

**Buxoro davlat universiteti
o'quv-metodik kengash 7-sonli
yig'ilishining bayonnomasidan**

K O' C H I R M A

26.02.2022

Buxoro shahri

K U N T A R T I B I:

1. Turli masalalar.

Fizika kafedrası dotsenti, kimyo fanlari nomzodi S.O. Saidovning 5140200 – Fizika ta'lim yo'nalishi uchun "Lazer fizikasi" deb nomlangan o'quv-uslubiy qo'llanmani tavsiya etish.

E S H I T I L D I:

M.Y. Farmanova (kengash kotibasi) - Fizika kafedrası dotsenti, kimyo fanlari nomzodi S.O. Saidovning 5140200 – Fizika ta'lim yo'nalishi uchun "Lazer fizikasi" deb nomlangan o'quv-uslubiy qo'llanmani nashrga tavsiya etishni ma'lum qildi. Ushbu o'quv-uslubiy qo'llanmaga: BuxMTI, Fizika kafedrası dotsenti, texnika fanlari nomzodi O.S. Komilov va Fizika kafedrası dotsenti, texnika fanlari nomzodi E.S. Nazarovlar tomonidan ijobiy taqriz berilgani ta'kidlandi. O'quv-uslubiy qo'llanma muhokamasi haqidagi Fizika-matematika fakulteti (2022-yil 24-fevral) va Fizika kafedrası (2022-yil 16-fevral) yig'ilish qarori bilan tanishtirdi.

Yuqoridagilarni inobatga olib o'quv-metodik kengash

Q A R O R Q I L A D I:

1. Fizika kafedrası dotsenti, kimyo fanlari nomzodi S.O. Saidovning 5140200 – Fizika ta'lim yo'nalishi uchun "Lazer fizikasi" deb nomlangan o'quv-uslubiy qo'llanma nashrga tavsiya etilsin.

O'quv-metodik kengash raisi

O'quv-metodik kengash kotibasi



R.G'. Jumayev

M.Y. Farmanova

**BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI FIZIKA-MATEMATIKA
FAKULTETI KENGASHINING NAVBATDAGI YIG'ILISHI
7-BAYONIDAN KO'CHIRMA**

24.02.2022 yil

Kengash raisi: Jo'raev H.O.

Kengash kotibi: Umarova U.U.

Qatnashdi: 16 nafar Kengash a'zosi va
fakultet professor-o'qituvchilari

KUN TARTIBI:

Turli masalalar.

Nashrga tavsiya.

2) "Fizika" kafedrasida dotsenti, kimyo fanlari nomzodi S.O. Saidovning 5140200-fizika yo'nalishi uchun "Lazer fizikasi" nomli o'quv uslubiy qo'llanmasini nashrga tavsiya etish to'g'risida.

Eshitildi:

H.O.Jo'raev – Kengash a'zolariga "Fizika" kafedrasida dotsenti, kimyo fanlari nomzodi S.O. Saidovning 5140200- fizika yo'nalishi uchun "Lazer fizikasi" nomli o'quv uslubiy qo'llanmasiga tashqi taqrizni O.S. Komilov Buxoro muhandislik - texnologiya instituti "Fizika" kafedrasida dotsenti, texnika fanlari nomzodi va E.S. Nazarov–Buxoro davlat universiteti, "Fizika" kafedrasida dotsenti, texnika fanlari nomzodi tomonidan berilgan. "Fizika" kafedrasida dotsenti, kimyo fanlari nomzodi S.O. Saidovning 5140200- fizika yo'nalishi uchun "Lazer fizikasi" nomli o'quv uslubiy qo'llanmasiga berilgan barcha taqrizlar ijobiy.

Kafedraning 2022 yil 16 fevraldagi 25 - son yig'ilishida o'quv qo'llanma ko'rib chiqilgan.

Yig'ilish raisi Kengash a'zolaridan va fakultet professor– o'qituvchilaridan BuxDU "Fizika" kafedrasida dotsenti, kimyo fanlari nomzodi S.O. Saidovning 5140200- fizika yo'nalishi uchun "Lazer fizikasi" nomli o'quv uslubiy qo'llanmasini nashr etishga tavsiya etish uchun ochiq ovozga qo'ydilar. Fakultet Kengashi a'zolari va professor-o'qituvchilari taklifni bir ovozdan qo'llab-quvvatladilar.

Muhokama etilgan masala yuzasidan fakultet Kengashi yig'ilishida quyidagicha

Qaror qilindi:

"Fizika" kafedrasida dotsenti, kimyo fanlari nomzodi S.O. Saidovning 5140200- fizika yo'nalishi uchun "Lazer fizikasi" nomli o'quv uslubiy qo'llanmasi nashr etishga tavsiya etildi.

Kengash raisi:



H.O.Jo'raev

Kengash kotibi:

U.U. Umarova

Ko'chirma asliga to'g'ri

Buxoro davlat universiteti Fizika-matematika fakulteti Fizika kafedrasining

25-yig'ilishi bayonnomasidan

KO'CHIRMA

16 fevral 2021 yil

Qatnashdi:

Rais: Sh.Sh.Fayziyev

26 nafar kafedra a'zolari

Kun tartibi:

7. Turli xil masalalar.

Eshitildi

7. 7-masala yuzasidan Sh.Sh.Fayziyev so'zga chiqib, kafedra dotsenti S.O.Saidovning 5140200-Fizika yo'nalishi uchun tayyorlagan "Lazerlar fizikasi" nomli o'quv-uslubiy qo'llanmasi bilan kafedra a'zolarini tanishtirdi.

Kafedra a'zolari o'quv-uslubiy qo'llanma haqida ijobiy fikrlarni bildirdilar.

Qaror qilindi:

7. 7-masala yuzasidan, kafedra dotsenti S.O.Saidovning 5140200-Fizika yo'nalishi uchun tayyorlagan "Lazerlar fizikasi" nomli o'quv-uslubiy qo'llanmasini nashrga tavsiya etish fakultet Ilmiy Kengashidan va universitet Metodik kengashidan so'ralsin.



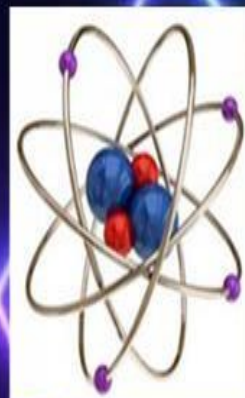
Kafedra mudiri

Konba

Sh.Sh. Fayziyev

X.A. Fayziyeva

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА
МАХСУСТАБЛИМ ВАЗИРЛИГИ
БУХОРО ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ**



С.О. САИДОВ

**ЛАЗЕРЛАР ФИЗИКАСИ ФАНИДАН ЎҚУВ УСЛУБИЙ
ҚЎЛЛАЙМА**

Бухоро 2022 й.

Ўқув услубий қўлланма “Лазер физикаси” фанидан Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус, касб ҳунар таълими йўналишлари бўйича Ўқув-услубий бирлашмалар Мувофиқлаштирувчи Кенгашининг 2019 йил «17» 08 даги 4 - сонли баённомаси билан маъқулланган намунавий фан дастурига асосан тайёрланган.

Ўқув услубий қўлланма Бухоро давлат университети, Физика-математика факультети, Физика кафедрасининг 2022 йил «16» февралдаги «25» - сонли баённомаси қарори билан тасдиқланган.

Ўқув услубий қўлланма Бухоро давлат университети, Физика-математика факультети Ўқув-услубий кенгашининг 2022 йил «24» февралдаги «7» - сонли баённомаси билан тасдиқланган.

Ўқув услубий қўлланма Бухоро давлат университети Ўқув-услубий кенгашининг 2022 йил “26” февралдаги “7” -сонли баённомаси қарори билан тасдиқланган.

Тузувчи:

С.О. Саидов – Бухоро давлат университети, «Физика» кафедраси доценти, кимё фанлари номзоди.

Такризчилар:

О.С. Комилов – Бухоро муҳандислик - технология институти “Физика” кафедраси доценти, техника фанлари номзоди.

Э.С. Назаров – Бухоро давлат университети, «Физика» кафедраси доценти, техника фанлари номзоди.

МУНДАРИЖА

<i>Аннотация</i>	4
I. КИРИШ ҚИСМИ. Лазерлар физикаси ва технологиялари <i>мавзусининг долзарблиги, объекти, предмети, мақсади ва вазифалари, фойдаланилган адабиётлар, норматив-ҳуқуқий ҳужжатлар таҳлили, мавзунинг назарий ва амалий аҳамияти</i>	7
II. АСОСИЙ ҚИСМ	11
2.1. <i>Лазер нурланишининг физик қонуниятлари, лазерларнинг тузилиши ва ишлаш тамойили, хусусиятлари, турлари</i>	16
2.2. <i>Лазерларнинг қўлланиш соҳалари</i>	77
2.3. <i>Лазерлар ва лазер технологияларида долзарб замонавий тадқиқотлар йўналишлари</i>	135
III. ХУЛОСА	143
IV. ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ	145

АННОТАЦИЯ

Ўзбекистонда олиб борилаётган ижтимоий-иқтисодий соҳалардаги ислоҳотлар қаторида илм - фан ва таълим соҳасига ҳам катта аҳамият берилмоқда. Жумладан, Ўзбекистон Республикаси Президенти Ш.М. Мирзиёев томонларидан 2017 йил 20 апрелдаги “Олий таълим тизимини янада ривожлантиришнинг чора - тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-2909-сон ва 2021 йил 19 мартдаги “Физика соҳасидаги таълим сифатини ошириш ва илмий тадқиқотларни ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-5032-сонли қарорлари илм-фан ва таълим соҳасида олиб борилаётган ислоҳотларни янада янги босқичга кўтарди. Юқорида келтирилган қарорларнинг ижросини таъминлашга йўналтирилган махсус дастурларда республикамиз олий таълим муассасалари моддий техника базасини ривожлантириш, ўқув-услубий, педагог-кадрлар билан таъминлашни сифат даражасини кўтариш, физика фанини ўқитиш сифатини ошириш, таълим жараёнига замонавий ўқитиш услубларини жорий қилиш, иқтидорли ўқувчи, талабаларни саралаш, меҳнат бозорига рақобатбардош мутахассисларни тайёрлаш, илмий тадқиқот ва инновацияларни ривожлантириш ҳамда бу вазибаларнинг амалий натижадорлигига йўналтирилган бир қатор долзарб топшириқлар белгилаб берилди. Шу нуқтаи-назардан, физика соҳасидаги фундаментал илмий тадқиқотларни ҳар томонлама қўллаб-қувватлаш, илмий даражали кадрларни тайёрлаш тизимининг самарадорлигини ошириш ва «фан – таълим - ишлаб чиқариш - ҳудуд» интеграциясини чуқурлаштириш бўйича амалий чора-тадбирларни ишлаб чиқиш ва жорий этиш бугунги куннинг долзарб масалаларидан биридир. Бу эса ўз навбатида фундаментал фанларнинг ривожланишига туртки бўлмоқда. Лазерлар физикаси ва лазер технологиялари фан билан амалиёт ўртасидаги ўзаро узвийлиқнинг ажойиб намунаси бўла олади. Ҳозирги кунда фан ва техникадаги баъзи соҳаларни лазерларсиз тасаввур қилиб бўлмайди, бу эса ўз навбатида лазерлар илмий асосларини янада чуқурроқ ўрганиш ва ривожлантиришни

тақозо этмоқда. Ишлаб чиқаришнинг кескин ривожланиши борган сари ўта аниқ, содда ва ишончли асбобларни яратишни талаб этмоқда. Бундай талабларга лазер технологиялари жавоб бера олади десак янглишмаган бўламиз. Ушбу фикрларимизни исботлашга уриб кўрамиз. Ҳақиқатдан ҳам бир - бирига ўхшамаган фан соҳаларида лазерлар ва лазер технологияларидан муваффақиятли фойдаланилмоқда, жумладан, улар оптик алоқа, қишлоқ хўжалигида, жараёнларни назорат қилиш, радикаллар кимёси, голография, тиббиёт, изотопларни ажратиш, интеграл схемаларни тайёрлаш ҳамда саноатда пайвандлаш ва ҳоказолардир. Ушбу тармоқлар ўз навбатида лазерлар ва лазер технологияларига оид илмий - тадқиқот ишлари кўламини кескин ривожлантиришни тақозо этмоқда.

Тарихан Т. Мейман 1960 йил, 16 Май куни биринчи марта оптик квант генератори (ОКГ) - лазернинг ишлашини намойиш этди (инглизча laser, акроним “light amplification by stimulated emission of radiation “мажбурий нурланиш воситасида ёруғликни кучайтириш” қисқартма) [1]. Т. Мейманнинг олиб борган тадқиқотлари лазер физикасида янги даврни очиб берган бўлсада, тарихан “стимуллашган нурланиш табиати” тўғрисидаги назарий таълимот А. Эйнштейнга тааллуқлидир (1917 й.). Ушбу йўналишда Валентин Фабрикант (1939 й.), Гордон Гулд (1959 й.) ва Кумар Пател (1963 й.) ларнинг изланишлари ҳам алоҳида эътиборга сазовордир. Лазерлар - 60 йил давомида муттасил ривожланаётган фундаментал ва амалий физиканинг муҳим йўналиши – квант электроникасининг тадқиқот объекти ҳисобланади. Ҳозирда замонавий фаннинг деярли ҳамма соҳаларида, технология, тиббиёт, саноат, алоқа, космос, илмий, муҳофаа, тадқиқот ва ҳ.к. соҳаларни лазерларсиз тасаввур қилиб бўлмайди. Квант электроникаси соҳасидаги улкан ютуқ – лазернинг кашф этилганлиги учун 1950 й. да Басов Н.Г., Прохоров А.М. (Россия), Таунс Ч. (АҚШ) ларга Нобель мукофоти берилган. 2000 йил яримўтказгичли гетероструктуралар асосидаги лазер яратилиши учун Ж.И. Алфёров (Россия) Нобель мукофоти лауреати бўлган.

Ўзбекистон Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти, Тошкент давлат техника университети, Бухоро давлат университети ва бошқа бир қатор олийгоҳларнинг олимлари, илмий ходим ва мутахассислари, профессор-ўқитувчиларининг лазер физикаси ва лазер технологиялари соҳасида олиб бораётган илмий амалий тадқиқот ишларининг кўлами, уларнинг амалиётга жорий этишилиши борасидаги ютуқларининг алоҳида ўрни, нуфузи ва даражаси жуда юқори деб ҳисоблайман.

КИРИШ

Лазерлар физикаси мавзусининг долзарблиги, объекти, предмети, мақсади ва вазифалари, фойдаланилган адабиётлар, норматив-ҳуқуқий ҳужжатлар таҳлили, мавзунинг назарий ва амалий аҳамияти

Лазерлар инсоният тараққиёт йўлига дадил ва жуда кенг қўламларда кириб келиб, тобора янги соҳаларда ишлатилмоқда. Улар турли соҳалар - технологияда, тиббиёт, метрология, ахборотни қайта ишлаш ва узатиш, физик, кимёвий ва биологик тадқиқотлар ҳамда ҳарбий соҳаларда бизнинг имкониятларимизни кенгайтди. Лазер физикаси ва технологиялари соҳасидаги илмий тадқиқотларнинг ўсиб бориши такомиллашган лазерларнинг янги турларини яратиш имкониятини очади, бу эса уларнинг қўлланилиш қўламини янада кенгайтиради. Хусусан, қаттиқ жисм лазерлари нурланиш қуввати ва бошқа физик сифатларининг такомиллаштирилиши лазерли бошқариладиган термоядро синтезини амалга оширишнинг янги истиқболларини очиб беради, бу эса инсоният учун глобал муаммо бўлган энергия танқислигини бартараф этиб, инсониятни деярли битмас-туганмас энергия манбаи билан таъминлайди. Материалларга ишлов бериш технологиясида ҳам CO₂ лазерларининг ўрни бекиёсдир, оғир машинасозликда уларга асосланган қурилмалар яқин келажакда анъанавий станок ва ускуналар ўрнини эгаллаши кутилмоқда.

Замонавий дастурий таъминот воситалари ёрдамида лазер нурланишини бошқаришнинг соддалиги уларни автоматлаштирилган тизимларда кенг фойдаланиш имконини беради. Бир частотали лазерларни хусусан, суюқ лазерларни янада ривожлантириш уларнинг кимёвий технологияда ва изотопларини ажратишда фойдаланиш имкониятларини сезиларли даражада кенгайтиради. Юқори стабиллашган частотали лазерлар голографик ва интерференцион ўлчаш усулларида янада кўпроқ

фойдаланишга имкон яратади, ҳозирги кунда уларга фан ва техниканинг турли соҳалари мутахассисларининг қизиқишлари ортиб бормоқда.

Ҳозирда кунда қўлланилиб келинаётган ва келажакда янги, яратилиши кутилаётган барча лазерларнинг турларини санаб ўтиш ва уларни маълум даражада ёритиш ушбу ишимиз доирасидан чиқади, аммо ишонч билан айтиш мумкинки, лазер технологияларини қўллаш соҳалари фақат кўпайиб ва кенгайиб боришига ишонч билдириш мумкин. Юқорида келтирилган мулоҳазалардан хулоса сифатида таъкилаш мумкинки, лазер физикаси ва лазер технологиялари ҳамда мазкур йўналишдаги замонавий тадқиқотлар йўналишларини ўрганиш айти кунда соҳа олимлари, мутахассислари ҳамда таълим соҳаси вакиллари, хусусан, олий таълимда алоқадор мутахассислар учун долзарб масалаларидан биридир.

Ушбу ўқув услубий қўлланманинг объекти лазер нурланиши бўлиб, унинг физик асослари, лазер нурланиши генерацияси, лазер нурланишининг моддаларга таъсири, лазер электроника қурилмалари ва технологиялари, уларнинг турли соҳаларда қўлланилиши ва ҳозирги кунда ушбу йўналишда олиб борилаётган замонавий илмий-амалий тадқиқотлар унинг предмети ҳисобланади.

Ўқув услубий қўлланманинг мақсади лазер нурланиши, унинг физик асослари, лазер нурланиши генерацияси, лазер нурланишининг моддаларга таъсири, турли мақсадлар учун яратилган лазер қурилмалари ҳақидаги билимларни бойитиш ва чуқурлаштиришдан иборатдир. У қуйидаги вазифаларни ўз ичига олади:

- лазерларни ҳосил қилишнинг назарий асослари;
- лазер нурланишининг характеристикалари;
- лазерларнинг асосий турлари ва уларни таснифлаш усуллари;
- турли соҳаларда қўлланилаётган лазер қурилмалари;
- ҳозирги кунда лазер физикасида олиб борилаётган замонавий илмий-амалий тадқиқотлар;

- лазер физикаси ва лазер технологиялари ривожланишида кутилаётган тенденциялар;
- физика, техника ва технология соҳаларида илмий тадқиқот ва амалий ишларни олиб бориш учун зарур бўлган, лазер нурланишининг моддаларга таъсири қонуниятларига доир махсус билимларни эгаллаш каби компетенцияларни шакллантириш.

Мавзу бўйича мавжуд адабиётлар (нашр, электрон ресурслар ва интернет материаллари) таҳлили шуни кўрсатадики, нисбатан қиёслаганда ўзбек тилида яратилган ўқув, услубий, илмий ва илмий-оммабоп адабиётлар бармоқ билан санарли, ваҳоланки лазер физикаси ва лазер технологияларига тегишли фан (модул) лар кўпгина университет ва олий таълим муассасаларида асосий фан сифатида ўқитилади. Масаланинг иккинчи томони, Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус, касб-ҳунар таълими йўналишлари бўйича Ўқув услубий бирлашмалар мувофиқлаштирувчи кенгашининг 2019 йил 17-августдаги 4-сонли йиғилиш баёни билан тасдиқлаган “Лазер физикаси” фанидан намунавий фан дастурига асосан университетларда ўқитиладиган “Лазер физикаси” фани (модули) учун маърузалар 24 соат, семинар машғулоти 24 соат ва мустақил таълим учун эса 46 соатни ташкил этади. Лазер физикаси ва лазер технологиялари йўналиши, унинг ҳозирги кундаги илмий-амалий аҳамияти нуқтаи-назаридан қараганда бизнинг назаримизда бу соатлар миқдори жуда оз ҳисобланади.

Мавзу бўйича жами 38 та илмий, ўқув, услубий ва илмий - оммабоп адабиётлар, манбалар ва электрон, интернет ресурслари ўрганилиб, улардан керакли ўринларда манба сифатида фойдаланилди, улар ўзаро қиёсланди ва тегишли хулосалар қилишга ҳаракат қилинди, фойдаланилган адабиётлар ва норматив-ҳуқуқий ҳужжатларнинг қисқача таҳлили ўқув услубий қўлланма асосий қисмининг бошида келтирилган. Шу ўринда ўқув услубий қўлланма муаллифи ва собиқ талаба сифатида, Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети физика факультети профессорлари, физика-

математика фанлари докторлари, хурматли устозларим Ш.О. Отажонов ва у кишининг шогирдлари Ш.М. Содиқова, М. Қурбонов томонларидан яратилган “Лазерлар ва уларнинг амалиётдаги ўрни” [2] номли ҳамда М.М. Мириноятонинг “Лазерлар физикаси ва техникаси” [3] номли ўқув-услубий қўлланмаларининг ғоятда қимматли ва илмий-амалий аҳамиятга эга эканлигини алоҳида таъкидлайман ва юқорида келтирилган манбалардан фойдаланилгани учун муаллифларга ўз миннатдорчилигимни билдираман.

Ўқув услубий қўлланманинг назарий ва амалий аҳамияти қуйидагиларни ўз ичига олади. Лазер физикаси ва ундаги замонавий тадқиқотлар йўналишлари соҳасида Бухоро давлат университети физика-математика факультети, Физика кафедрасида олиб борилаётган илмий ва амалий тадқиқотлар қўлами кенгайтирилади, таълим олувчиларнинг мавзу ва йўналишга қизиқишлари ортади, бу эса янги тадқиқотлар учун замин тайёрлайди. Ўқув услубий қўлланма материаллари факультет талабалари, магистрлар ва профессор-ўқитувчилар учун ўзбек тилида, маълум даражада мавзу бўйича тизимлаштирилган илмий услубий манба бўлиб хизмат қилади.

Ўқув услубий қўлланманинг лазерларнинг амалий аҳамиятига тегишли қисмларини умумий ўрта таълим мактаблари юқори синфлар ўқитувчи ва ўқувчилари ҳамда техника йўналишидаги касб-хунар коллежлари, техникумлар учун факультатив соатларда ёки физика фани чуқурлаштириб ўқитиладиган мактабларда услубий манба сифатида фойдаланиш мумкин.

II. АСОСИЙ ҚИСМ

Т. Мейман 1960 йил, 16 Май куни биринчи марта оптик квант генератори (ОКГ) - лазернинг ишлашини намойиш этди (инглизча laser, акроним “light amplification by stimulated emission of radiation “мажбурий нурланиш воситасида ёруғликни кучайтириш” қисқартма) [1]. Т. Мейманнинг олиб борган тадқиқотлари лазер физикасида янги даврни очиб берган бўлсада, тарихан “стимуллашган нурланиш табиати” тўғрисидаги назарий таълимот А. Эйнштейнга тааллуқлидир (1916 й.) [4]. Юқорида кўрсатиб ўтилганидек, лазерлар ва лазер нурланиши қонуниятлари, лазер технологиялари устида изланишлар бир асрдан ошқоқроқ вақтдан буён ҳалигача давом этиб келмоқда.

1960 йилнинг декабрида узлуксиз режимда ишловчи биринчи гелий-неон лазери яратилди [5]. Дастлаб лазер инфрақизил диапазонда, кейинчалик эса такомиллаштирилиб кўринадиган тўлқин узунлигидаги (632,8 нм) қизил рангли нурланишга мослаштирилди. Лазерлар классификация қилинганда [6-9], қуйидагиларга турларга ажратиш мумкин:

- люминесценцияланувчи қаттиқ жислардаги (диэлектрик кристаллар ва шиша);

- яримўтказгич лазерлар: расман қаттиқ жисмли лазерлар турига кирсада, накачка (дамлаш) усули (ортиқча заряд ташувчиларнинг р-п- ўтиш қатлами (гетероқатлам) га инъекцияси, кучли майдондаги электрик пробой ва ҳ.к.) га кўра алоҳида тур ҳисобланади;

- органик бўёқлардаги лазерлар: фаол муҳити флюоресценцияланувчи аралашмали органик моддалар бўлган лазерлар;

- газ лазерлари: фаол муҳити газлар аралашмаси ёки газ аралашмаси буғлари бўлган лазерлар;

- газодинамик лазерлар: иссиқлик (тепловая накачка) дамланадиган газ лазерлари, - уларда инверс соҳалар газлар аралашмаси гетеродроли молекулаларининг ғалаёнлашган тебранма-айланма ҳаракат сатҳларини

газлар аралашмасининг катта тезликдаги адиабатик кенгайиш йўли билан ҳосил қилинади, ишчи модда CO_2 ;

- эксимер лазерлар: фақат маълум вақт кўзғолган ҳолатда мавжуд бўла оладиган эксимер молекулаларнинг (инерт газлари ва уларнинг моногалогенидлари) энергиявий ўтишларига асосланган; фаол муҳитни дамлаш газлар аралашмасидан электронлар дастасини ўтказиб атомларни кўзғотиш натижасида эксимерлар ҳосил қилинади; эксимер лазерлари юқори энергетик сифат ва хусусиятлари билан ажралиб туради, уларда нурланиш генерацияси бўйича тўлқин узунлиги таркиби жуда кичик;

- кимёвий лазерлар: энергия манбаи сифатида фаол муҳитнинг таркибий қисмлари орасидаги кимёвий реакциялардир бўлиб ҳисобланади. Лазер нурланишида ўтишлар реакция маҳсулотлари аралашма молекулаларининг тебраниш-айланиш ва асосий сатҳлари ўртасида содир бўлади. Улар инфрақизил диапазоннинг кенг спектрида, узлуксизлиги ва импульсли нурланишнинг юқори кучи билан ажралиб туради;

- эркин электронли лазерлар: ушбу турдаги лазерларнинг фаол муҳити сифатида ташқи электромагнит майдонда тебранаётган ва нурланиш йўналишида релятивистик тезликда ҳаракаланаётган эркин электронлар оқими қатнашади; ушбу тур лазерларнинг асосий хусусияти сифатида улар нурланишининг жуда кенг тўлқин узунлиги диапазонида силлиқ ўзгартириш имконияти мавжудлигини кўрсатиш мумкин;

- яримўтказгич – квант каскадли лазерлар: уларнинг нурланиш диапазони инфрақизил соҳанинг ўрта ва чекка қисмларига тўғри келади; нурланиш электронларнинг яримўтказгич гетероструктурали қатламларидан ўтишида юзага келади ва 2 турдаги нурланишдан иборат бўлади, иккиламчи нурнинг ажойиб хусусиятларидан бири шундаки, у юқори энергиялар сарфини талаб қилмайди;

- толали ёки оптик толали лазер: уларнинг резонатори оптик толадан иборат бўлиб, лазер нурланиши оптик тола ичида юзага келади (ёки қисман

юзуга келтирилади); бундай лазер резонатори конструкцияси тўлиқ оптик толадан иборат бўлса, бутун оптик толали, агар оптик тола қаторида бошқа элементлар ҳам кирса дискрет оптик толали ёки гибрид оптик толали дейилади;

- вертикал нурланувчи лазерлар (VCSEL) – “сирт нурланувчи вертикал резонаторли лазер” яримўтказгичли диодли лазер тури бўлиб, нурланиш йўналиши параллел пластиналар сиртига перпендикуляр йўналган;

- лазерларнинг бошқа турлари (рентген, гамма ва бошқа турдаги лазерлар) бўйича ҳозирги кунда илмий тадқиқотлар давом этмоқда.

Частоталар диапазони, нурланиш қуввати ва импульси давомийлигига кўра лазерлар фан ва техниканинг турли соҳаларида муваффақиятли қўлланилиб келинмоқда. Масалан, спектроскопияда [10], фотохимияда [11], биохимияда [12], лазер магнитлашда [13], лазер совутишда [14], термоядро синтезида [15], оптик лазер пинцети сифатида [16], ҳарбий соҳада (лазер қуроли, лазерли нишон, снайперларни аниқлаш тизимлари, авиация ва танк қўшинларида душман томонни чалғитиш (адаштириш), лазер нишонга олиш ва ҳ.к.), саноатда сиртлар ва материалларга лазер иссиқлик ишлови беришда (лазерна термообработка) [17], сирт қатламларини ҳосил қилишда (лазер легирлаш, лазер пишитиш, тоблаш, тозалаш, аморфлаш, дезактивация қилиш, сиртларга ишлов бериш, эритиш ва ҳ.к.) [18], вакуум-лазерли пуркаш [19], сирт кимёвий реакцияларини ҳосил қилиш, лазер сваркаси, лазер ёрдамида материалларни ўлчамли ажратиш, кесиш, маркировка, гравировка қилиш, тешикларга ишлов бериш, термотешиш, фотолитография [20], экологик мониторинг ва тиббиётда (косметик хирургия, кўриш қобилияти коррекцияси, стоматология, касалликлар диагностикаси, мия ва орқа мия хирургияси, ўсмаларни олиб ташлаш, сийдик йўлларидаги тошларни “майдалаш”), алоқа ва ахборот технологияларида (оптик дисклар, кўп мақсадли голографик диск, оптик компьютерлар, лазер принтери ва ҳ.к.), маданиятда (турли концертларда лазер шоулари, мультимедияли

тақдимотлар, ёритиш дизайни, киноэкранда лазер субтитрлари, шаффоф материаллар ҳажмий гравировкаси ва бошқ.) ва маиший соҳада лазер кўрсаткич (указка) лари, лазерли дурбинлари, навигация, кузатиш тизимлари ва бошқа кўплаб соҳаларда мисолларни келтириш мумкин.

Тиббиёт биотехнологияларида [21] хужайра ости, хужайра, тўқималарда лазер нурланишининг биологик таъсири масалалари ҳамда лазер нурланишининг клиник биофотометрияси, йирингли жарроҳлик, стоматология, дерматология, косметология, онкологияда клиник терапевтик ва диагностика, болалар хирургияси, акушерлик ва гинекология, проктология, клиник микробиологияда лазер нурланиши ва лазер технологиясидан фойдаланишнинг амалий масалалари кенг баён этилган.

Металларни қайта ишлаш жараёнлари учун концентрланган энергия оқимларидан фойдаланишнинг (КЭО) физик асослари Ю.Д. Клебанов дарслигида батафсил ёритилган [22]. Дарслик икки бўлимдан иборат бўлиб, биринчи бўлимда КЭО лар технологик турлари, уларнинг умумий хусусиятлари, характеристикалари, иккинчи бўлимда эса КЭО ларнинг материаллар билан ўзаро таъсири жараёнида юз берадиган физик ҳодиса ва жараёнлар физик, энергиявий ёритилган.

Давомийлиги ёруғлик тўлқини даврига тенг ультрақисқа импульслар шаклидаги лазер нурланишини ҳосил қилиш муаммосига доир П.Г. Крюковнинг иши [23] ҳам диққатга сазовордир, бунда жараёнлар давомийлиги ёруғлик тўлқини даврига яқин, яъни бир неча фемтосониялар ҳақида боради. Бу замонавий лазер физикасидаги энг муҳим ва долзарб йўналишларидан биридир. Ишда ультрақисқа импульсли лазерларни ҳосил қилиш механизмлари ва улар қувватини ҳатто петаватт даражага етказиш тамойиллари баён этилган.

Лазерли технология тизимлари ҳақида умумий маълумотлар, лазер технологиясидан фойдаланган ҳолда материалларга ишлов бериш жараёнлари: материаллар, уларнинг турлари, уларга ишлов бериш усуллари,

физик-кимёвий жараёнлар, тешиқларга термик ишлов бериш, шунингдек, сирт, пайвандлаш усуллари ҳамда университетларнинг самолётсозлик мутахассисликлари талабалари учун, самолётларнинг газ турбинали двигателларини ишлаб чиқариш билан шуғулланувчи мутахассислар учун Р.Р. Латыповнинг ўқув қўлланмаси [24] фойдалидир.

Электронларни тезлатиш жараёнини назарий ўрганиш натижалари, умумлаштирилган классик айлана ва бўлинган микротронлар, тажриба натижаларини назарий текшириш, микротронда тезлаштирилган электронларнинг хоссаларини ўрганиш масалалари Ю.М. Ципенюк рисоласида [25] келтирилган.

Ахборотни голографик ёзиш усули, уни қайта ишлаш, узатиш, кибернетика, ҳисоблаш техникаси, технология ва асбобсозликда, лазер локацияси (ерусти, бортларда, сув остида), алоқа, лазер навигацияси тизимларида ва ҳарбий соҳаларда лазерлар ва лазер технологияларини қўллашнинг амалий масалалари Айхлер Ю. ва Айхлер Г.И. лар китоби [26] да баён қилинган.

Ўзбекистон Республикасида лазерлар ва лазер технологиялари борасида олиб борилаётган илмий тадқиқотлар, янги лазер турларини ишлаб чиқиш, амалиётга тадбиқ этиш йўналишида Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти олимлари томонидан амалга оширилган ишлар, тадқиқотлар салмоғи жуда юқоридир [27-35].

[36-38] интернет ресурсларидан ҳам лазерлар, лазер нурланиши табиати, унинг хусусиятлари ва қўлланиш соҳаси ҳамда ҳозирги кунда мазкур соҳада олиб борилаётган долзарб замонавий тадқиқотлар йўналишлари ҳақидаги қимматли маълумотларни олиш мумкин.

2.1. ЛАЗЕР НУРЛАНИШИНИНГ ФИЗИК ҚОНУНИЯТЛАРИ, ЛАЗЕРЛАРНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ТАМОЙИЛЛАРИ, ХУСУСИЯТЛАРИ, ТУРЛАРИ

Лазер нурланишларининг физик қонуниятларини баён қилишдан олдин электромагнит тўлқин нурланиши (ёруғлик нури) таъсирида атом ва молекулаларни нурланиши билан боғлиқ физик ҳодисалар тўғрисида фикр юритамиз. Жумладан, нурланишнинг физик қонуниятлари, спонтан ва мажбурий нурланишлар ҳамда уларнинг асосий характеристикалари, энергетик сатҳлар ва уларни ҳосил қилиш каби муҳим масалалар лазерлар физикасини ўзлаштиришда назарий таянч маълумотлар ҳисобланади.

Агар жисмлар маълум даражада мусбат ҳароратга эга бўлса, улар ташқи муҳитга нурланиш тарқатади. Бу нурланиш ҳам ёруғлик нури каби электромагнит ҳодисаларига киради. Иссиқлик нурланиши интенсивлиги нурни чиқарувчи жисм ҳароратсига боғлиқ. Тўлқин узунлиги ҳар қандай қийматга эга бўлган электромагнит нурланиш модда таркибидаги электр зарядларининг, яъни электрон ва ионларнинг тебранишлари оқибатида вужудга келади. Моддани ташкил этган ионларнинг тебранишларидан паст частотали нурланиш пайдо бўлади, чунки ионларнинг массалари катта бўлиб, тебраниш частотаси электронларникидан кичик бўлади. Электронлар тебранишидан ҳосил бўлган нурланиш юқори частотали бўлади. Инфрақизил ва ультрабинафша нурланишларни ҳосил қилиш худди шу асосда тушунтирилади. Табиатда энг кўп учрайдиган нурланиш - бу иссиқлик нурланишидир. Жисмнинг фақат ҳароратига боғлиқ бўлган нурланишни *иссиқлик нурланиши* дейилади.

Агар бир неча жисм иссиқликдан ҳимоя қилинган система ичида жойлашган бўлса, улар иссиқлик энергияси нурланиши ва иссиқлик энергияси ютиш натижасида ўзаро термодинамик мувозанатда бўлади. Бухол учун П.Прево (Швещиялик олим) қоидаси ўринли бўлади. Бу қоида қуйидагича таърифланади: *термодинамик мувозанатда бўлган икки жисм*

ҳар хил миқдорга эга бўлган энергияни ютса, уларни иссиқлик нурланиши интензивлиги ҳам ҳар хил бўлади.

Ҳар қандай жисмлар нур чиқара олиш қобилиятига эга бўлади. Жисмларнинг нур чиқара олиш қобилияти, яъни *нурланиш қобилияти* деб юза бирлигидан атрофга чиқарадиган ёруғлик оқимига айтилади ва

$$E_{v,T} = \frac{\Phi}{S}$$

формула билан аниқланади. Бу формулада: $E_{v,T}$ - нур чиқариш қобилиятини ифодалаб, нурланиш частотаси ва муҳит ҳароратсига боғлиқ бўлади, Φ - нурланиш оқими, S - юза. Нурланиш қобилияти нурланишнинг спектрал зичлиги билан қуйидагича боғланган:

$$E_T = \int_0^{\infty} E_{v,T} \cdot dv$$

СИ системасида нур чиқара олиш қобилиятининг бирлиги - $Вт/м^2$. Жисмларнинг ёруғликни ютиш қобилияти (A_v) ёки жисмларнинг *монохроматик ютиш коэффициент*и деб, ютилган ёруғлик оқими ($d\Phi'_v$) ни тушаётган ёруғлик оқими ($d\Phi_v$) га нисбатига айтилади ва қуйидаги

$$A_v = \frac{d\Phi'_v}{d\Phi_v}$$

формула билан ифодаланади: A_v - ўлчамсиз катталиқ. Бу катталиқ нурланиш частотаси ва жисмнинг ҳароратсидан ташқари, жисмнинг материалига, шаклига ва юзининг силлиқлигига боғлиқ.

Агар жисм тушаётган ёруғлик оқимини тўла ютса, бундай жисмга *абсолют қора жисм* дейилади. Турли тўлқин узунликдаги нурланишлар чиқарувчи Қуёшни амалда абсолют қора жисм деб қараш мумкин. Бундан аён бўладики, жисмлар ҳароратси бирдай юқори бўлганда, қора жисм бошқа жисмларга караганда равшанроқ кўринади. Абсолют қора жисм учун $A_v = 1$. Реал жисмлар абсолют қора эмасдир, лекин оптик хоссаларига қараб

уларнинг айримлари абсолют қора жисмга яқинлигини кўрсатиш мумкин (масалан, қора қуя, қора бахмал ва ҳоказо).

Жисмнинг нур чиқариш қобилиятининг ($E_{v,T}$) спектрал зичлиги ва нурни ютиш қобилияти ($A_{v,T}$) орасида маълум нисбат бўлиб, бу нисбат қуйидагича

$$\varepsilon_{v,T} = \frac{E_{v,T}}{A_{v,T}}$$

ифодаланади ва *Кирхгоф қонунини* ифодалайди. Бу қонунга асосан, ихтиёрий тўлқин узунлиги ва ҳарорат учун жимсларнинг нур чиқариш қобилиятини, нур ютиш қобилиятига нисбати ҳамма жисмлар учун бир хил бўлиб, абсолют қора жисмни нур чиқариш қобилияти $\varepsilon_{v,T}$ га тенг. Кўп ҳолларда $\varepsilon_{v,T}$ ни *Кирхгоф функцияси* деб ҳам аталади. Шундай қилиб, Кирхгоф функцияси абсолют қора жисмнинг нурланиш қобилиятидир.

Абсолют қора жисмнинг нурланиш қонуни

Стефан - Больцман қонуни. Бу қонунга асосан абсолют қора жисмнинг интеграл нур чиқариш қобилияти абсолют ҳароратга қуйидагича боғлиқ:

$$\varepsilon_T = \sigma T^4$$

бу ерда σ - Стефан - Больцман универсал доимийси бўлиб, $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$ га тенг. Ушбу қонунга асосан абсолют қора жисмнинг

нур чиқариш қобилияти муҳит ҳароратсининг тўртинчи даражасига боғлиқ деб қаралиб, нурланиш частотаси эътиборга олинмайди. Яъни муҳитнинг нурланиши қандай частота оралиғига тўғри келиши бўйича маълумот берилмайди.

Вин қонуни. Абсолют қора жисмнинг нур чиқариш қобилияти

$$\varepsilon_{v,T} = c v^3 f\left(\frac{v}{T}\right) \quad \text{кўринишида ифодаланади. Бу}$$

формулада: $f\left(\frac{v}{T}\right)$ - универсал функция, c - ёруғликнинг вакуумдаги

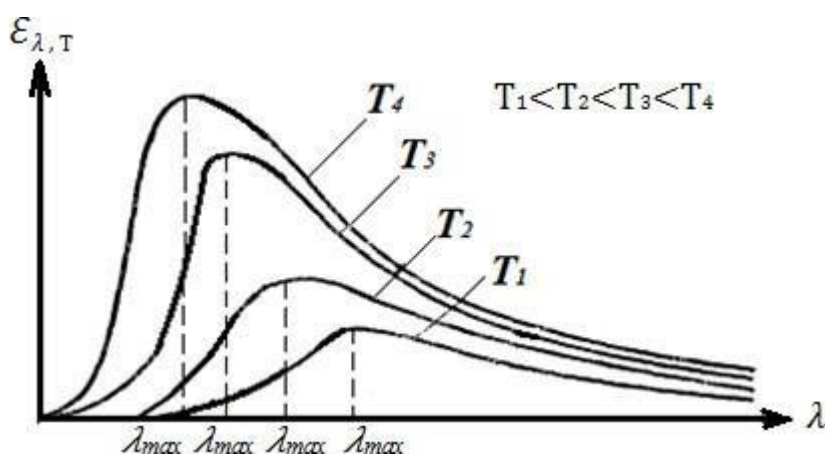
тезлиги, ν - ёруғлик частотаси. Вин эмперик равишда $\epsilon_{\nu,T}$ функциянинг графигини аниқлади. $\epsilon_{\nu,T}$ максимумига тўғри келган нурланиш тўлқин узунлиги λ_{max} ёки частотаси ν_{max} ҳарорат билан қуйидагича боғлиқ:

$$\nu_{max} = T/a$$

Бу формула Виннинг *силжиш қонунини* ифодалайди, бу ерда a – мухит ҳароратсига боғлиқ эмас, ўлчаш натижаларига асосан $a = 0,5100 \text{ см}\cdot\text{град}$ га тенг. Бу қонунга асосан абсолют қора жисмнинг максимал нур чиқариш қобилияти частотаси бу жисмнинг абсолют ҳароратсига тўғри пропорционал. Частота ўрнига тўлқин узунлигини киритиб, Вин қонунини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\epsilon_{\nu,T} = \frac{c^5}{\lambda^5} \int \left(\frac{c}{\lambda T} \right)$$

У ҳолда абсолют қора жисм нур чиқариш қобилиятини максимал қийматига тўғри келувчи тўлқин узунлиги бўлиб: $\lambda_{max} = b/T$, бунда b - Вин доимийси $b = 0,2898 \text{ см}\cdot\text{град}$ га тенг. Вин қонунига асосан абсолют қора жисм максимал нур чиқариш қобилиятини жисмнинг ҳароратсига ва нурланаётган ёруғлик тўлқин узунлигига боғлиқлигини ифодалайди (1.1 - расм).



1.1 - расм

Расм таҳлили шуни кўрсатадики, жисмнинг ҳароратини ошириб борсак, унинг нур чиқариш қобилияти (энергияси ёки интенсивлиги) ортиб боради ва нурланиш энергиясининг максимал қийматлари кичик тўлқин узунлиги томон силжиб боради.

Рэлей - Жинс қонуни. Абсолют қора жисм бир - бири билан ўзаро таъсир этмайдиган осциляторлардан (нур чиқарувчи атом ёки молекулалардан) иборат бўлсин. Бундай осцилятор кўпинча, *гармоник осциляторлар* ёки *радиацион осциляторлар* деб ҳам аталади. *Осцилятор* - тебранишлар бажараётган физикавий жараённи билдиради. Агар гармоник осциляторларнинг ўртача энергиясини $\bar{\epsilon}(\nu)$ деб белгиласак, ν - осциляторнинг хусусий тебраниш частотаси) осциляторнинг нур чиқариш қобилияти

$$\epsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \bar{\epsilon}(\nu)$$

тенглама билан ифодаланади. Молекуляр физикадан маълумки, иссиқлик мувозанати шароитида эркинлик даражалари бўйича энергия тенг

тақсимланади ва $\bar{\epsilon}(\nu) = kT$, сабабли кўринишда $\epsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$ ёзиш мумкин. Бу ифода *Рэлей - Жинс* формуласини ифодалайди. Энергия билан ҳарорат орасидаги муносабатни ифодалайдиган коэффициент k - *Больцман доимийси* деб аталади ва унинг қиймати $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К}$ га тенг. T - абсолют ҳарорат, c - ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги.

Классик физикага асосан ҳар қандай термодинамик система энергияси узлуксиз ўзгариши натижасида ҳар қандай энергияни олиши мумкин. Бу жараённи немис олими Планк ўзининг квант назарияси асосида тушунтириб берди. Бу назарияга асосан хусусий - частотага эга бўлган гармоник осцилятор энергияси квантланган ва энергияни маълум узлукли миқдорда

фотон чиқариши ёки ютиши мумкин. **Фотон** - электромагнитик майдон кванти, тинчлик массаси нолга ва спини бирга тенг нейтрал элементар заррадир. **Спин** - деганда микрозарранинг

хусусий импульс моменти тушунилади. Битта квант энергияси $\varepsilon_0 = h\nu$ формула билан ифодаланади. Бу ерда $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с бўлиб, Планк доимийси дейилади. Бу назарияга асосан осцилятор энергиясини унинг частотасига боғлиқлиги қуйидаги Планк формуласи билан аниқланади:

$$\bar{\varepsilon}(\nu) = \frac{h\nu}{e^{kT} - 1}$$

бу ифодани (1.8) формулага қўйсақ, абсолют қора жисм нур чиқариш қобилияти учун Планк формуласи келиб чиқади. Бу формула қуйидаги кўринишга эга:

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{kT} - 1}$$

Рэлей - Жинс, Вин, Стефан - Больцман қонунлари Планк формуласининг хусусий ҳолларидир. Яъни $h\nu \ll kT$ бўлса, Рэлей - Жинс формуласини оламиз, катта частоталар соҳасида $h\nu \gg kT$ бўлганда Планк формуласитахминан қуйидаги кўринишга келади:

$$\varepsilon_{\nu, T} \approx \frac{2\pi h\nu^2}{c^2} e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

Планк назарияси иссиқлик нурланиш қонуниятларини тўла ифодалаган ҳолда тажриба натижаларига ҳам мос тушади.

Иссиқлик нурланиш қонунлари теплотехникада, оптик пирометрияда, металлургияда, астрономияда осмондаги жисмлар ҳароратсини ўлчашда фойдаланилади.

Атомлар ва молекулалар томонидан энергиянинг нурланиши ҳамда ютилиши хусусиятлари

Атом ва молекула стационар энергетик ҳолатларда бўлиши мумкин.

Бундай ҳолатларда улар энергияни нурлантирмайди ва ютмайди. Энергиянинг энг қуйи сатҳи асосий сатҳ ҳисобланади, у асосий ҳолатга мос келади. Квант ўтишларда атомлар ва молекулалар бир стационар ҳолатдан иккинчисига, бир энергетик сатҳдан иккинчисига сакрашсимон тарзда ўтадилар. Атомлар ҳолатининг ўзгариши электронларнинг энергетик ўтишлари билан боғлиқдир. Молекулаларда энергия электрон ўтишлар натижасида ўзгармай, балки атомлар тебранишларининг ўзгариши натижасида ва айланма сатҳлар орасидаги ўтишларда ҳам ўзгариши мумкин. Атом ёки молекула юқорироқ энергетик сатҳлардан пастроқдаги сатҳларга ўтишларда энергия беради, тескари ўтишларда эса энергия ютилади. Асосий қуйи ҳолатда турган атом энергияни фақат ютади.

Квант ўтишлар икки турга ажратилади:

1. Атом ёки молекулалар электромагнит энергияни нурлантирмасдан ёки молекулаларнинг бошқа заррачалар билан, масалан, тўқнашиши жараёнида ўзаро таъсирлашишида рўй беради. Умуман тўқнашишлар эластик ва ноэластик тўқнашишларда фарқланади, улардан биринчисида, атомнинг ички ҳолати ўзгаради ва нурланишсиз ўтишлар рўй беради. Иккинчисида эса, атом ёки молекулаларнинг кинетик энергияси ўзгаради, лекин ички ҳолати сақланади.

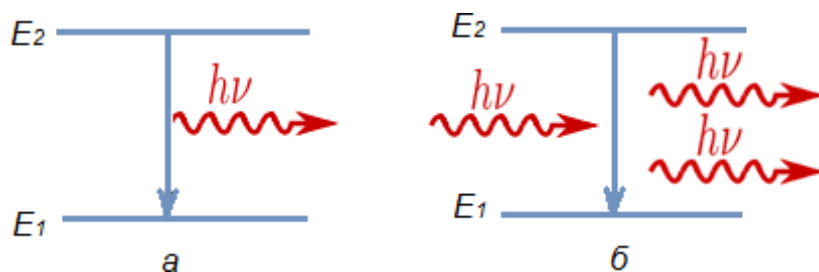
1. Фотоннинг нурланиши ёки ютилиши билан боғлиқ ўтишлар. Фотоннинг энергияси атом ёки молекулаларнинг бошланғич ва охириги стационар ҳолатлари энергияларининг фарқига тенг.

$$h \nu = E_2 - E_1$$

бу формула энергияни сақланиш қонунини ифодалайди.

Фотонни чиқарувчи квант ўтишларни вужудга келтирувчи сабабларга кўра нурланиш икки турга бўлинади. Агар бу сабаб, ички сабаб бўлса ва заррача ўз - ўзидан пастки энергетик сатҳга ўтса, у ҳолда бундай нурланиш *спонтан нурланиш* дейилади (1.2 а-расм). У вақт, частота (ҳар хил кичик сатҳлар

орасида ҳам ўтишлар бўлиши мумкин), тарқалиш йўналиши ва кутбланишлари бўйича тасодифий ва хаотикдир. Нурланишнинг бошқа бир тури *мажбурий* ёки *индукцияланган нурланиш* дейилади (1.2 б -расм).



1.2- расм.

У фотоннинг уйғонган заррачалар билан ўзаро таъсирланишида (агарда фотон энергияси сатҳлар фарқига тенг бўлса) вужудга келади. Мажбурий квант ўтишлар натижасида заррачалардан битта йўналишда иккита бир хил фотон ажралиб чиқади.

Атом ёки молекулалардан нурланаётган энергия чиқиш спектрини, ютилгани эса ютилиш спектрини ифодалайди. *Спектр* - атомларнинг нурланиш интенсивлигини частота ёки тўлқин узунлигига боғлиқлигини ифодалаб, икки турга бўлинади. Биринчиси, чизиқли (узлукли) спектр бўлиб, электромагнит тўлқин нурланиши таъсирида атомларнинг нурланиш қонуниятларини характерлаб, монохроматик кўринишга эга бўлади. Иккинчиси, иссиқлик нурланиш таъсирида ҳосил бўладиган спектр бўлиб, интенсивликлари бўйича туташган узлуксиз кўринишга эга бўлади. Спектрал чизиқларнинг интенсивлиги вақт бирлиги ичида юз берувчи бир хил ўтишлар сони билан аниқланади ва шунинг учун нурланувчи (ютилувчи) атомлар миқдори ва мос ўтишларнинг эҳтимоллигига боғлиқ бўлади. Кўпчилик атом ва молекулаларнинг энергетик сатҳлари анча мураккабдир. Демак, сатҳлар ва спектрлар структураси ёлғиз атом ёки молекула тузилишигагина боғлиқ бўлмасдан, ташқи сабабларга ҳам боғлиқ бўлади.

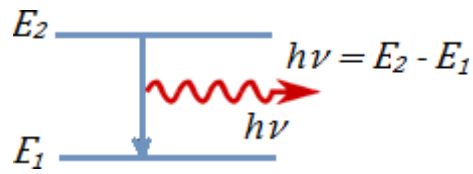
Атомларнинг нурланиш спектрларини тадқиқ қилиш амалиётда катта

аҳамиятга эга. Жумладан, Ер ости ва Ер усти жисмлари намуналаридаги элементлар таркибини ва керакли элемент миқдорларини оптика соҳасининг сифат ва миқдорий таҳлили қилиш усули ёрдамида аниқлаш мумкин. Бундай тадқиқотлар геология соҳасида катта аҳамиятга эгадир. Спектрларнинг таҳлили асосида атомларнинг ёки молекулаларнинг тузилиши, уларнинг энергетик сатҳларининг структураси ҳамда молекулаларнинг ҳаракатчанлиги ҳақида мулоҳаза юритиш мумкин. Спектрларнинг атом ёки молекулаларга таъсир этувчи майдонларга боғлиқлигини билган ҳолда заррачаларнинг ўзаро жойлашишлари ҳақида маълумотлар олинади, чунки кўшни атомлар ўз электромагнит майдонлари воситасида таъсирлашадилар.

Спонтан ва мажбурий нурланишлар

Спонтан нурланиш. Энергиялари E_1 ва E_2 ($E_1 < E_2$) бўлган бирор атомда икки сатҳни кўрайлик. Маълум T ҳароратда қуйи энергетик ҳолатдаги ҳажм бирлигида атомлар сони N_1 , иккинчи энергетик сатҳдаги бирлик ҳажмдаги электронлар сони N_2 бўлсин. U ҳолда

$$N_1 = N_0 e^{-E_1/KT}, N_2 = N_0 e^{-E_2/KT}$$
 . Одатдаги шароитларда кўпчилик атомлар энг қуйи энергетик ҳолатда бўлади. Бу ҳолатда моддалар ёруғлик чиқармайди. Электромагнит тўлқин модда орқали ўтганда электромагнит энергия ютилиди. Тўлқин энергияси таъсирида атомларнинг бир қисми уйғонади ва юқори энергетик ҳолатга ўтади. Бунда E_1 ва E_2 энергияси фарқига тенг бўлган $h\nu = E_2 - E_1$ энергия ажралади. Мазкур энергия электромагнит тўлқин сифатида ажралиб чиқади ва бу жараён ўз - ўзидан нурланиш ёки спонтан нурланишдир (1.3- расм). Юқори энергетик сатҳдаги электронлар ўз - ўзидан пастки энергетик сатҳга ўтишига спонтан нурланиш дейилади.



1.3- расм.

Нурланаётган тўлқин частотаси қуйидаги формула $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ орқали аниқланади. Бу ерда $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}$ бўлиб, *Планк доимийси* дейилади.

Атомнинг 2 - ҳолатдан 1 - ҳолатга ўтиши нур чиқармасдан ҳам юз бериши мумкин. Бунда икки сатҳ орасидаги энергия фарқи атропоидаги атом ёки молекулаларнинг энергиясини оширишга сарф бўлади. Спонтан (ўз - ўзидан) нурланишнинг эҳтимоллигини аниқлаш учун t вақтда 2 - сатҳда N_2 та атом бор деб фараз қилайлик. Мазкур атомларнинг ўз - ўзидан нурланиши натижасида қуйи сатҳга ўтиш тезлиги

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{1,2} \cdot N_2$$

2 - сатҳдаги атомлар сони N_2 га пропорционалдир. $A_{1,2}$ катталиқ *спонтан* (ўз - ўзидан) нурланиш эҳтимоллиги бўлиб, уни *Эйнштейн коэффициент* деб аталади.

$$N_2 = N_{2,0} \cdot e^{-A_{2,1} \cdot t}$$

бу ерда вақтда 2 - ҳолатдаги атомлар сони.

Ўз - ўзидан нурланиш қуввати ($P_{\text{ўз}}$)

$$P_{\text{ўз}} = h\nu \cdot A_{1,2} \cdot N_{2,0} \cdot e^{-A_{2,1} \cdot t}$$

вақтнинг қиймат $t = \frac{1}{R_{2,1}} = \tau_{\text{ўз}}$ бўлади.

Ўз - ўзидан маълумки, атомлар системасига тушаётган ёруғлик квантлари сони қанчалик кўп бўлса, мажбурий нурланиш натижасида ҳосил бўладиган

квантлар сони ҳам шунчалик кўп бўлади. Бошқача сўз билан айтганда, мажбурий ўтиш эҳтимоллиги бирламчи нурланиш энергиясининг спектрал зичлиги ρ_ν га мутаносиб бўлади. Частотаси ν дан $\nu + d\nu$ гача бўлган нурланиш энергияси зичлиги нурланиш энергиясининг *спектрал зичлиги* деб аталади, яъни: $W_{2,1} = B_{2,1} \cdot \rho_\nu$. Бу ерда $B_{1,2}$ катталиқ *мажбурий нурланиш эҳтимоллиги*. Мажбурий нурланиш тезлиги

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right) = W_{1,2} \cdot N_2 = B_{1,2} \cdot \rho_\nu \cdot N_2$$

тенглама билан ифодаланади. Шундай қилиб, спонтан ва мажбурий нурланиш натижасида 2 - сатҳдаги атомлар сонининг ўзгариши $dN_2 = -(A_{1,2} + B_{1,2} \cdot \rho_\nu) \cdot N_2 \cdot dt$ га тенг бўлар экан.

Энергетик сатҳлар ва уларни ҳосил қилиш

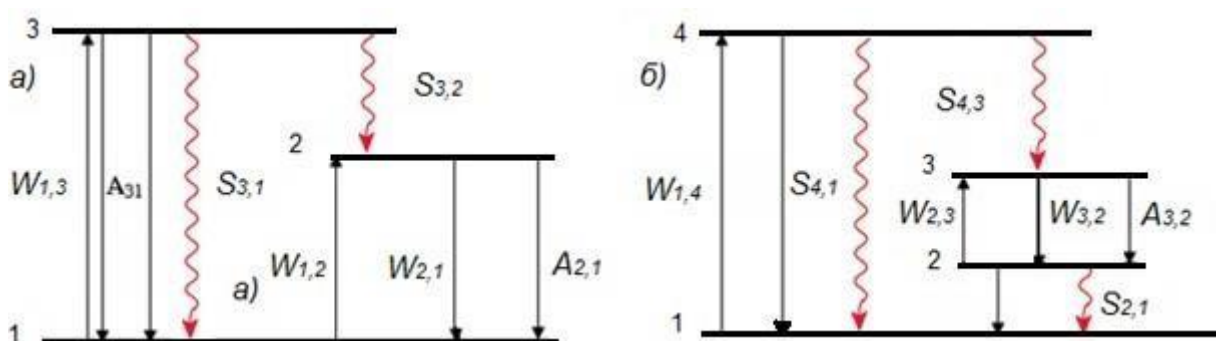
Инверс бандлик ҳосил қилиш усулларини кўриб чиқайлик. *Инверс бандлик* - юқори энергетик сатҳда электронларни сони пастдагига нисбатан кўп бўлиши ($N_2 > N_1$) га айтилади.

Икки сатҳли тизимда турғун инверс бандликни ҳосил қилиб бўлмайди. Ҳақиқатдан ҳам юқори сатҳга резонанс нурланиш ёрдамида зарралар чиқарилаётган бўлса $N_2 \cdot g_1 = N_1 \cdot g_2$ бўлади ва нурланиш жараёнларининг эҳтимолликлари ўзаро тенглашади ҳамда инверс бандлик олиш мумкин бўлмай қолади. Бу ерда g_1 ва g_2 атом системасининг бир хил энергия сатҳларига эга бўлган қаррали сонини ифодаловчи катталиқлар. *Резонанс нурланиш* - биринчи уйғонган асосий сатҳлар орасидаги квант ўтишда пайдо бўладиган оптик нурланишдир. Шундай ҳол юқори энергетик сатҳга зарраларни ўзаро тўқнашув жараёнида чиқарилишида рўй бериши мумкин (мисол учун электронлар ёки атомлар билан). Бу ҳолда юқори сатҳда зарралар сони ортган сари, зарраларнинг бошқа зарралар билан тўқнашуви натижасида пастки сатҳга тушиб кетиш эҳтимоллиги ортади ва Больцман тенгламаси асосида белгиланган $N_2 = N_0 \exp(-E_2$

$/kT$) миқдордан ортмайди. Бу зарраларнинг ҳарорати ҳар доим мусбат бўлгани учун $N_2 < N_1$ шарт бажарилади ва инверс бандлик ҳосил бўлмайди. Инверс бандлик ушбу ҳолда ҳосил бўлиши учун юқори сатҳга зарраларнинг чиқарилиши ва қуйи сатҳга тушиб кетиш жараёнлари турлича бўлиши мумкин. Инверс бандлик учун ушбу тизимда камида учта энергетик сатҳ бўлиши керак. Булардан бири асосий сатҳдир. Инверс бандликни ҳосил қилишнинг энг содда усули, яъни уч сатҳли тизим усули 1.4 (а) - расмда келтирилган.

Инверс бандлик метатурғун 2 - сатҳ ва асосий сатҳлар орасида ҳосил қилинади. Метатурғун 2 - сатҳни зарралар билан тўлдирилиши 3 - сатҳдан зарраларнинг нурланишсиз 2 - сатҳга $S_{3,2}$ эҳтимоллик билан ўтиши

натijasида ҳосил қилинади. *Метатурғун сатҳ* - бу фотон чиқариш билан ўтиш тақиқланган сатҳдир. Кўрилатган жараённи соддалаштириш учун



1.4-расм. Уч (а) ва тўрт (б) сатҳли квант системада инверс бандлик ҳосил қилиш чизмаси.

бошқа нурланишсиз ўтишларни эътиборга олмайлик. Бу ҳол олинаятган натижаларга таъсир этмайди. Агарда 1 - ва 3 - ҳамда 1 - ва 2 - сатҳлар орасидаги тўғри ва тесқари ўтишлар ва эҳтимолликларни мос равишда $W_{1,3}$, $S_{3,1}$, $W_{1,2}$ ва $W_{2,1}$ деб белгиласак, мувозанат ҳолатида ушбу сатҳлардаги зарраларнинг балансини қуйидаги кўринишларда ёзиш мумкин

$$\begin{cases} \frac{dN_3}{dt} = W_{1,3}N_1 - (W_{3,1} + A_{3,1} + S_{3,2})N_3 = 0 \\ \frac{dN_2}{dt} = W_{1,2}N_1 - (A_{2,1} + W_{2,1})N_2 + S_{3,2}N_3 = 0 \end{cases}$$

$$N_0 = N_1 + N_2 + N_3$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{W_{1,3}(S_{3,2}/(W_{3,1} + A_{3,1} + S_{3,2})) + W_{1,2}}{A_{2,1} + W_{2,1}} \quad \frac{N_2}{N_1} \approx \frac{W_{1,3} + W_{1,2}}{A_{2,1} + W_{2,1}}$$

Агар ушбу тенгликнинг ҳар иккала томонидан 1 ни айирсак, у ҳолда

$$\frac{N_2}{N_1} \approx \frac{W_{1,3} + W_{1,2}}{A_{2,1} + W_{2,1}}$$

Юқоридаги айтилган шартлар бажарилганда $N_3 \rightarrow 0$ ва $N_1 \rightarrow N_2 \approx N_0$ бўлади. 1 - ва 2 - сатҳлар ўзгармаган бўлса ($W_{1,2} = W_{2,1}$), 1 - сатҳнинг

$$N_1 = \frac{N_0(A_{2,1} + W_{2,1})}{A_{2,1} + W_{1,3} + 2W_{1,2}}, \quad N_2 - N_1 = N_0 \frac{W_{1,3} - A_{2,1}}{A_{2,1} + W_{1,3} + 2W_{1,2}}$$

тўлдирилганлиги

Бу формуладан кўриниб турибдики шартлар бажарилса, инверсия қуйидаги $W_{1,3} > A_{2,1}$ ҳолда ҳосил бўлар экан, яъни 3 - сатҳнинг тўлдирилиш эҳтимоллиги 2 - сатҳдан зарраларнинг спонтан нурланишли ўтиш эҳтимоллигидан катта бўлиши керак экан. Кўриб чиқилган уч сатҳли тизимда лазердаги фаол зарра сифатида ёқут (ёқут) кристаллдаги хром ионини келтириш мумкин. Уч сатҳли тизимда инверс бандлик ҳосил қилишнинг асосий камчилиги, бу жуда кўп зарраларнинг ғалаёнлантирилишининг $N_2 > \frac{N_0}{2}$ келиб чиқади .

Шундай қилиб, уч сатҳли тизимда инверс бандлик олиш учун юқори энергетик сатҳида барча зарраларнинг ярмидан кўпроғи жойлашган бўлиши шарт экан. Ушбу шарт ғалаёнлантириш тезлигига, шу билан бирга дамлаш қувватига ҳам катта талаблар қўяди. *Дамлаш* - бу ташқи энергия ёрдамида электронларни юқори энергетик сатҳга кўтаришдир.

Тўрт сатҳли система юқоридаги айтилган камчиликлардан мустаснодир, унинг диаграммаси 1.5 б - расмда келтирилган. Бундай энергетик тизимда нурланишнинг кучайиши фаол зарраларнинг 3 - сатҳдан 2 - сатҳга мажбурий нурланиш бериб ўтишида рўй беради. 3 - сатҳни зарралар билан тўлдирилиши 1.5 б - расмда кўрсатилганидек, зарраларнинг 4 - сатҳдан 3 - сатҳга нурланишсиз ўтишлари натижасида рўй беради. 2 - сатҳнинг зарралардан тезкорлик билан бўшатилиши эса ундаги зарраларнинг нурланишсиз 1 - сатҳга ўтиши орқали рўй беради. Бундай тизимда турғун инверс бандлик ҳолатини ҳосил қилиш шarti қуйидагилардан иборат:

$$W_{2,3} > A_{3,2} , \quad W_{3,2} < S_{4,3} , \quad S_{2,1} > W_{3,2}$$

Шундай қилиб, пастки ишчи сатҳ (яъни 2 - сатҳ) асосий бўлмагани учун, инверс бандлик 2 - ва 3 - сатҳларнинг зарралар билан нисбий тўлдирилганлигига боғлиқ бўлмайди, ҳамда уч сатҳли тизимга ўхшаб, юқори ишчи сатҳ тўлиқ тўлдирилган бўлиши шарт эмас. Ушбу шарт муҳитда инверс бандликни кичикроқ дамлаш қувватларида ҳам олиш имконини

беради. Ушбу услубга мисол қилиб газли лазердаги CO_2 (корбанат ангидриди оксиди) молекулаларида, каттиқ жисм лазерларида неодим ионида инверс бандлик олишни ва бошқаларни келтириш мумкин.

Инверс бандлик ҳосил қилиш услублари нафақат аниқ энергетик сатҳлар тизимига, зарралар хусусиятларига, фаол муҳитни ташкил этган бошқа компонентларга ҳам боғлиқ экан. Лазерларнинг фаол муҳитлари сифатида газлар аралашмалари, турли конденсирланган моддалар, кристаллар, шишалар, яримўтказгичлар ва суюқликлар бўлиши мумкин. Лазерли тизимларда оптик, газразрядли, газодинамик ва кимёвий дамлаш усуллари қўлланилади.

Оптик дамлаш услубида ишчи модда газ разряд ёруғлик манъбаидан чиқаётган узлуксиз ёки узлукли равишдаги ёруғлик оқими таъсирида бўлади. Ушбу ёруғлик ишчи моддадаги зарралар томонидан ютилади ва улар нурланишсиз юқори энергетик сатҳга ўтади. *Оптик дамлаш деб*, узлукли ва узлуксиз ёруғлик нурланиши таъсирида фаол муҳитдаги зарраларни нурланишсиз юқори энергетик сатҳга ўтишига айтилади.

Ушбу оптик дамлаш услубининг камчиликларидан бири бу дамловчи нурланиш спектрининг фаол муҳитни ютиш спектрига мос келмаслигидадир. Оптик дамлаш услуби кўпроқ конденсирланган муҳитларда инверс бандлик ҳосил қилишда ишлатилади.

Газ разряд дамлаш услубида фаол зарралар электр разрядидаги эркин электронлар ва ёрдамчи газ зарралар билан тўқнашувида ғалаёнлантирилган сатҳга чиқарилади. Газ разрядидаги электр майдон кучланганлигини ва газ босимини ўзгартириб, электронларнинг ўртача энергиясининг оптимал қийматини ҳосил қилиб, фаол зарраларни эффектив равишда ғалаёнлантириб, катта ҳажмларда инверс бандликни олиш мумкин. Сўнги пайтларда кучли электронлар оқимини ҳосил қилувчи техниканинг ривожланиши муносабати билан уларни катта босимлар ва ҳажмлардаги газларда инверс бандлик олишда ишлатила бошланди.

Газодинамик дамлаш услубида қиздирилган газ кескин равишда кенгайтирилганда метатурғун ҳолатдаги молекулалар сони бир мунча вақт давомида пастки энергияга эга молекулалар сонидан кўп бўлиб қолади, яъни инверс бандлик пайдо бўлади. Бу усул газодинамик усул деб аталади. Газодинамик усулнинг асосий устунлиги шундаки, иссиқлик энергияси тўғридан - тўғри лазер нурланиши энергиясига айланади. Газодинамик усул юқори қувватли технологик лазерларда қўлланилади.

Кимёвий дамлаш услубида фаол муҳитда инверс бандлик ҳосил қилиш мувозанатсиз кимёвий реакция натижасида олинади. Бу услубнинг асосий афзаллиги иссиқлик ва электр манбаларининг ишлатилмаслигидир.

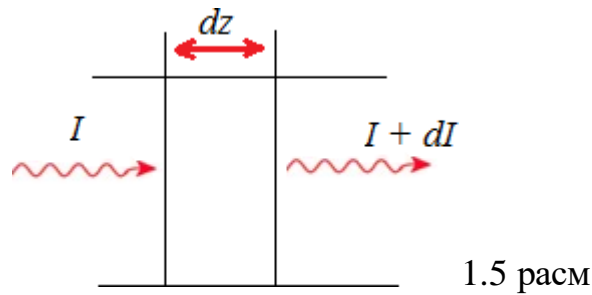
Лазерларнинг тузилиши ва унинг ишлаш тамойили

Атом системаси орқали тарқалаётган монохроматик нурланиш бу системада атомларнинг бир энергетик ҳолатдан иккинчи ҳолатга мажбурий ўтишига олиб келади. Мажбурий ўтишлар натижасида тушаётган фотонлар ютилиши ёки янги фотонларнинг ҳосил бўлиши кузатилади. Натижада атом системаси орқали ўтаётган монохроматик нурланиш интенсивлигининг ўзгариши рўй беради. Атом системаси учун бандлик тушунчасини киритайлик. Бирлик ҳажмдаги бир хил энергетик ҳолатга эга бўлган атомлар сонини бандлик деб аталади. Икки энергетик сатҳи мос равишда 1 ва 2 га тенг атом системасининг бандликлари N_1 ва N_2 бўлсин. Бу муҳит орқали Z ўқи бўйлаб частотаси $\nu_{2 \rightarrow 1}$ ўтиш частотасига тенг бўлган монохроматик тўлқин тарқалаётган бўлсин. Мажбурий нурланиш натижасида бирлик вақтда бирлик ҳажмдаги $2 \rightarrow 1$ ўтишлар сони $W_{2,1} \cdot N_2 = \sigma_{2,1} \cdot I \cdot N_2$ га тенг бўлади ($\sigma_{2,1}$ -мажбурий ютиш қўндаланг кесим юзаси). Тескари йўналишдаги $1 \rightarrow 2$ мажбурий ўтишлар сони эса $W_{1,2} \cdot N_1 = \sigma_{1,2} \cdot I \cdot N_1$ бўлади.

Атом системаси dz қалинликка эга бўлса (1.6-расм), нурланиш интенсивлигининг ўзгариши

$$dI = (\sigma_{2,1} \cdot N_2 - \sigma_{1,2} \cdot N_1) \cdot dz = \sigma_{2,1} \cdot I \cdot (N_2 - N_1 \frac{g_2}{g_1}) dz = \sigma_{2,1} \cdot I \cdot \Delta \cdot dz$$

ифода орқали аниқланади.



$$\text{Бу ерда } \Delta = N_2 - \frac{g_2}{g_1} \cdot N_1$$

Бу катталикни ҳар бир сатҳлардаги бандликлар фарқи дейиш мумкин.

$\Delta > 0$ бўлган ҳолда юқориги 2- сатҳнинг бандлиги 1- сатҳнинг бандлигидан катта бўлади, яъни $\Delta > 0$ га эга муҳит *инверс бандликка эга муҳит* дейилади (*инверс*- тесқари маъносига эга). Бундай деб аталишининг сабаби шундаки, термодинамик мувозанат ҳолатида энергетик сатҳларнинг бандлиги Больцман қонунига бўйсунди ва $N_2 < \frac{g_2}{g_1} \cdot N_1$ бўлади. $N_2 - \frac{g_2}{g_1} \cdot N_1$ бўлган муҳитда $1 \rightarrow 2$ ўтишлар сони $2 \rightarrow 1$ ўтишлар сонига нисбатан кўпроқ бўлади ва бундай муҳит орқали ўтаётган нурланиш оқими ютилиши натижасида сусаяди. У ҳолда *ютилиш коэффициентини*

$$\kappa = \sigma_{2,1} (N_2 - \frac{g_2}{g_1} \cdot N_1) \approx \sigma_{1,2} \cdot N_1$$

қийматига эга бўлади.

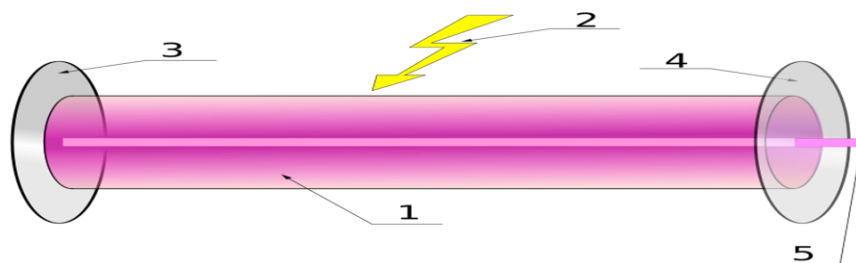
Агар муҳитда инверс бандлик ҳосил қилинса κ - ютилиш коэффициентини манфий қийматга эга бўлиб қолади ва муҳит орқали ўтаётган нурланиш уйғонган атомлар энергияси ҳисобига кучаяди. У ҳолда

кучайтириш коэффициентини $\alpha(\nu) = \sigma_{2,1} (N_2 - \frac{g_2}{g_1} \cdot N_1)$ қийматга эга бўлади.

Лазернинг фаол муҳитида ўз - ўзидан нурланиш натижасида тасодифан пайдо бўлган фотонлар мажбурий нурланиш натижасида кучая боради. Инверс бандликка эга муҳит *фаол муҳит* номини олган.

Мажбурий нурланиш эҳтимоли муҳитга тушаётган нурланиш интенсивлигини ошириш учун уни қайта - қайта фаол муҳит орқали ўтишга мажбур қилинади. Бунинг учун фаол муҳитни бир - бирига параллел бўлган биринчисининг қайтариш коэффиценти 100% , иккинчисини қайтариш коэффиценти $30 - 40\%$ бўлган кўзгулар орасига жойлаштирилади. Кўзгулар фаол муҳит учун мусбат қайта боғланишни амалга оширади. Натижада кўзгуларга перпендикуляр йўналишда тарқалаётган ясси тўлқин фаол муҳит орқали кўп марта ўтади ва ҳар ўтишида кучайиб боради.

Кучайган тўлқин қисман қайтарувчи кўзгу орқали лазердан чиқади (1.6-расм).



1.6-расм. Лазернинг тuzилиши. 1 - Лазер моддаси (фаол муҳит), 2 - юқори кучланишли манба, 3 - кўзгу, 4 - ярим шаффоф кўзгу, 5 - лазер нури.

Генерация ҳосил бўлиши учун фаол муҳитнинг кучайтириши лазердаги барча йўқотишлардан катта бўлиши керак. *Генерация* - бу тескари алоқа мавжуд бўлганда мажбурий ёруғлик чиқариш натижасида когерент электромагнитик тўлқинларнинг ҳосил бўлишидир.

Бу йўқотишлар нурнинг муҳитда ютилиши ва қисман кўзгулар орқали чиқиб кетиши билан боғлиқдир. У ҳолда *кучайтириш коэффиценти* қуйидагига тенг бўлади:

$$\alpha = e^{\sigma_{1,2} (N_2 - g_1 - 1) L}$$

Фаол муҳит орқали бир марта ўтишдаги кучайиш e га тенг бўлади. L - фаол муҳитнинг узунлиги. Агар йўқотишлар фақат нурланишнинг кўзгулар орқали чиқиб кетиши билан боғлиқ деб ҳисобланса, генерация нурланишининг ҳосил бўлиши

$$R_1 \cdot R_2 \cdot e^{\sigma_{1,2} (N_2 - g_1 - 1) L} = 1$$

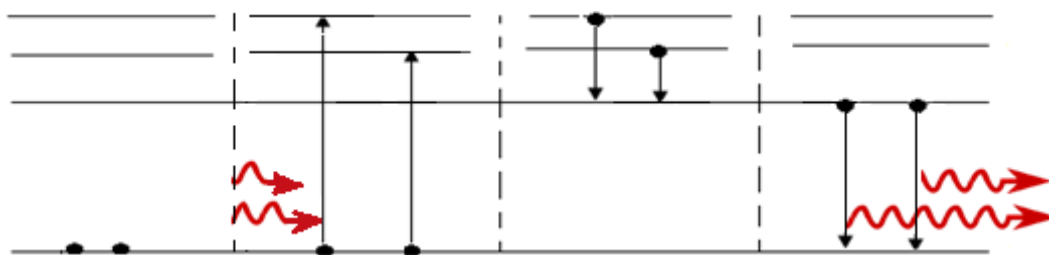
шарт бажарилганда рўй беради. Бу шарт генерация домини номини олган.

R_1, R_2 - кўзгуларнинг қайтариш коэффициентлари, g_1 ва g_2 атом системасининг бир хил энергия сатҳларига эга бўлган каррали сонини ифодаловчи катталиклар. генерация инверс бандлик қандайдир критик қийматдан ошгандагина кузатилади.

Ёқут лазери. Ёқут (ёқутли) лазери 1960 йилда Т. Мейман томонидан яратилган. Фаол муҳит сифатида сунъий ёқут - алюминийнинг кристалл ҳолатидаги Al_2O_3 (алюминий оксиди) хизмат қилади, бунда алюминийнинг маълум бир улуши хром атомлари билан алмаштирилган бўлади. Одатда қўлланиладиган ёқут кристалида Cr_2O_3 (хром оксиди) нинг миқдори масса миқдори бўйича Al_2O_3 атомларининг 0,05 % ни ташкил қилади. Фаол ионларининг концентрацияси эса 10^8 см^{-3} га тенгдир.

Кристалл панжарада хром уч карра ионлашган ҳолда жойлашади, унинг ташқи электрон қобиғида фақат учта валент электрон мавжуд бўлади.

Ёқут кристалл тўлқин узунлиги яшил ва кўк нурларга тўғри келадиган ёруғлик нурларини кўп миқдорда ютиш қобилиятига эга бўлиб, ўз навбатида максимуми $\lambda = 694,3 \text{ нм}$ га мос келадиган қизил нурларни чиқаради. Нурланиш чизигининг спектрини кенглиги хона ҳароратларида $\Delta \lambda = 0,4 \text{ нм}$ ни ташкил қилади.



1.7.- расм. Лазернинг ишлаш учун зарур бўлган сатҳ схемаси.

Лазернинг ишлаши учун зарур бўлган энергетик сатҳлар 1.7 - расмда келтирилган. Газ разряди лампанинг нурланиши ёқут томонидан ютилиши натижасида хром ионидаги электрон юқорида жойлашган $4E_1$ ёки $4E_2$ сатҳга ўтади. Нур чиқармасдан ўтиш натижасида электрон 10^{-8} вақт давомида пастки узоқ яшовчи (яшаш вақти $3 \cdot 10^{-3} \text{с}$) $2E_2$ сатҳга ўтади. Ёқутда инверс бандлик уч энергия сатҳида (орасида) ҳосил қилинади. Лазерда қуйи энергетик сатҳ асосий сатҳ бўлгани учун, ундаги зарраларнинг ярмидан кўпини уйғонган ҳолатга ўтказгандагина инверс бандлик кузатилади. Ёқут учун оптик дамлаш энергияси $100 \div 1000 \text{ Ж}$ атрофида бўлади, яъни 1 см^3 ҳажмда 50 Ж энергия тўғри келади. Ёқут учун мажбурий ўтишлар кўндаланг кесими $\sigma \approx 3 \cdot 10^{-20} \text{с}^2$, фаол ионлар концентрацияси $N = 10^{18} \text{см}^{-3}$, демак ёқутнинг кучайтириш коэффициенти $\alpha \approx \sigma_0 N_2 = 10^{-2} \text{с}^{-1}$ қийматга эга. Ёқут кристали диаметри $5 \div 10 \text{ мм}$ ва узунлиги $10 \div 15 \text{ см}$ бўлган цилиндр шаклида сунъий равишда ўстирилади. Бундай ўлчамли ёқут кристалида нурланишнинг дифракцион ёйилишлари кичик қийматларга (10^{-4} рад) эга. Дифракцион ёйилиши деганда ёруғлик параллел дастасининг оптик тизимда дифракцияси туфайли ёйилувчи дастагига айланиши тушунилади. Реал шароитда генерация жараёни кўп модали бўлгани учун нурланишнинг ёйилиш бурчаги $10^{-3} \div 10^{-2}$ радианни ташкил қилади. Модалар - бу фазовий жойлашув ва хусусий такрорийлик билан тавсифланувчи мураккаб тебраниш тизимларида уйғонувчи тебранишлар кўриниши. Эркин генерация ҳолатида эса 100 Ж гача нурланиш энергиясини олиш мумкин.

Ёқут кристали анча юқори иссиқлик ўтказувчанликга эга. Масалан, диаметри 1 см бўлган цилиндрик фаол элемент $t = 0,2 \div 0,5\text{ с}$ ичида совушга улгуради. Ёқутли лазер импульсларининг ўзгариш частотаси $\Delta\nu = 2 \div 5\text{ Гц}$ бўлган такрорланувчи импульслар маромида ишлаш имкониятига эга. Ёқутли лазернинг фойдали иш коэффициентлари жуда кичик бўлиб, у $0,3 \div 0,5\%$ ни ташкил қилади.

Лазер нурланишининг хусусиятлари

Лазер нурланишининг энергияси ва қуввати. Лазернинг иш режимига қараб хусусиятларини турли физик катталиклар билан ифодалаш мумкин. Лазер узлуксиз нур чиқарувчи маромда (режимда) ишлаганда унинг хусусиятини характерловчи асосий катталик сифатида қувват олинади. Ҳозирги мавжуд лазернинг нурланиш қуввати кенг интервалда (оралиқда) ўзгаради. Масалан: 10^{-3} Вт дан 10^{-6} Вт гача ва ундан ортиқ қувватли лазерлар яратилган. Шунга қараб қуввати 10^{-3} Вт дан кичик қийматга эга лазерлар паст қувватли, қуввати 10^{-6} Вт дан катта лазерлар юқори қувватли лазерлар ҳисобланади. Нурланиш интенсивлиги I ва қуввати P орасидаги боғланиш $P = I \cdot S$ орқали ифодаланади. Бу ерда S - нурнинг кўндаланг кесим юзаси.

Лазер техникасида ишлатиладиган махсус усуллар ёрдамида импульснинг давом этиш вақти 10^{-2} с бўлган лазерлар яратилган. Бундай лазер нурланишлари импульсларидан алоҳида ажратилган нурланишнинг бир импульс энергияси E_u кичик $1 \div 10\text{ Ж}$ қийматга эга бўлишига қарамай, лазер нурининг импульс қиймати жуда каттадир. Яъни:

$$P_u = \frac{E_u}{t_u} = 10^{12} \div 10^{13}\text{ Вт}$$

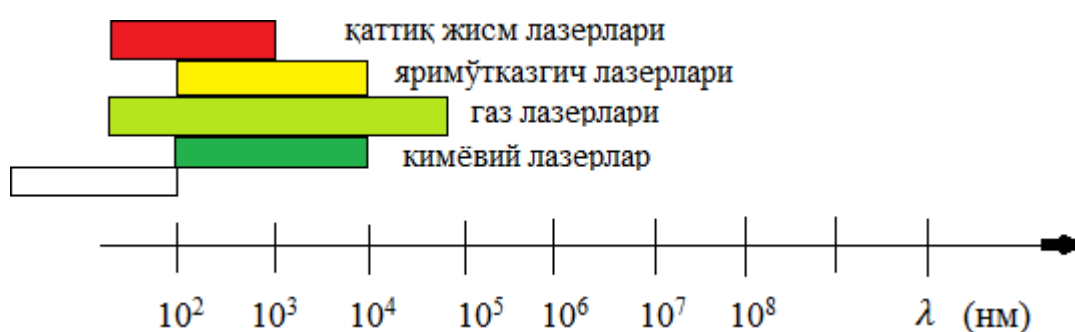
ифодага кўра бундай лазер қуввати катта қийматга эга бўлади.

Резонатор асслигини модуляциялаш натижасида импульснинг давом

этиш вақти 10^{-9} с атрофида бўлган ҳолда қаттиқ жисмли фаол муҳитга эга лазернинг битта импульс энергиясини 10^4 Ж га етказиш мумкин. *Резонатор* - муайян такрорийликдаги ташқи куч таъсир қилганда энг катта амплитуда билан тебраниш қобилиятига эга бўлган тебраниш тизими. *Асклик* - реактив қувватнинг диэлектрик йўқотишлар бурчаги котангенсига тенг кучланиш остида турган изоляциясидаги диэлектрик йўқотишларга нисбати. *Модуляция* - қандайдир мунтазам физикавий жараённи тавсифловчи катталикларни вақт давомида берилган қонун бўйича ўзгариш.

Лазерда яна бир катталик, фойдали иш коэффициентлари билан ҳам фарқланади. Қаттиқ жисмли фаол муҳитга эга лазерлар $1 \div 5$, газ лазерлари $1 \div 15$, яримўтказгич лазерлар $40 \div 60\%$ фойдали иш коэффициентига эга. Лазерларни лойиҳалашда лазернинг фойдали иш коэффициентларини оширишга алоҳида аҳамият берилади. Чунки паст фойдали иш коэффициентига эга лазерларда фаол муҳитни совитиб туриш анча мураккаб муаммолардан биридир.

Лазер нурланишининг тўлқин узунлиги. Лазерларнинг тўлқин узунлиги қиймати бўйича рентген нурларидан тортиб инфрақизил нурларигача тўғри келадиган ораликда нур чиқарадилар. Уларнинг тўлқин узунликлари $1 \div 10^5 \text{ нм}$ ораликда ётади. Турли хил лазерларнинг тўлқин узунликлари 1.8 - расмда келтирилган.



1.8- расм. Турли лазерлар нурлари эгаллаган тўлқин узунликлари оралиги.

Лазер нурланишининг монохроматиклиги. Маълумки, табиатда тўла монохроматик бўлган тўлқинлар мавжуд эмас. Қатъий бир частотага эга бўлган тўлқинларни *монохроматик тўлқинлар* деб аталади, яъни синусоидал қонун билан ўзгарувчи ва чексиз давомийликка эга бўлган тўлқинлар тўла монохроматик тўлқинлар бўлади.

Лазер нурланишининг монохроматиклиги деганда лазернинг жуда кичик частота оралиғида нурланиш қобилияти тушунилади ва у $\Delta\nu/\nu_0$ катталиқ билан ифодаланади. Лазер нурланиш чизиғининг кенглиги генерация чоғида ҳосил бўладиган чизиқлар сони билан аниқланади. У қаттиқ жисмли фаол муҳитга эга лазерларда (масалан ёқут, неодим лазерлари) кузатилади. Ёқут лазери учун $\Delta\nu/\nu_0 \approx 10^{-9}$ неодим лазери учун $\Delta\nu/\nu_0 \approx 2 \cdot 10^{-8}$ га тенг қийматга эга бўлади. Бир частотали лазерларнинг нурланиш чизиғи кенглиги

$$\Delta\nu = 2\pi \cdot (\Delta\nu_p) \frac{h\nu_0}{P}$$

формула орқали ифодаланади. Бу ерда: $\Delta\nu_p$ - резонатор чизиғининг кенглиги, P - нурланиш қуввати. Хусусан, $He - Ne$ лазер учун $\Delta\nu/\nu_0 \approx 10^{-12} \div 10^{-13}$ га тенг бўлиши мумкин.

Одатда лазер нурланиш чизиғининг кенглиги фаол муҳитнинг бир жинсли эмаслиги, резонатор кўзгуларининг етарли аниқликда тайёр эмаслиги, резонатор узунлигининг титраши натижасида ўзгариб туриши назарий ҳисобланган қийматлардан анча катта бўлади. Махсус шароитларни ҳосил қилганда лазер нурланиши кенглигини $10^{-3} Гц$ гача тушириш мумкин. Бунинг учун фаол муҳитнинг иссиқлик кенгайиш коэффициенти кичик бўлиши, резонатор кўзгулари кўзғолмас тагликка ўрнатилиши ва титрашлардан холи бўлиши керак.

Лазер нурланиш монохроматиклиги бошқа ҳар қандай ёруғлик манбаларининг монохроматиклигидан ғоятда юқоридир, яъни лазернинг

бирлик частота орлиғида нурланиши бошқа ёруғлик манбаларининг шундай нурланишидан ниҳоятда катта бўлади.

Лазер нурланишининг когерентлиги. Табиатда учрайдиган ёруғлик манбаларининг нурланиши когерент бўлмаган нурланишдир (когерент нурланиш - тебранишлари вақтга боғлиқ бўлмаган доимий фаза фарқига эга бўлган электромагнит нурланишлардир). Бунга сабаб, табиий шароитларда турли атомларнинг нурланиш жараёни тасодифий равишда рўй беради, яъни турли атомлар нурланишлари фазаси турлича тасодифий қийматларга эга бўлиши мумкин. Бунинг натижасида турли атомларнинг нурланишлари қўшилганда уларнинг интенсивликлари ҳам қўшилади, интерференцион манзара кузатилмайди.

Фазалар фарқи вақт бўйича доимий ёки етарлича (ўта) секин ўзгарадиган нурланиш когерент нурланиш дейилади. Когерент нурлар қўшилганда уларнинг фазалари фарқи қандай бўлишига қараб, нурланишнинг кучайиши ёки сусайиши, яъни интерференцион манзара кузатилади.

Лазер нурланиши когерентдир, чунки мажбурий нурланиш жараёнида кўп миқдордаги атомларнинг нурланиши деярли бир вақтда рўй беради, демак, уларнинг фазалари бир хил бўлади. Одатда икки хил когерентлик мавжуд: вақтий ва фазовий когерентлик. Агар икки тўлқин фазалари етарлича секин ўзгарса, у ҳолда тебранишлар фазалари фарқи π билан солиштирарлик даражага етгунга қадар вақт давомида ўзаро когерент бўлиб қолаверади. Икки тўлқин фазалари фарқи π га ўзгарадиган вақт оралиғи когерентлик вақти дейилади. Когерентлик вақти тушунчаси фазаси тасодифий ўзгарувчи битта тўлқин учун ҳам мазмунга эгадир. Бу ҳолда t вақтда тўлқин айнан ўзининг дастлабки фазасини унутгандай бўлади, яъни ўз - ўзига нисбатан нокогерент бўлиб қолади. Вақти $t > t_{\text{ког}}$ бўлганда тўлқиннинг бир қисми бошқа қисмга нисбатан интерференция манзарасини ҳосил қилиш қобилиятини йўқотади. Когерентлик вақти давомида тўлқин кўчадиган масофа *когерентлик узунлиги* дейилади:

$$L_{\text{ког}} = c \cdot t 10^{-14} \text{ с} \quad , L_{\text{ког}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Лазер нурланишининг когерентлик вақти нурланиш чизигининг кенглиги билан чамбарчас боғлиқдир, у математик тарзда қуйидагича ёзилади

$$t_{\text{ког}} = \frac{1}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{c\Delta\lambda}$$

$$L_{\text{ког}} = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

Узлуксиз нурланадиган *He - Ne* (гелий - неон) лазери учун нурланиш чизиги кенглиги $50 \div 500 \text{ Гц}$ қийматга, мазкур нурланиш учун

$$t_{\text{ког}} = 2 \cdot 10^{-2} \div 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$L_{\text{ког}} = 6 \div 60 \cdot 10^5 \text{ м}$$

қийматларга эга.

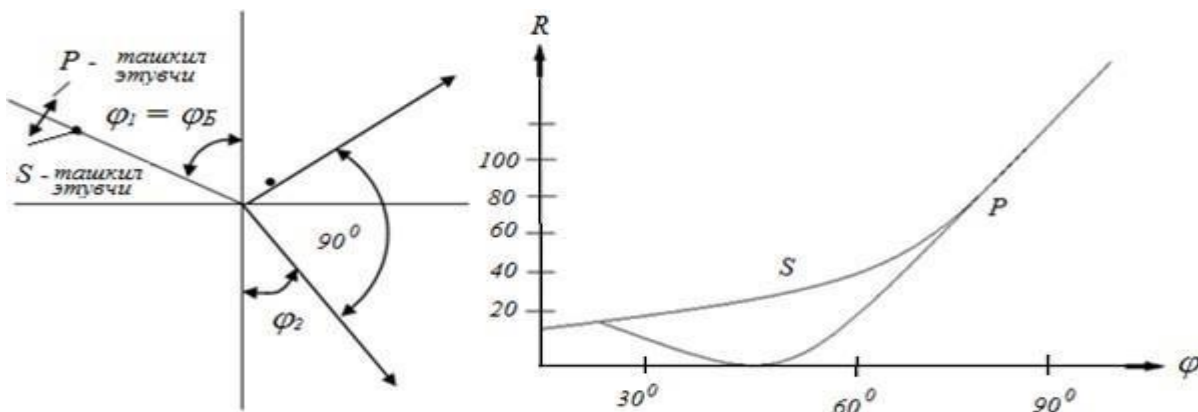
Лазер нурланишининг қутбланиши. Лазер нурларининг қутбланиши электромагнит тўлқиннинг электр вектори \vec{E} фазода қандай йўналганлигини аниқлаб беради. Агар лазер нурунинг электр вектори \vec{E} нурунинг тарқалиш йўналишига перпендикуляр текисликда бирор чизиқ бўйлаб тебранса, бундай нур *чизиқли қутбланган нур* деб аталади. Фазалар фарқи ўзгармас бўлган ва бир - бирига перпендикуляр қутбланиш текислигига эга икки чизиқли қутбланган нур қўшилиши натижасида эллиптик қутбланган нур ҳосил бўлади. Бу нурларнинг тебраниш амплитудаси 3 га тенг бўлса ва фазалари фарқи $\frac{\pi}{2}$ ёки

$\frac{3\pi}{2}$ тенг бўлган иккита чизиқли қутбланган нурланишнинг қўшилиши натижасида доиравий қутбланган нурланиш ҳосил бўлади. Агар нурланиш қутбланмаган бўлса, электр векторининг тебранишлари тарқалиш йўналишига перпендикуляр бўлган ихтиёрий текисликларда содир бўлади.

Ўз - ўзидан ўтиш натижасида ҳосил бўлган ёруғлик квантининг кутбланиш йўналиши тасодифий бўлади. Мажбурий нурланиш туфайли ҳосил бўлган ёруғлик кванти, худди ўзини юзага келтирган квантнинг кутбланиши каби кутбланган бўлади.

Чизиқли кутбланган ёруғлик нурланишини ҳосил қилиш учун лазернинг оптик резанатори ичига кутблагич ўрнатилади. *Чизиқли кутбланган ёруғлик* - электр ва магнит векторлари тебранишларининг йўналишлари фазонинг ҳар қандай нуқтасида вақт ўтиши билан ўзгармай қоладиган ёруғлик. Бундай кутбланган нурланишни ҳосил қилиш учун амалиётда кўпинча икки муҳит чегарасида нурланишнинг қайтиш коэффициентига боғлиқ бўлган ҳодисалардан фойдаланилади. Кутбланган ёруғлик нурланишини олишнинг энг кўп тарқалган усулларида бири ёруғлик тўлқинининг газли ва қаттиқ муҳит чегарасидан ўтишдаги кутбланишдир. Икки муҳит чегарасига тушаётган ёруғлик тўлқинининг ихтиёрий равишда жойлашган электр майдон кучланганлик векторини икки ўзаро перпендикуляр равишда жойлашган ташкил этувчиларга

(1.9-расм) *S* - ташкил этувчи ва *P* - ташкил этувчиларга ажратиш мумкин.



1.9– расм. Кутбланган нурланишнинг қайтиш коэффициентининг тушиши бурчагига боғлиқлиги.

1.9 - расмда келтирилган боғланишлардан кўриниб турибдики, кутбланиш

турлича бўлган нурланишларнинг икки муҳит чегарасига тушиши φ_1 бурчагининг ўзгаришига қараб, қайтиш коэффициенти турлича бўлиши мумкин.

Агар ёруғлик нурланиши икки муҳит чегарасига Брюстер бурчаги φ_B остида $tg \varphi_B = n_0$ (бу ерда n_0 - қаттиқ жисмнинг синдириш кўрсаткичи) шарт бажарилган ҳолда тушаётган бўлса, қутбланишнинг P - ташкил этувчиси учун қайтиш коэффициенти нолга тенг бўлади. Ёруғлик нурланишининг икки муҳит чегарасига тушиш φ_1 ва синиш φ_2 бурчаклари ўзаро $\sin \varphi_1 / \sin \varphi_2 = n_0$ қонун билан боғланганлиги учун тушиш бурчаги $\varphi_1 = \varphi_B$ Брюстер бурчагига тенг бўлган ҳолда қайтган ва синган нурланишлар орасидаги бурчак 90° тенг бўлади. У ҳолда $\sin \varphi_1 / \sin(\pi/2 - \varphi_2) = \sin \varphi_1 / \cos \varphi_1 = tg \varphi_B = n_0$ келиб чиқади. *Брюстер бурчаги* - диэлектрик сиртдан қайтувчи ёруғликнинг тўла қутбланадиган тушиш бурчагидир. Диэлектрик сиртдан қайтувчи ёруғлик тўла қутбланган бўлиши учун табиий ёруғликнинг тушиш бурчаги билан диэлектрикнинг синдириш кўрсаткичи орасидаги муносабатни - *Брюстер қонуни* дейилади.

Шундай қилиб, қайтган ва синган нурлар 90° бурчак ташкил қилганда қутбланиш даражаси энг юқори бўлади. Бу ҳолда қайтган нур бутунлай қутбланган, синган нур эса қисман қутбланган бўлади. *Қутбланиш даражаси* - қисман қутбланган ёруғликнинг қутбланган қисмини ташкил қилувчи жадалликнинг ёруғликнинг тўла жадаллигига нисбати билан характерланади.

Газли лазерларда чизикли қутбланган нурларни олиш учун разряд найининг четлари Брюстер бурчаги остида жойлашган шиша пластинкалар билан ёпилади. Бунинг натижасида Брюстер бурчаги остида қўйилган шиша пластинкалар билан чегараланган разряд найли лазерларнинг қутбланишлари тўла чизикли қутбланган бўлади.

ЛАЗЕРЛАРНИНГ ТУРЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ТУЗИЛИШИ

Биринчи лазер юқорида таъкидланганидек, 1960 йилда Т. Мейман

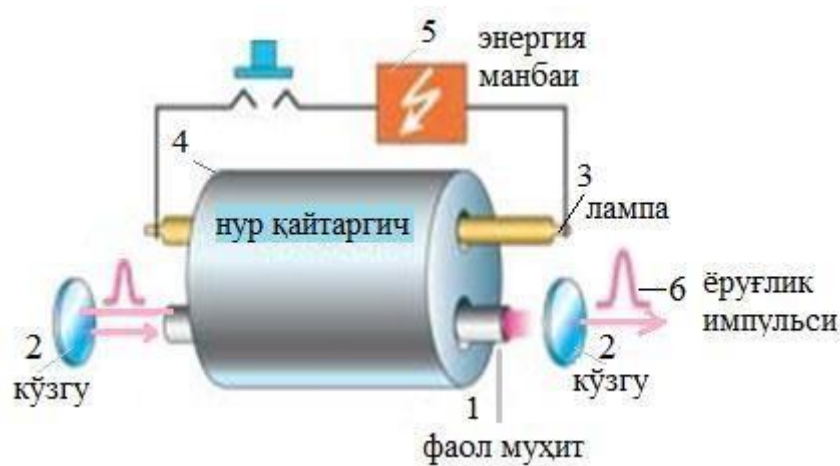
томонидан яратилган. Кейинчалик хорижий мамлакатлар олимлари билан бир қаторда лазер нурланишларини энергиясини ошириш, кам энергия сарфлайдиган, барча кўрсаткичлари бўйича самарали бўлган янги фаол муҳитларда лазерлар яратиш соҳасида Ўзбекистон физик олимларининг ҳам салмоқли ҳиссалари бор. Ҳозирги вақтга келиб лазер нурланиши - юзлаб фаол муҳитларда ҳосил қилинган. Бу фаол муҳитлар ўзининг агрегат ҳолатлари, ишлаш шароитлари ва бошқа кўпгина хусусиятлари билан фарқ қилади. Талабаларда лазерлар ҳақида тасаввур пайдо қилиш учун биз кенг тарқалган лазерларнинг турлари, уларнинг ишлаш тамойиллари билан таништириб ўтамыз.

Қаттиқ жисмли лазерлар

Лазерларни фаол муҳитларининг агрегат ҳолатига кўра қаттиқ жисмли, газли, ионли, кимёвий ва яримўтказгичли лазерларга ажратилади. Фаол муҳити кристалл ёки шиша бўлган лазерлар қаттиқ жисмли лазерлар номини олган. Қаттиқ жисмли лазерларда инверс бандлик оптик дамлаш йўли билан ҳосил қилинади. Бундай лазерлар фаол муҳитининг асосини қаттиқ жисмга киритилган аралашманинг ионлари ташкил этади, яъни хром, никель, кобальт, неодим, эрби ва бошқа ионлар қўлланилади.

Фаол муҳит бир неча шартларни қондириши керак, жумладан, оптик жиҳатдан бир жинсли, механик жиҳатдан мустаҳкам, иссиқлик ўтказувчанлиги катта, иссиқлик таъсирига чидамли, нурланиш тўлқин узунликлари соҳасида шаффоф ва механик қайта ишлашлар натижасида катта ўлчамли фаол элементлар олиш имкониятини бера оладиган бўлиши шарт.

Бу барча талабларга тўла жавоб берадиган моддалар кам. Қаттиқ жисмли лазернинг тузилиши 2.1- расмда кўрсатилган.



2.1- расм. Қаттиқ жисмли лазернинг тuzилиши:

1- Фаол муҳит, 2- резанатор кўзгулари, 3- газ разрядли лампа, 4- нур қайтаргич, 5- юқори кучланишли энергия манбаи, 6-ёруғлик импульси.

Қаттиқ жисмли лазерларда юқори энергетик сатҳни зарралар билан тўлдирилиши юқорида турган бир нечта сатҳлардаги зарраларни нурланишсиз тушиши орқали амалга оширилади. Оптик дамлаш лампасининг нурланиши фаол элементнинг асосий сатҳида жойлашган зарраларини энг юқори сатҳларига чиқаради. Бу сатҳга чиқарилган зарраларнинг яшаш вақтлари кичик бўлгани учун улар юқори ишчи лазер сатҳига тушиб, бу сатҳда тўпланадилар ва қуйи ишчи лазер сатҳига нисбатан инверс бандликни ҳосил қилади. 2.1 - расмдаги нур қайтаргич 4 газ разрядли лампа 3 нурланишини тўла фаол муҳитга қайтариш учун хизмат қилади. Резанатор кўзгуларининг 2 вазифаси зарраларни қисқа муддатда ионлаштиришдан иборат. Энергия манбаидан 5 олинган электр энергияси разрядда, нур қайтаргичда, фаол муҳит 1 ютиш спектрига мос келмаган нурланишда йўқотилади. Лазер нурланишидаги бу йўқотиш энергиянинг 1÷5 % ни ташкил этади. Электр энергиясининг асосий қисми фаол муҳитни қиздиради ва совутгич томонидан фаол муҳит совутиб турилади. Берилган импульс фаол муҳит таъсирида кучайиб, 6 шаклида чиқади.

Қаттиқ жисмли лазерларнинг аксариятида импульс равишда оптик дамлаш

(ёруғлик манбаи) қўлланилади. Импульс лампанинг нурланиши тахминан бир миллисекунддан камроқ вақт давом этган ҳолда лазер нурланиши давомийлиги $0,3 \div 0,5$ мс бўлган импульс тарзида рўй беради. Бу иш услуби лазернинг *эркин генерацияси* дейилади.

Эркин генерация нурланиши импульснинг давом этиш вақти 1 мкс ва импульслар орасидаги вақт оралиғи 10 мкс бўлган импульслардан иборат. *Эркин генерация* - нурланиш давомийлиги қисқа муддатли импульсли нурланишдир.

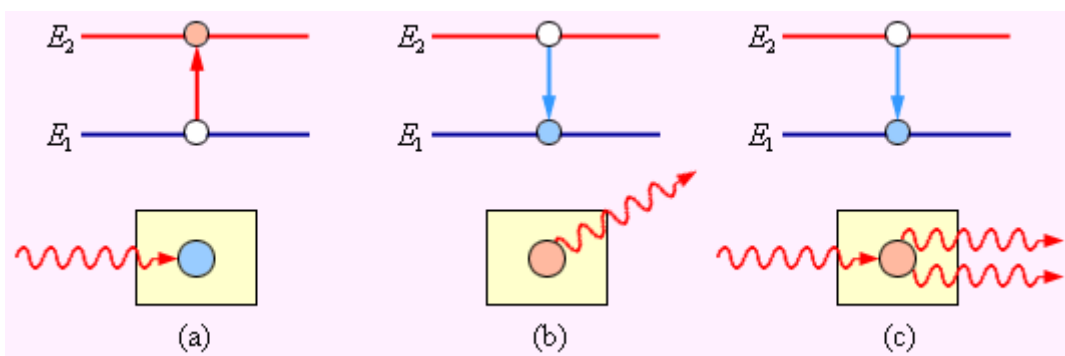
Қаттиқ жисмли лазерларнинг нурланиш қувватини ошириш ва импульснинг давом этиш вақтини қисқартириш резонатор (яъни, муайян такрорийликдаги ташқи куч таъсир қилганда энг катта амплитуда ва тебраниш қобилиятига эга бўлган тебраниш тизими) асллигини ўзгартириш йўли билан амалга оширилади. Мазкур усул *резонатор асллигини модуляциялаш* номини олган.

Бу ҳолни вужудга келтириш учун оптик резонатор ичига ёруғлик нури таъсирида тиниклашувчи оптик зулфин (затвор) жойлаштирилади. *Оптик резонатор* - бу ёруғлик нури оптик асбоблар ёрдамида кучайтиришдир. *Зулфин* - нурни қисқа муддатда ёпиб - очиб турадиган қурилмадир. Ғалаёнлантирилган зарраларнинг юқори энергетик сатҳдан релаксация вақтига тенг вақт ичида фаол элементини оптик дамлаш ($10^{-4} \div 10^{-3}$ секунд) орқали амалга оширилади. *Дамлаш* - ташқи энергия ёрдамида электронларни юқори сатҳга кўтаришдир.

Инверс бандлик энг катта қийматга эга бўлган вақтда эса оптик зулфин қисқа вақтга очилади, натижада давом этиш вақти $10^{-3} \div 10^{-9}$ с бўлган қисқа импульс ҳосил бўлади. Бу импульс *моноимпульс* деб аталади. *Моноимпульс* - якка импульс деган маънони билдиради. Шу вақт ичида барча ғалаёнлантирилган зарралар юқори сатҳдан қўйи сатҳга мажбурий нурланиш бериб ўтади ҳамда моноимпульсли нурланиш генерацияланади.

Фаол мухитга йиғилган энергия қисқа вақт ичида нурланиш ҳосил қилгани учун унинг қуввати эркин генерация нурланиши қувватига нисбатан бир неча марта катта бўлади. Мисол тариқасида фаол мухит сифатида ёқут элементлари қўлланилган лазерни ишлаш тамойилини қараб чиқамиз.

Лазернинг ишлаш тамойили. Одатдаги шароитларда кўпчилик атомлар қуйи энергетик ҳолатда бўлади. Шунинг учун паст температураларда моддалар ёруғлик чиқармайди. Электромагнит тўлқин модда орқали ўтганда электромагнит тўлқиннинг энергияси ютилади. Тўлқин энергияси таъсирида атомларнинг бир қисми уйғонади, яъни юқори энергетик ҳолатга ўтади. Бунда ёруғлик дастасидан сатҳларнинг E_1 ва E_2 энергияси фарқига тенг бўлган $h\nu = E_2 - E_1$ энергия ажралади. Ташқи электромагнит тўлқин таъсирида уйғонган атом қўшни атомлар билан тўқнашганда уларга ўз энергиясини бериши ёки ихтиёрий йўналишда фотон чиқариши мумкин.



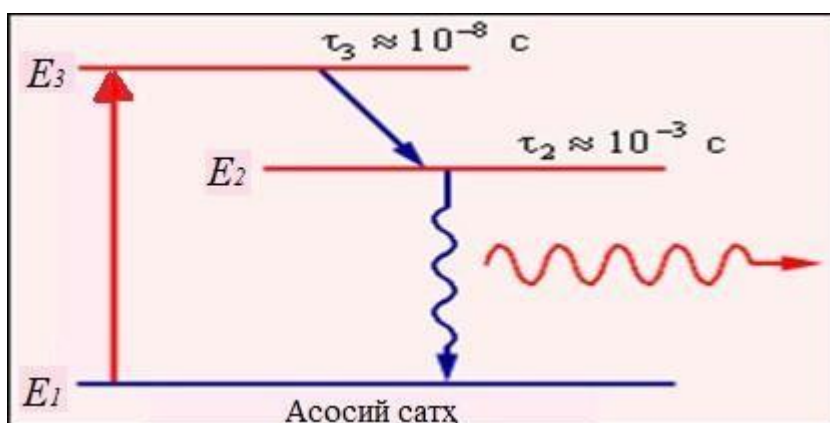
2.2-расм.

Бирон усул билан мухит атомларининг кўп қисми фаоллаштирилган бўлса, у ҳолда модда орқали частотали электромагнит тўлқин ўтганида бу тўлқин заифлашмайди, аксинча индукцияланган нурланиш ҳисобига кучаяди. Бу тўлқин таъсирида атомлар қуйи энергетик ҳолатга ўтади ва бунда частотаси, фазаси жиҳатидан тушувчи тўлқинга мос бўлган тўлқинлар чиқаради. 2.2(a) - расмда ёруғликни ютилиши, (b) - расмда қўзғотилган атом ва тўлқин, (c) -

расмда эса атомнинг асосий ҳолатга ўтганлиги ва тўлқиннинг кучайгани схематик равишда кўрсатилган.

Уч сатҳли системада ёқут лазери. Атомлари ташқи электромагнит тўлқин таъсирида уйғотилган ҳолатда бўлган муҳитлар ҳосил қилишнинг турли усуллари бор. Ёқут лазерида бунинг учун кучли махсус лампадан фойдаланилади. Атомлар ёруғлик ютиш ҳисобига уйғонади.

Бироқ лазернинг ишлаши учун икки энергетик сатҳ етарли эмас. Ташқи электромагнит нурланиши вазифасини бажарувчи лампанинг ёруғлиги ҳар қанча кучли бўлмасин, уйғотилган атомлар сони уйғотилмаган атомлар сонидан ортиқ бўлмайди. Чунки ёруғлик айна вақтда атомларни уйғотади, ҳам атомларни юқори сатҳдан қуйи сатҳга мажбурий равишда индукциялаб ўтказди. Учинчи сатҳни ҳосил қилиш йўли билан энергияни бир жойда тўплаш имкониятига эга бўламиз.

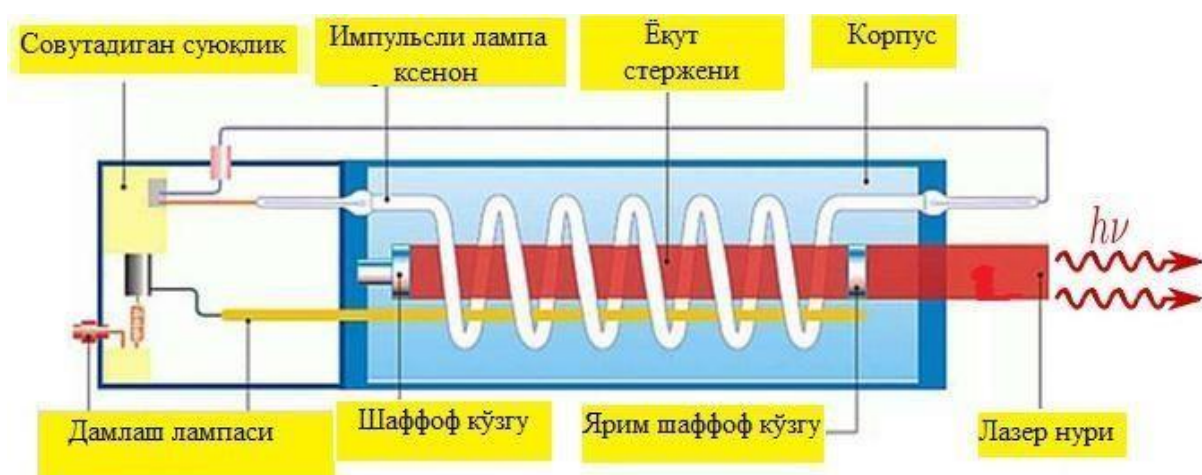


2.3 - расм. Уч сатҳли энергетик тизим.

Шуниси муҳимки, ташқи таъсир бўлмаганда атомларнинг турли энергетик сатҳларда яшаш вақти бир биридан катта фарқ қилади. E_3 - сатҳда жуда қисқа вақт, яъни 10^{-8} с вақт давомида яшайди ва сўнгра нурланмасдан ўз - ўзидан E_2 - сатҳга ўтади ва яшаш вақти 10^{-3} с га тенг. Ташқи электромагнит тўлқин таъсиридан E_2 - сатҳдан E_1 - сатҳга ўтишда нурланиш содир бўлади. Лампанинг кучли чакнашидан кейин атом ионлари E_3 - сатҳга ўтади ва 10^{-8} с га яқин вақт ўтгандан кейин E_2 - сатҳга ўтади ва унда узок

муддат “яшайди”. Шундай қилиб, уйғотилган E_2 - сатҳнинг уйғотилмаган E_1 - сатҳдагига қараганда атомлар кўпроқ бўлади. Ёқут - алюминий оксиди (Al_2O_3) ва хром (Cr^{3+}) атомлари (0,05% га яқин) аралашмасидан иборат оч қизил кристаллдир. Кристаллдаги хром ионлари сатҳлари юқорида талаб қилинган хоссаларга эгадир.

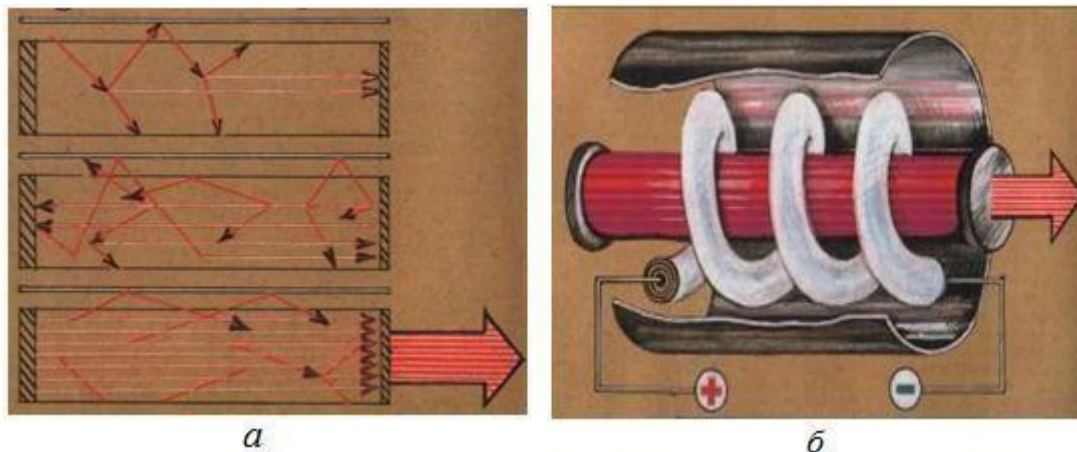
Ёқут лазерининг тузилиши. У жуда юқори аниқликдаги параллел текисликларда жойлашган, учлари текис силлиқланган синтетик ёқут (хром атомлари қўшилган алюминий оксиди) стерженидан иборат бўлиб, умумий кўриниши 2.4 - расмда кўрсатилган. Стержень учлари кумуш билан қопланади, бунда ёқут стерженнинг бир учи шаффоф, иккинчи учи эса ярим шаффоф кўзгу қилинади. Лазернинг ёруғлик нурланиши хром атомлари томонидан ҳосил қилинади. Хром атомларини уйғонган ҳолатга ўтказиш учун стержень импульсли лампа ёки газ - ёруғлик трубкасига жойлаштирилади. Спираль шаклида ишланган газ разряд лампа кўкимтир-яшил ёруғлик беради. Лампа чиқараётган ёруғликни ютган хром атомлари



2.4- расм. Фаол муҳити ёқутдан иборат бўлган лазернинг тузилиши схемаси.

уйғонади, сўнгра пастрок энергетик ҳолатга ўтиб, уларнинг ўзи қизил ёруғлик чиқаради. Хромнинг уйғонган атомларидан бири ўз - ўзидан стержень ўқи бўйлаб учиб юривчи квант чиқаради. Бу квант бошқа хром атомларининг индукцияланган нурланишини ҳосил қилади. Квантлар стержень учларидан қайтиб, унинг ўқи бўйлаб кўп марта учиб ўтади (2.5 а

-расм). Бундай қизил ёруғлик фотонлари қуюни тез ортади ва ниҳоят, стерженнинг ярим шаффоф учидан ташқарига чиқади, яъни қисқа муддатли, лекин қудратли ва қатъий йўналган қизил нурланиш ҳосил бўлади, бу нурланиш *лазер нури* деб аталади (2.5 б - расм).



2.5- расм. а – кристаллдаги атомларнинг ҳаракати; б- лазер нурини ҳосил бўлиши.

Уйғонган хром атомлари фақат муайян фотонларнигина сезувчи атом резонаторлари бўлиб хизмат қилади. Демак, ёқут стержени индукцияланган нурланиш ҳосил қилувчи ҳажмий резонатордир. Стержень ичида нурланишни кучайтириш учун кўзгулар (стержень учлари) орасидаги масофа лазер нурлаётган ёруғлик ярим тўлқин узунлигининг бутун сонига тенг бўлиши керак. Стерженнинг қумуш юритилган учлари лазернинг фақат ёруғлик нурланишининг кучайтирувчи кўзгули резонатор ҳисобланади.

Лазер ишлаганда стерженда кўп иссиқлик ажралади, шунинг учун стержень суюқлик ёрдамида совутиб турилади. Стержень ичида фотонлар оқими зичлигининг жуда катта бўлиши туфайлигина худди шу индукцияланган нурланиш ёрдамида уйғонган хром атомлари паст энергетик ҳолатга ўтади, чунки фотонлар оқими зичлиги кичик бўлганда хром атомларининг кўпи ўз - ўзидан фотон чиқара бошлайди, бу эса лазер нурланишининг когерентлигини бузади.

Ёқут лазерининг ёруғлик нурлари жуда ёрқин бўлади. Бундай лазер

нурини кўзимиз ҳатто 40 км масофадан ҳам сезади. Ёқут лазери кетма - кет келувчи импульслар кўринишда ва тўлқин узунлиги 694,3 нм, қуввати $10^6 \div 10^9 \text{ Вт}$ га тенг бўлган импульсли нурланиш чиқаради. Лазернинг кучли ёруғлик оқими қаттиқ, суяқ ва зич газсимон моддаларга таъсир қилганда бир қанча янги ажойиб ҳодисалар кузатилади, масалан, нурланиш частотаси иккига ажралади, яъни қизил ёруғликдан бинафша ёруғлик ҳосил бўлади. Лазер нурланишининг когерентлиги бу нурланишни модуллаш йўли билан турли информацияни узоқ масофаларга, масалан, телевизион кўрсатувларни узатишда ундан фойдаланишга имкон беради.

Газли лазерлар

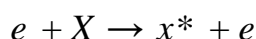
Газ лазерларида фаол муҳит сифатида қўлланиладиган газнинг босими одатда бир неча миллиметр симоб устуни бўлгани учун нурланиш чизиғининг газ молекулаларининг тўқнашиши натижасида кенгайиши жуда кичик бўлади. Нурланиш чизиғининг кенгайиши асосан Доплер эффекти билан боғлиқдир. *Доплер эффекти* - бу тебранишлар манбаи ва кузатувчи бир - бирига нисбатан ҳаракатланганда кузатувчи сезадиган тебраниш такрорийлиги ёки тўлқин узунлигининг ўзгаришларидир. Нурланиш чизиғининг кенглиги жуда кичик бўлгани сабабли газ муҳитларида инверс бандликни ҳосил қилиш учун ҳам оптик дамлаш усулидан фойдаланиш яхши самара беради. Оптик дамлашда қўлланиладиган лампа нурланиши деярли узлуксиз бўлиб, ютиш чизиқлари кенглиги кичик бўлганда оптик нурланиш энергиясининг жуда кам улушига инверс бандликни ҳосил қилиш учун сарфланади. Шунингдек, газ лазерларида атомларни уйғонган ҳолга ўтказиш учун электр разряди қўлланилади. Бу усул электр дамлаш номини олган. *Электр дамлаш* - электр токини ҳосил қиладиган электронлар оқими фаол муҳит билан тўқнашиш натижасида инверс бандлик ҳосил қилишдир.

Электр дамлашда газ орқали электр токи ўтиши натижасида ионлар ва эркин электронлар ҳосил бўлади. Улар электр майдонида тезлашиши

натижасида қўшимча кинетик энергия оладилар ва нейтрал атомлар билан тўқнашганда уларнинг уйғонган ҳолатга ўтишига сабабчи бўладилар. Тўқнашув орқали атомларни уйғонган ҳолатга ўтказиш жараёнида катта массали ионларга нисбатан, кичик массали электронлар кўпроқ рол ўйнайди, чунки паст босимдаги газда электронларнинг ўртача энергияси ионларнинг ўртача энергиясига нисбатан бир қанча катта бўлади. Маълум вақтдан сўнг газда электронларнинг ўртача ҳарорати T билан тавсифланувчи мувозанат ҳолат вужудга келади.

Газларда электр дамлаш икки йўл билан амалга оширилади:

1. Фақат бир хил зарралардан иборат газда атом фақат электрон билан тўқнашиш натижасида уйғонган ҳолатга ўтиши мумкин:

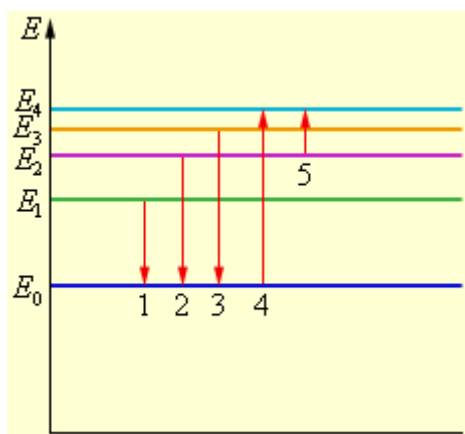


e - электрон.

X - асосий ҳолатдаги атом.

x^* - уйғонган ҳолатдаги атом.

1. Икки газ (A ва B) аралашмасида турли атомларнинг ўзаро тўқнашуви натижасида энергия резонанс равишда бир атомдан иккинчи атомга узатилиши уйғонган ҳолатни ҳосил қилади. Бу жараён схематик тарзда 2.6 - расмда кўрсатилган.



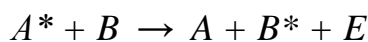
2.6. - расм. Атомларнинг энергетик сатҳлари диаграммаси.

A атом уйғонган ҳолатда, B атом эса асосий ҳолатда деб ҳисоблайлик.

Уларнинг уйғонган ҳолатлари орасидаги энергия фарқи $E < kT$ бўлсин.

Бу вақтда A ва B атомнинг уйғонган ҳолатга ўтиш эҳтимоли мавжуд

бўлади, яъни



A^* - уйғонган ҳолатдаги атом.

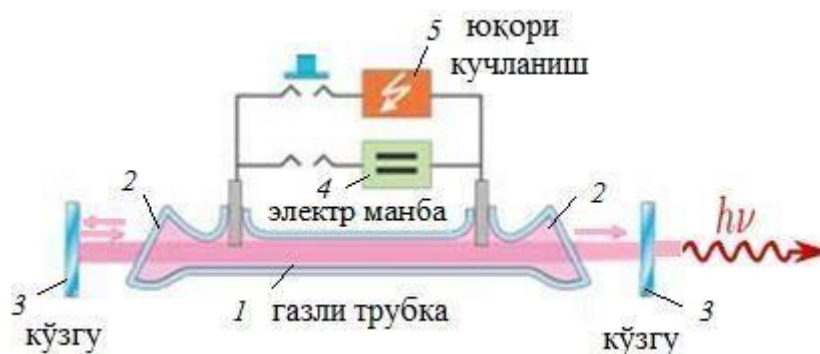
B^* - уйғонган ҳолатдаги атом.

E энергия атомнинг илгариланма ҳаракати энергиясига қўшилиши ёки ундан айрилиши мумкин. B атомларнинг бу жараёнда уйғонган ҳолатга ўтиши A атомнинг уйғонган ҳолати узоқ яшовчи метастабил бўлгандагина самарали бўлади. Чунки, уйғонган ҳолатга ўтган A атомлар бу ҳолатда узоқ вақт сақланиб турадилар ва B атомларни уйғонган ҳолатларга ўтказиш учун хизмат қиладилар. реакция бўйича рўй берадиган жараён *иккинчи тур тўқнашувлар* номини олган.

Атом уйғонган ҳолатдан асосий ҳолатга ёки пастки энергия ҳолатига тўрт хил йўл билан ўтиши мумкин: уйғонган атомнинг эркин электрон билан тўқнашувида электронга энергия бериш йўли билан; бир неча газ аралашмасида бошқа тур атомлари билан тўқнашиш натижасида;

атомнинг газ разряди трубкиси девори билан тўқнашуви натижасида;

ўз - ўзидан нурланиш йўли билан. Газлар ўтаётган электр токининг берилган қийматида атомнинг уйғониш ва релаксация жараёнларининг тўхтовсиз рўй бериши натижасида атомнинг (уйғонган) энергия сатҳлари бўйлаб тақсимоти - инверс бандликни вужудга келтиради. *Релаксация* - макроскопик физикавий тизимда термодинамик мувозанатнинг ўрнашуви жараёни. Газ лазерларининг тузилиши 2.7 - расмда келтирилган.



2.7 - расм. Газ лазерининг тузилиши.

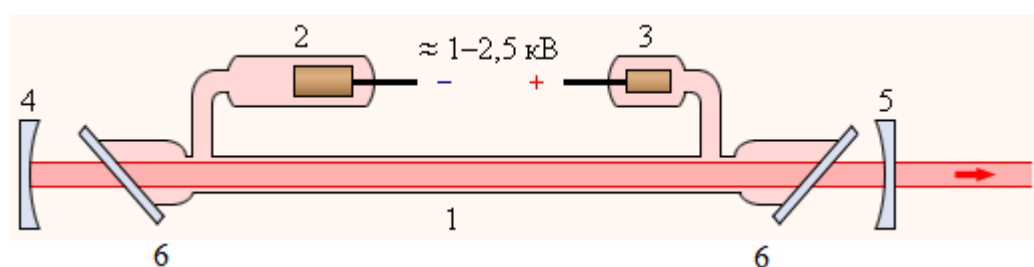
Газ лазери паст босимли газ аралашмаси билан тўлдирилган шиша трубкадан иборат. Трубка 1 диаметри бир неча миллиметрдан бир неча сантиметргача бўлади. Трубка учлари 2 Брюстер бурчаги остида жойлаштирилган ясси параллел пластиналар билан бириктирилган. Бундай пластинка орқали расм текислигида қутбланган ёруғлик ўтганда пластинка сиртидан қайтиш натижасида йўқотишлар нолга тенг бўлади. Трубка иккита ясси параллел ёруғликни тўлиқ қайтариш хусусиятига эга бўлган ярим шаффоф ва шаффоф кўзгулар 3 орасига жойлаштирилган. Олдин юқори кучланишли импульс 5 бериб газ молекулалари ионлаштирилади. Доимий электр токи 4 бериш орқали ионлар уйғонган ҳолатга ўтади.

1960 йил охирида Америкалик физик олим А.Джаван гелий ва неон аралашмаси ёрдамида биринчи газ лазерини кашф қилди.

Гелий - Неон ($He - Ne$) лазери. $He - Ne$ лазери нейтрал атомлардан тузилган газ лазерларининг энг кўп тарқалган туридир. У уч тўлқин узунлиги $\lambda_1 = 3391\text{нм}$, $\lambda_2 = 1152\text{нм}$, $\lambda_3 = 632,8\text{нм}$, да нурланиш хусусиятига эгадир. Кашф этилган биринчи газ лазери $He - Ne$ лазери бўлиб, у $\lambda = 1152\text{нм}$ тўлқин узунлигида нур чиқарган ва нурланиш қуввати $P = 100\text{мВт}$ гача қийматга эга бўлган.

Ҳозирги вақтда $He - Ne$ лазерининг $\lambda = 632,8\text{нм}$ тўлқин узунлигида нурланувчи тури энг кўп тарқалган.

Газли разряд найининг ички диаметри бир неча мм дан 1 см гача, узунлиги эса бир неча см дан бир неча метргача бўлиши мумкин. Фаол муҳит сифатида неон газни олиниб, ёрдамчи газ сифатида унга гелий газни қўшилади ва уларнинг нисбати тахминан 1:7 муносабат олиниб, газ разряд найи керакли босимларда (1,3 мм см. уст. тенг босимларда) тўлдирилади. Разряд найининг ичида ёки ташқарисида 2.8 - расмда кўрсатилгандек цилиндрик ёки тасмали электродлар жойлаштирилади ва улар мос ҳолда доимий токли ёки кўндаланг юқори частотали разряд ҳосил қилиши учун хизмат қилади.



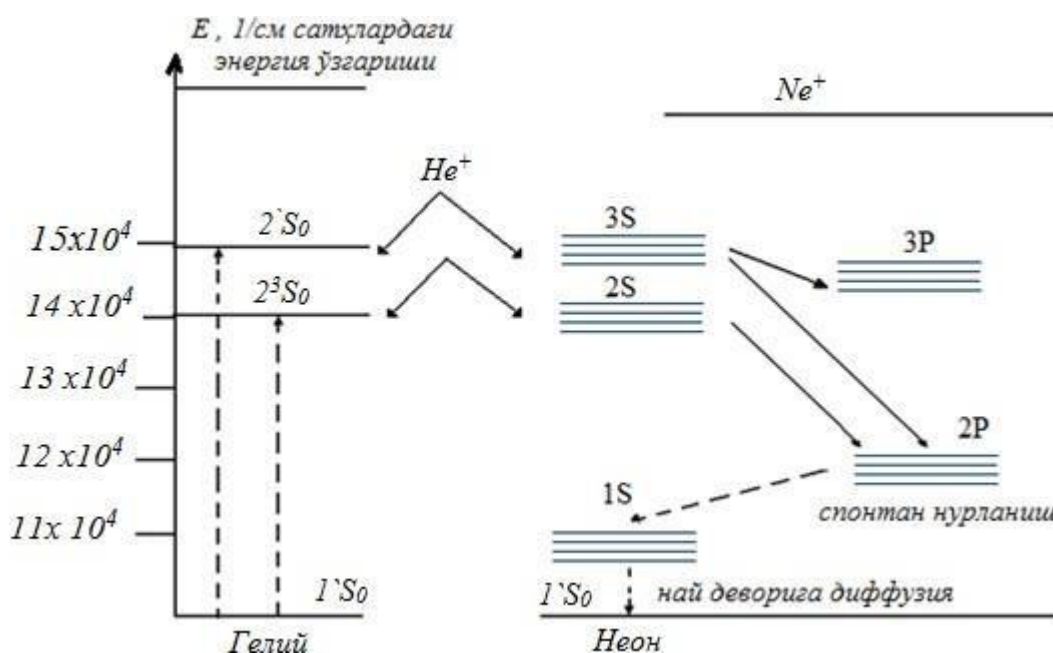
2.8-расм. Гелий-неон лазерининг тuzилиши:

1- шишадан ясалган гелий-неон аралашмали разряд найи юқори кучланиш билан ионлаштирилади (1-2,5 кВ); 2 - катод; 3 - анод; 4 - шаффоф бўлмаган сферик кўзгу (ўтказувчанлиги 0,1 %); 5 - шаффоф сферик кўзгу (ўтказувчанлиги 1-2 %); 6 - трубка учлари Брюстер бурчаги остида жойлашган шиша ясси параллел пластинкалар.

Гелий ва неон аралашмали муҳитдаги жараённи таҳлил қилиш учун, гелий ва неон атомларининг электрон энергетик сатҳлари диаграммасидан фойдаланамиз (2.9-расм).

Гелий ёрдамчи газ бўлиб, иккинчи тур тўқнашишлар ёрдамида неон ишчи энергетик сатҳларини неон атомлари билан тўлдиришга ёрдамлашади. Гелий атомларининг ўзи эркин электронлар билан тўқнашганда юқори энергетик сатҳларга ўтади. Гелий атомининг бу юқори сатҳлардаги яшаш вақти τ ва бу сатҳлар энергияси неон атомининг $2S$ ва $3S$ сатҳларининг энергияларига яқин. Бу ҳолда юқори энергетик сатҳдаги гелий атомлари пастки сатҳда

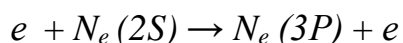
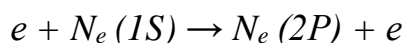
жойлашган неон атомлари билан ноэластик тўқнашиб уни юқориги $2S$ ва $3S$ ишчи сатҳларга ўтади. Гелий атоми $2S$ сатҳи ва неон атоми $3S$ сатҳи энергияларининг фарқи 300 см^{-1} га тенг бўлади. Бу хона температурасидаги kT нинг қийматидан бир мунча катта бўлишига қарамасдан гелий атомидан неон атомга энергия узатиш жараёнининг интенсивлиги юқори бўлади.



2.9-расм. Гелий – неон лазерининг энергетик сатҳлари.

Шундай қилиб, ғалаёнлантирилган гелий атомлари ёрдамида неон атомларини ғалаёнлантириш учун, энергия зарраларнинг ўзаро ноэластик тўқнашиши йўли билан узатилади. Бу ўтишларида инверс бандлик ҳосил бўлади ва лазернинг тўрт энергетик сатҳли тузилишдаги ишлаш тамойилига мос келади. Бу жараёнда неон атомлари электронлар билан тўқнашади ҳамда ғалаёнлантирилган сатҳларга ўтказилиб, инверс бандлик ҳосил қилинади. Разряд токининг катта қийматларида неон атомининг $1S$ сатҳи электрон - неон тўқнашуви натижасида тўлдирилади. Бу ҳолда $2P$ ва $3P$ сатҳларнинг $1S$ сатҳдаги неон атомлари билан тўлдирилиши асосий ҳисобланади. Бу эса инверс бандликнинг камайишига ҳамда генерациянинг йўқолишига олиб келади.

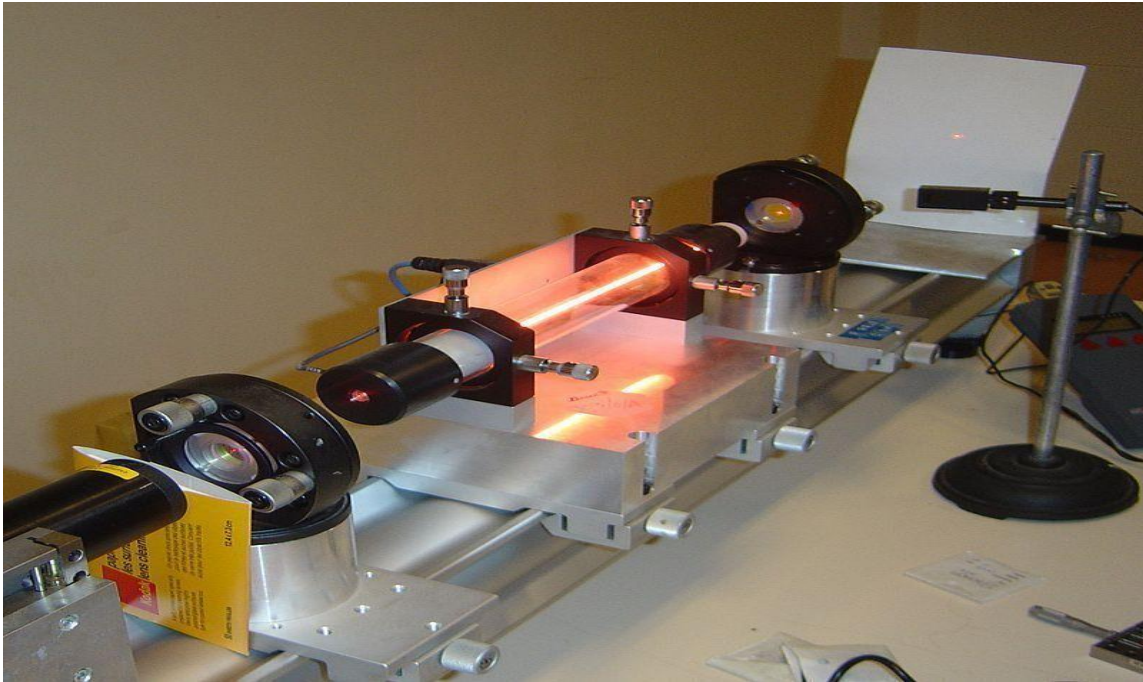
Бу ҳолда неон атомининг нурланиши $2S \rightarrow 2P$ ва $3S \rightarrow 3P$ сатҳлардаги ўтишларига тўғри келади. Бу жараёнларни қуйидаги ифодалар кўринишида ёзиш мумкин:



Биринчи бўлиб $2S \rightarrow 2P$ энергетик ўтишларида лазер генерацияси олинган. Ҳозирги пайтда, саноатда ишлаб чиқилган лазерларда уч хил ўтишларда генерация олинган бўлиб, уларда генерация олиш шарт - шароитлари тахминан бир хил (газ аралашмаси босими, разряд токининг қиймати) ва нурланиш қувватининг разряд параметрларига боғлиқлиги ҳам бир хил бўлади.

Тўлқин узунлиги $\lambda_1 = 3391 \text{ нм}$ нурланиш бериш имкониятига эга

бўлган энергетик сатҳ неон атомлари билан тез ва осон тўлдирилади. Тўлқин узунлиги $632,8 \text{ нм}$ нурланиш генерациясини олиш мураккаброқ, лекин бу нурланиш электромагнит тўлқин диапозонининг кўзга кўринадиган диапозонида бўлгани ва фото қабулқилгич қурилмасининг энг катта сезгирлик соҳасида ётгани учун неон лазерлари кўп ишлаб чиқарилади ва халқ хўжалигининг турли соҳаларида ишлатилади.

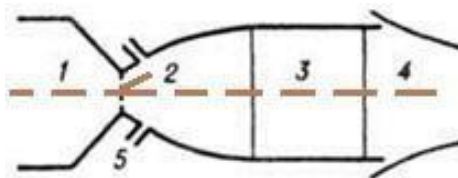


Нурланиш қуввати $P = 100$ мВт гача қийматга эга бўлган гелий – неон лазерининг умумий кўриниши.

Газодинамик CO_2 лазер. Фаол муҳити карбонат ангидрид (CO_2) газида ишловчи ва ўрта инфрақизил 10600 нм тўлқин узунликли диапазонда нурланиш берувчи лазердир. Унинг узлуксиз иш режимдаги когерент нурланиш қуввати юзлаб киловаттга етиши мумкин ва техниканинг турли соҳаларида ишлатилишининг имкониятлари кенг.

Газодинамик CO_2 - лазерда инверс бандлик юқори ҳароратгача қиздирилган газ аралашмасининг кескин равишда кенгайиши натижасида ҳосил қилинади.

Газодинамик лазернинг ишлашини 2.10 - расм асосида тушунтириш мумкин.



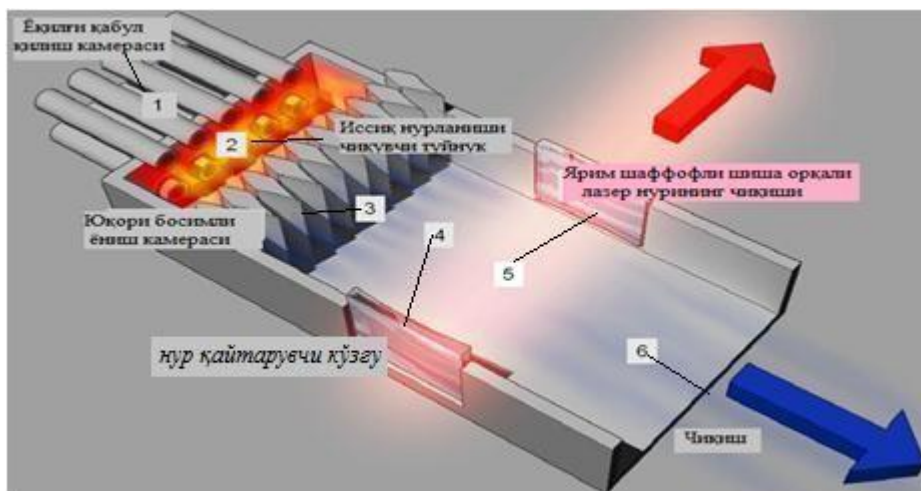
2.10-расм. Газодинамик лазернинг тузилиши:

1 – ёниш камераси, 2 – соплонинг критик юзаси, 3 - оптик резонатор, 4 - диффузор; 5 – CO₂ гази билан таъминлайдиган камера.

Бирор идишда юқори температура ($T=1400K$) ва босимда (17 атм.) газ жойлашган бўлсин. Газ бошланғич ҳолатда термодинамик мувозанатда бўлгани учун CO₂ молекуласининг юқори лазер сатҳи 001 юқори бандликка (асосий сатҳ бандлигининг тахминан 10 % эга бўлади. Пастки сатҳнинг бандлиги ундан ҳам юқори бўлиб (25%), улар орасида инверс бандлик мавжуд бўлмайди. Газ аралашмаси ингичка тирқиш - сопло орқали кенгая бошласин. Кенгайиш адиабатик равишда бўлгани учун газнинг кенгайгандан кейинги температураси жуда кичик бўлиб қолади. Юқори ва пастки лазер сатҳларининг бандлиги янги температурага мос келадиган мувозанат ҳолатга ўтишга интилади. Лекин, юқори сатҳнинг яшаш вақти, пастки сатҳнинг яшаш вақтидан катта бўлгани учун пастки сатҳнинг бандлиги янги мувозанат ҳолатга мос тушувчи бандликка тезроқ ўтади. Натижада, газнинг кенгайиш соҳасида, газ оқими йўналишида етарлича кенг бўлган соҳада юқори сатҳнинг бандлиги каттароқ бўлиб қолади, яъни инверс бандлик содир бўлиши кузатилади. Бу соҳа узунлиги уйғониш ҳолатини азот молекуласидан CO₂ молекуласига узатиш учун кетган вақтга газ оқими босиб ўтган масофага тенг бўлади. Газнинг кенгайиши натижасида инверс бандликни ҳосил қилиш газнинг температураси ва босими пасайиши вақти юқори сатҳ яшаш давридан кичик, пастки сатҳ яшаш давридан катта бўлгандагина самарадор бўлади. Бу шартга бўйсунуш учун газ товуш тезлигидан катта бўлган тезликларда кенгайиши талаб қилинади. Бошланғич газ аралашмасининг юқори температураси махсус ёқилғининг ёниши натижасида ҳосил қилинади. Масалан, CO ва H₂ ёки бензол C₆H₆ ва H₂O ёниши натижасида талаб қилинган температурага эришилади. Бунда CO₂ /H₂O нинг 2:1 нисбатдаги аралашмаси ҳосил бўлади.

Сўнги маълумотларга кўра газодинамик CO₂ лазерда қуввати

100 кВт гача бўлган нурланиш ҳосил қилиниб, унинг кимёвий фойдали иш коэффициенти (ф.и.к.) 1 % ни ташкил этади. Бундай лазерлар реактив двигителни эслатиб, узлуксиз маромда қисқа бир неча секундда ишлайди (2.11-расм). Бунга сабаб қизиш натижасида лазер резанатори кўзгуларининг ишдан чиқишидир.



2.11-расм. Газодинамик CO_2 лазернинг тuzилиш схемаси:

1- ёқилги қабул қилиш камераси, 2 - юқори босимли ёниш камераси, 3 - иссиқлик нурланиши чиқувчи туйнук, 4 - нур қайтарувчи кўзгу, 5 - ярим шаффофли кўзгу орқали лазер нурининг чиқиши, 6- қўшимча нурланишнинг чиқиши.

CO - лазер. Молекулаларнинг тебранма - айланма ўтиш чизикларида ишловчи лазерларнинг яна бир тури CO лазеридир. Унинг нурланиш тўлқин узунлиги 500 нм бўлиб, ф.и.к. жуда катта 60 % қийматга эгадир. CO лазерда нурланиш қуввати 100 кВт гача ҳосил қилинган, лекин бундай қувватни амалга ошириш учун газлар аралашмасини жуда паст 77÷100 К хароратгача совутиш керак. CO молекулаларнинг тебранма сатҳларида инверс бандликни ҳосил қилиш худди CO_2 лазердагидек электрон зарба воситасида амалга оширилади. Худди азот молекулаларидек CO молекуласи жуда катта электрон зарба натижасида тебранма сатҳларни уйғотиш хоссасига эгадир. Разряддаги электронларнинг деярли 90% энергияси CO

молекуласининг тебранма харакати энергиясига айланиши мумкин.

Юқорида айтилганидек, CO лазер ишчи аралашмаси жуда яхши совитилиши керак. CO лазерда инверс бандлик ишчи газнинг $350 \div 400 K$ ҳароратидаёқ йўқолади. Унинг бирлик узунлигидан олиниси мумкин бўлган қувват трубка деворлари ҳароратси $77 K$ дан $300 K$ гача ўзгарганда 300 дан $30 W/m$ гача пасаяди. CO - лазерлар ҳам нурланиш қувватини ошириш учун конвекция усули билан совитилиш ва инверс бандликни ҳосил қилиш учун номустақил разрядлардан фойдаланишни талаб қилади.

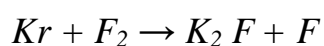
Эксимер лазерлар. *Эксимер лазер* - электрон сатҳлари орасида ўтиш натижасида нурланиш ҳосил бўлувчи молекуляр лазерлардир.

Баъзи бир инерт газлар ва уларнинг галогенлари билан бирикмаси молекулалари фақат уйғонган ҳолатда мавжуд бўлади. Бундай молекулалар - эксимер (инглизча - *excited dimer*) - уйғонган димер номини олган.

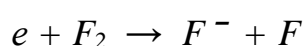
Икки атомли молекуланинг асосий ҳолати потенциал энергияси атомлар орасидаги итарилиш кучларига мос келади. Шунинг учун бу молекула асосий ҳолатда мавжуд бўлмайди. Уйғонган ҳолат потенциал энергияси минимумга эга бўлганда молекула мавжуд бўлади. Зарралардан тузилган молекула фақат димер ҳолатида мавжуд бўлади. Эксимернинг асосий ҳолатга ўтиши унинг алоҳида зарраларга ажралиб кетишига олиб келади. Қандайдир ҳажмда етарлича эксимер молекулалар ҳосил қилинган бўлсин. Унда юқориги (боғланган) ва пастки (боғланмаган) сатҳлар орасидаги ўтиш натижасида нурланиш ҳосил қилиш мумкин. Бундай лазер эксимер лазер номини олган. Бу лазер иккита ажойиб хусусиятга эгадир. Генерация натижасида асосий ҳолатга ўтган молекула дарҳол диссоциацияланади - алоҳида зарраларга ажралиб кетади. Яъни пастки сатҳ ҳамма вақт бўш бўлади.

Лазер нурланиши аниқ частотага эга бўлмай - кенг полосага эга. Бу эса лазер нурланиш частотасини кенг интервалда ўзгартириш имкониятини беради. Инерт газлар аргон, криптон, ксенон (Ar, Kr, Xe) галогенлар фтор ва серий (F, Se) билан аралашиси натижасида ҳосил бўлган эксимерлар асосида

яратилган лазерларни кўриб чиқайлик. Уларнинг нурланиши асосан ультрабинафша нурларга тўғри келади. Масалан: ArF ($\lambda = 193 \text{ нм}$), KrF ($\lambda = 248 \text{ нм}$), $XeCl$ ($\lambda = 308 \text{ нм}$), XeF ($\lambda = 353 \text{ нм}$). Эксимер лазерларнинг уйғонган ҳолатга ўтказиш механизми анча мураккабдир. Масалан, KrF лазерда (унда Kr, F_2 ва буфер газ аралашмаси қўлланилади), биринчидан, инерт газнинг уйғонган атоми галоген билан тўғри реакцияга киришади:



иккинчидан электрон галогенга қўшилади:



учинчидан, галогеннинг манфий иони билан қуйидаги рекомбинация рўй беради:



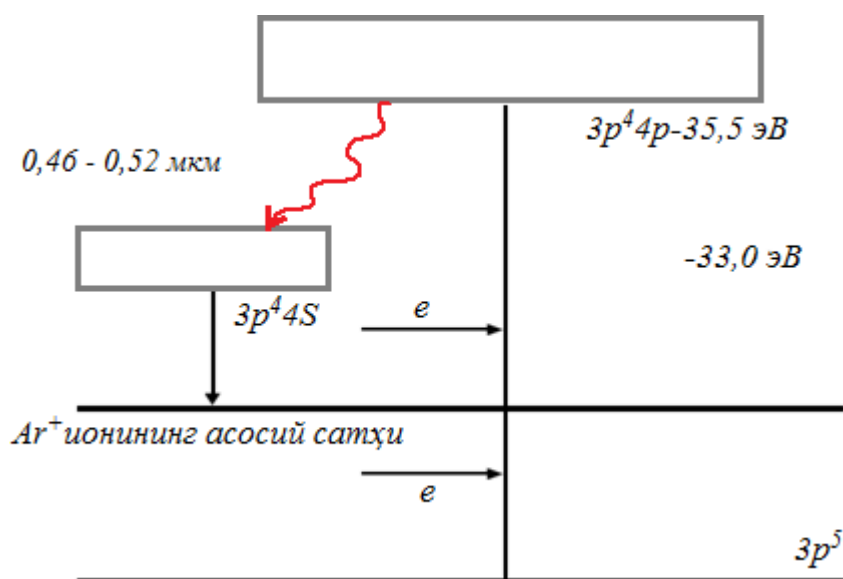
M – буфер газ (Ar ёки He).

Галогенлар асосидаги эксимер лазерларда дамлаш электрон дастаси ёки электр разряди воситасида амалга оширилади. Электр разряди қўлланилганда газни электронлар дастаси ёки ультрабинафша нурланиш ёрдамида олдиндан ионлаштирилади. Бундай лазер фақат импульс маромида ишлайди, тузилиши юқорида баён этилган CO_2 - лазер тузилишига ўхшаш бўлади. Лазер нурланиши импульс давомийлиги бир неча ўн наносекундни ташкил қилади. Ҳозирги вақтда ўртача қуввати 100 Вт , қайтарилиш частотаси 1 кГц , электр ф.и.к. $\eta \sim 1\%$ бўлган эксимер лазерлар яратилган. Эксимер лазерлар мураккаб фотохимёвий жараёнларни амалга оширишда, изотопларни ажратишда катта аҳамиятга эга.

Ионли лазерлар

Лазер нурланиши фақат нейтрал атомлар энергия сатҳлари орасида ўтишлар натижасида ҳосил бўлмасдан, балки ионларнинг энергия сатҳлари орасида ўтишлари натижасида ҳам ҳосил бўлиши мумкин. Бундай лазерлар

ион лазерлар номини олган. Ион лазерларнинг энг кенг тарқалгани аргон лазерини кўриб чиқамиз. Бу лазерда кўплаб спектрал чизиқларда когерент нурланиш олинган. Аргон лазернинг асосий қуввати 465,8 ва 514,5 нм тўлқин узунликларда жамланган. Аргон лазернинг ишлаш тамойилини кўриш учун аргон ионининг энергетик сатҳларининг соддалаштирилган диаграммаси 2.12-расмда келтирилган.



2.12-расм. Аргон иони энергетик сатҳларининг соддалаштирилган диаграммаси.

Аргон лазерда инверс бандлик ва ундаги мажбурий когерент нурланишлар аргон ионининг $3p^4 4p$ ва $3p^4 4s$ сатҳлар орасидаги ўтишларида олинади. Юқори лазер $3p^4 4p$ сатҳни электронлар билан тўлдирилиши, яъни сатҳни ғалаёнтирилиши зинапоя усулида ҳосил қилинади. Аввал газ разрядидаги эркин электронлар аргон атомини

ионлаштиради, ундан сўнг аргон ионидаги электронлар билан тўқнашиб, уларни $3p^4 4p$ юқори лазер сатҳига чиқарилади. Бу жараён куйидаги қонуният билан ифодаланади:



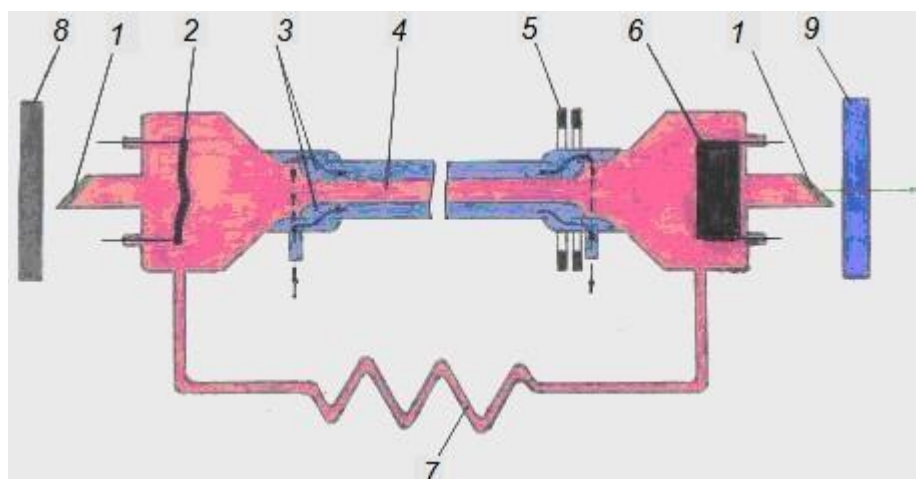
лазер сатҳида яшаш вақти c бўлиб, бу вақт куйи ($3p^4 4s$) лазер сатҳида электронларнинг яшаш вақтидан 10 марта катта.

Шу сабабга кўра инверс бандлик ва мажбурий ўтишлар орқали когерент нурланиш олиш имконини беради. Ушбу жараёнлар газ разрядидаги электронларнинг катта концентрациясида рўй беради. Бунинг учун ёй разрядидан фойдаланилади (разряд найида электр токининг зичлиги ~ 100 А/см² гача бўлиши мумкин).

Аргонли лазер қурилмасининг конструкцияси 2.13-расмда келтирилган.

Фаол элемент керамик капиллярдан ташкил топган. Разряд 4 найига 6 анод ва 2 катод электродлар жойлаштирилган. Бу электродлар орасига катта ток ҳосил қила оладиган доимий электр кучланиши берилади. Разряд найининг четлари Брюстер бурчаги остида ўрнатилган кварц шиша 1 ойналар билан беркитилган. Разряд найида ёй разряд ҳосил қилингани учун ундан катта иссиқлик ажралиб чиқади. Шунинг учун разряд найи 3 қобик орқали сув билан совитилиб турилиши шарт. Разряддаги электронлар концентрациясини орттириш, шу орқали лазер нурланиши қувватини кучайтириш учун разряд найи ўқи бўйлаб жойлашган 5 магнит майдони ҳосил қилинади. Лазернинг оптик резанаторини ўзаро параллел ва разряд найи ўқиға кўндаланг жойлашган 8 ҳамда 9 кўзгулар ҳосил қилади. Разряд найининг ичида анод ва катод оралиғига қўйилган доимий кучланиш натижасида катод томон ҳаракатланаётган мусбат ионлар оқими аргон газини катодли қисмига силжитади ва бунинг натижасида, газ босимининг фарқини йўқотиш учун

разряд найининг анодли қисмини катодли қисми билан туташтирувчи узунлиги разряд найи узунлигидан бир неча бор катта бўлган ингичка шиша най уланади.



2.13.-расм. Ионли аргон лазерининг тузилиши:

1 - лазернинг чиқиш ойнаси, 2 - катод доимий магнит; 3 - сув билан совутиш канали, 4 - капилляр разряд найи, 5 - магнитлар, 6 - анод, 7 - айланма най, 8 – шаффоф бўлмаган кўзгу, 9 - шаффоф кўзгу.

Аргон лазерлари узлуксиз ва импульсли ҳолатларда ишлайди. Импульсли ҳолатда нурланиш олиш учун анод ва катод оралиғига импульсли кучланиш берилади. Саноат миқёсида халқ хўжалиги учун ишлаб чиқилган аргон лазерининг максимал қуввати узлуксиз иш ҳолатида 20 Вт ни ташкил этади. Аргон лазерлардан микроэлектроника соҳасида, медицинада ва илмий тадқиқот ишларида фойдаланилади.

Кимёвий лазер

Кимёвий реакция натижасида тўғридан - тўғри инверс бандлик ҳосил бўлишига асосланган лазерлар кимёвий лазерлар дейилади. Кимёвий лазерларнинг энг кенг тарқалгани HF (водород ва фтор) - лазерлар бўлиб, бу лазерда нурланиш тўлқин узунликлари $2,6 - 3,3 \text{ мкм}$ орасида ётган бир неча тебранма - айланма сатҳлар орасидаги ўтишларда амалга оширилади. HF - лазер нурланиши қуввати узлуксиз нурланиш маромида

10 кВт гача, импульс маромида эса энергияси бир неча киложоуль ва кимёвий ф.и.к. 10% ни ташкил этади.

Инверс бандлик мазкур лазерда



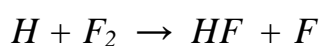
кимёвий реакция жараёнида ҳосил қилинади. Бу реакция экзотермик реакция бўлиб, унинг иссиқлиги $31,6 \text{ ккал/моль}$ ни ташкил қилади ва HF молекуласи 3 - тебранма сатҳгача уйғонган ҳолатда бўлади. Уйғонган ҳолатдан турли тебранма сатҳларга ўтишнинг релаксация тезлиги турли бўлгани учун энг катта бандлик 2 - сатҳга мос келади, натижада бу ўтишда катта инверс бандлик юз беради. Реакция энергиясининг 60% дан кўпроғи тебранма ҳаракат энергиясига айланади. Кимёвий реакция натижасида HF

молекуласининг уйғонган ҳолатига ўтишини кўриб чиқайлик.

Фтор атомида электронга мойиллик мавжуд бўлгани учун $F - H_2$ тизимидаги ўзаро таъсир катта масофаларда кучли тортишув кўринишига эга. Бу тортишувни H_2 молекуласининг зарядлари тақсимотининг кучли қутбланиши ҳосил қилади. Электронининг массаси кичик бўлгани учун протон HF молекуласининг асосий ҳолатига мос келувчи ядролар орасидаги масофани босиб ўтгунча HF боғланиш вужудга келади. Демак, реакция натижасида протон атом ядросидан HF боғланишнинг мувозанат ҳолатига мос келувчи масофадан катта масофада бўлиши эҳтимоли пайдо бўлди. Бу ҳол тебранма ҳаракатни пайдо бўлишига олиб келади.

2.5 - тенгламага кўра реакция рўй бериши учун атомар фтор керак бўлади. Атомар фтор SF_2 ёки F_2 молекулаларини диссоциялаш натижасида ҳосил қилинади. Диссоциялашни, масалан, электр разрядида электронлар билан тўқнашув натижасида амалга оширилади ($SF_6 + e \rightarrow SF_5 + F + e$).

Фтор молекулалари ишлатилганда фтор молекуласининг атомар водород билан ўзаро таъсири натижасида атомар фтор ҳосил бўлади:

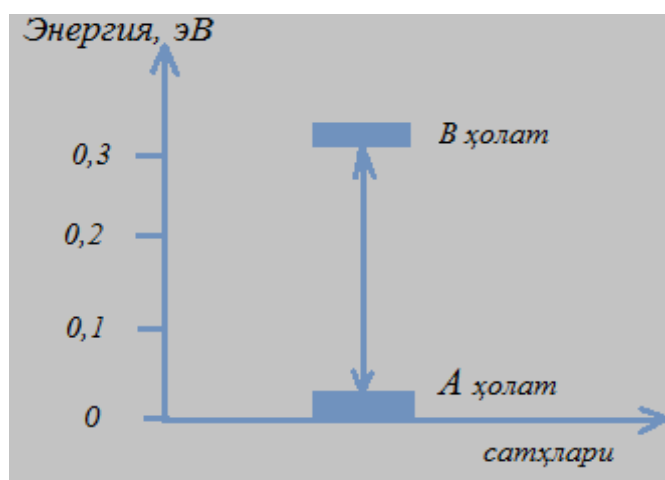


Мазкур реакция натижасида ҳосил бўлган атомар фтор 2.5 - реакцияда иштирок этиши мумкин. Натижада занжирли реакция вужудга келиб, уйғонган ҳолатдаги HF молекулаларнинг сони бошланғич фтор атомлари сонидан ниҳоятда катта бўлиб қолади. 2.6 - реакциянинг натижасида ажралиб чиқувчи кимёвий энергия 2.5- реакциянинг кимёвий энергиясига нисбатан анча катта бўлиб, 98 ккал/ моль ни ташкил қилади. Бу HF молекулаларини жуда юқори сатҳгача уйғонган ҳолатда бўлишига олиб келади. Шунинг учун 2.6 - реакция HF молекуласининг турли тебранма сатҳлари орасида инверс бандликни ҳосил қилади.

HF лазер импульс ва узлуксиз нурланиш маромида ишлайди. Импульс лазерларда атомар фтор молекулаларнинг электр разрядида ҳосил бўлган электронлар ёки четдан критилган электрон дастаси билан тўқнашув

натижасида ҳосил қилинади. Электр разряди қўлланилган HF лазер тузулиши CO_2 -лазер тузулишига ўхшаш бўлиб, унда ҳам бир жинсли разряд ҳосил қилиш учун ультрабинафша нурлар томонидан олдиндан ионлаштириш қўлланилади. Фтор манбаси сифатида молекуляр фтор киритилганда фаол муҳитда занжирли реакция рўй беради ва бундай лазернинг энергияси электр разряд лазерлар энергиясидан ниҳоятда катта бўлади. Узлуксиз нурланувчи лазерларда фтор плазматрон воситасида диссоцияланади ва товушдан юқори тезликда конус найчада кенгаяди. Оқимга алоҳида ва молекуляр водород киритилади ва у реакцияга киришади. HF лазердан ташқари худди шундай тамойилда ишлайдиган F , HCl , HBr лазерлар мавжуд бўлиб, уларнинг нурланиш тўлқин узунлиги 3,5 - 5 мкм га тўғри келади. Бундай тўлқин узунликлардаги нурланиш атмосферадан жуда яхши ўтади.

Азотли лазер. Азотли лазер молекуляр лазерларнинг бири бўлиб, унда нурланиш молекуланинг электрон - тебранма ўтиш чизиқларида амалга оширилади. N_2 лазер тўлқин узунлиги $\lambda = 337 \text{ нм}$ ни ташкил қилади. Азот молекуласининг энергетик сатҳлари (2.14) расмда кўрсатилган.



2.14 – расм. Азот молекуласининг энергетик сатҳлари.

Азот лазерда нурланиш A ҳолатдан B ҳолатга ўтиш натижасида ҳосил қилинади. A ҳолатнинг уйғонган ҳолатга ўтиши асосий ҳолатдаги азот

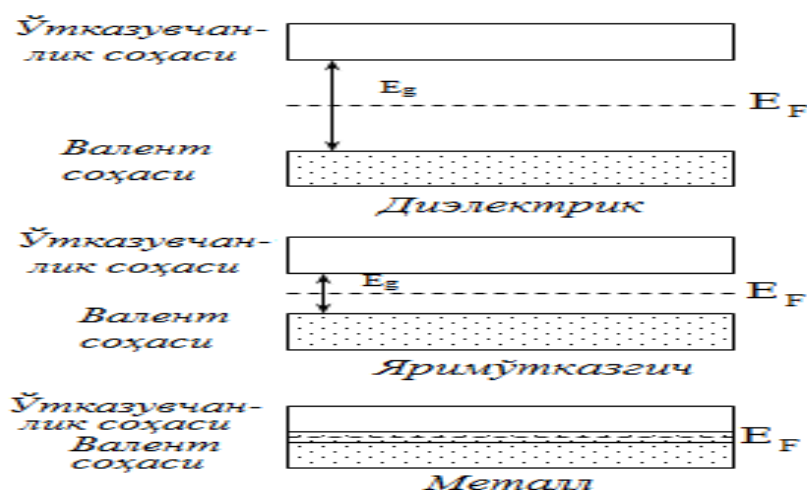
молекулаларининг электронлар билан тўқнашуви натижасида рўй беради. A ва B ҳолатлар триплет ҳолатлар (3 та сатҳдан иборат) бўлиб, уларга асосий ҳолатдан тўғридан - тўғри ўтиш спин сони нуқтаи назаридан рухсат этилмаган.

Лекин, Франц - Кондон тамойилига кўра A ҳолатнинг 0 - сатҳнинг уйғониш кесими B - ҳолатнинг 0 - сатҳнинг уйғониш кесимига нисбатан катта бўлиши мумкин. Франц - Кондон тамойилига кўра молекула бир электрон ҳолатдан иккинчи электрон ҳолатга ўтганда молекуладаги атом ядроларининг ўзаро ҳолати ва тезликлари сезиларли даражада ўзгармаслиги керак. Бошқача сўз билан айтганда, потенциал энергия диаграммасида ўтишлар потенциал чуқурдаги молекуланинг тебранма харакатининг потенциал чуқур деворидан бурилиш нуқталаридан вертикал бўйича рухсат этилган ҳолос. A - ҳолатнинг нурланувчан яшаш вақти 40 нс бўлиб, B - ҳолат учун 10 мкс ни ташкил қилади. Шунинг учун бундай лазер фақат импульс маромида ишлайди. Бунинг учун уйғонган ҳолатни ҳосил қилувчи электр импульси давомийлиги 40 нс дан бир мунча кичик бўлиши керак. Азот лазерда одатда кучланганлиги 10 В/см бўлган электр майдонлари ва газнинг 30 мм.сим.уст. босимда бўлиши керак. Юқори кучланганликка эга электр майдоннинг қўлланилиши кўндаланг разрядли схемани қўллашни тақозо қилади. Бундай лазерлар максимал қуввати 1 МВт, импульси давомийлиги 10 нс, қайтарилиш частотаси 1000 Гц гача бўлган нурланишни ҳосил қилишга имконият беради.

Яримўтказгичли лазер

Яримўтказгичли лазер, қаттиқ жисмли лазерларнинг ўзига хос турига киради. Бу турдаги лазерларда инверс бандлик ҳосил қилишни ва когерент нурланиш олишни энергетик сатҳлар ҳамда энергетик соҳалар асосида тушунтириш мумкин. Қаттиқ жисмларда электронлар энергетик ҳолатлар бўйлаб тақсимланган бўлиб, энергетик соҳаларни ҳосил қилади. Энергетик соҳаларни бир - биридан ажратган оралиқ масофа мавжуд. Электронлар жойлашган соҳалар оралиғида энергетик сатҳлар бўлмайди. Электронларга

тўлган ва энергия тақсимотида кўра энг юқоридаги энергетик ҳолатлар тўпламига валент соҳа дейилади. Электронлар қисман ўрин олган ёки бутунлай



2.15 - расм. Диэлектрик, яримўтказгич ва металлнинг энергетик сатҳлари: E_F - Ферми сатҳи, E_g - валент соҳа билан ўтказувчанлик соҳаси орасидаги энергия

ўрин олмаган ҳолатларга ўтказувчанлик соҳаси дейилади. 2.15-расмда диэлектрикларнинг, металлларнинг ва яримўтказгичларнинг энергетик соҳаларини диаграммаси келтирилган. Валент соҳа билан ўтказувчанлик соҳаси оралиғида тақиқланган, рухсат этилмаган соҳа жойлашган. Ўша рухсат этилмаган соҳанинг кенглигига кўра моддалар изоляторларга, ўтказгичларга ва яримўтказгичларга бўлинади. Изоляторларда рухсат этилмаган соҳа жуда кенг бўлади. Металларда валент соҳа билан ўтказувчанлик соҳа бир - бирига ўтиб, қўшилиб кетган ва қатъий чегарага эга эмас. Рухсат этилмаган соҳанинг ўртасида Ферми сатҳи жойлашган. Агар рухсат этилмаган соҳанинг кенглиги кичик бўлса, электронлар иссиқлик ҳаракати туфайли валент соҳадан ўтказувчанлик соҳасига ($E_g = kT$) ошиб ўтиши мумкин. Бу хил моддалар яримўтказгичлардир. Электронлар валент соҳасидан ўтказувчанлик соҳасига иссиқлик энергияси туфайли ўтса валент соҳасида электрон ўрнига ковак ҳосил бўлади. Ковак ҳам энергетик сатҳга ва зарядга (ишора жиҳатдан заряд мусбат) эгадир. Электрон қандай хусусиятга эга бўлса, ковак ҳам ўшандай хусусиятга эгадир. Улар бир - биридан фақат

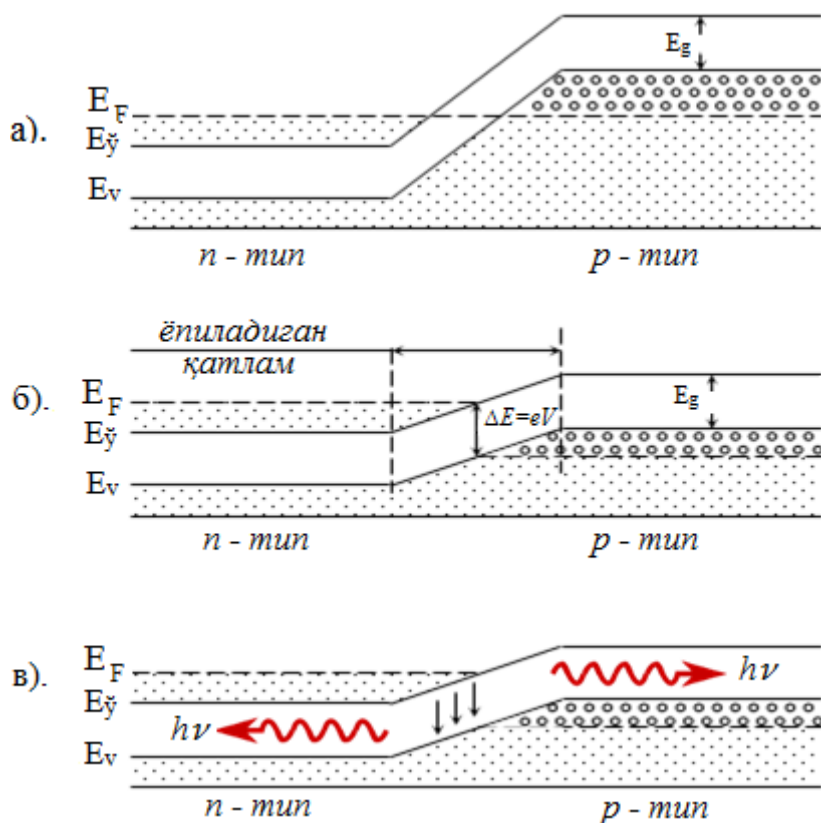
ишораси жиҳатдан фарқ қилади холос. Агар яримўтказгичларнинг таркибига металлларни диффузия йўли билан киритсак, у ҳолда легирланган яримўтказгичлар ҳосил бўлади. Бу хил яримўтказгичларда электроннинг ва ковалентларнинг сони ўзгаради. Агар яримўтказгичнинг таркибига беш атомли металл атомлари киритилса масалан, кремний таркибига фосфор киритилса, бундай легирланган яримўтказгичга *n* - *типи яримўтказгич* деб, яримўтказгич кристалли панжарасига киритилган металл атоми эса *донор* деб аталади. Агар яримўтказгич таркибига диффузия йўли билан уч валентли индий киритилса, моддада *Si* кремнийда ковалент боғланишида учта электрон иштирок этиб, битта электронининг ўрни бўш қолади, ўша бўш қолган жой ковалент ва мусбат зарядли бўлади. Бундай яримўтказгичларга *p*-*типи яримўтказгичлар* дейилади. Диффузия йўли билан яримўтказгичнинг кристалли панжарасига киритилган металл атоми *акцептор* деб аталади.

Яримўтказгичли кристалллардан тайёрланган диодлар, транзисторлар худди шу усулда ясалади. Бу жиҳатдан қараганда энг оддий яримўтказгич лазер *p* ва *n* типли яримўтказгичлардан ясалган диоддир.

Яримўтказгичли лазерлар учун *p-n* ўтиш соҳасида электрон ва тешиқлар бир вақтда иштирок этиши катта аҳамиятга эга. Бу шарт кучли легирланган яримўтказгич донор ва акцепторни ҳосил қиладиган элементларни яримўтказгичнинг кристалли панжарасига киритиб концентрациясини бир сантиметр куб ҳажмда 10^{17} - 10^{18} та атомга етказишда бажарилади. Кучли легирланган яримўтказгичларда Ферми сатҳи E_F ўтказувчанлик зонасининг ичида жойлашади. *n*-типтаги яримўтказгичда донор сатҳи электронга тўлади ва қисман ўтказувчанлик зонасига ҳам ўтади. *p* - типли ярим ўтказгичда эса акцептор сатҳи тўлмайди ва тирқиш валент зонасида пайдо бўлади. Ферми сатҳи эса валент зонасида жойлашади. Шу икки хил кучли легирланган яримўтказгичлар туташтириб қўшилса, энергетик сатҳлар силжийди ва Ферми сатҳи иккала тип учун бир хил қийматга эга бўлади. 2.16 (а) - расмда

кучли легирланган $p-n$ типли яримўтказгичнинг энергетик схемаси келтирилган. Агар электр манбанинг мусбат қутбини p - типига ва манфийсини n - типига уласак, электронлар мусбат электродга, тешиклар эса манфий электродга қараб йўналади. Ана шу икки хил зарядли заррачалар икки типли яримўтказгичнинг қўшилган чегарасида, яъни $p-n$ ўтиш чегарасида учрашади. Электронлар тешиклар билан учрашиб, рекомбинациялашади ва квант нурланишини ҳосил қилади. Квант нурланишининг энергияси hE_g га тенг.

Электр майдони таъсирида энергетик соҳаларнинг силжиши кузатилади. Ўша силжиш 2.16 (б) - расмда схематик келтирилган.



2.16 - расм. Кучли легирланган $p-n$ ўтишли яримўтказгичларнинг энергетик соҳалари ва квант нурланиш схемаси:

а) Электр майдон таъсири бўлмаганда соҳаларнинг силжиши кузатилмайди.

б) Электр майдон таъсирида соҳаларнинг p - тип томонга силжиши.

в) Рекомбинация вақтида ёпиладиган қатламдан квант нурланиши.

Силжиш қиймати электр майдон потенциали билан боғланган $\Delta E = eV$ e - электрон заряди, V - электр майдон потенциали.

Яримўтказгичнинг икки типи томонга бериладиган токнинг электр майдони таъсирида p - n ўтиш чегарасида “ёпиладиган қатлам” ҳосил бўлади. Бу ёпиладиган қатламда инверсион кўчганлик ҳосил бўлади. Яримўтказгичга электр манбаи улаганда ташқи электр майдони таъсирида ёпиладиган қатламда электронларни n - типли яримўтказгичнинг ўтказиш соҳасидан ва тешикларни эса p - типнинг валент соҳасидан тортиб чиқариб тўплайди. Шу пайтда ёпиладиган қатламда электрон билан тешик учрашиб рекомбинациялашиш натижасида ёруғлик нурини чиқаради (2.16 (в) - расмга қаранг). Шунини айтиш лозимки, p - n ўтишли яримўтказгич яхлит монокристаллдан тайёрланади ва p - n ўтиш шу монокристаллнинг ичида ҳосил қилинади. Электр майдон таъсирида ёпиладиган қатламда p - n ўтиш чегарасида заряд ташувчилар электрон ва тешикларнинг одатдагидан ортиқча концентрациясини ҳосил қилиш шу яримўтказгич чегарасида инверсион кучганлик ҳосил қилишнинг айнан ўзидир. Ёпиладиган қатламни фаол қатлам дейилади. Электр зарядини ташувчи электрон ва тешиклар биргаликда фаол марказларни ҳосил қилади. Яримўтказгич лазерларнинг фаол моддалари - $GaAs$, $InAs$, $InSb$, $PbSe$. Бу фаол моддалар резонаторга жойланса, лазер нурларини чиқаради. Яримўтказгич лазерда оптик резонатор вазифасини яримўтказгичли кристаллнинг ён томонлари бажаради. Кристаллнинг қарама-қарши силлиқланган томони кўзгу вазифасини бажаради, чунки яримўтказгичли кристаллларнинг синдириш кўрсаткичи ($n = 3,5$) жуда катта қийматга эга, яримўтказгич ва ҳаво чегарасидан $30 \div 35$ % ёруғлик қайтади. Арсенид-галлий лазерининг тўлқин узунлиги $0,84 \mu\text{м}$. 77К

температурада фойдали иш коэффициенти 70 - 80 % ни ташкил қилади. 2.17-расмда яримўтказгич лазерини дамлаш, нурланиш энергетик сатҳлари ва лазернинг тузилиши схематик равишда келтирилган. GaAs лазери генерациясининг қуйи чегараси, 77K температурада $(2.3) \times 10^2 \text{ A cm}^2$ ни ташкил этади. Импульсли режимда электр токи 0,5-микросекунд давомида инверс бандлик ҳосил қилади, унинг қуввати 100 Вт га яқин. Узлуксиз режимда эса қуввати бир неча Ваттни ташкил этади. Аслида яримўтказгич лазерлари энг самарали лазер бўлиши билан бирга генерацияси кенг спектрал оралиқни (0,3 мкм дан то 30 мкм) эгаллайди.

Дамлаш токининг GaAs лазери генерациясининг қуйи чегарасидан



2.17- расм. а) Яримўтказгичли лазернинг тузилиши: 1-электр токи бериладиган симнинг контакти, 2-яримўтказгич кристали; б)

Дамлаш.

анча юқори қийматида нурланиш спектри $3,5 \text{ см}^{-1}$ кенгликка эга. Иккита бўйлама модаларнинг спектрал оралиғи қуйидаги формула ёрдамида аниқланади.

$$\Delta \nu = \frac{1}{2\pi} \left[n - \left(\frac{dn}{d\lambda} \right) \right]$$

n - синдириш кўрсаткичи, λ - тўлқин узунлиги, $\left(\frac{dn}{d\lambda} \right)$ синдириш

кўрсаткичининг дисперцияси, L - резонатор кўзгулари орасидаги масофа (яримўтказгич кристаллининг қалинлиги). $Ga(As_{1-x}P_x)$ лазери - бошқа

яримўтказгич лазерларига нисбатан анча кенг спектрал ораликда генерация ($0,84 \text{ мкм}$ дан то $0,64 \text{ мкм}$ гача) ҳосил қилади. Тоза $GaAs$ ($x=0$) да генерация $\lambda = 0,84 \text{ мкм}$, агар модданинг таркиби ўзгартирилса ($x = 0,4$), генерация частотаси ҳам ўзгаради ва нурланиш спектрининг тўлқин узунлиги $0,64 \text{ мкм}$ ни ташкил этади. Яримўтказгичнинг температурасини ўзгартириш йўли билан ҳам ташқи босим (остида механик куч таъсирида), ҳам генерация частотасини ўзгартириш имконияти мавжуддир. Шундай қилиб, яримўтказгичларнинг таркибини, температурасини ўзгартириб ва босим таъсирида генерация частотасини (тўлқин узунлигини) узлуксиз ўзгартириш мумкин. Шу сабабли яримўтказгич лазерлари оптоэлектроникада, лазер принтерида ва спектроскопияда кенг қўламда қўлланилмоқда. Қуйида турли лазерларнинг қўлланилиш соҳалари слайдлари келтирилган.



Ўқув жараёнида қўлланиладиган лазер



Узлуксиз маромда ишлайдиган CO₂ лазер



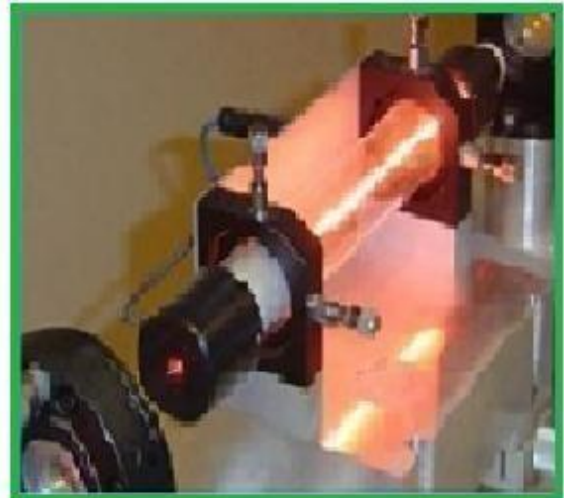
Металларда кичик ўлчамли тешикларни ҳосил қилишда қўлланиладиган лазер



Ўта қувватли технологик лазер



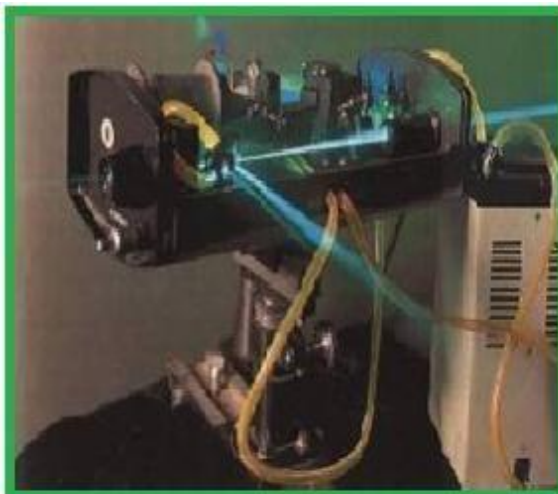
Аргонли ион лазери



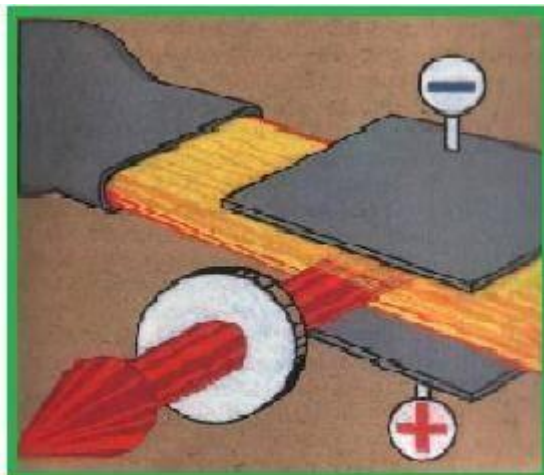
Гелий - неон лазери



Яримўтказгичли лазер



Суюқ бۆёқлардаги лазер



Газодинамик лазер



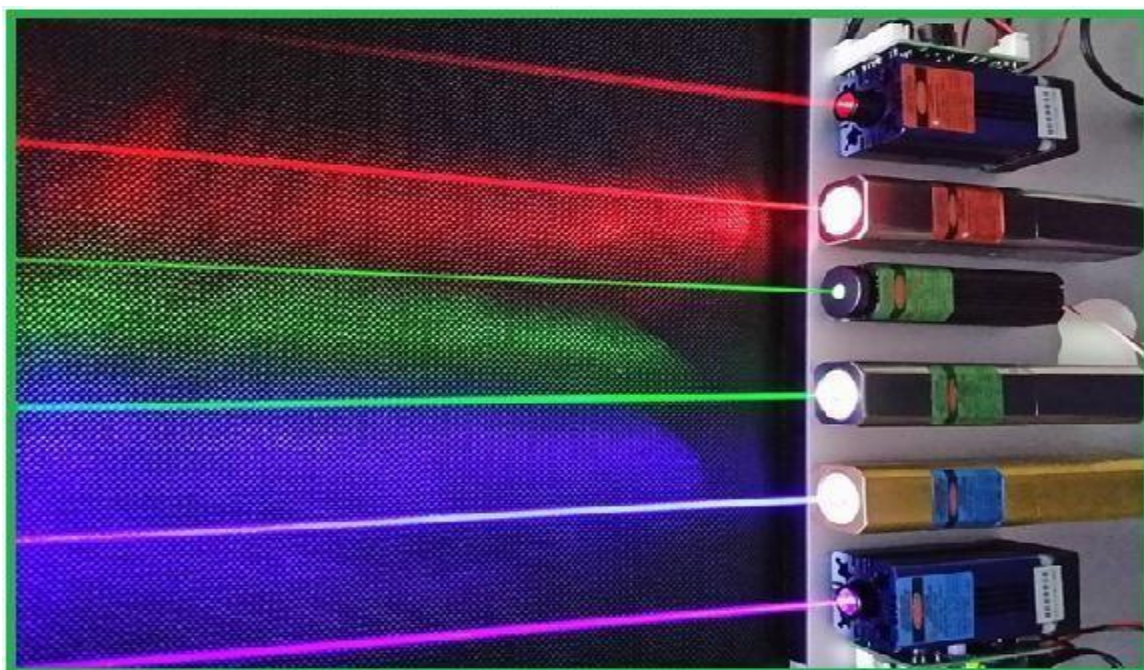
Неодим лазери Nd: YAG (Тўлқин узунлиги 1064 нм)



Газли лазер



Импульсли лазер



*Турли тўлқин узунликдаги лазер нурлари (пастдан юқорига):
405, 445, 520, 532, 635 ва 660 нм.*

*Турли хил тўлқин узунликдаги лазерлар ёрдамида голограмма
олиши.*

2.2. ЛАЗЕРЛАРНИНГ ҚЎЛЛАНИШ СОҲАЛАРИ

Оптик алоқа

Радиоалоқа ривожланган сари унда юқори частоталар кенг қўлланила бошланди. Когерент тўлқинлар манбаи - лазерларнинг кашф қилиниши уларнинг алоқа воситасида қўлланишига кенг имкониятларни яратди. Бунинг натижасида узатувчи частотаси 10^{15} Гц бўлган бир ёруғлик дастаси ёрдамида 10^8 та телевизион дастур ёки 10^{11} радиостанциянинг бир вақтда ишлаш имкониятини амалга ошириш мумкин. Ёруғликнинг тўлқин узунлиги радиотўлқинларникига нисбатан жуда кичик бўлгани учун ёруғлик тўлқинларини йўналтирувчи қурилмалар масалан, антенналар ҳам нисбатан кичик ўлчамларга эга бўлади. Диаметри $10 \div 100$ см бўлган линза ёки кўзгулар воситасида тарқалиш бурчаги $\varphi = 0,5 \cdot 10^{-6}$ рад бўлган ёруғлик дастаси ҳосил қилинади.

Оптик алоқа тизимининг асосий элементлари модулятор ва демодулятордир. *Модулятор* - қандайдир мунтазам физикавий жараёни тавсифловчи параметрларни вақт давомида мажбурлаб ўзгартириш қурилмаси бўлиб, амплитудавий ёки частотавий модуляцияни амалга оширади. *Демодулятор* - ёрдамида ёруғлик тўлқинига киритилган маълумот ажратиб олинади.

Оптик алоқа тизимининг блок схемаси

3.1- расмда келтирилган.



3.1- расм. Оптик алоқа тизими схемаси.

Лазер нурланишининг модулятор орқали ўтиши жараёнида унинг параметрлари модуляторга берилаётган сигнал товуши, тасвир, ёзув сигнали таъсирида ўзгартирилади ва оптик узатувчи қурилма – антеннага тушади.

Мазкур ёруғлик тўлқини қабул қилувчи қурилмага тушиб кучайтирилади ва демодуляторга информация сигнали элтувчи тўлқиндан ажратиб олинади. Информацион сигнал қайд қилувчи қурилма микрофон, телевизор трубка, телефаксларда қайд қилинади. Ёруғлик тўлқинини икки хил усулда: ички ва ташқи модуляциялаш мумкин. *Модуляция* - қандайдир мунтазам физикавий жараёни тавсифловчи катталикларни вақт давомида берилган қонун бўйича ўзгартиришдир.

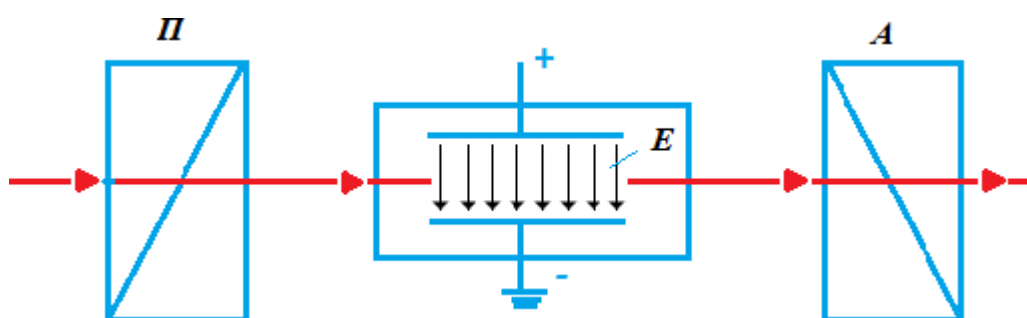
Ички модуляциялашда лазер нурланиши жараёнида унинг параметрларини керакли ўзгартиришга эришилади. Ички модуляция лазер резонаторига берилган энергия миқдорини ёки резонаторнинг асслигини ўзгартириш йўли билан амалга оширилади. Яримўтказгичли лазерларда ички модуляция когерент нурланишни ҳосил қилувчи ток кучини ўзгартириш натижасида амалга оширилади.

Ёруғликнинг бирор муҳит билан ўзаро таъсирига асосланган ташқи модуляция усуллари ҳам кенг тарқалган. Ташқи модуляцияда нурланиш параметрлари лазер генераторидан кейин ўзгартирилади. Ҳозирги вақтда механик, магнитооптик, электрооптик, акустооптик модуляторлар кенг қўлланилмоқда.

Ёруғлик йўлига киритилган айланувчи, тез бурилувчи, ёруғлик йўлини тез - тез тўсиб - очиб турувчи қурилмалар механик модуляторлар номини олган бўлиб, улар ёрдамида 10 кГц частотагача модуляция ҳосил қилиш мумкин. Бундай модуляция частотаси етарли бўлмагани учун бошқа турдаги модуляторлар кўпроқ аҳамиятга эга. Электрооптик модуляторнинг ишлаши кутбланган ёруғликнинг муҳит билан ўзаро таъсирига (Керр ва Пококельс эффектига) асосланган.

Баъзи бир суяқ диэлектриклар электр майдонига киритилганда сунъий анизотропия ҳосил бўлиб, уларда бир ўқли жуфтлаб синдирувчи кристалл хусусиятлари ҳосил бўлади (Керр эффекти). Бундай сунъий кристалл муҳитнинг ўқи электр майдони кучланганлиги бўйлаб йўналади.

Бу ўққа перпендикуляр равишда йўналган ёруғлик тўлқини бир йўналиш бўйича тарқалувчи оддий ва одатдаги бўлмаган нурга ажралади. Диэлектрикда L масофани босиб ўтган оддий ва одатдаги бўлмаган нурларнинг фазалар фарқи $\Delta\varphi = 2\pi V_k L E^2$ ифода билан аниқланади. Бу ерда V_k - Керр доимийси бўлиб, жисмнинг табиатига, унинг қиймати тўлқин узунлигига ва температурасига боғлиқ, L - босиб ўтилган йўл, E - электр майдон кучланганлиги. Керр ячейкаси деб аталувчи қурилмани ўзаро перпендикуляр қутблагич ва анализатор орасига жойлаштирилганда (3.2-расм), бундай қурилма орқали ўтаётган ёруғлик интенсивлиги Керр ячейкасига берилган кучланганликнинг квадратига мос равишда ўзгаради.



3.2– расм. Керр модулятори.

Керр модуляторида бир қатор изотроп хусусиятга эга бўлган моддалардан фойдаланиш мумкин. Унинг ёрдамида ёруғликни

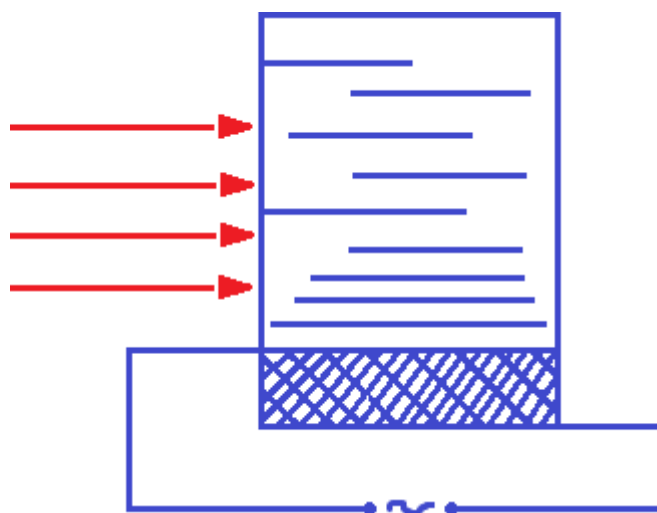
$10^9 \div 10^{10}$ Гц частота билан модуляциялаш мумкин. Керр модулятори

$10 \div 50$ кВ юқори кучланишда ишлайди.

Поккельс эффектига асосланган модуляторларда бир ўқли кристаллнинг ўқи бўйлаб электр майдони қўйилганда кристаллнинг симметрияси бузилиб, у икки ўқли бўлиб қолади. Поккельс эффектисида оддий ва одатдаги бўлмаган нурларнинг фазалари фарқи электр майдони кучланганлиги E га мос равишда ўзгаради. Керр эффектисида E^2 га мос равишда Поккельс модуляторининг кўриниши худди Керр - модуляторига ўхшаш бўлиб, фақат унда

кристаллар аммоний дигидрофосфат ($H_4NH_2PO_4$), калий дигидрофосфат (KH_2PO_4), литий ниобат ($LiNbO_3$), калий титанил фосфат ($KTiPO_4$) қўлланилиши билан фарқ қилади. Поккельс модуляторларининг модуляция частотаси қўлланилаётган кристалл молекулаларининг хусусиятларига боғлиқ бўлиб, бир неча Гигагерцни ташкил қилади.

Электрооптик модуляторда 100 % ли модуляцияни ҳосил қилишда 1 мГц модуляция частота кенглиги 1 ÷ 10 мВт бошқарувчи қувват мос келади. Акустооптика модуляторларининг ишлаши муҳитда ҳосил қилинган акустик панжарада ёруғлик тўлқинларининг дифракциясига асосланган. Суюқ ёки қаттиқ ҳолатдаги муҳитда акустик турғун тўлқин ҳосил қилинганда, босим ўзгариши натижасида муҳитнинг синдириш кўрсаткичи ҳам ўзгаради. Синдириш кўрсаткичининг вақт бўйича даврий равишда ўзгариши бундай муҳит орқали ўтаётган ёруғликнинг фазовий ва вақтий модуляциясини ҳосил қилади. Акустооптик модуляторнинг тузилиши 3.3 - расмда кўрсатилган. Акустооптик модуляторлар ёрдамида 10 мГц частотагача модуляция қилиш мумкин.



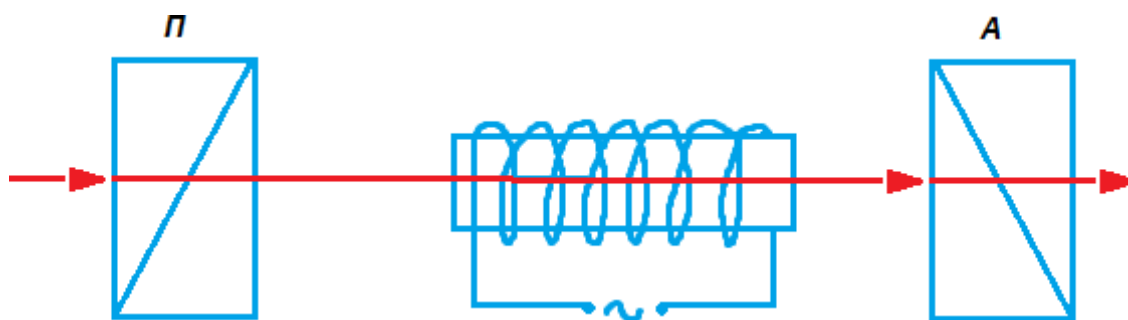
3.2- расм. Акустооптик модулятор

Магнитооптик модуляторлар Фарадей эффектига асосланган. Табиий ёруғликдан қутбланган ёруғлик олиш учун ёруғлик тўлкинининг йўналишига P – поляризатор (қутблагич) қўйилади. *Поляризатор* - табиий

ёруғликни қутбланган ёруғликка айлантирувчи қурилма. Поляризатордан чиққан нур A - анализаторга келиб тушади. Бу ерда A поляризатор хусусиятига эга бўлган қурилма бўлиб, уни қутбланган ёки қутбланмаганлигини таҳлил қилишда қўлланиладиган қурилма (3.4 - расм). Баъзи бир моддаларнинг кучли магнит майдонда магнит куч чизиқлари бўйича тарқалаётган ёруғлик қутбланиш текислигини буриш хусусияти *Фарадей эффекти* дейилади. Бурилиш бурчаги:

$$\theta = V_B L B$$

ифода билан аниқланади. Бу ерда V_B - Верде доимийси бўлиб, бу коэффициент модданинг физик хоссаларига, унинг температурасига ва моддага тушаётган ёруғликнинг тўлқин узунлигига боғлиқ, L - ёруғликнинг муҳитда тарқалиш узунлиги, B - магнит майдон индукцияси. Магнит майдонида чизиқли қутбланган ёруғликнинг қутбланиш текислигини буришни қуйидагича тушунтирилади. Чизиқли қутбланишни чап ва ўнг доира бўйлаб қутбланган ёруғликнинг йиғиндиси сифатида кўриш мумкин. Магнит майдони таъсирида муҳитда қарама - қарши доира бўйлаб қутбланган ёруғликнинг тарқалиш тезлиги ҳар хил бўлиб қолиши натижасида қутбланиш текислигининг бурилиши юз беради. Модулятор сифатида Верде доимийси катта бўлган моддалардан темир итрий гранат ($Y_3 Fe_3 O_{13}$) кенг қўлланилмоқда.

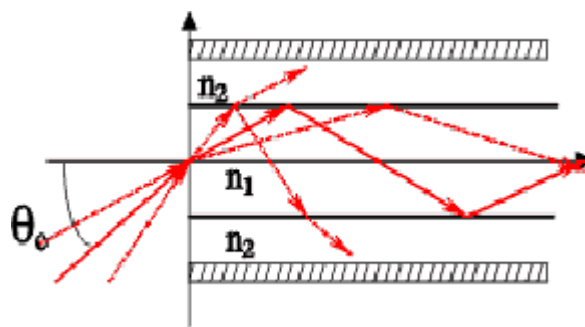


3.2- расм. Магнитооптик модулятор.

Бундай модуляторларда 200 мГц модуляция частотасига эришилган. Модуляцияланган ёруғлик модулятордан ёруғликни қабул қилувчи қурилмага оптик алоқа тизими орқали узатилади. Оптик алоқа тизими сифатида атмосфера ёки йўналган ёруғликни узатувчи қурилмалар хизмат қилиши мумкин.

Алоқа тизими сифатида атмосфера қўлланилган тизимлар очик оптик алоқа тизими номини олган. Очик алоқа тизими информацияни фақат бир неча км масофагагина ишончли равишда узатиш имконини беради. Лекин очик алоқа тизимлари Ер ва космос орасида алоқа ўрнатишда аҳамиятлидир. Масалан, лазер нурланиши ёрдамида информацияни 10^8 км масофага 10^5 бит/с информация узатиш тезлиги билан узатиш мумкин.

Фазода оптик алоқа ўрнатиш учун диаметри $20 \div 40 \text{ мкм}$ бўлган шишатолалар - оптик тўлқин узатгичлар кенг қўлланилмоқда. Оптик толанинг кесими 3.5 - расмда кўрсатилган. Тола икки қават шишадан ташкил топган бўлиб, унинг ички қавати синдириш кўрсаткичи ташқисиникидан каттадир $n_1 > n_2$. Толага θ бурчак остида тушаётган ёруғлик икки шиша муҳит чегарасида тўла ички қайтиш натижасида қўп



3.5- расм. Оптик толанинг кесими.

марта қайтиб толанинг иккинчи учидан ўз энергиясини деярли йўқотмаган ҳолда чиқади. *Тўла ички қайтиши* - бу икки шаффоф муҳитнинг бўлиниш чегарасидан тўлқинлар қайтганда синган тўлқиннинг тўлиқ мавжуд бўлмаслигидир. Энергия йўқотишлари бунда фақат толанинг моддасида

ёруғликнинг ютилиши натижасида юз беради. Германий, фосфор ва бор (*Ge, P, B*) элементлари қўшилган кварц шиша толаларда йўқотишлар 1 dB/км бўлишига эришилган. Бундай оптик тўлқин узатгичлар информацияни 10^7 - 10^8 бит/с тезлик билан 100 км масофагача узатишга имкон беради.

Узоқроқ масофага бундай толалар ёрдамида информацияни узатиш учун ҳар 100 км га оптик сигнални кучайтирувчи ретрансляторлар (кучсиз сигналларни кучайтириб узатувчи қурилма) қўйилади. Оптик толаларнинг алоқа тизимларида қўлланилиши узатиш симлари учун ишлатиладиган рангли металлларни тежайди. Оптик тола енгил, ихчам бўлиб, ташқи электромагнит майдоннинг таъсирига учрамайди. Ҳозирги кунда интернет тизимида, мобил телефонларда алоқа оптик толалар ёрдамида амалга оширилади.

Ёруғлик сигнални қайд қилиш учун ички ва ташқи фотоэффект асосида ишловчи фотоқабулқилгичлар қўлланилади. Мазкур қурилмалар ёруғликнинг элтувчи частотасида юқори сезгирликка, модуляция частотасидан юқори бўлган частотавий характеристикага эга бўлиши керак.

Ташқи фотоэффектга асосланган қурилмалардан кенг тарқалган

фотоэлектрон кўпайтиргичлар (*ФЭК*) бўлиб, улар фототокни $10^5 \div 10^7$ марта кучайтириш коэффициентига эга. *ФЭК* ларнинг қабул қилиш частоталари кенглиги 100 МГц га етади. Ички фотоэффект асосида ишловчи оптик детекторлар сифатида ҳозирги вақтда фотоқаршиликлар, фотодиод, фототранзисторлар ва кўчки фотодиодлар кенг қўлланилмоқда. Уларнинг ҳаммасида ёруғликнинг ютилиши натижасида электрон - ковак жуфти ҳосил бўлади. Натижада ёруғлик сигнали мос равишда ўзгарувчи электр сигнаliga айлантирилади.

Ҳозирги вақтда оптик канал бўйлаб телевизион тасвирни узатувчи бир неча қурилмалар ясалган. Энг биринчи лазер телевизион қурилма саноатда чиқарилувчи тайёр ускуналардан йиғилган. Унинг тузилиш блок схемаси 3.6 - расмда кўрсатилган.



3.6 - расм. Лазер телевизион қурилма тузилиши.

Лазер телевизион қурилма - лазер, телевизор, кучайтиргич, оптик фильтр модулятордан ташкил топган. Телевизорнинг тасвирни кучайтирувчи қурилмадан олинган сигнал кучайтирилиб, модуляторга берилади. Модулятор берилган сигналга мос равишда лазер нурланишини амплитудавий модуляциялайди. Лазер нурланиши узатгич қурилма ёрдамида кам тарқалувчи ёруғлик дастасига айлантирилиб узатилади ва параболик кўзгу сифатидаги оптик қабул қилгич орқали қабул қилиниб, фотоэлектрон кучайтиргичга тушади. *ФЭК* да электр сигнаliga айлантирилган ёруғлик сигнали кучайтиргич орқали телевизорнинг кириш қисмига берилади. Мазкур қурилмада узатилган тасвирнинг тиниқлиги оддий телевизордаги тиниқликдан устундир. Қурилмада Поккельс эффекти асосида ишловчи кристалли электрооптик модулятор қўлланилди. Модуляторга кирувчи лазер нурланиши дастаси диаметри 1 мм бўлганда, модуляциялаш учун 18 В кучланиш етарли бўлади.

Кейинги тадқиқотларда лазер нурланиши орқали бир вақтда бешта телевизион тасвир узатилди. Бунда оптик қабулқилгич сифатида кремний фотодиоди қўлланилди. Тасвирни узатиш 66-75, 76-82, 182-186, 198-204, 210-216 МГц каналларда амалга оширилди.

Лазер нурланиши ёрдамида тасвирни узатувчи телевизион камеранинг блок схемаси 3.7- расмда кўрсатилган.



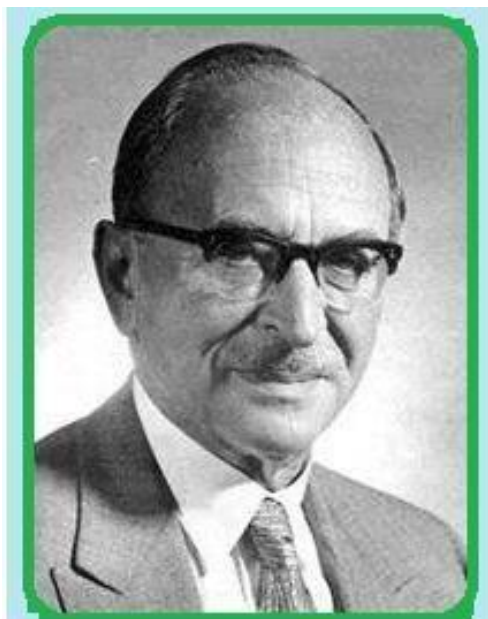
3.7- расм. Лазер телевизион камерани блок схемаси.

Мазкур қурилма лазер нурланиши орқали бир вақтда телевизион тасвир, муסיқа ва рақамли информацияни узатиш имконини берди. Қурилма аргон лазер, фото қабулқилгич, оптик фильтр, нурланиши фазовий ҳолатини ўзгартирувчи блокдан тузилган. Телевизион тасвирни ҳосил қилиш тасвири ҳосил қилинаётган жисмлар фазовий ҳолатини айланаётган призмалар ёрдамида икки ўзаро перпендикуляр ўқлар бўйича ўзгартираётган лазер нурланиши томонидан амалга оширилади. Горизонтал ўқ бўйича лазер нурланишни ёйиш учун 60000 мин^{-1} тезлик билан айланувчи 16 қиррали призма қўлланилди. Нурланишнинг вертикал ўқ бўйича ҳаракатида эса 1500 мин^{-1} тезлик билан айланувчи 26 қиррали призмадан фойдаланилди. Бу иккала ҳаракат натижасида бир секундда 60 та тасвирни алмаштириш имкониятига эга бўлинди. Тасвири ҳосил қилинаётган жисмлардан қайтган лазер нурланиши оптик қабулқилгич орқали телевизорга берилиб, тасвирни ҳосил қилади.

Голография

Голография - ёруғлик интерференция воситасида жисмларнинг уч ўлчамли - ҳажмий тасвирини ҳосил қилиш усулидир. Голография сўзи -

грекча *holos* тўла, *grapho* - ёзаман сўзлардан тузилган. Голография асослари 1948 йилда Габор Денис (Англиялик олим) томонидан таклиф қилинган (Бу иши учун 1971- йилда Нобель мукофотига сазовор бўлган). Габор электрон микроскопларнинг ажратиш қобилиятини ошириш учун электрон тўлқинларнинг фақатгина амплитудасинигина эмас, фазасини ҳам қайд қилишни таклиф қилган.



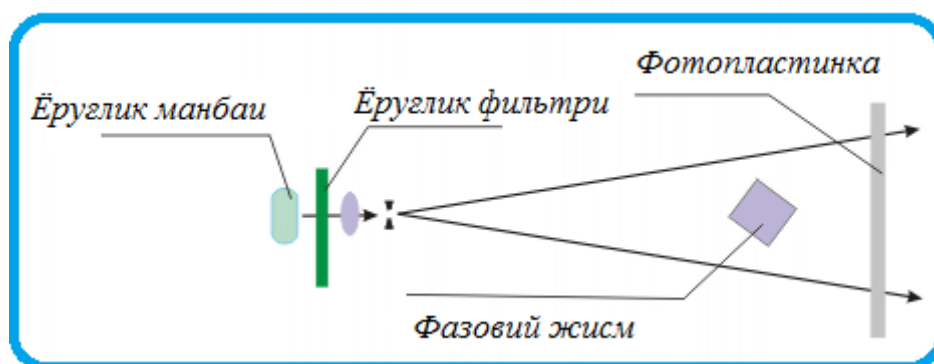
Габор Денис (1900-1979 йй)



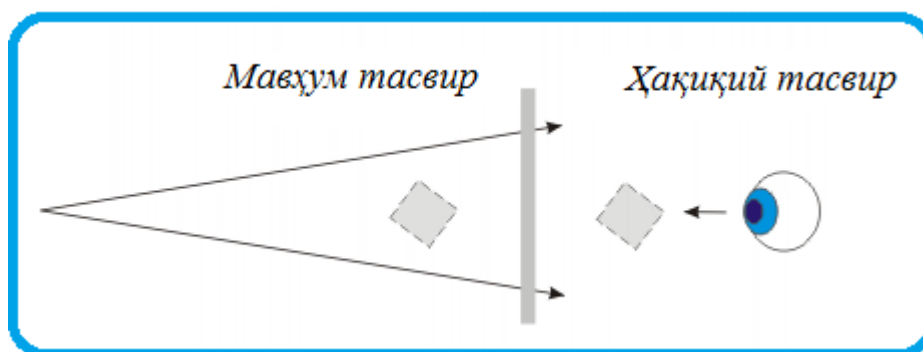
Ю. Упатниекс



Э. Лейт



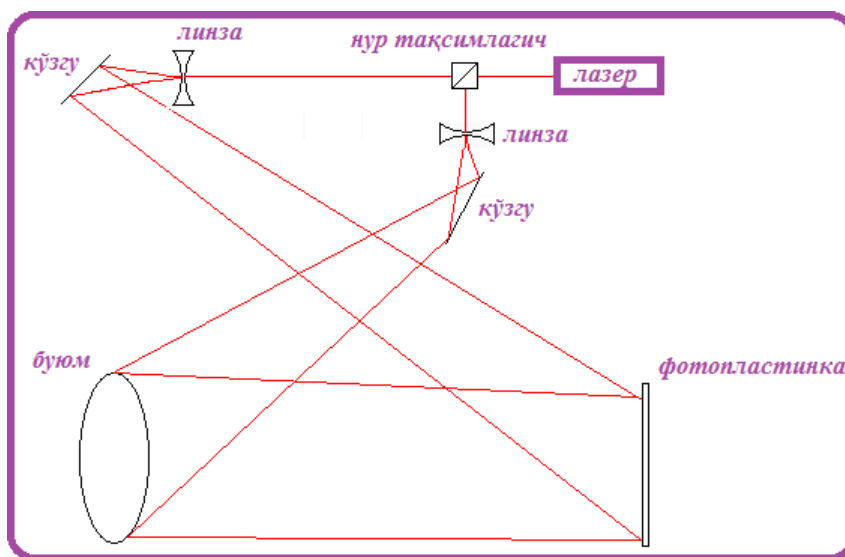
3.8- расм.Д.Габорнинг голограмма ёзиш схемаси.



3.9- расм.Д.Габор голограммасини қайта тиклаш схемаси.

Бунинг учун жисмдан қайтган нурни таянч когерент тўлқин билан устма - уст туширилди. Габорнинг тажрибалари голографияга асос солди. Лекин юқори интенсивликка эга бўлган когерент манбаларнинг мавжуд эмаслиги сифатли голографик тасвирларни ҳосил қилишга имконият бермади. Юқори интенсивликка эга когерент манба - лазернинг кашф этилиши голографиянинг ривожланиши ва кенг қўлланилишига олиб келди. 3.8 ва - расмларда голограммани ёзиш ва қайта тиклаш схемаси берилган. Голограммаларни ҳосил қилишда лазер нурланишдан фойдаланишни 1962 - 1963 йилларда Америкалик олимлар Э. Лейт ва Ю.Упатниекс таклиф этдилар (3.10 - расм). *Голограмма* - буюм ва таянч тўлқинларнинг қўшилишидан

вужудга келувчи ва фотометрияда қайд қилувчи интерференция манзарасидир.



3.9- расм. Э. Лейт ва Ю.Упатниекс таклиф қилган усул асосида голограмма ёзиш схемаси.

Ю.Н.Денисюк (1968 й.) биринчи бўлиб уч ўлчамли муҳит голограммасини ёзиб олиш имкониятини кўрсатди. Голографияни тушуниш учун аввал жисмларнинг фотографик тасвирини ҳосил қилишни кўриб чиқайлик. Бирор жисмнинг фотографик тасвирини ҳосил қилишда унинг аниқ тасвирини фотоэмульсия текислигига туширилади. Бунинг учун йиғувчи линза - объектив қўлланилади. Фотоэмульсияга жисмнинг ёруғроқ қисмидан кўпроқ ёруғлик, қоронғулик (қорароқ) қисмидан камроқ ёруғлик тушиши натижасида ёруғлик хоссаларига асосан жисмнинг тескари тасвири - негатив ҳосил бўлади (жисмнинг қора қисми негативда оқ, оқ қисми қора кўринишга эга бўлади). Бошқача сўз билан айтганда жисмнинг тасвирини ҳосил қилишда (худди кўз билан кўришдагидек) қайтган ёруғликнинг амплитудавий қиймати қайд қилинади. Жисм 25м дан узоқда жойлашганда фотоэмульсия текислигида тасвирни ҳосил қилиш учун объектив (линза) билан фотоэмульсия орасидаги масофа ўзгартирилади. Агар жисм

ясси бўлмаса, унинг турли нуқталари объективдан турли масофада жойлашган бўлади ва эмульсияда жисмнинг объективдан тенг масофаларда ётган нуқталаригина аниқ тасвирга эга бўлади. Бошқа нуқталарнинг тасвири хира, ёйилган бўлади.

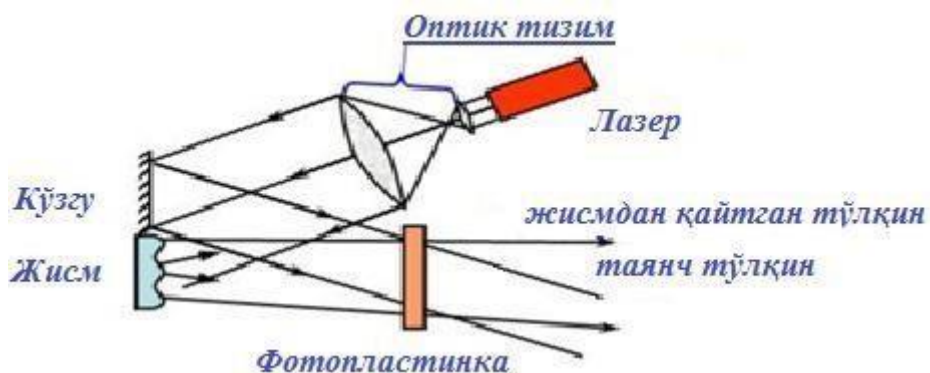
Уч ўлчамли - ҳажмий жисмларнинг тасвирини ҳосил қилиш учун объективнинг ёруғлик ўтказувчи қисми диафрагма ёрдамида кичрайтирилади. Бунда объектив фокуси чуқурлиги ортади ва ҳажмий жисмнинг етарлича аниқ тасвири ҳосил бўлади, лекин тасвир ясси кўринишда бўлади. Ҳажмий тасвирни жисмнинг табиий кўринишига яқинлаштириш учун стереофотографиядан фойдаланилади. Бунда жисмнинг сурати орасидаги масофа инсоннинг икки кўзи орасидаги масофага тенг масофада жойлаштирилган икки камера ёрдамида олинади. Ҳар бир камера жисмнинг ўзи турган нуқтадан кўринишини суратга олади. Олинган суратлар стереоскопга жойлаштирилганда чап кўзимиз чап камера олган суратни, ўнг кўзимиз ўнг камера олган суратни кўриши ва бу суратлар тасвири миямизда устма - уст тушиши натижасида жисмнинг тасвири деярли табиий кўринишга яқин бўлади.

Голографияда фотография ёки стереофотографиядагидек жисмнинг тасвири эмас, жисмдан қайтган ёруғлик тўлқинининг тузилиши қайд қилинади. Шунинг учун голограммани олишда ҳеч қандай объектив, фокусловчи кўзгулар қўлланилмайди.

Голограммани ҳосил қилишнинг энг оддий схемасини кўриб чиқайлик (3.11- расм).

Ясси когерент нурланишнинг бир қисми ясси кўзгудан қайтиб таянч нурни ҳосил қилади. Жисмдан қайтган нур эса жисм нурини ҳосил қилади. Жисм нури ва таянч нур кесишган жойга фотопластинка жойлаштирилади ва фотоэмульсияда таянч ва жисм нурлари устма - уст тушиши натижасида ҳосил бўлган интерференцион манзара қайд қилинади. Фотопластинка кимёвий эритмаларда қайта ишлангандан кейин унда қоронғу ва ёруғ

йўлчалар, чизиклар ҳосил бўлганини кўрамиз.



3.11- расм. Голограммани ҳосил қилиш схемаси.

Мазкур ҳосил бўлган тасвир *голограмма* дейилади. Голограмма жисмдан қайтган ёруғликнинг амплитудаси ва фазасини ўзида мужассамлантирган бўлади. Қайта ишланган голограммани оддий ёруғлик манбаларида кузатганимизда жисмни эслатадиган ҳеч қандай тасвирни кўрмаймиз.

Голограммадан тасвирни ҳосил қилиш *тасвирни қайта тиклаш* дейилади. Тасвирни қайта тиклаш схемаси 3.12 - расмда келтирилган.



3.12- расм. Тасвирни қайта тиклаш схемаси.

Тасвирни қайта тиклаш учун голограмма таянч нур билан ёритилади. Бунда таянч нурга нисбатан маълум бурчак остида жисмнинг тасвири ҳосил бўлади. Кузатувчи жисмни фазода муаллақ турган ҳолда кўради. Тасвирни голограмма ўлчамлари билан чегараланган ҳолда турли ҳолатларни кузатиш мумкин. Бунда биз жисмнинг ўзини айланиб кўрганда қандай тасвир

Ўзгаришини кўрсак, голограммани кузатганда ҳам шуни кўрамиз. Мисол учун бирор жисм бошқа жисмлар томонидан берк бўлса, бошқа ҳолатда жисмнинг ўша қисми очик эканлигини кўриш мумкин. Таянч ва жисм тўлқинлари учрашган фазода турғун тўлқинлар ҳосил бўлади. Учрашаётган тўлқинларнинг фазалари бир хил бўлган нуқталарда максимум, қарама - қарши фазада бўлган нуқталарда минимумлар юз беради.

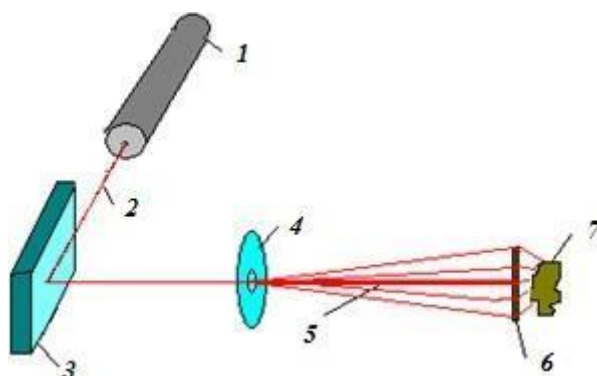
Интерференцион манзаранинг фазовий частотаси (бирлик узунликда неча максимум ва минимумлар жойлашишини ифодаловчи қиймат) таянч ва жисм тўлқинларининг учрашиш бурчаги α ва тўлқин узунлиги λ га боғлиқ бўлади:

$$v = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{\lambda}$$

Д. Габор таклиф этган схемада таянч нури ва жисм голограмма ўқида жойлашган. Бундай схема учун α нинг қиймати нолга яқин ва жуда кичик қийматга эгадир. Бундай голограммалар бир нурли голограмма номини олган, чунки бунда нурнинг бир қисми таянч нур бошқа жисм нурини ҳосил қилади.

Лейт ва Упатниекс оғма таянч нури алоҳида шаклланади (шунинг учун бу метод икки нурли голограмма номини олган). Икки нурли голограмма учун нинг қиймати анча катта ва бу усулда юқори ажрата олиш қобилиятига эга фотопластинкалардан фойдаланилади.

Таянч ва жисм нурлари фотопластинкага икки томондан тушадиган усул қарама - қарши нурлар усулини олган. Мазкур усул $\alpha = 1800$ қийматга, яъни энг катта қийматга эгадир. Қарама - қарши нурлар усулида интерференцион максимумлар фотопластинка сиртига параллел текисликларда фотоэмульсия қатламида жойлашган бўлади. Денисюк таклиф қилган схема асосида голограммани ёзиб олиш 3.13-рамда кўрсатилган.



3.13– расм. 1- Лазер, 2- лазер нури, 3- кўзгу, 4- линза, 5- кенгайтирилган нур, 6- фотопластинка, 7- жисм.

Фотоэмульсия қатлами қалинлиги δ ҳосил бўлган интерференцион максимумлар орасидаги масофа d дан жуда катта бўлганда бундай голограммалар ҳажмий голограмма дейилади. Агар $\delta \approx d$ бўлса, бундай голограмма ясси голограмма дейилади. Ҳажмий голограмма учун $\delta \geq 1,6 \cdot d^2/\lambda$ шарт бажарилиши керак.

Фотопластинкага ёзиб олинган голограмма узоқ вақт давомида ўз хусусиятини сақлайди. Тасвирни қайта тиклаш жараёни уни ёзиб олиш жараёни билан боғлиқ эмас, бундай голограммалар стационар голограммалар дейилади. Лекин шундай муҳитлар мавжудки, улар ёритилганликнинг фазовий ва амплитудавий ўзгаришларини дарҳол сезиш ва қайд қилиш хусусиятларига эга. Бундай муҳитларга бўёқ моддалар, кристаллар, металл буғлари мисол бўла олади. Мазкур муҳитларда голограммани ёзиб олинганда, голограмма фақат ёзиб олиш жараёнида мавжуд бўлади, демак голограммани қайд қилиш (тасвирни қайта тиклаш) ёзиш жараёни билан бир вақтда олиб борилади.

Бундай голограмма - *динамик голограмма* номини олган. Динамик голограммалар ЭҲМнинг катта тезликда ишловчи $10^{-12}c$ логик элементлари, голографик эслаб қолувчи қурилмаларини ҳосил қилишда, тез

ўтувчи жараёнлари қайд қилувчи қурилмаларида, голографик лазерларда ва бошқа соҳаларда кенг қўлланилади.

Голограммаларнинг хусусиятлари. Юқорида айтилганидек, голограмма жисм сиртидан қайтган тўлқиннинг ҳам амплитудаси, ҳам фазасини қайд қилади. Тўлқин амплитудаси ҳақидаги информация интерференцион манзаранинг ёрқинлиги, фазаси ҳақидаги информация ва шакли сифатида қайд қилинади. Голограмма учун негатив ёки позитив (ҳақиқий) тушунчаси ўринли эмас, чунки негатив ёки позитив голограмма ёритилганда ҳам позитив тасвир ҳосил бўлади. Бунинг сабаби шундаки, амплитуда ҳақидаги информация интерференцион йўлчалар ёрқинлиги орқали ифодаланади. Негатив ёки позитивдаги ёрқинлик бир хил бўлгани учун иккала ҳол ҳам қайта тиклашда бир хил тасвирни беради. Негатив позитив билан алмаштирилганда фазанинг силжиши рўй беради, бу эса тасвирни кўз билан кўришда сезилмайдн. Голограмма ёзиб олинаётганда жисмнинг ҳар бир нуқтасидан қайтган ёруғлик голограмманинг бутун сиртига тушса, голограмманинг ҳар қандай кичик қисми жисмнинг тўла тасвирини тиклаш имконини беради. Демак, голограммани бир неча бўлакка бўлганда унинг ҳар бир бўлаги ёрдамида жисмнинг тасвирини ҳосил қилиш мумкин. Голограмма жуда кичик бўлақларга бўлинганда қайта тикланган тасвир аниқ бўлмай ҳирароқ ёйилган бўлиши кузатилади.

Фотография усулида ёритилганликларининг фарқи бир неча юз мартагача фарқ қилувчи ҳолларни суратга олиш мумкин. Ёритилганликлари кўпроқ фарқ қилувчи ҳолларни суратга олинганда фотоэмульсияда тўйиниш рўй бериши кузатилади. Голограмма ёритилганликлари бир неча юз минг фарқ қилувчи жисмларнинг тасвирини ҳосил қилиш имконини беради. Голограммани ажратиб олиш қобилияти аксарият ҳолларда фотоэмульсиянинг ажрата олиш қобилияти билан чегараланган. Фотографик усулда ҳосил қилинган голограмма 3.14- расмда берилган.



3.14-расм. Фотографик усулда олинган голограмма.

Голограммани қайд қилувчи моддалар. Голограмма қайд қилинадиган интерференцион йўлчаларнинг орасидаги масофанинг энг катта қиймати $\lambda/2$ га тенгдир. Ёруғликнинг ўртача тўлқин узунлиги

$\lambda \approx 0,5$ мкм учун интерференцион йўлчалар бир - биридан $\lambda \approx 0,25$ мкм масофада жойлашган. Бундай манзарани қайд қилувчи моддалар бир миллиметрда бир неча минг чизикни фарқ қилиш хусусиятига эга бўлиши керак.

Бошқача сўз билан айтганда, голограммани қайд қилувчи модданинг ажрата олиш қобилияти бир миллиметрга бир неча минг чизик бўлиши керакдир. Голографияда қайд қилувчи моддалар сифатида фотоматериаллар қўлланилади. Фотоэмульсия шаффоф желатин асосига киритилган кумуш ва бром (Ag , Br) зарралардан иборатдир. Ёруғлик таъсирида кумуш (Ag) тикланиб, унинг зарралари қорайиб қолади. Шунинг учун ишланган фотоэмульсия микроскоп остида қаралганда, унинг алоҳида зарралардан иборатлиги кўринади. Агар қайд қилинаётган интерференцион йўлчалар фотоэмульсия зарраларидан кичик бўлса, бир зарра юзасига бир неча йўлча жойлашиб, уларни бир - биридан ажратиш бўлмаслиги мумкин. Демак,

фотоэмульсия зарралари қанча кичик бўлса, унинг ажрата олиш қобилияти шунча ортиб боради. Зарралар ўлчами сезгирликни камайтиради. Шунинг учун ҳам сезгир, ҳам юқори ажрата олиш қобилиятига эга фотоматериаллар тайёрлаш бир мунча мураккабдир. Ҳозирги вақтда юқоридаги талабларга жавоб берувчи юқори сезгирликдаги фотопластинкалари ишлаб чиқилган, уларнинг ажрата олиш қобилияти бир миллиметрга 5000 чизикдан юқоридир. Бундан ташқари фотоплёнкалар ҳам қўлланилади, улар учун $\lambda = 3000 \text{ чизик} / \text{мм}$ га тенгдир. Мазкур фотоматериалларнинг сезгирлиги 10^{-2} Ж/см^2 қийматга эга. Фотоматериалларнинг асосий камчиликлари улардан фақат бир марта фойдаланиш мумкин.

Голограммани ёзиш, ўчириш ва яна қайта ёзиш хусусиятларига эга бир неча моддалар мавжуд, бунга фотохром моддалар, суюқ кристаллар, термопластик пардалар мисол бўлади. Уларга голограмма ёзилгандан кейин фотоматериалларга ўхшаш кимёвий ишлашни талаб қилмайдилар.

Термопластинкаларга голограмма ёзилишини кўриб чиқайлик. Термопластинкалар унча юқори бўлмаган (50°C) ҳароратларда юмшайдиган шаффоф диэлектриклардир. Голограмма термопластинканинг сиртининг рельефи кўринишида ёзилади. Голограмма ёзиш учун термопластик шиша асос, юпқа электр ўтказувчан парда, ярим ўтказгич қатлам ва термопластик қатламдан иборат бўлиб, ҳамма қатламлар ёруғлик учун шаффофдир. Голограммани ёзиш учун қоронғуда термопластик сиртни электр разряди ёрдамида бир текис зарядланади.

Бунда термопластик қатлам ва ўтказувчан пардадан ташкил топган конденсатор юзага келади. Кейин термопластик сиртига жисмдан қайтган тўлқинлар туширилади. Яримўтказгич қатламнинг ёритилган қисмининг электр ўтказувчанлиги кескин ортади ва яримўтказгичнинг бундай қисмларида ҳосил қилинган конденсатор қопламалари орасидаги масофа камаяди. Конденсатор қопламалари майдон кучланганлиги ўзгармагани учун,

қопламалар орасидаги масофа ўзгарган юзада қопламлар орасидаги потенциаллар айирмаси пасаяди. Бошқача қилиб айтганда, термопластикнинг ёритилган қисмининг потенциали пасаяди. Термопластик яна қайтадан зарядланса, унинг потенциали ҳамма қисмида бир хил бўлиб қолади. Термопластикнинг ёритилган қисми илгариги потенциалини тиклаш учун қўшимча заряд қабул қилади. Энди термопластик юмшагунча қиздирилса, кулон итариш кучлари таъсири остида термопластик деформацияга учраб унинг сирти рельефи интерференцион манзарани ифодаловчи ҳолатни қабул қилади (Ёритилган йўлчаларга термопластик сиртининг дўнгликлари, қоронғу йўлчаларга чуқурликлари мос келади). Мазкур рельеф термопластик совитилгандан кейин сақланиб қолади. Термопластик голограмма ёруғлик учун шаффофдир. Лекин у орқали ўтаётган ёруғлик термопластикнинг турли қисмларида турли фаза ўзгаришларига дучор бўлади ва жисм тўлкинининг тўлкин fronti тикланади. Термопластикаларнинг ажрата олиш қобилияти 1000 чизиқ/мм ни ташкил қилади, сезгирлиги 10^{-3} Ж/см² га тенгдир.

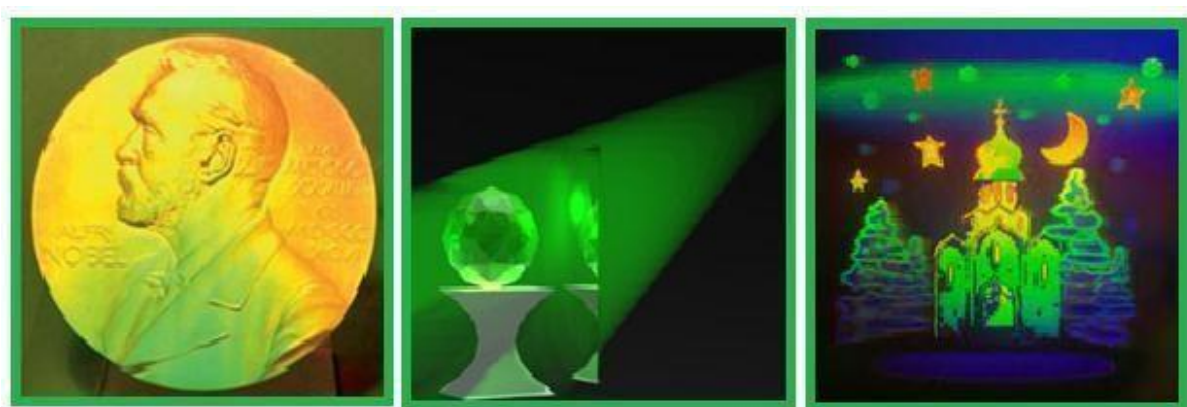
Голографияда қўлланиладиган ёруғлик манбалари. Голограммани ёзиб олишда қўлланиладиган ёруғлик манбалари юқори когерентлик ва равшанликка эга бўлиши керак. Ёруғликнинг вақтий когерентлиги қанча юқори бўлса таянч ва жисм тўлкинларининг оптик йўллари фарқи L интерференцион манзаранинг ёрқинлиги сақланган ҳолда шунча катта бўлади. L нинг қиймати ёруғликнинг спектрал чизиғи кенглиги $\Delta\lambda$ га боғлиқ бўлиб, $L = \lambda^2 / \Delta\lambda$ га тенгдир. Юқори вақтий когерентлик ва узлуксиз маромда нурланувчи гелий - неон ($\lambda = 632,8$ нм) ва аргон ($\lambda = 488$ нм, $514,5$ нм) лазерлари қўзғалмас жисмлар голограммасини ёзиб олишда қўлланилади. Тез содир бўлувчи жараёнлар голограммаси импульс маромида ишловчи ёқут ($\lambda = 694,3$ нм) лазери нурланиши воситасида ёзиб олинади.

Голографиянинг қўлланилиши. Голограммани тиклаш натижасида

ҳосил бўлган тасвир худди ҳақиқий жисмни кўраётгандек тасаввур ҳосил қиламиз. Голограмманинг ўлчами билан чегараланган турли ҳолатларда жисмни кузатиш мумкин бўлади. Голограммани кузатиш кичик дарча орқали жисмни кузатиш имконини беради. Голограммани кузатиш кичик дарча орқали жисмни кузатиш тасаввурини беради. Дарча олдида ўз ҳолатимизни ўзгартирсак, жисмни бошқа бурчак остида кўрамыз.

Голограмманинг бундай хусусиятлари янги йўналиш - санъат обидаларининг голографик нусхаларини ҳосил қилишнинг юзага келишига асос бўлди.

Қуйида турли соҳаларга тегишли голографик усул билан олинган голограммалари келтирилган (3.15-расм).





3.15- расм. Турли соҳалардаги голограммалар.

Бу голограммалар Денисюк усули билан ёзиб олинган бўлиб, уларни тиклаш учун оддий ёруғлик манбалари қуёш нури, люминесцент лампа нури қўлланилади.

Тикланган голограмма жисмнинг фақат тасвиринигина эмас, рангини ҳам акс эттиради. Олинган голограммалар ўлчами *60 x 80 см* ни ташкил қилади. Бунинг натижасида қимматбаҳо санъат обидаларининг нусхаларини дунёнинг ҳамма нуқталарида кўриш имконияти яратилди (3.16- расм).





3.16-расм. Денисюк усули билан олинган голограммалар

Агар голограммани маълум кетма - кетликда ёзиб олиб, шу кетма - кетликда алмашинишини таъминласак, биз ҳаракатдаги - жонли жисмларнинг голограммаси - голографик кинони ҳосил қиламиз. Бундай кинони кўрган одамда, худди ўзи юз бераётган ҳодисаларда иштирок этаётганлиги тасаввури пайдо бўлади. Кино учун қўлланиладиган голограмма кўплаб одамлар кўриши учун жуда катта ўлчамга эга бўлиши керак. Бундай голограммаларнинг тез алмашинишини таъминлаш керак бўлади. Ҳозирги вақтда олимлар голографик кино ва телевидение устида тадқиқотлар олиб бормокдалар.

Голограммалар асосида голографик эслаб қолувчи қурилмалар пайдо қилинган. Голографик эслаб қолувчи қурилмаларда информация

турли кўринишда (тасвир сифатида, алфавит - рақамлар воситасида) ясси, хажмий, амплитудавий ёки фазавий голограмма сифатида ёзилиши мумкин. Голографик эслаб қолувчи қурилмалар юқори хотирлаш зичлиги 10^5 бит/мм^2 га эга бўлиб, бу жиҳатдан магнит эслаб қолувчи қурилмаларга нисбатан устунликка эгадир. Хажмий голограммаларни ёзиб олиш учун электрооптик кристаллар $\text{LiNbO}_{30.75} \text{Sr}_{0.25} \text{Nb}_2\text{O}_5$ қўлланилади. Хажмий голограммалар асосидаги эслаб қолувчи қурилмалар $10^{10} - 10^{11} \text{ бит}$ эслаб қолиш қобилиятига эга. Хажмий голограммада бир геометрик хажмда турли информация ёзилиши мумкин. Ҳар бир информацияга таянч ва жисм нурларининг ўз йўналишлари мос келади. Голограммани тиклаш учун уни ёритувчи нурга нисбатан бурилади. Тикловчи нурнинг йўналиши, голограммани ёзишда қўлланган таянч нурнинг бирор йўналишига мос келганда, шу йўналишда ёзилган информация тасвири ҳосил бўлади. Голографик хотира қурилмаларига информацияни ёзиб ва “ўқиб” олиш учун лазер нурининг акустооптик ёки электрооптик воситалар ёрдамида ўз йўналишини тез ўзгариши таъминланади. Бир йўналишдаги информацияни “ўқиб” иккинчисига ўтиш учун жуда кичик вақт интервали 10^{-1} с керак бўлади. Тикланган тасвир ёруғликка сезгир бўлган экран (масалан суёқ кристалл экран) га йўналтирилиб уни электр сигналига айлантирилади. Голографик хотира қурилмалари тез ишловчи оптик ҳисоблаш машиналари тадқиқ қилишда катта аҳамиятга эгадир. Ҳаракатдаги жисмларнинг голограммаси импульс лазерлар воситасида ёзиб олинади. Давомийлиги 20 нс бўлган ёқут лазери нурланиши учиб кетаётган ўқ, суёқлик ва газлар оқимининг ҳаракати, учаётган ҳашоротларнинг голограммасини ҳосил қилиш имкониятини берди. Голограммаларни тиклашда гелий - неон лазеридан фойдаланилади. Импульс голограммалар газ ва суёқлик оқимларидаги тез содир бўлувчи ҳодисаларни тадқиқ қилиш имконини берди.

Голографик интерферометрия жисмлар сиртининг деформациясини,

пайвандланган сифатини текшириш, жисмларда кучланиш таъсирида ёриқлар ҳосил бўлишини текширишда, жуда кичик (бир неча микрон) силжишларни ўлчашда қўлланилади.

Голографик интерферометриянинг энг оддий усули икки марта голограмма ёзиб олиш усулидир. Бунда биринчи марта ҳеч қандай таъсирга учрамаган жисм голограммаси, иккинчисида таъсир остидаги (деформацияланган, қиздирилган), голограммаси ёзиб олинади (3.17-расм).



3.17-расм. Деформацияланган жисмнинг голограммаси.

Икки қайта ёзилган голограммани тикланганда жисмнинг тасвирига интерференцион йўлчалар устма - уст тушган бўлиб, уларнинг кўриниши жисмнинг ташқи таъсир остида қандай ўзгарганини ифодалаб беради.

Голографик интерферометриянинг бошқа усулида таянч нури жисмнинг ўзини ёритади. Улардан қайтган нурлар интерференцион манзарани ҳосил қилади. Мазкур усул жисмларни “асл - ҳақиқий” жисм билан солиштиришда жуда қўл келади. Масалан, минглаб суратлар орасида бизга керакли суратни шу усул билан “таниб” ажратиб олишимиз мумкин.

Акустик ва радиоголография. Голографик усул - тўлқинларнинг амплитуда ва фазасини ёзиб олишда товуш, ультратовуш ва радиотўлқинлар учун ҳам қўллаш мумкин. Мазкур усул товуш, ультратовуш тўлқини майдонининг тасвирини ҳосил қилишга имкон беради.

Оптик голографиянинг ривожланиши керакли когерент ёруғлик манбалари мавжуд бўлмаганлиги натижасида 15 йилга кечиккан бўлса, ультратовуш голография учун ҳамма тажриба имкониятлари етарли эди. Деярли ҳамма ультратовуш манбалари - когерент манбалар бўлиб, мавжуд микрофон ва гидрофонлар товуш тўлқинларининг фазаси ва амплитудасини қайд қилиш имконини беради. Акустик голограммани ёзиб олиш учун бир товуш генераторидан ишловчи иккита ультратовуш манбаи қўлланилади. Улардан бирининг тўлқинлари жисмга туширилади. Жисмдан қайтган тўлқин иккинчи манба тўлқини билан учрашади. Уларнинг интерференцияси натижасида суюқлик сиртида интерференцион манзарани такрорловчи рельеф ҳосил бўлади. Суюқлик сирти рельефининг ўзгармас (вақт бўйича) ташкил қилувчиси акустик голограммадир. Уни суратга олинса голограмма ёзиб олинган бўлади. Мазкур голограммага лазер нурланиши йўналтирилса жисмнинг товуш тўлқини воситасида ёзиб олинган тасвири ҳосил бўлади.

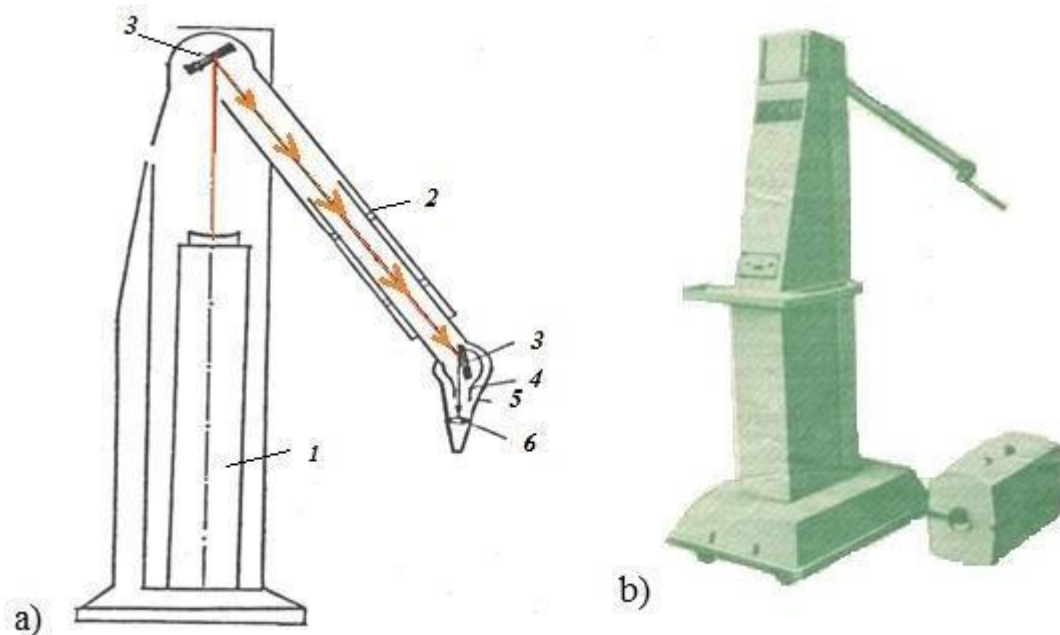
Ультратовуш голографияси оптик шаффоф бўлмаган муҳитларнинг ичини кўриш имконини беради. Ультратовуш голографияси денгиз туби рельефи, ер қаъридаги фойдали қазилмаларни ўрганишда, археологик, тиббиётда катта аҳамиятга эгадир. Бу усул билан Хеопс пирамидасининг ички қисмида бўшлиқ мавжуд эканлиги аниқланган. Шунингдек, ультратовуш голографияси инсоннинг ички органларини ўрганиш имконини яратди.

Лазерларнинг тиббиётда қўлланилиши

Ўтган асрнинг 60 - йилларнинг иккинчи ярмидан бошлаб жарроҳликда скальпель тарзида лазер нури ишлатила бошланди. Лазер скальпели деганда нима тушунилади ва унинг ўзига хос қандай хусусиятлари бор?

Жарроҳлик хонасида жарроҳлик стол билан бир қаторда лазер қурилмаси ҳам жойлаштирилади. Тиббиётда кўп ҳолларда узлуксиз маромда ишловчи қуввати бир неча ўн ватт бўлган CO_2 - лазеридан фойдаланилади. Лазер нурланиши эгилувчан ёруғлик узатгичга тушади. Бир неча ёрдамчи қурилмалар воситасида у чиқиш трубкасига ўтиб, ундан кейин интенсив

ёруғлик нурланиши тарзида ташқарига чиқади. Операция вақтида жарроҳ чиқиш трубкасини қўлида ушлаб, уни фазода лозим бўлган йўналишлар бўйича эркин кўчира олади. 3.18- расмда тиббиётда қўлланиладиган лазер қурилмасининг схемаси тасвирланган.



3.18 – расм. Скальпель – 1.

Қурилманинг схематик кўриниши: а) 1 - CO_2 -узлуксиз ишловчи лазер. 2 - Эгилувчан ёруғлик ўтказгич. 3 - Кўзгулар. 4 - Оптик қалпоқча. 5 - Чиқиш найчаси. 6 - Фокусловчи линза. Стрелкалар билан ёруғлик нурининг йўли кўрсатилган. б) Қурилманинг умумий кўриниши.

Лазер нурининг фокусида энергия тўпланган бўлиб, у биологик тўқималарни қиздириб буғлантириш учун етарлидир. Жарроҳ лазер скальпелни секин - аста йўналтириб, тўқимани кесиб боради. Кесим чуқурлиги ва кесим тезлиги тўқиманинг қон билан таъминланиш даражасига боғлиқ. Ўртача кесим чуқурлиги 2-3 мм оралиғида бўлади. Кўпинча тўқималарни кесиш бир маротаба бажарилмай балки скальпель бир неча марта юргизилиши билан амалга оширилади, бунда тўқима гўё қатламлаб кесилади. Жарроҳлик скальпели тарзида лазер бир қатор афзалликларга эга.

Биринчидан, бу нур қон чиқармай қирқади, чунки у унчалик катта бўлмаган қон томирларни шу вақтни ўзидаёқ ямаб қўяди. Бу хусусияти билан у электрпичокқа ўхшайди.

Иккинчидан, лазер скальпели кесиш хусусияти ҳамма вақт ишончли ва ўзгармасдир.

Учинчидан, шаффофлиги, яъни соя ҳосил қилмаслиги туфайли жарроҳга операция қилинаётган қисмини кузатиб бориш имконини беради. Одатдаги скальпелнинг тиғи эса ҳосил қилган ўз сояси туфайли иш жойини жарроҳдан тўсади.

Тўртинчидан, лазер нури тўқимани маълум масофадан туриб унга босим бермай кесади.

Бешинчидан, лазер скальпели мутлоқ стерилликни (яъни, тозаликни) таъминлайди. Ҳақиқатан, нурдан ташқари тўқимага бирор нарса билан тегмайди. Тўқима билан фақат нурланиш ўзаро таъсирлашади. Тозаликнинг яна бир сабаби кесиш жойида юқори ҳарорат ҳосил бўлади.

Олтинчидан, лазер нури локал (муайян жойга) таъсир кўрсатади. Тўқимани буғланиши фақат фокус нуктасидагина рўй беради. Унинг ёнидаги тўқималар механик ёки электр скальпелига нисбатан камроқ жароҳатлайди.

Еттинчидан, клиник тажрибаларнинг кўрсатишича, лазер скальпелидан ҳосил бўлган яра асло оғримади ва нисбатан тез тuzалади.

Лазер нури ёрдамида қандай жарроҳлик операциялар ўтказиш мумкин? Лазер нуридан тиббиётда фойдаланиш 1966 йилда А.В. Вишневский номидаги хирургия олийгоҳида бошланди. Лазер скальпели қорин ва кўкрак бўшлиғидаги ички аъзоларни операция қилишда қўлланилди. Ҳозирги пайтда лазер нури тери - пластик операциялар (3.19 - расм), овқат йўли, ошқозон, ичак, буйрак, жигар, қулоқ (3.20-расм), бурун (3.21-расм), томоқ (3.22-расм) ва бошқа ички аъзоларни операция қилишда ҳамда ўсимталарни даволашда (3.23-расм) қўлланилади.



3.19- расм. “Скальпель-1” лазер қурилмаси ёрдамида яраларни даволаш.



3.20- расм. Гелий – неон асосида ишлайдиган лазер скальпели ёрдамида қулоқ касаллигини даволаш.



3.21- расм. CO₂ ёки неодим лазери ёрдамида бурун касалликларини даволаш.

3.22- расм.Паст қувватли (ЛГ-76) лазер нуруни нуртолалар орқали узатиб томоқ бўшлигини даволаш.



3.23.Лазернури ёрдамида ўсимталарни даволаш.

Лазер скальпелдан кўп томирли жойларни операция қилишда фойдаланиш жарроҳларни жуда қизиқтирган муаммодир. Хусусан, жигар, юрак, талокни операция қилиш тиббиётнинг жуда катта муваффақияти ҳисобланади. CO_2 - лазер ёрдамида ошқозон ва ичакда 13 турли хил операциялар (қирқиш, резакция) ўтказилади. Йўғон ва ингичка ичакни кесиш учун лазернинг чиқишдаги қуввати $9\div 11\text{ Вт}$ бўлганида нурни бир марта ўтказиш, йўғон ичак учун икки марта, ошқозонни кесиш эса $2\div 3$ марта ўтказиш етарлидир. Масалан, ичакнинг девори осон кесилиб, кесилган жойи текис ва қурук бўлиб, усти юпқа жигарранг парда билан қопланган. Ичакнинг деворидан ҳеч қандай қон оқиш юз бермаган. Ошқозоннинг девори ҳам лазер нурида осонгина кесилади. Ошқозон ва ичакнинг кесилган жойи $25 \div 30$ кунда битиб, кишининг соғ терилардан жуда кам фарқланади. Лазер нурида

тўқималарни қирқишдан ташқари териларни бириктиришда ҳам фойдаланилади.

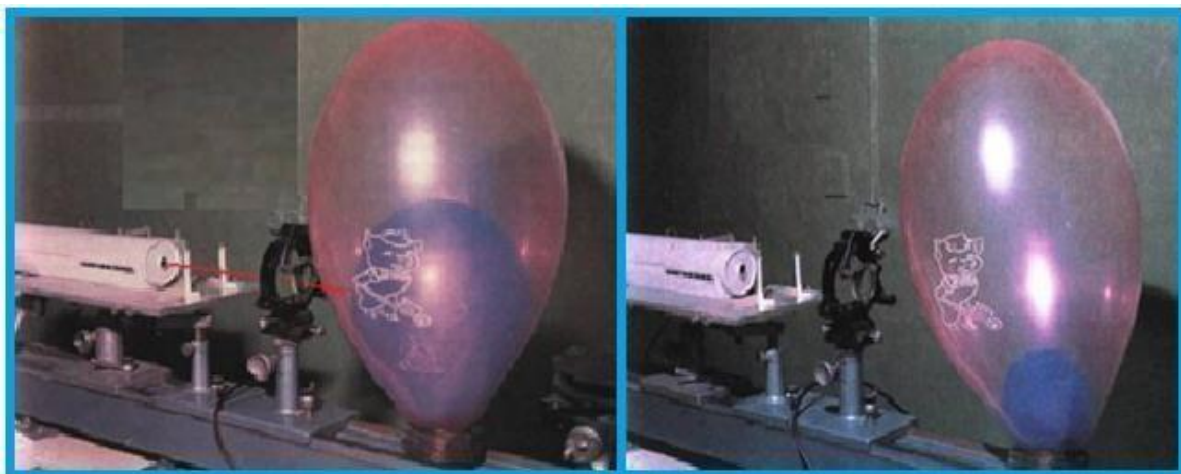
Тўқималарни қирқиш фокусланган нур ёрдамида амалга оширилади. Нурланишнинг қуввати 20 Вт ва фокусланган доғ 1 мм бўлганда интенсивлик $2,5 \text{ кВт/см}^2$ тенг бўлади. Бунда нурланиш тўқиманинг 50 мкм чуқурликкача киради. Бунда тўқимани қиздиришда тушаётган қувватнинг сирт зичлиги 500 кВт/см^2 гача етади. Бу биологик тўқималар учун жуда катта миқдордир. Бунда нур тўқимани жуда тез қирқади ва буғланиши содир бўлади, яъни тўқимани қирқилиши рўй беради. Агар лазер нурини фокуслаштириб нурнинг интенсивлигини 25 Вт/см^2 гача, яъни олдинги ҳолдагига қараганда 100 мартаба камайтирсак, тўқима буғланмайди, балки сиртий коагуляция содир бўлади. Бундай жараён қирқилган тўқималарни улашда фойдаланилади. Биологик пайвандлаш қирқилаётган аъзонинг девори таркибида мавжуд бўлган ва уланаётган тўқималар оралиғига махсус сиқиб келтирилган суюқликнинг коагуляцияси ҳисобига амалга оширилади. Юрак операциясининг энг мураккаб жараёнлардан биридир. Ҳозирда лазер скальпели ёрдамида бундай жарроҳлик операцияларида қўлланилиши кескин ортиб бормоқда. Бундай операциялардан лазер нуридан қандай фойдаланиш мумкинлиги туғрисида бир мисол келтирайлик. Маълумки, юрак клапанининг дарчаси худди икки япроқчага ўхшайди. Баргларнинг бир чети юракнинг ички деворига маҳкамланган бўлади. Мазкур барглар эркин қирралари билан юракнинг иш циклига мос равишда гоҳ бир - бири билан зич ёпишиб тешикни очиб қонни бир йўналишда қўйиб юборади. Юракнинг баъзи бир хасталикларида мазкур "барглар" нинг четлари қисман бирга қўшилиб кетади ва бунинг натижасида қонни ўтказувчи тешик қисман бекилиб қолади. Худди шу бирлашиб кетган йўл чизиғи бўйича жарроҳ юрак клапанлар дарчаларни ажратишига тўғри келади. Шундай операцияларни ўтказишда лазер скальпели (3.24 - расм. Ланцет - 1) жуда қўл келади.



3.24- расм. Жарроҳликда қўлланиладиган “Ланцет - 1” лазер қурилмаси.

“Скальпель - 1”, “Ланцет - 1” қурилмаси ва шунга ўхшаш қурилмаларда ёруғлик энергия лазердан олиниб операция қилинаётган аъзога ковак найчалар тизими ёрдамида узатилади. Найчалар тизими ўрнида диэлектрик толадан ясалган эластик ёруғлик узатувчилардан фойдаланилади. Одатда толалардан эшма тузилади. Эшманинг кўндаланг кесимининг диаметри 1мм атрофида, эшмадаги ҳар бир толанинг диаметри эса $10 \div 100$ мкм ни ташкил қилади. Эластик нур узатгич ёрдамида жарроҳ лазер скальпели билан анча эркин ҳаракатлана олади. Асосийси шундаки, ингичка толали эшма орқали ёруғликнинг катта миқдордаги, энергиясини узатиб, жарроҳлик операция ўтказишнинг мутлоқ янги усули яратилган.

Юқоридаги турли хил жарроҳлик операцияларни амалга оширишда қуйидаги тажриба асос бўлди (3.25 - расм).



3.25- расм. Ёқут лазерининг нури қизил шарга зарар етказмай ўтиб унинг ичидаги кўк шарни куйдиради. Шу сабабли жарроҳликда лазердан фойдаланганда лазер қонга зарар етказмаган ҳолда қон томирларига таъсир қила олади.

Лазерлар офтальмологияда қандай қўлланилади?

Офтальмология - кўз касалликлари билан боғлиқ тиббиёт соҳасида лазер нури жуда кенг қўлланилади. Ҳозирги вақтда тиббиётда янги йўналиш - лазер микрохирургияси жадал ривожланмоқда. Бу йўналишдаги тадқиқотлар Тошкент шаҳридаги “Кўз касалликлари микрохирургияси” да, Одессадаги В.Л.Филатов номидаги институтда, Москвадаги Л.Ф. Гельгольц номидаги кўз касалликлари илмий-тадқиқот институтида шунингдек, кўз микрохирургияси илмий - тадқиқот институтларда кўз ожизлигига олиб келувчи касалликларнинг асосийлари глаукома, катаракта, тўрсимон парданинг қатламланишини олдини олиш борасида илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Лазер нури дастлаб кўз касалликлари орасида тўрсимон парданинг қатламланишини даволашда қўлланилди. Кўзи ожизлик ҳолларининг энг кенг тарқалгани глаукомадир. Мазкур хасталик мамлакатларнинг 40 ёшдан ошган аҳолисининг тахминан 2÷3 % глаукома хасталлиги билан оғриши қайд қилинган. Глаукомани анъанавий усуллар билан даволаш жуда мураккаб жараён бўлиб, кўз унда кучли жароҳатланиши мумкин. Шунингдек, даволаш натижаси тамоман ижобий бўлишига ишониш қийин. Шу ўринда лазер нуридан фойдаланиш айна мақсадга мувофиқлиги аниқланган. Лазер нури билан кўзнинг рангдор пардасида тешик очилиб, шу йўл билан унинг капиляр найларини хусусиятини тиклаб, кўз суюқлигининг нормал оқимиغا имкон туғилади. Аммо, рангдор пардани жуда тез куйдириб тешик очиш шамоллашга олиб келади ва натижада ҳосил бўлган тешик бекилишига сабаб бўлади. Академик М.М. Красновнинг тадқиқотлари натижаси шуни кўрсатдики, рангдор пардани куйдириш эмас, балки уни уриб тешиш керак экан. Бошқа сўз билан айтганда, лазер

импульслари пардага иссиқ таъсири эмас, балки механик таъсир кўрсатиши лозим. Бунинг учун, лазер импульси қисқа муддатли бўлиши талаб этилади. Глаукома хасталигини даволашда қўлланиладиган лазер нури импульсининг давомийлиги

10^{-7} с га тенг. Шундай импульсли нурдан фойдаланилса, кўз пардасида коагуляцион ва шамоллаш ҳодисаларининг юзага келиш эҳтимоллиги жуда кичик бўлар экан. Лазер нури глаукома операциясини ҳайрон қоларли даражада осонлаштирди, операция муддати $1\div 15$ минут давом этади. Бундай операцияларни одатда амбулатория шароитида ўтказилади. Ҳозирги вақтда аргон (480 нм, 514 нм), криптон (647 нм), яримўтказгичли (810 нм) лазер нурлари юқорида қайд қилинган кўз касалликларининг деярли барчасини даволашда қўлланилади (3.26- расмлар).







3.26- расм. Лазер нуридан офтальмологияда қўлланилиши.





Стоматологик даволаш ва лазер нури. Ўзбекистонда жуда кам кишини тиш касаллигига йўлиқмаган дейиш мумкин. Тиши касалланган бемор “Бор” машина (тишни даволайдиган стоматологик асбоб) билан учрашишдан қўрқиб, имкони бўлса даволанишга бормасликка ҳаракат қилади. Аммо лазер нуридан фойдаланиш мазкур муаммони маълум даражада осонлаштирди. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, лазер нури соғлом ва касалланган тишларга турлича таъсир кўрсатар экан. У қорайиб қолган (яъни касал) тиш қисми томонидан ютилиб соғлом оқ тиш томонидан қайтарилади. Лазер нурланиши кариесга таъсир этиб касалланган тиш тўқимани емиради, лекин унга қўшни бўлган соғ тиш қисмларини емирмайди (3.27- расм). Келгусида лазер нуридан нафақат тишни даволашда, балки кариеснинг олдини олишда фойдаланиш мумкин. Агар тиш эмали инфрақизил нур билан ёритилса, у кариесга бардошли бўлар экан. Ҳозирча стоматологлар лазер нуридан оғиз бўшлиғидаги касалликларни даволашда гелий-неон лазеридан фойдаланишади.



3.27– расм. Лазер нури ёрдамида тишларни даволаш.

Терапевтларнинг лазер нурига қизиқиши нимада? Лазер нуридан терапияда фойдаланиш мумкинми? Ҳа, деб жавоб бериш мумкин. Ҳозиргина биз оғиз бўшлиғидаги шиллиқ парда касалликларини даволашда лазер нуридан фойдаланилганлиги тўғрисида гапирдик. Аммо “мўъжиза” бу билан тугамайди. Қадимги врачлар учун синган суякларни ўстириш, шунингдек, уларни улаш катта муаммо бўлиб келган. Гелий-неон лазери суякларнинг уланиб битишини жуда тезлаштиради. Қуввати *10 Вт* атрофида бўлган гелий-неон лазери билан уланган жойни *1-15* мартаба нурлаш натижасида суякларнинг жуда тез ўсиши кузатилди. Вена томирлари касаллиги, кўпинча трофик тери ярасини ҳосил қилади. Бунда оёқ териси қизаради, қичийди, қонай бошлайди. Шу вақтгача қўлланилган терапевтик ва хирургик муолажалар кам таъсир кўрсатиб келган. Аммо, кутилмаганда, гелий-неон лазери шу касалликни даволашда ёрдамга келди. Даволаш курси *20-25* марта *10* минутлик нурлаш муолажасидан иборат. Худди шунингдек, куйгандан ва узок битмаётган травматик яраларни кам қувватли гелий-неон лазери билан муваффақиятли даволаш мумкин экан. Юқорида кўрсатилган касалликларни даволашда қўлланиладиган гелий-неон лазерининг қизил нури киши танасидаги биологик жараёнларни жадаллаштирар экан. Шу сабабли “*лазер биостимуляцияси*” деган махсус атама юзага келди. Ҳозирда биостимуляция механизми аниқланган эмас.

Лазерлар эртага тиббиёт учун нима беради?

Биз юқорида кўриб ўтган лазернинг тиббиётга қўллаш имконияти ҳали поёнига етган эмас, аммо ушбу келтирилган мисоллар ҳайрон қоларли даражада ажойиб. Баъзан тиббиёт ходимлари шу даврга қадар лазер нури ёрдамисиз қандай ишлаган эканлар, деган фикрга бориш ҳам мумкин. Айниқса лазерларнинг жарроҳликда, кўз микрохирургиясида тутган ўрни, шунингдек, терапияда бу нурларнинг хизмати бекиёсдир.

Ҳозирги вақтда лазер нурини биологик объектларга таъсир этиш

механизмини батафсил, атрофлича ўрганиш ишлари олиб борилмоқда. Албатта, физика қонунларига таянган ҳолда тўқималарга нурни иссиқлик ва зарбавий таъсирини тушунтириш мумкин. Аммо тирик тўқималарда нурланишдан сўнг юзага келадиган шишиш ва шамоллашларни тушунтириш учун бу қонунлар етарли эмас. Биз ҳали у ёки бу клиник мақсадлар учун лазер нурунинг қайси тўлқин узунлиги, генерация маромини ва нурланишнинг қандай энергияси мос келишини аниқ билмаймиз.

Лазер нури ёрдамида диагностика (ташҳис) да кенг қўлланилмоқда. Масалан, ҳозирги вақтда 1 Вт ли гелий-неон лазери ёрдамида қўлнинг қон томирлари фотонусхасини олиш мумкин. Қизиғи шундаки, рентген нури ёрдамида бундай расмни олиб бўлмайди. Лазер нуридан тиббиётда фойдаланишнинг ривожланиши асосида келгусида одамнинг барча қон томирларини ёритиш имконига эга бўламиз ва бунинг натижасида турли касалликларни аниқлаш имкони туғилади.

Жисмларга лазер нури билан ишлов бериш

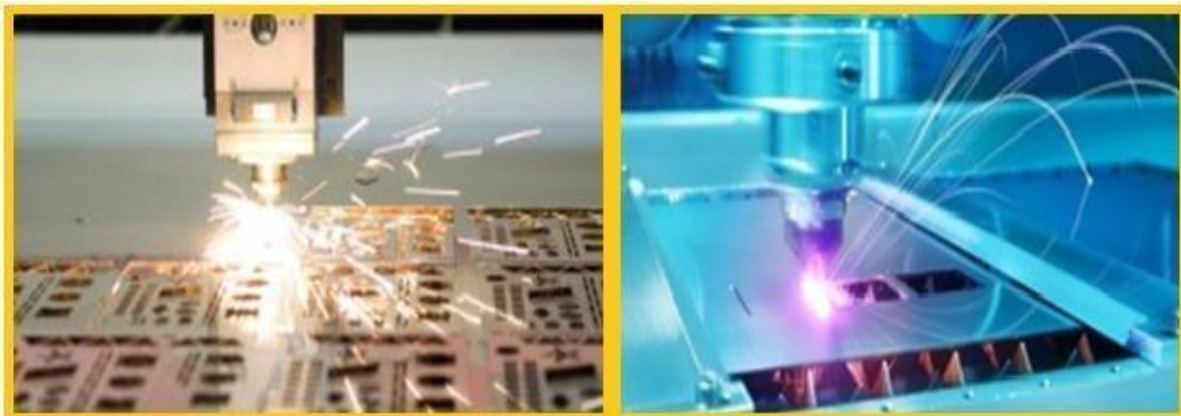
Катта қувватли лазер нури моддаларга қандай таъсир кўрсатади? Ҳам илмий, ҳам амалий аҳамият касб этувчи ушбу масалани ечиш учун қандайдир металл сиртига лазер нуруни йўналтирайлик. Лазер нурланиш интенсивлиги борган сари ортиб боради, деб тасаввур этайлик. Бунга лазер қувватини ошириш ҳамда нурланишни фокуслаш йўли билан эришиш мумкин. Нурнинг қуввати ортиб бориб у 10^4 Вт/см^2 чамаси қийматга эга бўлса, бундай қувватга ҳар қандай металл учун эриш ҳароратига эришилади ва биз кузатган металл эрий бошлайди. Сиртга яқин, ёруғлик нури тушаётган жойда металлни суюқ (эриган) соҳаси юзага келади. Металлнинг қаттиқ қисмидан ажратиб турувчи бу сирт қисми, одатда, эриш сирти дейилади. Металл, нурланиш энергиясини янада кўпроқ ютган сари эриган қисм шу металлнинг ички қатламига кириб бораверади. Материалнинг иссиқлик ўтказувчанлиги юқорилиги сабабли, иссиқлик металлнинг қуйи қатламлари ичига жадал сингиб бориши давомида сиртнинг эриш юзаси ҳам



албатта, ортади. Натижада (нурланишнинг берилган интенсивлиги учун) эришнинг ўзгармас сирти юзага келади. Лазер нурининг интенсивлиги $10^6 - 10^7 \text{ Вт/см}^2$ га қадар ортганда эриш билан бир вақтда материалнинг шу эриган қисмининг интенсив буғланиши (қайнаши) бошланади. Металлнинг шу қисмининг буғланиши туфайли унинг сиртида чуқурча юзага келиб, маълум вақтдан сўнг у тешик ёки кесимга айланади. Нурланишнинг интенсивлигини янада орттириб, 10^9 Вт/см^2 чамасида бўлганда модда буғининг кучли ионланиш жараёни бошланади, бунинг натижасида буғ плазмага айланади. Плазма лазер нурини интенсив ютганлиги туфайли у нурланишнинг металл сиртига кейинги ўтишга тўсқинлик қилади. Демак, металл сиртига лазер нури билан ишлов берилганда плазма ҳосил бўлмаслигига аҳамият бериш керак. Нурланишнинг моддага таъсири тўғрисида фикр юритганда биз фақат ёруғлик қувватини фазодаги концентрацияси ҳақида гапирдик, ҳолос. Аммо қувватнинг вақт бўйича ўзгаришини ҳам эътиборга олиш керак, албатта. Уни яккаланган лазер импульси давом этиш вақтини ёки импульслар кетма - кет келиши частотасини ўзгартириш йўли билан бошқариш мумкин (3.28-расмлар).



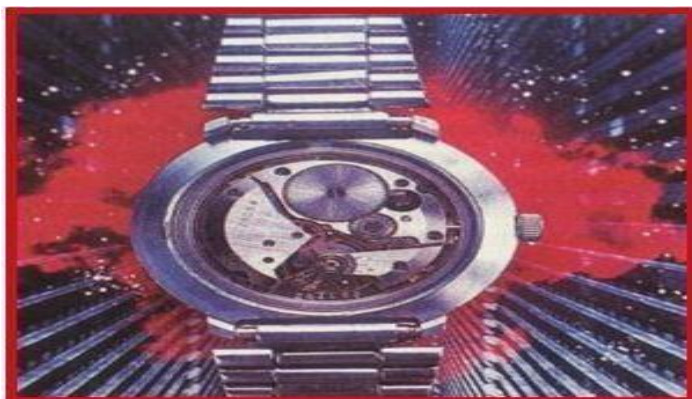
3.28- расм. Металларга лазер нури ёрдамида ишлов бериш.



Фараз қилайлик, нурланиш интенсивлиги металнинг нафақат эришига, балки унинг буғланишига ҳам етарли бўлсин. Бунда лазер нурланиши алоҳида яккаланган импульсдан иборат бўлиб, у 10^{-7} с чамаси давом этсин. Бу ҳолда жуда қисқа вақт ичида материал сиртида жуда катта ёруғлик энергияси ютилади. Мазкур вақт ичида металнинг ташки сиртида катта энергия йиғилиб, ички қатламига сингишга улгурмайди. Натижада модданинг муайян массаси эригунга қадар унинг интенсив буғланиши бошланади. Бошқа сўз билан айтганда, модда ютаётган ёруғлик энергиясининг асосий қисми модданинг буткул эришига сарфланмай, балки унинг буғланишига ҳам сарфланар экан. Амалда лазер импульсининг муайян энергиясини олиш учун импульснинг давом этиш вақтини узайтириш мақсадга мувофиқдир. Шу туфайли эриш сиртида наmunанинг ички қатламларига кўчиш имконияти туғилади. Шундай қилиб, материалга ишлов беришда шу материалнинг хусусиятига асосланиб нурланишнинг ҳам

энергиявий, ҳам вақтий характеристикасини танлаш мақсадга мувофиқдир. Хусусан, пайвандлашда интенсивлиги унча катта бўлмаган нисбатан узок вақт давом этувчи импульслардан (давом этиш вақти с) тешик ҳосил қилиш қулайдир. Аксинча, материални жадал буғлантириш учун эса кўпроқ интенсивликдаги, аммо қисқа вақт давом этувчи ($10^{-2} \div 10^{-3}$ с) импульслардан фойдаланиш лозимдир. Лазер тешгичлар қандай хусусияти билан афзалликка эга? Қўл соати “*Поет*” нинг цифраблатида “*23 та тош*” деган ёзув бор. Бундай ёзувлар бошқа механик тарзда юрғизиладиган соатларда ҳам мавжуд. Улар нимани англатади? Гап ёқут тошлари устида бориб, улар соат механизмида сирпаниш подшипниклари сифатида ишлатилади. Бундай подшипникларни тайёрлаш учун ёқутда аниқ шаклдаги цилиндрсимон тешик ҳосил қилиш керак. Ушбу цилиндрнинг нисбатан жуда кичик ($0,1 - 0,05$ мм атрофида) бўлишини ҳамда ишлов берилувчи материал - ёқутнинг ўзи ҳам ниҳоятда мўрт ва қаттиқ модда эканлигини назарда тутсак, бажарилажак вазифа қанчалик мушкул эканлигини англаш қийин эмас. Жуда кўп йиллар давомида мазкур жараён механик йўл билан, яъни парма ёрдамида бажарилар эди. Бунинг учун диаметри $40 - 50$ мкм бўлган олмос симдан парма ясалган. Мазкур парма бир минутда 30000 та гача айланади, шу вақт ичида у 100 марта илгариланма қайтма ҳаракат қилади. Битта тошни тешиш учун $10 - 15$ минутгача вақт сарфланар эди.

1964 йилдан бошлаб соат тошларида тешикларни механик усул билан ҳосил қилиш ўрнига “*лазер парма*” усули қўлланилди. Лазер нури материални механик тарзда пармаламайди, балки у материални интенсив буғлантириб тешади, шунинг учун “*парма*” деган атамани том маънода қабул қилиш ўринли эмас (3.29-расм).



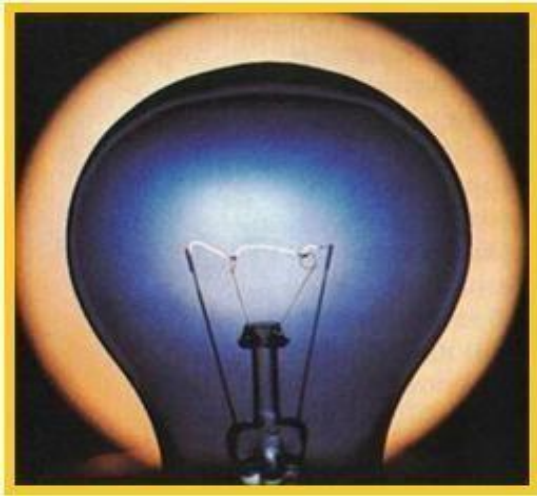
3.29-расм. Соатда қўлланиладиган ёқутдан ясалган тошларга лазер нури ёрдамида ишлов бериш.

Ҳозирги вақтда “лазер парма” дан соатнинг ёқут тошларини тешишда фойдаланиш оддий иш бўлиб қолди. Бу мақсадда импульсли каттик жисмли лазердан, хусусан, неодим шиша лазердан фойдаланилади. Қалинлиги 0,5-1мм бўлган детални тешиш учун энергияси 0,1 - 0,5 Ж, давомийлиги 10^{-4} с бўлган лазер импульслари тўпланидан фойдаланилади. Автоматик маромда ишлайдиган қурилманинг унумдорлиги бир секундда биттадан тешик очиш имкониятига эга. Мазкур лазер қурилманинг ф.и.к. механик тешгичга нисбатан минг мартаба юқоридир.

Вольфрам, мис, бронза ва бошқа металллардан ингичка симни ўтказиш учун кичик диаметрли тешиклар олиш технологияси яратилган. Бундай тешикларни ҳосил қилиш учун ўта каттик қотишмалардан фойдаланилади. Шулар орасида энг қаттиғи олмос ҳисобланади. Шунинг учун энг ингичка симлар олиш олмосда ҳосил қилинган тешиклар ёрдамида амалга оширилади. Бундай мақсадда фойдаланиладиган олмосни *фильер* дейилади. Лекин фильмлар диаметри 10 мкм бўлган симларни олиш имконини беради. Аммо бундай тешикни олмосдек ўта каттик материалда қандай пармалаш мумкин? Механик йўл билан тешик ҳосил қилиш учун 10 соат вақт талаб қилинади. Бундай тешикни катта қувватли лазер импульслари тўплами билан осонгина ҳосил қилиш мумкин. Худди соат тошларидагидек, бу жараён каттик жисмли импульсли лазерлар ёрдамида амалга оширилади. Олмос фильмдаги жараён мураккаб кўриниш (профил)га эга. Лазер импульси ёрдамида олмос заготовкада дастлабки (хомаки) тешик ҳосил қилинади. Сўнгра канал ультратовуш билан ишланиб силлиқланиб, сайқал берилиб, унга зарур бўлган кўриниш берилади. “Лазер парма” фақат каттик ва ўта каттик материалларда ишлатилмай балки ўта мўрт материалларда ҳам

ишлатилади. Мисол тариқасида аммонийли оксидли керамикадан ясалган микросхемалар таглигини келтириш мумкин. Керамиканинг ниҳоятда мўртлиги туфайли механик усулда пармалаб тешилганда, одатда “хом” материал пармаланиб, сўнгра қизитгичда қизитиб, материални пишириш учун хумдонга қўйилади. Бунда буюмлар бироз деформациялангани учун тешиклар орасидаги масофа силжиши мумкин. “Лазер парма”дан фойдаланилганда хумдондан чиққан керамик таглик билан дарҳол ишлаш имконияти туғилади. Бу усулда юқорида қайд қилинган ходисалар рўй бермайди. Керамикада “лазер парма” билан диаметри 10мкм бўлган ўта ингичка тешик ҳосил қилиш мумкин. Механик пармалаш йўли билан бундай тешикни ҳосил қилиб бўлмайди. Керамик тагликни тешишда CO₂ импульсли лазердан фойдаланилади (диаметри 0,1мм ва ундан катта ҳоллар учун). Ёқут импульсли ёки гранат неодимли лазерлар ўта кичик диаметрли тешиклар ҳосил қилиш учун ишлатилади. Юқорида келтирилган мисоллардан лазер пармалашнинг афзалликлари ҳақида аниқ тасаввур ҳосил қилинди.

Лазер нурининг яна бир муҳим афзалликларидан бири шундаки, бу нур ёрдамида шиша тўсиқ орқали ҳам пайвандлаш жараёнини ҳам амалга ошириш мумкин. Масалан, электрон нур трубканинг ичида қандайдир сими узилган ёки контакти бузилган бўлсин. Натижада трубка ишга ярамай қолади, биринчи қарашда мутлоқо тузатиб бўлмайдиган нуқсонга дуч келинди, ҳақиқатан ҳам бузилиш шиша баллон ичида вакуумда рўй берган. Ҳеч қандай пайвандчи буни оддий усул билан тузатолмайди. Аммо шу ўринда лазер нури ёрдамга келади. Керакли жойга лазер нури йўналтириб, нури фокуслаб шиша баллон ичидаги зарур пайвандлашни амалга ошириш мумкин (3.30-расм).



3.30- расм. Электр лампочка толаларини лазер нури билан пайвандлаш.

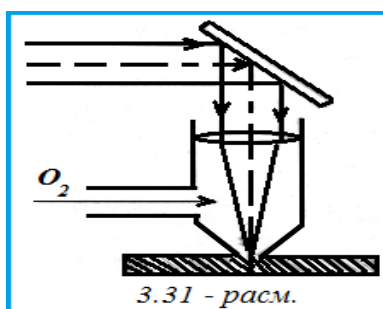
Бу ерда лазер нурининг бошқа усуллардан устунлик хусусияти - ёруғлик учун тиниқ бўлган тусиқлардан ўтиб ҳавоси сўриб олинган объектларда тузатиш ишларини амалга ошира олиши намоён бўлмоқда. Амалиётда микроэлектрониканинг у ёки бу элементларини инерт газ билан тўлдирилган камерада пайвандлаш имконияти катта қизиқиш туғдиради, чунки бу ҳолда оксидланиш реакциясининг олди олинади. Микроэлементларнинг ривожини микросхемаларни тайёрлаш технологияси билан чамбарчас боғлиқдир. Бунда лазер нуридан самарали фойдаланиш имконияти юқоридир. Даставвал, лазер нуридан фақат микро пайвандлашдагина фойдаланилган. Ёқутли лазер ёрдамида кремний пластинкаларининг контактлари пайвандланди, шунингдек, ингичка симларни юпқа плёнкаларга пайвандлаш ишлари амалга оширилди. Кейинчалик CO_2 - лазерлар ёрдамида микросхемаларнинг керакли таглигини тешишда фойдаланилди. Ҳозирги вақтда лазер нури схеманинг алоҳида қисмларини тайёрлашда ҳам юпқа плёнкали схемаларнинг параметрларини мослаштиришда ишлатилмоқда. Шунини таъкидлаш лозимки, ҳозирги вақтда лазер нури ёрдамида резистор, конденсатор, индуктивликлардан иборат плёнкали (пардали) схемалар тайёрланмоқда.

Микросхемаларни сиртига ишлов бериш учун мўлжалланган фото

шаблонларни ёки микросхема компонентларини тагликка пуркаш учун мўлжалланган шаблонни тайёрлашда ҳам лазер нуридан унумли фойдаланилмоқда. Юқорида кўрилган ҳолларда материал катта қувватли лазер билан буғлатилади. Фараз қилайлик, микросхеманинг диэлектрик таглигига юпқа металл плёнка (парда) пуркалган бўлсин. Парданинг сирти бўйлаб кўча оладиган фокусланган лазер нурини йўналтириб, шу пардани муайян қисмларини буғлантириш орқали микросхеманинг зарур бўлган “расми” ҳосил қилинади. Мисол тариқасида узлуксиз ишловчи лазер гранат-неодимли асосидаги муайян лазер қурилмасини келтирамиз. Лазер 400 нм/с частотали ёруғлик импульсларини мунтазам генерациялайди. Ҳар бир импульснинг давом этиш вақти 10^{-7} с, максимумдаги қуввати 1 кВт дир. Лазер нури шундай фокусланганки, унинг ҳосил қилган доғининг диаметри 10 мкм га тенг. Мазкур нур дастаси кўчиш чоғида металл пардада ингичка йўлчани буғлантиради. Лазер нури дастасининг кўчиш тезлиги 2 мм/с ни ташкил этади. Таглик сиртида ҳосил қилинган йўллар металлдан тўлиқ тозаланади. Лазер нури ёрдамида қирқиш ишларини ҳам кенг кўламда амалга ошириш мумкин. Мазкур нур воситасида амалда барча материаллар мармар, резина, пластмасса, керамика, ойна, тунука, ёғоч ва ҳоказолар қирқилади.

Қирқиш натижасида жуда мураккаб шаклдаги кесимларни ҳам катта аниқлик билан ҳосил қилинади. Бу нур ёрдамида кесганда материал алангаланмаслиги учун кесилган жой инерт газлар шарраси (оқими) билан совутиб турилади. Бунда кесилаётган жой эса текис, силлиқ, бўлиб чиқади. Шу билан бирга, кесимда узлуксиз импульслар генерацияловчи лазерлар ёки ёруғлик импульслари жуда катта частота билан кесмаслик мақсадга муфовиқдир. Нурланиш қуввати кесилладиган материалга ва унинг қалинлигига боғлиқдир. Масалан, қалинлиги 50 мм бўлган тахтани қирқиш учун қуввати 200 Вт ли CO_2 - лазерни қўлланилади, бунда кесимнинг кенглиги $0,7 \text{ мм}$ ни ташкил этади. Қалинлиги 10 мм ли ойнани қирқиш учун қувватлироқ

тахминан 20 кВт ли нурланиш талаб этилади. Металлни лазер нури билан қирқиш учун (агар кесилаётган материал кислород оқими билан совутилиб турилса) нурланиш қуввати $100 \div 150 \text{ Вт}$ атрофида бўлиши керак. Бу ҳолда газолазер қирқиш учун қўлланиладиган қурилманинг схемаси 3.31 - расмда кўрсатилган. Қирқиш учун лозим бўлган энергиянинг кўп қисми экзотермик реакция асосида амалга оширилади. Бундай реакция кислород билан



металлнинг ўзаро қирқишдаги таъсирлашувида юзага келади. Бунда иссиқлик металлни кислород оқимида ёнишида ажралади. Лазер билан қирқишда кислород оқими фақат лазер қувватига қўшимча энергия манбаи бўлибгина қолмай, балки қирқиш чуқурлигини ва тезлигини орттиради. Шу билан бир қаторда текис зиҳ олиш имконини беради (3.32- расм).



3.32- расм. Лазер нури ёрдамида металларни кесиш.

Лазер нуридан халқ хўжалигида қанчалик кенг фойдаланилаётганлигини намоиш қилиш учун қуйидаги икки мисолни кўрайлик.

Биринчидан, лазер нуридан тўқимачилик фабрикасида матоларни қирқиш ва бичишда фойдаланиш мумкин. Қурилма қуввати 60 Вт ли узлуксиз ишловчи CO_2 лазер, фокусловчи ва кўчирувчи система, ЭХМ ва матоларни таранглаш ва кўчириш системасидан иборатдир. Матоларни қирқиш жараёнида лазер нури мато сирти бўйлаб лазер 1 м/с гача бўлган тезлик билан кўчади. Фокусланган ёруғлик дастаси диаметри $0,2 \text{ мм}$ га тент. Лазер нури ва матони кўчиши ЭХМ ёрдамида бошқарилади. Қурилма ёрдамида 1 соат ичида 50 дона костюмли матони бичиш мумкин. Бунда бичиш жараёни фақат катта тезлик билан эмас, балки жуда катта аниқлик билан ҳам бажарилади. Шу билан бирга қирқилган матонинг зиҳи ҳам текис бўлади.

Иккинчидан, лазер нурининг авиация саноатида қўлланилиши хусусан, космик фазовий учувчи аппаратларни ишлаб чиқаришда улардан фойдаланилади. Лазер нури ёрдамида титан, пўлат, алюминий тахтачалари қирқилади. Қуввати 3 кВт бўлган узлуксиз генерацияловчи CO_2 - лазер қалинлиги 5 мм бўлган титан тахтасини $3,5 \text{ м/мин}$ тезлик билан, қалинлиги 50 мм бўлганда $0,5 \text{ м/мин}$ тезликда қирқади. Агар кислород оқимидан фойдаланилса, худди шу натижага қуввати $100 - 300 \text{ Вт}$ бўлган лазер билан ҳам эришиш мумкин.

Ҳозирги замон лазер технологиясини қандай тасаввур этиш мумкин? Ҳозирги замон лазер технологияси материалларни қирқиш, тешик ҳосил қилиш, пайвандлаш, тамғалаш каби материалларга турли ҳил ишлов бериш усуллари ўз ичига олади. Бу ерда ишлов бериладиган материалларнинг хилма - хиллигигина эмас, балки ишлов бериш жараёнларининг хилма-хиллиги ҳам ҳайрон қолдиради. Лазер нури билан амалда исталган материалга исталган тарзда ишлов берилиши мумкин.

Лазер пайвандлаш. Лазер пайвандлаш икки босқич орқали бажарилади. Дастлаб шишали неодим ва ёқутли қаттиқ жисмли импульсли лазерлар асосида нуқтавий пайвандлаш амалга оширилади. Узлуксиз нурланиш

берувчи ёки нурни тез такрорланувчи импульслар кетма-кетлиги тарзида нурланувчи катта қувватли CO_2 ва неодимли гранат лазерлар ихтиро этилгандан кейин материалнинг бир неча миллиметр чуқурликкача эриши билан борувчи пайванд чок усули ривожлана бошлади. Баъзан бунда пайвандлаш чуқурлиги сантиметргача етиши ҳам мумкин. Нуқтавий лазер пайвандлашга мисол қилиб, транзистор асосидаги никел контактни, никел қотишмасидан ясалган клеммага улашни, ингичка мис симларни бир - бирига ёки клеммаларга улашни ҳамда микро - электрон компонентларни ўзаро улашни келтириш мумкин.

Лазер пайванд чок қуввати $100Wm$ чамасидаги узлуксиз нурланишдан фойдаланиб герметизация (ҳаво ўтказмасдан) қилишда, газ турбиналарининг паррагига учлигини маҳкамлашда қўлланилади. Бунда пайвандлаш тезлиги минутига бир неча метрни ташкил қилган ҳолда, чок кенглиги эса $0,5$ мм гача тенг бўлади.

Ҳозирги вақтда нурланиш қуввати $1-10$ кВт бўлган нурланиш чок пайвандда қўлланила бошланди. Бунда пайвандланган чокнинг мустаҳкамлиги, чокнинг кенглиги материалнинг бир неча миллиметрни ташкил этса ҳам пайвандланаётган материалнинг мустаҳкамлигидан қолишмайди.

Автомобил кузовларини яшаш автоматик лазер пайвандлаш ёрдамида амалга оширилмоқда. Масалан, Россиядаги Лихачёв номидаги заводда 5 кВт ли CO_2 лазер қурилмаси ёрдамида автомобилнинг кардан валлари автоматик тарзда пайвандланиш йўлга қўйилган. Бунда валларнинг хизмат муддати уч маротабага ошган. Оддий шиша деталларни (бўлакларни) пайвандлашда қуввати 100 Вт бўлган кварцни пайвандлашда қуввати 300 Вт ли лазерлардан фойдаланилади.

Лазер ёрдамида термоишлов бериш. Лазер нури металл сиртига тушганда нур йўналган жойнинг сиртга яқин қатлами тез қизийди. Нур сиртнинг бошқа қисмига кўчирилиши биланоқ қизиган жой тез совийди. Бундай усулдан сиртий қатламларни тоблашда кенг фойдаланиб, у

металлнинг мустаҳкамлигини жуда ҳам оширади. Лазер тоблаш сиртни худди шу чекланган қисмини ёки ишланган деталнинг мустаҳкамлигини ошириш имконини беради. Шу мақсадда қилинган тоблаш машиналарни тез ишдан чиқадиган айрим қисмлари ёки унинг деталларининг мустаҳкамлигини ниҳоятда оширади. Лазер тоблаш - автомобил саноатида кенг қўлланилмоқда, жумладан, автомашина двигатели цилиндрининг бошчасидаги йўналтирувчи клапаннинг шестернялар (тишли ғилдираклар) ни тақсимловчи вални мустаҳкамлашда кенг қўлланилмоқда. Материаллар сиртининг мустаҳкамлигини ошириш учун лазер легирлаш усули қўлланилади. Ишлов берилаётган сиртга дастлаб кукун ҳолатидаги керакли модда бир текисда сочилади. Лазер нури таъсирида эрийди ва кукун билан деталл материалининг юпқа қатламда аралашуви рўй беради. Бундай термоишлов одатда 1 кВт узлуксиз генерацияловчи CO_2 - лазер ёрдамида амалга оширилади. Кейинги пайтда термоишлов бўйича янги лазер технологияси юзага келди. Бундай термоишлов жараёнларидан бири металлларни лазер ойналаштиришдир. Мазкур жараёнда металл сирти лазер билан қиздирилиб жуда тез совитилса, юпқа сирт олди аморф (ойнасимон) қатлам юзага келади. Бу қатлам катта мустаҳкамлиги ва занг - бардошлиги билан бошқалардан фарқ қилади. Металлда ойналаштиришнинг ҳосил бўлиши учун сирт совитилиши 10^8 град/с тезлик билан содир бўлиши керак.

Кетма - кет нур импульсларини генерацияловчи лазердан фойдаланиб, зарбавий тўлқинлар билан металл сиртини мустаҳкамлаш ҳам мумкин. Нурланиш интенсивлиги $10^9 \div 10^{10} \text{ Вт/с}$ бўлганда металл сиртида плазма қатлам ҳосил бўлади. Плазма лазер нурининг тарқалиши йўналишига тескари йўналишда тарқалади. Натижада зарбавий тўлқин ҳосил бўлади. Нур импульслар кетма-кетлигидан иборат бўлганлигидан, зарбавий тўлқинлар кетма - кетлиги вужудга келади. Ҳосил бўлган зарб тўлқин босимининг энг катта қиймати юз атмосфералар чамасида бўлади. Бу ҳолда металлдан

ясалган бирор деталлга тўлқиннинг таъсири худди совитилган металлга босим билан ишлов берилганига ўхшайди. Шундай қилиб, лазер технологиясининг қўлланилиши қўламаи жуда кенгдир. Бу технологияни қўйдаги қисмлардан иборат дейиш мумкин:

1. Ишлов берилаётган материалнинг хилма-хиллиги.
2. Материалларга катта тезлик билан ишлов бериш имкониятининг мавжудлиги.
3. Ишлов бериш жараёнининг автоматлаштириш имкониятининг юқори эканлиги ва шу сабабли меҳнат унумдорлигининг ниҳоятда ортиши.
4. Ишлов бериш сифати ниҳоятда юқори эканлиги ва ишлов берилаётган сиртнинг ифлосмаслиги.
5. Материалларга маълум масофадан туриб ишлов бериш имконияти мавжудлиги ва бошқалар.

Лазерларнинг қишлоқ хўжалигида қўлланилиши

Лазер нурланишининг хусусиятларидан қишлоқ хўжалигида ҳам кенг қўлланилмоқда. Когерент нурланиш биологик жараёнларни тезлатиш хусусиятига эга эканлигидан фойдаланиб турли ўсимликларнинг уруғларига экишдан олдин лазер нурланиши билан таъсир этиш йўлга қўйилди. Қишлоқ хўжалигида лазер нурланишини қўллаш бир неча йўналиш бўйлаб ривожланмоқда: ўсимлик уруғларини экишдан олдин лазер нурланиши билан ишлаш, ўсимликларнинг ўсиш жараёнини, экилишини аэрокосмик усул билан аниқлаб тузиш, тайёр маҳсулотларнинг сифатини лазер нурланиши воситасида назорат қилиш, об - ҳаво шароитларини олдиндан тадқиқ қилиш ва ҳақозо.

Буғдойни экишдан олдин лазер нурланиши билан ишлашнинг хўжаликларидида қўлланилиши ҳосилдорликни *10 %* дан *21 %* гача ошганини кўрсатди. Буғдойни экишдан олдин лазер нурланиши билан ишлаш учун “*Львов - 1*” қурилмасидан фойдаланилди. Мазкур қурилмада гелий - неон ва аргон

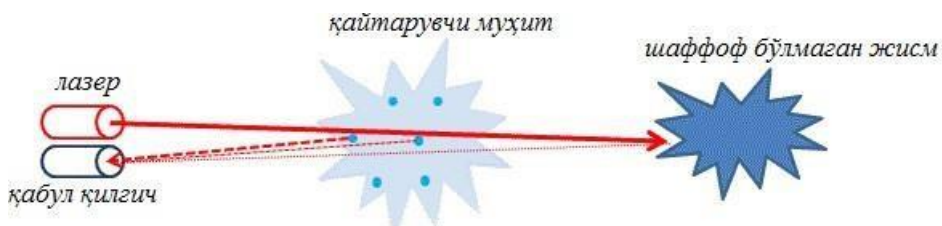
лазерларининг нурланишидан фойдаланилган. Қурилма бир соатда етти тонна донни ишлаш имкониятини беради ва фақат бир киши томонидан бошқарилади. Донни лазер нурланиши билан ишлаш унинг биологик фаоллигини оширди. Худди шундай тадқиқотлар

Ўзбекистон Фанлар академиясининг тажрибаал биология институтида пахта чигити устида олиб борилиб, пахта ҳосилдорлигини 10 % - 12 % га ошишига олиб келди.

Ўсимликлар экилган майдонларни самолётдан туриб лазер нурланиши воситасида назорат қилиш, ўсимликлардан қайтган нурланиш хусусиятларига асосланган ҳолда, экинларнинг ёввойи ўтлар билан зарарланганини, ўсимлик баргларида хлорофилнинг миқдорини, ўсимлик массасининг етилиш даражасини, сувга муҳтожлигини, ҳосилдорлигини аниқлаш имконини берди. Бундай тадқиқотлар учун махсус қурилмалар - лидарлар яратилди. *Лидар* - лазер локатори бўлиб, атроф муҳитни лазер нурланиши воситаси ёрдамида назорат қилиш имконини беради. Лазер узатувчи, қабул қилувчи ва информацияни ишловчи ва таҳлил қилувчи қисмлардан тузилган бўлиб қуйидагича ишлайди. Импульс маромида ишловчи лазер нурланиши кузатилаётган майдонга йўналтирилади. Лазер нурланишини ютган ўсимликда флуоресценция ҳодисаси - ўсимликнинг нурланиш таъсирида қисқа вақт давомида ривожланиши рўй беради.

Флуоресценция нурланишининг спектри, кутбланиши, рўй бериш тезлиги ўсимлик таркибидаги органик моддалар эритмаларининг концентрациясига, улардаги люминесценция марказларига боғлиқ бўлади. Ўсимлик флуоресценциянинг интенсивлиги, тўлқин узунлиги, спектри, бир неча метргача бўлган оптик телескоплар ёрдамида қабул қилинади. Мазкур оптик сигнали фотоэлектрон кўпайтиргичларга тушиб электр сигнаliga айлантирилади. Олинган электр сигналлари ЭҲМ билан таъминланган анализаторда ишланади. Олинган маълумотга асосланиб, ўсимликнинг ҳолати ҳақида маълумот олинади. Лидарнинг ишлаш тамойили 3.33 - рамда

келтирилган.



объектгача бўлган масофа	1 м	10 м	100 м	1 км	10 км	100 км
нурнинг ҳаракатланиш вақти	0,0067 мкс	0,067 мкс	0,67 мкс	6,7 мкс	67 мкс	670 мкс

3.33- расм. Лидарнинг ишлаш тамойили.

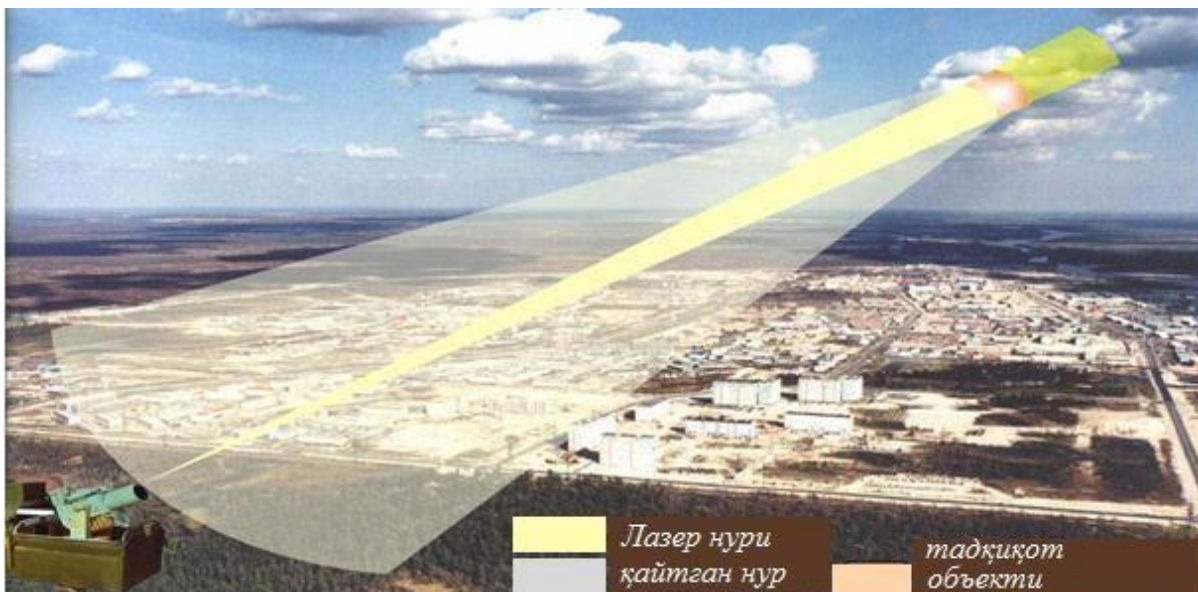
Лазер нурланиши ўсимликларда рўй берувчи фотосинтез ходисаларини ўрганишга асос солди. Фотосинтез - ёруғлик таъсирида ўсимлик баргларида, денгиз ўтларида, баъзи бактерияларда рўй берувчи мураккаб биологик жараёнлар. Фотосинтез хлорофил молекулалари, пигментлар томонидан ёруғликни ютишдан бошланади. Кейин ютилган энергия таъсир марказлари деб аталувчи марказга узатилиб, у ерда зарядларнинг ажралиши таъсирида оксидланиш - қайтарилиш реакциялари учун замин яратилади. Бу жараёнлар

$10^{-9} \div 10^{-12}$ с давомида содир бўлгани учун лазерлар кашф этилгунча, буларни ўрганиш имкони йўқ эди. Фотосинтез жараёнларини тадқиқ қилиш учун лазер спектрофлуорометри яратилган. Унинг ёрдамида таъсир марказларининг тузилиши, фотосинтезнинг ўткинчи ҳолатларни ёруғликнинг ютилиш жараёнларини тадқиқ қилинди.

Лазер нури ёрдамида айрим жараёнларни назорат қилиш

Лазерлардан фақат ўсимликларнигина эмас, атмосферани ҳам тадқиқ қилишда фойдаланилади. Атмосферани лазер ёрдамида тадқиқ қилиш қуйидаги расмда кўрсатилган (3.34- расм). Лазер нурланиши тадқиқ қилинаётган соҳага йўналтириб, фотоқабулқилгич ёрдамида бу соҳадан сочилган нурланишни қабул қилиб олинади. Қайтган нурланишнинг спектрал таркибига қараб атмосферада мавжуд бирикмаларнинг

концентрациясини аниқлаш мумкин. Атмосферани ифлослантйрувчи кимёвий бирикмаларни аниқлаш учун ёруғликни комбинацион сочилиши ходисасидан фойдаланилади. Маълумки, атом ва молекулалар тебранма ҳаракатда бўлиб, тебраниш частоталари кимёвий бирикма учун хосдир.

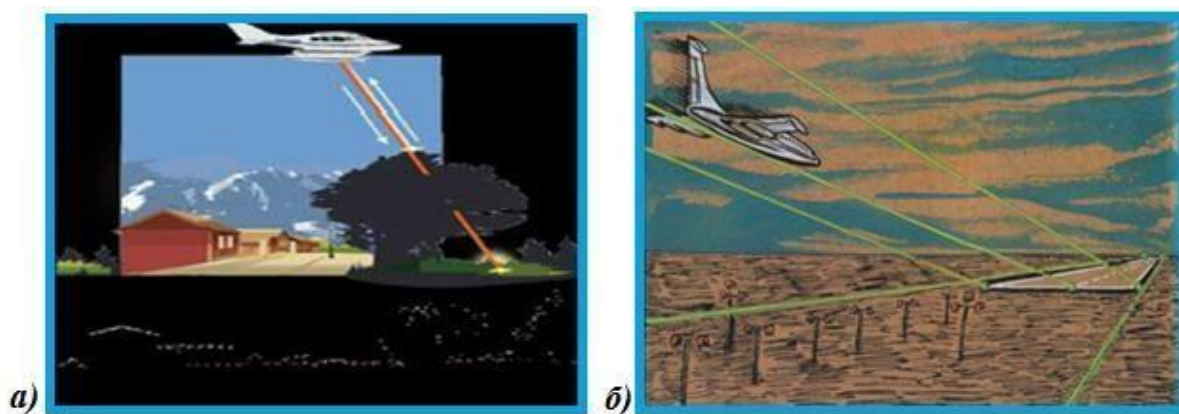


3.34- расм. Лазер ёрдамида атмосферани тадқиқ қилиши.

Энг содда, икки атомли молекула учун бир тебраниш частотасига эга бўлади. Бундай молекулаларнинг нурланиш частотаси $\nu - \nu_m$ ёки $\nu + \nu_m$ қийматга эга бўлиши мумкин. Бу ҳодиса ёруғликнинг комбинацион сочилиши дейилади. Масалан, атмосферага тўлқин узунлиги $\lambda = 694 \text{ нм}$ бўлган нурланиш йўналтирилганда сочилган нурланишда тўлқин узунликлари $\lambda = 798 \text{ нм}$ ва $\lambda = 785 \text{ нм}$ бўлган нурланиш кузатилган бўлсин. Тўлқин узунликларининг силжиши $\lambda = 798 - 694 = 104 \text{ нм}$, $\lambda = 785 - 694 = 91 \text{ нм}$ атмосферада CO ва NO молекулалари мавжудлигидан далолат беради.

Атмосферадаги газларнинг таркибини ўрганиш учун одатда ёкут лазери нурланишининг иккинчи гармоникаси $\lambda = 347 \text{ нм}$ қўлланилади. Лазер нурланишини ютган молекулалар, лазер нурланиши частотасидан фарқли бўлган кичик частотада нур чиқаради. Люминесенция нурланиши частотаси мазкур бирикма учун аниқ қийматларга эга. Люминесенция нурланишининг

спектрал таркибини ўрганиб, атмосферадаги бирикмаларнинг концентрацияси аниқланади. Лазер метеорологияда температура, намлик, зичлик, шамолнинг тезлиги ва йўналишини аниқлашда катта аҳамиятга эга, чунки улар ёрдамида узоқдан туриб керакли соҳадаги катталиклар ўлчаб олинади. Лазер нурланишининг қатъий йўналганлигидан Марс ва Венерани ҳамда самолётларни радиолокация қилишда фойдаланилади (3.35 а - расм). Қўниш олдидан лазердан фойдаланиш самолёт учун об-ҳаво ёмон пайтларида қўл келади, чунки самолёт қўниш чоғида траектория бўйлаб силкинишлар бўлиши кузатилади. Лазер нурлари эса учувчига қўниш йўлакчасини аниқ кўришга ёрдам беради (3.35 б - расм). Шунингдек, лазер нуридан экологияда фойдаланилади. Рангли лазерлар атмосфера ҳолатини кузатишга имкон беради. Ривожланиб бораётган мамлакатлар осмонида йиғилиб қолган чанг, тутунларга лазерлар тушганда лазерларнинг ранги кўринади. Ифлосланиш даражасини лазерларнинг нури рангидан ажратиш олиш мумкин бўлади. Тоза ҳавода лазер нурлари ранги кўринмайди (3.26-расм). Ҳозирги вақтда микроэлектроника соҳасида ҳам лазерлар қўлланилмоқда. Жумладан, лазер дискларга ахборотни ёзиш ва уни қайта тиклашга оид техник қурилмалар яратилган (3.37- расм).



3.35- расм.а) Лазер нури ёрдамида самолётнинг учуш баландлигини аниқлаш.

б) Лазер нури ёрдамида самолётни қўндириш.



3.36 – расм. Экологияда лазер нуридан фойдаланиш.



3.37- расм. Радиотехникада лазерлардан фойдаланиш.

2.3. ЛАЗЕРЛАР ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИДА ДОЛЗАРБ ЗАМОНАВИЙ ТАДҚИҚОТЛАР ЙЎНАЛИШЛАРИ

Бугунги кунда жаҳонда спектрнинг яқин инфрақизил соҳасида (1,0 – 1,8 мкм) жуда кам оптик йўқотишлар ва минимал дисперсия билан характерланадиган эритилган кварц асосидаги замонавий оптик нуртола (оптик тола) лар ва улар асосида тезлиги 1Тбит/с дан юқори бўлган янги оптик ахборот узатиш тизимлар ишлаб чиқиш имконини бермоқда. Бу эса ўз навбатида ахборот-коммуникация ва ҳисоблаш тизимлари тезкорлиги ва самарадорлигини сифат жиҳатидан ошириш учун ноёб имкониятларни очди. Шу жумладан, оптик нуртолаларнинг ўзига хос геометрияси, ёруғликнинг 1 кмгача ва ундан кўп тарқалиш узунлиги давомида оптик нуртола ўзагининг ~5 мкмли соҳасида жамланганлиги, бу каби муҳитларда ёруғлик нурланишларининг ночизиқли ўзаро таъсирлашуви ва ўзгаришлари учун қулай шароитлар яратади.

Ҳозирги вақтда дунёнинг нуфузли илмий марказларида юқоридаги ҳолатни ҳисобга олган ҳолда, бу каби оптик нуртолаларнинг оптик ва ночизиқли-оптик хоссаларини ўрганишга катта эътибор қаратилмоқда. Турли хил оптик нуртолалар ва нуртолали интерферометрлар ишлаб чиқилган бўлиб, улар ёруғлик тўлқинларининг турли тўлқин узунликда тарқалишининг тўлқинли режимини назорат қилиш, шунингдек юқори интенсивликли лазер нурланишларининг бу каби тўлқинли муҳит билан ночизиқли ўзаро таъсир интенсивлигини бошқариш имконини беради. Шундай қилиб, юқори самарали ва кам йўқотишларга эга турли хил оптик нуртолали функционал қурилмалар яратишда (тармоқлагичлар, спектрал филтрлар ва б.) ҳамда оптик алоқа ва маълумотларни қайта ишлаш тизимлари учун нурланиш манбаларини яратишнинг янги физик принципларини ишлаб чиқиш ва ночизиқли хоссаларини тадқиқ этиш бу соҳанинг долзарб муаммоларидан биридир.

Ўзбекистон Республикасида сўнгги йилларда физиканинг долзарб

муаммоларидан бирига айланган лазер нурланишларининг оптик нуртолалар билан ўзаро таъсирларини тадқиқ этиш ва у асосида турли оптик тизимлар ҳамда бошқа спектроскопик мақсадларда қўллаш учун нурланишнинг юқори самарали ўзгартиргичларини яратиш борасида жадал илмий тадқиқот ва инновацион ишлар олиб борилмоқда. Хусусан, ташқи физик майдонлар таъсирига сезгир ва белгиланган спектрал хусусиятларга эга ёруғлик тўлқинларини шакллантириш имконини берувчи толали интерферометрларнинг яратилиши бир қатор тадқиқотлар мавзусига айланди. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида илмий-тадқиқот ва инновацион фаолиятларни рағбатлантириш, илмий-инновацион ютуқларни амалиётга татбиқ этишнинг самарали механизмларини ишлаб чиқиш вазифалари кўрсатиб ўтилган. Шунга кўра ахборот-коммуникацион тизимлар ва технологиялар элементлар базасини ривожлантириш ҳамда самарадорлик ва юқори тезлик кўрсаткичлари бўйича рақобатбардош нуртолали структураларни яратиш бу соҳадаги муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Мазкур йўналишдаги тадқиқотлар республика фан ва технологиялари ривожланишининг: III. «Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника ва электрон асбобсозлиги ривожланиши» ва II. «Физика, астрономия, энергетика ва машинасозлик» устувор йўналишларига киритилган ва Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида олиб борилмоқда.

Оптик нуртолаларнинг ноёб физик ва тўлқин хоссалари уларни нафақат ёруғлик узатувчилари сифатида, балки лазер нурланишлари параметрларини ўзгартиришда қўллаш борасида ҳам кенг қамровли изланишлар олиб боришга туртки берди. Бир қатор ҳалқаро илмий марказларда оптик алоқа ва маълумотларни қайта ишлаш тизимларида қўллаш учун лазер нурланиши ночизикли ўзгаришлари физик хоссаларини аниқлаш ва у асосида янги авлод нурланиш манбаларини яратиш мақсадида

турли хил оптик толалар ва толали интерферометрларнинг тўлқин ва ночизиқли-оптик хоссалари ўрганилган. Россиялик олимлар академик Е.М. Дианов, А.Я. Карасик, П.В. Мамишев, О.Г. Охотников ҳамда Республикамиз олимлари М.А. Касимджанов, С.А. Бахрамов, Э.А. Захидов ва бошқаларнинг ишларида мазкур масалалар тадқиқ этилган.

Ҳозирги кунда оптик нуртолада лазер нурланишининг тарқалиши ва ўзаро таъсир жараёнининг характеристикаларини ҳамда нуртолада ночизиқли-оптик жараёнлар натижасида генерацияланадиган нурланишлар спектрал-вақтий параметрларини баҳоловчи оптик нур толаларнинг бир қатор таянч физик хоссалари аниқланган.

Оптик нуртолалар ёрдамида белгиланган спектрал-кинетик характеристикаларга эга нурланиш олиш ва нуртолали интерферометрлар ёрдамида бу каби нурланишларни спектрал филтрлаш усуллари ҳам долзарб масалалардан биридир. Ушбу йўналишда Ўзбекистон Республикаси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида бир қатор назарий ва амалий натижалар олинди [27-35]. Хусусан, нуртолали ҳалқа орқали ёруғлик континуумлари ўта қисқа импульсларининг чизиқли ва ночизиқли ўтиш режимлари, ҳалқа ўтказиш ва қайтариш коэффицентларининг нурланиш тўлқин узунлиги ва қувватига боғлиқлиги, нуртолали ҳалқада ўтувчи нурланишнинг тармоқланиш коэффиценти ва қувватини танлаш орқали нурланиш ўта қисқа импульсларининг (ўтиш ва қайтиш каналлари орасида) юқори самарали ўзказилиши имкониятлари (кучсиз-ассиметрик тармоқлагичли 2 м узунликдаги ҳалқада 950 Вт қувватда ўтказилишнинг максимал даражаси – 10 га эришилган), иккиланган нуртолали ҳалқадан ўтувчи ёруғлик континуумининг ҳалқанинг икки тармоқлагичлари тўлқин хоссалари ва нурланиш қувватига боғлиқ бўлмаган ҳолда ўтиш ва қайтиш каналлари орасида симметрик (0,5/0,5) бўлиниши ва амалий аҳамияти, нуртоланинг унча катта бўлмаган қисмида ёруғлик ўтказувчи ўзакларни эритиб ва чўзиб яқинлаштириш орқали шакллантириладиган икки ўзакли нуртоладан

нуртолали тармоқлагич ишлаб чиқилган ва икки ўзақли нуртоладан ясалган нуртолали тармоқлагичда нурланишнинг тор полосасини шакллантириш ёки 1 нм гача кенгликка эга спектр бўйича модуляцияланган нурланиш ҳосил қилиш орқали ёруғлик континуумларини спектрал филтрлаш имкониятлари кўрсатилган.

Ютиш самарадорлигини ошириш, нурнинг лазер фаол элементдан кўп марталаб ўтишни таъминлаш усуллари орқали қуёш нури билан лазерларни оптик дамлашнинг оптимал усулларини ишлаб чиқиш лазер технологиясида ўта муҳим ҳисобланади. Шу нуқтаи назардан юқорида келтирилган институтда;

дамлаш самарадорлигини ошириш мақсадида композит фаол элементда дамлаш энергиясининг иккиламчи концентрациясига эга бўлган лазер схемалари моделини ишлаб чиқиш;

генерация порогини пасайтириш мақсадида церийни ички сенсбилизатор сифатида Nd:YAG киритиш асосидаги лазерлар моделини ишлаб чиқиш;

Cr:LiCAF кристаллидан қуёш спектри частотасини ўзгартирувчи ташқи элемент (сенсбилизатор) сифатида фойдаланилган Nd: YAG лазерларининг имкониятларини тадқиқ этиш;

фаол муҳит лазер характеристикаларининг концентрацияга боғлиқлигини инобатга олган ҳолда, YAG/Nd:YAG диск кўринишидаги композит керамик фаол элементли қуёш лазерлари қувватини ошириш имкониятлари тадқиқ этиш;

Nd:Cr:GSGG кристаллида қуёш ёрдамида оптик дамланадиган ва фаол элементдан иссиқлик самарали олиб ташланадиган лазер схемаларини тадқиқ этиш;

генераци порогини пасайтириш мақсадида бўйлама оптик дамлашли $Ti^{3+}:Al_2O_3$ лазерининг оптимал геометриясини тадқиқ этиш;

Nd:YAG кристаллига Ce^{3+} ионларини киритиш (легирлаш) қуёш ёрдамида дамланадиган лазер генерациясининг хусусиятларига қандай

таъсир этишини тадқиқ этиш;

қуёш ёрдамида дамланадиган қаттиқ жисмли лазер резонаторида иссиқлик майдонлари ва иссиқлик кучланишларини ҳисоблаш учун дастурий код ишлаб чиқиш вазифалари самарали амалга оширилди.

Тадқиқотнинг объекти сифатида қуёш ёрдамида оптик дамланадиган қаттиқ жисмли лазерлар, лазер фаол элементлари, қуёш нури тўлқинузунлигини ўзгартириб берувчи материаллар (сенсублизаторлар) ва лазер резонаторлари схемаси танланган.

Қуёш ёрдамида дамланадиган лазерлар резонаторида содир бўладиган физик жараёнлар, айнан бир неча марта такрорланадиган қайтиш, синиш, ютилиш, фотонлар люминесценцияси, энергиянинг сенсублизатор ионларидан актив ионларга узатилиши масалалари [35] ўз ечимини топди.

Лазер тизимида содир бўладиган жараёнларни фаол муҳитларнинг спектрал характеристикаларини, лазер тизими компонентларини ва қуёш нури спектрини инобатга олган ҳолда моделлаш усули тадқиқ этилди. Моделлаш қуёш нури таркибидаги алоҳида фотонни тасодифий параметрларнинг Монте-Карло усули билан кузатишга асосланган.

Олиб борилган тадқиқотлар қуйидаги натижаларни берди:

қуёш нурининг фаол элементдан кўп маротаба ўтишини инобатга олиб Nd:YAG қуёш лазерини дамлашнинг янги схемаси таклиф этилди ва ишлаб чиқилди. Таклиф этилган схемага кўра оптик дамлашда анъанавий усулга кўра дамлашдагига нисбатан икки баробар юқори самарадорликка эришиш мумкинлиги кўрсатилди;

бир неча бор такрорланадиган қайтиш, синиш, ютилиш, фотолюминесценция жараёнларини, одатда ишлатилинадиган фотонлар пакети ўрнига алоҳида олинган фотонни оғирлик факторисиз таъқиб қилишга асосланган моделлаштиришнинг универсал услуги

ишлаб чиқилди;

Ўзига хос кўринишдаги шакли туфайли, фаол элементда қуёш нуруни қўшимча концентрация қила олиш хусусиятига эга бўлган александрит кристалли асосидаги қуёш лазери ҳисоблаб чиқилди. Юқорида қайд этилган лазер қуёш нуруни фаол ўзгартиришнинг умумий қийматини 15% етказиш имконини беради;

компьютер симуляцияси усули орқали қуёш билан оптик дамланадиган лазерларда энергия узатиш ва сенсбилизациянинг янги модели таклиф қилинди. Биринчи марта, Nd:YAG кристаллига Ce^{3+} ионларини киритиш порог қувватини 1.7 баробар камайтириши, лазернинг дифференциал самарадорлигини икки баробар ошириши ва мос равишда лазернинг чиқиш қисмидаги қувватини икки баробар ортишига олиб келиши кўрсатилди;

кўндаланг дамлашли лазер тизимида Cr:LiCAFдан қуёш спектри частотасини ўзгартирувчи сифатида фойдаланиш лазер самарадорлигининг сезиларли даражада ошишига имкон бериши кўрсатилди. Nd:YAG лазерларида бу самарадорлик 26 %, Ce:Nd:YAG лазерларида 33 % гачани бўлган қийматни ташкил этиши мумкин;

YAG керамик материалларда неодим концентрациясининг қуёш билан ишлайдиган лазерлар самарадорлигига боғлиқлиги тадқиқ этилди. Nd:YAG керамик лазерларида юқори даражадаги неодим концентрацияси қуёш энергиясини лазер энергиясига айлантириш самарадорлигининг ортишигаолиб келиши, неодим концентрацияси юқори даражада бўлган Nd:Ce:YAG керамик материалдан фойдаланиш эса Nd:YAG керамик

лазеридаги самарадорликни тахминан икки баробарга ошириши кўрсатилди. Бундан ташқари, материаллардаги неодим концентрацияси шундай чегаравий қийматга эгаки, унинг бу чегаравий қийматдан ортиши лазер самарадорлигининг пасайишига олиб келади;

Nd:Cr:GSGG материалининг жуда паст иссиқлик ўтказувчанлик

хусусиятига эга эканлигига қарамай, ушбу материалдан тайёрланган актив элемент асосида юқори самарадорликка эга бўлган қуёш лазерини яратиш мумкинлиги кўрсатилди. Лазернинг шундай конфигурацияси яратилдики, бу конфигурация лазер қуввати бўйича ҳозирги вақтда эришилган рекорд кўрсаткичларни 3-4 баробар ошириш имконини беради;

биринчи марта $Ti^{3+}:Al_2O_3$ актив элементи базасида қуёш энергиясини лазер нури энергиясига айлантириш имконияти тадқиқ этилди. Концентрацияланган қуёш нури ёрдамида бўйлама оптик дамлашда кристалл ўлчамларининг оптимал геометриясини танлаш орқали генерация порогини пасайтириш имкониятининг мавжудлиги кўрсатилди;

Ce:Nd:YAG асосида қуёш билан ишлайдиган лазернинг янги самарадор схемаси таклиф этилди. Биринчи марта, Nd:YAG ўрнига Ce:Nd:YAG дан фойдаланиш бўйлама дамлашда самарадорликни 19% ошириши кўрсатилди;

биринчи марта титан-сапфирдан (Ti:Sapphire) қуёш спектри частотасини қоплаш учун ташқи сенсibiliзатор сифатида фойдаланиш таклифи киритилди. Титан-сапфирдан (Ti:Sapphire) ташқи сенсibiliзатор сифатида фойдаланиш Nd:YAG лазерларида оптик дамлаш самарадорлигининг икки баробар ортишига олиб келиши кўрсатилди;

биринчи марта Александрит ($Cr^{3+}:BeAl_2O_4$) ни температура назоратили ташқи сенсibiliзатор сифатида фойдаланиш таклифи киритилди. Александритни кўндаланг дамламали лазер таркибида ишлатилганида Nd:YAG лазерни дамлаш самарадорлигини беш бараваргача ошириш имконияти кўрсатиб берилди.

Қуёш нури ёрдамида оптик дамланадиган лазерлардаги физик жараёнлар учун ишлаб чиқилган компьютер моделларидан, қуёш ёрдамида шунингдек, лампа ёрдамида ва светдиодли оптик

дамланадиган янги лазерни яратишда ҳамда янги лазер технологияларини ишлаб чиқишда фойдаланиш мумкин. Таклиф этилган қуёш нури спектри частотасини ташқи қайта ўзгартиргичларга, оптик дамлашнинг кўп мартаба ўтишли схемасига асосланган ёндашувлар, ҳамда таклиф этилган бошқа схема ёндашувлар ўзгартириш самарадорлиги юқори бўлган янги қуёш лазерларини яратиш учун кенг имкониятлар очиб беради.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти шундаки, мазкур тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти, қуёш лазерларини кўндаланг оптик дамлашда янги ёндашув қуёш нури спектри частотасини ташқи қайта ўзгартиргичлардан фойдаланиш таклифи киритилганлигида ва қуёш билан оптик дамланадиган лазер симуляция моделидан назарий ва амалий тадқиқотлар ўтказиш учун фойдаланиш мумкинлигида.

Таклиф этилган моделлар, оптик дамлаш схемалари ва бошқа назарий ва техник ечимлардан қуёш энергиясини лазер энергиясига айлантириб берувчи юқори самарадорликка эга бўлган лазерларни яратишда фойдаланиш мумкин.

Юқорида қайд этилганидек, Ўзбекистон Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида олиб борилган илмий тадқиқотлар натижалари бир қатор нуфузли халқаро ва маҳаллий журналларда чоп этилган мақолалар ва диссертация ишлари ҳимоясида ўз аксини топган [27-35].

ХУЛОСА

Лазерлар замонавий илм-фаннинг энг кучли воситаларидан биридир. Уларни қўллашнинг барча соҳаларини санаб бўлмайди, чунки лазерлар учун ҳар куни янги вазифалар пайдо бўлмоқда. Ушбу ўқув услубий қўлланмада лазерлар ҳақида умумий тушунчалар қаторида, лазерларнинг асосий турлари ва уларнинг ишлаш тамойиллари, қўлланилиш соҳалари ва ҳозирги кунда лазер физикасидаги замонавий тадқиқотлар йўналишлари баён этилди. Бунда саноат, тиббиёт, алоқа, ахборот технологиялари, қишлоқ хўжалиги ва илм-фан каби йирик тармоқлар қамраб олинган. Лазерларнинг когерентлик, монохроматиклик, юқори энергия зичлиги каби сифатлари улар ёрдамида мураккаб технологик операцияларни бажаришга имкон беради. Бир сўз билан айтганда, лазерлар - бизнинг ҳаётимизда мустаҳкам ўрин олган келажак воситасидир.

Ўқув услубий қўлланмада лазер нурланиши, унинг физик асослари, лазер нурланиши генерацияси, лазер нурланишининг моддаларга таъсири, турли мақсадлар учун яратилган лазер қурилмалар ва уларнинг амалиётда қўлланилиши ҳақидаги билимлар бойитилди ва чуқурлаштирилди.

Лазер физикасидаги долзарб замонавий тадқиқотлар йўналишларига доир маълумотлар мавзу ва имконият доирасида тизимлаштирилди ва такомиллаштирилди, хусусан,

- лазерларни ҳосил қилишнинг назарий асослари;
- лазер нурланишининг характеристикалари;
- лазерларнинг асосий турлари ва уларни таснифлаш усуллари;
- турли соҳаларда қўлланилаётган лазер қурилмалари;
- ҳозирги кунда лазер физикасида олиб борилаётган замонавий илмий-амалий тадқиқотлар;
- лазер физикаси ва лазер технологиялари ривожланишида кутилаётган тенденциялар;

- физика, техника ва технология соҳаларида илмий тадқиқот ва амалий ишларни олиб бориш учун зарур бўлган, лазер нурланишининг моддаларга таъсири қонуниятларига доир махсус билимларни эгаллаш каби компетенцияларни шакллантириш ва ушбу соҳага қизиқишларини оширишда университет талаба ва магистрлари, профессор- ўқитувчилари учун фойдаланишда янги ўқув-услубий манба яратилди.

Ўқув услубий қўлланманинг лазерларнинг амалий аҳамиятига тегишли қисмларини умумий ўрта таълим мактаблари юқори синфлар ўқитувчи ва ўқувчилари ҳамда техника йўналишидаги касб-ҳунар коллежлари, техникумлар учун факультатив соатларда ёки физика фани чуқурлаштириб ўқитиладиган мактабларда услубий манба сифатида фойдаланиш мумкин.

Хулоса сифатида яна шуни алоҳида қайд этиш керакки, Ўзбекистонда лазер физикаси ва лазер технологиялари соҳасида олиб борилаётган илмий амалий тадқиқотлар кўлами, уларнинг амалиётга жорий этишилиши борасида Ўзбекистон Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг алоҳида ўрни, нуфузи ва даражаси жуда юқори деб ҳисоблайман.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Maiman, T.H. Stimulated optical radiation in ruby / T.H. Maiman // Nature. – 1960. – Vol. 187. – P. 493–494.
2. Ш.М. Содиқова, Ш.О. Отажонов, М. Қурбонов. Лазерлар ва уларнинг амалиётдаги ўрни. Ўқув-услубий қўлланма. Тошкент. 2018 й. 214 б.
3. М.М. Мириноятв. Лазерлар физикаси ва техникаси. Тошкент. “Университет”. 2012 й. 92 б.
4. *Собрание статей Альберта Эйнштейна, том 6, Берлинские годы: сочинения, 1914-1917 гг.* Редакторы: АJ Кох et al. ISBN 0-691-01086-2, 1996.
5. Javan, A. Population Inversion and Continuous Optical Maser Oscillation in a Gas Discharge Containing a He-Ne Mixture / A. Javan, D.R. Herriott and W.R. Bennett // Physical Review Letters – 1961. – Vol. 6. – Issue 1. – P. 106–110.
6. Тарасов, Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения / Л.В. Тарасов. – М. : Радио и связь, 1981. – 440 с.
7. Звелто, О. Принципы лазеров / О. Звелто. – М. : Мир, 1990. – 558 с.
8. Мэйтленд, А. Введение в физику лазеров / А. Мэйтленд, М. Дан. – М. : Наука, 1978. – 407 с.
9. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М. : Наука, 1973. – 720с.
10. Зайдель, А.Н. Техника и практика спектроскопии / А.Н. Зайдель, Островская, Ю.И. Островский. – М. : Наука, 1972. – 376 с.
11. Турро Н. Молекулярная фотохимия / Н. Турро. – М. : Мир, 1967.

12. Handy D.E., Loscalzo J. Redox Regulation of Mitochondrial Function Antioxidants & Re-dox signaling. – 2012. – Vol. 16. – № 11. – P. 1323–1367.
13. Burkard Hillebrands, Kamel Ounadjela Spin Dynamics in Confined Magnetic Structures II. Topics in Applied Physics. Volume 87, 2003. DOI 10.1007/3-540-46097-7
14. Gilbert S.L. and Wieman C.E. Laser Cooling and Trapping for the Masses // Optics and Photonics News. – 1993. – № 4. – P. 8–14.
15. Goebel D.M., Campbell G. and Conn R.W. / Plasma surface interaction experimental facility (PISCES) for materials and edge physics studies // Nucl. Mater. – 1984. – № 121. – P. 277–282.
16. Hocheng H., Tseng C. Mechanical and optical design for assembly of vascular endothelial cells using laser guidance and tweezers // Optics Communications. – 2008. – № 281. – P. 4435–4441.
17. Kikuchi M. The Influence of Laser Heat Treatment Technique on Mechanical Properties // Proceedings of the Materials Processing Conference-ICALEO, LIA, 1981.
18. Kah, P., Salminen, A., Martikainen, J. The effect of the relative location of laser beam with arc in different hybrid welding processes // Mechanika. – 2010. – № 3(83). – P. 68–74.
19. Cary, Howard B. and Scott C. Helzer. Modern Welding Technology. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, 2005.
20. Stribling J. B. & Davie S.R. Design of an environmental monitoring programme for the Lake Allatoona // Upper Etowah river watershed.»

Proceedings of the 2005 Georgia Water Re-sources Conference, April 25–27, 2005.

21. Александров М. Т. Лазерная клиническая биофотометрия (теория, эксперимент, практика) / М. Т. Александров. – М., 2008. – 584 с.
22. Клебанов Ю. Д. Физические основы применения концентрированных потоков энергии в технологиях обработки материалов : учеб. / Ю. Д. Клебанов, С. Н. Григорьев. – М., 2005. – 220 с.
23. Крюков П. Г. Лазеры ультракоротких импульсов и их применения / П. Г. Крюков. – Долгопрудный, 2012. – 248 с.
24. Технология лазерной обработки конструкционных и инструментальных материалов в авиадвигателестроении : учеб. пособие / Р. Р. Латыпов [и др.]. – М., 2007. – 234 с.
25. Ципенюк Ю. М. Фундаментальные и прикладные исследования на микротроне / Ю. М. Ципенюк. – М., 2009. – 424 с.
26. Айхлер Ю., Айхлер Г.И., Лазеры. Исполнение, управление, применение. -М.: Изд-в– Техносфера, 2008.- 442 с.
27. Тажибаев И.И. Спектрнинг кўринари ва яқин ИҚ соҳаларидаги лазер нурланиши параметрларини қайта ўзгартиришнинг интерференцион нуртолали оптик тизимлари. Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси. Тошкент, 2019 й., 116 б.
28. Захидов Э.А., Коххаров А.М., Миртаджиев Ф.М., Нематов Ш.К., Тажибаев И.И., Трунилина О.В., Ярбеков А.Э. Переключение сверхкороткого широкополосного излучения в волоконно-оптической петле // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2012. – Том.14, – №5-6, с.326-334 (01.00.00, №5).
29. Zakhidov E.A., Kokhkharov A.M., Mirtagjiev F.V., Nematov Sh.Q., Tadjibaev I.I., Trunilina O.V. Transmission of a broadband light through a

- fiber optic loop: effect of nonlinear refractive index //Turkish Journal of Physics. –Turkey, 2014.
– Vol. 38, – №. 1, – p.64-72 (01.00.00, №129; IF = 0.6).
30. Захидов Э.А., Таджибаев И.И.. Нелинейное переключение и оптическое ограничение сверхкороткого излучения в волоконной петле. // Вестник Национального Университета Узбекистана. – Ташкент, 2015 г. – №2/1, с.151-153 (01.00.00, №8).
31. Захидов Э.А., Коххаров А.М., Миртаджиев Ф.М., Нематов Ш.К., Таджибаев И.И., Убайдуллаев С.А. Преобразователь широкополосного света на основе двухжильного волокна // Узбекский физический журнал.– Ташкент, 2016. – Т.18, – №1, с.20-28 (01.00.00, №5).
32. Zakhidov E.A., Nematov Sh.K., Tajibaev I.I. All-fiber source of broadband light with modulated spectrum based on twin - core fiber // Journal of Lightwave Technology. USA, 2016. – Vol. 34, – No. 13, p.3126-3130 (№4, Journal Citation Reports; IF = 3.652).
33. Захидов Э.А., Коххаров А.М., Кувондиқов В.О., Нематов Ш.К., Таджибаев И.И. Низкочастотный фотоакустический спектрометр с RGB- светодио́дом для определения профиля фотосинтетической активности в листьях растений. // Акустический журнал. – Россия, 2018. –Т. 64, – № 6, с.768-774 (№4, Journal Citation Reports; IF = 0.782).
34. Махманов Урол Кудратович. С₆₀, С₇₀ органик макромолекулалари ҳамда углеродли нанотрубкаларнинг эритмаларда ва буғланаётган томчилар хажмида ўз-ўзидан ташкилланиш механизмлари. Физика-математика фанлари доктори (DSc) диссертацияси. Тошкент. 2021. 214 б.
35. Махмудов Хикмат Махаматович. Қуёш нури билан ишлайдиган ва қуёш нури частотаси ўзгартиргичли лазерлар. Физика-математика фанлари доктори (DSc) диссертацияси. Тошкент. 2021. 150 б.
36. <http://www.laserinmedicine.com/>
37. <http://elibrary.ru/item.asp>
38. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лазер>