

Ш.М.Содиқова, Ш.О.Отажонов, М.Қурбонов



ЛАЗЕРЛАР ВА УЛАРНИНГ АМАЛИЁТДАГИ ЎРНИ

Тошкент - 2018

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ
УНИВЕРСИТЕТИНИНГ ТАШКИЛ ТОПГАННИНГ
100 ЙИЛЛИГИГА БАҒИШЛАНАДИ**

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ
ВАЗИРЛИГИ
МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

Ш.М.Содиқова, Ш.О.Отажонов, М.Қурбонов

ЛАЗЕРЛАР ВА УЛАРНИНГ
АМАЛИЁТДАГИ ЎРНИ

Ўқув-услубий қўлланма

Академик лицейлари таълим йўналиши: - Аниқ фанлар

Тошкент - 2018

Ушбу ўқув-услубий қўлланмада лазер физикасининг физик асослари, лазернинг турлари ва лазернинг нурланиш қонуниятлари, лазерларни қўлланилиши, лазер нури ёрдамида физиканинг оптика бўлимига тегишли намойиш тажрибаларига оид маълумотлар берилган.

Ўқув-услубий қўлланма физикани чуқур ўрганадиган академик лицейлар, касб - ҳунар коллежлари, шунингдек, олий ўқув юртларининг физика йўналиши бўйича таълим олувчи талабаларга мўлжалланган.

В данном учебном пособии даются информации о физической основе лазерной физики, видах лазера и закономерностях излучения, применении лазеров, демонстрационных опытах по оптике с помощью лазера.

Учебное пособие предназначено для академических лицеев с углублённым изучением физики, профессиональных коллежей, а также для студентов высших учебных заведений, специализирующихся по направлению физики.

This tutorial provides information on the physical basis of laser physics, types of laser and radiation patterns, application of lasers, demonstration experiments on optics with a laser.

The manual is intended for academic lyceums with in-depth study of physics, colleges as well as for students of higher educational institutions, specializing in the direction of physics.

Такризчилар: Ж.Юсупов – ТДТУ “Лазер технологиялари ва оптоэлектроника” кафедра мудири, ф.-м.ф.д. профессор.
М.Мираҳмедов - ТАТУ қошидаги 2 - сонли академик лицейнинг физика фани ўқитувчиси, ф.-м.ф.н.

Мазкур ўқув қўлланма Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети илмий-услубий кенгашининг 2017 йил “31” май даги мажлисида нашрга тасвия этилган (9 - сонли баённома).

**Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий
университети ташкил топганининг
100 йиллигига бағишланади.**

Муқаддима

Кейинги йилларда турмушимизнинг барча соҳалари қатори илм - фан ва таълим соҳасига ҳам катта аҳамият берилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президенти Ш.М.Мирзиёев томонидан 2017 йил 14 мартдаги “Ўрта махсус, касб-хунар таълим муассасалари фаолиятини янада такомиллаштириш чора - тадбирлари тўғрисида ҳамда 2017 йил 20 апрелдаги “Олий таълим тизимини янада ривожлантиришнинг чора - тадбирлари тўғрисидаги” қарори ҳам бу соҳадаги амалга оширилаётган ижобий ишларнинг мантикий давоми бўлди. Ушбу қарорнинг ижросини таъминлашга йўналтирилган дастурда ўрта махсус, касб-хунар таълими муассасаларини замонавий ўқув, ўқув - услубий ва илмий адабиётлар билан таъминлаш назарда тутилган.

Шуни инобатга олган ҳолда юқоридаги қарорларнинг ижроси сифатида ҳозирги замон физикасининг долзарб йўналишларига бағишланган ушбу ўқув қўлланма тайёрланди.

Маълумки, бугунги куннинг долзарб масалаларидан бири фундаментал фанлар йўналишидаги ихтиро ва янги ишланмаларни амалиётга имконият даражада жорий қилишдан иборат. Бу эса ўз навбатида фундаментал фанларнинг ривожланишига туртки бўлмоқда. Лазернинг ихтиро қилиниши ва когерент нурланишнинг амалиётга қўлланилиши фан билан амалиёт орасидаги ўзаро узвийлиликнинг ажойиб намунаси бўла олади. Ҳозирги вақтда фан ва техникадаги баъзи соҳаларни лазерсиз тасаввур этиб ҳам бўлмайди. Мазкур ҳоллар ўз навбатида лазерларни илмий асосларини янада ривожланишини талаб этмоқда. Ишлаб чиқаришнинг самарали ривожига борган сари содда ҳамда ишончли асбобларни яратмоқда. Бундай талабларга лазер технологияси жавоб

беради. Ҳақиқатдан ҳам бир - бирига ўхшамаган фан соҳаларида лазерлардан 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. Мазкур соҳалар ўз навбатида лазерларга тааллуқли илмий - тадқиқот ишларини кескин ривожлантиришни тақозо этмоқда.

Квант электроникаси - ҳозирги замон физикасини электромагнит тўлқинларни мажбурий нурланиш воситасида юзага келтириш (генерациялаш) ҳамда уларни кучайтириш усулларини ўрганувчи муҳим қисми ҳисобланади. Бунда оптик квант кучайтиргичлар ва генераторларнинг хусусиятлари ҳамда уларнинг турли мақсадларда қўлланилиш воситалари ўрганилади. Оптик квант генераторлар (ОКГ) - лазерларнинг, юқори энергияга эга бўлиши лазер нурининг ажойиб хусусиятлари номоеън бўлиши билан боғлиқдир.

Квант генераторларининг ёруғлик нурлари чиқарувчилари *оптик квант генератор* ёки *лазер* номини олган. *Лазер* сўзи инглизча “*Light amplification by stimulated emission of radiation*” сўзларининг бош ҳарфларидан тузилган қисқартирилган ном бўлиб мажбурий нурланиш воситасида ёруғлик нурланишини кучайтириш, деган маънони билдиради.

Немис физик олими А.Эйнштейн 1916 йили квант тушунчалари асосида ёруғликнинг ютилиши ёки нурланиши бирор энергетик ҳолатдан бошқа энергетик ҳолатга ўтишда мажбурий нурланиш жараёни бўлиши мумкинлиги тўғрисида ўзининг фикрини айтиб, эмперик формула тавсия этади. А. Эйнштейн тахминига кўра атомнинг уйғонган ҳолатдан асосий ҳолатга ўтишида нур чиқариши икки усул билан, ўз - ўзидан ва мажбурий нурланиш воситасида юз бериши мумкин. Ёруғлик нурлари учун мажбурий нурланиш ўз - ўзидан нурланишга нисбатан жуда кучсиз бўлгани учун уни асосий нурланишдан деярли ажратиб бўлмайди. Шунинг

учун мажбурий нурланиш дастлаб ўта юқори частотали (ЎЮЧ) тўлқинлар билан тажриба олиб боришда кузатилган. 1954 йил Н.Г.Басов, А.М.Прохоров ва Ч.Х.Таунс томонидан молекуляр квант генератор (мазер) яратилди. *Мазер* - юқори йўналганликка эга бўлган ўзгармас аниқ частотада қувватли когерент электромагнит нурланиш ҳосил қилувчи қурилмадир. Мазернинг ишлаши аммиак молекулаларининг мажбурий нурланишига асосланган. Бунда аммиак молекулаларининг 24 ГГц частотада когерент нурланиш хусусиятига эга бўлиши кузатилган. Оптик тўқинлари оралиғида мажбурий нурланишни чиқарадиган мазерларни - *лазерлар* дейилади. 1964 йили квант электроника соҳасига тегишли фундаментал тадқиқотлар учун Россия олимлари Н.Г.Басов ва А.М.Прохоров ҳамда америкалик олим Ч.Х.Таунс Нобель мукофотиغا сазовор бўлишган. Т.Г.Мейман томонидан амалда биринчи марта лазер нури олинган бўлса, ҳозирги вақтда, ҳам қувват жиҳатидан, ҳам спектрнинг ишчи соҳаси бўйича монохроматик лазерлар яратилдики, улар мазкур фан соҳасида бўлаётган улкан ривожланишдан далолат беради. Лазерлар тўғрисида гап борганда уларнинг мураккаб табиатини, уларни қўлланилиш соҳаси кенг ва ранг - баранглигини эътиборга олиш зарур.

Мазкур қўлланмани ёзишдан мақсад талабаларни жуда тез ривожланиб бораётган фан соҳаси бўлмиш лазерларнинг назарий асослари, турлари, қўлланилиш соҳалари билан таништиришдир. Шу билан бирга лазер технологияси билан танишган талабаларда шу фан соҳасининг амалиётга қўллашга иштиёқ туғилиши табиий. Лазерларнинг юқорида айтганимиздек, тиббиётдан тортиб техниканинг жуда кўп соҳаларига кириб бораётганлиги учун бу соҳадаги ўқув қўлланма академик лицейлар, касб - ҳунар коллежлар талабалари, катта илмий ходим - изланувчилари, илмий ходимлар, талабалар, ўқитувчилар учун фойдадан холи бўлмас деган умиддамиз.

I боб. Нурланиш қонуниятлари ва уларнинг турлари

Ушбу бобда лазер нурланишларининг физик қонуниятларини баён қилишдан олдин элетромагнит тўлқин нурланиши (ёруғлик нури) таъсирида атом ва молекулаларни нурланиши билан боғлиқ физик ҳодисалар тўғрисида маълумотга эга бўлишни лозим топдик. Жумладан, нурланишнинг физик қонуниятлари, спонтан ва мажбурий нурланишлар ҳамда уларнинг асосий характеристикалари, энергетик сатҳлар ва уларни ҳосил қилиш каби муҳим, айниқса, кейинги боблардаги мавзуларни тушуниш осон бўлишни таъминлашни назарда тутувчи маълумотлар баён қилинган.

1.1.Нурланишнинг физик қонуниятлари

а) Иссиқлик нурланиши ва Кирхгоф қонуни

Агар жисмлар маълум даражада мусбат ҳароратга эга бўлса, улар ташқи муҳитга нурланиш таркатади. 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 ҳароратсига 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. Бу

хол учун П.Прево (Шверациялик олим) қоидаси ўринли бўлади. Бу қоида қуйидагича таърифланади: *термодинамик мувозанатда бўлган икки жисм ҳар хил миқдорга эга бўлган энергияни ютса, уларни иссиқлик нурланиши интенсивлиги 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

$$E_{\nu,T} = \frac{\Phi}{S} \quad (1.1)$$

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

$$E_T = \int_0^{\infty} E_{\nu,T} \cdot d\nu.$$

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

$$A_\nu = \frac{d\Phi'_\nu}{d\Phi_\nu} \quad (1.2)$$

формула билан ифодаланади: A_ν - 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 қараганда равшанроқ кўринади. Абсолют қора жисм учун $A_\nu = 1$. Реал жисмлар абсолют қора эмасдир, лекин оптик

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

Жисмнинг нур чиқариш қобилятининг ($E_{\nu,T}$) спектрал зичлиги ва нурни ютиш қобиляти ($A_{\nu,T}$) орасида маълум нисбат бўлиб, бу нисбат қуйидагича

$$\varepsilon_{\nu,T} = \frac{E_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} \quad (1.3)$$

ифодаланади ва *Кирхгоф қонунини* ифодалайди. Бу қонунга асосан, ихтиёрий тўлқин узунлиги ва ҳарорат учун жимсларнинг нур чиқариш қобилятини, нур ютиш қобилятига нисбати ҳамма жимслар учун бир хил бўлиб, абсолют қора жисмни нур чиқариш қобиляти $\varepsilon_{\nu,T}$ га тенг. Кўп ҳолларда $\varepsilon_{\nu,T}$ ни *Кирхгоф функцияси* деб ҳам аталади. Шундай қилиб, Кирхгоф функцияси абсолют қора жисмнинг нурланиш қобилятидир.

б) Абсолют қора жисмнинг нурланиш қонуни

Стефан - Больцман қонуни (Австриялик олимлар). Бу қонунга асосан абсолют қора жисмнинг интеграл нур чиқариш қобиляти ε_T абсолют ҳароратга қуйидагича боғлиқ:

$$\varepsilon_T = \sigma T^4 \quad (1.4)$$

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

Вин қонуни (немис олими). Абсолют қора жисмнинг нур чиқариш қобиляти

$$\varepsilon_{\nu,T} = c \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right) \quad (1.5)$$

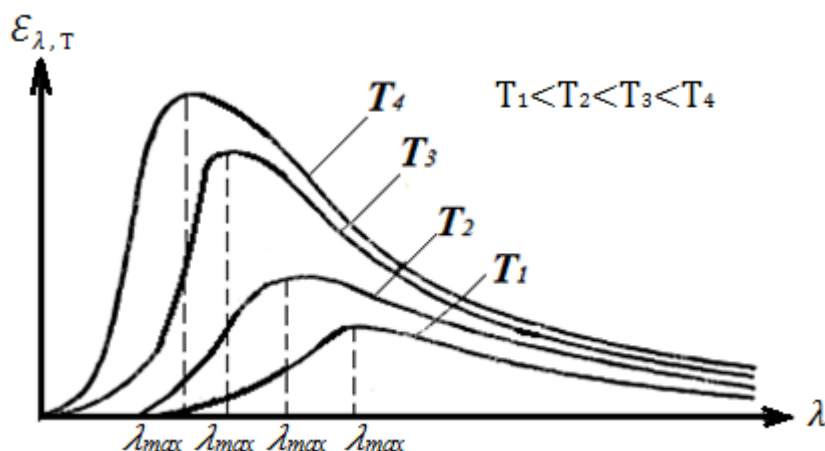
кўринишида ифодаланади. Бу формулада: $f(\frac{\nu}{T})$ - универсал функция, c - ёруғликнинг ваакуумдаги тезлиги, ν - ёруғлик частотаси. Вин эмперик равишда $\epsilon_{\nu,T}$ функциянинг графигини аниқлади. $\epsilon_{\nu,T}$ максимумига тўғри келган нурланиш тўлқин узунлиги λ_{max} ёки частотаси ν_{max} ҳарорат билан қуйидагича боғлиқ:

$$\nu_{max} = T/a \quad (1.6)$$

Бу формула Виннинг *силжиш қонунини* ифодалайди, бу ерда a – муҳит 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 қобиляти частотаси бу жисмнинг абсолют ҳароратсига тўғри пропорционал. Частота ўрнига тўлқин узунлигини киритиб, Вин қонунини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\epsilon_{\nu,T} = \frac{c^5}{\lambda^5} f\left(\frac{c}{\lambda T}\right) \quad (1.7)$$

У ҳолда абсолют қора жисм нур чиқариш қобилятини 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 қобилятини жисмнинг ҳароратсига ва нурланаётган ёруғлик тўлқин узунлигига боғлиқлигини ифодалайди (1.1 - расм).



1.1 - расм.

Расм таҳлили шуни кўрсатадики жисмнинг ҳароратсини 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 (инглиз олимлари). 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

$$\epsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \bar{\epsilon}_{(\nu)} \quad (1.8)$$

тенглама билан ифодаланади. Молекуляр физикадан маълумки, иссиқлик мувозанати шароитида эркинлик даражалари бўйича энергия тенг тақсимланади ва $\bar{\epsilon}_{(\nu)} = kT$, шу сабабли (1.8) ни $\epsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$ кўринишда 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 ν - 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:

$$\bar{\varepsilon}_{(\nu)} = \frac{h\nu}{\frac{h\nu}{e^{kT} - 1}} \quad (1.9)$$

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

$$\varepsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{\frac{h\nu}{e^{kT} - 1}} \quad (1.10)$$

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 формуласи тахминан қуйидаги кўринишга келади:

$$\varepsilon_{\nu,T} \approx \frac{2\pi h\nu^2}{c^2} e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad (1.11)$$

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.

в) 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:

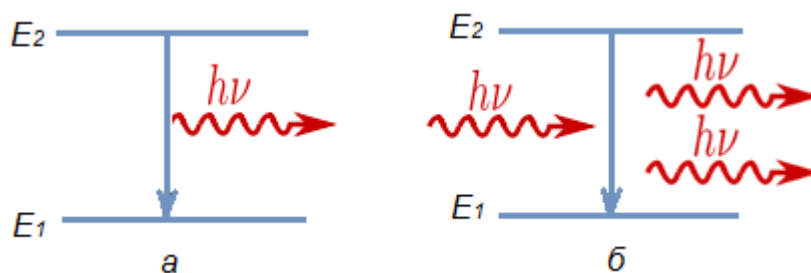
1. Атом ёки молекулалар электромагнит энергияни нурлантирмасдан ёки молекулаларнинг бошқа заррачалар билан, масалан, тўқнашиши жараёнида ўзаро таъсирлашишида рўй беради. Умуман тўқнашишлар эластик ва ноэластик тўқнашишларда фарқланади, улардан биринчисида, атомнинг ички ҳолати ўзгаради ва нурланишсиз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

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

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (1.12)$$

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 қутбланишлари 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.

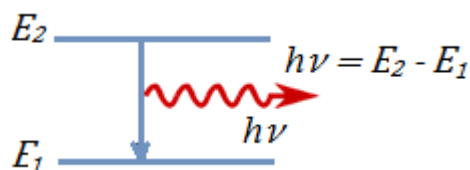
Атом ёки молекулалардан нурланаётган энергия чиқиш спектрини, ютилгани эса ютилиш спектрини ифодалайди. *Спектр* - атомларнинг нурланиш интенсивлигини частота ёки тўлқин узунлигига боғлиқлигини ифодалаб, икки турга бўлинади. Биринчиси, чизиқли (узлукли) спектр бўлиб, электромагнит тўлқин нурланиши таъсирида 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 қўшни атомлар ўз электромагнит майдонлари воситасида таъсирлашадилар.

1.2. 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. У 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 электромагнитик 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 атрофидаги 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

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{2,1} \cdot N_2 \quad (1.13)$$

2 - сатҳдаги атомлар сони N_2 га пропорционалдир. $A_{2,1}$ катталики *спонтан* (ўз - ўзидан) *нурланиш эҳтимоллиги* бўлиб, уни *Эйнштейн коэффиценти* деб аталади. (1.13) дан

$$N_2 = N_{2,0} \cdot e^{-A_{2,1} \cdot t} \quad (1.14)$$

бу ерда $N_{2,0}$ $t = 0$ вақтда 2 - ҳолатдаги атомлар сони.

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

$$P_{\text{ўз}} = h\nu \cdot A_{2,1} \cdot N_2 = h\nu \cdot A_{2,1} \cdot N_{2,0} \cdot e^{-A_{2,1} \cdot t} \quad (1.15)$$

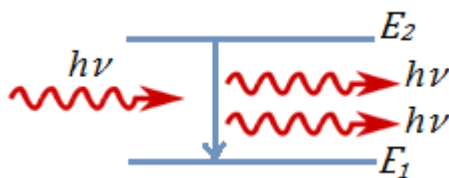
(1.14) дан кўринадики вақтнинг қиймати $t = \frac{1}{A_{2,1}} = \tau_{\text{ўз}}$ ($\tau_{\text{ўз}}$ – ўз - ўзидан нурланиш вақти) га тенг бўлганда, 2 - ҳолатдаги атомлар сони бошланғич ҳолатдаги атомлар сонига нисбатан e марта камаяди. Бу вақт атомнинг 2 - ҳолатдаги *ўртача яшаш вақти* деб аталади. (1.15) га ўртача яшаш вақти қийматини киритсак,

$$P_{\text{ўз}} = h\nu \cdot A_{2,1} \cdot N_{2,0} \cdot e^{-t/\tau_{\text{ўз}}} \quad (1.16)$$

формула ҳосил бўлади.

Мажбурий нурланиш. Икки энергетик сатҳга эга бўлган атомни қараб чиқайлик. Атом 2 - ҳолатда бўлганда частотаси $2 \rightarrow 1$ ўтиш частотаси тенг ёруғлик кванти билан ўзаро таъсирлашсин. Атомга таъсир қилаётган

квантнинг частотаси 2 - ҳолатдан 1- ҳолатга ўтишида чиқадиган квант частотасига тенг бўлгани учун тушаётган ёруғлик кванти атомнинг 2 - ҳолатдан 1- ҳолатга ўтишига мажбурий таъсир қилиши мумкин. Натижада атомга тушаётган бирламчи тўлқин билан частотаси, фазаси, қутбланиши, тарқалиш йўналиши бир хил бўлган яна бир тўлқин пайдо бўлади. Бу жараён мажбурий нурланиш номини олган (1.4 - расм). *Мажбурий нурланиш* - юқори энергетик сатҳдаги электронларни ташқи энергия ёрдамида пастки сатҳга тушганда юзага келувчи электромагнитик нурланишдир.



1.4- расм.

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:

$$W_{2,1} = B_{2,1} \cdot \rho_\nu \quad (1.17)$$

Бу ерда $B_{2,1}$ катталиқ *мажбурий нурланиш эҳтимоллиги*. Мажбурий нурланиш тезлиги

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right) = W_{2,1} \cdot N_2 = -B_{2,1} \cdot \rho_\nu \cdot N_2 \quad (1.18)$$

тенглама билан ифодаланади. Шундай қилиб, спонтан ва мажбурий нурланиш натижасида 2 - сатҳдаги атомлар сонининг ўзгариши

$$dN_2 = -(A_{2,1} + B_{2,1} \cdot \rho_\nu) \cdot N_2 \cdot dt \quad (1.19)$$

га тенг бўлар экан.

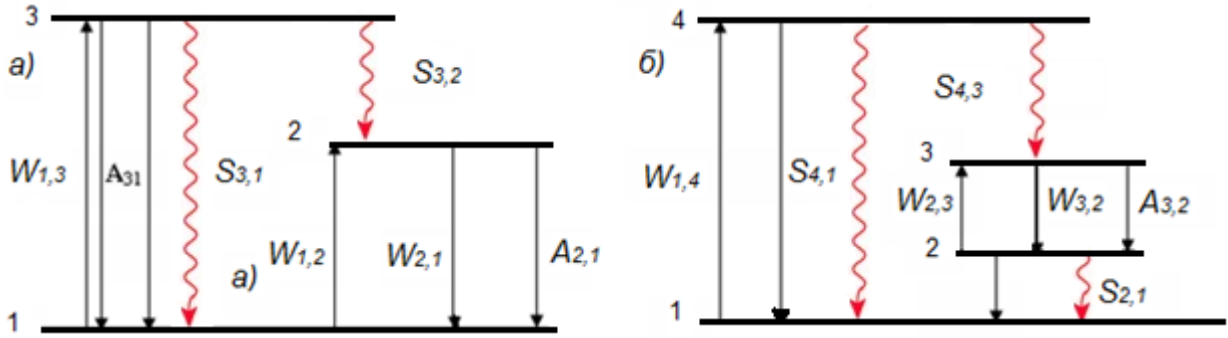
1.3. Энергетик сатҳлар ва уларни ҳосил қилиш

Инверс бандлик ҳосил қилиш усуллари 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 каррали сонини ифодаловчи катталиклар. *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 1.5 (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

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



1.5-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 тескари 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.

$$\begin{cases} \frac{dN_3}{dt} = W_{1,3}N_1 - (W_{3,1} + A_{3,1} + S_{3,2})N_3 = 0 \\ \frac{dN_2}{dt} = W_{1,2}N_1 - (A_{2,1} + W_{2,1})N_2 + S_{3,2}N_3 = 0 \end{cases} \quad (1.20)$$

$$N_0 = N_1 + N_2 + N_3 \quad (1.21)$$

Бу ерда N_0 - фаол зарраларнинг тўла концентрацияси. N_1 , N_2 , N_3 лар - мос сатҳлардаги зарраларнинг концентрациялари, $A_{3,1}$ ва $A_{2,1}$ - спонтан ўтишларнинг эҳтимолликлари. Юқоридаги (1.20) ва (1.21) тенгламалардан кўриниб турибдики, 1- ва 2 - сатҳларнинг нисбий тўлдирилганлиги қуйидаги

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{W_{1,3}(S_{3,2}/(W_{3,1}+A_{3,1}+S_{3,2}))+W_{1,2}}{A_{2,1}+W_{2,1}} \quad (1.22)$$

ифода орқали аниқланиши мумкин. Юқори 2 - сатҳнинг эффектив тўлдирилиши қуйидаги

$$A_{3,1} \ll S_{3,2} \quad , \quad W_{3,1} \ll S_{3,2} \quad (1.23)$$

шартлар бажарилгандагина рўй бериши мумкин.

Бу ҳолда (1.22) ифода қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{N_2}{N_1} \approx \frac{W_{1,3} + W_{1,2}}{A_{2,1} + W_{2,1}} \quad (1.24)$$

Агар ушбу (1.24) тенгликнинг ҳар иккала томонидан 1 ни айирсак, у ҳолда

$$\frac{N_2 - N_1}{N_1} \approx \frac{W_{1,3} - A_{2,1}}{A_{2,1} + W_{2,1}} \quad (1.25)$$

бўлади.

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

$$N_1 = \frac{N_0(A_{2,1} + W_{2,1})}{A_{2,1} + W_{1,3} + 2W_{1,2}} \quad (1.26)$$

катталиқга тенг бўлади, N_1 ни (1.25) ифодага қўйиб, ўзгартиришларни амалга оширсак

$$N_2 - N_1 = N_0 \frac{W_{1,3} - A_{2,1}}{A_{2,1} + W_{1,3} + 2W_{1,2}} \quad (1.27)$$

ифодани оламиз.

Бу формуладан кўришиб турибдики (1.23) шартлар бажарилса, инверсия қуйидаги

$$W_{1,3} > A_{2,1} \quad (1.28)$$

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 (юқори энергетик сатҳга чиқарилиши) шартлигидир. Ҳақиқатдан ҳам $N \approx N_1 + N_2$ бўлиб, инверс бандлиги $N_2 > N_1$ шarti бажарилишини қуйидаги $N_0 - N_1 > N_1$ кўринишда ёзсак, у ҳолда

$$N_2 > \frac{N_0}{2} \quad (1.29)$$

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:

$$W_{2,3} > A_{3,2}, \quad W_{3,2} < S_{4,3}, \quad S_{2,1} > W_{3,2} \quad (1.30)$$

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, қаттиқ 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.

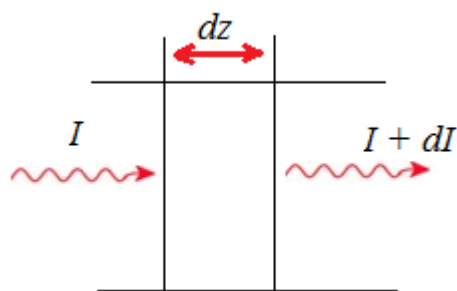
1.4. Лазерларнинг тузилиши ва унинг ишлаш тамойили

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 $2 \rightarrow 1$ 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 кўндаланг 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

$$dI = (\sigma_{2,1} \cdot N_2 - \sigma_{1,2} N_1) \cdot dz = \sigma_{2,1} \cdot I \cdot \left(N_2 - N_1 \frac{g_2}{g_1} \right) dz = \sigma_{2,1} \cdot I \cdot \Delta \cdot dz \quad (1.31)$$

ифода орқали аниқланади.



1.6 - расм.

Бу ерда
$$\Delta = N_2 - \frac{g_2}{g_1} \cdot N_1 \quad (1.32)$$

Бу катталикини 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*- тескари 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 коэффициенти*

$$\kappa = \sigma_{2,1} \left(N_1 \frac{g_2}{g_1} - N_2 \right) \approx \sigma_{1,2} \cdot N_0$$

қийматига эга бўлади.

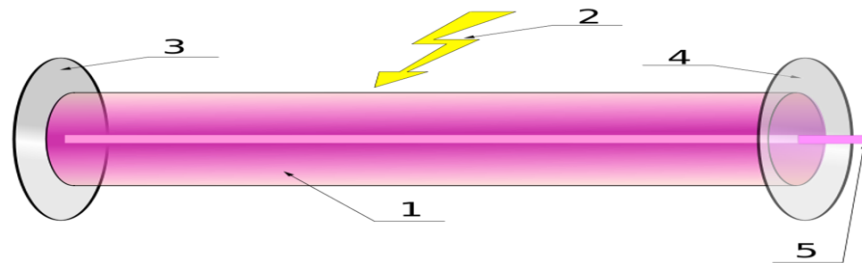
Агар муҳитда инверс бандлик ҳосил қилинса κ - ютилиш коэффициенти манфий қийматга эга бўлиб қолади ва муҳит орқали ўтаётган нурланиш уйғонган атомлар энергияси ҳисобига кучаяди. У ҳолда кучайтириш коэффициенти $\alpha(\nu) = \sigma_{21} (N_2 - \frac{g_2}{g_1} \cdot N_1)$ қийматга эга бўлади.

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 (1.7-расм).



1.7-расм. Лазернинг тузилиши. 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:

$$\alpha = e^{\sigma_{2,1} \left(N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right) L}$$

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

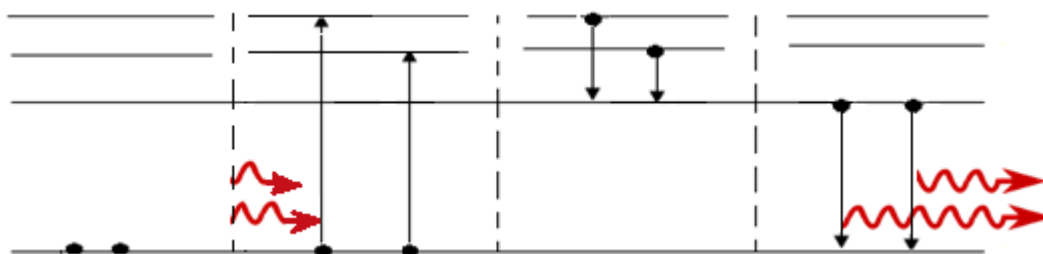
$$R_1 \cdot R_2 \cdot e^{\sigma_{2,1} \left(N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right) L} = 1 \quad (1.33)$$

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.

(1.33) дан кўринишича генерация инверс бандлик қандайдир критик қийматдан ошгандагина кузатилади.

Ёқут лазер. 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 кўлланиладиган ёқут кристаллида 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 чизиғининг спектрини кенглиги хона ҳароратларида $\Delta\lambda = 0,4 \text{ нм}$ ни ташкил қилади.



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

Лазернинг ишлаши учун зарур бўлган энергетик сатҳлар 1.8 - 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} с вақт давомида пастки узоқ яшовчи (яшаш вақти $3 \cdot 10^{-3}$ 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 $100 \div 1000$ Ж атрофида бўлади, яъни 1 см^3 ҳажмда 50 Ж энергия тўғри келади.

Ёқут учун мажбурий ўтишлар кўндаланг кесими $\sigma \approx 3 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$, фаол ионлар концентрацияси $N = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, демак ёқутнинг кучайтириш коэффициенти $\alpha \approx \sigma_0 N_2 = 10^{-2} \text{ см}^{-1}$ қийматга эга. Ёқут кристали диаметри $5 \div 10$ мм ва узунлиги $10 \div 15$ см бўлган цилиндр шаклида сунъий равишда ўстирилади. Бундай ўлчамли ёқут кристалида нурланишнинг дифракцион ёйилишлари кичик қийматларга (10^{-4} рад) эга. *Дифракцион ёйилиш* 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. *Мода* - 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 $t = 0,2 \div 0,5$ с ичида совушга улгуради.

Ёқутли лазер импульсларининг ўзгариш частотаси $\Delta\nu = 2 \div 5$ Гц бўлган такрорланувчи импульслар маромида ишлаш имкониятига эга. Ёқутли лазернинг фойдали иш коэффициенти жуда кичик бўлиб, у $0,3 \div 0,5$ % ни ташкил қилади.

1.5. 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 (ораликда) 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

$$P = I \cdot S \quad (1.34)$$

орқали ифодаланади. Бу ерда S - нурнинг кўндаланг кесим юзаси.

Импульс ва даврий импульс маромида ишлайдиган лазерлар учун нурларнинг бир импульсдаги энергияси E_u , импульснинг давом этиш вақти T_u , импульсларнинг қайтарилиш частотаси ν_u нурланишнинг ўртача қуввати P_{yp} ва импульс қуввати P_u каби катталиклар муҳим ўрин тутди.

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:

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

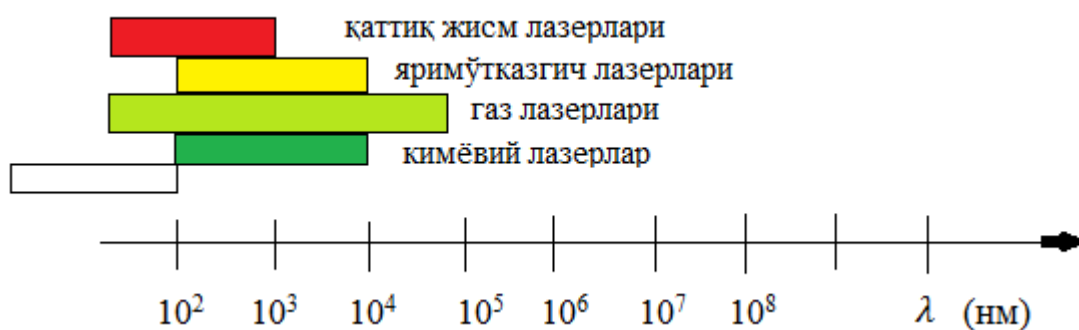
ифодага кўра бундай лазер қуввати катта қийматга эга бўлади.

Резонатор асллигини 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. *Аслик* - реактив қувватнинг диэлектрик йўқотишлар бурчаги котангенсига тенг кучланиш остида турган изоляциясидаги диэлектрик йўқотишларга нисбати. *Модуляция* - қандайдир мунтазам физикавий жараёни тавсифловчи катталикларни вақт давомида берилган қонун бўйича ўзгариш.

Лазерда яна бир катталик, фойдали иш коэффиценти билан ҳам фарқланади. Қаттиқ жисмли фаол муҳитга эга лазерлар $1 \div 5$, газ лазерлари $1 \div 15$, яримўтказгич лазерлар $40 \div 60\%$ фойдали иш коэффицентига эга. Лазерларни лойиҳалашда лазернинг фойдали иш коэффицентларини оширишга алоҳида аҳамият берилади. Чунки паст фойдали иш коэффицентига 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 1.9 - расмда келтирилган.



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

Лазер нурланишининг монохроматиклиги. Маълумки, табиатда тўла монохроматик бўлган тўлқинлар мавжуд эмас. Қатъий бир частотага эга бўлган, кенглиги $\Delta\nu \rightarrow 0$ 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 $\Delta\nu/\nu_0$ катталики билан ифодаланади. Лазер нурланиш чизиғининг кенглиги $\Delta\nu$ 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

$$\Delta\nu = 2\pi \cdot (\Delta\nu_p) \frac{h\nu_0}{P} \quad (1.35)$$

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 коэффиценти 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 $t_{\text{ког}}$ 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 некогерент 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:

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

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

$$t_{\text{ког}} = \frac{1}{\Delta \nu} = \frac{\lambda^2}{c \Delta \lambda} \quad (1.36)$$

$$L_{\text{ког}} = \frac{c}{\Delta \nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda} \quad (1.37)$$

Узлуксиз нурладиган *He - Ne* (гелий - неон) лазери учун нурланиш чизиғи 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.

Импульс равишда нурладиган қаттиқ жисмли лазер (яъни фаол мухити қаттиқ жисмдан иборат лазер) жуда кўп сонли бўйлама модаларда нурланади. Бундай нурланишнинг чизиқли кенглиги $\Delta \nu \sim 10^{12} \text{ Гц}$ $t_{\text{ког}} = 10^{-2} \text{ с}$, $L_{\text{ког}} \cong 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ қийматларга эга.

Вақтнинг шу дақиқасида тўлқиннинг тарқалиш йўналишига перпендикуляр бўлган текисликнинг турли нуқталарида юз берадиган когерент тебранишлар фазовий когерентликка эга тебранишлардир. Оддий ёруғлик манбалари учун фазовий когерентлик бир - биридан тўлқин узунлигидан катта бўлмаган масофада жойлашган нуқталар учун мавжуд бўлади.

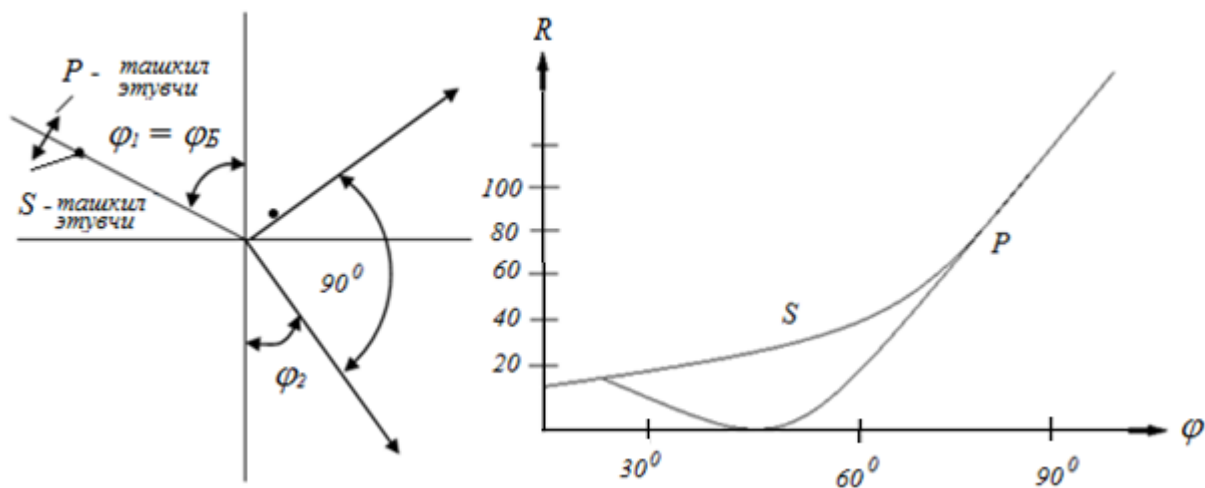
Лазер нурланиши учун фазовий когерентлик узунлиги лазер нури дастаси кенлигига тенг. Бошқача сўз билан айтганда, лазер нурланиши дастасининг турли қисмлари устма - уст туширилса, интерференцион манзара кузатилади.

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 чизик бўйлаб тебранса, бундай нур *чизикли қутбланган нур* деб аталади. Фазалар фарқи ўзгармас бўлган ва бир - бирига перпендикуляр қутбланиш текислигига эга икки чизикли 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 чизикли 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 қутбланиш йўналиши тасодифий бўлади. Мажбурий нурланиш туфайли ҳосил бўлган ёруғлик кванти, худди ўзини юзага келтирган квантнинг қутбланиши каби қутбланган бўлади.

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

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



1.10 – расм. Қутбланган нурланишнинг қайтиш коэффициентининг тушиш бурчагига боғлиқлиги.

1.10 - расмда келтирилган боғланишлардан кўриниб турибдики, қутбланиш 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 $\operatorname{tg} \varphi_B = n_0$ (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 $\sin \varphi_1 / \sin (\pi/2 - \varphi_2) = \sin \varphi_1 / \cos \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi_B = n_0$ 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 90^0 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 чизиқли 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 чизиқли қутбланган бўлади.

I - бобни ўзлаштиришда устоз - шогирд ўртасидаги биринчи суҳбат

Шогирд. Ушбу бобнинг мазмуни билан танишганимда бир қатор саволлар пайдо бўлди. Шулар ҳақида сўрасам бўладими?

Устоз. Лазерлар тўғрисида гап кетганда унинг асоси мураккаб физик жараёндан иборат эканлигини эътиборга олсак сизда савол туғилиши табиий. Тортинмасдан бемалол сўрайверинг. Суҳбатимизни нимадан бошлаймиз?

Шогирд. Ёруғлик нури тарқалишини узлуксиз жараён деган маълумотга эга эдим. Иссиқлик нурланиш қонуниятлари баён қилинганда узлукли яъни квантлар кўринишда кетма - кет тарқалиши маълум бўлди. Шундай бўлса ёруғлик манбаидан маълум масофага жойлашган экранга ёруғлик юборсак экрандаги ёритилганликни доимо кўриб турамизку. Узлукли бўлса бир ёруғ бир қоронғи кўринишга эга бўлиши керак эди.

Устоз. Саволингиз ўринли. Экрандаги ёритилганликнинг ўзгариши иккита кетма - кет тарқалаётган квантлар орлиғидаги вақтга боғлиқ. Ушбу вақт қанчалик кичик бўлса бизга узлуксиз кўринишдаги ёритилганликга эга бўламиз. Тажриба натижаларига асосан, бир секунд оралиғида ёруғлик манбаидан тарқалаётган квантлар сони 54 тадан кам бўлса экранда бир ёруғ бир қоронғи кетма - кетлигидаги манзарани кузатишимиз мумкин. Бу тажрибани ўзингиз таҳсил олаётган академик лицейларда ҳам амалга ошириш мумкин.

Шогирд. Атомларнинг нурланиш қонуниятлари энергетик сатҳларга боғлиқ экан. Бу сатҳларни қандай тасаввур қилиш мумкин?

Устоз. Сўраган нарсангиз ўта мураккаб хоссаларга эга бўлиб, лазер нурланишларини ҳосил қилишда жуда катта аҳамиятга эга. Сизга тушунарли бўлиши учун қуйидаги мисоллар ёрдамида ифодалашга ҳаракат қиламан.

Ҳар қандай молекула ёки атом ташқи электромагнит тўлқин нурланиши таъсирида бўлмаса у мувозанат ҳолатида турган ҳисобланиб, ушбу ҳолат қуйи энергетик сатҳ ҳолатини характерлайди. Агарда қуйи энергетик сатҳларида турган атомга ташқи электромагнит тўлқин нурланиши билан таъсир қилинса атом маълум бир энергияни олиб, юқорига яъни ўзи учун характерли бўлган юқори сатҳга кўтарилади. Бу сатҳлар оралиғидаги физик жараёнда ютилиш ҳодисаси рўй беради.

Шогирд. Кечирасиз устоз, сўрашга тортиниб турган эдим. Юқори сатҳга кўтарилган атомнинг тақдири нима бўлади?

Устоз. Фикрлашингиз яхши. Юқори сатҳга кўтарилган атом, ютган энергиянинг ҳисобига яна пастга қараб ҳаракатланиб, ўзидан нурланиш чиқаради. Бу нурланишнинг давомийлигига қараб ўзига хос бўлган қуйи сатҳни ҳосил қилади.

Шогирд. Жуда қизиқарли жараён экан. Шу ўринда яна битта савол туғилиб қолди, сўрасам бўладими?

Устоз. Албатта, сўранг?

Шогирд. Нурланиш давомийлиги деган тушунчани ишлатдингиз. Бир китобда ўқиганимда релаксация вақти деган иборага дуч келган эдим. Шу ҳақда ҳам маълумот берсангиз.

Устоз. Яхши. Энергетик сатҳлар оралиғидаги физик жараёнларни релаксацион жараёнлар деб юритилади. Бу жараёнлар ўта қисқа вақт ичида содир бўлиб, атомларнинг хоссаларига қараб $10^{-12} - 10^{-14}$ с оралиғида содир бўлади. Бу вақтни релаксация вақти деб аталади. Нурланишнинг давомийлигига келсак юқори сатҳдаги атомни пастки энергетик сатҳга ўтиш ҳолатидаги нур чиқариб туриш вақти тушунилади.

Шогирд. Биз жисмларнинг мувозанат ҳолати тўғрисидаги тушунчага эгамиз. Ушбу бобни ўқиганимда термодинамик мувозанат ҳолати иборасига дуч келдим. Ушбу жараён тўғрисида тўла тушунчага эга бўлсам яхши бўлар эди.

Устоз. Яхши. Термодинамик мувозанат тушунчаси кўпроқ абсалют қора жисмнинг нурланишига тегишли бўлиб, ўзининг энергиясини ташқарига чиқармайдиган ва ўз навбатида ташқаридан ҳам энергия ютмайдиган системага айтилади.

Шогирд. Ташқаридан энергия олмаса, ўзидагини ташқарига чиқармаса жисм нимани ҳисобига ўзидан нур чиқаради?

Устоз. Саволингиз ўринли. Бу қонуният абсалют қора жисмлар учун кўпроқ тегишли бўлиб, атомлар ёки молекулаларнинг ички иссиқлик ҳаракати ҳисобига нур чиқаради.

Шогирд. Устоз буюк бобоқолонларимиздан бири ҳазрат Алишер Навоий “Билмагани сўраб ўрганган олим, орланиб сўрамаган ўзигм золим” деганларидек, билмаганларимни тортинмай сўрашга ижозат сўрамоқчиман.

Устоз. Бемалол сўрайверинг. Шогирдларни тўғри йўлга бошлаш, билмаганини ўргатиш устозларнинг вазифасига киради.

Шогирд. Раҳмат устоз. Абсалют қора жисм тўғрисида кўп эшитганман. Маълумки амалда идеал абсолют қора жисм йўқ. Шунинг учун абсалют қора жисмни қандай тасаввур қилиш мумкин?

Устоз. Хабарингиз бор айрим сабабларга кўра Қуёш Ойнинг соясига тўғри келиб тутилади. Ёшлигимизда Қуёшни тутилиш жараёнини кузатиш учун жуда эски пахта ёки ишлатилган матоларни ёқсак ундан ўта қора тутун чиқади. Дераза ойналарининг синган бўлақларини тутунга тутиб, маълум қалинликдаги қора кукунли сирт ҳосил қилиб, шу орқали Қуёш тутилишини кузатар эдик. Шу шишадаги қора сиртни қириб олиб йиғсак, бу жисм абсалют қора жисм хоссаларига яқин муҳитни ҳосил қиламиз.

Шогирд. Кечирасиз, электромагнит тўлқиннинг асосий параметрларидан бири унинг тўлқин узунлиги бўлиб, ангстремларда (A^0)

ўлчанишини эшитган эдим. Энди билсам, нанометр (*нм*) ўлчов бирлиги ҳам бор экан. Улар орасида боғланиш борми?

Устоз. Албатта, ўзаро боғланиш мавжуд. Ангстремнинг ўндан бир қисми бир нанометрга тенг бўлади. Яъни $1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ нм}$ га тенг.

Шогирд. Ушбу суҳбат орқали мен қимматли маълумотларга эга бўлдим. Катта раҳмат.

II боб. Лазерларнинг турлари ва уларнинг тузилиши

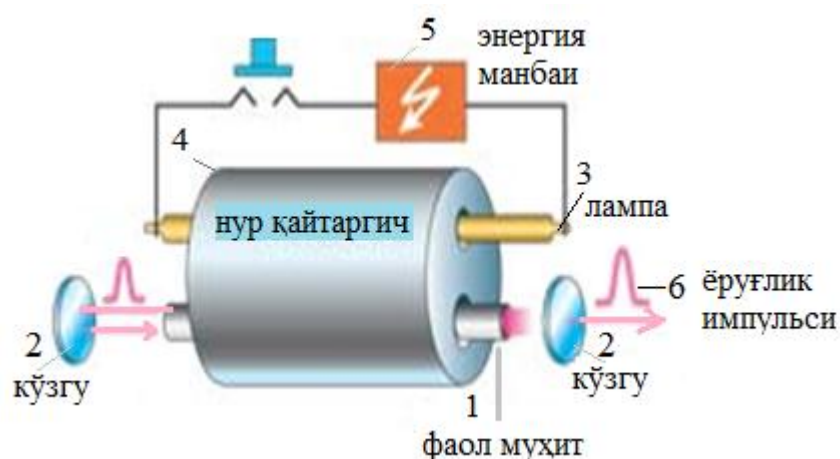
Биринчи лазер 1960 йилда Т. Мейман томонидан яратилган. Кейинчалик хорижий мамлакатлар олимлари билан бир қаторда лазер нурланишларини энергиясини ошириш, кам энергия сарфлайдиган, барча кўрсаткичлари бўйича самарали бўлган янги фаол муҳитларда лазерлар яратиш соҳасида Ўзбекистон физик олимларининг ҳам 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 ўтамиз.

2.1. 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 тузилиши:

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 $1 \div 5$ % 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.

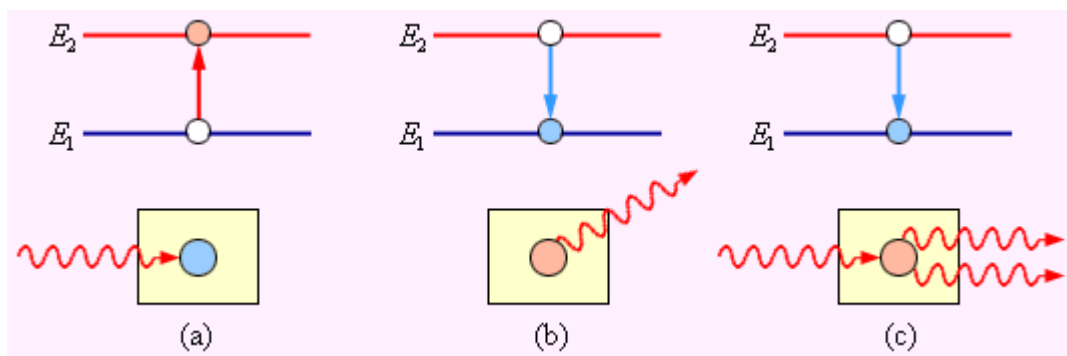
Бу ҳолни вужудга келтириш учун оптик резонатор ичига ёруғлик нури таъсирида тиниқлашувчи оптик зулфин (затвор) жойлаштирилади. *Оптик резонатор* - бу ёруғлик нуруни оптик асбоблар ёрдамида кучайтиришдир. *Зулфин* - нурни қисқа муддатда ёпиб - очиб турадиган қурилмадир. Ғалаёнлантирилган зарраларнинг 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 муҳитга йиғилган энергия қисқа вақт ичида нурланиш ҳосил қилгани учун унинг қуввати эркин генерация нурланиши қувватига нисбатан бир неча марта катта бўлади. Мисол тариқасида фаол муҳит сифатида ёқут элементлари қўлланилган лазерни ишлаш тамойилини қараб чиқамиз.

Лазернинг ишлаш тамойили. Одатдаги шароитларда кўпчилик атомлар куйи 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.

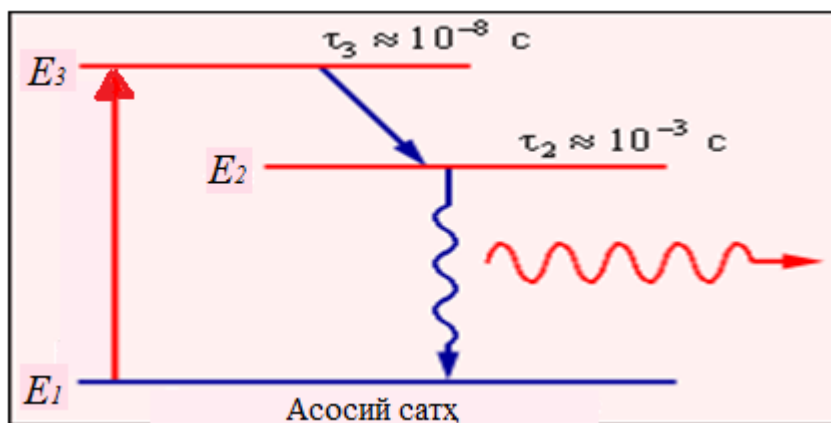
Бирон усул билан муҳит атомларининг кўп қисми фаоллаштирилган бўлса, у ҳолда модда орқали

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

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.



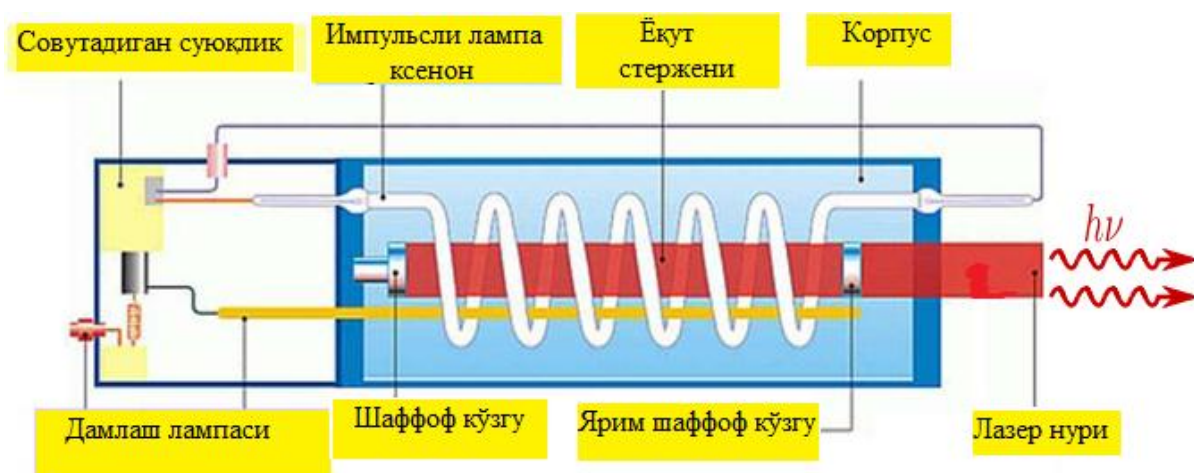
2.3 - расм . Уч сатҳли энергетик тизим.

Шуниси муҳимки, ташқи таъсир бўлмаганда атомларнинг турли энергетик сатҳларда яшаш вақти бир биридан катта фарқ қилади.

E_3 - сатҳда жуда қисқа вақт, яъни $10^{-8}c$ вақт давомида яшайди ва сўнгра нурланмасдан ўз - ўзидан E_2 - сатҳга ўтади ва яшаш вақти $10^{-3}c$ 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 $10^{-8}c$ 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.

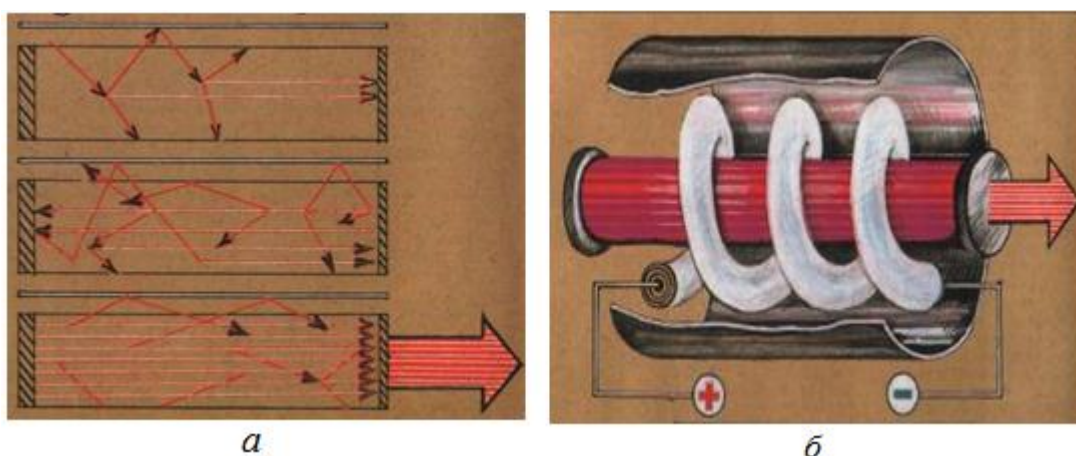
Ёқут - алюминий оксиди (Al_2O_3) ва хром (Cr^{3+}) атомлари (0,05% га яқин) аралашмасидан иборат оч қизил кристаллдир. Кристаллдаги хром ионлари сатҳлари юқорида талаб қилинган хоссаларга эгадир.

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 пастроқ энергетик ҳолатга ўтиб, уларнинг ўзи қизил ёруғлик чиқаради. Хромнинг уйғонган атомларидан бири ўз - ўзидан стержень ўқи бўйлаб учиб юрувчи 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, ёкут 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 кумуш 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.

Ёкут лазерининг ёруғлик нурлари жуда ёрқин бўлади. Бундай лазер нурини кўзимиз ҳатто 40 км масофадан ҳам сезади. Ёкут 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, суюқ 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.

2.2. 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 ҳолга ўтиши мумкин:

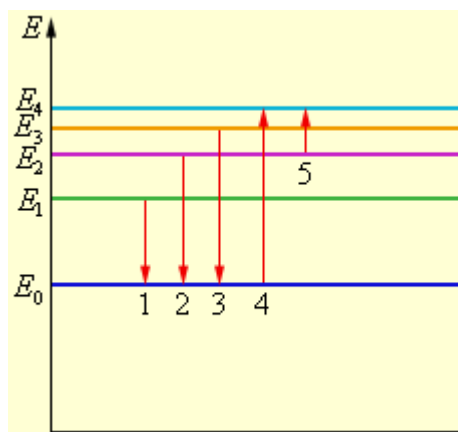


e - электрон.

X - асосий ҳолатдаги атом.

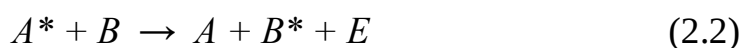
x^* - уйғонган ҳолатдаги атом.

2. Икки газ (A ва B) аралашмасида турли атомларнинг ўзаро тўқнашуви натижасида энергия резонанс равишда бир атомдан иккинчи атомга узатилиши уйғонган ҳолатни ҳосил қиладди. 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. 2.2 - реакция бўйича рўй берадиган жараён *иккинчи тур тўқнашувлар* номини олган.

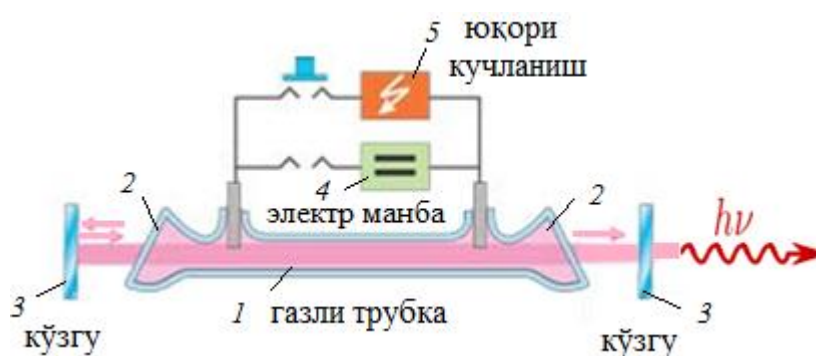
Атом уйғонган ҳолатдан асосий ҳолатга ёки пастки энергия ҳолатига тўрт хил йўл билан ўтиши мумкин:

- уйғонган атомнинг эркин электрон билан тўқнашувида электронга энергия бериш йўли билан;
- бир неча газ аралашмасида бошқа тур атомлари билан тўқнашиш натижасида;

- атомнинг газ разряди трубки 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.

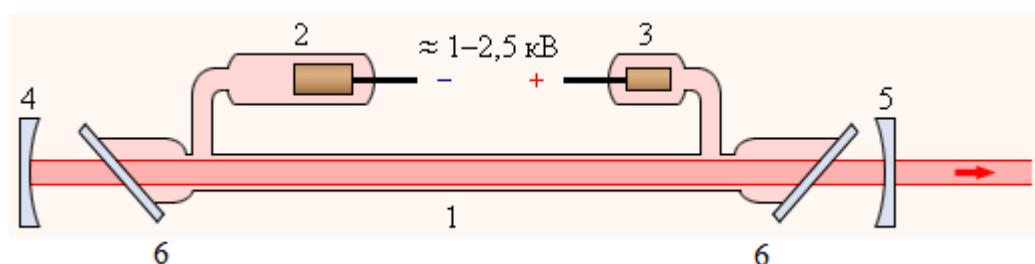
Газ лазери паст босимли газ аралашмаси билан тўлдирилган шиша трубкадан иборат. Трубка 1 диаметри бир неча миллиметрдан бир неча сантиметргача бўлади. Трубка учлари 2 Брюстер бурчаги остида жойлаштирилган ясси параллел пластиналар билан бириктирилган. Бундай пластинка орқали расм текислигида қутбланган 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 газли олиниб, ёрдамчи газ сифатида унга гелий газли 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.

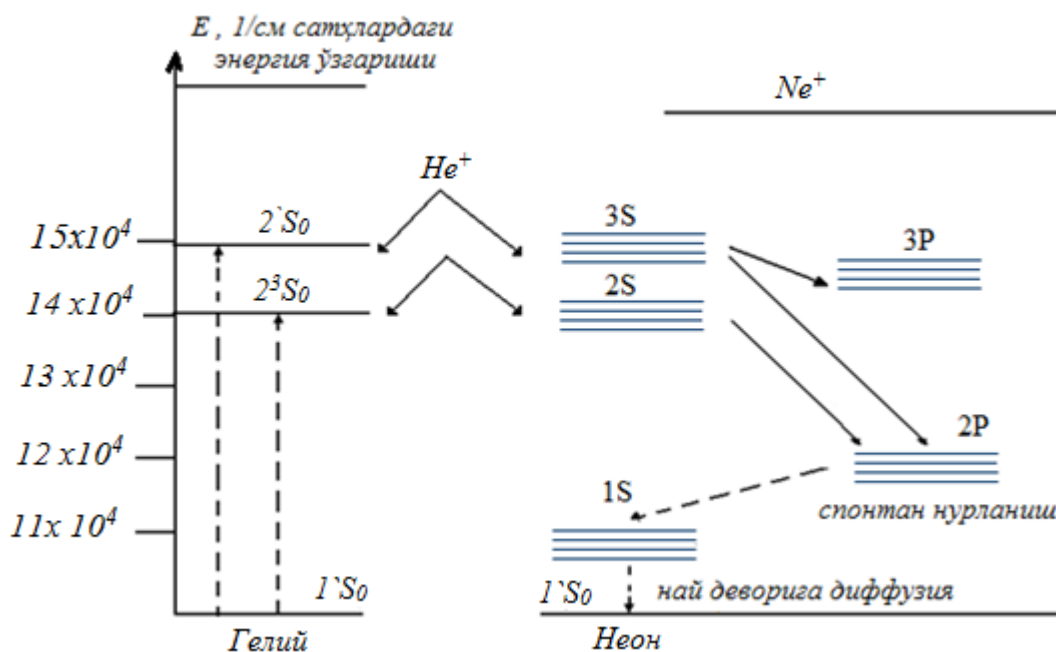


2.8-расм. Гелий-неон лазерининг тузилиши:

1- ишшадан 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 ишша ясси параллел пластинкалар.

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

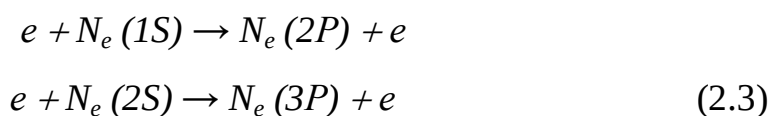
Гелий ёрдамчи газ бўлиб, иккинчи тур тўқнашишлар ёрдамида неон ишчи энергетик сатҳларини неон атомлари билан тўлдиришга ёрдамлашади. Гелий атомларининг ўзи эркин электронлар билан тўқнашганда юқори энергетик сатҳларга ўтади. Гелий атомининг бу юқори сатҳлардаги яшаш вақти $10^{-3}c$ ва бу сатҳлар энергияси 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 атомига энергия узатиш жараёнининг интенсивлиги юқори бўлади.



2.9-расм. Гелий – неон лазерининг энергетик сатҳлари.

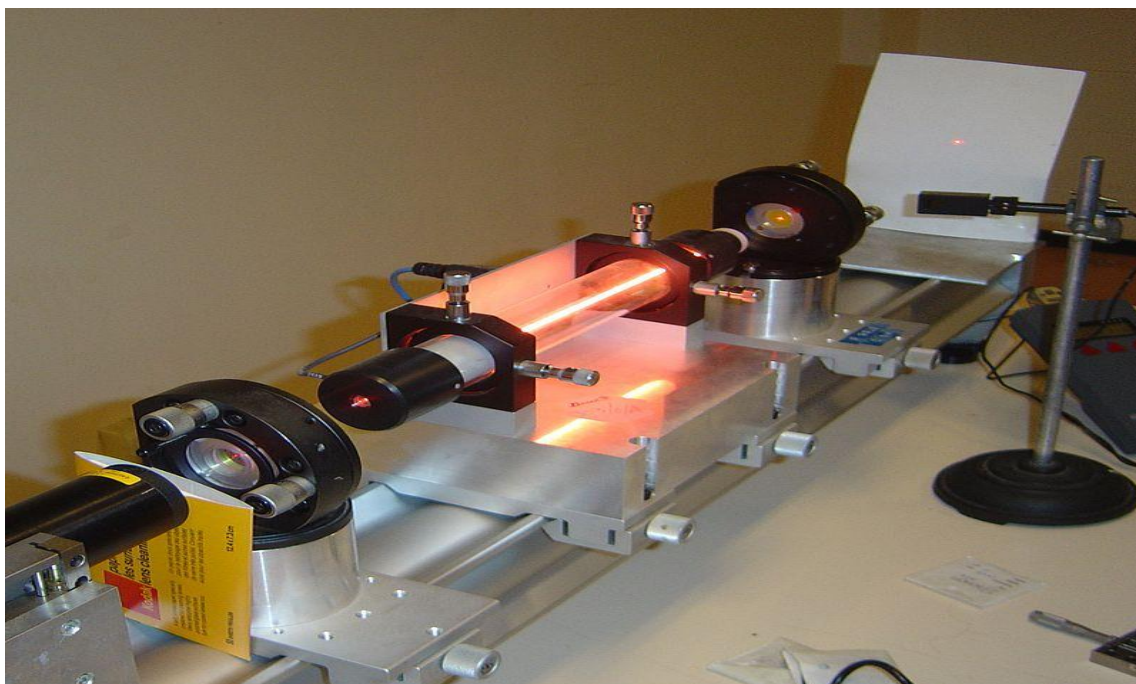
Шундай қилиб, ғалаёнлантирилган гелий атомлари ёрдамида неон атомларини ғалаёнлантириш учун, энергия зарраларнинг ўзаро ноэластик тўқнашиши йўли билан узатилади. Бу ўтишларида инверс бандлик ҳосил бўлади ва лазернинг тўрт энергетик сатҳли тузилишдаги ишлаш тамойилига мос келади. Бу жараёнда неон атомлари 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.

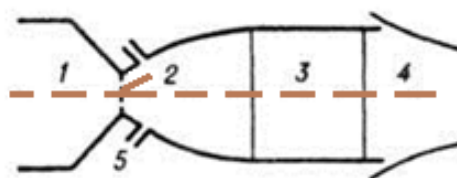
Тўлқин узунлиги $\lambda_1 = 3391 \text{ нм}$ нурланиш бериш имкониятига эга бўлган энергетик сатҳ неон атомлари билан тез ва осон тўлдирилади. Тўлқин узунлиги $632,8 \text{ нм}$ нурланиш генерациясини олиш мураккаброқ, лекин бу нурланиш электромагнит тўлқин диапозонининг кўзга кўринадиган диапозонида 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 ишлашни 2.10 - расм асосида тушунтириш мумкин.



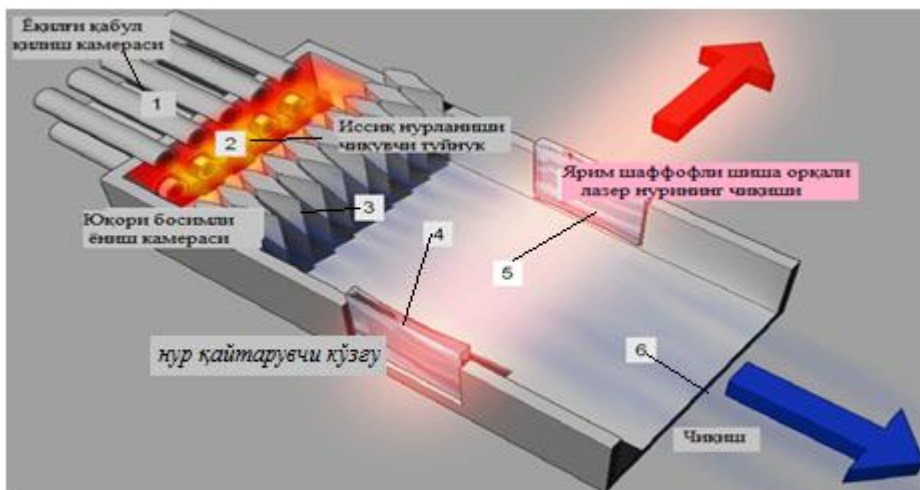
2.10-расм. Газодинамик лазернинг тузилиши:

1 – ёниш камераси, 2 – соплонинг критик юзаси, 3 - оптик резонатор, 4 - диффузор; 5 – CO_2 гази билан таъминлайдиган камера.

Бирор идишда юқори температура ($T=1400K$) ва босимда (17атм.) газ жойлашган бўлсин. Газ бошланғич ҳолатда термодинамик мувозанатда бўлгани учун CO_2 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 CO_2 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 H_2 ёки бензол C_6H_6 ва H_2O ёниши натижасида талаб қилинган температурага эришилади. Бунда CO_2/H_2O нинг 2:1 нисбатдаги аралашмаси ҳосил бўлади.

Сўнгги маълумотларга кўра газодинамик CO_2 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-рasm). Бунга сабаб қизиш натижасида лазер резанатори кўзгуларининг ишдан чиқишидир.



2.11-рasm. Газодинамик CO_2 лазернинг тузилиш схемаси:

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

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

Юқорида айтилганидек, СО лазер ишчи аралашмаси жуда яхши совитилиши керак. СО лазерда инверс бандлик ишчи газнинг $350 \div 400\text{ K}$ ҳароратидаёқ йўқолади. Унинг бирлик узунлигидан олинishi мумкин бўлган қувват трубка деворлари ҳароратси 77 K дан 300 K гача ўзгарганда 300 дан 30 Вт/м гача пасаяди.

СО - лазерлар ҳам нурланиш қувватини ошириш учун конвекция усули билан совитилиш ва инверс бандликни ҳосил қилиш учун номуस्ताқил разрядлардан фойдаланишни талаб қилади.

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

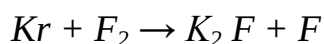
Баъзи бир инерт газлар ва уларнинг галогенлари билан бирикмаси молекулалари фақат уйғонган ҳолатда мавжуд бўлади. Бундай молекулалар - эксимер (инглизча - *excited dimer*) - уйғонган димер номини олган.

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.

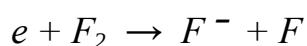
Қандайдир ҳажмда етарлича эксимер молекулалар ҳосил қилинган бўлсин. Унда юқори (боғланган) ва пастки (боғланмаган) сатҳлар орасидаги ўтиш натижасида нурланиш ҳосил қилиш мумкин. Бундай лазер эксимер лазер номини олган. Бу лазер иккита ажойиб хусусиятга эгадир. Генерация натижасида асосий ҳолатга ўтган 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, Ce) билан аралашishi натижасида ҳосил бўлган эксимерлар асосида яратилган лазерларни кўриб чиқайлик. Уларнинг нурланиши асосан ультрабинафша нурларга тўғри келади. Масалан: $Ar F$ ($\lambda = 193 \text{ нм}$), KrF ($\lambda = 248 \text{ нм}$), $XeCe$ ($\lambda = 308 \text{ нм}$), 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:



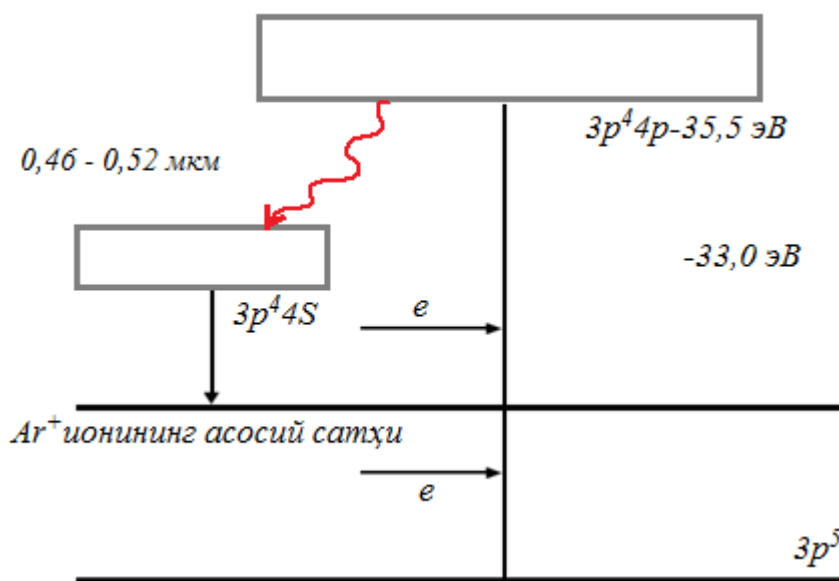
M – буфер газ (Ar ёки He).

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.

2.3. Ионли лазерлар

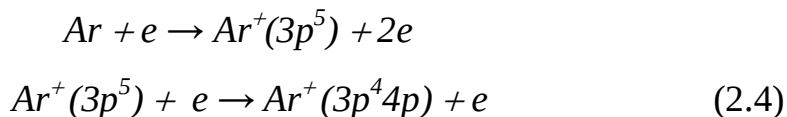
Лазер нурланиши фақат нейтрал атомлар энергия сатҳлари орасида ўтишлар натижасида ҳосил бўлмасдан, балки ионларнинг энергия сатҳлари орасида ўтишлари натижасида ҳам ҳосил бўлиши мумкин. Бундай лазерлар *ион лазерлар* номини олган. Ион лазерларнинг энг кенг тарқалгани аргон лазерини кўриб чиқамиз. Бу 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 қуйидаги қонуният билан ифодаланади:

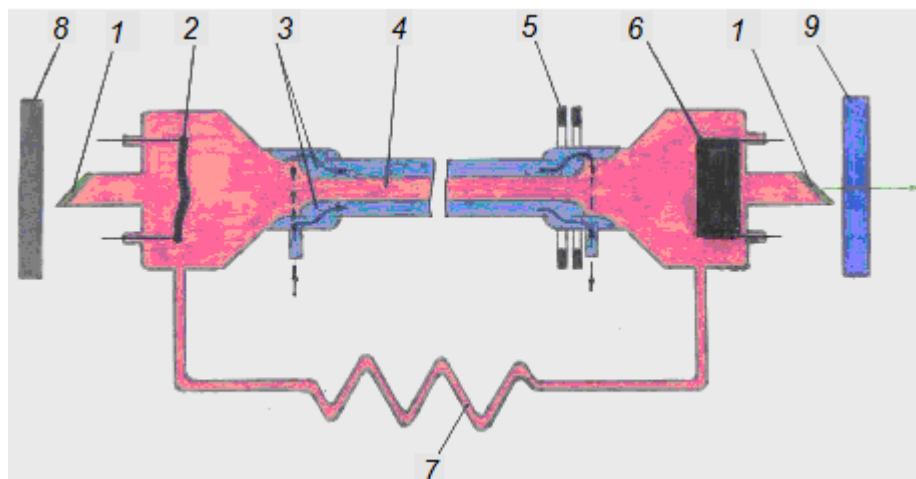


Электронларнинг юқори, $(3p^4 4p)$ лазер сатҳида яшаш вақти $\sim 10^{-8} \text{ с}$ бўлиб, бу вақт қуйи $(3p^4 4S)$ лазер сатҳида электронларнинг яшаш $(\tau \sim 10^{-9})$ вақтидан 10 марта катта.

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 $\sim 100 \text{ А/см}^2$ 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 қисмиға 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.

2.4. 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 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:



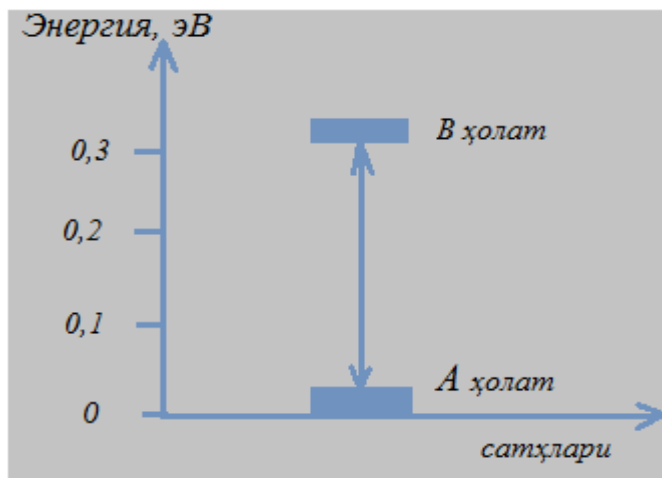
Мазкур реакция натижасида ҳосил бўлган атомар фтор 2.5 - реакцияда иштирок этиши мумкин. Натижада занжирли реакция вужудга келиб, уйғонган ҳолатдаги HF молекулаларнинг сони бошланғич фтор атомлари сонидан ниҳоятда катта бўлиб қолади. 2.6 - реакциянинг натижасида ажралиб чиқувчи кимёвий энергия 2.5- реакциянинг 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 тузилишига 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 (2.6) бўйича реакцияга киришади.

HF лазердан ташқари худди шундай тамойилда ишлайдиган F , HSe , 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 $\lambda = 337$ нм ни ташкил

қилади. Азот молекуласининг энергетик сатҳлари (2.14) расмда кўрсатилган.



2.14 – расм. Азот молекуласининг энергетик сатҳлари.

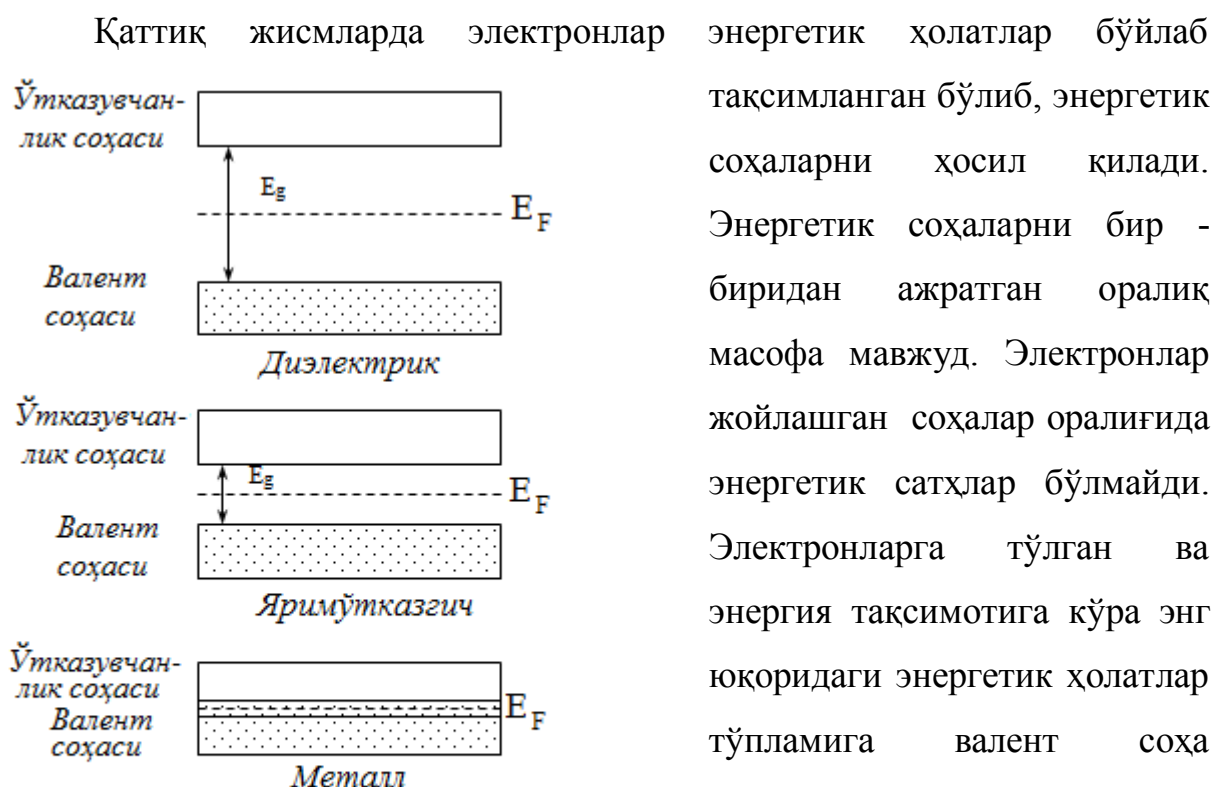
Азот лазерида нурланиш A ҳолатдан B ҳолатга ўтиш натижасида ҳосил қилинади. A ҳолатнинг уйғонган ҳолатга ўтиши асосий ҳолатдаги азот молекулаларининг электронлар билан тўқнашуви натижасида рўй беради. A ва B ҳолатлар триплет ҳолатлар (3 та сатҳдан иборат) бўлиб, уларга асосий ҳолатдан тўғридан - тўғри 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 ҳаракатининг 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.

2.5. 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.



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 ($E_g \approx kT$) 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 ковакларнинг сони ўзгаради. Агар яримўтказгичнинг таркибига беш атомли металл атомлари киритилса масалан, кремний таркибига фосфор киритилса, бундай легирланган яримўтказгичга *n - типли яримўтказгич* деб, яримўтказгич кристали 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 ковак ва мусбат зарядли бўлади. Бундай яримўтказгичларга *p-типли*

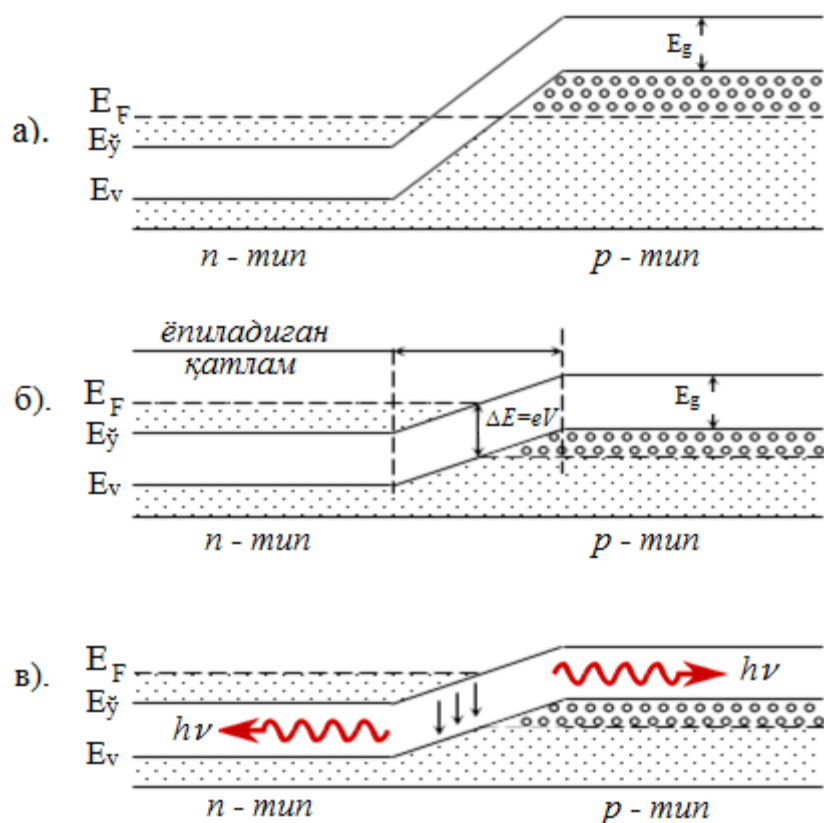
яримўтказгичлар дейилади. Диффузия йўли билан яримўтказгичнинг кристалл панжарасига киритилган металл атомини *акцептор* деб аталади.

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

Яримўтказгичли лазерлар учун *p-n* ўтиш соҳасида электрон ва тешиклар бир вақтда иштирок этиши катта аҳамиятга эга. Бу шарт кучли легирланган яримўтказгич донор ва акцепторни ҳосил қиладиган элементларни яримўтказгичнинг кристалл 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*-типдаги яримўтказгичда донор сатҳи электронга тўлади ва қисман ўтказувчанлик зонасига ҳам ўтади. *p* - типли ярим ўтазгичда 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 кутбини *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 $h\nu = E_g$ 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 нуруни 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 карама-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 $\lambda = 0,84 \text{ мкм}$. 77°K температурада фойдали иш коэффиценти $70 \div 80$ % ни ташкил қилади. 2.17-расмда яримўтказгич лазерини дамлаш, нурланиш энергетик сатҳлари ва лазернинг тузилиши схематик равишда келтирилган. *GaAs* лазерининг генерациясининг қуйи чегараси, 77°K температурада $(2 \div 3) \times 10^2 \text{ A/cm}^2$ ни ташкил этади. Импульсли режимда электр токи $0,5 \div 1$ 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 ораликни ($\lambda = 0,3 \text{ мкм}$ дан то 30 мкм) эгаллайди. Дамлаш токининг *GaAs* лазерининг 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). $Ga(As_{1-x}P_x)$ лазерлари - 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 қўлланадиган
лазер*



*Узлуксиз маромда ишлайдиган
CO₂ лазер*



*Металларда кичик ўлчамли тешикларни
ҳосил қилишида қўлланадиган лазер*



Ўта қувватли технологик лазер



Аргонли ион лазери



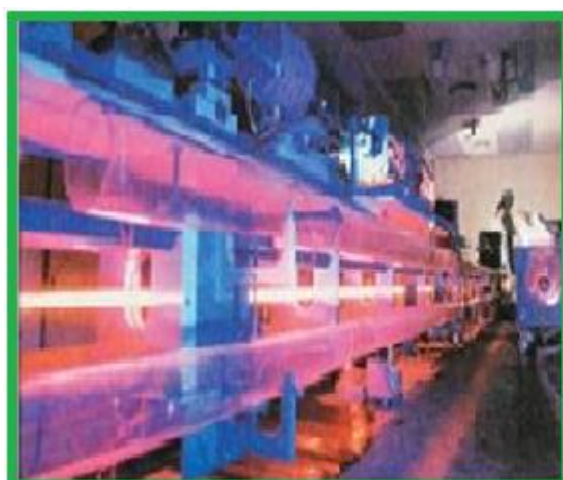
Гелий - неон лазери



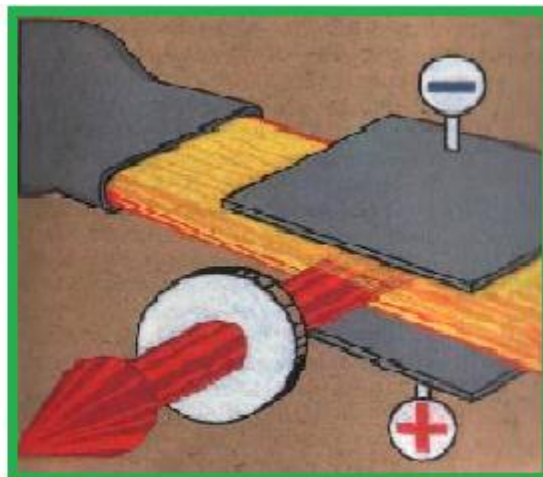
Яримўтказгичли лазер



Суюқ бۆёқлардаги лазер



Газли лазер



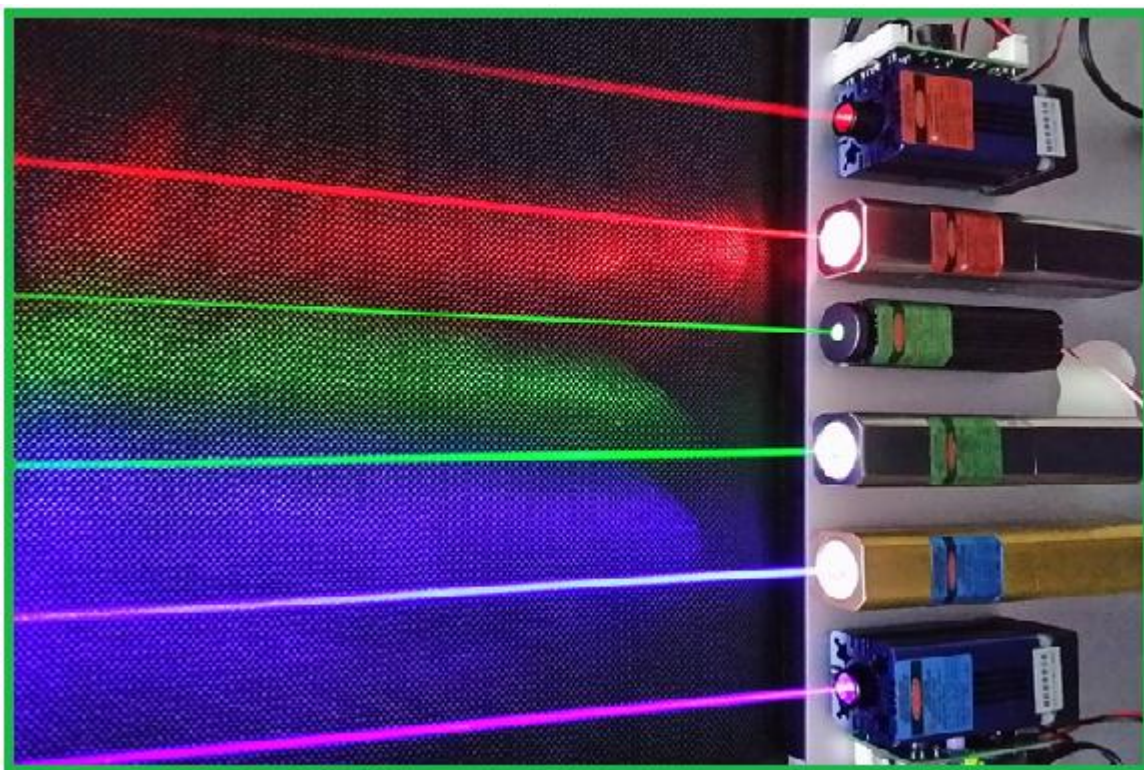
Газодинамик лазер



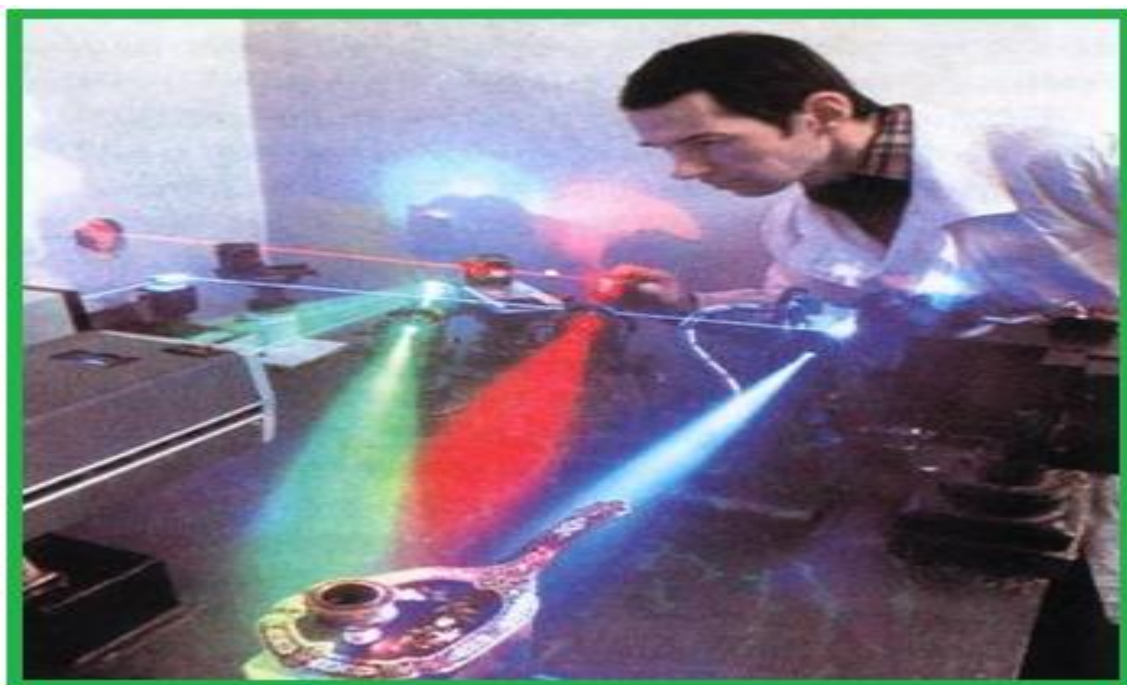
Неодим лазери Nd: YAG (Тўлқин узунлиги 1064 нм)



Импульсли лазер



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

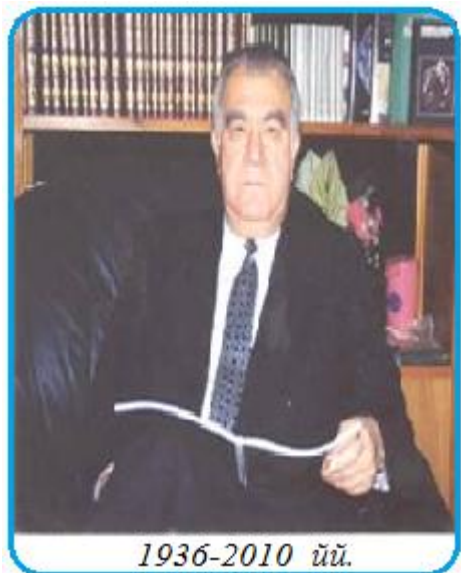


Турли хил тўлқин узунликдаги лазерлар ёрдамида голограмма олиш.

2.6. Ўзбекистон физик олимларининг тадқиқот ишлари

Ҳабибуллаев Пўлат Қирғизбоевич

Ҳабибуллаев Пўлат Қирғизбоевич 1936 йил 14 октябр Андижон шаҳрида таваллуд топган. 1955 - 1960 йиллари Ўрта Осиё



давлат университети талабаси бўлган. 1971 йил физика - математика фанлари доктори бўлган, 1973 йилда эса профессор унвонига эришган.

Физик олим ва жамоат арбоби П.Қ.Ҳабибуллаев 1984 йили Ўзбекистон Фанлар Академияси (ФА) академиги, Россия Фанлар Академиясининг мухбир аъзоси бўлган.

1964 - 1972 йиллар мобайнида Тошкент педагогика институтида кафедра мудири, 1972 - 1975 йиллар Андижон пахтачилик институти ректори, 1975 - 1978 йиллар Ўзбекистон фан ва ўқув юртлари бўлими мудири, 1978 - 1988 йиллар Ядро физикаси институти директори, 1978-1984 йиллар Ўзбекистон ФА вице - президенти, 1984-1988 йиллар Ўзбекистон ФА президенти, 1985-1988 йиллар Ўзбекистон Олий Совети раиси, 1988-1989 йиллар Ўзбекистон Олий Совети Президуми раиси, 1989-1994 йиллар Ўзбекистон Олий Мажлисининг Халқаро ишлар қўмитаси раиси, 1993-1995 йиллар жамоатчилик асосида ҳозирги Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети “Оптика” кафедраси мудири, 1994-2002 йиллар Ўзбекистон Республикаси Фан ва техника давлат қўмитаси раиси, 2002-2006 йиллар Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Фан ва технологиялар маркази директори ва 1989-2010 йиллар Ўзбекистон Республикаси ФА Иссиқлик физикаси бўлимининг илмий раҳбари лавозимларида ишлаб келган.

Шу билан бирга “Ўзбекистон физика журнали” да бош муҳаррири сифатида ҳам фаолият кўрсатган. Россия ФА нинг “Акустика” журнали таҳририяти аъзоси ҳам бўлган.

Унинг ташаббуси билан “Иссиқлик физика бўлими” Ўзбекистон Фанлар академияси қошида 1977 йил ташкил қилинган бўлиб, 1989-2010 йиллар мобайнида унга раҳбарлик қилган.

Академик П.Қ.Хабибуллаев замонамизнинг атоқли, кўзга кўринган физик олим, дунё ва мамлакатимиз физика фани ривожига улкан ҳисса қўшган олим бўлганлар.

У акустик спектроскопия, физик ва квант акустика, нанофизика ва юмшоқ муҳитлар физикаси, ночизиқли оптика ва лазер термохимёси, суперион ўтказгичлар ва квант-ўлчамли системалар физикаси, ядро физикаси ва радиацион материалшунослик, ночизиқли динамика ва хаос, изотоплар физикаси ва кимёси ҳамда лазер фотосинтези каби йўналишларда тадқиқотлар олиб бораётган нуфузли илмий мактаблар асосчиси бўлган.

П.Қ.Хабибуллаевнинг оптика, замонавий акустика, сиқилган муҳитларнинг иссиқлик физикаси ва лазер материалшунослиги соҳалари бўйича яратган илмий мактаби жаҳон фани томонидан эътироф этилган.

Академикнинг илмий-тадқиқотлар соҳасидаги фаолияти натижалари 500 дан ортиқ илмий мақолалар ва 15 та монографияларда ўз аксини топган. 200 дан ортиқ фан номзоди ва 40 дан зиёд фан докторлари тайёрлаган.

Унинг бошчилигида катта босим остидаги паст температурали плазмани тадқиқ қилиш туфайли қудратли электр разряд - лазерлар яратишда муҳим натижалар олинган. Ядро энергетикаси муаммоларини ҳал қилиш билан боғлиқ бўлган қатор фундаментал ва амалий тадқиқотларга бошчилик қилган.

П.Қ. Ҳабибуллаев критик ҳодисалар ва фазавий ўтишлар соҳасини ўз ичига олган конденсирланган муҳитлар акустик спектроскопияси асосчиларидан бири.

Жаҳонга танилган физик олим ўрта мактаб ва олий ўқув юртлари учун физикадан дарсликлар муаллифидир.

Шунингдек, РФ технологик фанлар Академияси академиги (1992 й.), Электротехник фанлар халқаро Академияси академиги, Олий мактаб халқаро Академияси академиги (1995 й.), Ислом Фанлар Академияси аъзоси, Покистон, Ҳиндистон ва бошқа бир қанча хорижий мамлакатларнинг фанлар академияси аъзоси (1997й.) бўлган.

П.Қ. Ҳабибуллаев Беруний номидаги Ўзбекистон Давлат мукофоти лауреати (1981й.), Ўзбекистон Республикаси Давлат мукофоти совриндори (1983й.), Жаҳон интеллектуал мулк ташкилоти (*WIPO*) Олтин медалининг икки марта соҳиби (1985, 1996 йй.), Ўзбекистонда хизмат кўрсатган фан арбоби (1993й.) бўлган ва 2000 йил “Меҳнат шуҳрати” ордени билан мукофотланган.

У яратган юқори илмий салоҳиятга эга бўлган мактаб орқали шогирдлари бугунги кунда катта илмий изланишлар билан бир қаторда ёш мутахассисларни тайёрлаш йўлида ҳам ўзларининг салмоқли ҳиссаларини қўшиб келмоқдалар.

Ашуров Мухсинджон Хуррамович

Ашуров Мухсинджон Хуррамович 1949 йил 19 ноябрь Самарқанд шаҳрида таваллуд топган. 1966-1971 йиллари Самарқанд давлат



университети талабаси бўлган. 1978 йил физика-математика фанлари номзодлик диссертациясини ёқлаган, 1989 йил физика - математика фанлари доктори бўлган. 1995 йил профессор унвонига сазовор бўлган. 1995 йил Ўзбекистон Фанлар Академияси (ЎзФА) академиги этиб сайланди. 1981 йилда эса биринчи бўлиб ЎзФА тарихида ўстирилган кристалларни экспортини амалга оширди.

Ўтказилган кенг миқёсли ва тадқиқотларнинг натижалари Россия фанлар академияси умумий физика институти физик олимларини ва технологларини **лаъал** таркиби асосидаги янги матераиалларни синтезлаши учун туртки бўлди. Бундай материаллар сирасига галлийли гадолиний, галлийли гадолиний-скандий, галлийли иттрий-скандий кабилар киради. Булар кўш фаоллаштирилган материаллар, яъни асосий ионлардан ташқари ер юзида ноёб фаоллаштирувчилар, шунингдек хром ионларидан иборат бўлиб, пировард натижада хромнинг ютилишига оид иккита кенг чизиқга эга, бу чизиқларнинг жамловчи лампа максимум нурланиш дипазони тахминан 450 нм ва 650 нм ташкил этади.

Хром ионлари нурланиш энергиясини неодим ионларига ўтказиб бериш механизмининг кашф этилиши жамловчи энергиянинг тўлқин узунлиги $\lambda = 1,06\text{ мкм}$, $\lambda = 0,936\text{ мкм}$, $\lambda = 1,32\text{ мкм}$ бўлган генерация орқали чиқувчи, шунингдек соҳасини $766\text{--}820\text{ нм}$ гача бир текис ўзгартирувчи энергияга айлантириш имконини яратиб берди.

Иттрий - алюминийли **лаъл** (ИАЛ) кристалларидан фарқли ўларок, ушбу янги кристаллардаги ҳаракатга келтирувчи электрон қувватнинг

хром ионларидан, масалан неодимдан узатиб берилиши анча самарали кечар эди. Чунки буларда хром ионлари *ИАЛ* дагига нисбатан бир мунча мақбул ҳолатда жойлашган. Бу $4T^2$ хром ёйилиш зичлиги даражасининг юқори кўрсаткичларига эришиш ва шу орқали ҳаракатлантирилган Cr_3^+ ионлардан ер юзида ноёб унсурларнинг, жумладан неодим ёки эрбининг уч валентли ионларига самарали узатиб бериш имконини яратиб берди. Пировард натижада қаттиқ жисмли лазерларнинг энергетик кўрсаткичлари сезиларли даражада ўсди. Генерациялаш тажрибаларида, масалан, галлийли иттрий-скандий лаъал кристалларида хром ионлари ва неодим билан ана шу тарзда қаттиқ жисмли лазерлар учун рекорд ф.и.к.га эришилди: эркин генерация режимида 15% гача; моноимпульсдаги қувват 0,5 Ж ҳолатда ва импульсларнинг қайтарилиш частотаси 50 Гц бўлган асл тозалик модуляциясида 6 %. Айнан ана шу асосда янги ускуналар - лазерли спектр таҳлилловчиси, импульслар кучайтиргичи, пикосекунд лазерлар устида тадқиқот ишларини олиб борган. Лазернинг чиқувчи қуввати нисбий ўзгаришининг гамма-нурланишнинг миқдорига боғлиқлигини иттрий-скандий-галлийли-гадолиний (*ИСГГ*) - Cr_3^+ , Nd_3^+ асосида ўрганиш шуни кўрсатдики, уни юқори энергия билан нурлантирилганда ушбу лазернинг чиқувчи қуввати ўзгармас экан. Бу ҳолат ушбу турдаги лазерларни коинот техникасида, яъни табиий космик радиация таъсири шароитида қўллаш учун кенг имкониятлар очиб беришини асослаб берди.

1994 йил Ўзбекистон “Фахрий Ёрлиғи”, 1997 йил “Дўстлик” ордени ва “Ўзбекистон белгиси” кўкрак нишони билан мукофотланган. 2001 йил “Фан арбоби” унвони соҳиби бўлди. 1990 йилдан Халқаро оптик техника жамияти SPIE (АҚШ) нинг аъзоси. Шу билан бирга орден, медалларни ҳамда нумизматик тангаларини ишлаб чиқаришни ташкил этди. 1991 йил “Фонон” илмий ишлаб-чиқариш бирлашмасини ташкил этди ва ҳозирги кунга қадар раҳбарлик қилиб келмоқда.

Бедилов Мэлис Раҳматуллаевич

Бедилов Мелис Рахматуллаевич 1939 йил 10 февраль Тошкент шаҳрида таваллуд топган. 1954 - 1959 йиллари Тошкент давлат



университети талабаси бўлган. 1984 йил физика - математика фанлари доктори бўлган, 1988 йилда эса профессор унвонига эришган.

Профессор М.Р. Бедилов ташаббуси билан “Лазер материалшунослиги лабораторияси” 1989 йилда ТошДУ амалий физика институтининг бўлими сифатида ташкил этилган ва унинг илмий раҳбари бўлган. Бу лабораторияда “Қаттиқ жисмлар сатҳи билан зарралар ва плазмаларнинг

ўзаро таъсири ва Плазма физикаси” асосий илмий йўналиши бўйича илмий тадқиқот ишлари олиб борган. 1989 - 2003 йилларда лаборатория Ўзбекистон Республикаси Фан ва техника Давлат Кўмитасининг давлат бюджети мавзуларининг ижрочиси бўлган. 2003 - 2008 йиллар давомида лабораторияда “Ўзбекистон Республикаси Фан ва технологиялар маркази” грантлари доирасида “Икки каналли лазер нурланишининг қаттиқ жисмлар билан ўзаро таъсирланганда кўп зарядли ионлар ва ядролар спектрининг шаклланишини тадқиқ этиш” юзасидан тадқиқотлар олиб борган. Бундан ташқари лаборатория ходимлари МАГАТЭ нинг “Investigations of interaction of laser radiation and plasma beams with materials of reactor chamber for inertial confinement fusion” мавзуидаги грантнинг илмий раҳбари бўлган. Лабораторияда иккита ишлаб турган экспериментал қурилма мавжуд, уларнинг асосий бўғимлари қуйидагилардан иборат: неодим лазери базасидаги беқиёс лазер тизими, импульснинг қайтиш частотаси $1-50 \text{ Гц}$, нурланиш импульсидаги қуввати 1 Ж гача ва нурланиш импульсининг лавомийлиги 15 нс , узлуксиз ишловчи, нурланиш ўртача қуввати 100 Вт гача бўлган, нишонга олиш камераси, вакуум тизими,

цилиндр кўринишидаги электростатик масс-тахлилловчиси ҳамда ташхисловчи аппаратлар мажмуига эга бўлган CO_2 лазер. Ушбу беқиёс экспериментал қурилмадан фойдаланиб, охириги 27 йил давомида лаборатория ходимлари томонидан лазернинг бир ва икки каналли нурланиши орқали олинган моно ва кўп унсурли лазер плазмаларидаги ионланиш, рекомбинацион ва тезланиш жараёнлари устида экспериментал тадқиқотлар натижалари олинган:

1. Цилиндр кўринишидаги электростатик энерго-масс-тахлилловчиси мавжуд бўлган вақт оралиғида ҳаракатланувчи иккита масс-спектрометр ишлаб чиқилган ва яратилган, улар лазер нурланишининг тушиш бурчагини ўзгартириш имкониятига эга бўлиб, масса бўйича ва зарраларнинг ҳаракатланиш масофаси бўйича ($L=80-150$ см) ҳал этиш слоҳиятига эгадир.

2. Қувватининг зичлиги $q=10^8-10^{12}$ Вт/см² бўлган лазер нурланиши таъсири остида моно нишонларда (Be дан W гача) кўп зарядли ионларнинг ҳосил бўлишига олиб келувчи физик жараёнлар экспериментал тадқиқ қилинган. Бунда кўп зарядли ионларнинг (Z_2^3) интенсивлиги ошиши самараси ва уларнинг энергетик спектрининг кенгайиши аниқланган.

3. Масс-спектрометр усулида илк марта лазер нурланишининг зичлиги кам бўлган ғоваксимон муҳит билан ўзаро таъсири зичликдаги қувватлар, лазер нурланишининг тушиш бурчаги, ҳамда нишонлар зичлиги ва концентрацияси турли бўлган шароитларда тадқиқ этилган.

4. Кўп зарядли ионларнинг зарядга ва қувватга оид спектрлари икки каналли лазер нурланишининг фокусланиш шароитига боғлиқ тарзда тадқиқ этилган ва кўп зарядли ион- вольфрам (W) спектрининг шаклланиш хоссалари аниқланган. Нишонга нисбатан масофа ортиши (0 дан 1 мм гача) билан Z тах ионлари максимал такрорийлигининг муҳимлиги W , ионлар интенсивлигининг ортиши $Z > 1$, шунингдек, ионларнинг катта қувватлар томонига энергетик тақсимланиш максимуми кўриб чиқилган.

Баҳромов Сагдулла Абдуллаевич

Баҳромов Сагдулла Абдуллаевич 1941 йил 2 январь Тошкент шаҳрида таваллуд топган. 1957-1962 йиллари Москва давлат



университети талабаси бўлган. 1971 йил номзодлик диссертациясини ёқлаган, 1990 йилда эса физика-математика фанлари доктори бўлган. 2017 йил Ўзбекистон Фанлар Академияси (ЎзФА) академиги этиб сайланди. Унинг лабораториясида олиб борилаётган тадқиқотлар когерентлик, йўналтирилганлик, спектр чизиғининг тор монохроматик кенглиги, юқори спектрал

кувват каби ажойиб хоссаларга эга бўлган газли лазер яратилганидан кейин физиканинг янги илмий йўналишлари - лазер физикасига, лазер спектроскопиясига, нозикли оптикани ривожланишига катта ҳисса қўшди. Лазер физикаси ривожининг илк босқичида тадқиқотчиларнинг асосий вазифаси спектрнинг ультрабинафшадан тортиб то инфрақизилгача бўлган барча спектрал диапазонлари соҳасида лазерлар яратишни ўз олдига мақсад қилиб қўйди. Частотаси соналандиган лазер манбаларининг яратилиши лазер нурланишининг модда билан резонансли ўзаро таъсирланиши бўйича экспериментал ва назарий тадқиқотлар бошланиши учун асос яратиб берди. Ушбу йўналиш ривожи резонансли ўзаро таъсирланиш физикаси тадқиқотлари билан, резонансли муҳитда, нозикли спектроскопияда, селектив фотокимёда, изотопларнинг лазерли тақсимланишида, адаптив оптик тизимларда, ёруғлик импульслари компрессорларида ўта қисқа узунликдаги нурланишларни ҳосил қилиш учун лазер нурланиши частотасини ўзгартириш жараёнида спектрнинг турли диапазонида когерент нурланишни ҳосил қилиш имконияти билан боғлиқ. С.А.Баҳромов биринчилардан бўлиб газсимон атомар ва молекуляр

муҳитларда лазер нурланишининг ўзаро резонансли таъсирланиши бўйича тадқиқотлар ўтказди. Бу тадқиқотларда нурланиш частотаси бир фотонли ва кўп фотонли резонансларга яқинлашганда атомлар ва молекулаларнинг ночизикли кубсимон қисмининг таъсирчанлиги бир неча баробар ўсиши ва айтилиш вақтида бир қатор ночизикли оптик ҳодисалар вужудга келиши аниқланди. Илк бора ўз-ўзига таъсир кўрсатиш эффектининг, фотонлар параметрик нобарқарор парчаланишининг, ночизикли ютилишининг, кўп фотонли резонансли ионлашувнинг, лазер нурланишининг атомар муҳит билан резонансли ўзаро таъсирланганда қутбланишининг ўз-ўзини индуцирлаган ҳолатда айланишига оид физик механизмлар экспериментал аниқлади. Унинг тадқиқот натижалари асосида атомларнинг бир фотонли резонансли ўтиши чоғида паст частотали созланиш ҳолатида фокуснинг бузилиши ва атомларнинг резонансли ўтиши чоғида юқори частотали созланиш ҳолатида лазер нурланиши фокусининг ўз ҳолича тўғриланиши экспериментал исботини топди. Лазер нурланиши икки фотонли резонансли атомар муҳитда кўзғалиш чоғида ўз ҳолича фокусини тўғрилаши биринчи бўлиб экспериментал жиҳатдан аниқланди ва назарий жиҳатдан ифодалаб берилди ҳамда фокус ўз ҳолича тўғриланишининг физикавий механизми очиқ берилди. Атомларнинг икки фотонли резонансли кўзғотилиши шароитида тўрт фотонли параметрик ўта люминесценцияланиш (*ТФПЎЛ*) ҳолатини экспериментал жиҳатдан аниқлади. *ТФПЎЛ* нинг спектрал кенглигининг катталиги дифракцион ҳодисалар ва синхронизм нуқтасининг силижиб юриши билан боғлиқлигини аниқлади. Кузатилган ушбу ҳодиса лазер нурланиши майдонидаги ночизикли циркуляр гиротропиясида муҳитнинг индуцирланиши билан боғлиқлиги ва атомларнинг кубсимон ночизикли резонанс таъсирига берилиши билан алоқадорлигини кўрсатиб берди.

Ҳозирда у ЎзРФА “Ион-плазма лазер технологиялари” институтида лаборатория мудир лавозимида ишлаб келмоқда.

Азаматов Закиржан Тахирович

Азаматов Закиржан Тахирович 1941 йил 27 апрель Тошкент шаҳрида таваллуд топган. 1960 йили Тошкент давлат университети



талабаси бўлган. 1961 йилдан ўқишни Москва давлат университетида давом эттирган. 1979 йил физика - математика фанлари номзоди бўлган, 2004 йилда эса физика - математика фанлари доктори бўлган. З.Т.Азаматов кенг тараққий этган қаттиқ жисмлар кристалларининг уч валентлик лантаноидлар гуруҳига кирувчи оксид кристалларини оптик метод билан

ўстириш ва уларни спектрал ва генерацион характеристикаларини тадқиқ қилиш бўйича илмий ишлар олиб бормоқда.

Лазернинг фаол моддаси цилиндр шаклдаги ёқут кристалли ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{+3}$) бўлиб, унинг асослари ниҳоят даражада силлиқланган. Цилиндрнинг бир учи тўлиқ кўзгу, иккинчи учи эса ярим шаффоф бўлади. Цилиндрсимон кристаллини спираль шакли газ заряд лампаси билан ўралган. Бу лампаларнинг кучли кўкимтир яшил ёруғлиги хром ионларини юқори энергетик ҳолатга ўтишига имкон яратади. Уйғотилган хром ионлари юқори энергетик сатҳдан қуйи энергетик сатҳга ўтганда ҳар хил йўналишларда ҳосил бўлган индукцияланган нурланишларнинг фақат кристалл ўқи бўйлаб йўналганда унинг учларидан кўп марта қайтади ва кучли лазер нури кўринишида унинг шаффоф томонидан ташқарига чиқиб кетади. 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 ўтказиши ҳам. Ушбу энергетик сатҳдан фойдаланиш йўли билан бу масала ҳал қилинди.

З.Т.Азаматов жуда катта аниқликда ўлчайдиган лазерли-интерферометрик ўлчов асбоблари ёрдамида тадқиқот ишларини олиб бормокда. Унинг илмий текшириш изланишлари гранат структурасидаги $Y_3Al_5O_{12}$ иттрий-алминий-галлий (*ИАГ*) гранатларига Nd^{+3} , $Nd^{+3}+Cr^{+3}$, Tb^{+3} , Eu^{+3} , Dy^{+3} , Er^{+3} , Gd^{+3} нодир ер элементлари қўшилган ва аралаш гранатларига $Y_3Al_{5-x}Ga_xO_{12}$ иттрий-алюминий-галлий гранат (*ИАГГ*) неодим қўшилган ва нодир ер гранатларига рений алюминий - галлий (*РеАГ*) Cr^{+3} ва Mn^{+3} қўшилган кристалларни ўстирган, спектрал ва генерацион характеристикаларини тадқиқ қилган. Бу илмий тадқиқод ишлари лазер гранатларини эффектив нурланишини оширишга ва генерацион характеристикаларини яхшилашга бағишлангандир.

З.Т.Азаматов биринчи бўлиб *ИАГ:Gd⁺³* гранатида лазер нурланишини ультрабинафша ораликда $\lambda=314,6$ нм тўлқин узунлигида бўлишини аниқлади. У яна Nd^{+3} неодим иони киритилган лютиций алюминий гранатини спектрал генерацион характеристикаларини тадқиқод қилди ва лазер нурланишини бу фаол муҳитда $\lambda=1064,3$ нм бўлишини аниқлади. Бундан ташқари у янги турдаги фаол муҳитларга *Sc*, *Ca*, *Se* ва *Mn* ионлари киритилган мураккаб аралаш гранатларни спектрал генерацион характеристикаларини тадқиқод қилди. Бу тадқиқодларнинг асосий мақсади бу фаол муҳитларнинг спектрал, генерацион, термооптик ва механик хусусиятларини ва кристалларни ўстириш технологиясини яхшилашга қаратилган. Бу тадқиқод қилинган фаол муҳитларнинг ичида қуйидаги кристаллар катта аҳамиятга эга: *ИСГГ: Nd⁺³, Cr⁺³*; *ИСГГ: Cr⁺³, Er⁺³*. Бу кристалларнинг ичида биринчилар қаторида таркибида неодим ионлари бўлган *ИАГГ: Nd⁺³* да $\lambda=1064,2$ нм тўлқин узунлигида лазер нурланиши хона ҳароратида олинди ва тадқиқод қилинди.

Ҳозирда у “Фан ва технологиялар агентлиги”нинг “Инновация” бўлим бошлиғи ўринбосари лавозимида ишлаб келмокда.

Усмонов Тимурбек

Тимурбек Усмонов 1942 йил 14 апрель Тошкент шаҳрида таваллуд топган. 1962 - 1967 йиллари Москва давлат университети талабаси бўлган.



1973 йил физика - математика фанлари номзодлик диссертациясини ёқлаган, 1987 йил физика - математика фанлари доктори бўлган. 2017 йил Ўзбекистон Фанлар Академияси (ЎзФА) академиги этиб сайланди. Академик Тимурбек Усмонов томонидан 1975 йил “Лазер нурланишининг модда билан ўзаро таъсири” лабораторияси ташкил этилди ва

унинг илмий раҳбари сифатида фаолият кўрсатмоқда. Ушбу лаборатория доирасида “Ўта самарали катта қувватга эга кенг апертурали неодиим лазерлари нурланиш частотасини ночизиқли-оптик ўзгартириш” илмий мактаб ва янги илмий йўналиш вужудга келди. Янги илмий йўналиш доирасида юқори қувватга эга лазер тизимларининг тармоғини ишлаб чиққан, уларнинг ёрдамида кенг спектрал диапазонда (яқин инфрақизилдан ультра бинафша диапазонгача) турли узунликдаги (10^{-8} дан 10^{-14} с гача) лазер нурланишларини олиш имкониятини яратди. Катта қувватга эга лазер тизимларини яратиш чоғида юксак оптик сифатга эга бўлган нурланишни шакллантириш концепциясига асос солди. Ночизиқли оптика назарияси соҳасида кучли ўзаро таъсирланишнинг яқинлашуви ривожлантирилди, бунинг натижасида диспегуруланувчи муҳитда ночизиқли-оптик жараёнларни ифодаловчи аналитик ечимлар олиш имконини яратди. Катта қувватга эга қаттиқ жисмли лазерларни ишлаб чиқиш ва яратиш соҳасида неодиим шишасида ҳамда иттрий-алюминий лаълида ишлайдиган, турли узунлик ва қувватга эга бўлган импульсларни нурлантирадиган лазерлар туркумини яратган. Неодиим

шишасида ишловчи катта қувватли, кўп поғонали, кенг апертурали лазерларнинг ривожланишига муҳим ҳисса қўшган. Лазер нурланиши частотасини ўзгартириш жараёнларида гипергаусс дасталардан фойдаланишнинг афзаллигини биринчилардан бўлиб кўрсатиб берган. Т.Усмонов илк бора мусбат дисперсияли изотроп муҳитда фокуслантирилган лазер нурланиши самарали муштараклик генерациясига эришган. Органик бўёқлар, каллоидли металлларнинг эритмалари ва фуллеронларнинг буғларида частотанинг ўзгариши юзасидан тадқиқотлар ўтказган. Спектрнинг вакуумли ультрабинафша соҳасида, яъни частотаси қайта мувофиқлаштириладиган лазерли нурланишнинг манбаларини ишлаб чиқган. Фундаментал илмий тадқиқотлар олиб бориш билан бир қаторда Т.Усмонов ходимлар билан биргаликда амалий йўналишларни ҳам ривожлантира борди. И.В.Курчатов номи Ядро физикаси институти ҳамда космик кузатув станцияси билан ҳамкорликда кучли лазер тизимлари ишлаб чиқилган. Ўзбекистоннинг бир қатор корхоналарида: Ўзбекистон қийин эрийдиган ва ўтга чидамли материаллар комбинатида олмос фильерларини жўяклаш учун, Тошкент кабель заводида маҳсулотларни тамғалаш учун, Тошкентдаги “Оникс” заводида пуансонларга юқори сифатли ишлов бериш учун, стоматология клиникаларида лазер ёрдамида микропайвандлаш учун қатор лазер тизимлари ишлаб чиқилди ва ишлаб чиқаришга жорий этилди. Лаборатория қошида лазер технологиялари марказини ташкил этган, бу ерда илғор лазер технологиялари соҳасида тадқиқотлар олиб борилади ва малакали мутахассислар тайёрланади.

Лазер физикаси ҳамда нозичиқли оптиканинг ривожига беқиёс ҳисса қўшгани учун Т.Усмонов 1984 йилда Давлат мукофотига сазовор бўлган. Ҳозирда “Квант электроникаси” журнали таҳрир кенгашининг аъзоси, шунингдек Халқаро лазер ассоциацияси Кузатув кенгашининг аъзосидир.

Ҳозирда у ЎзРФА “Ион-плазма лазер технологиялари” институтида лаборатория мудири лавозимида ишлаб келмоқда.

Мирзаев Аъзам Турапович

Мирзаев Аъзам Турапович 1943 йил Тошкент шаҳрида таваллуд топган. 1960-1965 йиллари Тошкент давлат университети талабаси бўлган.



1972 йил номзодлик диссертациясини ёқлаган, 1987 йилда физика-математика фанлари доктори бўлган. 1988 йил профессорлик унвонига эришган. Республикада эътироф этилиб келинаётган Квант радиофизика илмий мактаби асосчиларидан бири. 1980-2002 йилларда квант радиофизика кафедрасига мудирлик қилган. Фотонлар статистикаси, лазер нурунинг когерентлиги, квант сигналларини қабул килувчи чегаравий оптик системалар устида тадқиқотлар олиб борган.

Радиофизика соҳасидаги дастлабки илмий-тадқиқот иши “Радиодиапазон соҳадаги электромагнит тўлқинларнинг ионосфера ва турли муҳитларда тарқалиши, турли лазерлар ва уларнинг параметрларини тадқиқ этиш” га бағишланган.

Ўзбекистон Миллий университетининг “Радиофизика” кафедрасида лазер физикаси соҳасидаги илмий изланишларни кенг йўлга қўйган.

У фотонлар статистикаси ва корреляцияси ҳамда лазер физикаси соҳаси ривожланиши билан боғлиқ бўлган, квант радиофизикаси ривожига катта ҳисса қўшган.

Проф. А.Т. Мирзаевнинг физика фанидаги йирик, долзарб йўналишларни олдиндан кўриш ва ҳис эта олишдек ҳислатлари ҳамда ташкилотчилиги илмий мактаб мавқеини юксак даражага кўтарган. У ўз илмий мактабига доимо физика факультетини битирган қобилиятли, илмга чанқоқ ёшларни жалб қилиб келган.

Илмий мактаб фаоллари ўзларининг дастлабки 20 йиллик илмий изланишларида ахборот узатиш ва қабул қилишнинг оптимал системалари устувор йўналиш бўлган.

А.Т.Мирзаев 1972-1985 йилларда кўп каналли фотон санагичлари ва рақамли фотон корреляторларини яратиш ва уларни амалиётга тадбиқ қилиш ишларига раҳбарлик қилган. Натижада проф. А.Т.Мирзаев ва унинг шогирдлари эришган илмий натижалар ҳарбий мудофаа соҳасига муваффақиятли тадбиқ этилди. Фотонлар статистикаси, лазер нурининг когерентлиги, квант сигналларини қабул қилувчи чегаравий оптик системалар устида тадқиқотлар олиб борган. Бу йўналишдаги самарали илмий тадқиқотлар натижасида интенсивлиги квант чегарасидаги ёруғлик нурланишларини қайд этиш, яъни айрим фотонлар оқимидаги маълумотларни узатишдаги фундаментал масалаларнинг ечими аниқлаган. Суст интенсивликдаги нурланишлар асосида атмосфера ва космосдаги объектларни кузатиш учун оптик асбоблар ҳамда квант чегарасида ишловчи қурилмалар проф. А.Т.Мирзаев раҳбарлигида яратилган.

Олим ўз диққатини “Ўта суст интенсивликдаги сигналлар воситасида ҳосил бўладиган икки градацияли дискрет тасвирларни қабул қилиш” йўналишидаги илмий изланишларга жалб этган. Бунинг натижасида “Турбулент атмосфера ва оптик нуртола каналларида ўта суст интенсивликдаги бинар тасвирларни узатиш ва қабул қилиш системаси” ни яратган. Маълумки, лазер нури объектлар ҳақида маълумот олиш ва уларни узатишда муҳим тадқиқот қуроли ҳисобланади. Бунда лазер нурланиши манбаига нисбатан катта талаблар қўйилади. Жумладан, А.Т.Мирзаевнинг “Нурланиш частотаси стабиллиги ва энергия истеъмоли” космик сунъий йўлдошларида, кичик силжишларда, лазерли атом совитгичларида ва бошқаларда аҳамиятлидир.

Мириноятов Мирсодиқ Мирқурбонович

Мириноятов Мирсодиқ Мирқурбонович 1944 йил 7 декабрь Фарғона вилояти Қўқон шаҳрида таваллуд топган. 1963-1968 йиллари



Тошкент давлат университети талабаси бўлган. 1984 йил физика - математика фанлари номзоди бўлган, 1999 йилда эса физика - математика фанлари доктори бўлган. 2002-2005 йилларда “Квант радиофизика” кафедрасига мудирлик қилган. Юқори ва ўта юқори частота разрядли газли фаол муҳитларнинг электр, оптик ва генерация тавсифлари тадқиқотлари ҳамда газли лазерларнинг янги конструксияларини яратиш

соҳасида таниқли олим.

1985-1989 йиллари профессор М.Мириноятов $He-Ne$, CO_2 - лазерларининг кам шовқинли, стабил, кам энергия сарфловчи туркум моделларини яратиб, амалиётга тадбиқ этган. Бу эса квант радиофизикасини янада ривожланишига катта ҳисса қўшди. Ўта юқори частотали кўндаланг разрядли (ЎЮЧКР) $He-Ne$ фаол муҳитининг электр, оптик ва генерация хусусиятларини ўрганиш натижасида ўта қувватли якка частотали ва кам шовқинли, ҳамда паст кучланишларда ишловчи (27 В) $He-Ne$ лазерини яратган ва илмий-амалиётга тадбиқ этган. “Якка частотали ЎЮЧКР $He-Ne$ (гелий-неон) лазерини яратиш”, “Якка частотали ЎЮЧКР CO - лазерини яратиш” каби илмий тадқиқот ишларининг натижаларидан 1975-1981, 1983-1989 йилларда Россия Фанлар академияси “Лазер физикаси институти” (Новосибирск шаҳри) да ва Москва вилояти Жуковск шаҳри Авиация бирлашмасида, шунингдек, Рязань илмий-текшириш институтларида кенг фойдаланилган.

Олиб борилган тадқиқотлар асосида оптик нуртолалар синдириш кўрсаткичининг тақсимотини аниқлаш усули ишлаб чиқилган. Зилзила ва

унинг оқибатлари инсоният учун нақадар хатарли эканлигини дунё халқлари ўз тажрибаларидан яхши билишади. Ер силкинишларини олдиндан аниқлаш-прогноз қилиш дунё фанидаги энг долзарб масалалардан бири ҳисобланади. Квант радиофизикаси илмий мактаби тадқиқотчилари 1989 йилда профессор М.М.Мириноятлов бошчилигида *He-Ne* лазер нурида ишловчи “Ўта кичик силкиниш-силжишларни қайд этувчи лазерли тизим” (деформограф)ни яратишга муваффақ бўлинган. У лазерлар физикаси йўналишида катта ҳажмдаги хўжалик шартномалари асосида илмий ва амалий тадқиқотлар олиб борган. Шу жумладан, оптикадан ўқув лабораториялари мажмуаси яратилиб, Ўзбекистон давлат патенти олинган.

М.М.Мириноятлов илмий тадқиқот ишлари (2 та ўқув қурилмасига) га Ўзбекистон Республикасининг 8 та патентларни олинган ҳамда Олий ва ўрта - махсус ўқув юртлари учун яратилган кўплаб ўқув лаборатория қурилмаларининг муаллифи бўлган.

М.М.Мириноятлов томонидан бошланган илмий тадқиқот ишлари давом эттирилиб, ҳозирда “Лазер физикаси” соҳасида бугунги кунда олиб борилаётган илмий тадқиқотлар кичик силжишларни ўлчовчи лазер қурилмаларини яратиш ва ишлаб чиқиш, оптик майдонларнинг когерентлик хусусиятини ўрганувчи юқори тартибли фотонлар корреляцияси услубларини ишлаб чиқиш, юқори частота разрядли газли фаол муҳитларни тадқиқ этиш ва газли лазерларни яратиш, бир жинсли бўлмаган муҳитларда лазер нурининг тарқалишидаги статистик хоссалари ва нозичли динамикасини ўрганишда асосий манба бўлиб хизмат қилмоқда.

Зоҳидов Эркин Аъзамович

Зоҳидов Эркин Аъзамович 1955 йил 1 август Тошкент шаҳрида таваллуд топган. 1972 - 1977 йиллари Тошкент давлат университети



талабаси бўлган. 1981 йил физика - математика фанлари номзодлик диссертациясини ҳимоя қилган, 1994 йилда эса физика - математика фанлари доктори бўлган.

Э.А.Зоҳидовнинг асосий илмий тадқиқот ишлари нурнинг модда билан ўзаро таъсирланишини ўрганиш мақсадида турли параметрдаги лазер нурланишини шакллантириш, қайта ҳосил қилиш ва қўллаш масалаларига бағишланган. У неодиим лазери наносекунд узунлигида нурланишининг турли хоссаларидан фойдаланиб, узунлиги бўйича қайта ўзгартирилаётган нурланиш тўлқинининг бир модали ва кам модали оптик толаларда ночизиқли - оптик жараёнларга генерацияланиш имкониятларини аниқлади. Кам модали оптик толаларда лазер нурланишининг тўрт фотонли ночизиқли ўзаро таъсирланиши орқали стокс - аксилсстокс жуфтликлари генерациясига эришган бўлиб, унинг натижасида фаза синхронизми шартларини ўзгартириш ҳисобига уларнинг частотасини мувофиқлаштириш мумкинлигини асослаб берган. Жилоланиш марказлари F_2^- ва F_2^+ ўзига хос конструкцияга эга бўлган мувофиқланувчи лазерларнинг оптик толаларни жамлаш учун LiF кристалларида қўллаб илк бора бир маромда мувофиқланувчи нурланишни оптик алоқа учун истиқболли ҳисобланган қарийиб 1300 нм га тенг бўлган спектрал соҳада генерацияланишига эришди.

Шу билан бир қаторда, лазер нурланишининг ўта юқори интенсивлиги ҳолатида оптик толаларда тасвир кўрсатиш узунлиги бўйича жамланиш хоссасидан фойдаланиб $400-1800 \text{ нм}$ спектрал соҳаларда нурли

суперконтинуум генерациясига эришилди. Бир модали оптик толада эритилган кварцнинг манфий дисперсияси соҳасида (1300 нм дан катта узунликда) бундай нурланиш узинлиги $\sim 18\text{ фсек}$ дан иборат юксак интенсивликка эга солитонлар - электромагнит тебранишнинг бир неча даврийлигига мос узунликдаги оптик импульслар мавжуд бўлади. Бундай солитонларнинг санъакнинг толали интерферометридаги носолитон фондан ажралиб чиқиш имкониятини кўрсатиб берди.

Э.А.Зоҳидов оптик толанинг қўшшуълани синиши орқали Керр эффекти ҳисобига динамик қопланиши маромида ёруғликнинг нобарқарорлиги вужудга келишини ҳамда бу ҳодиса толада оптик фаоллик мавжуд бўлган ҳолда ёруғликнинг тартибсиз ҳаракатини келтириб чиқаришини илк бора экспериментал жиҳатдан асослаб берди.

Лазер нурланиши ўта қисқа импульсларидан биомолекулаларни ўрганиш мақсадида турли узунликдаги тўлқинлар ва лазер спектроскопиясининг турли услубларида фойдаланиш орқали альтернатив энергетика учун, ёруғлик нурланиши энергиясини қайта ҳосил қилиш ва тўплаш жараёнлари учун муҳим аҳамиятга эга бўлган бир қатор жараёнларнинг физикавий механизмларини кашф этиш имконини берди.

Юқорида қайд этилган илмий тадқиқотлар бўйича 150 дан ортиқ илмий ишлар, шу жумладан, етакчи халқаро нашрлар ва журналларда эълон қилинган. Бу ишлар лазер физикаси ҳамда уни қўллаш соҳасидаги Чикаго университети (*Чикаго, АҚШ, проф. Джемс Норрис*), Цюрих Политехника университети (*Цюрих, Швейцария, доктор Йорг Лейпнер*), Бонн университети (*Бонн, ГФР, Доктор Питер Конс*), Илм - фан бўйича миллий кенгашнинг Биофизика институти *CNR (Милан, Италия, проф. Дж.Зучелли)* каби етакчи халқаро илмий марказлар билан кўп йиллик самарали ҳамкорлик учун замин бўлди.

Ҳозирда у ЎзРФА “Ион-плазма лазер технологиялари” институтида лаборатория мудир лавозимида ишлаб келмоқда.

II - бобни ўзлаштиришда устоз-шогирд ўртасидаги иккинчи суҳбат.

Шогирд. Китобни мазмунида учрайдиган айрим ўта мураккаб физик жараёнларни таҳлил қилиб, энг муҳими содда, талаба учун тушуниш осон бўлишини таъминловчи устоз-шогирд билан бўладиган суҳбат орқали ёритилиш услуби қўлланганлиги шубҳасиз ижобий бўлиб, бундай ёндашув яхши самара беради деб ҳисоблайман.

Устоз. Билдирилган ижобий фикр учун раҳмат. Устознинг вазифаларидан бири доимо изланишда бўлиб, ўқув адабиётларидаги маълумотларни ўзлаштиришда юқори самара берадиган услубларни қўллашдан иборат. Ушбу ўқув қўлланмада тавсия этилган ёндошувни бу соҳадаги бошланғич қадамлардан бири десак бўлади. Келинг, ушбу боб бўйича саволларингиз бўлса муҳокамага ўтсак.

Шогирд. Китобнинг биринчи боби билан танишганимда ўзимга жуда кўп керакли маълумотларни олдим. Лазерларнинг турлари ва уларнинг тузилишига бағишланган ушбу бобда баён қилинган маълумотлар билан танишиш жараёнида бир қатор саволлар туғилди. Шулар ҳақида сиздан сўрамоқчиман.

Устоз. Ҳар қандай адабиёт билан айниқса физика соҳасига тегишли маълумотлар билан танишганда тушунмовчиликлар бўлишини табиий ҳол деб ҳисоблайман. Тортинмай мурожаат қилишингиз мумкин.

Шогирд. Мени тушунишим бўйича лазер нурланишларини ҳосил қилишда фаол муҳит деб номланувчи катталики ўрни алоҳида экан. Фаол муҳит тушунчасига изох берсангиз.

Устоз. Яхши сезибсиз. Агар ўхшатиш мумкин бўлса фаол муҳитни лазер қурилмасини юраги деб қараш ўринлик бўлади. Фаол муҳит тушунчаси барча турдаги лазерлар учун бир хил бўлиб, лазернинг турларига қараб газли лазерларда газ молекуласи фаол муҳит вазифасини бажарса, қаттиқ жисм лазерларида эса қаттиқ жисмга киритилган

аралашманинг ионлари ташкил этади. Лазер нурланишлари ушбу бобда ёритилганидек фаол муҳитларнинг энергетик сатҳлардаги қонуниятлари асосида ҳосил бўлади.

Шогирд. Раҳмат, яхши маълумот олдим. Фаол муҳитдаги физик жараёнлар оптик дамлаш орқали амалга оширилар экан. Мени тушунчам тўғрими?

Устоз. Тушунчангиз жуда тўғри.

Шогирд. “Оптик дамлаш” иборасига тўлароқ маълумот берсангиз.

Устоз. Ушбу бобни диққат билан ўқиган бўлсангиз сиз берган саволга жавоб бор эди. Майли, соддароқ кўринишда тушунтиришга ҳаракат қиламан. Оптик дамлаш электромагнит нурланиши ёрдамида атомларни (электронларни, ионларни) қуйи энергетик сатҳдан юқори энергетик сатҳга кўтарилишига мажбур қилиш тушунилади.

Шогирд. Қаттиқ жисмли лазерларнинг нурланиши импульсли бўлар экан. Импульс сўзининг луғавий маъносидан келиб чиқадиган бўлсак бу ибора тушунарли. Буни лазер нурланишидаги ўрни қандай?

Устоз. Умуман лазерларнинг ишлаш тамойилига қараб икки гуруҳга бўлиш мумкин. Яъни, нурланиши узлуксиз бўлган лазер ҳамда нурланиши узлукли бўлган лазердан иборат бўлади.

Узлукли нурланишга эга бўлган лазерлар асосан қаттиқ жисмли лазерларга тегишли бўлиб, ўзидан узлуксиз – мунтазам ёруғлик нурланиши чиқармасдан нур чиқариб туриш вақти $10^{-3} \div 10^{-9} \text{с}$ га эга бўлган лазерлар импульсли лазерлар номи билан юритилади.

Шогирд. Кечирасиз? Шу ўринда бир нарсага аниқлик киритилишини хоҳлардим. Узлуксиз ва узлукли (импульсли) лазерларнинг кундалик ҳаётимиздаги ўрни қандай? Яъни турли соҳаларда ишлатилиш самарадорлигини белгиловчи асосий катталиқ ҳисобланган қуввати билан қандай фарқ қилади?

Устоз. Импульсли нурланиш берувчи лазернинг нур чиқариб туриш вақти жуда кичик бўлганлиги учун унинг қуввати узлуксиз лазер нурланиши қувватидан бир неча марта катта бўлади.

Шогирд. Умумий ўрта таълим босқичида ўқиганимда ёруғлик нурининг когерентлиги тушунчасига дуч келмаган эканман. Ушбу бобда лазер нурланишининг когерентлиги деган иборани учратдим. Бу катталики қандай тасаввур қилиш мумкин?

Устоз. Диққат билан ўқиётганингиз берилаётган саволлардан сезилиб турибди. Когерентлик катталигини физик маъносини тушуниш учун ёруғликнинг интерференция ҳодисасини эслашга тўғри келади. Яъни иккита ўзаро когерент бўлган ёруғлик тўлқини фазонинг бирор нуқтасида қўшилганда натижаловчи тўлқиннинг энергияси ошиш ёки камайиш ҳодисасига интерференция дейилади. Интерференция ҳодисаси кузатилиши учун иккита қўшилувчи тўлқин ўзаро когерент бўлиши шарт. Когерентлик дегани икки нурни фазалар фарқи ўзгармас бўлишига айтилади. Лазер нурланиши когерентлиги ҳам худди шундай тушунтирилади. Демак, лазер нурланишининг исталган икки нуқтасидаги электромагнит тебранишларнинг фазалар фарқи ўзгармас бўлади.

Шогирд. Раҳмат. Ҳаётимда ҳеч дуч келмаган иборалар кўп экан. Сиздан шулар ҳақида кетма-кет сўраб олишга рухсат берсангиз.

Устоз. Эсингизда бўлса сиз билан бўлган биринчи суҳбатда бу ҳақида келишиб олганмиз. Ҳеч тортинмай сўрашингиз мумкин.

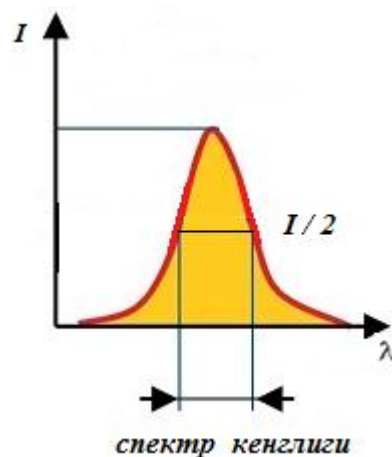
Шогирд. Лазерларнинг резанаторлари тўғрисида маълумот берсангиз.

Устоз. Ёдингизда бўлса фаол муҳитни лазер қурилмасини юраги деб атаган эдик. Лазер қурилмасининг резанаторлари фаол муҳитдаги зарраларнинг мажбурий нурланиш бериш жараёнининг самарадорлигини ошириш учун зарур бўлган юқори энергиядаги нурланиш олиш имкониятини берувчи оптик тизимдан иборат. Резанатор шиша найнинг

икки томонига ясси ўзаро параллел юқори қайтариш коэффицентига эга бўлган кўзгулардан иборат оптик тизим ҳисобланади. Шу кўзгулар орасига фаол муҳит жойлаштирилиб мажбурий нурлантирилган ёруғлик нури кўзгулар ўртасида бир неча бор қайтиши ҳисобига лазер қурилмасидан чиқадиган нурланиш энергияси (интенсивлиги) ошишига эришилади.

Шогирд. Газли лазерларга тегишли қисми билан танишганимда лазер нурланишининг чизиғи деган иборага дуч келдим. Шу ҳақида маълумот берсангиз.

Устоз. Бу физик тушунча ҳисобланиб, лазер нурланишини монохроматиклик даражаси билан боғлиқ. Монохроматиклик бу нурланиш спектр кенглигини жуда кичиклиги билан характерланиб, битта тўлқин узунлигидан ташкил топиши лозим. Спектр тушунчаси эса лазер нурланиши интенсивлигини (бирлик юзадан бирлик вақт ичида оқиб ўтган энергия миқдори) нурланиши частотаси ёки тўлқин узунлиги билан боғланишини характерлайди. Расмда спектрнинг кўриниши ифодаланган. Ушбу расмдаги спектрнинг интенсивлиги катта бўлиб, унинг кенглиги иложи борица кичик бўлса, бундай лазернинг амлиётда кенг қўллаш имконини беради.



Шогирд. Газли лазерлар бўлими билан танишганимда фаол муҳит жойлаштирилган шиша трубка (най) нинг икки томони Брюстер бурчаги остида иккита ясси пластинкалардан ташкил топганлиги тўғрисида маълумотга дуч келдим. Брюстер бурчаги қандай бурчак? Шу ҳақда маълумот берсангиз.

Устоз. Бу ҳақида олдинги бобда ҳам маълумот берган эдим. Умумий ўрта таълим босқичидаги тушунчаларингиздан маълумки ёруғлик манбаларининг шартли равишда икки турга бўлиш мумкин. Биринчи тур

манбаларида нурланиш таркибидаги электр майдон кучланганлик вектори вақт бўйича тартибсиз ҳаракатда бўлиши қутбланмаган манба дейилади. Иккинчи тур ёруғлик манбалари таркибига лазер нурланишлари кириб, бу нурланишлар қутбланган бўлади. Яъни, лазер нурланиши таркибидаги электр майдон кучланганлик векторининг вақти бўйича ҳаракатлари тартибли бўлади.

Лазер нурланишининг қутбланганлигини Брюстер бурчаги ёрдамида амалга оширилади. Иккита диэлектрик муҳит чегарасидан қайтган ёруғлик нурланишни қутбланганлигини Брюстер бурчаги таъминлаб, ушбу қайтиш жараёнида энергиянинг ютилиши минимумга эришилади. Бошқача қилиб айтганда муҳит чегарасидан қайтган ёруғлик нурланишини тўла қутбланганлигини таъминловчи бурчак десак тўғри бўлади.

Тушунарли бўлиши учун қуйидаги мисолда кўриб чиқамиз.

Масалан, ҳаво билан муҳит чегарасига тушаётган ёруғлик нури шу чегарадан тўла қайтиб қутбланган бўлиши учун Брюстер бурчаги қандай бўлиши керак? Демак, $n_{\text{ҳаво}} = 1$; $n_{\text{шиша}} = 1,53$ десак $i = ?$ топиш керак.

Маълумки ёруғлик нурланиши муҳитга тушиши бурчаги билан муҳитнинг синдириш кўрсаткичлари ўртасида қуйидаги боғланиш мавжуд,

$$\operatorname{tg} i = n_2 / n_1 = n_{21}$$

Бизнинг мисолимизда $n_{\text{ҳаво}} = n_1$, $n_{\text{шиша}} = n_2$. Демак, $\operatorname{tg} i = 1,53 / 1 = 1,53$ ни ташкил қилади. $\operatorname{tg} i$ қийматлари 1,5 бўлиши учун i неча градус бўлиши лозим. Шундан келиб чиқиб $i = 57^\circ$ га тенг бўлади.

Хулоса: Ҳаво билан шиша чегарасидан ёруғлик нури тўла қутбланиб қайтиши учун шу муҳит чегарасига 57° бурчак билан тушиши керак экан.

Шогирд. Ҳеч эсдан чиқмайдиган қилиб тушунтирингиз. Раҳмат.

Устоз. Сизга унча қийин бўлмаган амалий савол билан мурожат қилмоқчиман. Мустақил равишда ечимини топишга ҳаракат қилинг. Лазер нурланишини қутбланган нур десак, амалда қутланган эканлигини қандай аниқлаймиз?

Шогирд. Мени билишимча бизни кўзимиз ёруғлик нурланиши тўлқин узунлигини $\sim 400 - 700$ нм оралиғидаги нурланишни сезади. Карбонат ангидрид газида ишловчи лазер нурланишини тўлқин узунлиги $\lambda = 10,6$ мкм ни ташкил қилар экан, яъни, ўн минг ангстремдан ҳам юқори. Бу нурланишларни кўрмаймизку?

Устоз. Фикрингиз жуда тўғри. Бизга 700 нм дан юқори тўлқин узунликка эга бўлган нурланишларни биз кўрмаймиз. Бундай нурланишлар инфрақизил нурланиш номини олган.

Иссиқлик нурланиши билан боғлиқ барча нурланишлар инфрақизил тўлқин узунлиги чегарасига тўғри келади.

Шогирд. CO_2 газли лазерларга тегишли маълумотлар билан танишганимда газнинг адиабатик кенгайиши деган тушунчага дуч келдим. Шу ҳақида маълумот берсангиз.

Устоз. Муҳит температурасининг ошиши билан босимнинг ошиб бориши қонуниятини иссиқлик миқдорининг ўзгариши бўлмайдиган жараён орқали амалга оширилиши адиабатик жараёни ҳарактерлайди.

Шогирд. Савол – жавобларимиз жуда қизиқарли ўтди. Айниқса, мен ўзим учун келажакда керакли бўладиган физик жараёнлар тўғрисида қимматли маълумотларга эга бўлдим. Сиздан узр сўраб бугунги кунгача мен учун умуман янги бўлган ибора тўғрисида сўрасам. Димер ва эксимер сўзлари ишлатилган.

Устоз. Бу ибора кимё соҳасида кўп ишлатилиб, молекула таркибидаги атомлар тизимини шаклланиши билан боғлиқ. Жумладан, агар муҳитни ташкил қилган молекула икки ўлчамли атомлардан ташкил топса - *димер*, молекула таркиби кўп ўлчамли атомлардан ташкил топса - *эксимер* деб номланиши қабул қилинган.

III боб. Лазерларнинг қўлланилиш соҳалари

3.1. 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 $10\div 100 \text{ см}$ бўлган линза ёки кўзгулар воситасида тарқалиш бурчаги $\varphi = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$ 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 тўлкини 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.

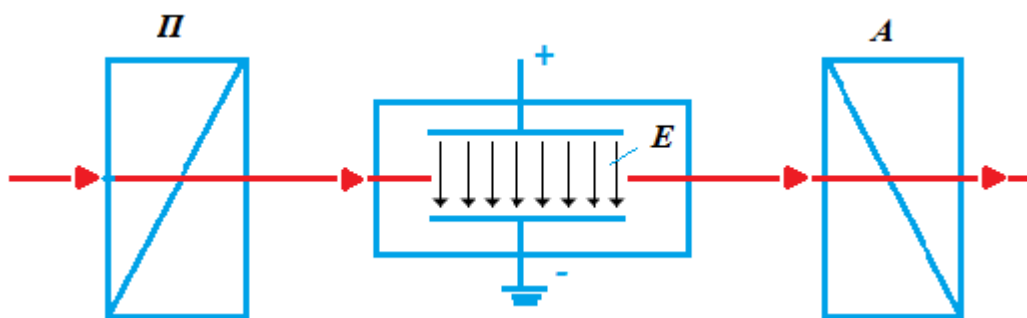
Ички модуляциялашда лазер нурланиши жараёнида унинг параметрларини керакли ўзгартиришга эришилади. Ички модуляция лазер резонаторига берилган энергия миқдорини ёки резонаторнинг асслигини ўзгартириш йўли билан амалга оширилади. Яримўтказгичли лазерларда ички модуляция когерент нурланишни ҳосил қилувчи 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 қутбланган ёруғликнинг муҳит билан ўзаро таъсирига (Керр ва Погкельс 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 $\Delta\varphi = 2\pi B_k L E^2$ ифода билан аниқланади. Бу ерда B_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.

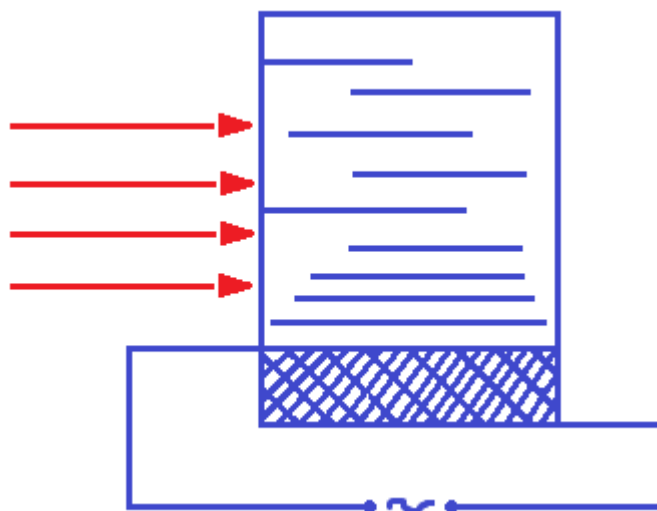
Керр модуляторида бир қатор изотроп хусусиятга эга бўлган моддалардан фойдаланиш мумкин. Унинг ёрдамида ёруғликни $10^9 \div 10^{10}$ Гц частота билан модуляциялаш мумкин. Керр модулятори $10 \div 50$ кВ юқори кучланишда ишлайди.

Поккельс эффектига асосланган модуляторларда бир ўқли кристаллнинг ўқи бўйлаб электр майдони қўйилганда кристаллнинг симметрияси бузилиб, у икки ўқли бўлиб қолади. Поккельс эффектида оддий ва одатдаги бўлмаган нурларнинг фазалари фарқи электр майдони кучланганлиги E га мос равишда ўзгаради. Керр эффектида 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 ($Li Nb O_3$),

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 1мГц 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 10мГц частотагача модуляция қилиш мумкин.



3.3 - расм. Акустооптик модулятор

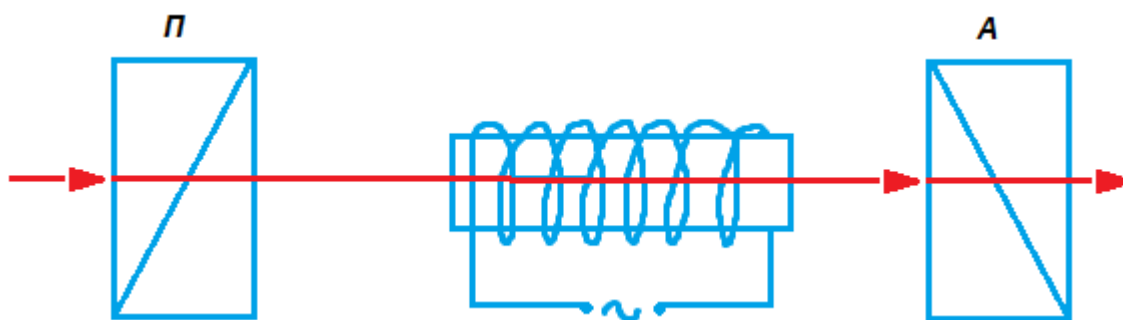
Магнитооптик модуляторлар Фарадей эффектига асосланган. Табиий ёруғликдан қутбланган ёруғлик олиш учун ёруғлик тўлқинининг йўналишига Π – поляризатор (қутблагич) қўйилади. Поляризатор - табиий

ёруғликни қутбланган ёруғликка айлантирувчи қурилма. Поляризатордан чиққан нур A - анализаторга келиб тушади. Бу ерда A поляризатор хусусиятига эга бўлган қурилма бўлиб, нурни 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 иттрий гранат ($Y_3 Fe_3 O_{13}$) кенг қўлланилмоқда.

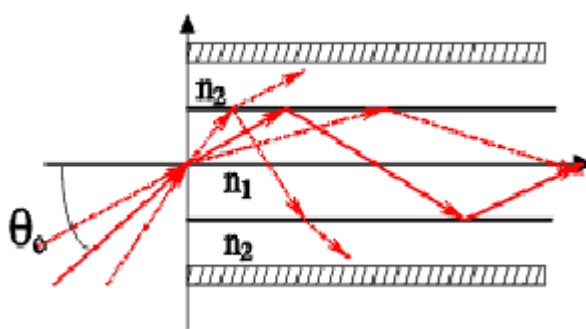


3.4 - расм. Магнитооптик модулятор.

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 шишатоалар - 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 кўп



3.5- расм. Оптик толанинг кесими.

марта қайтиб толанинг иккинчи учидан ўз энергиясини деярли йўқотмаган ҳолда чиқади. Тўла ички қайтиш - 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 дБ/км бўлишига эришилган. Бундай оптик тўлқин узатгичлар информацияни $10^7\text{-}10^8\text{ бит/с}$ 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 сигнадини 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 ($\Phi ЭК$) бўлиб, улар фототокни $10^5 \div 10^7$ марта кучайтириш коэффициентига эга. $\Phi ЭК$ ларнинг қабул қилиш частоталари кенглиги 100 МГц га етади. Ички фотоэффект асосида ишловчи оптик детекторлар сифатида ҳозирги вақтда фотоқаршилиқлар, 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.

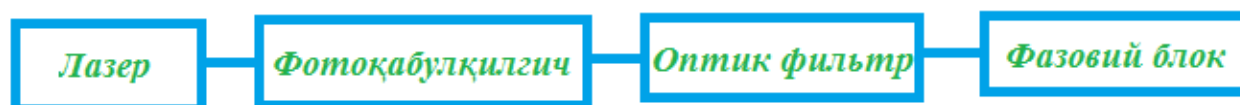


3.6 - расм. Лазер телевизион қурилма тузилиши.

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 сигналига 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 1мм 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.

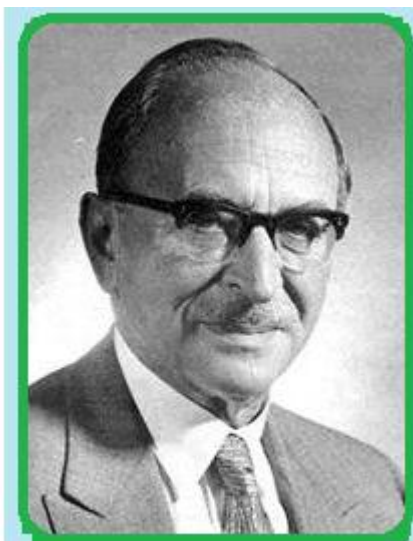


3.7- расм. Лазер телевизион камерани блок схемаси.

Мазкур қурилма лазер нурланиши орқали бир вақтда телевизион тасвир, мусиқа 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.

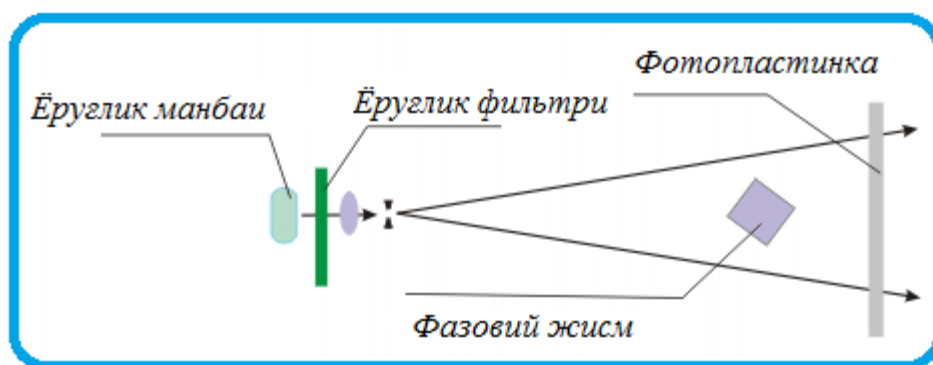
3.2. Голография

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

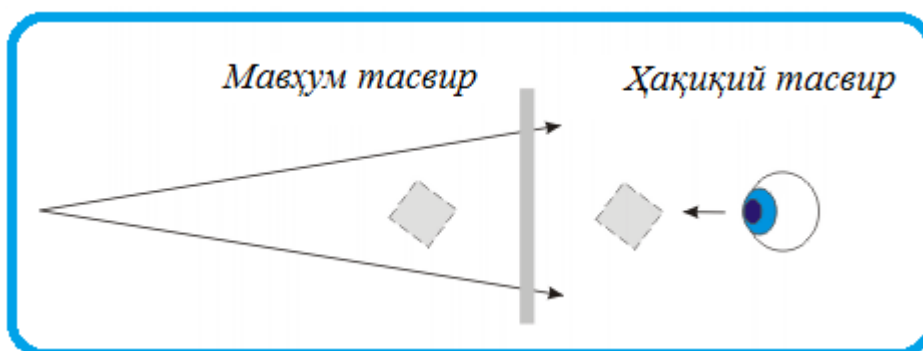


Габор Денис (1900-1979 йй)

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



3.8- расм.Д.Габорнинг голограмма ёзиш схемаси.



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

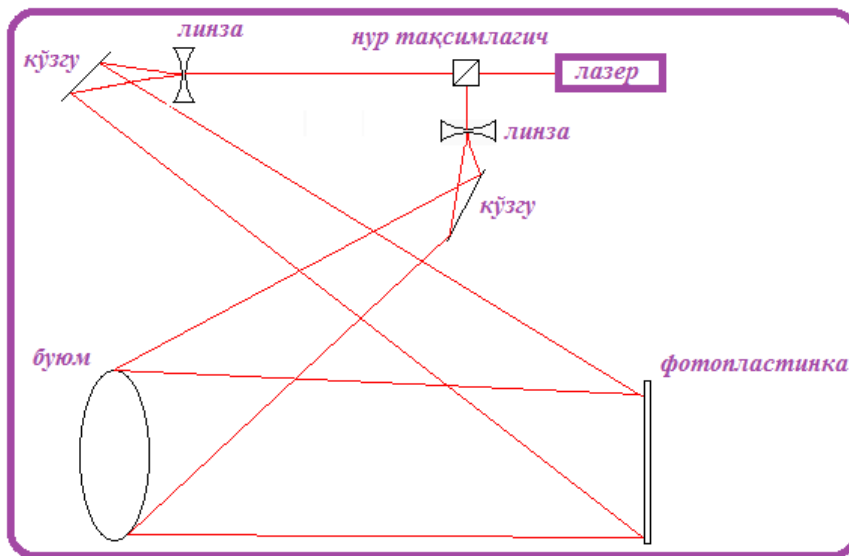
Бунинг учун жисмдан қайтган нурни таянч когерент тўлқин билан устма - уст туширилди. Габорнинг тажрибалари голографияга асос солди Лекин юқори интенсивликка эга бўлган когерент манбаларнинг мавжуд эмаслиги сифатли голографик тасвирларни ҳосил қилишга имконият бермади. Юқори интенсивликка эга когерент манба - лазернинг кашф этилиши голографиянинг ривожланиши ва кенг қўлланилишига олиб келди. 3.8 ва 3.9 - 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.



3.10 - 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.

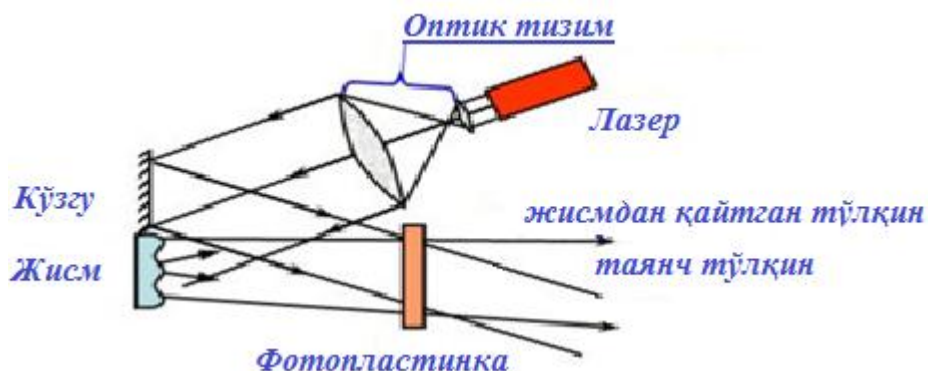
Уч ўлчамли - ҳажмий жисмларнинг тасвирини ҳосил қилиш учун объективнинг ёруғлик ўтказувчи қисми диафрагма ёрдамида кичрайтирилади. Бунда объектив фокуси чуқурлиги ортади ва ҳажмий жисмнинг етарлича аниқ тасвири ҳосил бўлади, лекин тасвир ясси кўринишда бўлади. Ҳажмий тасвирни жисмнинг табиий кўринишига 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 кўрамыз.

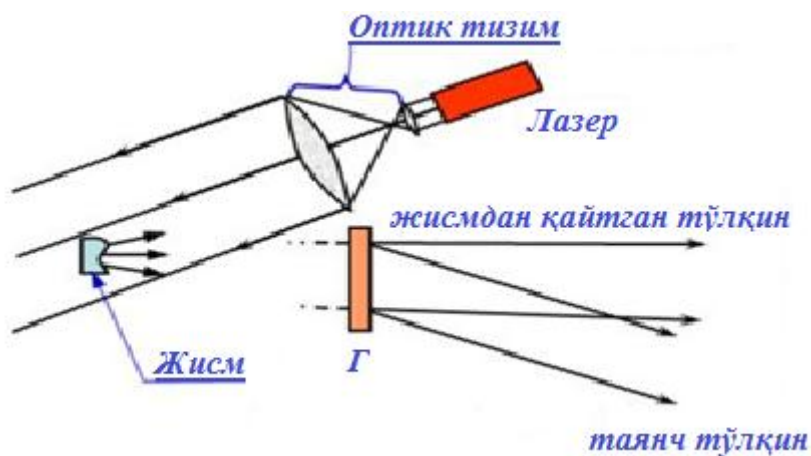


3.11 - расм. Голограммани ҳосил қилиш схемаси.

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:

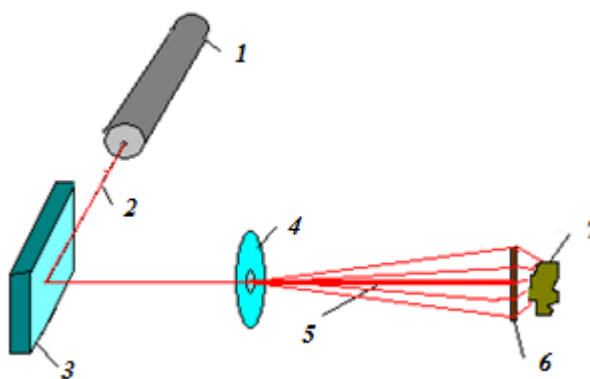
$$\nu = \frac{2\sin\frac{\alpha}{2}}{\lambda}$$

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 нузли 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 нузли голограмма номини олган). Икки нузли голограмма учун ν нинг қиймати анча катта ва бу усулда юқори ажрата олиш қобилиятига эга фотопластинкалардан фойдаланилади.

Таянч ва жисм нуллари 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 ЭХМнинг 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 хирароқ 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 $\lambda \approx 0,5 \text{ мкм}$ учун интерференцион йўлчалар бир - биридан $\lambda \approx 0,25 \text{ мкм}$ 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 ажратиб 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 $\lambda = 3000 \text{ чизик / мм}$ 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 коронғуда 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 камаёди. Конденсатор қопламалари майдон кучланганлиги ўзгармагани учун, қопламалар орасидаги масофа ўзгарган юзада қопламалар 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 термопластиканинг турли қисмларида турли фаза ўзгаришларига дучор бўлади ва жисм тўлқинининг тўлқин фронти тикланади. Термопластикаларнинг ажрата олиш қобилияти 1000 чизик/мм ни ташкил қилади, сезгирлиги 10^{-3} Ж/см^2 га тенгдир.

Голографияда қўлланиладиган ёруғлик манбалари.

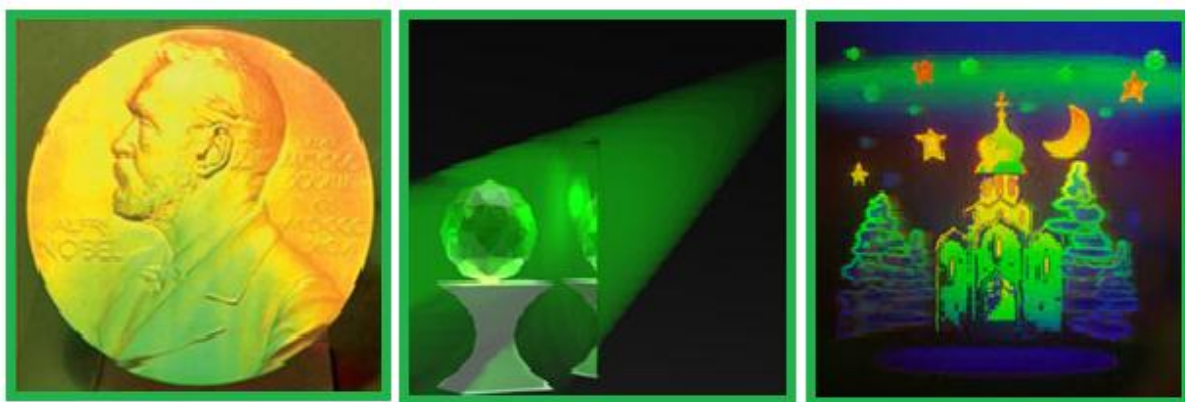
Голограммани ёзиб олишда қўлланиладиган ёруғлик манбалари юқори когерентлик ва равшанликка эга бўлиши керак. Ёруғликнинг вақтий когерентлиги қанча юқори бўлса таянч ва жисм тўлқинларининг оптик йўллари фарқи L интерференцион манзаранинг ёрқинлиги сақланган ҳолда шунча катта бўлади. L нинг қиймати ёруғликнинг спектрал

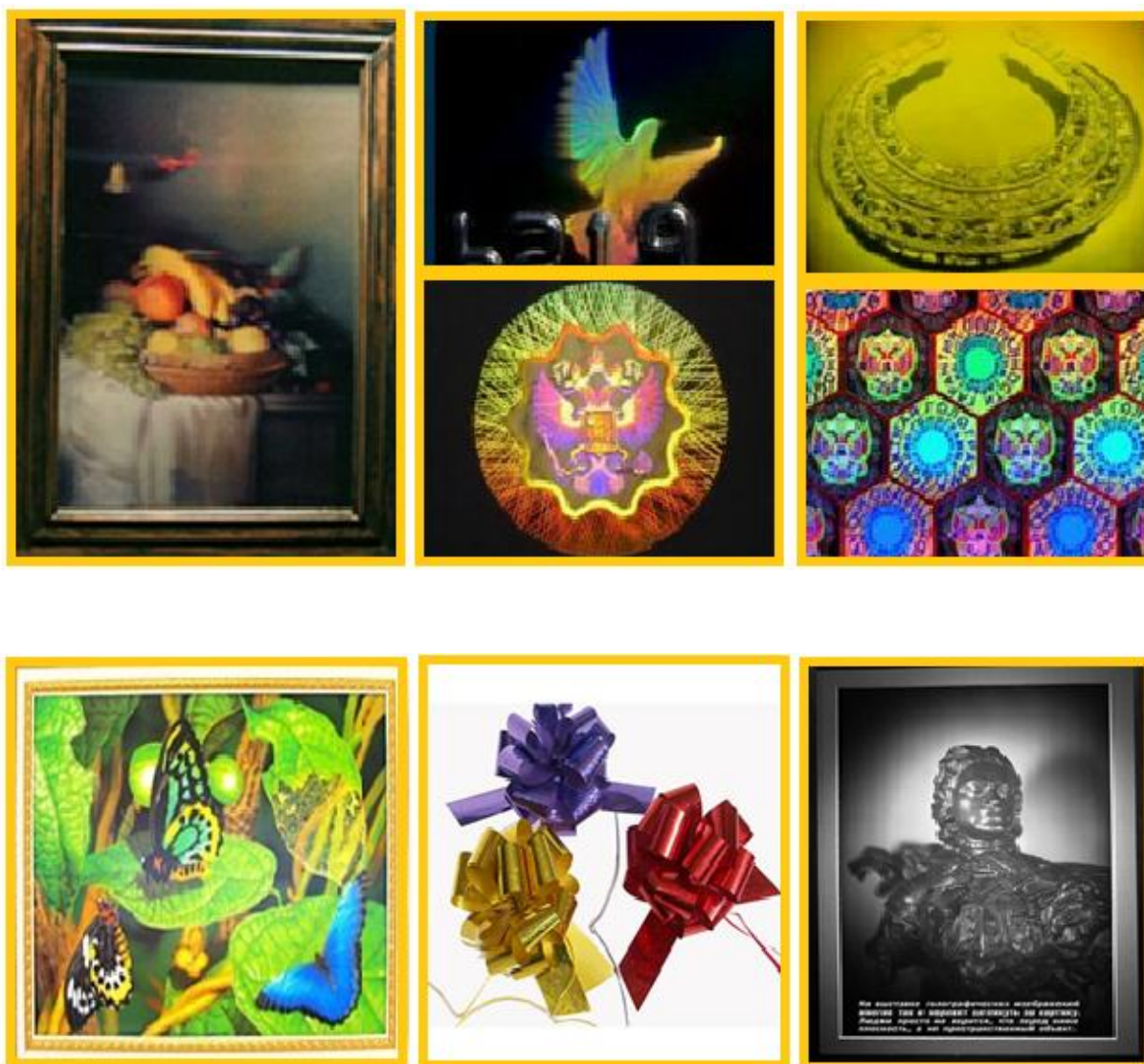
чизиғи кенглиги $\Delta\lambda$ га боғлиқ бўлиб, $L = \lambda^2 / \Delta\lambda$ га тенгдир. Юқори вақтий когерентлик ва узлуксиз маромда нурланувчи гелий - неон ($\lambda = 632,8\text{ нм}$) ва аргон ($\lambda = 488\text{ нм}, 514,5\text{ нм}$) лазерлари қўзғалмас жисмлар голограммасини ёзиб олишда қўлланилади. Тез содир бўлувчи жараёнлар голограммаси импульс маромида ишловчи ёқут ($\lambda = 694,3\text{ нм}$) 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 60×80 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 алмашилишини 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 алмашилишини 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, ҳажмий, 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. Ҳажмий голограммаларни ёзиб олиш учун электрооптик кристаллар $\text{LiNbO}_{30.75} \text{Sr}_{0.25} \text{Nb}_2\text{O}_5$ қўлланилади. Ҳажмий голограммалар асосидаги эслаб қолувчи қурилмалар $10^{10} - 10^{11} \text{ бит}$ эслаб қолиш қобилиятига эга. Ҳажмий голограммада бир геометрик ҳажмда 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 суюқ 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, суюқлик ва газлар оқимининг ҳаракати, учаётган ҳашоротларнинг голограммасини ҳосил қилиш имкониятини берди. Голограммаларни тиклашда гелий - неон лазеридан фойдаланилади. Импульс голограммалар газ ва суюқлик оқимларидаги тез содир бўлувчи ҳодисаларни тадқиқ қилиш имконини берди.

Голографик интерферометрия жисмлар сиртининг деформациясини, пайвандланган сифатини текшириш, жисмларда кучланиш таъсирида ёриклар 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.

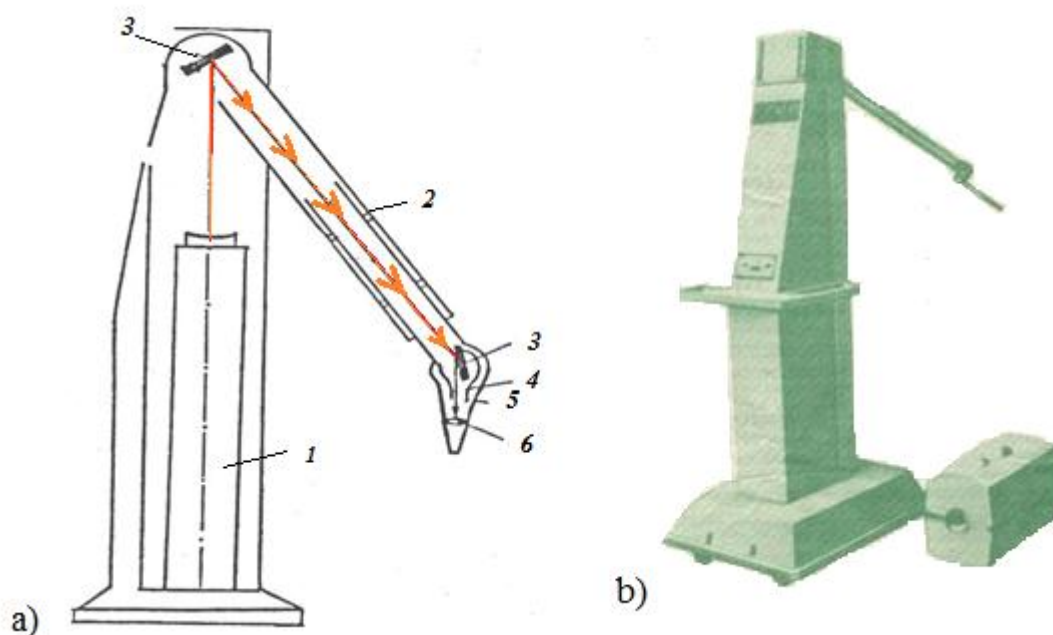
Ультратовуш голографияси оптик шаффоф бўлмаган муҳитларнинг ичини кўриш имконини беради. Ультратовуш голографияси денгиз туби рельефи, ер қаъридаги фойдали қазилмаларни ўрганишда, археологик, тиббиётда катта аҳамиятга эгадир. Бу усул билан Хеопс пирамидасининг ички қисмида бўшлиқ мавжуд эканлиги аниқланган.

Шунингдек, ультратовуш голографияси инсоннинг ички органларини ўрганиш имконини яратди.

3.3. 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 нурунинг 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 электрпичоққа 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, тозалликни) 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 нуқтасидагина рўй беарди. Унинг ёнидаги тўқималар механик ёки электр скальпелига нисбатан камроқ жароҳатлайди.

Еттинчидан, клиник тажрибаларнинг кўрсатишича, лазер скальпелидан ҳосил бўлган яра асло оғрмайди ва нисбатан тез тузалади.

Лазер нури ёрдамида қандай жарроҳлик операциялар ўтказиш мумкин?

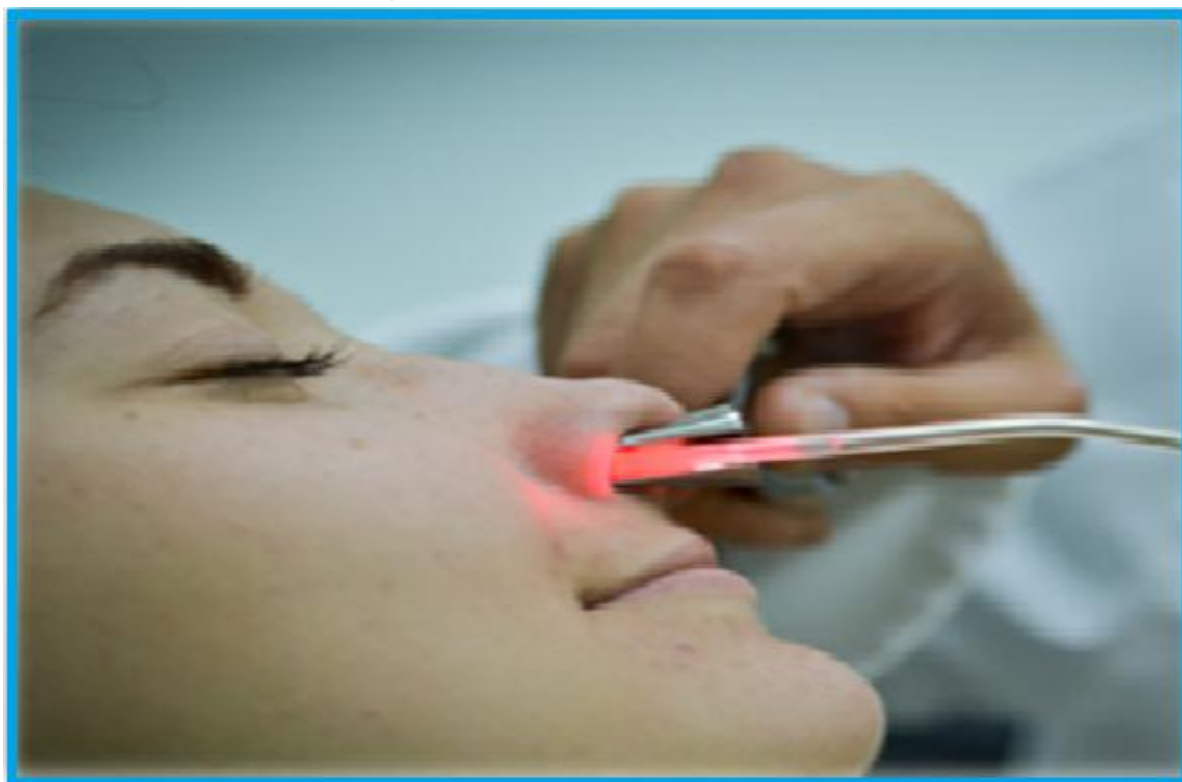
Лазер нуридан тиббиётда фойдаланиш 1966 йилда А.В. Вишневский номидаги хирургия олийгоҳида бошланди. Лазер скальпели қорин ва кўкрак бўшлиғидаги ички аъзоларни операция қилишда қўлланилди. Ҳозирги пайтда лазер нури тери - пластик операциялар (3.19 - расм), овқат йўли, ошқозон, ичак, буйрак, жигар, кулоқ (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 жараларни даволаш.



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



3.21- расм. CO_2 ёки неодим лазери ёрдамида бурун касалликларини даволаш.



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



3.23. Лазер нури 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 қуруқ 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 маротаба камайтирсак, тўқима буғланмайди, балки сиртий каогуляция содир бўлади. Бундай жараён қирқилган тўқималарни улашда фойдаланилади. Биологик пайвандлаш қирқилаётган аъзонинг девори таркибида мавжуд бўлган ва уланаётган тўқималар оралиғига махсус сиқиб келтирилган суюқликнинг каогуляцияси 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 буйича жарроҳ юрак клапанлар дарчаларни ажратишига тўғри келади. Шундай операцияларни ўтказишда лазер скальпели (3.24 - расм. Ланцет - 1) жуда қўл келади.

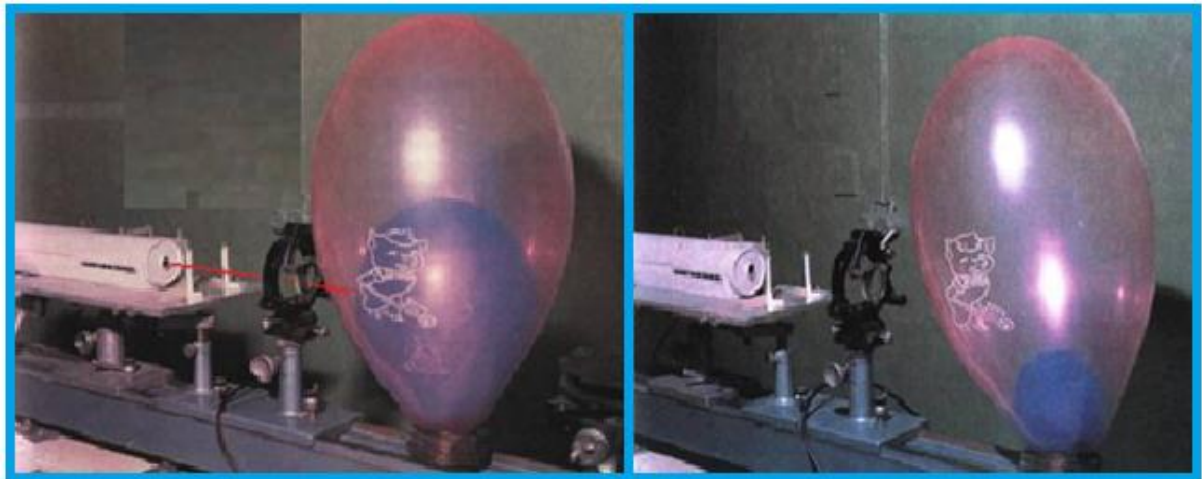


3.24- расм. Жарроҳликда қўлланиладиган “Ланцет - 1” лазер қурилмаси.

“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 куйидаги 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 $2\div 3\%$ 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 айти мақсадга мувофиқлиги аниқланган. Лазер нури билан кўзнинг рангдор пардасида тешик очилиб, шу йўл билан унинг капиляр найларини хусусиятини тиклаб, кўз суюқлигининг нормал оқимига 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 хайрон 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

касаликларининг 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 осонлаштиради. 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 шиллик 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* маротаба нурлаш натижасида суякларнинг жуда тез ўсиши кузатилди. Вена томирлари касаллиги, кўпинча трофик тери ярасини ҳосил қилади. Бунда оёқ териси қизаради, кичийди, 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 узоқ 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 ёрдамсиз қандай ишлаган эканлар, деган фикрга бориш ҳам мумкин. Айниқса лазерларнинг жарроҳликда, кўз микрохирургиясида тутган ўрни, шунингдек, терапияда бу нурларнинг хизмати беқиёсдир.

Ҳозирги вақтда лазер нуруни 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

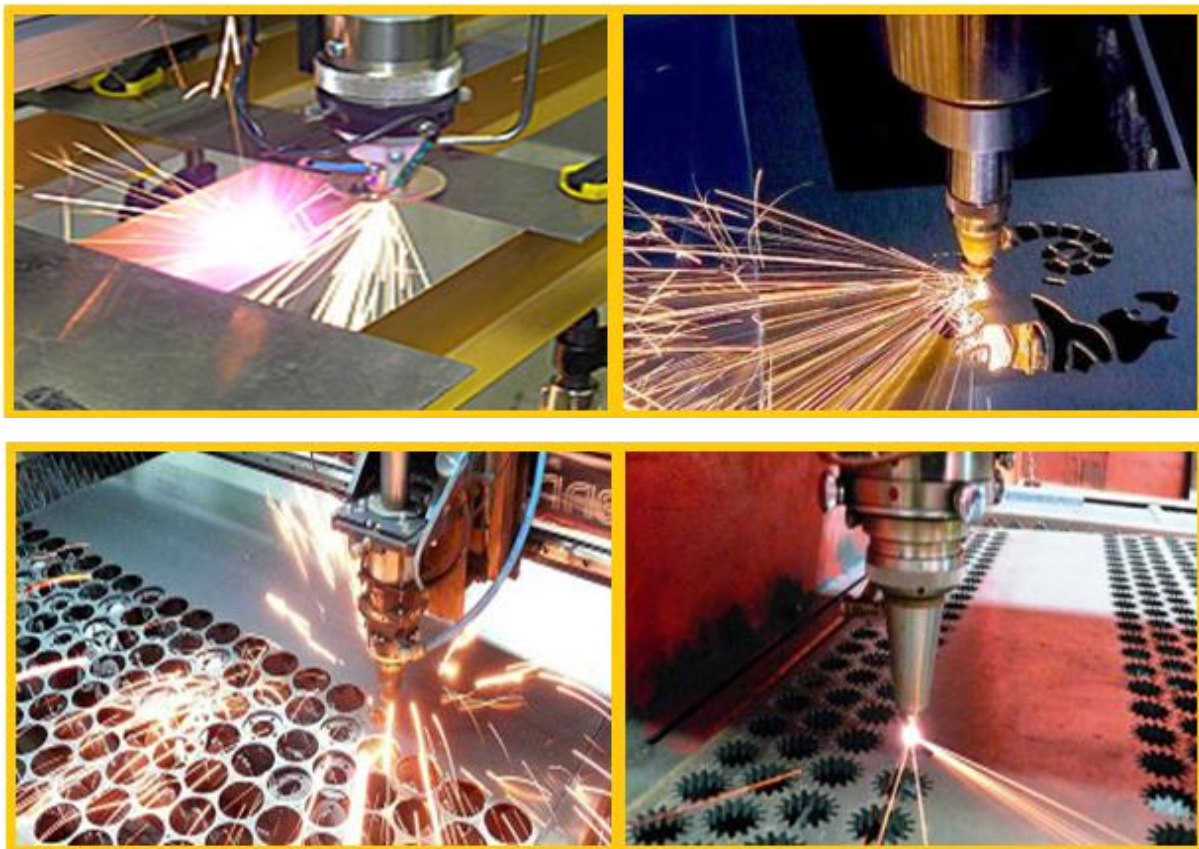
маромини ва нурланишнинг қандай энергияси мос келишини аниқ билмаймиз.

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.

3.4. 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 нурини 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 нурунинг 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 металлнинг 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 металлнинг ташқи 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 намунанинг 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 $(10^{-2} \div 10^{-3})$ с) тешик ҳосил қилиш қулайдир. Аксинча, материални жадал буғлантириш учун эса кўпроқ интенсивликдаги, аммо қисқа вақт давом этувчи $(10^{-4} \div 10^{-5})$ с импульслардан фойдаланиш лозимдир. Лазер тешгичлар қандай хусусияти билан афзалликка эга? Қўл соати “*Поле*т” 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 каттиқ 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 тўпламидан

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 қаттиқ 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 фильерлар диаметри *10 мкм* бўлган симларни олиш имконини беради. Аммо бундай тешикни олмосдек ўта қаттиқ 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 қаттиқ жисмли импульсли лазерлар ёрдамида амалга оширилади. Олмос фильердаги 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 қаттиқ ва ўта қаттиқ материалларда ишлатилмай балки ўта мўрт материалларда ҳам ишлатилади. Мисол тариқасида аммонийли оксидли керамикадан ясалган микросхемалар тағлигини келтириш мумкин. Керамиканинг ниҳоятда мўртлиги туфайли механик усулда пармалаб тешилганда, одатда “хом” материал пармаланиб, сўнгра қизитгичда қизитиб, материални пишириш учун хумдонга қўйилади. Бунда буюмлар биров 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 CO_2 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 нурунинг 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 нуруни йўналтириб, нуруни 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 микро схемаларнинг керакли тағлигини 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.

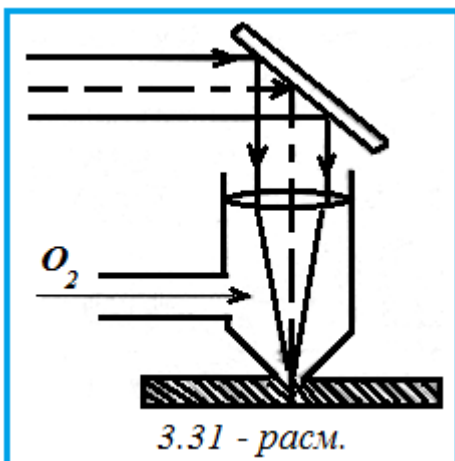
Микросхемаларни сиртига ишлов бериш учун мўлжалланган фото шаблонларни ёки микросхема компонентларини тағликка пуркаш учун мўлжалланган шаблонни тайёрлашда ҳам лазер нуридан унумли фойдаланилмоқда. Юқорида кўрилган ҳолларда материал катта қувватли лазер билан бўғлатилади. Фараз қилайлик, микросхеманинг диэлектрик тағлигига юпқа металл плёнка (парда) пуркалган бўлсин. Парданинг сирти бўйлаб кўча оладиган фокусланган лазер нурини йўналтириб, шу пардани муайян қисмларини бўғлантириш орқали микросхеманинг зарур бўлган

“расми” ҳосил қилинади. Мисол тариқасида узлуксиз ишловчи лазер гранат-неодимли асосидаги муайян лазер қурилмасини келтирамыз.

Лазер 400 нм/с частотали ёруғлик импультсларини мунтазам генерациялайди. Ҳар бир импульсининг 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.

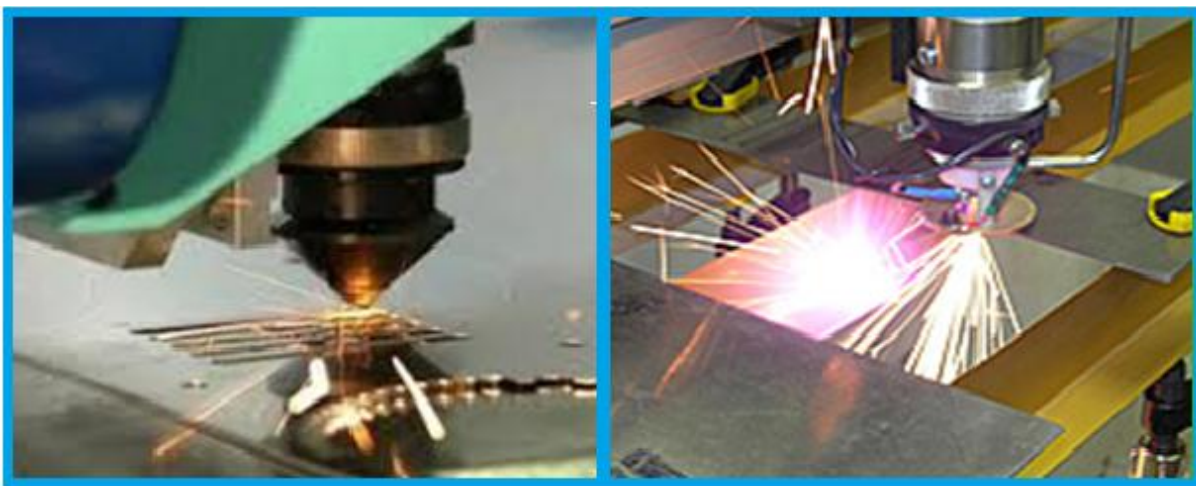
Қирқиш натижасида жуда мураккаб шаклдаги кесимларни ҳам катта аниқлик билан ҳосил қилинади. Бу нур ёрдамида кесганда материал алангаланмаслиги учун кесилган жой инерт газлар шарраси (оқими) билан совутиб турилади. Бунда кесилаётган жой эса текис, силлик, бўлиб чиқади. Шу билан бирга, кесимда узлуксиз импульслар генерацияловчи лазерлар ёки ёруғлик импульслари жуда катта частота билан кесмаслик мақсадга муфовикдир. Нурланиш қуввати кесиладиган материалга ва унинг қалинлигига боғлиқдир. Масалан, қалинлиги 50мм 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

каторда 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 нурини ва матони кўчиши ЭХМ ёрдамида бошқарилади. Қурилма ёрдамида 1соат ичида 50 донa 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 усулларини 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 боровчи 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 100Вт 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 $0,5\text{ мм}$ гача тенг бўлади.

Ҳозирги вақтда нурланиш қуввати $1-10\text{ кВт}$ 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 оширилмокда. 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 материалынинг 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 10^8град/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 металдан ясалган бирор деталлга тўлқиннинг таъсири худди совитилган металлга босим билан ишлов берилганига ўхшайди. Шундай қилиб, лазер технологиясининг қўлланилиши кўлами жуда кенгдир. Бу технологияни қуйидаги 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.

3.5. Лазерларнинг қишлоқ хўжалигида қўлланилиши

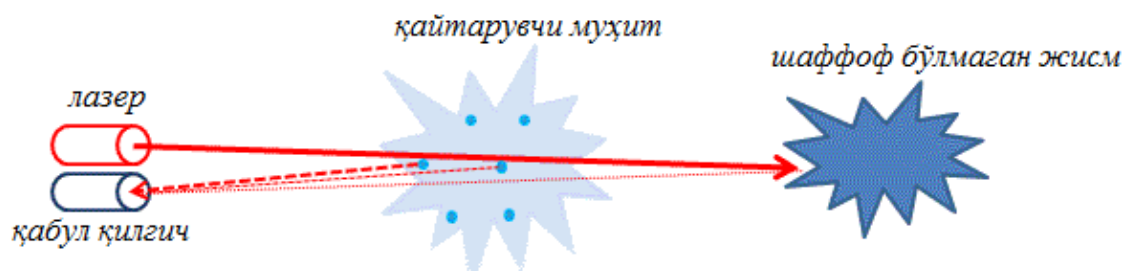
Лазер нурланишининг хусусиятларидан қишлоқ хўжалигида ҳам кенг қўлланилмоқда. Когерент нурланиш биологик жараёнларни тезлатиш хусусиятига эга эканлигидан фойдаланиб турли ўсимликларнинг уруғларига экишдан олдин лазер нурланиши билан таъсир этиш йўлга қўйилди. Қишлоқ хўжалигида лазер нурланишини қўллаш 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 ҳакозо.

Бугдойни экишдан олдин лазер нурланиши билан ишлашнинг хўжаликларида қўлланилиши ҳосилдорликни 10 % дан 21 % гача ошганини кўрсатди. Бугдойни 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, қутбланиши, 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 сигналига айлантирилади. Олинган электр сигналлари ЭХМ билан таъминланган анализаторда ишланади. Олинган маълумотга асосланиб, ўсимликнинг ҳолати ҳақида маълумот олинади. Лидарнинг ишлаш тамойили 3.33 - рамда келтирилган.



объектга 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

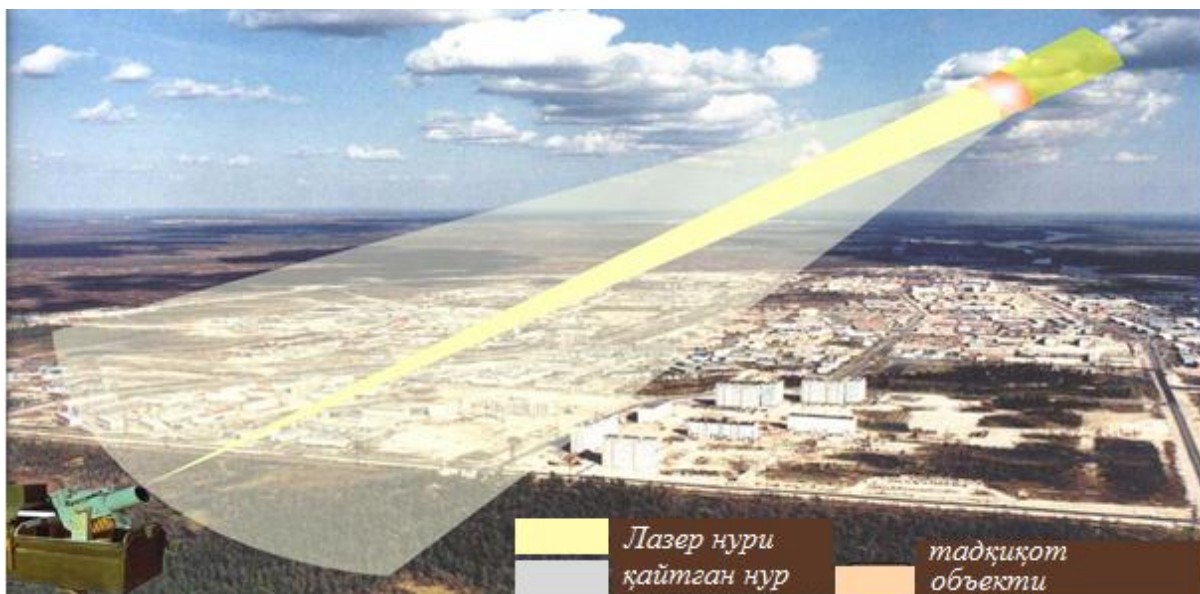
3.33 - расм. Лидарнинг ишлаш тамойили.

Лазер нурланиши ўсимликларда рўй берувчи фотосинтез ходисаларини ўрганишга асос солди. Фотосинтез - ёруғлик таъсирида ўсимлик баргларида, денгиз ўтларида, баъзи бактерияларда рўй берувчи мураккаб биологик жараёндир. 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 спектрофлюорометри яратилган. Унинг ёрдамида таъсир марказларининг тузилиши, фотосинтезнинг ўткинчи ҳолатларни ёруғликнинг ютилиш жараёнларини тадқиқ қилинди.

3.6. Лазер нури ёрдамида жараёнларни назорат қилиш

Лидарлардан фақат ўсимликларнигина эмас, атмосферани ҳам тадқиқ қилишда фойдаланилади. Атмосферани лидар 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 ифлослантирувчи кимёвий бирикмаларни аниқлаш учун ёруғликни комбинацион сочилиши ходисасидан фойдаланилади. Маълумки, атом ва молекулалар тебранма ҳаракатда бўлиб, тебраниш частоталари кимёвий бирикма учун хосдир.

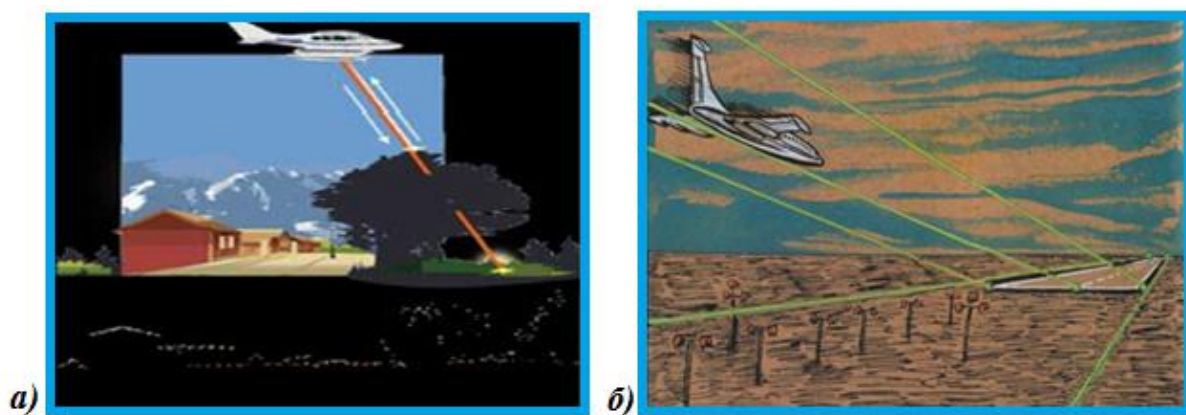


3.34 - расм. Лазер ёрдамида атмосферани тадқиқ қилиш.

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 ёқут лазери нурланишининг иккинчи гармоникаси $\lambda = 347 \text{ нм}$ қўлланилади. Лазер нурланишини ютган молекулалар, лазер нурланиши частотасидан фарқли бўлган кичик частотада нур чиқаради. Люминесценция нурланиши

частотаси мазкур бирикма учун аниқ қийматларга эга. Люминесценция 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 радиолакация 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 ажратиб 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 фойдаланиши.



3.37- расм. Радиотехникада лазерлардан фойдаланиши.

III - бобни ўзлаштиришда устоз-шогирд ўртасидаги учинчи суҳбат

Устоз. Ниҳоят лазерларнинг амалиётда қўлланилиши бўлимига ҳам етиб келдик. Турмушимизнинг жуда кўп соҳаларида қўлланишидан ўзингизни ҳам хабарингиз бўлиши керак.

Шогирд. Китобнинг ушбу бўлимидаги маълумотлар жуда қизиқарли экан. Оптик алоқа бўлими билан танишганимда мен узоқ ўйланиб қолдим. Мени билганларим бўйича алоқа воситаларидан ҳисобланган телефон 1876 йили, радио эса 1895 йили кашф қилинган бўлса, турли ҳудудларда яшаган ўтмишдаги аجدод ва авлодларимиз қандай мулоқот воситаларидан фойдаланган экан.

Устоз. Мушоҳада қилишингиз жуда ўринли. Бу сиз кўтарган масала барча ўқувчиларни қизиқтириши табиий албатта. Сиз билишни истаган маълумот узоқ тарихга эга. Маълумотларга қараганда қадим замонларда одамлар ўртасидаги алоқа воситаси сифатида уларнинг овозлари хизмат қилган. Ўзингизга маълум товуш ҳавода тез сўнади ва узоқ масофаларга етиб боролмайди. Кейинчалик барабанлар ва бурғулар садосидан ҳам фойдаланишган. Бундай алоқа воситаларини бугунги фан тили билан айтсак акустик усул дейиш мумкин. Кундуз кунлари тутундан, кечалари эса ёрқин алангалардан ҳам фойдаланганлари бизга маълум. Кейинчалик XVIII асрда Қуёш нурини қайтарувчи кўзгулардан фойдаланиш асосида ишлайдиган оптик телеграф ва мураккаб ахборотларни узатиш имкониятига эга бўлган семафор қурилмалари яратилган.

Шогирд. Устоз жуда яхши маълумотга эга бўлдим. Оптик алоқа бўлими билан танишганимда нуртола тушунчасига дуч келдим. Нуртолада маълумотлар қандай узатилади?

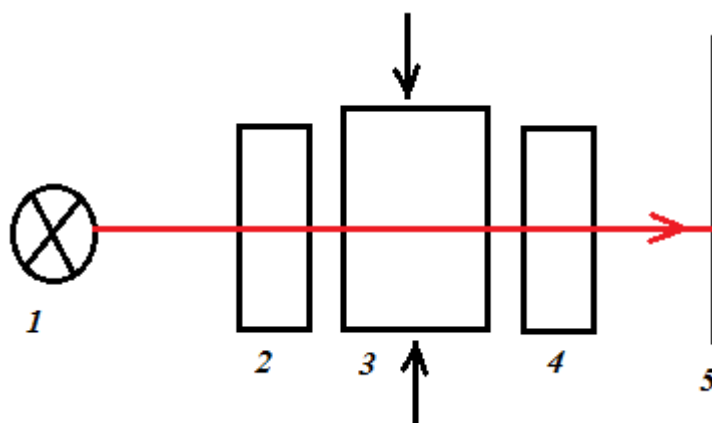
Устоз. Нуртолалар тўғрисида алоҳида китоб яратишни режалаштирганмиз. Сизни қизиқтирган нур узатувчи шиша толалар ёки қисқача нуртолаларда маълумотни узатиш икки муҳит чегарасидан

ёруғликни тўла ички қайтишига асосланган. Шиша толанинг диаметри тахминан 100 мкм бўлиб, ўзак ва уни ўраб олган қобикдан ташкил топган. Ўзакнинг синдириш кўрсаткичи қобикнинг синдириш кўрсаткичидан бироз катта бўлиши керак.

Бугунги кунда дунё миқёсида ютиш коэффиценти кичик бўлган нур толаларни олиш соҳасидаги ишлар ривожланиб бориб, нур толаларни қўлланиладиган соҳалари кенгайиб бормоқда.

Шогирд. Оптик алоқа бўлимида сунъий анизотроплик тушунчаси ишлатилган. Шу ҳақида маълумот берсангиз.

Устоз. Олдинги бобдаги мавзуларда анизотроплик ҳақида маълумот берилган эди. Яъни моддаларни изотроп ва анизотроп хусусиятларга эга бўлган муҳитларга ажратган эдик. Бу соҳада сиз яхши маълумотга эгасиз. Гап сунъий анизотроплик хусусида борар экан қисқача қуйидагиларга эътиборингизни қаратмоқчиман. Изотроп яъни бир жинсли муҳитни сунъий равишда анизотроп хусусиятга эга бўлган муҳитга айлантириш мумкин экан. Қуйидаги усулни кўриб чиқамиз. Агар изотроп хоссаларига эга бўлган диэлектрик муҳит маълум бир куч билан ёки босим билан сиқилса (деформацияланса) анизотроп хусусиятга эга бўлиб қолади. Бунни қуйидаги тажриба ёрдамида текшириб кўриш мумкин.



Ушбу шаклдаги 1- монохроматик ёруғлик манбаи ҳисобланган лазер, 2- қутблагич, 3- оптик изотроп хусусиятга эга бўлган жисм, 4- қутблагич, 5- экран.

Агарда 3 жисмга ташқи куч таъсир этмаса 2 ва 4 қутблагичлар оптик ўқлари бўйича ўзаро перпендикуляр жойлашган бўлса, экранда ёруғлик кузатилмайди. 3 жисмга ташқи куч билан таъсир қилсак, яъни расмдаги стрелка йўналишида деформацияласак, у ҳолда ушбу системадан ёруғлик ўтиб, деформация натижасида оптик изотроп жисм анизотроп муҳитга айланади ва бу ёруғликни кристалл ичида иккиламчи синишига олиб келади. Яъни нур одатдаги ва одатдаги бўлмаган нурларга ажралади ва экранда ёруғ доғ ҳосил бўлади.

Одатдаги ва одатдаги бўлмаган нурларни синдириш кўрсаткичи турлича бўлиб $n_o - n_e \sim B^2$ га пропорционал бўлади. B – кучланиш катталигини характерлаб, унинг қийматлари катта бўлса, бу қийматнинг унинг квадрати катталиги бўйича анизотроплиги ошиб боади. Изотроп муҳитни электр ёки магнит майдонига жойлаштириш орқали ҳам сунъий анизотропликни ҳосил қилиш мумкин.

Шогирд. Китобнинг ушбу қисмига тегишли бўлган маълумотларни жуда қизиқиш билан ўқиб чиқдим. Чунки лазер нурини турмушимизнинг жуда кўп соҳаларида қўлланишини эшитиб юрар эдим. Лекин аниқ тасаввурга эга эмас эдим. Ҳатто, келажакда шу лазер физикаси соҳаси бўйича мутахассис бўлиб, мустақил Ўзбекистонимиз фани ривожига ўзимни ҳиссамни қўшиш истаги ҳам пайдо бўлди.

Шунинг учун ҳам менда кўп саволларга ўрин қолмади.

Устоз. Ушбу ўқув адабиёти сизнинг лазер нурланиши ва унинг амалиётдаги аҳамияти тўғрисидаги билимингизни бойитишда озми – кўпми фойдаси теккан бўлса биз мақсадимизга эришганимиздан хурсандмиз.

IV боб. Лазер нури ёрдамида физиканинг оптика бўлимига оид намойиш тажрибалари

*Физикани чуқур ўрганадиган академик лицейлар имкониятидан келиб
чиқиб, қуйидаги намойиш тажрибалари тавсия этилмоқда.*

Физикани ўқитиш жараёнида талабаларнинг фикрлаш қобилиятини ривожлантириш нуктаи назаридан намойиш тажрибаларидан унумли фойдаланиш ижодкорлик учун турли шарт - шароитларни яратади. Бизга маълумки, намойиш тажрибалари назарий хулосаларнинг тўғрилигини амалий текширишда етакчи ўрин эгаллайди. Фойдаланишдаги намойиш тажрибаларининг характери турлича бўлиб, танланиш услуби ўқитиш моҳиятига боғлиқ бўлиши билан бирга намойиш тажрибаларига қўйиладиган талаблар асосида кўрсатиш мақсадга мувофиқдир.

Педагогик тамойилларга амал қилган ҳолда, қуйида “Геометрик оптика”, “Ёруғлик интерференцияси”, “Ёруғлик дифракцияси”, “Ёруғликнинг кутбланиши” ва “Лазер нурининг хоссалари ва қўлланилиши” га оид намойиш тажрибаларини оптик квант генератори (лазер) дан фойдаланган ҳолда кўриб чиқамиз.

4.1. Геометрик оптика бўлимига оид намойиш тажрибалар

1-намойиш тажриба. Ёруғликни тўғри чизик бўйлаб тарқалиш қонунини намойиш қилиш

Мақсад: Бир жинсли муҳитда ёруғликни тўғри чизикли тарқалиш қонунини намойиш қилиш.

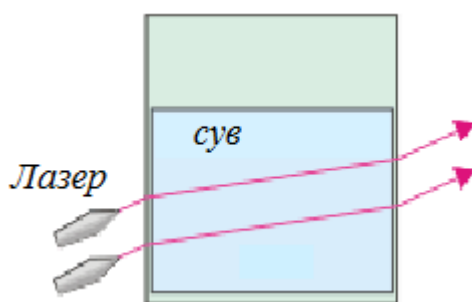
Қисқача назарияси: Кузатишлар ва тажрибалар асосида ёруғликнинг тарқалиш қонунлари аниқланган бўлиб, бунда *ёруғлик нури* тушунчасидан фойдаланганлар. *Нур* – бу ёруғлик тарқаладиган йўналишдир. Амалда ёруғлик нурланиши учун ингичка тор ёруғлик дасталаридан фойдаланилади, улар кичкина тирқишли экранлар ёрдамида

ҳосил қилинади. Ёруғлик шаффоф бир жинсли муҳитда тўғри чизик бўйлаб тарқалади. Бу қонунни тажриба йўли билан лазер нуридан фойдаланган ҳолда кўрсатишимиз мумкин.

Керакли жиҳозлар: Яримўтказгичли лазер, сувли шиша идиш.

Тажрибани бажариш тартиби:

Муҳитда ёруғликнинг сочилишини кузатиш учун оддий водопровод суви билан тўлдирилган эни 20 см, узунлиги 50 см бўлган идишдан фойдаланилади. Идиш кузатувчилар қатори бўйлаб жойлаштирилади. Талабаларни фикрини бир жинсли муҳит бўлган сувли идишга қаратамиз. Сувга оз миқдорда сутни аралаштириб, лазер нури йўлига идишни қўямиз. Оз миқдорда сут аралаштирилгани учун идиш ичидан ўтаётган лазер нурини сочилишини ёрқинроқ кўришимиз мумкин. Лазер нури сувли идишда тўғри чизик бўйлаб тарқалаётганлигини кўрамиз (4.1-расм).



4.1- расм.

Тажрибани давом эттириб сувли идишнинг бир томонига концентрацияси катта бўлган тузми сувдаги эритмасиниворонка ёрдамида қуямиз. Бу вақтда тўғри чизик бўйлаб тарқалаётган лазер нури оптик зичлиги ўзгарган жойдан бошлаб эгриланиб ҳаракат қилади (4.2- расм). Бундан кўринадики, бир жинсли бўлмаган муҳитда лазер нурини муҳитнинг оптик зичлигига боғлиқ равишда тўғри чизикли тарқалишидан четлашиши кузатилади.



4.2 – расм.

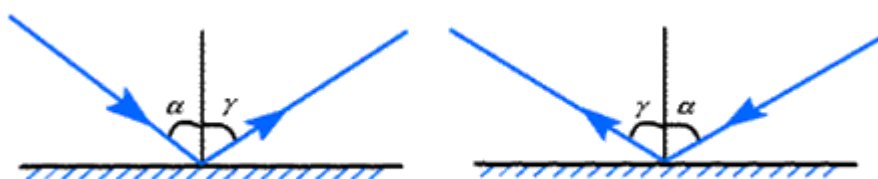
Лазер нурини бир жинсли ҳавода тўғри чизик бўйлаб тарқалашини кузатиш учун лазер нури йўлига тутун заррачаларини йўналтирсак, лазер нурини тўғри чизик бўйлаб йўналишини кўришимиз мумкин.

Хулоса қилиб шуни айтиш мумкинки, ёруғлик нури бир жинсли муҳитда тўғри чизик бўйлаб тарқалади, аксинча, бир жинсли бўлмаган муҳитда эса ёруғликни эгриланишини кузатамиз.

2-намойиш тажриба. Ёруғликни қайтиши ва синиш қонунларини намойиш қилиш

Мақсад: Ёруғликни қайтиш ва синишини намойиш қилиш.

Қисқача назарияси: а) **Қайтиш қонуни.** Кузатишларни кўрсатишича ёруғлик қайтганда доимо қайтиш қонунини бажарилади: тушувчи нур, қайтган нур ва икки муҳитнинг бўлиниш чегарасида нурнинг тушиш нуқтасидан ўтказилган перпендикуляр бир текисликда ётади. γ - қайтиш бурчаги, α - тушиш бурчагига тенг (4.3-расм), яъни $\alpha = \gamma$.



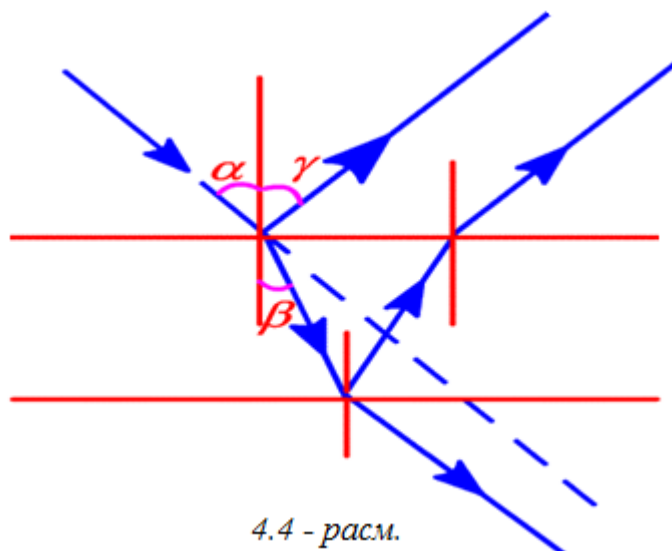
4.3 - расм.

Бу қонун истаган табиатдаги тўлқинларнинг қайтиш қонунлари билан мос тушади ва Гюйгенс тамойилининг натижаси сифатида ҳосил қилиниш мумкин. Қайтиш қонуни ёруғликни корпускуляр назарияси билан ҳам тушунтирилиши мумкин.

б) Ёруғликни синиши. Ёруғлик бир муҳитдан иккинчи муҳитга ўтганда ёруғлик синади. Ёруғликни синиш қонуни экспериментал аниқланган: унда тушувчи нур, синган нур ва икки муҳит чегарасига нурнинг тушиш нуқтасидан ўтказилган перпендикуляр бир текисликда ётади. Тушиш бурчаги синусининг синиш бурчаги синусига нисбати берилган икки муҳит учун ўзгармас катталиқдир. Тушиш бурчагини - α , синиш бурчагини – β билан белгилаймиз (4.4 - расм).

У ҳолда ёруғликнинг синиш қонуни қуйидагича ифодаланади:

$\sin\alpha / \sin\beta = n$. Бунда n берилган иккала муҳит учун ўзгармас катталик бўлиб, иккинчи муҳитнинг биринчи муҳитга нисбатан *нисбий синдириш кўрсаткичи* дейилади.



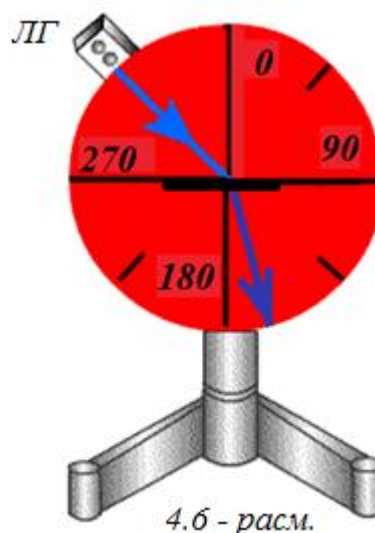
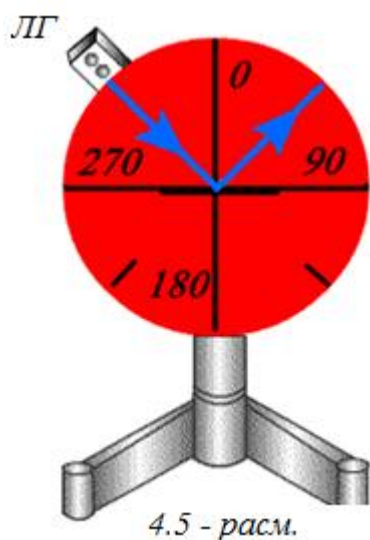
Керакли жиҳозлар: а) лазер ўрнатилган оптик диск, кўзгу.

б) лазер ўрнатилган оптик диск, икки томони параллел, қалинлиги 1 см атрофида бўлган шиша пластинка.

Тажрибани бажариш тартиби:

а) Бунинг учун *оптик диск* деб аталувчи махсус асбобдан фойдаланамиз. Бу оқ доирадан иборат бўлиб, унинг айланаси бўйлаб бўлинмалар белгиланган. Дискнинг четида сурилма ёритгич - лазер ўрнатилган, у ёруғлик кира олмайдиган ғилоф ичига жойлаштирилган. Ғилофдаги кичик тешик орқали лазер нури дискнинг марказида

маҳкамланган жисмга тушади. Бунда биз тушган ва қайтган нурларни кўрамиз. Тушаётган лазер нури бурчагини ўзгартириб тажрибани такрорлаймиз. Унда ҳамма ҳол учун тушиш бурчаги қайтиш бурчагига тенг эканлигини кузатамиз (4.5-расм).



б) лазер нури оптик диск марказига қўйилган шиша пластинкага туширамиз. Бунда биз ёруғликнинг икки муҳит чегарасида синишини кўришимиз мумкин. Лазер нури тушиш бурчагини ўзгартириб тажрибани давом эттирамиз. Унда тушиш бурчагига қараб синган нур бурчаги ҳам синиш қонунига асосан ўзгаришини кузатишимиз мумкин (4.6-расм).

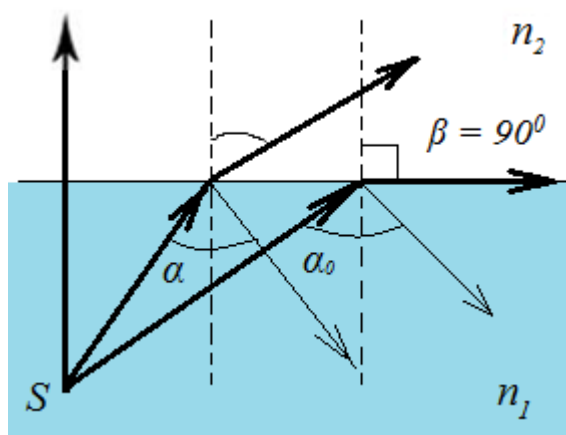
Бу тажрибалардан шундай хулосага келишимиз мумкинки, ёруғликни қайтиш ва синиш қонунларини тажрибада ўз исботини топганлигини гувоҳи бўламиз.

3-намойиш тажриба. Ёруғликни тўла ички қайтишини намойиш қилиш

Мақсад: Ёруғликнинг икки муҳит чегарасида тўла ички қайтиш қонунини намойиш қилиш.

Қисқача назарияси: Ёруғлик нурининг шиша, сув ва шу сингари муҳитлардан ҳавога ўтишида айрим қонуниятларни кузатишимиз мумкин.

Агар нурнинг сув билан ҳаво чегарасига тушиш бурчаги α ни катталаштирсак, унда биз синган нурнинг борган сари сув бетига яқин келишини шу билан бирга борган сари хиралашини, қайтган нурни эса борган сари равшанланишини кўрамиз. Тушиш бурчаги маълум бир даражага етганида синган нур сув бети бўйлаб кетади ва жуда заифлашади, қайтган нур эса тушган нурдек равшан бўлиб қолади (4.7-расм). Бу ҳолга мос келган тушиш бурчагини чегара бурчак дейилади. Тушиш бурчак яна катталашганида синган нур бўлмайди, фақат қайтган нургина кўринади. Чегаравий бурчакни тажрибада топиш ёки агар модданинг синдириш коэффициенти маълум бўлса, ҳисоблаш мумкин. Яъни, $\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1$, $n_2 < n_1$. Нур чегаравий бурчакка тенг бўлган бурчак ҳосил қилиб тушсин.



4.7- расм.

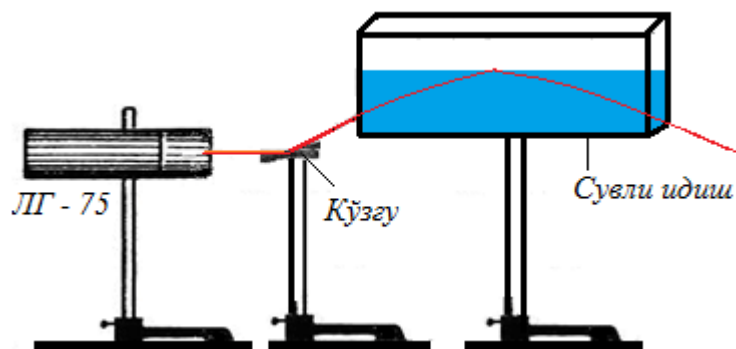
Бу бурчакни α_0 билан белгилайлик. Бу ҳолда синиш бурчаги $\beta = 90^\circ$ бўлиб, синдириш кўрсаткичи $1/n$, яъни: $\sin \alpha_0 / \sin 90^\circ = 1/n$ ёки $\sin \alpha_0 = 1/n$. Бу формула синдириш кўрсаткичи катта бўлган моддаларнинг чегара бурчаги кичик бўлишини кўрсатади. Сувнинг чегара бурчаги 48° , шишаники 42° га тенг.

Керакли жиҳозлар: Лазер – ЛГ- 75, кўзгу, сувли идиш, штатив.

Тажрибани бажариш тартиби:

Ёруғликнинг тўла ички қайтиш қонунини намоиш қилишда қуйидаги қурилма йиғилади (4.8- расм). Унда ёруғлик манбаи

сифатида лазердан фойдаланилади. Лазер нури кўзгуга йўналтирилади. Кўзгудан қайтган нур сувли идиш кюветага йўналтирилади. Кўзгуни шундай ҳолатини танлаб олинадики, унда лазер нури суёқлик сиртидан пастга қайтади.



4.8-расм.

Бу ҳодиса ёруғликнинг тўла ички қайтишини намоён бўлишини тасдиқлайди.

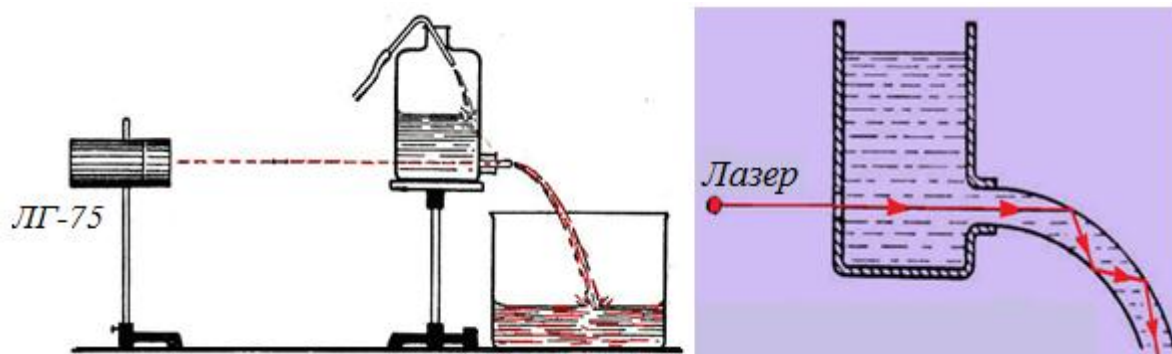
4-намойиш тажриба. Ёруғликнинг сув оқимида тўла ички қайтишини намойиш қилиш

Мақсад: Ёруғликнинг икки муҳит чегарасида тўла ички қайтиш қонунини намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: Лазер – ЛГ - 75, сувли идиш, штатив.

Тажрибани бажариш тартиби:

Расмда кўрсатилганидек қурилма йиғилади (4.9-расм).



4.9 - расм.

Бунда идиш лазер нури йўлига шундай жойлаштириладики, унда нур шиша идишдаги жўмакдан чиқиб, экранга тушади. Идишнинг жўмагини беркитиб, расмда кўрсатилганидек уни сув билан тўлғизамиз. Агар жўмакни очиб юборсак, лазер нури сув оқими бўйлаб пастга қўйилган идишга туша бошлайди. Сув оқими лазер нури қизил бўлгани учун оқим йўналиши кип-қизил бўлиб идишга туша бошлайди. Идиш даврий равишда сув билан тўлдириб турилса, бу ҳолатни маълум муддатгача кузатиш мумкин. Бу тажриба ўзининг кўргазмалилиги ва жозибалилиги билан талаба - ўқувчиларни ҳайратлантиради. Шунингдек, бу ҳодисага рангли фаввораларни мисол қилиш мумкин.

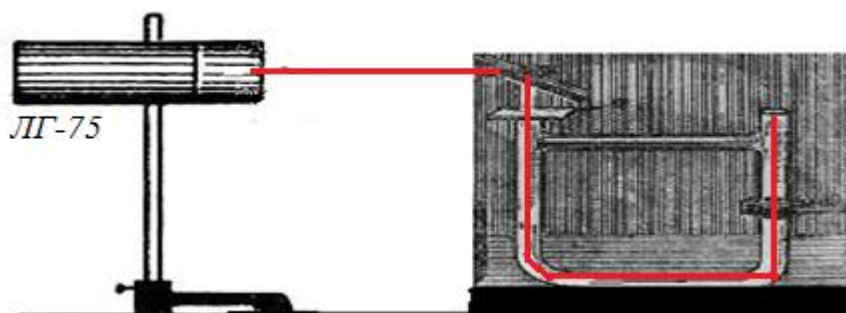
5-намойиш тажриба. Сувли “U” симон трубада ёруғликнинг тўла ички қайтишини намойиш қилиш

Мақсад: Ёруғликнинг икки муҳит чегарасида тўла ички қайтиш қонунини намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: Лазер - ЛГ- 75, кўзгу, “U” кўринишдаги сувли най.

Тажрибани бажариш тартиби:

Бу тажрибани намойиш қилиш учун 4.10 - расмда кўрсатилган қурилма йиғилади. Лазердан чиққан нур кўзгу орқали “U” кўринишдаги сувли найга йўналтирилади. Кўзгуни шундай бурчакка бурамизки лазер



4.10 - расм.

нури сувли шиша най орқали ҳаракатланиб, найнинг иккинчи томонидан кўринади. Лазер нурининг сувли най орқали ҳаракатланиб чиқиши ёруғликнинг тўла ички қайтиш қонуни асосида рўй берганининг далолатидир.

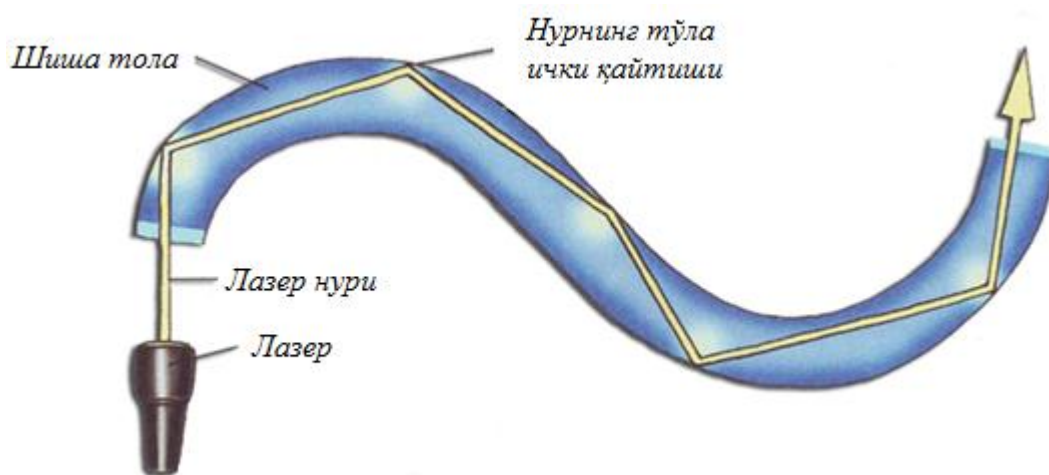
6 - намойиш тажриба. Шиша стерженда ёруғликнинг тўла ички қайтиш қонунини намойиш қилиш

Мақсад: Ёруғликнинг икки муҳит чегарасида тўла ички қайтиш қонунини намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: Лазер, нур тола, экран.

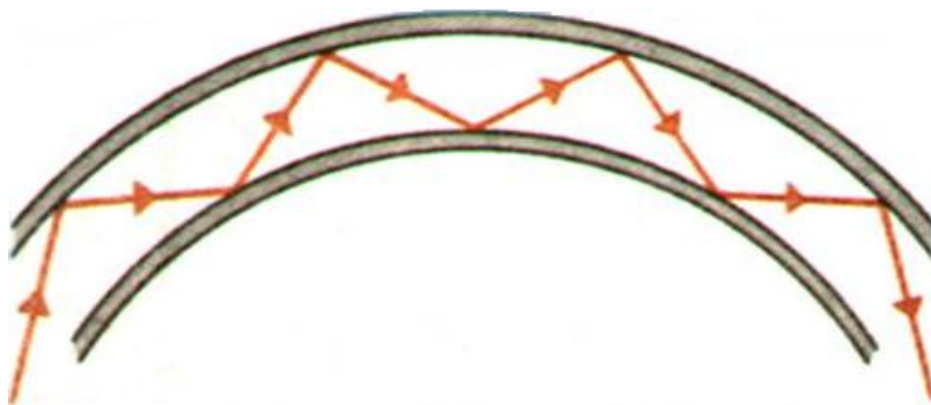
Тажрибани бажариш тартиби:

Лазер нури 4.11- расмда кўрсатилганидек нур толага йўналтирилади.



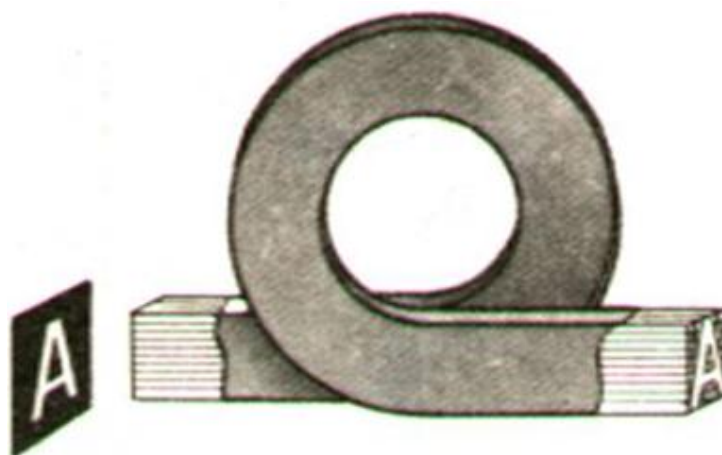
4.11-расм.

Бунда лазер нурини нур тола бўйлаб мураккаб ҳаракатини кузатишимиз мумкин (4.12 - расм).



4.12 - расм.

Шишанинг иккинчи томонидан чиққан лазер нурини кузатиш учун экран ўрнатилади. Нуртолани ярим доира қилиб лазер нурини йўналтирсак, у айлана бўйлаб ҳаракатланиб экранга тушади. Бу тажрибада шуни айтиш мумкинки, маълум чегаравий бурчакда лазер нури нуртолада тўла ички қайтиб экранга тушади. Агар уни йўлига 4.13 - расмда кўрсатилганидек, *A* ҳарфини жойлаштирсак, нури чиқишида ахборотни (*A*) узатганини кўрамиз.



4.13- расм.

4.2. Ёруғлик интерференциясига тегишли намойиш тажрибалар

Табиатдаги ёруғлик ҳодисаларини кузатганда интерференция манзарасининг ҳосил бўлиши бу ҳодисанинг тўлқин табиатли эканлигини кўрамиз. Француз физиги О.Френель ёруғлик дасталари билан бир қатор тажрибаларни ўтказди. Бу тажрибаларда ёруғликнинг интерференцияси,

дифракцияси ва қутбланиш ҳодисаларини кузатди. Бу ҳодисаларни фақат тўлқин назарияси ёрдамида тўла-тўқис тушунтириш мумкин. Френелнинг ёруғлик нурларининг тўлқин табиатли эканлигини *аниқлаш* имконини берган ишлари ҳозирги кунгача ҳам тўлқин оптикасининг асоси ҳисобланади. Френель ёруғлик нурида содир бўлаётган тебранишлар кўндаланг бўлишини аниқ тажрибалар ёрдамида исбот қилди. Бу ўша вақтдаги суюқлик ёки газ сингари ҳар қандай муҳитдан ўтувчи механикавий эфир ҳақидаги тасаввурларга зид эди, чунки ёруғлик тўлқинлари тарқаладиган бундай муҳитда фақат бўйлама тўлқинларгина содир бўлади. Кейинчалик бу зиддиятни Максвелл қисман бартараф этди. У ёруғлик нурида механикавий тебранишлар эмас, балки $\vec{E}$ ва $\vec{H}$ векторларнинг электромагнит тебранишлари содир бўлишини кўрсатди. Ёруғликнинг интерференцияси, дифракцияси ва қутбланиши ҳодисаларини ҳозирги замон ёруғлик манбаи - лазер ёрдамида мукамалроқ кўриб чиқамиз.

7- намойиш тажриба. Френель бипризмаси ёрдамида ёруғлик интерференцияси

Мақсад: Ёруғлик интерференция ҳодисасини Френель бипризмаси ёрдамида намойиш қилиш.

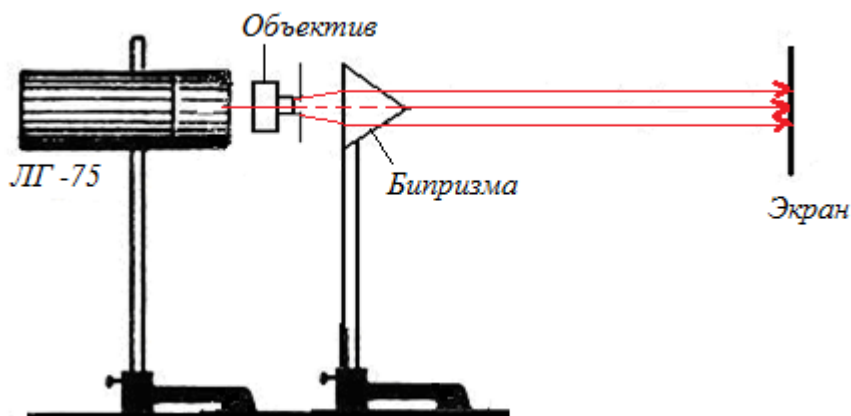
Керакли жиҳозлар: ЛГ- 75 лазери, Френель бипризмаси, экран, объектив.

Қисқача назарияси: Ёруғликнинг тўлқин хоссалари интерференция ҳодисаларида яққол намоён бўлади. Ёруғликнинг интерференция ҳодисасига қуйидагича таъриф бериш мумкин. Иккита ўзаро когерент бўлган ёруғлик нурини қўшилиши натижасида натижаловчи ёруғлик энергиясини кучайиши ёки сусайишига айтилади. Совун эритмаси ва мой рангсиз бўлишига қарамай совун пуфакларининг ва сувдаги юпка мой доғларининг рангдор бўлиб кўриниши ёруғликнинг интерференцияси

натижасидир. Ёруғлик тўлқинлари юпқа парда сиртидан қисман қайтади, қисман унинг ичига киради. Парданинг иккинчи чегарасидан тўлқинлар қисман қайтади. Юпқа парданинг иккита сиртидан қайтган ёруғлик тўлқинлари бир йўналишда тарқалади, лекин турлича йўл босиб ўтади. Юриш йўлининг Δl фарқи тўлқин узунлигининг бутун сонига қаррали бўлганда, $\Delta l = 2k \frac{\lambda}{2}$ интерференция манзараси максимуми кузатилади. Δl фарқ ярим тўлқинларнинг тоқ сонига тенг бўлганда, $\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ интерференция манзараси минимуми кузатилади. Ёруғлик тўлқинлари бир - бирини кучайтириш ёки сусайтириши учун улар когерент бўлишлари керак. Агар иккала тўлқин частоталари тенг бўлса ва бу тўлқинларнинг фазалар фарқи вақт давомида ўзгармас бўлса, бу тўлқинлар *когерент тўлқинлар* дейилади. Когерент тўлқинларни олиш усулларида бири Френель бипризмасидан фойдаланиб, амалга оширилади.

Тажрибани бажариш тартиби:

Френель бипризмаси - бир бутун шиша бўлагидан умумий асосга эга бўлган иккита призма ясалган бўлиб, уларнинг синдириш бурчаги жуда кичик катталиқка эга. Тажриба схемаси 4.14-расмда келтирилган.



4.14-расм.

Объектив ёрдамида лазер нурунинг равшан ёруғлик доғи ҳосил қилинади. Унинг йўлига бипризмани жойлаштирамиз. Бу бипризмага лазер нури тушса, бу нурлар иккала призмада синиб, мавҳум манбалардан

чиқаётгандек тарқалиб экранга тушада ва экранда қора ва қизил йўллар кўринишидаги интерференцион манзарани кўришимиз мумкин.

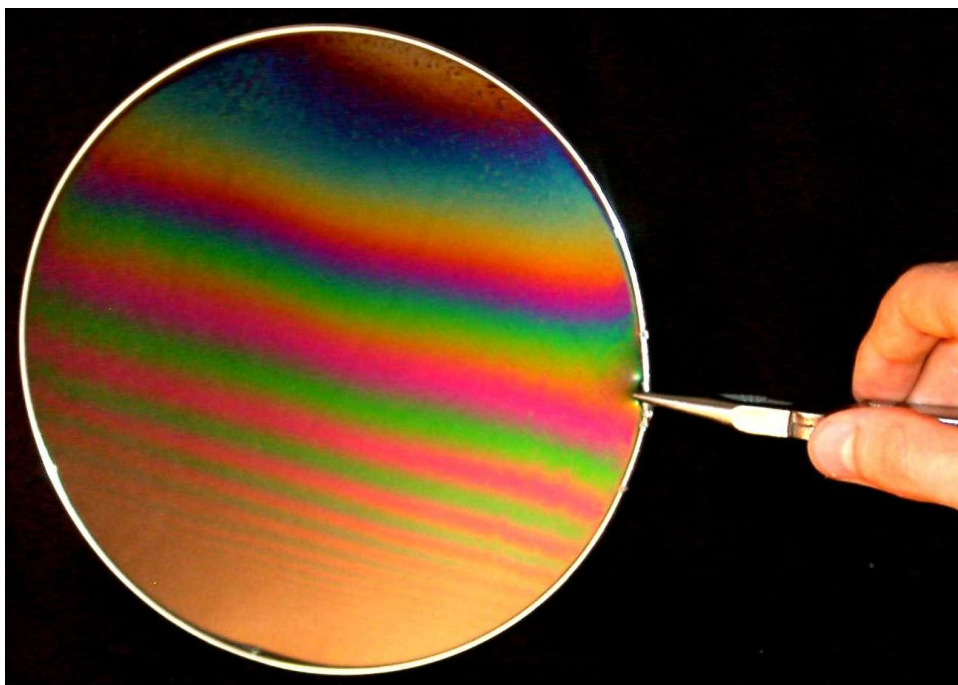
Шундай қилиб, қизил нурланишли лазер нуридан фойдаланганимиз учун монохроматик ёруғликнинг экранда навбатлашувчи қизил ва қора йўллар оиласи ҳосил бўлади.

8- намойиш тажриба. Ёруғликни юпқа слюда пластинкасининг иккала сиртидан қайтиши

Мақсад: Ёруғлик интерференция ҳодисасини юпқа слюда пластинка ёрдамида намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: ЛГ-75 лазери, слюда пластинкаси, экран, объектив.

Қисқача назарияси: Юпқа плёнкалар ёруғлик нурида ҳар хил рангга бўйлиб кўриниши кундалик ҳаётда (масалан, сув сиртида ёйилган юпқа мой пардалари, совун пардаси) кузатганмиз (4.15- расм).



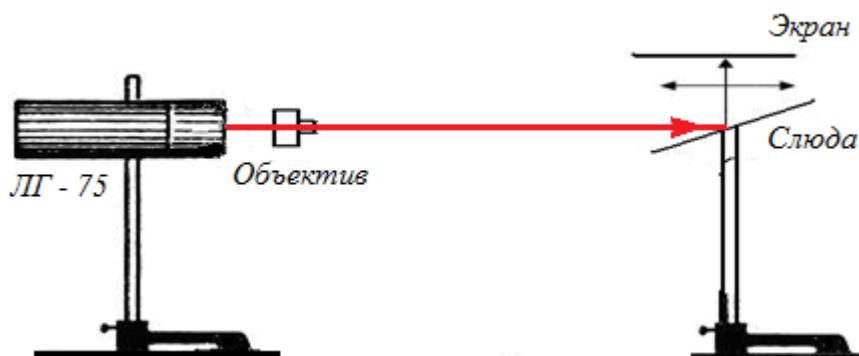
4.15 – расм.

Бундай ҳодисани кузатишимизга сабаб юпқа плёнкаларда ёруғлик интерференциясини рўй бериши натижасидадир. Маълум қалинликдаги

юпқа плёнкага ёруғлик нури маълум бир бурчак остида тушиб, қандайдир бурчакка синган бўлсин. Тушаётган нурнинг бир қисми плёнка сиртидан қайтади, синган нурнинг бир қисми плёнканинг қуйи чегарасидан қайтиб, ташқарига чиқиб кетади. Плёнка сиртидан плёнкага синиб ўтиб, унинг қуйи чегарасида қисман қайтган нур, плёнка сиртидан қайтган нур билан учрашгунча уларнинг босиб ўтган йўлларида оптик йўл фарқи ҳосил бўлади, яъни: $\Delta l = 2hn \cos r + \frac{\lambda}{2}$. Бу формулади $\frac{\lambda}{2}$ – плёнканинг сиртидан қайтганда ярим тўлқин узунлиги йўқотилишини кўрсатади, n - плёнканинг синдириш кўрсаткичи бўлиб, плёнкани ўраб олган ҳавонинг синдириш кўрсаткичидан катта.

Тажрибани бажариш тартиби:

Тажриба схемаси 4.16-расмда келтирилган.



4.16- расм.

Лазер нури слюда сиртидан плёнкага синиб ўтиб, унинг қуйи чегарасидан қисман қайтган нур, пленка сиртидан қайтган нур билан учрашгунча уларнинг босиб ўтган йўлларида оптик йўл фарқи ҳосил бўлади. Шу туфайли интерференция апертура бурчаги ҳам жуда кичикдир, бунда когерентликнинг радиуси ортади ва интерференция манзарасини олиш шароити осонлашади.

9-намойиш тажриба. Ллойд кўзгуси ёрдамидаги интерференция

Мақсад: Ёруғлик интерференция ходисасини Ллойд кўзгуси ёрдамида намойиш қилиш.

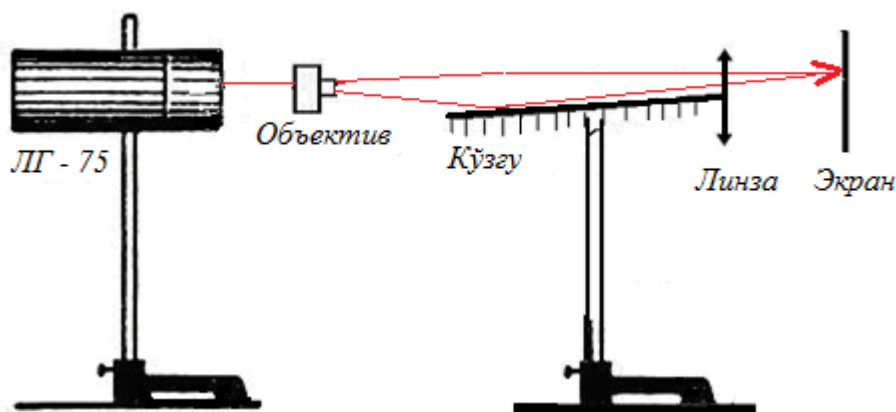
Керакли жиҳозлар: ЛГ-75 лазери, Ллойд кўзгуси, объектив, линза, экран.

Тажрибани бажариш тартиби:

Ллойд кўзгуси билан кўрсатиладиган намойиш тажриба схемаси 4.17- расмда келтирилган.

Лазер нури йўлига объектив ўрнатилиб, Ллойд кўзгусига йўналтирилади.

Кўзгуни шундай ўрнатиш керакки, сочилувчи ёруғлик дастаси кўзгу сиртига озгина тегсин. Шундан сўнг ундан қайтган “шуъла” экранга тўғри келаётган нурга устма - уст тушувчи ва экранда аниқ манзара пайдо бўлгунича кўзгу бурилади.



4.17- расм.

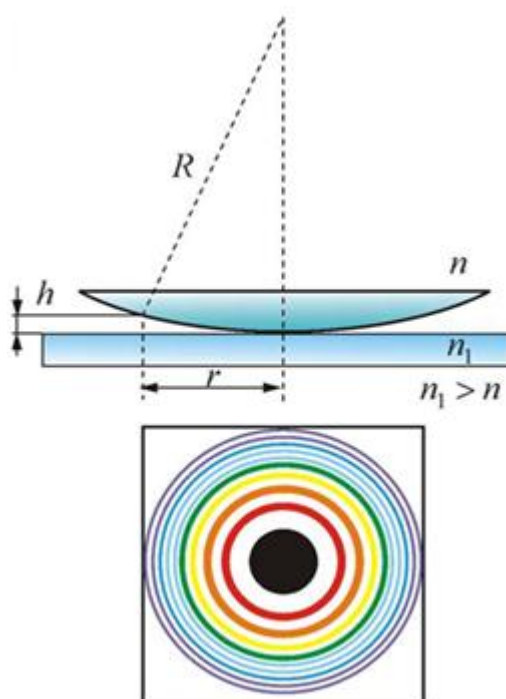
Интерференция манзараларинининг кўринувчанлиги ёруғликнинг кўзгуга тушиш бурчагига боғлиқ. Ёруғлик катта бурчак остида тушганда экранда аниқ қизил ва қора такрорланувчи манзаралар ҳосил бўлади.

10- намойиш тажриба. Ньютон ҳалқаси

Мақсад: Ёруғлик интерференция ҳодисасини Ньютон ҳалқаси ёрдамида намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: ЛГ-75 лазери, “Ньютон ҳалқаси” қурилмаси, объектив, экран.

Қисқача назарияси: Ясси - қавариқ линзани қавариқ томони билан ясси параллел пластинкани устига қўйиб (4.18-расм), ёруғлик интерференциясини кузатиш учун поносимон ҳаво оралиғи ҳосил қилиш мумкин.

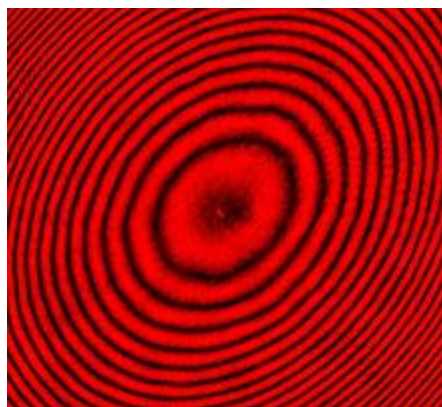


4.18- расм.

$r_m = \sqrt{mR\lambda}$, r_m - қоронғу ҳалқаларнинг радиуси.

$r_n = \sqrt{nR\lambda}$, r_n – ёруғ ҳалқаларнинг радиуси.

Тажриба муваффақиятли чиқиш учун линзанинг қавариқ сирти радиуси катта бўлиши керак. Агар линзанинг ясси сиртига перпендикуляр равишда параллел монохроматик нурлар дастаси йўналтирилса, у ҳолда қайтган ёруғликда галма - гал жойлашган қоронғу ва ёруғ қизил ҳалқалар аниқ кўринади (4.19-расм). Бу ҳалқаларни “Ньютон ҳалқалари” дейилади.



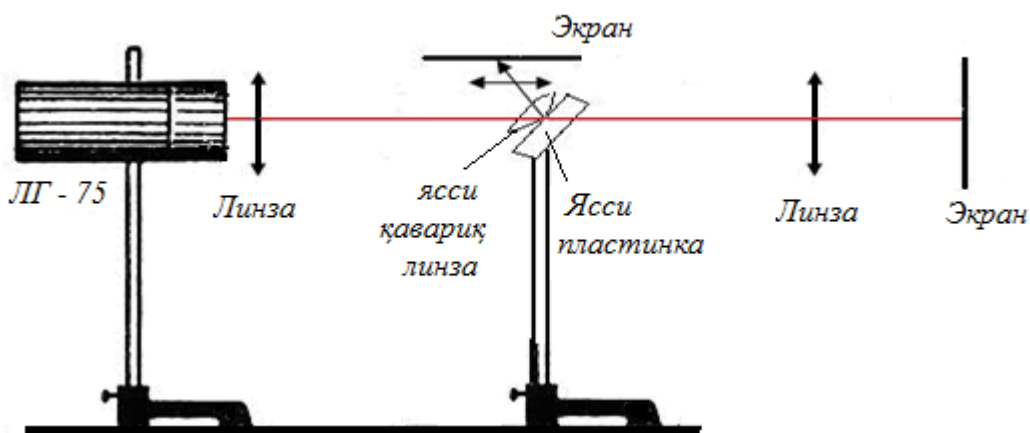
4.19- расм.

Ньютон ҳалқалари қуйидаги тарзда ҳосил бўлади. 1 нур линза сиртининг *A* нуқтасидан ва ясси параллел пластинканинг *B* нуқтасидан қисман қайтади (4.18-расм). Қайтган нурлар қўшилганда интерференцияланади.

Тажрибани бажариш тартиби:

Қурилма ясси қавариқ линза ва ясси пластинкадан иборат бўлиб, 3 та созлайдиган бурама винт гардишга жойлаштирилган. Ньютон ҳалқаларининг намоиш қурилмасининг схемаси 4.20 - расмда берилган.

Қурилма конденсаторнинг бош оптик ўқиға шундай ўрнатиладики, ёруғлик дастаси қурилмани тўла қопласин. Қайтган ёруғлик дастаси йўлига объектив жойлаштирилиб, экранга фокусланади ва экранда қизил ва қора йўлли интерференция ҳалқалари ҳосил бўлади.



4.20-расм.

Созловчи винтлардан фойдаланиб, ҳалқа шаклининг ҳаво оралиғига боғлиқлигини кўрсатиш мумкин. Бир вақтнинг ўзида қайтган ва ўтган ёруғлик интерференцияси манзарасини кўрсатиш мумкин. Ўтган ёруғлик дастаси йўлига кўзгу ўрнатиб ва қўшимча объектив ёрдамида қайтган ёруғлик манзараси ёнига ўтган ёруғлик интерференцияси манзарасини ёнма- ён қилиб фокуслаш мумкин. Иккала манзаралар бир - бирига қўшимча эканлар: биридаги максимумлар ўрнига иккинчисидagi минимумлар тўғри келади ва аксинча. Бу эса ёруғлик тўлқини оптик жиҳатдан зичроқ муҳитдан зичлиги камроғига қайтганда йўл фарқи $\frac{\lambda}{2}$ га тенг бўлишини тасдиқлайди.

11- намойиш тажриба. Ясси параллел шиша қатламидан қайтган ёруғликдаги интерференция ҳодисасининг намойиши

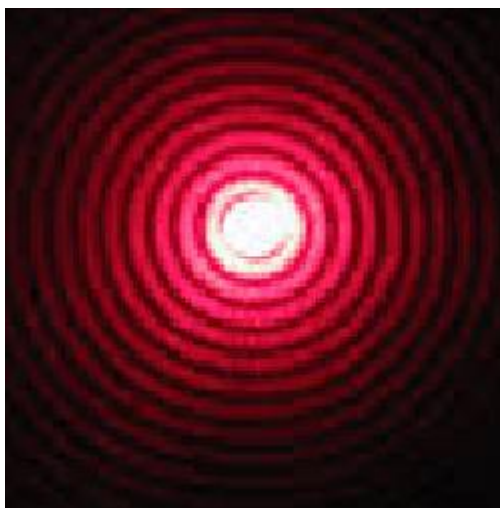
Мақсад: Ёруғлик интерференция ҳодисасини ясси параллел шиша ёрдамида намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: ЛГ-75 лазери, микроскоп объективи, тирқишли экран, шиша пластинкалар.

Тажрибани бажариш тартиби:

Ушбу тажрибани бажариш учун лазер нури қисман ёйиш учун нур чиқиш йўлига объектив ўрнатилади. Объективга яқин қилиб 50x50 см бўлган экран жойлаштирилади, унинг марказида лазер нури кенглигида доиравий тешик бўлиб, чиқаётган лазер нури бир метр узоқликдаги параллел ясси пластинкага тушади. Пластинканинг олди ва орқа сиртидан қайтган нурлар экранда биз концентрик айланаларга эга бўлган кизил ва қора интерференция ҳалқалари тизимини кўрамыз.

Кузатилган ҳалқалар тенг оғиш ҳалқаларидан иборат (4.21 - расм) .



4.21 – расм.

Пластинка силжитилганда, интерференция манзараси ўлчамлари ўзгаради, шунингдек, қизил ва қора ҳалқалар алмашинади. Ясси параллел пластинкани бошқа қалинликдаги ясси параллел пластинка билан алмаштирилганда ҳалқа ўлчамлари ўзгариши ҳосил бўлади.

Агарда ясси параллел шаффоф пластинка ўрнига оддий шиша пластинка қўйилганда, экранда тенг оғишиш ва тенг қалинлик полосаларининг қўшилишидан ҳосил бўлган ажойиб интерференция полосалари ҳосил бўлади.

4.3. Ёруғлик дифракциясига тегишли намоёиш тажрибалар

Дифракция ҳодисаларида ҳам интерференциядаги каби ёруғликнинг тўлқин хусусияти яққол намоён бўлади. Геометрик оптикада тавсиф этилган ёруғликнинг оддий тарқалиш қонунларидан ҳар қандай четлашиш дифракция ҳодисасидан иборатдир. Яъни, тўсиқнинг четидан ўтишда ёруғлик тарқалишининг тўғри чизиқли йўналишидан оғиш ҳодисаси *ёруғлик дифракцияси* дейилади. Тирқиш ёки тўсиқнинг ўлчамлари тушаётган ёруғлик нурунин тўлқин узунлиги қийматига яқинлашганда дифракция манзараси аниқ намоён бўлади.

Дифракция манзарасининг аниқлиги интерференциядаги каби, тўлқин нурланишининг когерент хоссаларига кучли боғлиқдир. Газ

разряд лазерлари юқори даражада вақтий ва фазовий когерентлик хоссаларига эга бўлгани учун улар дифракция ҳодисаларини намойиш қилишда энг яхши ёруғлик манбалари ҳисобланади. Лазер ёрдамида икки тур, яъни Френель ва Фраунгофер дифракцияларини намойиш қилиш мумкин.

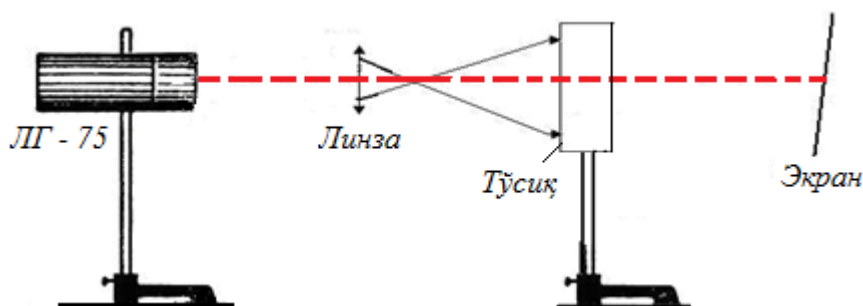
12-намойиш тажриба. Тўсиқ чеккасидаги Френель дифракцияси

Мақсад: Ёруғлик дифракция ҳодисасини тўсиқ четидан ёруғликни тўғри чизикли тарқалишидан оғишини намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: ЛГ-75 лазери, фокус масофаси 10 см бўлган линза, чеккалари параллел бўлган ясси тўсиқ, экран.

Тажрибани бажариш тартиби:

Тўсиқ чеккасида дифракцияни кузатиш тажрибаининг схемаси 4.22-расмда берилган.



4.22- расм.

Сочилувчи сферик тўлқинни олиш учун микрообъектив бевосита лазердан кейин жойлаштирилади, T тўсиқ дастанинг бир қисмини ёпади. У олдин ёруғлик дастаси тарқалишига тик қилиб ўрнатилади бунда дифракция манзараси экранда кузатилади. Намойиш тажриба муваффақиятли чиқиш учун тўсиқ кўтариш мосламаси бўлган столчага жойлаштирилади. Шунда тўсиқ система оптик ўқига тик йўналишда ҳаракатлантирилса, дифракция манзарасининг эволюциясини кўрсатиш ва уни Френель зоналари методи натижаси билан боғлаш

мумкин. Геометрик соя соҳасида навбатлашиб келувчи қора ва қизил чизиқларнинг ҳосил бўлганини кўрамиз.

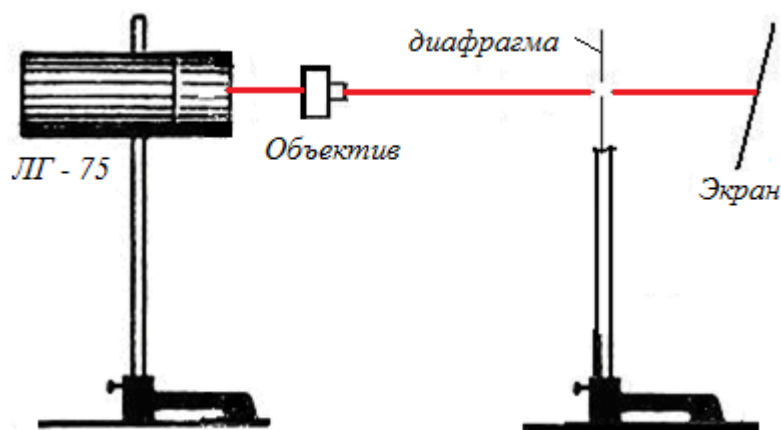
13- намойиш тажриба. Думалоқ тешикдаги Френель дифракцияси

Мақсад: Ёруғликни думалоқ тешикдан ўтишида дифракция ходисасини намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: ЛГ-75 лазери, микрообъектив, думалоқ тешикли диафрагма, экран.

Тажрибани бажариш тартиби:

Микрообъектив фокусидан 1м масофада думалоқ тешикли диафрагма ўрнатилади (4.23-расм).



4.23- расм.

Дифракция манзарасини кўриш учун экранда унинг катталаштирилган тасвирини олиш керак. Бунинг учун йиғувчи линзадан фойдаланилади. Линза оптик ўқи бўйлаб силжитилади ва экранда кетма - кет концентрик айлана шаклидаги дифракция манзаралари акс этади, улар тешикдан турли масофаларда ҳосил бўлади. Марказий доғ навбатма-навбат, ё қизил ёки қоронғи бўлади. Шундан сўнг думалоқ тешик тўғрибурчакли тирқиш билан алмаштирилади. Йиғувчи линза ўз жойида қолади, тирқиш эни микрометрик винт билан 0,3 дан 0,05 см га текис ўзгартирилади. Максимал энли тирқиш дифракция манзараси тўғрибурчакли тирқиш икки қирраси (чеккаси) даги дифракция

манзараларидан ташкил топади. Тирқиш торайтирилганда тўлқин сиртининг юзи кичраяди. Тирқишнинг маълум бир энида дифракция манзарасининг тури тубдан ўзгаради ва тўлқиний сиртни бўлинишидаги зоналар сони билан аниқланади.



Думалоқ тешикдаги дифракция

4.24- расм.

Думалоқ тешик ҳолидаги каби жуфт зона сони қора марказий полоса, тоқ сони эса қизил марказий ҳалқа ҳосил бўлишини кузатамиз (4.24-расм). Тирқиш торайтирилганида геометрик соя ҳосил бўладиган соҳага ёндошган полосаларда энергия тақсимооти ўзгаради.

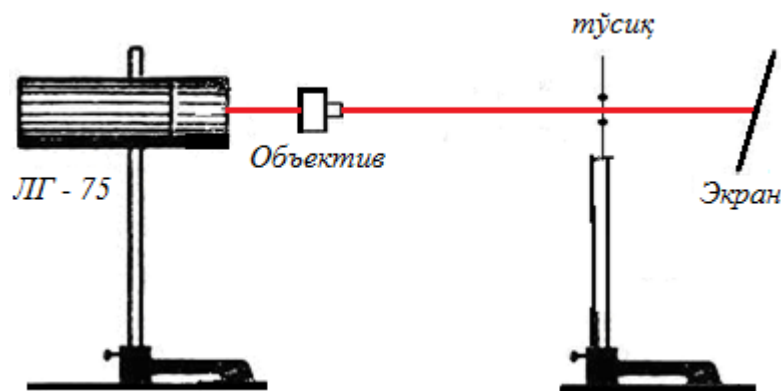
14- намойиш тажриба. Тола дифракцияси

Мақсад: Ёруғлик дифракция ҳодисасини толали рамка орқали намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: ЛГ-75 лазери, микрообъектив, рамкага ўрнатилган металл толали тўсиқ, экран.

Тажрибани бажариш тартиби:

Намойиш тажриба схемаси қуйидаги 4.25 - расмда келтирилган.



4.25-расм.

Лазер нури йўлига ингичка металл тола тортилган рамка жойлаштирилади, бунда биз экранда ёруғлик дифракциясини кўрамиз. Экранда галма - гал жойлашган қоронғу ва ёруғ йўллар ҳосил бўлади, шу билан бирга толанинг маркази қаршисида ёруғ полоса ҳосил бўлади.

15 - намойиш тажриба. Тирқиш дифракцияси

Мақсад: Тирқиш орқали ёруғлик дифракция ҳодисасини намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: ЛГ -75 лазери, тирқиш, экран.

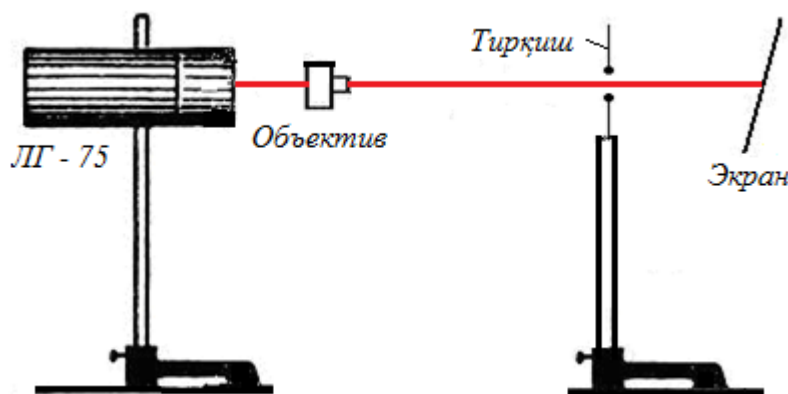
Тажрибани бажариш тартиби:

Тажриба олдидан тирқиш очилиб, яхшилаб чангдан тозаланади. Диаметри 0,1-0,05 мм тола ёки сим рамкага тортилади ва мустаҳкам қилиб маҳкамланади. Аввало экранда тирқишнинг бутун майдонининг ёритилган тасвири олинади. Сўнгра тола ва «тирқиш дарчасининг» бир-бирига параллеллигини сақлаган ҳолда тирқишдан кейин, тола ўрнатилади. Тирқиш секин торайтириб борилади ва экранда дифракция спектри ҳалқалари ҳосил бўлади.

Экран айлантирилиб, тасвир «чўзилади». Дифракция спектрининг ўрта қисми қизил ҳалқадан ва ундан чап ва ўнг томонида навбатланиб келувчи қора ва ёруғ қизил ҳалқалар шаклида бўлади.

Тирқиш дифракциясини намоёиш қилиш қурилмасининг схемаси 4.26 - расмда келтирилган.

Ёруғлик манбаи, микрообъектив ва биринчи тирқиш $0,2\text{ мм}$ очилиб, микрообъективнинг оптик ўқида жойлаштирилади, бунда ёруғлик конуси тирқишни тўла қоплайдиган бўлсин. Шундан сўнг биринчисига аниқ параллел қилиб, оптик ўқда иккинчи тирқиш жойлаштирилади.



4.26-расм.

Бунинг учун аввало иккинчи тирқиш биринчисига яқинлаштирилади ва буриш билан параллелликка эришилади, сўнгра уни биринчидан 150 мм масофага силжитилади.

Иккинчи тирқишнинг очиладиган винтини секин айлантириб, ёруғликни тушиши кичрайтирилади ва дифракция манзараси кузатилади. Аввало экранда чеккалари ёйилган ёруғ қизил ҳалқа олинади, тирқишни ундан кейин торайтирилганда ёруғ ҳалқа эни ва унинг ёритилганлиги камаяди, дифракция манзараси ҳосил бўлади.

Агарда иккинчи тирқишнинг ёриқ тушиш катталигини секин ўзгартирилса, экранда ёруғ қизил ҳалқа ўртасида қора ҳалқа пайдо бўлади, сўнгра йўқолади. Иккинчи тирқиш энини ўзгармас қолдириб, уни биринчига нисбатан секин силжитилса, худди шундай ҳодисани кузатамиз. Гюйгенс - Френель усулидан фойдаланиб, марказий максимумга симметрик равишда жойлашади ва максимум ва минимумларнинг ҳосил бўлишини тушунтириш мумкин.

16 - намойиш тажриба. Дифракцион панжара

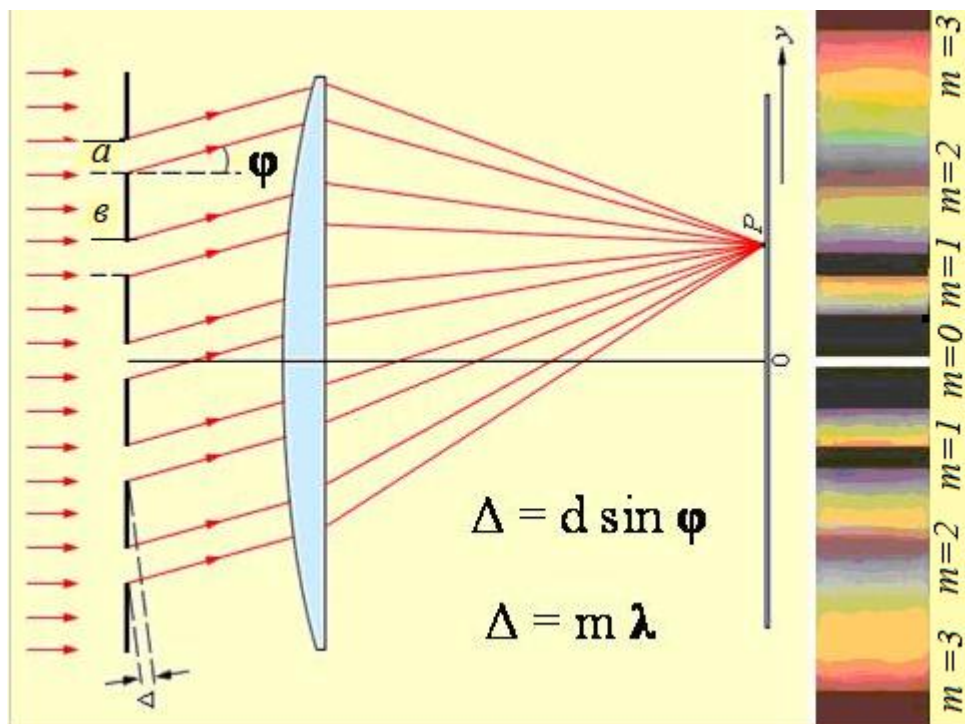
Мақсад: Дифракцион панжара ёрдамида ёруғлик дифракция ходисасини намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: ЛГ-75 лазери, дифракцион панжара, экран.

Қисқача назарияси: Ёруғлик дифракцияси спектрал асбобларда фойдаланилади. Кўпгина спектрал асбобларнинг асосий элементларидан бири *дифракцион панжара* ҳисобланади. Одатда қайтарувчи панжарадан фойдаланилади, аммо биз бир – биридан бир хил масофада жойлашган устига параллел ношаффоф йўллар системаси ўтказилган шаффоф пластинкадан иборат панжаранинг ишлаш тамойилини қараб чиқамиз. Панжарага тўлқин fronti ясси бўлган монохроматик тўлқин тушаётган бўлсин. Дифракция натижасида ёруғлик ҳар бир тешикдан фақат дастлабки йўналишида тарқалмай, балки бошқа ҳамма йўналишларда тарқалади.

Агар панжара орқасига йиғувчи линза қўйилса, у ҳолда фокал текисликдаги экранда ҳамма тирқишдан чиққан параллел нурлар битта чизиққа тўпланади (4.27- расм).

Икки қўшни тирқиш четларидан келаётган параллел нурлар $\Delta = d \sin \varphi$ оптик йўллар фарқига эга. Бир тирқишнинг бошланишидан иккинчи тирқишнинг бошланишигача бўлган масофа *панжара доимийси* ёки унинг *даври* дейилади ва d ҳарфи билан белгиланади, бунда $d = a + b$ га тенг. φ - ёруғлик нурларининг панжара текислигига ўтказилган тикдан оғиш бурчаги. Δ - оптик йўллар фарқи тўлқин узунликларининг бутун сонига тенг бўлганда $d \sin \varphi = m \lambda$, бу ерда λ – тушаётган ёруғликнинг тўлқин узунлиги, у ҳолда экранда ёруғликнинг интерференцион максимуми кузатилади.

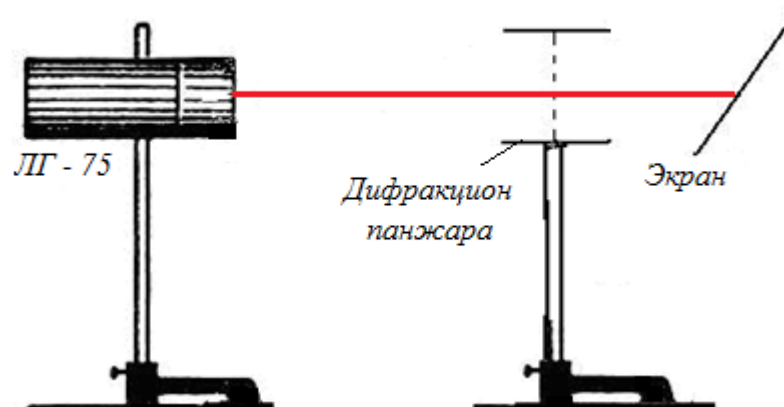


4.27- расм.

Дифракция бурчаги қизил ранг учун энг катта қийматга эга, чунки қизил ёруғликнинг тўлқин узунлиги кўринадиган ёруғлик соҳасида қолганларникидан катта. φ - дифракция бурчаги бинафша ёруғлик учун энг кичик қийматга эга.

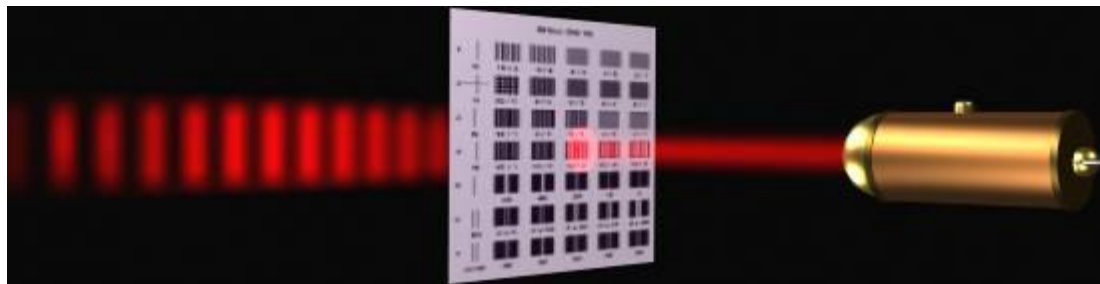
Тажрибани бажариш тартиби:

Тажриба қурилмасининг схемаси 4.28-расмда берилган.



4.28-расм.

Дифракцион панжара лазер нури йўлига параллел қилиб жойлаштирамиз. Дифракцион панжарадан ўтган лазер нури экранда ўртаси қизил, ундан чапда ва ўнгда симметрик жойлашган бир қатор қизил ва қора рангли дифракция манзарасини кузатамиз (4.29-расм).



4.29 - расм.

Яъни максимум ва минимумлардан иборатдир.

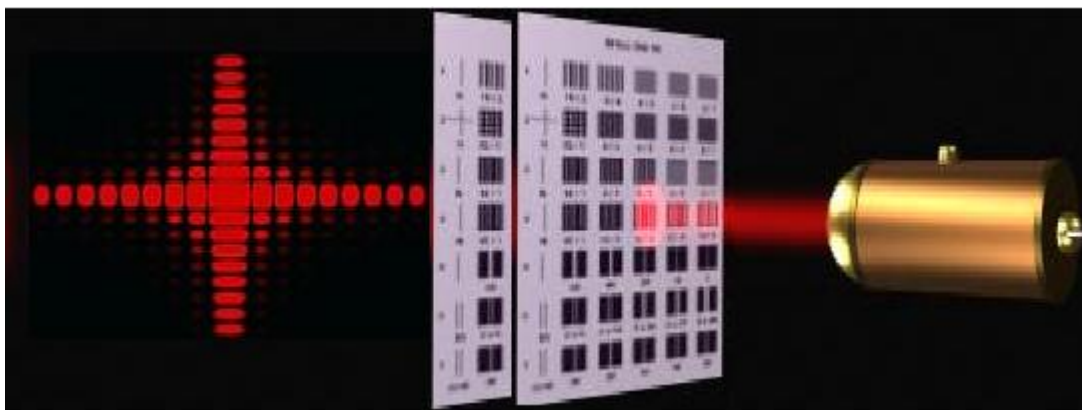
17- намойиш тажриба. Икки ўлчамли панжарадаги дифракция

Мақсад: Икки ўлчамли дифракцион панжара ёрдамида ёруғлик дифракция ҳодисасини намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: Яримўтказгичли лазер, 1 мм. да 50 ва 100 та штрихли дифракцион панжара, экран.

Тажрибани бажариш тартиби:

Лазердан келаётган ёруғлик нури дифракцион панжарага тушади. Навбати билан дифракцион панжаралар жойлаштирилади. Олдин тик штрихли биринчи, сўнгра уни олиб қўйиб, горизонтал штрихли иккинчи панжара жойлаштирилади. Шундан сўнг иккаласи бирга тахланган дифракцион панжаралар штрихларини бир - бирига параллел қилиб жойлаштирилади ва оптик ўқиға нисбатан панжаралардан бири лазер ёруғлик нури атрофида айлантирилади. Экранда мураккаб чиройли спектрларни кузатамиз (4.30 - расм).



4.30- расм.

Панжара штрихлари ўзаро тик бўлганда айлантириш тўхтатилади ва ҳалқача рангларига эътибор берилади: марказида қизил доғ, унинг ўнг ва чап четларида қора ҳалқалар бўлади ҳамда қизил ва қора ҳалқалар даврий такрорланиб боради.

18 - намойиш тажриба. Металл шардаги ёруғлик дифракцияси

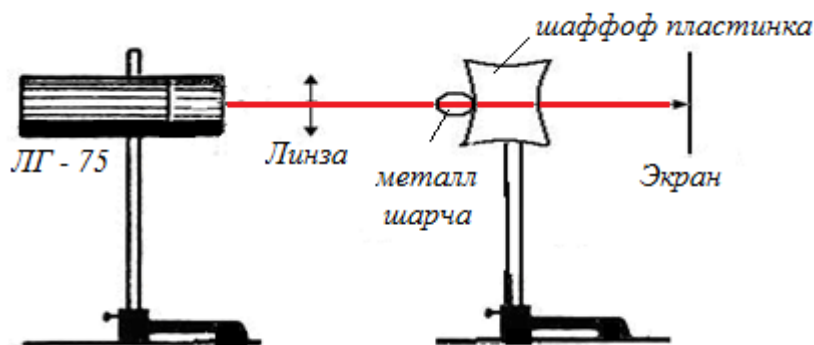
Мақсад: Ёруғлик дифракция ҳодисасини ношаффоф шар ёрдамида намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: ЛГ-75 лазери, линза, металл шар, шаффоф пластинка, экран.

Тажрибани бажариш тартиби:

Пуассон доғи. Маълумки, ношаффоф экрандаги Френель дифракцияси ҳамма вақт дифракция манзараси марказида ёруғ доғ - Пуассон доғини ҳосил қилади. Назариянинг бундай қизиқ хулосасини куйидаги намойиш тажриба билан тасдиқлаш мумкин. Ёруғлик манбаи сифатида лазердан фойдаланамиз. Шаффоф пластинка марказига металл шар маҳкамланади. Бундай дифракцион экранни шундай тайёрлаш мумкин. Шаффоф пластинка сифатида юпқа оргшиша парчаси олинади, унга пўлат шарча елим ёрдамида ёпиштирилади. Шарча яқинидаги оргшиша тоза ва тирналган жойи бўлмаслиги керак (4.31- расм). Акс

ҳолда, майда қисмлардаги ёруғлик дифракцияси дифракция манзарасининг моҳиятини бузиб кўрсатади.



4.31 – расм.

Натижада экранда биз даврий алмашилиб келувчи қора ва қизил ҳалқаларни кўрамиз (4.32 - расм).



Шаффоф бўлмаган шардаги
дифракция

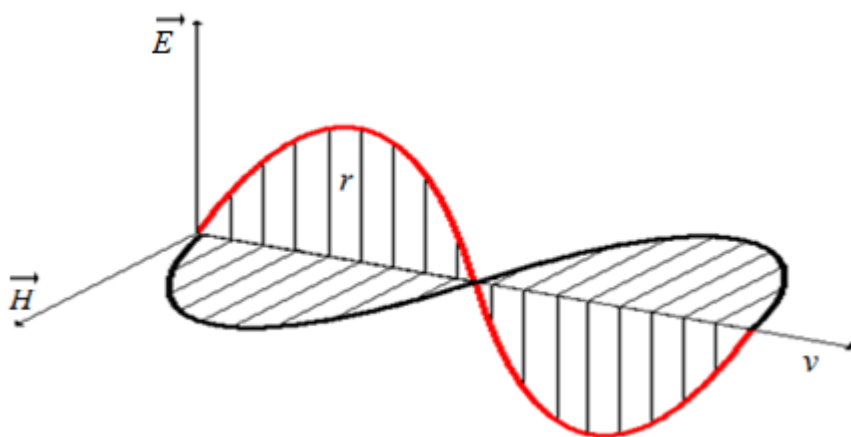
4.32- расм.

Талабалар эътиборини шарнинг орқасида соя ҳосил бўлиш ўрнига қизил ҳалқа ҳосил бўлганига қаратиш лозим.

4.4. Ёруғликнинг қутбланишига тегишли намойиш тажрибалар

Интерференция ва дифракция ҳодисалари ҳам кўндаланг, ҳам бўйлама тўлқинлар учун кузатилади. Шу билан бирга шундай ҳодисалар борки, улар учун ёруғлик тўлқинининг кўндаланг тўлқин эканлиги муҳим аҳамиятга эгадир. Бундай ҳодисалар қаторига ёруғликнинг қутбланиши

киради. Соддалик учун тебранаётган электр диполи нурланишини қарасак, у турли томонга электромагнит тўлқинлар чиқаришини, бунда электромагнит нурланиш йўналиши r га перпендикуляр дипол ўқи текислигида $\vec{E}$ кучланганлик векторини тебранишини кўрамиз. Магнит майдон кучланганлик вектори $\vec{H}$ нур ва $\vec{E}$ га перпендикуляр текисликда тебранади (4.33 - расм).



4.33- расм.

Расмга кўра қутбланиш ҳодисасини тўла ёритиш учун $\vec{E}$ тўғрисида фикр юритиш етарлидир. Бунинг сабаби, биринчидан, Максвелл назариясига биноан E тебранаётган текисликка перпендикуляр текисликда албатта $\vec{H}$ ҳам тебранади, иккинчидан моддаларга $\vec{E}$ нинг таъсири $\vec{H}$ таъсиридан кўра кўпроқ бўлади. $\vec{E}$ – ёруғлик вектори деб аталади.

Демак бирор жисм нурланаётган ёруғликда ёруғлик вектори турли йўналишларда бир хил эҳтимолликда тебранади. $\vec{E}$ нинг турли йўналишларида бир хил тақсимланганлиги нурланаётган атомлар сонининг кўплигидан, амплитуда қийматларининг тенглиги ҳар бир атом нурланиш интенсивлигини бир хиллигидан келиб чиқади.

Бундай ёруғлик - *табiiй ёруғлик* дейилади. Тебраниш йўналишлари бирор усул билан тартибга келтирилган ёруғлик *қутбланган ёруғлик* дейилади.

Қуйида биз ёруғликнинг қутбланиши ҳодисаси намоён қилувчи ва ёруғликни тўлқин табатини, ёруғликни кўндаланглигини тасдиқловчи намойиш тажрибаларини лазер нури ёрдамида кўриб чиқамиз.

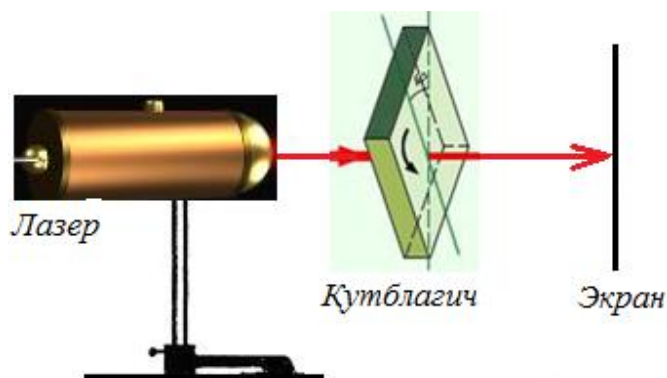
19-намойиш тажриба. Лазер нурини қутбланганлигини намойиш қилиш

Мақсад: Лазер нурини қутбланганлигини поляроид (қутблагич) ёрдамида намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: Яримўтказгичли лазер, қутблагич, экран.

Тажрибани бажариш тартиби:

Лазер нури йўлига қутблагич жойлаштирамиз. Қутблагични 0 дан 90° гача орта боришида улар ўтказаяётган нур аста - секин сусаяди. Ва ниҳоят экранда лазер нурини ўтмаганлигини кўрамиз. Агар қутблагични ўз ўқи атрофида айланишини давом эттирсак, у ҳолда экранда лазер нурини кўришимиз мумкин (4.34-расм). Бу ҳолатда қутбловчи анализатор вазифасини бажаради, яъни, лазер нури маълум бир текисликда қутбланганлигини исботлайди.



4.34- расм.

20-намойиш тажриба. Ёруғликни иккига ажралиб синишида қутбланиш

Мақсад: Исланд шпати ёрдамида ёруғликни иккига ажралиб синишини лазер нури орқали намойиш қилиш.

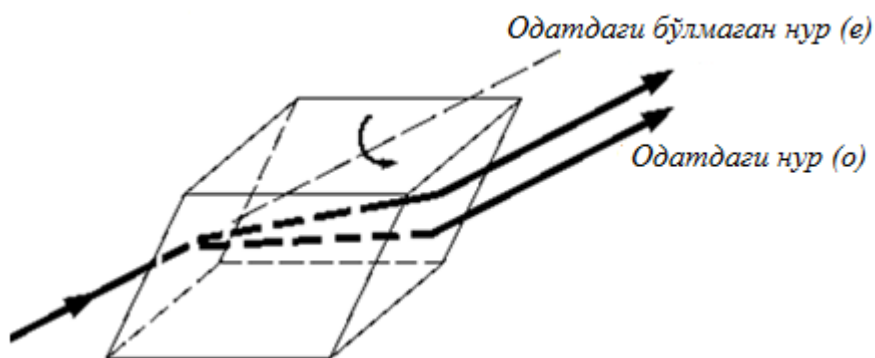
Керакли жиҳозлар: Яримўтказгичли лазер, Исланд шпати, линза, экран.

Қисқача назарияси:

Физик хусусиятлари йўналишларига боғлиқ бўлмаган муҳит *изотроп* муҳит деб, аксинча, йўналишларига боғлиқ бўлган муҳит *анизотроп* муҳит деб аталади. Изотроп муҳитда ёруғликнинг синиши қуйидаги геометрик оптика қонунига бўйсунди:

1. Синган нур, тушувчи нур ва тушиш нуқтасига ўтказилган нормал бир текисликда ётади.
2. Тушиш бурчаги синусининг синиш бурчаги синусига нисбати айнан шу муҳит учун ўзгармас катталиқ.

Анизотроп кристалларда (Исланд шпатида) ёруғлик синганда манзара ўзгача бўлади. Лазер нури кристаллга тушганда иккига ажралади (4.35-расм).



4.35-расм.

Лазер нури кристаллдан чиққач, тушган лазер нурига нисбатан параллел йўналишда одатдаги нур ва одатдаги бўлмаган нурларни кузатишимиз мумкин. Исланд шпатида лазер нурининг синиши текширилганда қуйидагилар аниқланган:

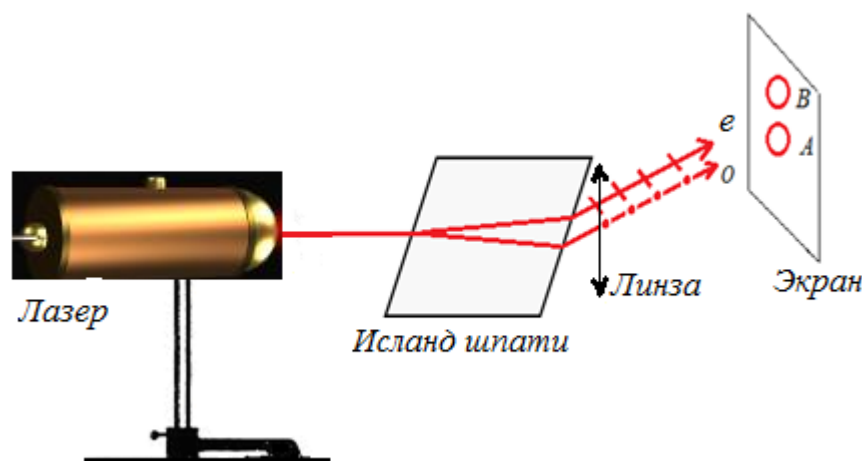
- одатдаги нур геометрик оптика қонунига тўлиқ бўйсунди;
- одатдаги бўлмаган нур эса геометрик оптика қонунига бўйсунмайди.

Текширишларнинг кўрсатишича, одатдаги нур ва одатдаги бўлмаган нурлар ясси қутбланган бўлар экан. Лекин уларнинг тебранишлари ўзаро перпендикуляр текисликларда содир бўлади. Бундан ташқари, Исланд шпатининг одатдаги нур учун синдириш кўрсаткичи 1,658 га, одатдаги бўлмаган нур учун эса синдириш кўрсаткичининг қиймати нурнинг йўналишига боғлиқ бўлиб, кристаллнинг оптик ўқига тик йўналишида 1,486 га тенглиги аниқланган.

Исланд шпати билан ўтказилган тажрибаларда шу нарса маълум бўлдики, фақат кристаллнинг оптик ўқига параллел равишда лазер нури тушган тақдирда лазер нурининг иккига ажралиб синуши кузатилмас экан. Бошқа барча йўналишларда нур иккига ажралиб синади.

Тажрибани бажариш тартиби:

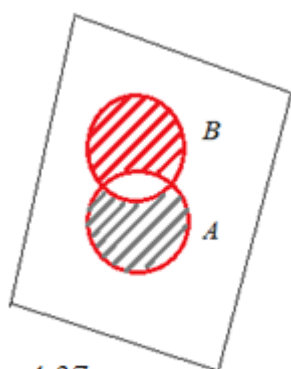
Юқорида айтилган физикавий қонуниятларни намойиш тажрибаси орқали кўрсатиш мумкин. Масалан, қутбланган лазер нури Исланд шпатининг ён томонига нормал ҳолда туширамиз (4.36-расм).



4.36- расм.

Агар кристаллнинг оптик ўқи олд томонига ҳам перпендикуляр ҳам параллел бўлса, одатдаги бўлмаган нур кристалл ичида бурилиб олиб,

кристаллдан одатдаги нурга параллел ҳолда чиқиб кетади. Иккала нур экранда ўзига хос A ва B ёруғ доиралар ҳосил қилади. Кристаллни одатдаги нур йўналишидаги ўқ атрофида айлантирилганда экрандаги A доира қимирламай қолаверади, аммо B доира эса ўқ атрофида расмда кўрсатилган айлана бўйлаб кўчади. Шу билан бирга икки шуъланинг равшанлиги ўзгаради. Агар кристаллнинг унинг бош кесими тушувчи нурнинг қутбланиш текислигига параллел қилиб ўрнатилса, ($\alpha = 0$) одатдаги нур максимал равшанликка эришади. Одатдаги бўлмаган нур эса бутунлай сўнади. Исланд шпатини буриш натижасида одатдаги бўлмаган нур пайдо бўлади ва 90° бўлганда максимал равшанликка эришади, бу ҳолда одатдаги нур сўнади. 180° бўлганда одатдаги нур яна максимал равшанликка эга бўлиб қолади, аммо одатдаги бўлмаган нур эса сўнади.



4.37- расм.

Иккала нурдаги равшанликлар йиғиндисининг ўзгармай қолишини намоёниш қилиш мумкин. Бунинг учун тушувчи ёруғлик шуъласини шундай олиш керакки, экрандаги доирачалар қисман устма-уст тушиб, бир-бирларини бироз қоплайдиган бўлсин (4.37 - расм), у вақтда Исланд шпатини айлантирганимизда доираларнинг ҳар бирининг равшанлиги ўзгаради, лекин уларнинг қўшилган соҳалари бир хил равшанликда қолади.

Ана шундай тажрибалар асосида Исланд шпатининг хоссаларини талабаларга кўргазмали қилиб кўрсатиб бериш имконига эга бўламиз.

4.5. Лазер нурунинг хоссалари ва қўлланилишига оид тажрибалар

Алоқа техникасининг ривожланиши, электрониканинг замонавий ютуқлари, электромагнит тўлқинларининг см ва мм лик диапазонини ўзлаштириш ҳам ҳозирги вақтда кўпайиб бораётган информация талабларига жавоб бермай қолди. Амалиёт, ахборотнинг зичлиги, узатиш

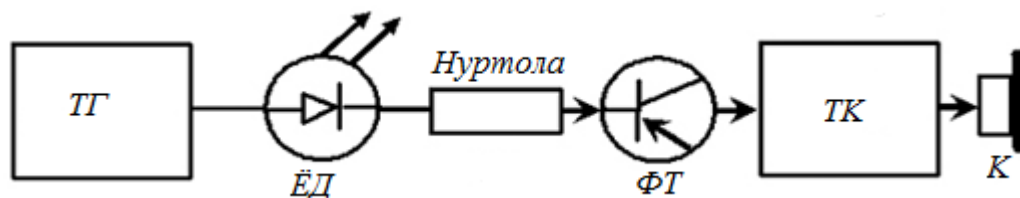
частотасининг оширилиши, алоқа каналларини зичлаштириш каби муҳим талабларини қўймоқда. Шунинг учун ҳам мутахассислар оптик диапазонга эътибор бера бошладилар. Чунки ЎЮЧ-диапазон ўзлаштирилиб олинганидан кейин ахборотни узатиш оптик диапазонга етиб келди. Ахборотни ёруғлик сигналлари ёрдамида узатиш муаммоси кўп вақтдан бери мавжуд. Талабаларга нур толалар ҳақида маълумот бериш давомида қатор намоиш тажрибаларини ўтказиш мумкин. Ёруғлик тўлқинларида товуш узатиш алоқа сифатини яхшилаши мумкин. Ёруғлик тўлқинларида алоқа ўрнатишда товуш тебранишлари ёруғлик импульсига айлантирилади ва улар нур толалар бўйлаб узатилади. Товуш сигналларини нур толалар бўйлаб узатиш хусусиятини очиб берувчи оддий намоиш тажрибаларидан маъруза давомида фойдаланиш самарали натижаларга олиб келади.

21-намоиш тажриба. Нуртолалар ёрдамида ахборотни узатишни намоиш қилиш

Мақсад: Лазер нуруни модуляция қилиб, нуртолалар ёрдамида ахборотни узатишни намоиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: Товуш генератори (*ТГ*), ёруғлик диоди (*ЁД*), нуртола, фототранзистор (*ФТ*), паст частотали товуш кучайтиргич (*ТК*), карнай (*К*).

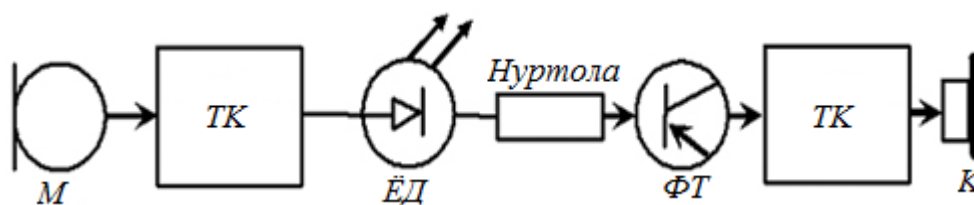
Тажрибани бажариш тартиби:



4.38-расм.

4.38 – расмда кўрсатилганидек, *ТГ*- товуш генераторининг чиқиш нуқтасига ёруғлик диоди (*ЁД*) ни улаймиз. *ТК*- кучайтиргичнинг

микрофонли кириш нуктасига кремнийли фототранзисторни улаймиз. Кучайтиргичнинг чиқиш нуктасига карнай уланади. Ёруғлик диоди ва фототранзистор оралиғига нур тола жойлаштирилади. Генератор ишга туширилади ва товуш такрорийлигини секин-аста оширилиб борилади. Паст такрорийликларда ёруғлик диодининг ёниб-ўчиши кузатилади ва карнайда товуш эшитилади. Генератор такрорийлиги ўзгартирилганда товуш баландлиги ҳам ўзгаради. Нур тола олиб қўйилганда товуш баландлиги сезиларли даражада камаяди. Нур толаси орқали товуш узатишнинг мукамал кўриниши қуйидагича (4.39-расм).



4.39-расм.

Микрофонга (*М*) гапирганимизда товуш кучайтиргич (*ТК*) ёрдамида кучайтирилади. Унинг чиқиш нукталарига ёруғлик диоди (*ЁД*) уланган бўлиб, гапириш вақтида ёруғлик диодининг чўғланиши минимумдан максимумгача ўзгаради. Модуляцияланган товуш сигналлари нуртоласига узатилади. Нур толасидан чиқишда сигнал фототранзисторга (*ФТ*) тушади. Товуш сигналлари фототранзистор орқали кучайтиргичга узатилади. Кучайтиргичга уланган карнай (*К*) орқали товушларни эшитамиз. Қабул қилиш ва узатиш қурилмаларининг ҳар қандай жойланишида ҳам товуш алоқасини даврий ўрнатиш мумкин.

Хулоса қилиб шуни айтиш мумкинки, ҳозирги кунда нуртола оптикasi тез суръатлар билан ривожланиб бормокда. Нур толаларининг қўлланиладиган соҳалари: рақамли телефон тармоқлари, кабель орқали ишлайдиган телевидение, ҳисоблаш техникаси, технологик жараёнларни бошқариш ва ташхис қилиш тизими ва бошқалар.

22- намойиш тажриба. Инфрақизил ёруғлик диоди ёрдамида товуш тўлқинларини узатиш

Мақсад: Инфрақизил ёруғлик диоди ёрдамида товуш тўлқинларини модуляция қилиш ва узатишни намойиш қилиш.

Керакли жиҳозлар: Товуш генератори ($ТГ$), микрофон ($М$), ёруғлик диоди ($ЁД$), нуртола, фотодиод, паст частотали товуш кучайтиргич ($ТК$), линзалар ($Л$), карнай ($К$).

Қисқача назарияси:

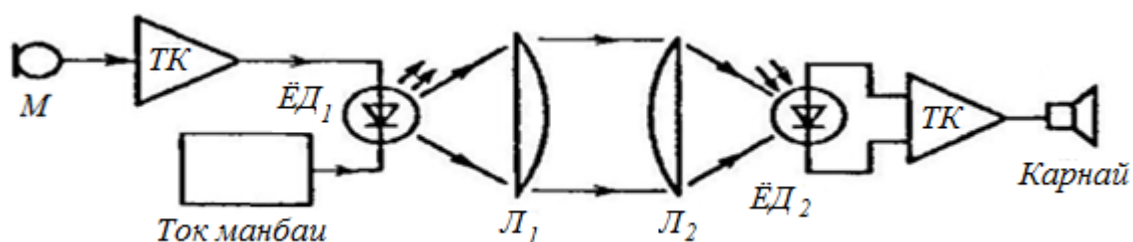
Бизга маълумки, ахборотларни узатиш ҳозирги кунга келиб ниҳоятда ортиб бормоқда. Шунинг учун ахборотларни узатиш оптик диапазонда амалга ошириш имкониятлари яратилмоқда.

Лазер нурини модуляция қилиш ва товуш тўлқинларини узатиш мураккаб ва қимматлидир. Ярим ўтказгичли ёруғлик диодларининг кашф этилиши бу муаммони ечиш имкониятларини туғдирди. Инфрақизил нурланишда ишлайдиган ёруғлик диоди товуш тўлқинларини узатиш учун энг мақбули ёруғлик диоди эканини тажрибада исботланди.

Тажрибани бажариш тартиби:

Қуйидаги кўринишдаги блок схема (4.40-расм) асосида икки томонлама алоқани ўрнатиш имкони яратилди.

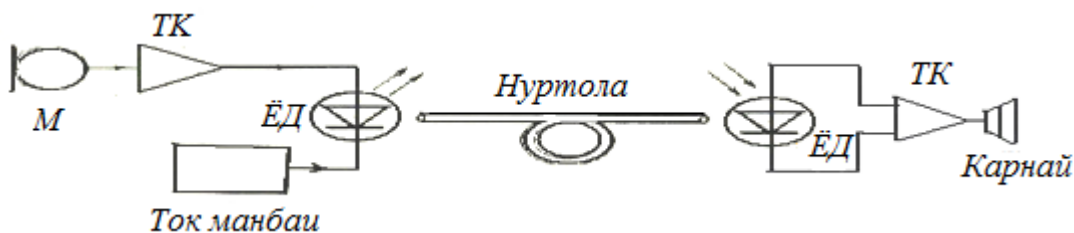
Микрофон ($М$) орқали товуш ($ТК$) кучайтиргич орқали кучайтирилиб, ёруғлик диодига ($ЁД$) узатилади. Ёруғлик диодида модуляцияланган товуш линза ($Л_1$) антенна орқали фокусланиб, ($Л_2$) линзага узатилади. Қабул қилинган нур $Л_2$ қабул қилувчи антенна орқали линзанинг фокусига қўйилган ёруғлик доиди ($ЁД_2$) га тушади ва у товуш частотаси кучайтиргичда ($ТЧК$) кучайтирилиб, карнай ($К$) га узатилади.



4.40 -расм

Бир вақтнинг ўзида икки томонлама алоқани ўрнатиш учун ёруғлик диоди икки режимда, яъни узатувчи-қабул қилувчи маромда ишлаш имкониятига эга бўлади.

Узатилаётган ахборотнинг сифати муҳитнинг шаффофлигига боғлиқдир. Даврий алоқа сифатли бўлиши 4.41- расмда кўрсатилган кўринишда нуртолалар ўрнатилиб алоқани юқори сифатли амалга ошириш мумкин.



4.41-расм.

Бунда узатувчи ва қабул қилувчи қурилмаларнинг қандай жойлашган бўлишига қарамай, сифатли алоқа ўрнатилади. Шунинг учун ҳозирги вақтда ахборотлар нур толалар ёрдамида амалга оширилмоқда.

Шогирд. Лазер нури ёрдамида физиканинг оптика бўлимига тегишли намойиш тажрибалари билан танишиш жараёнида керакли ва қизиқарли маълумотларга эга бўлдим. Намойиш тажрибаларига тегишли физик жараёнлар раван ифодаланган бўлиб, ўзлаштириш учун етарли изоҳлар берилганлиги сабабли ушбу бўлим бўйича тушунмовчиликлар деярли бўлмади.

ГОЛОССАРИЙ

АЖРАТА ОЛИШ ҚОБИЛИЯТИ – *AJRATA OLISH QOBILIYATI* – РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ – оптик тизимнинг буюмнинг бир – бирига яқин икки нуқтасини айрим – айрим тасвирлай олиш қобилиятини тавсифловчи катталик; ажрата олиш лимитига тескари катталик.

АНИЗАТРОП ЖИСМ – *ANIZATROP JISM* - АНИЗАТРОПНАЯ ТЕЛО – физикавий хоссалари унда танланган йўналишга боғлиқ бўлган модда.

АНИЗАТРОП МУҲИТ – *ANIZATROP MUHIT* - АНИЗАТРОПНАЯ СРЕДА – физикавий хоссалари унда танланган йўналишга боғлиқ бўлган муҳит.

АНИЗАТРОПИЯ – *ANIZATROPIYA* – жисм ёки майдон физикавий хоссаларининг йўналишларга боғлиқлиги.

АТОМ ВА МОЛЕКУЛАНИ УЙҒОТИШ – *ATOM VA MOLEKULANI UYG`OTISH* – ВОЗБУЖДЕНИЕ АТОМА И МОЛЕКУЛЫ - атом ёки молекуланинг фотонларни ютганида (фотоуйғотиш) ёки электронлар ва бошқа зарралар билан тўқнашганида (зарбий уйғониш) пастроқ энергия сатҳидан юқорироқ энергия сатҳига квант ўтиши.

БЕИХТИЁР ФОТОН ЧИҚАРИШ- *BEIXTIYOR FOTON CHIQARISH*- СПОНТАННОЕ ИСПУСКАНИЕ ФОТОНА – тизимнинг ташқи электромагнитик майдон билан таъсирлашуви натижасида уйғонган ҳолатдан кичик энергияли ҳолатга ўтиши жараёнида фотоннинг когерент чиқарилиши.

БИПРИЗМА – *BIPRIZMA* – нуқтавий манбадан чиққан ёруғликнинг кичик синдириш бурчакли, асослари туташтирилган икки призма ёрдамида икки дастага ажратиш орқали когерент ёруғлик дасталари ҳосил қилувчи асбоб.

БРЮСТЕР БУРЧАГИ – *BRYuSTER BURChAGI* – УГОЛ БРЮСТЕРА - диэлектрик сиртидан қайтувчи ёруғликнинг тўла қутбланадиган тушиш бурчаги.

БРЮСТЕР ҚОНУНИ – *BRYuSTER QONUNI* – ЗАКОН БРЮСТЕРА - диэлектрик сиртидан қайтувчи ёруғликнинг тўла қутбланган бўлиши учун табиий (қутбланмаган) ёруғликнинг тушиш бурчаги билан диэлектрикнинг синдириш кўрсаткичи орасидаги муносабат.

ГАЗ ДИНАМИК ЛАЗЕР-*GAZ DINAMIK LAZER*
ГАЗОДИНМИЧЕСКИЙ ЛАЗЕР - ўтатовуш тезлигида ҳаракатланаётган газни адиабатик совутиш орқали яратиладиган газ лазер.

ГАЗ ЛАЗЕР- *GAZ LAZER* - ГАЗОВЫЙ ЛАЗЕР – фаол муҳити газдан иборат бўлган лазер.

ГАЗРАЗРЯД ЛАЗЕРЛАР - *GAZRAZRYaD LAZERLAR* -
ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАЗЕРЫ - фаол муҳитни шакллантириш учун газлардаги электрик разряддан фойдаланадиган газ лазерларнинг кенг тарқалган синфи.

ГОЛОГРАММА – *GOLOGRAMMA* – буюм ва таянч тўлқинларнинг қўшилишидан вужудга келувчи ва фотометрияда қайд қилувчи интерференция манзараси.

ГОЛОГРАФИЯ – *GOLOGRAFIYa* - тўлқинларнинг интерференцияси асосида буюмларнинг ҳажмий тасвирини олиш усули.

ДИСПЕРСИЯ – *DISPERSIYa* – сочилиш – таркибий қисмларга ажралиш.

ДИФРАКЦИЯ – *DIFRAKSIYa* - синган – тўлқинларнинг учраган тўсиқларни айлариб ўтиши.

ДИФРАКЦИЯ МАНЗАРАСИ – *DIFRAKSIYa MANZARASI* –
ДИФРАКЦИОННАЯ КАРТИНА – ёруғлик дифракцияси натижасида ҳосил бўлувчи юқори ва паст жадаллик ёруғлик соҳаларининг мунтазам навбатлашуви.

ДИФРАКЦИЯВИЙ ПАНЖАРА – DIFRAKSIYA VIY PANJARA – ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЁТКА – кўп сонли элементлардан иборат даврий тузилишни ташкил қилувчи дифракция спектрларини олишда ишлатиладиган оптик асбоб.

ДИФРАКЦИЯВИЙ ПАНЖАРА ДАВРИ – DIFRAKSIYA VIY PANJARA DAVRI – ПЕРИОД ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЁТКИ – қўшни тирқишлар орасидаги тирқиш ва ношаффоф оралиқнинг йиғинди кенглиги.
ЁРУҒЛИК – YORUG`LIK – СВЕТ- инсон кўзи сезадиган такрорийликлар оралиғидаги электромагнитик тўлқинлар.

ЁРУҒЛИК ДИСПЕРСИЯСИ - YORUG`LIK DISPERSIYA SI –

ДИСПЕРСИЯ СВЕТА - 1) синишда, дифракция ёки интерференцияда ёруғликнинг спектрга ажралиши; 2) модда синдириш кўрсаткичининг ёруғликнинг такрорийлиги ёки тўлқин узунлигига боғлиқлиги.

ЁРУҒЛИК ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСИ - YORUG`LIK INTERFERENSIYA SI- ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА – ёруғлик тўлқинларининг қўшилиши натижасида ёруғлик жадаллигининг ёруғ ва қора йўллар тарзида фазода навбатлашиб жойлашуви.

ЁРУҒЛИК КВАНТИ- YORUG`LIK KVANTI-КВАНТ СВЕТА – фотон энергияси.

ЁРУҒЛИК КОГЕРЕНТЛИГИ- YORUG`LIK KOGERENTLIGI – КОГЕРЕНТНОСТЬ СВЕТА – ёруғлик тебранишларининг фазонинг турли нуқталарида вақт давомида уйғун тарзда содир бўлиши ҳоли; ёруғлик нурларининг интерференция қобилятини тавсифлайди.

ЁРУҒЛИКНИНГ СИНИШИ – YORUG`LIKNING SINISHI – ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА – оптик нурланиш икки муҳитнинг бўлиниш чегарасидан ўтаётганида унинг тарқалиш йўналиши ўзгариши.

ЁРУҒЛИКНИНГ СОЧИЛИШИ – YORUG`LIKNING SOCHILISHI – РАССЕЯНИЕ СВЕТА – оптик нурланиш оқими модда билан таъсирлашганда унинг хусусиятлари ўзгариши.

ЁРУҒЛИКНИНГ ЮТИЛИШИ - YO'RUG`LIKNING YUTILIISHI – ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА – ёруғлик энергиясининг бошқа хил кўринишларга ўтиш натижасида муҳит орқали ўтаётган ёруғликнинг сусайиши

ЁРУҒЛИКНИНГ ҚУТБЛАНИШИ - YO'RUG`LIKNING QUTBLANISHI – ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА – ёруғликнинг магнитик ва электрик векторлари йўналишлари фазо ва вақт бўйича тартибли жойлашуви.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ – INTRFERENSIYA – тўлқинларнинг устма – уст тушиб, бир – бирини кучайтириши ёки сусайтириши.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ЙЎЛЛАРИ- INTRFERENSIYA YO`LLARI – ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ПОЛОСЫ – ёруғлик интерференциясида кузатиладиган ёруғ ва қоронғу йўллар тизими.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ МАНЗАРАСИ – INTRFERENSIYA MANZARASI – ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ КАРТИНА – когерент ёруғлик дасталарининг қўшилиши натижасида ҳосил бўлувчи ва паст жадалликли ёруғлик соҳаларининг мунтазам навбатлашуви.

ЙЎЛЛАР ФАРҚИ - YO`LLAR FARQI – РАЗНОСТЬ ХОДА – умумий бош ва охирги нуқталарга эга бўлган икки ёруғлик йўлларининг оптик узунликлари айирмаси.

КИМЁВИЙ ЛАЗЕР- KIMYOVIY LAZER – ХИМИЧЕСКИЙ ЛАЗЕР – банд қилишлар инверсияси кимёвий реакциялар натижасида вужудга келадиган газ лазер.

КОГЕРЕНТ НУРЛАНИШ - KOGERENT NURLANISH –

КОГЕРЕНТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – тебранишлари вақтга боғлиқ бўлмаган доимий фаза фарқига эга бўлган электромагнитик нурланиш.

КОГЕРЕНТЛИК- KOGERENTLIK - КОГЕРЕНТНОСТЬ – бир нечта тебранма ёки тўлқин жараёнларнинг уларнинг қўшилишида намоён бўлувчи вақт ва фазода уйғун кечиши.

ЛАЗЕР- LAZER - оптик резанаторда жойлашган фаол мухитнинг мажбурий нурланиши натижасида когерент электромагнитик тўлқинлар чиқарувчи **квант** генератор.

ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯ - LAZER TEXNOLOGIYA – ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - лазерлардан фойдаланиб, материаллар ва буюмларга ишлов бериш йўллари ва усуллари мажмуи.

МАЖБУРИЙ НУРЛАНИШ – MAJBURIY NURLANISH – ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – уйғонган ҳолатдаги квант тизимга тушувчи ташқи нурланиш таъсирида юзага келувчи электромагнитик нурланиш.

МАЖБУРИЙ ТЕБРАНИШЛАР- MAJBURIY TEBRANISHLAR-

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ - бирор тизимда ўзгарувчан ташқи таъсир остида вужудга келувчи тебранишлар.

МАЖБУРИЙ ЎТИШ – MAJBURIY O`TISH - ВЫНУЖДЕННЫЙ ПЕРЕХОД – квант тизимнинг ташқи нурланиш таъсирида юқориқ энергияли сатҳдан пастроқ энергияли сатҳга ўтиши.

МАЗЕР – MAZER – квант генераторлар ва радио тўлқинларнинг кучайтиргичлари учун умумий атама.

МАЛЮС ҚОНУНИ- MALYUS QONUNI- ЗАКОН МАЛЮСА – чизғий қутбланган ёруғликнинг анализатордан ўтгандан кейинги жадаллиги тушувчи ёруғликнинг қутбланиш текислиги билан анализатор текислиги орасидаги α бурчакка боғлиқлиги.

МОНОХРОМАТИК ЁРУҒЛИК- MONOXROMATIK YORUG`LIK – МОНОХРОМАТИЧЕСКИЙ СВЕТ – инсон кўзи бевосита қабул қилиши мумкин бўлган такрорийликлар диапазонидаги монохроматик нурланиш.

МОНОХРОМАТИК НУРЛАНИШ - MONOXROMATIK NURLANISH – МОНОХРОМАТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – ёруғлик тебранишларининг аниқ бир тарорийлиги билан ифодаловчи электромагнитик нурланиш.

НУРЛАНИШ – *NURLANISH* – ИЗЛУЧЕНИЕ – 1) фазода тарқалаётган бирор табиатли тўлқинлар ёки қандайдир зарралар оқими; 2) бирор физикавий тизимдан нурланиш чиқариш жараёни.

ОПТИК БИР ЖИНСЛИ МУҲИТ - *OPTIK BIR JINSLI MUHIT* – ОПТИЧЕСКИЙ ОДНОРОДНАЯ СРЕДА – синдириш коэффициенти координатага боғлиқ бўлмаган муҳит.

ОПТИК ДАМЛАШ – *OPTIK DAMLASH* – ОПТИЧЕСКАЯ НАКАЧКА – оптик диапазондаги электромагнитик нурланиш ёрдамида дамлаш.

ОПТИК ЗАТВОР – *OPTIK ZATVOR*- ОПТИЧЕСКИЙ ЗАТВОР - ёруғлик оқимини олдиндан белгиланган вақт ичида ўтказиш ёки ўтказмасликни таъминловчи қурилма.

ОПТИК КВАНТ ГЕНЕРАТОР – *OPTIK KVANT GENERATOR* – ОПТИЧЕСКИЙ КВАНТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР – оптик диапазонда когерент нурланиш ҳосил қилувчи квант генератор.

ОПТИК РЕЗОНАТОР – *OPTIK REZENATOR* – ОПТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР – ораларидаги соҳада турғун ёки югурувчи ёруғлик тўлқинлари уйғотилиши мумкин бўлган кўзгулар мажмуи.

ОПТИК ТОЛА (НУРТОЛА) – *OPTIK TOLA* – ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО – шиша тола ўзакдан иборат бўлган, ёруғлик нурлари ички қайтариш туфайли асосан тола ўзагидан тарқалиши учун ўзак синдириш кўрсаткичи кичик шиша – қобикқа ўралган ёруғлик ўтказгич.

РЕКОМБИНАЦИЯ – *REKOMBINATSIYA* – қарама – қарши ишорали заряд ташувчиларнинг тўқнашуви натижасида зарядларнинг йўқолиши.

СПОНТАН НУРЛАНИШ – *SPONTAN NURLANISH* - СПОНТАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – уйғотилган ҳолатдаги квант тизимларнинг беҳосдан электромагнитик нурланиш чиқариши.

СПОНТАН ЎТИШ - *SPONTAN O`TISH* – СПОНТАННЫЙ ПЕРЕХОД – квант тизимнинг юқорироқ энергия сатҳидан пастроғига ўз – ўзидан ўтиши.

ТЎЛА ИЧКИ ҚАЙТИШ – TO`LA IChKI QAYTISH - ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ – икки шаффоф муҳитнинг бўлиниш чегарасидан тўлқинлар қайтганда синган тўлқиннинг тўлиқ мавжуд бўлмаслиги.

ФАОЛ МОДДА - FAOL MODDA - АКТИВНОЕ ВЕЩЕСТВО – энергиявий сатҳларининг инверс эгаллаганлиги натижасида элетромагнитик энергиясини кучайтириши мумкин бўлган модда.

ФАОЛ МУҲИТ – FAOL MUHIT - АКТИВНАЯ СРЕДА – энергия сатҳларининг бандланганлиги инверсияси амалга оширилганлиги туфайли элетромагнитик тўлқинларнинг моддадан ўтишида уларнинг кучайиши мумкин бўлган модда.

ФОТОПЛАСТИНКА – FOTOPLASTINKA - реакцияси пластинка ёки парда сиртига суртилган кумуш галоиди ёки бошқа сезгир модданинг фотохимёвий парчаланишида намоён бўладиган нурланиш қабул қилгичи.

ЭКСИМЕР ЛАЗЕР – EKSIMER LAZER – ЭКСИМЕРНЫЙ ЛАЗЕР - нурланиш эксимер молекулаларидаги электрон сатҳлараро ўтишларда содир бўладиган газ лазер.

ЯРИМЎТКАЗГИЧ ЛАЗЕР - YaRIMO`TKAZGICH LAZER - ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР - яримўтказгич кристалл асосида яратилган лазер.

ҚУТБЛАГИЧ – QUTBLAGICH - ПОЛЯРИЗАТОР – табиий ёруғликни қутбланган ёруғликка айлантирувчи қурилма.

ҚУТБЛАНГАН ЁРУҒЛИК - QUTBLANGAN YoRUG`LIK - ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ – элетрик ва магнитик векторлар йўналишларида тартиб мавжуд бўлган ёруғлик.

Адабиётлар рўйхати

1. Каримов И.А. Баркамол авлод- Ўзбекистон тараққиётининг пойдевори., Тошкент. 1997 й.
2. Басов Н.Г. Квантовая электроника. М.: Наука, 1971 г.
3. Тарасов Л.В. Введение квантовую оптику. М. 1987 г.
4. Реди Дж. Промышленное применение лазеров. М.: Мир. 1981 г.
5. Елецкий А.В., Смирнов Б.М.. Газовые лазеры. М.: Атомиздат 1971 г.
6. Алейников В. Лазеры на окиси углерода. М. 1989 г.
7. Ярив А. Введение в оптическую электронику., пер. с англ. М. 1983 г.
8. Ярив А. “ Квантовая электроника”, пер. с англ. М. 1980 г.
9. Дьюли У. “Лазерная технология и анализ материалов”, пер. с англ. М. 1978 г.
10. Богданкевич О.Б. и др. Полупроводниковые лазеры. М. 1976 г.
11. Федоров Б., Гордан Ф. Что такое лазер. М. 1967 г.
12. Летохов В.С., Устинов Н.Д. Мощные лазеры и их применение. М. 1980 г.
13. Камолхўжаев Ш.М., Муҳаммаджонов М.А. Лазерлар ва уларнинг қўлланилиши. ТДТУ, Т., 1999 й., 127 б.
14. Курбонов М. Физикадан намоёниш экспериментларини услубий функцияларини кенгайтиришнинг назарий асослари. Монография, Т.: Фан, 2008 й.
15. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. М.: Мир, 1981 г.
16. Сэм Э.Ф. Лазеры и их применение. Соросовский образовательный журнал, № 6, 1996 г. С. 92-98.
17. Тарасов Л.В. Лазеры: действительность и надежды. М.: Наука, 1985 г.
18. Мансуров А.Н. Лазеры и их применение в преподавании физики. М.: Просвещение, 1984 г., 88 с.
19. Звельто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990 г.
20. Крылов К. И. и др. Основы лазерной техники. Л.: Машиностроение,

1990 г.

21. Мириноятлов М. Лазерлар физикаси ва техникаси. Т.: Университет, 2012 й. -92 б.
22. Зайнобидинов С.З., Долиев Х.С. Дефектообразования в кремнии.Т.: Тош.ДУ,1993 г.
23. Азизов М. Яримўтказгичлар физикаси. Т.: Ўқитувчи, 1974 й.
24. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. М.: Высшая школа, 1984 г.
25. Акромов Х. , Зайнобидинов С.З., Тешабоев А. Яримўтказгичларда фотоэлектрик ҳодисалар. Т.: Ўзбекистон,1994.
26. Пасынков В.В. Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. М.1987 г.
27. Пател К. Успехи физических наук. М. 1969 г.
28. Савельев И.В. Курс общей физики. Учебник для вузов. М.: Наука, 1989 г., 304 с.
29. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники. Киев. Высш.шк.,1981г., 408 с.

Интернет сайти

[www.bilimdon](http://www.bilimdon.uz) uz. -Ўзбекистон Республикаси олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг веб- сайти.

[http://natlib.uz.](http://natlib.uz) -Алишер Навои номидаги Ўзбекистон Миллий кутубхонаси веб - сайти.

<http://sunny.ccas.ru/library.html> - Жаҳон кутубхоналари сервери.

М У Н Д А Р И Ж А

Муқаддима.....	5
----------------	---

I боб. Нурланиш қонуниятлари ва уларнинг турлари

Кириш.....	8
1.1. Нурланишнинг физик қонуниятлари.....	8
1.2. Мажбурий ва спонтон нурланишлар.....	16
1.3. Энергетик сатҳлар ва уларни ҳосил қилиш.....	19
1.4. Лазерларнинг тузилиши ва унинг ишлаш тамойили.....	24
1.5. Лазер нурланишининг хусусиятлари.....	29
I - Бобни ўзлаштиришда устоз-шогирд ўртасидаги биринчи суҳбат...	37

II боб. Лазерларнинг турлари ва уларнинг тузилиши

Кириш.....	41
2.1. Қаттиқ жисмли лазерлар.....	41
2.2. Газли лазерлар.....	48
2.3. Ионли лазерлар.....	60
2.4. Кимёвий лазер.....	62
2.5. Яримўтказгичли лазер.....	66
2.6. Ўзбекистон физик олимларининг тадқиқот ишлари.....	76
II - Бобни ўзлаштиришда устоз-шогирд ўртасидаги иккинчи суҳбат...	95

III боб. Лазерларнинг қўлланилиш соҳалари

Кириш.....	101
3.1. Оптик алоқа.....	101
3.2. Голография.....	109
3.3. Лазерларнинг тиббиётда қўлланилиши.....	127
3.4. Жисмларга лазер нури билан ишлов бериш.....	140
3.5. Лазерларнинг қишлоқ хужалигида қўлланилиши.....	153
3.6. Лазер нури ёрдамида айрим жараёнларни назорат қилиш.....	155
III - Бобни ўзлаштиришда устоз-шогирд ўртасидаги учинчи суҳбат.....	159

IV боб. Лазер нури ёрдамида физиканинг оптика бўлимига оид намоиш тажрибалари

4.1. Геометрик оптика бўлимига оид намоиш тажрибалар.....	162
4.2. Ёруғлик интерференциясига тегишли намоиш тажрибалар.....	171
4.3. Ёруғлик дифракциясига тегишли намоиш тажрибалар.....	180
4.4. Ёруғликнинг қутбланишига тегишли намоиш тажрибалар.....	190
4.5. Лазер нурининг хоссалари ва қўлланилишига оид тажрибалар.....	195
Голоссарий.....	200
Адабиётлар рўйхати.....	207

СОДЕРЖАНИЕ

Вступление	5
------------------	---

I. Закономерности и типы излучения

Введение.....	8
1.1. Физические закономерности излучения.....	8
1.2. Принудительные и спонтанные излучения.....	16
1.3. Энергетические поверхности и их образование.....	19
1.4. Конструкция и принцип работы лазеров.....	24
1.5. Особенности лазерного излучения.....	29
I - Первое собеседование преподавателя и обучающегося по освоению главы.....	37

II. Типы и конструкция лазеров

Введение.....	41
2.1. Твердотельные лазеры.....	41
2.2. Газовые лазеры.....	48
2.3. Ионные лазеры.....	60
2.4. Химические лазеры.....	62
2.5. Полупроводниковые лазеры.....	66
2.6. Исследовательские труды ученых-физиков Узбекистана.....	76
II - Второе собеседование преподавателя и обучающегося по освоению главы.....	95

III. Области применения лазеров

Введение.....	101
3.1. Оптическая связь.....	101

3.2. Голография.....	109
3.3. Применение лазеров в медицине.....	127
3.4. Лазерная обработка материалов.....	140
3.5. Применение лазеров в сельском хозяйстве.....	153
3.6. Контроль отдельных процессов с помощью лазерных лучей.....	155
III - Третье собеседование преподавателя и обучающегося по освоению главы.....	159
 IV. Демонстрационные эксперименты с помощью лазерных лучей по разделу оптика физики	
4.1. Демонстрационные эксперименты по разделу геометрической оптики.....	162
4.2. Демонстрационные эксперименты по интерференции света.....	171
4.3. Демонстрационные эксперименты по дифракции света.....	180
4.4. Демонстрационные эксперименты по поляризации света.....	190
4.5. Особенности лазерных лучей и опыты по применению.....	195
Глоссарий.....	200
Список литературы.....	207

CONTENT

Introduction	5
--------------------	---

I. Patterns and types of radiation

Introduction.....	8
1.1. Physical laws of radiation	8
1.2. Forced and spontaneous radiation.....	16
1.3. Energy surfaces and their formation.....	19
1.4. The design and principle of operation of lasers.....	24
1.5. Features of laser radiation.....	29
I - The first interview of the teacher and student on the development of the chapter.....	37

II. Types and construction of lasers

Introduction.....	41
2.1. Solid-state lasers.....	41
2.2. Gas Lasers.....	48
2.3. Ion lasers.....	60
2.4. Chemical lasers.....	62
2.5. Semiconductor lasers.....	66
2.6. Research works of scientists-physicists of Uzbekistan.....	76
II - The second interview of the teacher and student on the development of the chapter.....	95

III. Applications of lasers

Introduction.....	101
3.1. Optical communication.....	101

3.2. Holography.....	109
3.3. Application of lasers in medicine.....	127
3.4. Laser processing of materials.....	140
3.5. Application of lasers in agriculture.....	153
3.6. Control of individual processes using laser beams.....	155
III - The third interview of the teacher and student on the development of the chapter.....	159
 IV. Demonstration experiments with the help of laser beams on optics physics	
4.1. Demonstration experiments on the division of geometric optics.....	162
4.2. Demonstration experiments on interference of light.....	171
4.3. Demonstration experiments on diffraction of light.....	180
4.4. Demonstration experiments on the polarization of light.....	190
4.5. Features of laser beams and experiments on the application.....	195
Glossary.....	200
Used literature.....	207