

АНДАТПА

6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникация мамандығы
бойынша PhD философия докторы ғылыми дәрежесін ізденушінің
диссертациясына

Жетписбаева Айнур Турсынкановна

**Бір модальды оптикалық талшықта 1310 нм және 1550 нм толқын
ұзындықтарында Мандельштам-Бриллюэн еріксіз шашырауын зерттеу**

Жұмыстың маңыздылығы

Қазіргі заманда талшықты оптикалық байланыс жүйесін пайдалану ауқымы барынша кеңейіп, магистралды желілермен қоса, әрбір абоненттің құрылғысына дейін жалғанған талшықтар арқылы ақпарат тарату мүмкіндігі күн сайын артуда. Осының салдарынан магистралды желілерде таратылатын ақпарат көлемі де күрт жоғарылауда. Бірақ, түрлі физикалық құбылыстардың әсерінен әрбір магистралды талшықты оптикалық желілердегі талшықтардың ақпарат тарату мүмкіндіктері шектеулі болғандықтан, таратылатын ақпарат көлемі де жоғарыдан шектеулі болып тұр. Бұл шектеулердің көпшілігі талшықтың физикалық қасиеттері және химиялық құрылымына тікелей тәуелді болады. XX ғасырдың бас кезінде белгілі болған Мандельштам-Бриллюэн еріксіз шашырауы, Релэй шашырауы, Ми шашырауы, еріксіз комбинациялық шашыраулары (Раман шашырауы), Брэгг эффектісі секілді құбылыстардың себебінен жоғарыда аталған ақпаратты таратудағы шектеулер пайда болып, сонымен қатар, осы құбылыстарды адамзат өз қажетіне дұрыс пайдаланудың арқасында талшықтарда болатын сыртқы әсерлерді (сыртқы қысым деңгейі, температура әсері т.б.) тіркеуші құралдарды құрастыру мүмкіндігі пайда болды.

МБЕШ эффектісін пайдалана отырып, талшық бойында болған ақаулардың нақты орнын анықтауға арналған сенсорлар бар. Қазіргі кезде қолданылатын барлық рефлектометрлер осы МБЕШ эффектісі арқылы тексеруші сигналды жіберу арқылы ақпарат сигналдарымен әсерлесуінің нәтижесінде ақау орнында МБЕШ кері шашырауының күшеюін тіркеу арқылы ақау орнын анықтайды.

Қазіргі заманғы технологиялардың жаңа серпілісі – DWDM технологиясы қолданысқа түбегейлі еніп, оптикалық талшық бойымен таратылатын ақпараттардың тығыздығын арттыру мәселесі шешімдерін тапты. Алайда, ақпараттардың тығыздығын МБЕШ әсерінен бір мода бойымен қажетті деңгейге дейін жоғарылату мүмкін болмай отыр. XX ғасырдың алпысыншы жылдары белгілі болған МБЕШ эффектісінің нақты әсері мен мәселелері осы ақпараттардың тығыздығы күрт көбейген қазіргі заманда қайта толқынмен жанданып көтерілуде. Себебі, қазіргі кездегі жетілдірілген оптикалық талшықтар бойымен бірнеше модальды лазерлік сәуле көздерін пайдалану арқылы ақпараттарды тарату мүмкіндігі туындап отыр.

МБЕШ табалдырығының барлық әдебиеттердегі қалыптасқан ұғым ретінде берілетін 1310 нм үшін 15 дБм, 1550 нм үшін 27 дБм қуатынан жоғары мәндерде ақпараттардың интенсивтілігін көтеру мәселесі осы күндері әлі шешімдерін тапқан жоқ. Осы уақытта МБЕШ табалдырығы мәселесін шешпей, ақпараттардың тығыздығын тек экстенсивті түрде, талшықтардың санын көбейту арқылы ғана орап өтуде. МБЕШ эффектісін зерттеу, МБЕШ табалдырығын анықтаудың жаңа әдісін ұсыну, МБЕШ эффектісінің модуляция жиілігіне тәуелділігін анықтау және алда тұрған мәселелерді шешу жолдарын іздестіру жұмыстың негізгі мақсаттарының бірі ретінде атауға болады.

Оптикалық талшықтарды зерттеу кезінде, оның ішінде магистралды оптикалық тарату жолдарды зерттеуде бейсызық эффектілердің көптеген түрлерінің үлестері пайда бола бастайды. Олардың ішінен МБЕШ эффектісін айырып алу, оны зерттеу жұмыстары ерекше дамыған. МБЕШ эффектілерін зерттеуге арналған ғылыми жұмыстардың ерекшелігі ретінде жоғарыда аталған толқын энергиялары мен спектрлік сипаттамаларын зерттеу негіздерін атауға болады. Қазақстан Республикасы аймағындағы магистралды оптикалық тарату жолдарда бейсызық эффектілердің байқалуы, тіркелуі және оларды жою жұмыстарының ішінде МБЕШ эффектісін тіркеу және оларды тиімді пайдалануда МБЕШ эффектісіне негізделген «рефлектометр» құрылғылары кеңінен пайдаланылады. Қала ішіндегі ғимараттарда таратылатын оптикалық толқын жолдардағы бейсызық эффектілерге қарағанда магистралды толқын жолдардағы бейсызық эффектілердің үлес түрлері, оның ішінде МБЕШ эффектісі бірінші кезекте ескеріліп, 1310 нм үшін сәуле көзінің тарату энергиясының максимум мәні – 15 дБ, ал 1550 нм үшін – 27 дБ мәндерінде алдын-ала шектеліп, МБЕШ эффектісінен қорғалады.

МБЕШ эффектісін зерттеуге арналған ғылыми еңбектерге әдебиеттік шолу жасаудың нәтижесінде 100 жуық еңбектер қарастырылып, бірнеше негізгі бағыттары анықталды:

- оптикалық талшықтардағы бейсызықтық оптикалық құбылыстардың арасынан МБЕШ эффектісін айыру жұмыстары;
- МБЕШ эффектісін пайдалана отырып, Бриллюэн сенсорларын, фильтрлерді жасау, оны қолдану ерекшеліктері туралы;
- МБЕШ табалдырығын анықтаудың жаңа әдістерін ұсынуға қатысты;
- сәуле көздерінің – лазерлердің, жарық диодтарының оптикалық ерекшеліктерінің әсерінен туындайтын МБЕШ эффектілерін зерттеу;
- МБЕШ эффектілерін зерттеуге арналған математикалық модельдер құрастыру туралы.

Қарастырылып отырған ғылыми жұмысқа қатысы бар бағыттар болғандықтан жоғарыда аталған негізгі зерттеу бағыттарына зейін көбірек бөлінді.

Әдебиеттерге шолу жасау кезінде байқалған негізгі түйіндердің бірі ретінде айтуға болатыны – ол АҚШ оптикалық-талшықтарды зерттеу маманы Г.Агравалдың ғылыми еңбектеріне қарастырған барлық еңбектердің

авторлары сілтемелер жасағаны байқалды. Европалық және Ресей ғалымдары мысалы Уильям Дэйзидің, С.А.Булгакованың оптика-талшықтардағы бейсызықтық үдерістерді қарастырған монографиялық еңбектерінде Г.Агравалға тікелей сілтемелер жасаған. Сәйкесінше, зертханалық жұмыстардың нәтижесінде алынған мәліметтерді өңдеуге арналған математикалық модельді іздестіру жұмыстарында Г.Агравалдың математикалық моделі зертханалық өлшеулердің негізгі жартысын тиімді түсіндіретіндігі компьютерлік есептеулердің нәтижесінде анықталды.

Оптикалық талшықтардың қасиеттерін зерттеуге бағытталған ғылыми жұмыстардың барлығында ғылыми зертханалардың негізгі құрылымы ұқсас болып келеді. Оптикалық талшықтарға енген сәуленің, талшықтың екінші шетінен шыққан сәуле және кері шағылған сәулелердің спектрлік, энергиялық және басқа да сипаттамаларын тіркеу арқылы, оларды салыстыру жұмыстарымен ұқсас болып келеді.

Бұл жұмыста қарастырылатын мәселе МБЕШ әсерінен болатын құбылысына бір модальды талшықты оптикалық байланыс желісінде 1310 нм, 1550 нм толқын ұзындықтарындағы екі оптикалық сәуле көздері арқылы зерттеу жүргізілді. Себебі барлық магистралды талшықты оптикалық желілерде кіріс сигналдардың интенсивтілігі мен энергиясының жоғарығы шектері осы МБЕШ әсерінен болғандықтан, бұл құбылыстың әсерін төмендету әдістері іздестірілуде. Аталған жұмыстың негізгі мақсаты осы құбылыстың қандай жағдайлар мен сыртқы әсерлерде қалай өзгертіндігі туралы қосымша мәліметтер жинақтап, зерттеу нәтижелері бойынша тиісті тұжырым шығару болып табылады.

Жұмыстың мақсаты

Бір модальды оптикалық талшықтағы 1310 нм және 1550 нм толқын ұзындықтары арқылы Мандельштам-Бриллюиэн еріксізк шашырауын зерттеу.

Зерттеу барысында төмендегідей мәселелерді шешу көзделді:

1. Аталған ғылыми жұмыстың тақырыбына сәйкес келетін қолжетімді негізгі ғылыми жұмыстарға шолу жасау;
2. Бір модальды оптикалық талшықтардағы бірнеше жиіліктегі толқындардың бір-бірімен әсерлесу ерекшеліктерін зерттеу;
3. Толқын ұзындықтары 1310 нм және 1550 нм болатын сәулелердің жекелей түріндегі және бірлесіп толқынжолдан өткен және шағылысқан кездеріндегі импульстардың энергиясын өлшеу және тіркелген энергиялар мәндерінің модуляция жиілігіне тәуелділігін анықтау арқылы МБЕШ зерттейтін тәжірибелік зерттеулер ұйымдастыру;
4. Тәжірибелік зерттеулерден алынған нәтижелерді математикалық модель құрастыру арқылы салыстыра отырып, МБЕШ эффектісін анықтаудың жаңа әдісін ұсыну.

Ғылыми жұмыстың жаңалығы

1. Мандельштам-Бриллюиэн еріксіз шашырауын бір модальды оптикалық талшықтарда 1310 нм және 1550 нм толқын ұзындықтарындағы оптикалық

сәулелерді бір бағытта таратылып, кері шағылған стокстық сәулелердің кемуі байқалды;

2. Екі толқын ұзындықтарындағы әрқайсысын жекелей және бірлесіп жіберілген сигналдардың модуляция жиіліктерінің өзгерісіне кері шағылған және өткен сәулелердің энергияларының тәуелділік заңдылықтары анықталды.

3. Алынған нәтижелердегі екі толқынның бірлесіп толқын жолдағы әсерлесу нәтижесінде кері шағылған және өткен сәулелердің МБЕШ табалдырығының төмендеуі байқалып, осы эффектіге математикалық модельдеу арқылы салыстырулар жүргізіліп МБЕШ эффектісінің үлесінің жоғары болатындығы анықталды.

4. Тәжірибелік зерттеуерден алынған өлшеулердің мәндері математикалық модельден алынған нәтижелермен салыстырудағы дәлдігі ең жоғарғы нәтижелерді көрсетті. Тәжірибелік өлшеулердегі әр толқынның жекелей қарастырғандағы бейсызықтық үдеріс басталған нүктелеріндегі мәндері Г.Агравал ұсынған математикалық модельмен тексергенде дұрыс нәтижелер берді.

Зерттеу тәсілдері

Қойылған талаптарды орындау үшін: Эксперименталды зерттеу жүргізу барысында алынған нәтижелерді математикалық модельдеу қолданану арқылы тексеру арқылы жүргізілді.

Қорғауға ұсынылатын тұжырымдар:

1. Толқын ұзындықтары 1310 нм және 1550 нм сәуле көздерінен байқалатын МБЕШ табалдырығының мәндері осы екі толқынды бір арна арқылы таратқан кездегі МБЕШ табалдырығының мәнінен төмен болатындығы анықталды.

2. Екі толқынды бір арнамен тарату кезінде сигналдардың тура өткен және кері шағылған сәулелердің энергиялары модуляция жиілігін жоғарылатқанда тиімді шектік мәндерді көрсететіндігі дәлелденді.

3. Тәжірибелік нәтижелерді негізге ала отырып, ұзындығы үлкен толқынжолдардағы бейсызық эффектілерді анықтауда МБЕШ эффектісінің үлесі жоғары болатындығы анықталды.

4. Қоссәулені тарату арқылы МБЕШ табалдырығының артуы қоссәуленің жекелей таратқан кездегі МБЕШ табалдырық мәндеріне жетпеуі салдарынан болады.

Бірінші тарауда МБЕШ эффектісі зерттелген ғылыми еңбектерге, оның ішінде бір модалы оптикалық талшықтардағы екі сәуленің бір-бірімен әсерлесуі нәтижесінде орындалатын МБЕШ эффектісін зерттеген ғылыми әдебиеттерге шолу жасалынды. МБЕШ әсерін пайдалану арқылы жасалған құрылғылардағы негізгі үдерістер қарастарылған. МБЕШ эффектісінің негізгі сипаттамалары қарастырылып, фазалық өздік модуляция, фазалық кросс модуляция, еріксіз комбинациялық шашырау эффектілерінің МБЕШ эффектілерімен байланысы және ерекшеліктері туралы мәліметтер келтірілген. Мұндай еңбектерге шолу жасаудың мақсаты қарастырылатын

жұмыстың қайталанбағандығын анықтау және жұмыстың жаңашылдығын бекіту болып табылады.

Екінші тарауда МБЕШ табалдырығын анықтауға арналған әдістер қарастырылды. Магистралды желілердегі МБЕШ эффектісінің үлесін анықтауға қатысты мәселелер қарастырылды. Оптикалық талшық бойындағы бейсызық құбылыстарды зерттеу бағытында МБЕШ табалдырығының сыртқы әсерлердің – температураның, қысымның өзгерулеріне тәуелділігін анықтайтын ғылыми еңбектерге шолу жасалды. Сыртқы деформацияның өсуіне және температураның өсуіне МБЕШ эффектісінің өсу коэффициенті және сигналдың өшу коэффициенттері тура пропорционал артатындығы ғылыми еңбектерде көрсетілген. Сонымен қатар, МБЕШ табалдырығын анықтау және оның мәнін жоғарылату әдістерінде жіберілген сәуле спектрінің ені мәнінің өзгеруіне – фазалық модуляция жиілігіне тәуелділігі зерттелді.

МБЕШ табалдырығының қуатының $P_{МБЕШ}$ теңдеуін қолдана отырып МБЕШ табалдырық қуатанаң тербелістің сәулелену көзінің спектрлік еніне тәуелділігі алынды. МБЕШ табалдырық қуатының мәнін есептеу және графиктерді алу үшін Матлаб бағдарламалау ортасы қолданылды.

Сонымен 1550 нм және 1310 нм толқын ұзыдықтар үшін алынған тәуелділіктен сәуле көзінің спектрлік енінің мәні артқан сайн МБЕШ табалдырық қуатының шамасының артқаны байқалды.

Үшінші тарауда МБЕШ эффектісін зерттеуге арналған ғылыми-зертхананы ұйымдастырып зерттеулер жүргізуге, зертханалық құралдардың сипаттамаларына түсіндірмелер келтірілген. Алынған нәтижелерге интерпретациялар жүргізілген.

Төртінші тарауда зертханалық жұмыстарда алынған нәтижелерге аналитикалық түсіндірме беру үшін нәтижелерді тікелей өңдеу арқылы интерпретациялау жүргізіледі. Зертханалық жұмыстан алынған еңбасты нәтиже – 1310 нм мен 1550 нм толқын ұзындықтарын бірлестіріп талшық бойымен жіберген кезде МБЕШ эффектісінің төмендеу фактісін түсіндіру мақсатында жасалған математикалық модель түрлерін іздестіру және компьютерлік моделін Матлаб платформасында өңдеу жұмыстары қарастырылған.

Жұмыстың апробациясы

Жұмыстың апробациясы диссертацияның зерттеу нәтижелері төменде көрсетілген конференция еңбектерінде баяндалды:

«Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар: білім беру, ғылым, тәжірибе» атты II Халықаралық ғылыми- тәжірибелік конференциясы (Алматы, 2015);

Заманауи ақпараттық- телекоммуникациялық технологиялар атты халықаралық-ғылыми техникалық конференциясы (Киев, 2015);

Студенттер мен жас ғалымдарының «Фараби әлемі» атты Халықаралық ғылыми конференциясы (Алматы, 2016);

«Ғылыми дамудың инновациялық механизмдерін шешу мәселелері» атты Халықаралық ғылыми- тәжірибелік конференциясы (Уфа, РФ, 2016);

«Жаңа ғылым: замаға сай жағдайы және даму жолдары» атты Халықаралық ғылыми- тәжірибелік конференциясы (Оренбург, РФ, 2016);

«Техника және ғылымның өзара әсерлесуінің заманға-сай шарттары» атты Халықаралық ғылыми- тәжірибелік конференциясы (Казань, РФ, 2017).

Жарияланымдар

Жұмыс қорытындысы бойынша диссертация тақырыбына байланысты 13 мақала жарияланған, оның ішінде: 4- ҚР БжҒМ ғылыми баспаларда, 1 – Scopus базасына кіретін журнал, 1- Thomson Reuters базасына кіретін журнал, 6- Халықаралық конференцияларда, соның ішінде 4- шет елдегі конференция, 1- тезис.

Ғылыми және тәжірибелік құндылығы

Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің ғылыми құндылығы оптикалық талшық бойымен бір мезгілде терезе мөлдірлігіне сәйкес келетін қостолқынды жіберу арқылы өткізу қабілеттілігін арттыру жолдарын ұсыну.

Зерттеу нәтижелердің практикалық құндылығы талшықты оптикалық байланыс жолдарын эксплуатациялау кезінде бейсызықтық эффектiлердi төмендету арқылы сенiмдiлiгiн арттыру және диссертацияда алынған нәтижелер ендiру туралы актiлерiмен негiзделедi.

Нәтижелердің сенiмдiлiгi және негiздiлiгi

Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің сенiмдiлiгi және негiздiлiгi болып, барлық алынған эксперименттiк зерттеулер оптикалық талшықта қолданылатын заманға сай ғылыми теориялық әдiстермен сәйкес келедi.