимоти.
11. Кварц ва шиша призмаларнинг солиштирма характеристикаси. Дисперсияловчи элемент сифатида ишлатиладиган призмаларга қўйиладиган талаблар.
12. Нурнинг призмадан ўтишини характерлайдиган асосий катталиқлар. Бу катталиқларни боғловчи тенгламалар. Синдириш бурчаги учун чегаравий қиймат. Энг кам оғиш бурчаги.
13. Призманинг ажрата олиш қобилияти. Призмалар системасининг ажрата олиш қобилияти. Призма ажрата олиш қобилиятига таъсир этувчи омиллар.
14. Призманинг бурчак катталаштириши. Призма ва призмалар системасининг дисперсияси.

Фойданалинган адабиётлар

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](http://www.photonics.com)
4. www.optics.arizona.edu/Research
5. Specialties www.manchester.ac.uk

РЕЖА

1.1. Нурланиш манбаларини турлари. Оптик тадқиқотларда нурланиш манбаларига қўйиладиган талаблар.

1.2. Оптик квант генераторлари. Чизиқли (узлукли) ва узлуксиз спектрлар тарқатувчи ёруғлик манбалари.

1.3. Оптик нурланишни қайд қилувчи қуришмалар.

Таянч иборалар: *Интенсивликнинг спектрал тахсимоти, узлуксиз спектр, чизиқли спектр, монохроматик нурланиш, лазер, фотоэлектрон кучайтиргич*

2.1 Нурланиш манбаларини турлари. Оптик тадқиқотларда нурланиш манбаларига қўйиладиган талаблар.

Ёруғлик манбаларининг спектрларида спектраскопияда асосан иккита вазифа бажарилади.

1) Манба спектроскопик тадқиқот объекти вазифасини бажаради.

2) Ёруғлик манбаси ёрдамида бирор объект ҳақида спектраскопик малумот олинади.

Биринчи ҳолда ёруғлик манбаси чиқараётган нурланиш манба ҳақида маълумот олиб келади. Бу ҳолда спектроскопик анализ усуллари манба ҳолатига ҳеч қандай тасир ўтказмайди. Иккинчи ҳолда ёруғлик манбаси ёрдамида текшириш объектига бирор таъсир ўтказмайди.

Иккинчи ҳолда ёруғлик манбаси ёрдамида текшириш объектига бирор таъсир ўтказилади ва натижада ҳосил бўлган нурланиш кузатилади. (Мисол фотолюменсетсия ютиш спектри ва хо.зо)

Биринчи ҳолда манбага ҳар қандай тасвир олмаймиз, яъни манбани спектри ёки уни ёрқинлигини ўзгартира олмаймиз.

Иккинчи ҳолда биз манбани характеристикаларини ўзимизга қулай қилиб танлашимиз мумкин.

Ёруғлик манбаси тасир воситаси сифатида ишлатилганда уни асосан икки характеристикасига этибор берилади.

1. Ёруғлик манбаси қуввати ва уни (қувватини) вақтга интенсивликнинг боғлиқлиги.

2.Спектрал тақсимоти ва уни (тақсимотни) вақт бўйича ўзгариши. Манба ўгармас дейилади агарда нурланиш қуввати вақт бўйича ўзгармаса. Бу характеристикани кўрсатгичи сифатида (стабиллик кўрсатгичи)

$$M = \sqrt{\frac{\Delta B^2}{B^2}} \quad \text{-катталиқ олинади. Бу ерда } B \text{- ёруғлик}$$

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

$$I = \frac{\Phi}{\omega} = \left[\frac{vatt}{m^2 \text{ fer}} \right] \text{-ёруғлик кучи}$$

S - манба юзаси φ – манба сиртига о'тказилган нормал билан кузатиш орасидаги бурчак $\Phi = \frac{w}{t}$ -ёруғлик оқими w -нурланиш энергияси.

Идеал стабилланган нурланиш манбасида $M=0$ бўлади кўп холда $3 \div 5\%$ оғишлиқ спектрал интенсивликларни аниқлаш хатолигига таъсир кўрсатмайди. Бази холда объектга қисқа муддат таъсир ўтказиб, уни реяксияси кузатилади. У холда нурланиш импульс кўринишида бўлиши керак. У холда стабил манбадан келаётган ёруғлик модуляцияланади, ёки газлардан ток импульси ўтказиб разряд олинади. Механик модулятсияларда олинандиган импульсларда

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

Пезоелектрик дефпекторда $10^{-6} \div 10^{-7}$ гача олиш мумкин Лазерларда модуллар фазасини синхронлаштириб $10^{-13} \div 10^{-14}$ сек олиш мумкин.

2.Спектрал характеристикалар

Манбалар спектрлари бўйича шартли равишда 3-та грухга бўлинади.

1. Узлуксиз спектрли
2. Полосали спектрли
3. Чизиқли спектрли

1-чи турдаги одатда одатда чўғланиш лампалари ишлатилади. Кирхгоф қонуни бўйича нурланиш қобилятига нисбати вақт ва тўлқин узунлигига боғлиқ универсал ф-я

$$\frac{\varepsilon_{\lambda t}}{a_{\lambda t}} = r(\lambda, t) \text{ . Кирхгоф универсал ф-я}$$

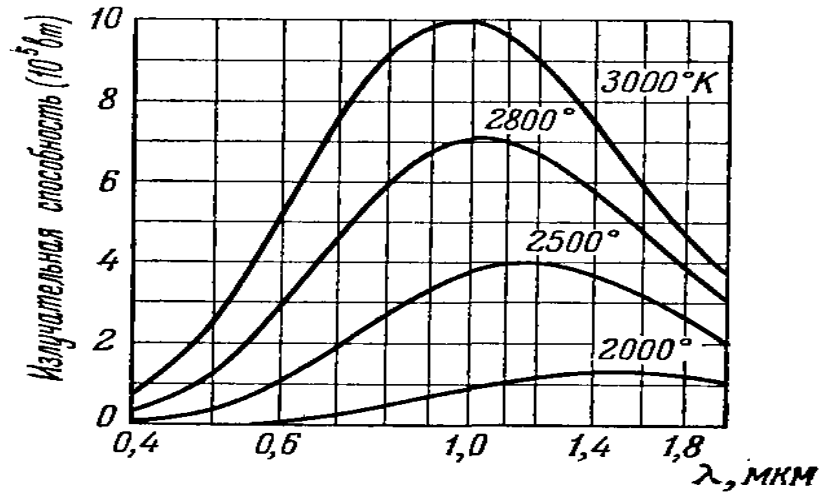
Барча частоталардаги нурланиш $P_T = 0 \int_0^{+\infty} r(\lambda, t) \text{ -энергетик нурланиш}$

$$P = \sigma T^4 \text{ Стефан Болтсман қонуни } \sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{vat}{m^2 \text{ K}^4}$$

$$\text{Виннинг силжиш қонуни } \lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad b = 2.9 * 10^{-3} \text{ м.к}$$

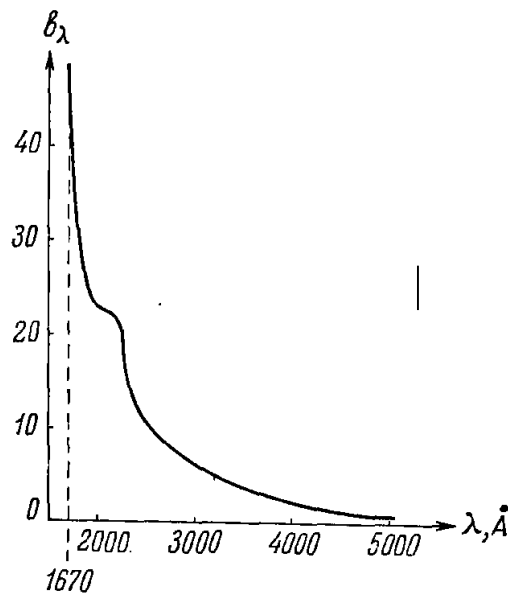
1-чи формула $\rho(\lambda, T)$ $\rho_{\nu, \lambda} = \frac{2_{\text{НКТ}}}{c^2} \nu^2$ Реней жинс формуласи

$\rho_{\nu, \lambda} = \frac{2_{\text{НКТ}}}{c^2} \nu^3 * \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$ Планк формуласи



Камчилиги УБ сохада нурланиш интинсивлиги кам

Водород лампаси бу камчиликни тўлдиради. Тўлқин узунлиги 5000-дан то 1650Å⁰узлуксиз спектрга эга. Водород юқори босмда



Яна битта УБ –соха учун узлуксиз манба ссссс

Бу электр ёйи камчилиги стабил эмас ва электродлар тез томом бўлади.

Юқори босимга эга бўлган бошқа газлардги разряд хисобига УБ соҳада нурланиш олиш мумкин. (Мисол –юқори босимли инерт газлар билан тўлдирилган лампалар) .
Импульсли нурланиш болиш учун импульсли катта электр токи инерт газлардан ўтказилади.

2.2 Оптик квант генераторлари. Чизиқли (узлукли) ва узлуксиз спектрлар тарқатувчи ёруғлик манбалари.

Чизиқли спектр олиш учун кўп холларда паст босмдаги газларда ёки метан парларидан электр токи ўтказилади. (газлардаги электр разряди)

Энг кам олиниси мумкин бўлган чизиқ кенглиги бу табиий кенглик билан аниқланади.

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

Кўриш диапазонида $\Delta t \approx 10^{-8}$ сек $\Delta \lambda = 10^{-4} \text{Å}^0$

Чизиқ кенглиги заррачалар орасидагинтўқнашиши хисобига ортиши мумкин (юқори босм) Тўқнашишидаги таъсир бир жинсли бўлмаган, ностационар Штарк эффекти билан тушунтирилади.

Босм 1-атм бўлганда кенгайиш асосан Штарк эффектига хисобига.

Паст босмда ≈ 10 мм.с.уст кенгайишига асосий сабаб Доплер эффекти

Лазерлар хозирги кунда спектроскопияда энг асосий ёритгичга айланган.

Лазер спектроскопияси фани классик спектроскопиядан қўлланилиши бўйича ўзгариб кетди

Лазерларни спектроскопияучун ахамиятли хоссалари

1. Спектрал зичликнинг ўта катталиги. Лазерлар нурланишининг спектрал зичлиги оддий нурлатгичларни спектрал зичлигидан бир неча тартиб юқори бўлиши мумкин. Бу хоссаси лазерларда ғалаёнга келтирилганда шовқинларни камайтиришга имкон беради. Яна катта спектрал зичлик кўп фотонли ходисаларни кузатишга имкон беради.

2. Лазер нурларининг бурчак кенгайиши камчилиги.

3. Мисол учун ютилиш кам бўлганда узун мухитни текшириб ютилишни ўрганиш мумкин.

4. Спектрал кенгликнинг кичиклиги.

Бу ҳолат юқори ажрата олиш қобилиятини амалга оширишда қўл келади.

5. Частотани ўзгартириш имконияти.

6. Субпикосекунд импульслар генерациялаш имконияти

Комбинатсион сочилишда лазерлар катта аҳамиятга эга.

Лазерларни актив модда тузилишига қараб шартли равишда 3-та гуруҳга ажратса бўлади.

1. Газ лазерлари

2. Қаттиқ жисмли лазерлар

3. Ярим ўтказгичли лазерлар

1. Газ лазерларини энг ёрқин номоёндаси He-Ne лазер, унинг нурланиши ўта тор диапазонда бўлади, резанаторлар орасидаги масофа катталиги хисобига, йўналтирилганлиги яхши (диф кенгайишга яқин келиш мумкин)

$$\alpha = \frac{a^2}{\lambda}$$

$\lambda = 0.63 \mu\text{m}$ CO₂ – $\lambda = 10,6 \text{ mkm}$ интинсивлиги катта бўлмайди, газ бўлгани учун.

1. Қаттиқ жисмли лазерлар номоёндаси 4Ae₅O₁₂:Nd³⁺ итрий алюминивий гранат допированный неодимом.

Спектри газ лазерларига қараганда кенгрок. Катта интинсивлик олиш мумкин. Шу турдаги лазерларда субпемтасекундли импульслар олинади. Тез ўтувчи жараёнларни ўрганишда қўл келади.

6. Ярим ўтказгичли лазерлар. Спектрал диапазони қаттиқ жисмларникидан ҳам кенг. Бурчак ёйилиши кенг. Ф.И.К-ти катта 20÷ 25% этади. Спектропияда кўп ишлатилмайди, лекин қаттиқ жисмли лазерларни қувватлашда яхши имкон беради.

Хулоса: Нурлатгичлар кўп керагини танлаб олиш керак.

Оптик нурланишларини қайд қилувчи қурилмалар.

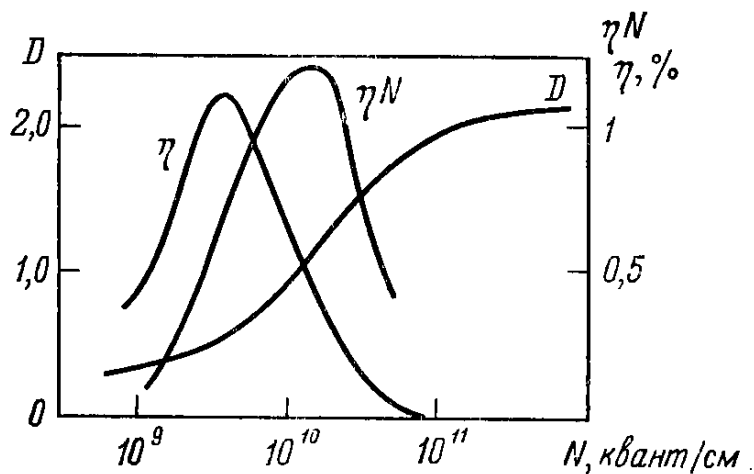
2.3 Оптик нурланишни қайд қилувчи қурилмалар

Барча ёруғликни қайд қилиш манбаларини бир нечта гуруҳга бўлиш мумкин. Биз бу қабул қилгичларни ўганишда тарихий кетма кетлик бўйича юрамиз. Сабаби энг биринчи қабул қилиш мосламаси ҳам ўзини аҳамиятини тўла йўқотгани йўқ.

1. Визуал методлар.

Қабул қилгич сифатида инсонни кўзи ишлайди. Кўз ёрдамида майдонларни солиштириш мумкин. Яни стандарт ва ўрганаётган интинсивликни фарқлашда солиштиришда ~4-5% бўлади.

Спектрал ажратиши яни икки бир бирига яқин чизикларни ажрата олиш қобилияти $\sim 20\%$. Демак икки чизик орасида $20A^0$ фарқ бўлса ажратиш мумкин.



Фотографик методлар. Пластинка (ёки пленка) фотосезувчан қатлам суртилади. Фотопластинка қорайишига қараб тушган ёруғлик миқдори аниқланади. Қорайиш даражаси қуйдагича аниқланади.

$$D = \lg \frac{\phi_0}{\phi} \text{ бу ерда } \phi_0 \text{ - қораймаган жойдан ўтган ёруғлик оқими}$$

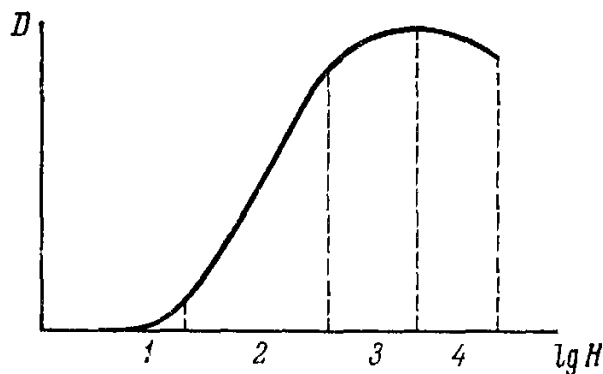
ϕ - қорйган жойдан ўтгани.

Қорайиш даражаси энг аввало экспозитсияга боғлиқ $D = E \cdot t$

E - ёритилганлик t - вақт

Лекин у яна ёритилиш характерли, плёнкани қайта ишлашга боғлиқ ва яна қорайиш даражасини ўлчаш усулига.

Қорайиш даражаси экспозитсиясига ночизикли ба ўта мураккаб боғланган шунинг учун эмперик эгри чизик билан ифодаланади - характеристик чизик.



1 - кам ёритилган интервал.

2 - нормал экспозиция

3 - кўп ёритилган соҳа

4 - соляризация соҳаси

Сезувчанлик, уни характерлаш анча мураккаб, шунинг учун турли ГОСТ лар мавжуд. Шунинг учун эквивалент квант чиқиши тушунчали киритилади.

Фараз қиламиз бизда шундай қатлам борки у хар битта фотонни сезади унда эквивалент квант чиқиши $\eta = \frac{N_{id}}{N_{tush}}$ кўпи билан $\eta = 0.01$ тенг, яни сезгирлиги анча кам. (лекин вақтни ошириш мумкин)

Вакумли фотоэлементлар.

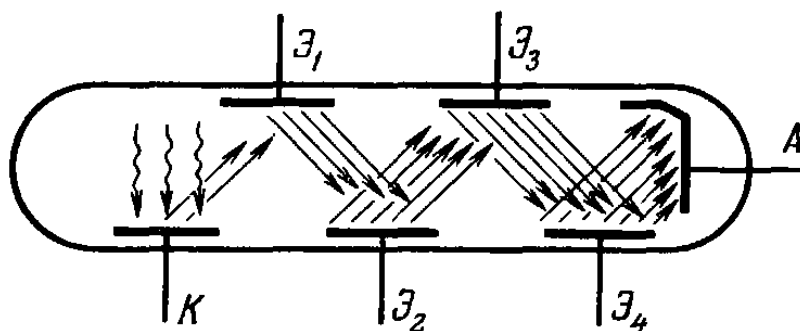
Одатда шиша колба бир қисмига фотоэфффе́кт ходисасига эга қатлам сурилади, қизил чегара $\lambda_0 = \frac{hc}{e\phi} = \frac{1236}{\phi} \text{ \AA}$ ϕ —эв*В-даги чиқиш иши.

Спектрал сезгирлик

Турли фотокатодлар учун турлича, ярим баландлигида спектрал сезгирлик $200 \div 400 \text{ \AA}^0$ [м/вт] атрофида бўлади. Камчилиги - хусусий шоқивқини катта, шу сабабли, кичик ёритилганликни сезмайди. ИК диапазонда кўп холда интеграл ёритилганлик ўлчанади, унда балометрлар ишлатилади. УБ сохада ишлаш учун газ билан тўлдирилган фотоэлементга катта кучланиш берилади ва газда ионизация хосил қилинади хатижада ток кучаяди. Гейгер счётчикларига ўхшаш қурилмалар ёрдамида паст фотонлар оқими ўлчанади, улар фотонлар оқими $10 \div 100$ та/сек бўлганда ишлайди.

Фотоэлектрон кучайтиргичлар кучсиз сигналларни қабул қилишда ишлатилади. Уларни ишлаши иккиламчи эмиссияси ходисасига асосланган.

Кучайтириш коэффициенти $10^6 \div 10^8$ $k \approx (\alpha\sigma)^4$ α -кенглиги эметтирга етиб борган фототоклар сони σ -уриб чиқарилган электронни тушган электронларга нисбати.



Назорат саволлари

1. Фотоэмульсион қатламларнинг спектрал сезгирлиги. Монохром ва гетерохром фотометрлаш.
2. Фотоэмульсион қатламнинг характеристик функцияси ва унинг асосий сохалари хақида маълумот.
3. Фотоэлектрон кучайтиргичлар ва уларни қўлланиши.
4. Ярим ўтказгичли фотодетекторлар. Фотоқабулқилгичларнинг сезувчанлик сохаси.
5. Ёруғлик манъбаларининг асосий характеристикалари. Узликсиз спектрли манъбалар хақида маълумот.
6. Иссиклик нурланиш манъбалари ёруғлигини спектрал тахсимот қонунлари.
7. Раст ва юқори босимли газли ламралар спектроскопияда ёритгич сифатида ишлатилиши.
8. Электр разряди спектроскопияда ёритгич сифатида ишлатилиши.
9. Оптик нурланишларни қайд қилувчи қурилмалар.
10. Электромагнит тўлқин нурланишларини фотогарфик усулда қайд қилиш.
11. Электромагнит нурланишларини фотоэлектрик усулда қайд қилиш.
12. фотодиодлар. Уларнинг асосий характеристикалари.
13. Фотоприёмникларнинг спектрал сезгирликлари.
14. Номаълум спектрларнинг тўлқин узунлигини аниқлаш.
15. Спектрларни интенсивлигини, спектрал таркибини аниқлаш.

Фойданалинган адабиётлар

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.

РЕЖА

3.1. Наноструктураларда ёруғлик ютилиши ва сочилишининг ўзига хос хусусиятлари.

3.2. Нанозаррачалар спектроскопияси.

Таянч иборалар: *Нанозаррачалар, дисперс мухит, коллоид эритмаси, дисперс тузилиш, метал пардалар, оптик ҳоссалар, резонанс ютилиши*

3.1 Наноструктураларда ёруғлик ютилиши ва сочилишининг ўзига хос хусусиятлари

Нанозаррачаларда ёруғликни ютилиши ва сочилиши йирик намуналарга нисбатан ўзига хос хусусиятларга эга. Бу хусусиятлар кўп сонли заррачаларни ўрганишда яққолроқ намоён бўлади. Масалан, коллоид эрималар ва доналанган пардалар нанозаррачаларнинг махсус хоссалари туфайли тезкор равишда бўялиши мумкин. Дисперс мухит оптик хоссаларини ўрганишнинг энг яхши намунаси олтиндир. Ўз вақтида Фарадей олтиннинг коллоид эритмаси ва юпқа пардаси ранглари ўхшаш эканлигига эътибор берди ва олтиннинг дисперс тузилишга эга эканлиги ҳақида фикр билдирган.

Ёруғликнинг нозикдонадорлик метал пардаларида ютилишида спектрнинг кўринадиган қисмида йирик намуналарда учрамайдиган ютилиш чизиқлари (чўққилари) пайдо бўлади¹. Масалан, Ag зарраларининг донадорлик 4 нм диаметрли пардалари ёруғликнинг $\lambda=560-600$ нм соҳасида яққол намоён бўладиган ютилиш максимумига эга. Шунга ўхшаш Ag, Cu, Mg, Li, K, Na, K нанозарралари ҳам оптик диапазонда энг кўп ютилишни кўрсатади.

Доналанган пардаларни яна алоҳида хусусиятларидан бири ёруғлик

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

спектрининг кўриниш соҳасидан инфрақизил соҳага ўтганда ютилишнинг камайишидир. Туташ метал пардаларда эса, бундан фарқли равишда, ёруғлик тўлқин узунлиги ортиши билан ютилиш ҳам ортиб боради.

Оптик ҳоссаларнинг ўлчамлик эффектлари ўлчамлари ёруғлик тўлқин узунликларидан сезиларли даражада кичик бўлган ва 10-15 нм дан катта бўлмаган нанозарралар учун муҳим рол ўйнайди.

Нанозаррачалар ва йирик металллар ютилиш спектрларидаги фарқлар уларнинг диелектрик сингдирувчанликлари фарқи туфайли юз беради $\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2$. Дискрет энергетик спектрли нанозаррачаларнинг диелектрик сингдирувчанлиги заррачалар ўлчамларига ва нурланиш частоталарига боғлиқ. Диелектрик сингдирувчанлик нурланиш частотасига монотон эмас, балки электронлар ҳолатлари орасидаги ўтишлар туфайли тез ўзгариб турувчи ҳолда боғланган.

Тажрибаларда оптик ҳоссаларни ўлчаш учун заррачаларнинг сони 10^{10} дан кам бўлмаслиги керак. Бундай миқдордаги бир хил ўлчам ва шаклдаги заррачаларни ҳосил қилиш амалда мумкин бўлмагани учун реал шароитларда заррачалар тўплами учун тебранишлар текисланиб кўринади.

Шунга қарамасдан ϵ нинг ўртача қиймати йирик намуна ϵ сидан фарқ қилади. Диелектрик сингдирувчанликнинг мавҳум қисми заррача радиуси r га тескари пропорционаллигини кўриш мумкин:

$$\epsilon_2(\omega) = \epsilon_{\infty,2}(\omega) + \frac{A(\omega)}{r},$$

бунда $\epsilon_{\infty,2}(\omega)$ – йирик кристал диелектрик сингдирувчанлигининг мавҳум қисми, $A(\omega)$ -частотага боғлиқ функция. Тажрибаларда $r=0,9-3,0$ нм ли олтин заррачалари учун $\lambda=510$ нм ли ўзгармас тўлқин узунликли нурланишда $\epsilon_2 \approx 1/r$ эканлиги тасдиқланган. Заррачалар ўлчамига ютилиш соҳаси кенглиги ва унинг паст частотали томони шакли ҳам боғлиқ. Ау ва Аг нанозаррачаларини кичикланганда ёруғликни ютилиш соҳаси кенгайиши тажрибаларда кузатилган.

Яна бир ўлчамлик эффекти - ёруғликнинг резонанс ютилиши

чўққисининг силжишидир. Диаметри йирик металдаги электронларнинг эркин югуриш йўли λ_∞ дан кичик зарралардаги электронларнинг эркин югуриш йўли зарра радиуси r га тенг. Бу ҳолда ёруғлик ютилишидаги эффектив релаксация вақтини

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

кўринишида ифодалаш мумкин. Бунда $\tau = \lambda_\infty / g_F$ - йирик метал намунасидаги релаксация вақти; g_F - электронларнинг Ферми сатҳидаги тезлиги. Зоналараро ўтишларни ҳисобга олмасдан ва фақат эркин электронлар ҳаракатини ҳисобга олган ҳолда

$$\epsilon_1 = 1 - \frac{w_p^1}{w_p^2 + 1/\tau_{ef}} \epsilon_1 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega_1^2 + 1/\tau_{ef}}$$

деб ёзиш мумкин. Бунда $\omega_p = 4\pi N e^2 / m^*$ - плазма частотаси, N , e , m^* - эркин электронлар зичлиги, заряди ва эффектив массаси.

Ми назариясида ёруғлик ютилишининг энг катта қийматига $\epsilon_m = -\epsilon_1(\omega_1)$ шароитида эришилади. Буни ҳисобга олган, жуда майда зарралар учун $\tau_{ef}^{-1} \approx g_F / r$ бўлган ҳолда (2.56) дан резонанс частота

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

кўринишга келади. Бунга асосан, заррача ўлчами кичиклашганда резонанс частота ҳам камаяди, яъни ютилиш соҳаси паст частоталар томонга силжиши керак. Лекин, квантмеханик ҳисоблар заррача ўлчамлари кичиклашганда резонанс ютилиш чўққиси юқори частоталар томонига силжишини кўрсатади. Мана шундай қарама-қарши натижалар тажрибаларда ҳам кўринади. Бундай силжишлар учун электрон булутининг заррача сиртида жуда оз миқдорда ўзгариши ҳам кифоя эканлиги таҳмин қилинади. Шунга асосан, ёруғлик ютилиш соҳаси кенглиги зарралар ўлчамининг мураккаб функцияси бўлиб, у $D \approx 1,1 \text{ нм}$ атрофида энг катта қийматга эришади.

3.2 Нанозаррачалар спектроскопияси.

Охирги пайтларда яримўтказгичларнинг оптик ва люминесцент хоссаларини ўрганишда ўлчам эффектларига қизиқиш ортмоқда, чунки яримўтказгичлар зоналар тизимини ўрганишда оптик ютилиш асосий усуллардан биридир. Яримўтказгичларда молекулалараро ўзаро таъсирлашиш энергияси катта бўлгани учун макроскопик яримўтказгичли кристални катта бир яхлит молекула деб қабул қилиш мумкин. Яримўтказгич кристаллари электронларини қўзғотиш кучсиз боғланган электрон-ковак жуфтлиги – экситонлар ҳосил бўлишига олиб келади. Экситон тарқалиш (делокализация) соҳаси яримўтказгич кристал панжараси давридан кўп марта ортиқ бўлиши мумкин. Яримўтказгич кристалини экситон ўлчамларига яқин ўлчамларгача кичрайтирилса, унинг хоссалари ўлчамга боғлиқ бўлиб қолади.

Шундай қилиб, яримўтказгич нанозаррачаларини ўзига хос хоссалари нанозаррачалар ўлчамлари молекула ўлчамлари билан ҳам, микроскопик кристалдаги экситонларни Бор радиуслари $[r_{ex} \approx n^2 \eta^2 \epsilon / \mu_{ex} e^2; \mu_{ex} = m_e m_x / (m_e + m_x)]$ - экситонни келтирилган массаси; $m_e m_x$ – электрон ва коваклар эффектив массалари; $\eta=1,2,3..$] билан ҳам белгиланади. Яримўтказгичларда Бор радиуси 0,7нм (Cu, Cl да)дан 10нм (Ga As да) гача ўзгариши мумкин. Айрим молекулада электрон қўзғотиш энергияси макроскопик яримўтказгичлардаги соҳалараро (таъқиқланган соҳа кенглиги энергияси) ўтиш энергиясидан сезиларли даражада каттароқ бўлади.

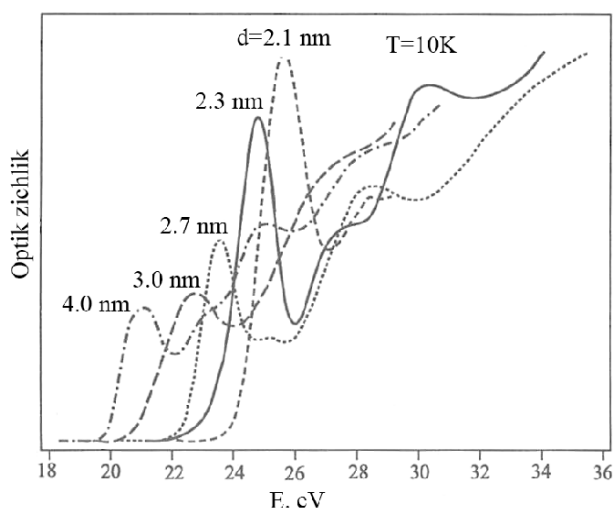
Демак, кристалдан молекулага ўтишда, яъни заррачани кичрайтирганда электронни қўзғотиш энергияси кичик қийматдан каттасига силлиқ ўтган ўлчамлар соҳаси мавжуд бўлиши керак. Бошқача айтганда, яримўтказгич нанозаррачалари ўлчамларини кичрайтириш ютилиш соҳасининг юқори частоталар соҳасига силжишига олиб келади. Бундай эффектнинг тажрибада тасдиқланиши белгиси сифатида яримўтказгичли нанозаррачалар ўлчамларини кичрайтиришдан экситонда ютилиш соҳасининг кўк ранг (юқорироқ частота) томонга силжишини кўриш мумкин.

Кўпроқ ўрганилган яримўтказгич – CdS мана шундай ютилиш соҳасининг “кўк” силжиши нанозаррачалар диаметри $D \leq 10-12$ нм бўлганда кузатилади. Нанозаррачалар ўлчамларининг оптик ютилиш спектрларига таъсири кўп яримўтказгичларда кузатилган.

Макроскопик кристалда экситон энергияси E кристалнинг таъқиқланган зонаси кенглиги E_g дан электрон ва ковакнинг боғланиш энергияси (Ридберг эффектив энергияси $\varepsilon_{ry} = \mu_{ex} e^4 / 2n^2 \eta^2$) ва экситоннинг оғирлик маркази кинетик энергиялари айирмасига тенг. r ўлчамли яримўтказгич нанозаррачаси учун охирги қўшилувчи - $n^2 \pi^2 \eta^2 / 2\mu_{ex} r^2$ га тенг, яъни r^2 га тескари пропорционал. Нанозарра ўлчамининг экситон энергиясига таъсирининг, электрон ва ковакнинг ўзаро кулон таъсирларини ҳам эътиборга олган ҳолдаги, аниқроқ таҳлиллари қуйидаги ифодани беради:

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

Бундаги биринчи ва учинчи ҳадлар йиғиндиси таъқиқланган зонанинг эффектив қийматига тенг. Заррача ўлчами кичрайиши таъқиқланган зона эффектив кенглиги ортишига олиб келади. Мана шундай ўзгариш CdTe нанозаррачалари учун кузатилган; йирик кристалдан диаметри 4 ва 2 нм ли нанозаррачаларга ўтилганда $E_g = 1,5$ эВ дан мос ҳолда 2 ва 2,8 эВ гача ортади. Майда дисперсли кукунларда Si_3N_4 кристаллига нисбатан E_g нинг ортишини ИҚ ва флуоресценсия эмиссион спектрларини ўрганишда аниқланган.



. 10K да диаметрлари 2,1 дан 4,0 нм гача бўлган CdSe нанозаррачаларининг

Экситонни қўзғотиш энергияси $E = \eta \omega$ (ω -тушаётган ёруғлик частотаси) бўлгани учун, нанозаррача ўлчами кичрайиши билан оптик спектр чизиқлари юқори частоталар томонига силжиши керак. Мана шундай силжиш (0,1эВ гача) CuCl нанозаррачалари ($D=31,10$ ва 2 нм) ютилиш спектрларида аниқланган.

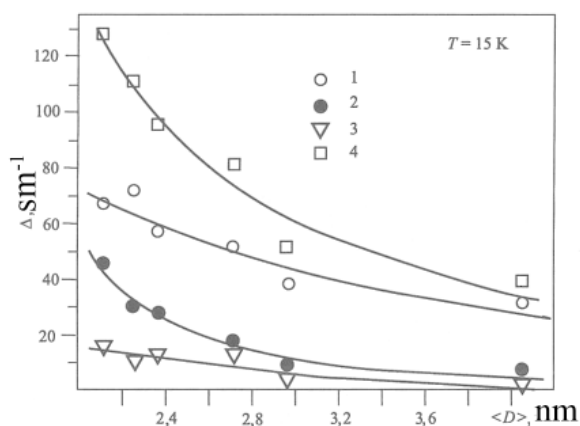
Расмда CdSe нанозаррачаларининг оптик спектрлари кўрсатилган: CdSe нанозаррачалари кичрайтирилганда ютилиш соҳаси юқорирок энергияли, яъни “кўк” томонга силжиши кузатилмоқда. Бирламчи яқинлашишда ютилиш соҳасининг максимум энергияси CdSe заррачалари радиуси квадратига тескари пропорционал. Ютилиш соҳаси кенглигининг катта ($\sim 0,15$ эВ ёки 1200 см^{-1}) бўлишлиги нанозаррачалар ўлчамлари дисперсиясига боғлиқ – заррачалар диаметри ўртача қийматидан $\pm 5\%$ га четланган. Ҳақиқатан, ҳатто энг монодисперс намуналар ўрганилганида ҳам кенгайган ютилиш соҳалари, яъни гомоген бўлмаган кенгайиш кузатилади.

Шунинг учун CdSe нанокристалларида экситонлар динамикасини ўрганиш учун фентосекундли фото-ехо техника қўлланилади. Бу усул гомоген бўлмаган кенгайишларни ҳисобга олмасдан нанозаррачанинг айти бир қийматига аниқ мос келадиган “гомоген” чизиқлар кенглигини топишга ёрдам беради. Бунинг натижасида нанозаррачалар диаметрини кичрайтириш ютилиш чизиқлари кенглиги ортишига олиб келиши кўрсатилди.

“Гомоген” ютилиш чизиқлари кенглигига уч хил ҳисса қўшилишини кўриш мумкин. Энг катта ҳисса – бу нурланишнинг кристалдаги киришма атомлари ва панжара нуқсонларидан эластик сочилиши ҳиссаси. Бу ҳисса нанозаррача ўлчами, аниқроғи заррачанинг C/V (бунда C ва V -нанозаррача сирти ва ҳажми) га пропорционал сочилиш сирти эффектив майдонига боғлиқ бўлиб, температурага боғлиқ эмас.

Иккинчи ҳиссаси – кристал тебранишлари паст частотали бўлагининг боғланиб қолишидир. Бу ҳисса температурага кучли боғланган ва температура ортиши билан чизиқларнинг кенгайиши чизиқий равишда ортиб

боради. Паст частотали тебранишлар билан боғлиқ бўлган фононли кенгайиш “гомоген” кенгликка фақат юқори эмас, паст температураларда ҳам сезиларли (20-35% гача) ҳисса қўшади.



Ютилиш оптик чизиқлари ҳақиқий кенглиги Δ ва унинг ҳисса катталигининг 15 К да CdSe нанозаррачалари диаметрларига боғлиқлиги: 1- киришмалар ва панжара нуқсонларида эластик сочилиш туфайли ҳосил бўладиган ҳисса; 2- паст частотали тебранишлар бўлаги боғланиб қолиши билан боғлиқ ҳисса; 3- экситоннинг яшаш вақтини ҳисобга олувчи қўшимча; 4-ҳақиқий (“гомоген”) чизиқлар кенглиги – кўрсатилган уч ҳиссалар йиғиндисидан иборат

Спектр чизиқлари кенглигига учинчи ҳисса энг кичиги. У дастлабки ҳолатнинг парчаланиб, асосий ҳолат билан кучсиз боғланган бошқа ҳолатга тезроқ ўтишга мос келувчи яшаш вақти билан боғлиқ ҳисса. Электрон ҳолатининг ўзгариши, экситонни сиртий ҳолатлар томонидан ушлаб олиниши натижасида, заррачалар ўлчамларига боғлиқ бўлади. Агар экситонни ушлаб олиш ички тўлқин функцияларининг сиртий ҳолатлар томонидан содда усулда қамраб олинса, унинг тезлиги C/V га пропорционал ҳолда

Назорат саволлари

1. Кристал панжараси тузилишига унинг ўлчами қандай таъсир кўрсатади?
2. Нанозарралардаги сиртий гидростатик босим унинг ўлчамига қандай боғланган?
3. Нанозарраларнинг суюқланиш температураси унинг ўлчамига қандай боғланган?
4. Нанозаррача кристал панжараси даврини унинг ўлчамларига боғланиши ҳақида нималарни биласиз?
5. Нанозарраларнинг иссиқлик сиғими уларнинг ўлчамига боғлиқ равишда қандай ўзгаради?
6. Нанозарралар магнитик хоссалари уларнинг ўлчамига боғлиқми?
7. Коерситив кучлар зарра ўлчамига қандай боғланган?
8. Суперпарамагнитик ҳолат деганда нимани тушунаси?
9. Нанозарралар оптик хоссаларининг ўлчамига боғланишини тушунтиринг.
10. Наноматериаллардаги нанозарралар боғланиши поликристалдаги донадорлик чегараларидан қандай фарқ қилади?
11. Субмикронли кристаллар тузилишининг ўзига хос жиҳатлари нимадан иборат?
12. Тартибланмаган нанотизимлар тузилиши ҳақида нималарни биласиз?

Фойдаланилган адабиётлар

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

РЕЖА

- 4.1. Квант оптикиси асосий тушунчалари. Квант оптикиси ва лазер физикасининг замонавий ютуқлари.
- 4.2. Корпускуляр тўлқин дуализми. Фотон массаси ва импульси. Комптон эффекти.
- 4.3. Ноклассик нур ва унинг қўлланилиши. Браун-Твисс тажрибаси. Белл тенгсизлиги.

Таянч иборалар: Квант ҳолати, квант системаси, ҳолат вектори, фотон, квант, матрица, Фабри Перо интерферометри,

4.1 Квант оптикиси асосий тушунчалари. Квант оптикиси ва лазер физикасининг замонавий ютуқлари.

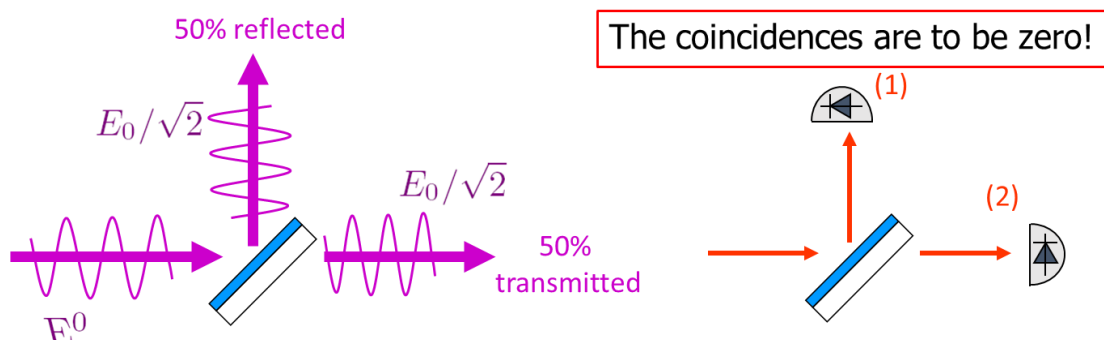
Квант оптикасига тегишли баъзи тушунчалар билан танишиб оламиз: Квант ҳолати – квант системаси бўлиши мумкин бўлган барча ҳолатлар Ҳолат вектори - квант системасини тўлиқ тавсиф қиладиган математик катталиқлар йиғиндиси (координата, спин, импульс ...).

Тоza ҳолат – битта ҳолат вектори билан тавсиф қилиниши мумкин бўлган ҳолат (битта тўлқин функциясини топиш етарли).

Аралаш ҳолат – битта ҳолат вектори билан тавсиф қилиниши мумкин бўлмаган ва зичлик матрицасини талаб қиладиган ҳолат Тоza ҳолат бўлиши учун система ёпиқ (ташқаридан изоляция қилинган) бўлиши шарт. Акс ҳолда ташқи ўров ҳолат векторлари билан таъсирлашувни ҳисобга олиш керак бўлади.

Тоza ҳолат бир қанча ўз ҳолат векторларига эга подсистемалардан ташкил топган бўлиши мумкин. Бу ҳолатда бутун система мустақил подсистемаларга ажратилиши мумкин. Бундай системанинг ҳолати ажратилувчи (separable) ҳолат дейилади.

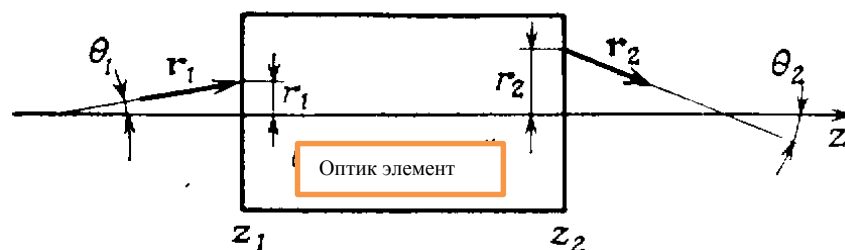
Ёруғликнинг корпускуляр тўлқин дуализми



Ёруғлик тўлқин - икки детектор бир вақтда қабул қилиши керак.

Ёруғлик зарра – ёки тўғридаги ёки тепадаги детекторга бориши керак

Кўп холларда квант оптикисидаги жараёнларни геометрик оптикаусулларини матрицалар ишлатиш билан биргаликда тавсифласа бўлади¹. Бирор оптик элементга тушаётган нурни курамиз. У холда параксиал яқинлашишда нур векторини икки ўзгарувчи билан ифодаласа бўлади, $r(z)$ -радиал силжиш ва θ –бурчак силжиш. Параксиал яқинлашишда $\sin \theta \approx \text{tg } \theta \approx \theta$.



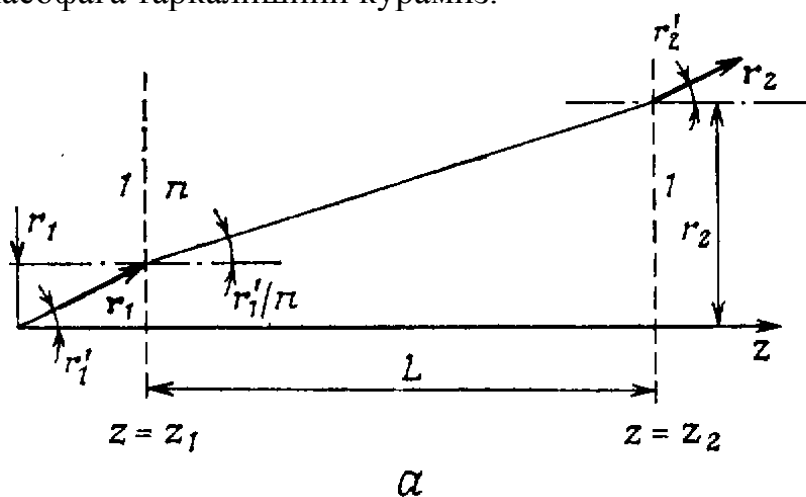
Қуйдагича белгилаш киритамиз $\theta_1 \approx (dr_1/dz)_{z_1} = r'_1$ и $\theta_2 \approx (dr_2/dz)_{z_2} = r'_2$, ва у холда

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

бу ерда A, B, C, D оптик қурилмани характерловчи катталиклар. Олинган системани матрица кўринишида ёзамиз

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

Юқоридаги $ABCD$ - матрица оптик элементни параксиал яқинлашишда тулалигича ифодалайди. Мисол учун нурнинг бирор n синдириш кўрсаткичли мухитда z масофага таркалишини кўрамиз.



У холда

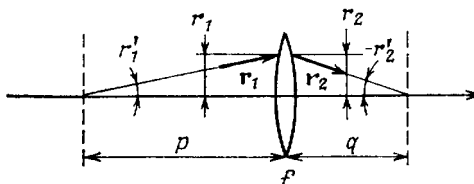
$$\begin{aligned} r_2 &= r_1 + Lr'_1/n, \\ r'_2 &= r'_1 \end{aligned}$$

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

ва унга мос келувчи матрица кўриниши

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

Яна бир мисол еғувчи линза

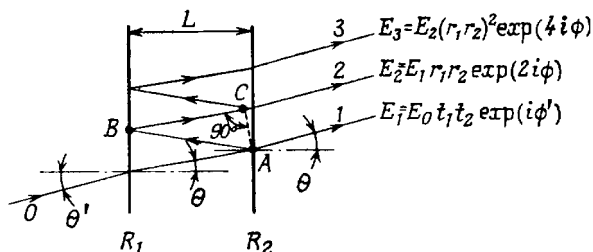


Линза учун нурнинг кучиш матрицаси қуйдагича ёзилади

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

Исталган мураккабликдаги оптик системани элементар ташкил этувчиларга бўлиб хар бири учун алохида матрица тузиш мумкин ва бутун системанинг матрицаси шу матрицалар кўпайтмасидан иборат бўлади. Матрицалар ёрдамида нафақат нурнинг тарқалишини ифодалаш мумкин, балки сферик тўлқин тарқалишини ҳам ифодаласа бўлади.

Матрик оптика аппаратини қулланишининг яна бир мисоли Фабри Перо интерферометри,



Фабри Перо интерферометри лазер қурилмаларида резонатор ролини бажаради. Кучайтириладиган ёруғлик кундаланг кесимидаги интенсивлик тақсимоти кўп холларда Гаусс тақсимотига эга (гаусс дасталари). Гаусс дасталарини характерлаш учун комплекс q параметр киритамиз,

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

Бу ерда, R – даста тўлқин fronti эгрилик радиуси, ω – интенсивлик тақсимоти зичлиги.

Бу параметр одатда комплекс эгрилик радиуси ҳам деб аталади.

Бирор $ABCD$ матрица билан ифодаланадиган оптик системанинг киришига q_1 комплекс параметрли гаусс дастаси тушса у холда шу система чиқишидаги дастанинг q_2 комплекс параметри

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

Бу конун гаусс дастаси тарқалишидаги $ABCD$ қонуни деб аталади.

4.2 Корпускуляр тўлқин дуализми. Фотон массаси ва импульси. Комптон эффекти.

Эйнштейн формуласидан фотон массаси

$$E = mc^2$$

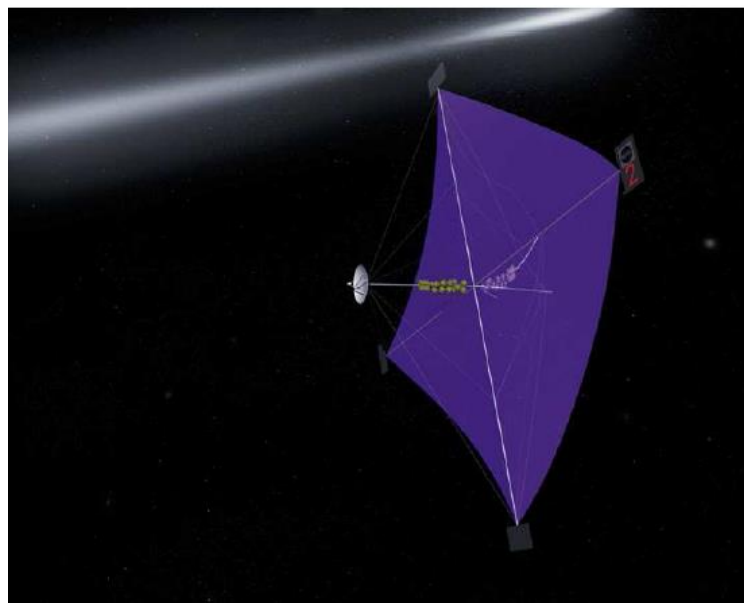
Фотон импульси

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

Агарда нур қайтариш коэффициенти ρ бўлган жисм бирлик юзасига бирлик вақтда N та фотон тушса унинг юзасидан ρN фотон қайтиб, $(1-\rho)N$ та фотон ютилади. Ёруғликнинг сиртга таъсир этувчи босими сиртга бир секундда тушаётган N та фотон импульсига тенг

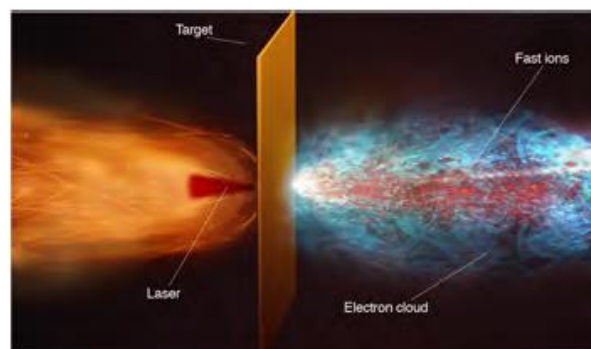
$$p = \frac{2h\nu}{c} \rho N + \frac{h\nu}{c} (1-\rho)N = (1+\rho) \frac{h\nu}{c} N.$$

Ёруғлик босими таъсирига асосланган космик кемалар проектлари



Laser-plasma acceleration of ions (2000–)

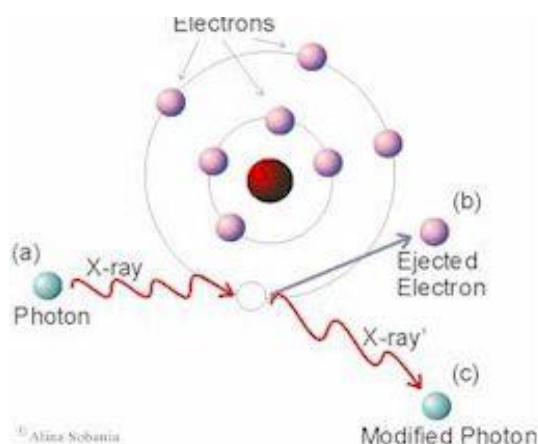
Clark et al, PRL **84** (2000) 670
Maksimchuk et al, *ibid.* 4108
Snavely et al, PRL **85** (2000) 2945



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 эффекти¹: Қисқа тўлқин узунлигига эга электромагнит нурланишининг (рентгер ва γ -нурлари) модданинг эркин (ёки кучсиз боғланган) электронларида тўлқин узунлигининг ошиши билан кечадиган эластик сочилиши.



Сочилган нур тўлқин узунлигининг ўзгариши ($\Delta\lambda$) фақат сочилиш бурчагига (θ) боғлиқ ва $\lambda' > \lambda$. $\Delta\lambda$ барча моддалар учун бир хил.

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

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

4.3 Ноклассик нур ва унинг қўлланилиши. Браун-Твисс тажрибаси. Белл тенгсизлиги.

Квант назариясида система икки ва ундан кўп ҳолатлар суперпозиyasi ҳолатида бўлганда система икки ҳолатнинг ҳеч бирига хос характерли хусусиятга эга бўлмайди. Система бир вақтда икки ёки ундан кўп ҳолатларда. Суперпозиция ҳолатида бўлган ҳолатлар система локаллашуви потенциал мумкин ҳолатлардир. Системанинг улардан бирида намоён бўлиши учун у билан контактга кириш лозим (м.у. ўлчаш) – декогеренция.

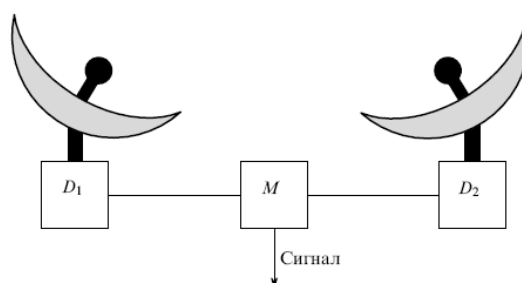
Икки турли фазовий нуқталарда кечаётган воқеаларнинг бир вақтда содир бўлиши **корреляция** деб аталади

Биринчи тартибли когерентлик (вақт корреляцион функцияси)

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

Иккинчи тартибли фазовий когерентлик (интенсивлик корреляцион функцияси)

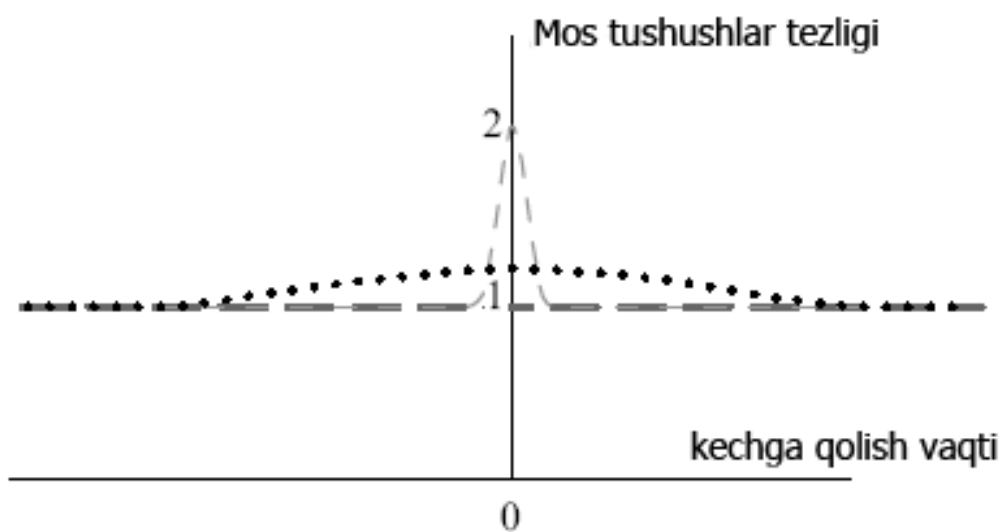
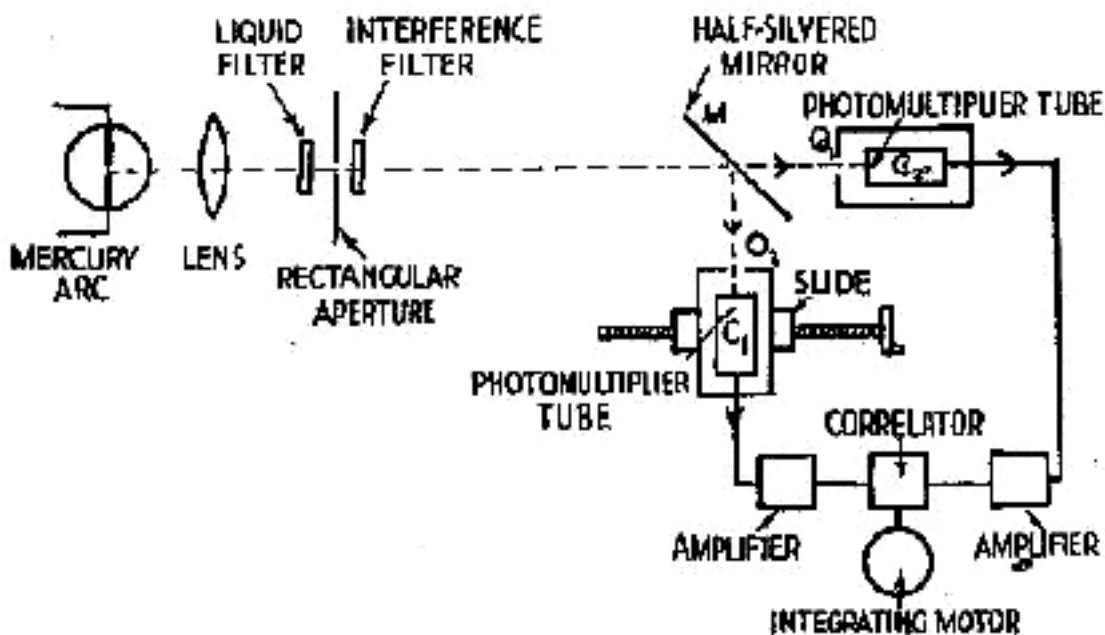
$$g^{(2)}(r_1, t_1; r_2, t_2) = \frac{\langle E^*(r_1, t_1)E^*(r_2, t_2)E(r_1, t_1)E(r_2, t_2) \rangle}{\langle |E(r_1, t_1)|^2 \rangle \langle |E(r_2, t_2)|^2 \rangle}$$



Ханбери Браун ва Твисснинг радиотўлқинлар билан тажрибаси схемаси
Бу тажрибада кабул қилгичдаги сигнал

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

Қуйида Ханбери ва Твис 1956 йилда Nature журналинда чоп этган мақоладан баъзи натижалари келтирилган.



1 – эксперимент

2 – фотодетектор тезлиги етарлича катта бўлганда кузатиладиган натижа
 Эксперимент хулосаси: икки когерент дастадаги фотонлар ўзаро корреляцияда бўлади ва бу корреляция фотоэлектрон эмиссия жараёнида ҳам сақланиб қолади

Назорат саволлари

1. Ёруғлик нурлатгичлари. Нурланишларнинг спектрал зичлиги хақида тушунча.
2. Нурланиш турлари, иссиқлик ва люминесцент нурланиш.
3. Люминесцент нурланиш турлари, Стокс қонуни.
4. Иссиқлик нурланиши.
5. Стефан Больцман қонуни
6. Вин силжиш қонуни.
7. Нурланиш ва ютиш спектрал қобилиятлари.
8. Кирхгоф универсал функцияси.
9. Планк формуласи
10. Ярим ўтказгичларда нурланишнинг ташқи энергетик чиқиши.
11. Ярим ўтказгичларда нурланишнинг ички ва ташқи квант чиқиши.
12. Ярим ўтказгичли светодиода нурланиш хосил қилишда катнашувчи ўтишлар.
13. Тақиқланган зона кенлиги ва нурланиш частотаси орасидаги боғланиш.
14. Спонтан ва мажбурий нурланиш.
15. Мажбурий нурланишда Эйнштейн коэффициентлари.
16. Лазер нурланиши ва уни бошқа манбалар нурланишидан фарқи.
17. 3 - энергетик сатхли системада генерация хосил қилиш шартлари.
18. 4 - энергетик сатхли системада генерация хосил қилиш.
19. Турли актив элементли лазерларнинг нурланиш характеристикалари.
20. Ярим ўтказгичли лазерлар тузилиши ва уларни характеристикалари.

Фойданалинган адабиётлар

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.
6. www.photonics.com/

**5 - МАВЗУ: ФОТОНИКА АСОСЛАРИ, ФОТОНИК КРИСТАЛЛАР
ВА УЛАРНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИ, ФОТОН КОМПЬЮТЕРЛАР
ЯРАТИЛИШ ТЕНДЕНЦИЯЛАРИ**

РЕЖА

- 5.1. Фотоника асослари, фотоник кристаллар ва уларнинг хусусиятлари.
- 5.2. Фемтосекунд узунлигидаги лазер импульсларини генерациялаш. Ўз – ўзини фокуслаш.

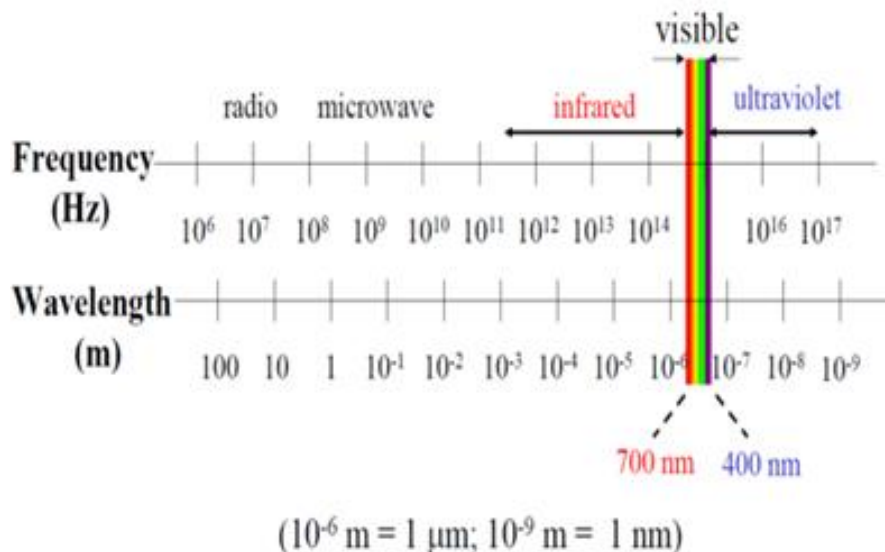
Таянч иборалар: Фотоника, фотоник кристаллар, периодик структуралар

5.1 Фотоника асослари, фотоник кристаллар ва уларнинг хусусиятлари.

Фотоника термини келиб чиқиши электроника терминиغا ўхшаш бўлиб, ёруғликнинг турли мухитларда тарқалиш ва модда билан ўзаро таъсирлашув хусусиятларини ўрганувчи фанни ифодалайди. Фотоника фани ёруғликни квант хусусиятларини ўрганади ва шу физик жараёнлар асосида ёруғликни генерациялаш, уни хусусиятларини бошқариш, ёруғликни узатиш, қайд қилиш ва бошқаларни уз ичига олади.

Ёруғлик электромагнит нурланишнинг Инфрақизил ($\lambda = 2$ мм ($\nu = 1,5 \times 10^{11}$ Гц)) соҳасидан то Ультрабинафша ($\lambda = 10^{-6}$ см ($\nu = 3 \times 10^{16}$ Гц)) соҳасигача бўлган ораликни эгаллайди.

Кўринувчи соҳа $\lambda = 400 - 760$ нм, Ультрабинафша – $\lambda = 10 - 400$ нм, Инфрақизил - $\lambda = 760$ нм – 2 мм.

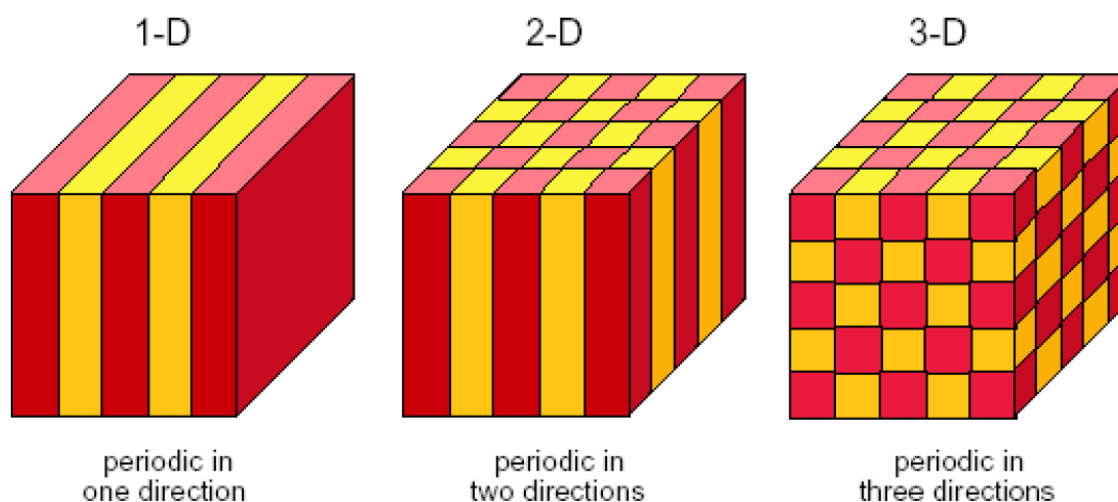


Фотон кристаллар умуман олганда уч турда бўлади:

- Бир ўлчамли фотон кристаллар
- Икки ўлчамли фотон кристаллар.
- Уч ўлчамли фотон кристаллар

Бир ўлчамли кристалларда мухит синдириш курсатгичи периодик жихатида бир йўналиш бўйлаб ўзгаради (1D). Бундай структуралар биринчи кулланиши спектрал филтрлар ишлаб чиқишга тўғри келди. Кейинчалик турли оптик элементларни шу турдаги пленкалар билан қоплаш бошланди ва бу турдаги элементлар ёритилган оптика номи билан аталди.

Қуйдаги расмда турли фотон кристаллари схематик тасвири келтирилган



Икки ўлчамли фотон кристаллар фазода икки йўналиш бўйича периодик структурага эга бўлади (2D).

Уч ўлчамли фотон кристаллар фазода уч йўналиш бўйича периодик структурага эга бўлади (3D).

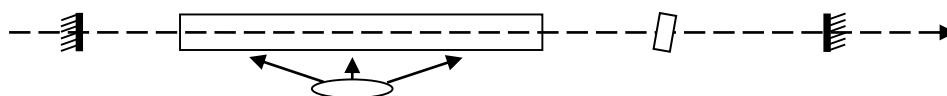
Фотон кристалларини ўрганиш тарихи.

- ❖ First studied by **Lord Rayleigh in 1887, in connection** with the peculiar reflective properties of a crystalline mineral with periodic “twining” 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 узунлигидаги лазер импульсларини генерациялаш. Ўз – ўзини фокуслаш.

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Лазернинг функционал схемаси

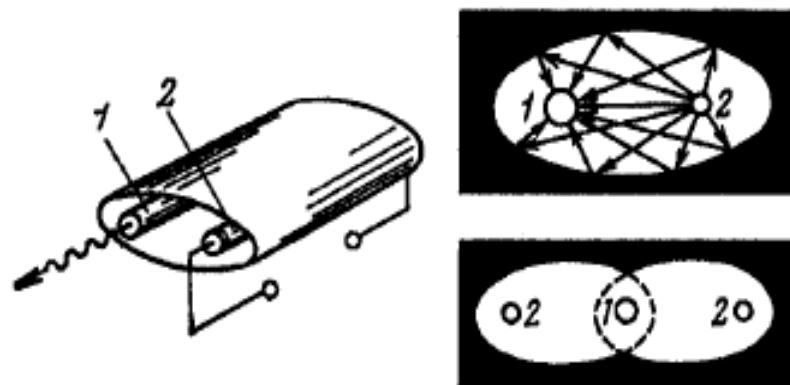


1-актив элемент, 2-оптик резонатор, 3-дамлаш (накачка, pumping) системаси, 4-резонатор ичига қўйилиши мумкин бўлган қўшимча элементлар. AA' ўқ лазернинг *оптик ўқи*

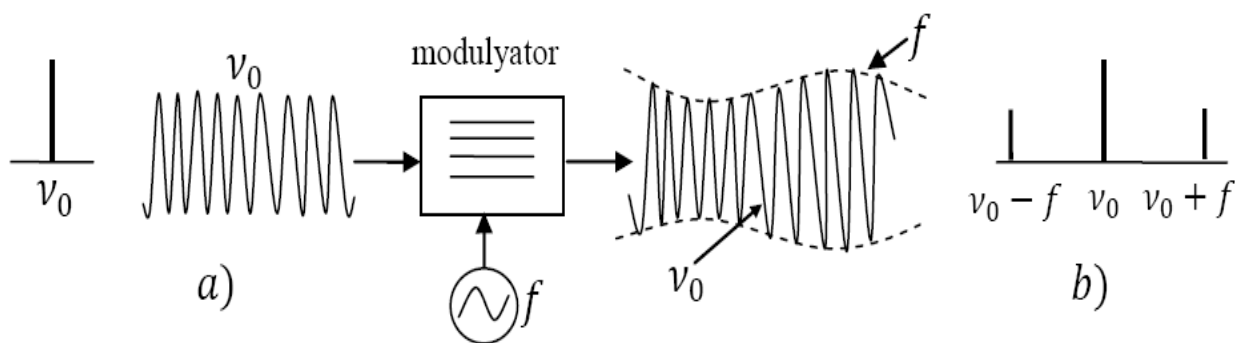
Оптик резонатор икки ясси, бири ясси ва иккинчи сферик ёки иккаласи сферик кўзгулардан иборат бўлиши мумкин. Кўзгулардан бирининг нури қайтариш коэффиценти 100 %, иккинчи кўзгу қисман ўтказади. **Оптик резонатор асосий вазифаси генерация шарти - мусбат тесқари боғланишни юзага келтириш.**

Дамлаш системаси актив марказларни қўзғатиш учун ишлатилади. Ёруғлик лампалари, электр разряд, кимёвий реакция, ярим ўтказгич ёруғлик диодлари ва х.к.

Оптик резонатор ичига қўшимча элементларни (пластинка, призма ва х.к..) ўрнатиш мумкин ва улар ҳар хил вазифаларни бажаради. Масалан, лазер нурини модуляция қилиш, ёруғлик спектрини торайтириш, лазерни керакли режимда ишлатиш ва х.к.



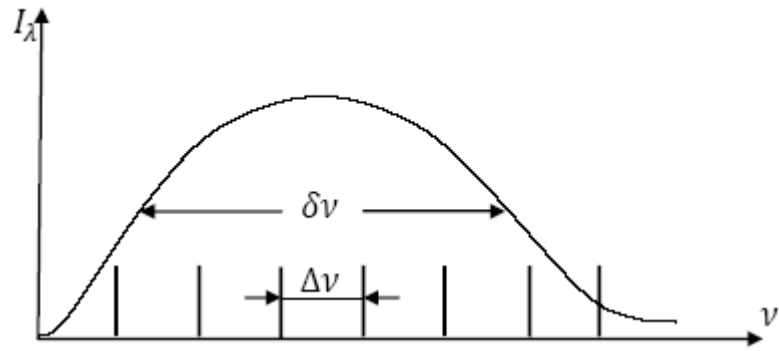
Модалар синхронизацияси, фемтосекунд импульслар генерациясилаш. Лазер оддий режимда ишласа, генерация бўлган импульсларнинг давомийлиги миллисекундлар, гигант импульслар режимда эса наносекундлар бўлади



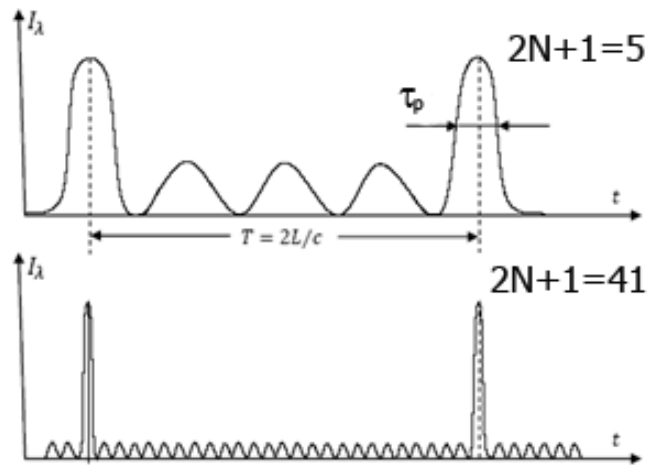
ν_0 частотали монохроматик тўлқин интенсивлигини f частота билан модуляция қилиш. а- модуляторга тушаётган монохроматик тўлқин спектри. б- модулятордан чиққан тўлқин спектри. ν_0 частотали монохроматик тўлқин интенсивлигини f частота билан модуляция қилиш. а- модуляторга тушаётган монохроматик тўлқин спектри. б- модулятордан чиққан тўлқин спектри.



Актив элемент люминесценцияси (кучайтириш) профили ва резонатор мўдаларининг бир-бирига нисбатан жойлашиши. Профильнинг dn – кенглигида 4 та мўда генерация бўлиши мумкин



5 ва 41 та ўзаро синхронизация қилинган аксиал мўдали лазер нури интенсивлигининг вақтга боғлиқлиги.



Назорат саволлари

1. Оптик Фурье-алмаштириши.
2. Тарқалишда майдоннинг ўзгариши, дифракция интеграли.
3. Френель дифракцияси интеграли.
4. Фраунгофер дифракцияси интеграли.
5. Туркишдаги Фраунгофер дифракцияси.
6. Линзада тўлқин фронтини алмаштириши.
7. Оптик системада функционал алмаштиришлар
8. Линзали системада Фурье-алмаштириши
9. Линзали системанинг акс функцияси.
10. Алмаштиришнинг хоссалари.
11. Оптик тасвирни ҳосил қилиш.
12. Иккинчи тартибли когерентликнинг классик баёни.
13. Иккинчи тартибли когерентлик функциясининг тарқалиши: Ван Циттерт–Цернике теоремаси.
14. Нурланиш спектри ва когерентлик даражаси.
15. Фотосаноқлар статистикаси, Мандель формуласи.
16. Фотосаноқлар флуктуациялари
17. Иссиклик нурланишининг фотосаноқлар статистикаси.
18. Фотонлар гуруҳланиш эффекти.
19. Интенсивлик интерферометрияси, Хенбери Браун - Твисс эффекти.

Фойданалинган адабиётлар

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.

IV. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ МАТЕРИАЛЛАРИ

1-Амалий машғулот:

Спектрал қурилмаларнинг асосий характеристикалари

Ишдан мақсад: Замоновий спектрал қурилмаларнинг оптик схемалари ва ишлаш принципларини ўрганиш ва спектрларни қайта ишлаш жараёни билан танишиш.

Масаланинг қўйилиши: Тингловчиларга турли кимёвий элементларни спектрларини моделлаштириш таклиф этилади ва шу спектрлардан сифат анализи учун аналитик чизиклар аниқлаш таклиф этилади.

Ишни бажариш учун намуна

Тингловчиларга Зайдель спектрларни моделлаштириш программасини урнатиш ва иўшга тушириш таклиф қилинади ва улар турли шароитларда спектрларни моделлаштиришлари керак булади. Мисол учун ишхор металллар спектрларини моделлаштириш.

Назорат саволлари

1. Оптик спектрал қурилмалар.
2. Оптик спектрал қурилмаларни классификацияси.
3. Асосий характеристикалари.
4. Ажрата олиш қобилияти, дисперсияси ҳамда оптик диапазоли.
5. Оптик схемалари.
6. Призмали спектрал қурилмалар.
7. Дифракцион панжарали спектрал қурилмалар.
8. Интерференцион спектрал қурилмалар.
9. Фабри-Перо интерферометри.

Тавсия этиладиган адабётлар

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 › Research › Specialties
- 3 www.manchester.ac.uk.
- 4 www.phys.soton.ac.uk/module/PHYS1004

2-Амалий машғулот: Фотон кристалларининг оптик хусусиятлари

Ишдан мақсад: Бир ўлчамли фотон кристаллари, икки ва уч ўлчамли фотон кристалларни оптик хусусиятларини компьютерда моделлаштириш орқали уларни оптик хусусиятларини ўрганиш. Фотон кристаллари хусусиятларини матрицалар ёрдамида тавсифлаш. Периодик структурали мухитларда Фурье оптикasi элементларини қўллаш.

Масаланинг қўйилиши: Тингловчиларга Фурье алмаштиришларини амалга оширадиган программа билан танишиб унда ишлатиладиган параметрларни урганиб чиқиш тавсия қилинади. Периодик структурага эга бўлган моддаларда тўлқин тарқалиши ўрганилади.

Ишни бажариш учун намуна

Тингловчиларга Фурье алмаштиришларини амага оширувчи программа таклиф қилинади, тингловчилар ёруғлик тўлқинини фотоник кристалдан ўтиш жараёнини моделлаштирадилар.

Назорат саволлари

1. Оптик Фурье-алмаштириши.
2. Тарқалишда майдоннинг ўзгариши, дифракция интегралли.
3. Линзада тўлқин фронтини алмаштириши.
4. Оптик системада функционал алмаштиришлар
5. Линзали системада Фурье-алмаштириши
6. Линзали системанинг акс функцияси.
7. Алмаштиришнинг хоссалари.
8. Оптик тасвирни ҳосил қилиш.
9. Иккинчи тартибли когерентликнинг классик баёни.
10. Иккинчи тартибли когерентлик функциясининг тарқалиши: Ван Циттерт–Цернике теоремаси.
11. Нурланиш спектри ва когерентлик даражаси.

Тавсия этиладиган адабиётлар

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 > Research > Specialties
3. www.photonics.com/
4. www.photonics21.org/
5. photonics.cusat.edu/

КУЧМА МАШҒУЛОТ МАЗМУНИ

Фемтосекунд узунликли лазер импульсларини генерациялаш ва наноструктурали мухитлар спектроскопияси

Машғулот давомида Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Ион плазма ва лазерли технологиялар институтининг бир қатор етакчи тадқиқот лабораториялари билан танишиш назарда тутилган. Жумладан Лазерли технологиялар лабораториясида фемтосекунд диапазонидаги лазер импульсларини генерациялаш ва улар ёрдамида наноструктурали мухитлар оптик хусусиятларини ўрганиш, нано структурали моддалар шу жумладан фотоник кристалларни ўрганишда алоҳида роль ўйнайдиган электрон микроскоп ишлаш принципи ва тузилишини ўрганиш кўзда тутилган.

Ишдан мақсад: Импульс узунликлари фемтосекунд диапазонида ётувчи лазертехникаси билан танишиш ва фемтосекунд импульсларини олиш жараёнининг турли жихатлари билан танишиш ва фемтосекунд узунликдаги импульсларни қўлланиш сохалари билан таниниши.

Масаланинг қўйилиши: Тингловчилар ультрақисқа импульсларни генерациялаш жараёнида иштирок этадиллар ва бу жараёнда қўлландиган қурилмалар билан танишадилар. Электрон микроскоп иш жараёни билан танишадилар.

Назорат саволлари

1. Резонаторнинг асиллиги ва уни модуляциялаш усуллари.
2. Лазер актив мухитига қўйиладиган талаблар.
3. Тўйинувчан ютиш мухитлари.
4. Фуллеренлар ҳақида тушинча.
5. Электрон микроскопи ишлаш принципи.
6. Спектрал чегаранланган импульслар.
- 7.

Тавсия этиладиган адабиётлар

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/
- 6 photonics.cusat.edu/

V. КЕЙСЛАР БАНКИ

I. Мини кейс. Спектрал курилмалар хусусиятлари

Спектроскопиянинг асоосий тенгламасининг кўриниши

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

Бу ерда $U(x)$ -тасвир, $\varphi(x)$ -спектр кенглиги, $F(x)$ -аппарат функция. У холда аппарат функция ва тасвирни улчаб, ўрта миёна спектрал курилмада спектрни ихтиёрий аниқликда улчанса бўлади.

Натижа: Спектрал курилманинг сифатининг ахамияти бўлмай қолди. У холда нега спектрал курилмалар сифатини оширишга ҳаракат қилинади?

Изохлаб беринг.

II. Мини кейс. Фикрий эксперимент

Зарранинг бошланғич импульси P . Зарра иккига бўлинади: Хосил бўлган зарралар импульси P_1 ва P_2 . Импульс сақланиш қонунига кўра: $P=P_1+P_2$.

Биринчи зарра импульси P_1 ни ўлчаб, $P_2 = P - P_1$, аниқ топиш мумкин.

Иккинчи зарра координатасини аниқ ўлчаш мумкин X_2 .

Натижа: бир вақтда иккинчи зарра импульси ва координатаси аниқланди.

Квант механикаси қонунларига зид!

Изохлаб беринг.

III. Мини кейс. Эксперимент натижалари

Шиша призмали спектрал курилмада кенг спектр улчанди. Спектрнинг бинафша томонида интенсивлик тахминан 0.4 мкм тўлқин узунлигига эга тўлқинлардан бошлаб тўлқин узунлиги камайиши билан интенсивлик камайиб кетган.

Олинган натижани изохлаб беринг.

VI. МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ МАВЗУЛАРИ

Мустақил ишни ташкил этишнинг шакли ва мазмуни

Тингловчи мустақил ишни муайян модулни хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қуйидаги шакллардан фойдаланиб тайёрлаши тавсия этилади:

- меъёрий ҳужжатлардан, ўқув ва илмий адабиётлардан фойдаланиш асосида модул мавзуларини ўрганиш;
- тарқатма материаллар бўйича маърузалар қисмини ўзлаштириш;
- автоматлаштирилган ўргатувчи ва назорат қилувчи дастурлар билан ишлаш;
- махсус адабиётлар бўйича модул бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
- тингловчининг касбий фаолияти билан боғлиқ бўлган модул бўлимлари ва мавзуларни чуқур ўрганиш.

Мустақил таълим мавзулари

1. Дифракцион панжарали спектрал қурилмаларни ажрата олиш қобилияти.
2. Призмали спектрал қурилмаларни ажрата олиш қобилияти.
3. Оптик системалардаги абберациялар.
4. Чизикли ва узлуксиз спектрлар.
5. Мажбурий нурланиш ходисалари (оптик квант генераторлар мисолида).
6. Спектрларни фотографик усулда қайд қилиш.
7. Спектрларни фотоэлектрик усулда қайд қилиш.
8. Спектрларни тўлқин узунлигини аниқлаш.
9. Ёруғликни зичликнинг флукуация сихисобига сочилиши.
10. Ёруғликнинг комбинацион сочилиши ва уни тажрибада аниқлаш.
11. Мухитлар структурасини ўрганишда ёруғликнинг молекуляр ва комбинацион сочилиш спектрларини ўрни.
12. Электроптик дефлекторлар.
13. Брег дефлектори.
14. Оптик процессорлар ишлаш принципи.
15. Ташқи ташувчидаги оптик хотира
16. Нуртолали оптик алоқа тармоқларининг умумий конструкция.
17. Оптик нуртола турлари ва уларни характеристикалари.
18. Оптик нуртолаларда дисперсия турлари.
19. Нуртоладаги ютилиш механизмлари.
20. Кристалл структурали моддаларда энергетик зоналар тушунчаси.
21. Ютилиш турлари.
22. Фоторезистор ва фотодиодлар.
23. Тунелли фотодиодлар.
24. Ярим ўтказгичли лазерлар.
25. Голографик хотира ишлаш принципи

VII. ГЛОССАРИЙ

Термин	Таърифи	Definition
Квант механикаси	Физиканинг алоҳида атом ва элементар (субатом) зарралар каби микроскопик жисмлар (объектлар) табиатини ўрганувчи бўлими	Quantum mechanics is a fundamental branch of physics concerned the nature of atoms and subatomic particles.
Эркинлик даражалари сони	Нуқтанинг фазодаги вазиятини тўлиқ аниқловчи ўзаро боғлиқ бўлмаган координаталари сони	The number of degrees of freedom can be defined as the minimum number of independent coordinates that can specify the position of the system completely.
Тебранишлар	Маълум бир қонуниятга мувофиқ даврий равишда такрорланиб турувчи жараёнлар	Oscillations are a repeating process which submits to the certain law
Гармоник тебранишлар	Тебранаётган жисмнинг кўчиши синус ёки косинус қонунига мувофиқ юз берадиган даврий жараён	Harmonious oscillations are a periodic process in which changes of some physical magnitude occur under the law of sine or cosine
Гармоник осциллятор	Гармоник тебранишлар юзага келиши мумкин бўлган система	Harmonious oscillator is system in which harmonious oscillation are possible
Тебранишлар амплитудаси	Тебранаётган физикавий катталиқнинг мувозанат ҳолатидан энг катта оғиши	Amplitude of fluctuations is the greatest deviation of a oscillating magnitude from a condition of balance
Хусусий частота	Қаршилик кучлари бўлмаганида содир бўладиган эркин тебранишлар частотаси	Self-resonant frequency is a frequency with which a free fluctuations occur in system in absence extraneous forces
Мажбурий тебранишлар	Ташқи куч таъсирида содир бўладиган тебранишлар	The compelled fluctuations are a fluctuations which appear under influence of external forces
Резонанс	Мажбурий тебранишлар частотасининг система эркин	Resonance - fast increasing a amplitude of oscillating at

	тебранишлари частотасига яқинлашганида тебранишлар амплитуда-сининг кескин ортиб кетиши ҳодисаси	approach of frequency of the compelled oscillation to a frequency of self-resonant frequency
Тўлқин	Тебранишларнинг фазода тарқалишида юзага келадиган объект	Wave - a object arising at propagation of oscillations in a space
Тўлқин узунлиги	Тебранишлар даврига тенг бўлган вақт оралиғи мобайнида тўлқин тарқаладиган масофа	The length of a wave - a distance which is propagated a wave in a time which equal to one period of oscillations
Тўлқинлар сони	2π сонининг тўлқин узунлигига нисбатига тенг бўлган физикавий катталиқ	Wavenumber - a physical magnitude which amount to the ratio of constant 2π to length of a wave
Когерент тўлқинлар	Фазалар фарқи ўзгармасдан сақланадиган тўлқинлар	Coherent waves - waves with a constant difference of phases
Интерференция	Когерент тўлқинлар қўшилиши туфайли юзага келган натижавий тўлқиннинг энергияси фазода қайта тахсимланиши	Interference - redistribution of energy of oscillations in a space in consequence of addition of coherent waves
Ёруғликнинг тўғри чизик бўйлаб тарқалиш қонуни	Оптик жиҳатдан бир жинсли бўлган муҳитда ёруғлик нури тўғри чизик бўйлаб тарқалишини исботловчи илмий ҳулоса.	The law confirmatory about rectilinear propagation of a light beam in optically homogeneous medium.
Тушиш бурчаги	Икки муҳит чегарасида ёруғлик нури тушиш нуқтасида сиртга туширилган нормал ва тушган нур орасидаги бурчак.	Light angle - a angle in a point of falling of a beam on mediums boundary formed by normal to boundary and by the falling beam
Қайтиш бурчаги	Икки муҳит чегарасида ёруғлик нурининг тушиш нуқтасида сиртга туширилган нормал ва қайтган нур орасидаги бурчак	Angle of incidence - an angle on boundary of two mediums forming in a falling point by normal to boundary and by the reflected beam
Синиш бурчаги	Икки муҳит чегарасида ёруғлик нурининг тушиш нуқтасида сиртга туширилган нормал ва синган нур орасидаги бурчак	Angle of refraction - an angle on boundary of two mediums forming in a falling point by normal to boundary and by the

		refracted beam
Дифракцион панжара	Кўп микдордаги бир хил бўлган ва бир-биридан бир хил масофада жойлашган тирқишлар тўплами	A grating is any regularly spaced collection of essentially identical, parallel, elongated elements.
Ёруғлик дисперсияси	Модда синдириш кўрсаткичининг ёруғлик тўлкини узунлигига боғлиқлиги туфайли содир бўладиган ҳодиса	Dispersion -the dependence of wave velocity on frequency or wavelength
Қутбланган ёруғлик	Тебранишлар йўналиши маълум бир қоидага кўра тартибланган ёруғлик нури.	polarized light - radiation in which oscillation are ordered somehow
Қутблагич	Табиий (қутбланмаган) нурни ясси қутбланган нурга айлантириб берувчи прибор	A polariser is an optical filter that passes light of a specific polarization and blocks waves of other polarizations
Квант	Модда томонидан нурланаётган ёки ютилаётган энергиянинг чекли порцияси.	Quantum -the minimal portion radiation absorbed or radiated by substance
Ташқи фотоэффект	Ёруғлик нури таъсирида моддадан электронларнинг узилиб чиқиши ҳодисаси	Extrinsic photoeffect is the production of electrons or other free carriers when light shines upon a material
Фотон	Электромагнит нурланиш кванти;	Photon is a quantum of all forms of electromagnetic radiation including light
Де-Бройль тўлкини	Материянинг универсал зарра-тўлқин дуализмининг намоён бўлиши: ҳар қандай энергия ва импульсга эга заррага тўлқин узунлиги h/p ва частотаси $\nu = E/h$ га тенг де-Бройль тўлкини деб аталувчи тўлқин мос келади. Бу ерда h —Планк доимийси. Де-Бройль тўлқинлари эҳтимоллик тўлқинлари деб изоҳланади; уларнинг мавжудлиги ҳақида 1924 йилда Л. де Бройль фикр билдирган. Бу фикр хусусан электронлар дифракциясини	Wave-particle duality 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 : $\lambda = h/p$

	кузатиш орқали тасдиқланган.	$v = E / h$
Тўлқин функцияси (пси-функция)	Ҳолат вектори. Квант механикасида система ҳолатини ифодаловчи ва эҳтимолликни ва уни тавсифловчи физикавий катталиклар ўртача қийматларини топишга имкон берувчи асосий катталик. Тўлқин функцияси модулининг квадрати берилган ҳолат эҳтимоллигига тенг, шунинг учун тўлқин функциясини эҳтимоллик амплитудаси деб ҳам аташади.	A wave function 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 ψ
Гейзенбергнинг ноаниқлик принципи	Микрозаррани бир вақтнинг ўзида маълум бир координата (x, y, z) ва унга мос импульсни (p_x, p_y, p_z) исталган аниқликда улчаб бўлмайди.	Heisenberg's uncertainty principle , is any of a variety of 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 x and momentum p , can be known simultaneously.
Орбитал квант сони l	Берилган бош квант сони n учун $l=0, 1, \dots (n-1)$ қийматларни қабул қилувчи ва атомдаги импульс моментини аниқловчи бутун сон	The orbital quantum number describes the subshell, and gives the magnitude of the orbital angular momentum. The value of l ranges from 0 to $n - 1$,
Магнит квант сони m_l	Берилган l сони учун $m_l = -l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$ қийматларни қабул қилувчи ва электроннинг маълум йўналишга импульс momenti проекциясини аниқловчи бутун сон	The magnetic quantum number 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 m_l range from $-l$ to l , with integer steps between them
Спин	Микрозарранинг квант табиатига эга ва зарранинг бутунлигича ҳаракати билан боғлиқ бўлмаган хусусий ҳаракат миқдори momenti; Планк доимийсига	The spin projection quantum number (m_s) describes the spin of the electron within that orbital, and gives the projection of the spin angular momen-

	<p>каррали қийматларда бутун (0, 1, 2,...) ёки ярим бутун бўлиш мумкин (1/2, 3/2,...).</p>	<p>tum S along the specified axis. In general, the values of m_s range from $-s$ to s, where s is the spin quantum number, an intrinsic property of particles:</p>
<p>Паули принципи</p>	<p>Табиатнинг фундаментал қонуни. Унга кўра квант системасида иккита (ёки ундан кўп) ярим бутун спинга эга бўлган айнан бир хил зарралар бир хил ҳолатда жойлаша олмайдилар.</p>	<p>The Pauli exclusion principle is the quantum mechanical principle that states that two identical fermions (particle s with half-integer spin) cannot occupy the same quantum state simultaneously.</p>

VIII. АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

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 › Research › Specialties
3. www.manchester.ac.uk.
4. www.photonics.com/
5. www.photonics21.org/
6. www.phys.soton.ac.uk/module/PHYS1004
7. photonics.cusat.edu/
8. www.britannica.com/science/nanoparticle