ЛАЗЕРЛАР: КЕЧА, БУГУН, ЭРТАГА

И.Н.Каримов, Ш.Эрматов, М.З.Носиров, М.Иброҳимов

Мақолада лазерларнинг яратилиш тарихи, уларнинг тузилиши, ишлаш принципи, асосий хоссалари ва қўлланилиши билан боғлиқ умумлашма маълумотлар тақдим қилинган.

***Калит сўзлар**: лазер, электромагнит нурланиш, фотон, квант, резонатор, инверс тўлдирилганлик.*

В статье дан краткий обзор истории открытия, описаны строение, принцип работы, основные свойства и возможности применения лазеров.

***Ключевые слова**: лазер, электромагнитное излучение, фотон, квант, резонатор, инсверсная заселенность.*

In this article contains information on the history of discoveries, on the description of the principles of work, the main properties and application of laser.

***Key words**: laser, electromagnetic law, photon, quantum, resonator, inverse.*

Фан ва техника ва унинг асосидаги саноат ишлаб чиқаришининг ривожланиши сифат жиҳатдан янги материалларни ишлаб чиқариш ва янги замонавий технологик жараёнларнинг яратилишига қатъий боғлиқдир. Тез ривожанаётган технологик жараёнларнинг асосийларидан бири – лазер технологиясидир. Бу технология янги техник қурилма - лазер пайдо бўлгандан кейин ривожланди.

Лазер сўзи инглизча “light amplification by stimulated of radiation” ифодасининг бош ҳарфларидан олинган бўлиб, “мажбурий квант нурланиши натижасида ёруғликнинг кучайиши” маъносини билдиради.

Лазер техникасининг асоси ҳисобланган мажбурий нурланиш жараёнининг мавжудлигини 1916 йилда Альберт Эйнштейн башорат қилган эди. У ўша даврда маълум бўлган ютилиш ва спонтан нурланиш жараёнларидан ташқари резонанс квант чиқарилиши жараёни ҳам мавжудлигини ва бу жараён асосида ёруғлик кванти қўзғатилган атом ёки молекулалар билан ўзаро таъсирлашиб, ўзига ўхшаган квант ҳосил қилиши мумкинлигини айтиб ўтган эди. Бу физик жараённинг ҳисобга олиниши Эйнштейнга квант-механик қарашлари орқали Планк формулаларини ҳисоблаб чиқариш ва ёруғликнинг қўзғатилган муҳитдан ўтаётганда кучайиш эҳтимоллигини олдиндан айтиш имконини берди.

Ёруғликнинг кучайиши тўғрисидаги биринчи эксперимантал тасдиқ 1950 йилларда рус олими В.А.Фабрикант томонидан олинган. 1950-1960-йилларда ёруғликнинг кучайиш эҳтимоллигини текшириш ишлари кўплаб мамлакатларда олиб борилган. Физиканинг бу янги соҳасига рус олимлари ўзларининг салмоқли ҳиссасини қўшганлар. Квант электроникасига оид улкан фундаментал илмий ишлари учун рус физиклари Н.Т.Басов ва А.И.Прохоров ҳамда америкалик олим Ч.Таунсга физика соҳаси бўйича Нобель мукофоти топширилган. Квант электроникаси ривожланишидаги муваффақиятлар натижасида Т.Мейман 1960 йилда биринчи бўлиб рубин асосидаги лазерни яратди. 1961йилда эса А.Дисаван биринчи газли лазерни яратди. Бу лазер гелий ва неон газлари асосида ишлайди. 1962 йилда арсенид галлий кристали асосидаги яримўтказгичли лазер яратилди. Лазер физикаси ва техникасининг жадал ривожланиши 1962-1968 йилларга тўғри келади.

Бу даврга келиб, умуман олганда, ҳамма типдаги лазерлар яратилиб, уларнинг амалий қўлланиш соҳалари кўрсатиб ўтилган эди. Хусусан, 1964 йилда С.Пател томонидан биринчи CO_2 –лазер яратилган.

Лазер нурининг муҳит билан ўзаро физик таъсирининг атрофлича ўрганилиши ҳамда лазерларни саноатда ишлаб чиқаришнинг йўлга қўйилиши уни оддий асбобдан ҳар хил технологик жараёнларни ўтказиш қурилмасига айланишига имкон берди. Технологларнинг лазерга қизиқиши лазер нурланишнинг ғайриоддий характеристикалари билан боғлиқдир.

Ёруғликнинг монохроматик дастасини олиш эҳтимоллиги лазерни алоқа масалаларини ечишда, метерология ва медицинада алмаштириб бўлмайдиган нурланиш манбасига айлантирди. Лазер нурининг юқори жадаллиги ва монохроматиклиги газли муҳитлар ва моддаларга таъсир ўтказиш имконини беради. Бу эса лазерлардан изотопларни бўлиш, химиявий реакцияларни ўтказиш ва ҳар хил биологик объектларга мақсадли таъсир ўтказиш имкониятини яратди. Энергия оқими зичлиги ва қувватнинг юқори даражадалиги термик технологик жараёнларда лазер нурини юксак даражада такомиллашган қурилмага айлантирди. Лазерли кесиш, пайвандлаш ва легирлаш ишлари ишлатилаётган материални тежабгина қолмасдан, қайта ишланаётган материалнинг

янги хоссаларини олиш ва ўрганиш имкониятларини оширади. Лазер нурларининг технологик имкониятлари фақат илмий-тадқиқот ишларида қўлланибгина қолмасдан, балки принципиал жиҳатдан янги лазер системаларини қидириб топишга, яратишга олиб келди. Бу тадқиқотлар натижаси замонавий лазерлар ишлаб чиқариш технологиясининг фундаментал асоси бўлиб қолмоқда.

Квант электроникасининг асосий масаласи – фаол муҳитни ҳосил қилиш ва мос ҳолдаги резонаторда тескари алоқани вужудга келтиришдир. Квант электроникаси қурилмаларининг принципиал муҳим бўлган элементлари фаол муҳит ҳамда резонатор ҳисобланади ва улар лазер генераторларини ҳосил қилади. Шу билан бирга, зарурий талаблардан асосийси инверс тўлдирилганликни ҳосил қилишдир.

Квант электроникасининг асосини учта қонуният ташкил этади:

Биринчиси – электромагнит нурланишларнинг энергияси дискрет энергиялардан иборат ва улар ёруғлик квантлари ёки фотонлар дейилади. Дискретлик хусусияти нурланишнинг модда (муҳит) билан ўзаро таъсирида, қачонки фотонлар ютилаётганда ёки нур чиқараётганда сезилади.

Иккинчиси – фотонларнинг юқори интенсивликдаги нурланиши уларнинг мажбурий нурланиш эффекти билан аниқланади. Бунда мажбурий нурланиш ва уни ҳосил қилган нурланиш квантлари ўхшашдир. Нурланиш эҳтимоллиги нурланиш интенсивлигига пропорционалдир.

Учинчиси – электромагнит тебранишлар квантлари Бозе-Эйнштейн тақсимотига бўйсунади. Шунинг учун майдоннинг битта осцилляциясига тўғри келувчи квантлар сони чексиз бўлиши мумкин. Бир-бирига ўхшаш кўплаб квантлар билан битта майдон осцилляторининг тўлдирилиши орқали когерент электромагнит тўлқин ҳосил бўлади.

Бу қонуниятга А.Эйнштейн асос солган ва у квант электроникасининг асоси бўлиб қолди. Квант электроникаси яратилишидан 50 йил аввал, 1905 йилда, А.Эйнштейн мувозанатли нурланиш энергияси флуктациясининг статистик таҳлил асосида ёруғлик квантлари гипотезасига келди ва уни фотоэффект ҳодисасига татбиқ қилди. Фотоэффект ҳодисасининг қизил чегарасини тушуниш электромагнит нурланишнинг квант табиатини тушунишга олиб келди. 1916 йилда А.Эйнштейн ўша пайтда маълум бўлган Бор постулатларига мос равишда Планк формуласини келтириб чиқарди. Бу эса дискрет энергетик сатҳларга эга бўлган квантларнинг мувозанатдаги нурланиш табиатини тушунишда муҳим роль ўйнади. Хусусан, мажбурий нур чиқариш тушунчасининг киритилиши ҳамда мавжудлигининг қонунийлаштирилиши, шунингдек, унга хос хусусиятларнинг умумий термодинамик қарашлар орқали аниқланиши билан қимматлидир.

Эйнштейн хулосаларини қисқача қуйидагича таърифлаш мумкин:

Мажбурий нур чиқариш – нур чиқарувчи заррага таъсир этувчи нурланиш энергия зичлигига пропорционал эффектдир. Бунда чиққан нур частотаси таъсир этувчи нур частотасига тенгдир. Шу билан бирга, фазога тарқалиш йўналиши ҳам бир хилдир. Мажбурий нурланиш ва нурланишнинг мажбурий ютилиши мос келувчи энергетик сатҳларнинг айниганлик эҳтимолликлари ҳам тенгдир.

Кейинроқ А.Эйнштейн нурланишлар қуюқланишини таҳлил қилиб, термодинамик қонуниятлар асосида мажбурий нурланиш ва уни ҳосил қилувчи нурланиш квантларининг ўхшашлиги қонуниятига яқин келди. Шундай қилиб, электромагнит нурланишнинг квант табиати ва микрозарралар энергия спектрининг квантланиши бир-бирига ўхшаш квант генерацияси учун катта аҳамиятга эга бўлган жараёнларнинг ҳосил бўлишига олиб келди.

1924 йилда Ш.Бозе ва А.Эйнштейн Планк формуласини чиқариш усулларини ривожлантириш натижасида симметрик тўлқин функцияли зарралар системаси учун умумлашган термодинамик хусусиятларни тушунтириб берувчи қонуниятлар яратдилар. Бу Бозе-Эйнштейн статистикаси деб аталди. Ушбу статистикага бўйсунувчи бир хилдаги зарраларнинг фундаментал хусусиятлари ўхшашдир.

Электромагнит нурланиш квантлари ҳам бу статистикага бўсунади. Шунинг учун мажбурий нурланиш квантлари бир хил частотага эга, қутбланишлари, тарқалиш йўналишлари, фазалари ҳам бир хилдир, уларни бир-биридан ажратиш мумкин эмас. Нурланиш майдонининг ҳолати майдон осцилляторига мос келувчи квант сонлари билан аниқланади. Бу сонлар чексиз бўлиши мумкин. Фотонларнинг бозон хусусиятларига эгалиги квант электроникасида корпускулярлик хусусиятидан тўлқин хусусиятига ўтишга имкон яратади. Тўлқин хусусияти тебранишларнинг суперпозиция принципи ва когерентлик характерига эга.

Ёруғликнинг нурланиш ва ютилиш квант назариясига 1924 йилда А.М.Дирак томонидан асос солинган. А.Эйнштейн яратган нурланишнинг статистик қонунларини Дирак асослади ва нурланиш эҳтимоллигини ҳисоблаб, нур чиқарувчи атом характеристикаси ва Эйнштейн коэффициентлари орасидаги боғланишни топди. Дирак нурланиш квант назариясининг муҳим натижаси Эйнштейн башорат қилган мажбурий нурланиш борлигини қатъий асослаганидир.

Шундай қилиб, 1927 йилга келиб квант электроникасининг яратилишига фундаментал физик заминлар тўла яратиб бўлинди.

1954 йилнинг охири – 1955 йилнинг бошларида квант электроникасининг назарий асослари яратилди ва биринчи қурилмаси – молекуляр генератор ёки дастали аммиакли лазер яратилди.

Инверс тўлдирилганлик квант системаси ҳажмий резонаторга жойлаштирилганда квант электроникаси пайдо бўлди. Бу ҳолат 1954 йилнинг охирларида бир вақтнинг ўзида СССР ФА Физика институтининг А.М.Прохоров раҳбарлигидаги лабораториясида ҳамда Колумбия университети Физика факультетидаги Ч.Таунс раҳбарлигидаги лабораторияда юзага келди.

Молекуляр генераторда 1,25 см.ли тўлқин узунлигида биринчи марта тоза ҳолда тўғридан-тўғри мажбурий нурланиш кузатилган. Бу ҳолат мусбат тескари алоқали автотебранишлар генератори режимида кузатилган.

Мажбурий нурланишни кузатиш учун қўзғотилган атомлар бўлиши, бундан ташқари, мажбурий нурланиш эҳтимоллиги спонтан нурланиш эҳтимоллигидан катта бўлиши керак. Айтиб ўтиш керакки, 1940 йилга келиб қўзғатилган атомлар системаси ёруғлик нурланишини кучайтиришини оптика соҳасида илмий ишлар олиб борувчи олимлар тушуниб етган эдилар.

Шундай олимлар қаторига, аввало, В.А.Фабрикант киради. Лекин у пайтда ёруғлик нурининг кучайиши асосидаги оптик генератор яратишни ҳеч бир тадқиқотчи айтмаган эди. А.Эйнштейн ва А.М.Дирак оптикани назарда тутган ҳолда мажбурий нурланиш тўғрисидаги ўз илмий фикрларини айтган бўлсалар ҳам, ўша даврда оптикада бундай тахминлаш мумкин эмас эди.

ХХ асрнинг биринчи ярмида радио ва оптика алоҳида-алоҳида ривожланган. Оптика соҳасида квант тушунчалари, радиода эса тўлқин тушунчалари ривожлантирилган. Бу даврда радио ва оптика соҳаларининг борлиги доимо тўлқин назарияси нуқтаи назардан қаралган ва эътироф этилган.

Электромагнит тебранишларнинг квант табиатига асосланган радио ва оптиканинг умумийлиги узоқ вақтлар мобайнида билинмади. Спектроскопиянинг ЎЮЧ диапозонига мос келувчи молекулалар, атомлар, молекуляр ионларни ўрганувчи бўлими – радиоспектроскопия пайдо бўлгандан кейин юқоридаги умумийлик юзага келди.

Радиоспектроскопия иккинчи жаҳон урушидан кейин тез ривожландики, бу сантиметрли тўлқинлар техникасининг интенсив ривожланиши билан боғлиқдир. Бу эса радиолокация соҳаси эҳтиёжини тўла қондирди. Ўша даврларда ЎЮЧ энергия каналининг тўлқин методлари, юқори аслликка эга бўлган ЎЮЧ ҳажмий резонаторлар, сезгирлиги юқори бўлган приемниклар яратилган. Буларнинг ҳаммаси радиоспектроскопияга оптик спектроскопияга нисбатан бир қатор афзалликлар берди.

Ўша даврдаги радиоспектроскопиянинг оптик спектроскопиядан принципиал фарқи ишлатувчи нурларнинг монохроматик характерга эгалигидир. Бундан ташқари, радиодиапозон соҳасида спонтан нурланишлар кучсиз, қўзғотилган сатҳлар эса юқори даражада тўлдирилган ва бу мажбурий нурланишга олиб келар эди.

Буларнинг ҳаммаси квант электроникасининг базасига айланди ва радиоспектроскопия билан шуғулланган олимлар квант электроникасига асос солдилар.

Собиқ иттифоқда радиоспектроскопия бўйича илмий тадқиқот ишлари А.М.Прохоров раҳбарлигидаги тебранишлар лабораториясида бошланган эди. Унда спектроскопия соҳаси масалаларини ечиш билан бирга стандарт частоталар ва вақтни яратиш учун ЎЮЧ спектридан фойдаланиш йўналишларида тадқиқотлар олиб борилган. Худди мана шу аснода квант электроникаси яратилган.

Ҳақиқатан ҳам, стандарт частотанинг аниқ ишлаши ютилишнинг спектрал линияси частотасининг барқарорлигига таянувчи линия кенглигига боғлиқ. Линия кенглиги қанча кичик бўлса, ютилиш линияси частотасининг номинал қийматига боғланувчи стабилловчи частотанинг аниқлиги ортади.

Шу даврга келиб тебранишлар назарияси доирасида монохроматик тебранишлар генератори назарияси ишлаб чиқилган. Бу мусбат тескари алоқали автотебранишлар системаси эди. Шунингдек, ЎЮЧ радиодиапазон соҳасида нурлар дастаси билан ишлаш учун қулай ҳажмий резонаторлар ишлаб чиқилди.

Инверс тўлдирилганликка эга молекулалар нури дастасини ҳажмий резонатор орқали ўтказилгани юқорида айтилган барча имкониятларнинг синтези сифатида муҳим аҳамиятга эга бўлди.

Шундай қилиб, собиқ иттифоқдан Н.Г.Басов ва А.М.Прохоров, АҚШдан Дж.Гордон, Ч.Таунс, Г.Цейгерлар биринчи бўлиб мазерни яратдилар.

Кейинги муҳим қадам 1955 йилда Н.Г.Басов ва А.М.Прохоров томонидан инверсияни (инверс қўзғатилганликни) актив резонатор усули ёрдамида ҳосил қилиш ёки уч энергия сатҳли дамлаш усулининг таклиф этилиши бўлди. Кейинчалик бу метод кенг тарқалди.

1956 йилда Н.Бламберган (АҚШ) парамагнит кристаллар асосидаги мазер кучайтиргичлар яратиш учун уч энергия сатҳли усулни таклиф этди. Бу эса, албатта, квант электроникаси соҳасининг сезиларли кенгайишига олиб келди.

1958 йилда А.М.Прохоров томонидан очиқ резонаторларни қўллашнинг таклиф этилгани муҳим босқич бўлиб қолди. Маълумки, очиқ резонатор Фабри-Перонинг интерферометридир. Ушбу қурилмага радиотехник ёндашиш А.М.Прохоровга ундан резонатор сифатида фойдаланиш имконини берди.

Квант электроникасининг оптика соҳасидаги дастлабки қадам 1960 йилнинг охирларида Т.Мейман томонидан монохроматик нурланишнинг оптик генератори – биринчи лазернинг яратилиши ҳамда Али Дишаванинг неон ва гелий

газлари аралашмаси асосидаги лазерлари бўлди. Шу даврдан бошлаб квант электроникасининг жадал ривожланиши бошланди.

Замонавий квант электроникаси кенг соҳани ўз ичига олади. ЎЮЧ электроникасига назар ташласак, квант электроникаси кўпроқ оптика соҳасига ўзгартиришлар киритганини кўрамиз. Мазер ва лазерларнинг ишлаш принциплари бир хил бўлгани билан, улардаги фарқ ҳам сезиларлидир.

Радиодиапазон соҳасидаги мазерлар янгича ишлаш принципида яратилган бўлса ҳам, улар классик электрон хусусиятларга эга. Улар радиоқурилмалар параметрларининг сифатини оширдилар. Кучайтиргичларнинг сезгирлиги 2-3 баробар, частоталар генераторининг стабиллиги 3-4 баробарга ошди.

Радиодиапазондаги квант электроникасида бу ютуқларнинг қиймати юқори даражада, лекин, аслида, бу маълум бўлган сифат хусусиятларининг миқдорий ўзгаришидир, чунки квант электроникасининг яратилишига қадар ҳам электроникада когерент радиокучайтиргичлар ва монохроматик тебранишлар радиогенераторлари бор эди.

Оптика соҳаси эса бундан мустасно. Оптика соҳасида ҳамма ёруғлик манбалари ўз табиатига кўра квантлардир – квант хусусиятига эгадир. Квантлар тўғрисидаги тушунча оптик нурлар хусусиятларининг таҳлили натижасида пайдо бўлган. Аммо квант электроникаси пайдо бўлгунга қадар, барча оптик ёруғлик манбалари монохроматик бўлмаган нур чиқарган, когерент бўлмаган тебранишлар ҳосил қилган. Оптика соҳасида когерент кучайтиргичлар бўлмаган, электромагнит тебранишларнинг монохроматик генератори ҳам йўқ эди. Лазерлар фақат юқори йўналганликка эга бўлган ёруғлик тўлқинларини фазога тарқатган, спектрал монохроматик ва вақтли когерентликка эга бўлган.

Шунинг учун лазерларнинг пайдо бўлиши илгари имкони бўлмаган нурланиш энергиясини вақт бўйича, спектрал интервалда фазода жамлаш имконини берди. Худди шу фактлар, далиллар, имкониятлар оптика соҳасини янги, сифатли, юқори сатҳга олиб чиқди.

Замонавий оптикадаги бу янги татбиқларда ёруғлик генерацияси учун квант электроникаси методлари билан тўғридан тўғри мажбурий нур чиқариш эффектидан фойдаланилади. Бу – квант электроникасининг асосидир. Яна бир марта айтиб ўтиш керакки, квант электроникаси оптика соҳасининг янги имкониятларини очиб беради, лекин унинг фундаментал қисмини кўриб чиқмайди. Бундан ташқари, квант электроникаси XX аср оптикасининг фундаментал асослари замирида ташкил топган.

Квант электроникаси ҳозирда интенсивлиги жамланган монохроматик нурнинг моддага таъсири ёки монохроматик нурланиш ёрдамида катта ҳажмдаги информацияни узатиш усулларини ҳосил қилишда хизмат қилмоқда. Шунинг учун ҳам квант электроникаси фақат лазерлар билан чегараланиб қолмаган. Шу билан бирга, лазерлар ишлаб чиқариш, уларни такомиллаштириш, тўлқин узунликлари учун янги диапазонлар очиш ва бошқалар ҳозирги квант электроникасининг асосий предмети бўлиб қолмоқда.

Ҳозирги пайтга келиб лазерлар жуда кенг диапазонда ишлатилмоқда: субмиллиметрли тўлқин узунликларидан УБ тўлқин нурланишларигача, узлукли ва узлуксиз режимларда. Лазерларнинг турли-туман кўринишлари мавжуд. Шунга мос равишда кўплаб лазерларнинг фаол муҳитлари ва уларни қўзғотиш учун физик жараёнлар мавжуд. Ҳамма лазерлар учун умумий бўлган инверс тўлдирилганликни ҳосил қилишда фаол муҳитда энергия сарфи керак бўлади ва энергия ишчи муҳитида шундай термодинамик номувозанат ҳолат ҳосил қилиш керакки, унда мажбурий нурланиш ютилиш жараёнидан юқори туриши керак.

Адабиётлар:

1. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике.- М.: Наука, 1988.- 280 с.
2. Федоров Б.Ф. Лазеры. Основы устройства и применение.- М.: ДОСААФ, 1988.- 320 с.
3. Кейси Х., Пашин М. Лазеры на гетероструктурах. Перевод с английского А.Е.Дракина. Под редакций доктора физ-мат. наук П.Г.Елисеева. – М.: Мир, 1981.- 528 с.
4. Звельто О. Принципы лазеров.- М.: Мир, 1990.- 180 с.
5. Крылов К.И. и др. Основы лазерной техники.- Л.: Машиностроение, 1990.- 130 с.
6. Тарасов Л.В. Физические основы квантовой электроники.- М.: Советское радио, 1976.- 210 с
7. Тарасов Л.В. Лазеры: Действительность и надежды.- М.: Наука, 1985.- 98 с.
8. Рэди Дж. Промышленное применение лазеров.- М.: Мир, 1981.- 372 с.
9. Федоров Б.Ф. Лазеры и их применение.- М.: ДОСААФ, 1973.- 460 с.
10. Басов Н.Г. Световое чудо века.- М.: Педагогика, 1984.- 112 с.

Андижон давлат университети,
2015 йил 25 августда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. С.Зайнобидинов)