

6D060400 – Физика мамандығы бойынша философия (Ph.D.) докторы ғылыми дәрежесін алуға ұсынылған диссертацияға

## ТҮЙІН

### **Анизотропты пьезоэлектриктердегі электромагниттік және акустикалық толқындық өрістерді матрицант әдісімен зерттеу**

ЖАКИЕВ НУРХАТ ҚУАНДЫҚҰЛЫ

**Тақырып өзектілігі.** Серпімді толқындардың түрлі физикалық қасиеттерге ие, пьезоэффект т.б. сынды, анизотропты орталарда таралуын теориялық зерттеу қатты дене акустикасының, соның ішінде акустоэлектроника іргелі мәселелерінің бірі болып табылады. Қазақстан Республикасының 2010-2014 жылдарға арналған мемлекеттік үдемелі индустриалды-инновациялық даму бағдарламасының басым бағыттарының біріне енеді.

Серпімді толқындардың конденсирленген орталарда таралуымен және өзара әсерлесуімен байланысты түрлі физикалық эффектілер акустоэлектроника, акустооптика құрылғыларында, сымсыз байланыс жүйелерінде, ультрадыбыстық дефектоскопияда, акустикалық микроскопияда, сезімтал элементтер мен датчиктер жасауда кең қолданыс тапты.

Тура және кері пьезоэффектінің диэлектриктерде болуы электромагниттік және серпімді толқындардың байлаулылығына және өзара бірін-бірі генерациялауға алып келеді. Бірақ пьезосерпімді толқындардың байлаулылығы есепті едәуір қиындатады, осының салдарынан оларды талдау үшін түрлі жуықтау әдістері қолданылады. Алайда стандартты квазистатикалық жуықтау шеңберінде серпімді және электромагниттік толқын энергиясының өзара трансформациялану үдерісінің байланысын сипаттау мүмкін емес. Сондықтан анизотропты пьезоэлектриктердегі байланысқан электромагниттік және акустикалық толқындық өрістердің таралуын жетілдірілген аналитикалық әдістермен зерттеу қиын есеп болғанымен қазіргі заманғы акустоэлектрониканың өзекті есебі.

Жұмыста сызықтық серпімділік теориясы шеңберінде және шешімдерді жазық толқын ретінде сипаттау негізінде шексіз анизотропты пьезоорталарда және шекаралық шарттары болған жағдайда өзара байланысқан акустоэлектромангниттік толқындардың таралу ерекшеліктері зерттеледі. Теориялық зерттеулер бірлескен Максвелл теңдеулері мен серпімді орта үшін қозғалыс теңдеулері негізінде жүргізілді. Осы тұрғы байлаулы толқындық өрістердің мейілінше толық сипаттамасы болып табылады.

Диссертация кейбір бөлігі 2012-14 жж. арналған жаратылыстану ғылыми саладағы іргелі зерттеулерді гранттық қаржыландыру: «Пьезоэлектрлік қасиеті бар гексагональ, тетрагональ, ромб және моноклин сингонилы орталарда өзара байланысқан серпімді және электромагниттік толқындардың таралуы» атты мем.тірк. №0112РК02379 жобасының аясында профессор С.К. Тлеуқенов жетекшілігімен орындалды.

**Жұмыс мақсаты.** Матрицант әдісі негізінде шексіз және жартылай шектеулі тетрагональді және ромбты симметриялы пьезоэлектрлік орталарда байлаулы акустикалық және электромагниттік толқындық өрістердің таралуын толық Максвелл теңдеулер жүйесін қолдана талдау жасау.

**Зерттеу нысаны.** Тетрагональді және ромб симметриялы пьезоэлектрлік орталардағы байлаулы акустикалық және электромагниттік толқындар.

**Зерттеу әдісі** – С. Тлеукеновпен құрастырылған аналитикалық матрицант әдісі. Әдіс негізінде бастапқы дифференциалды теңдеулер жүйесінің іргелі шешімдерінің құрылымын жасау жатыр. Коэффициенттер матрицасының ішкі симметриясы біртекті орталар үшін іргелі барлық матрицант элементтерін аналитикалық түрде алуға мүмкіндік береді. Коэффициенттері айнымалы қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесінің негізгі шешімдерін зерттейтін математикалық әдістерге жатады.

Диссертацияда келесі **жаңа нәтижелер** алынды:

– Электр өрістерін квазисатикалық жуықтаусыз үшөлшемді және екіөлшемді жағдайларда тетрагональ және ромб симметриялы пьезоэлектрлік орталардағы толқындар үшін коэффициенттер матрицасы алынды. Тетрагональ және ромб симметриялы біртекті пьезоорталарда таралатын толқындық векторының аналитикалық мәні алынды; байлаулы электросерпімді толқындардың толқындық векторлар мен жылдамдықтар графигі тұрғызылды.

– Фазалық және топтық жылдамдықтар арасындағы ығысу бұрышы теориялық және тәжірибелік зерттелді. Алғашқы рет ромб симметриялы пьезоэлектриктер үшін ығысу бұрышының аналитикалық түрі алынды. Топтық жылдамдық пен серпімді энергияның концентрация көрсеткіші есептелді.

– Сұйық пен пьезоэлектрик арасында шағылу-сыну есебі аналитикалық шешілді, сандық есептеу жүргізілді. Электромагниттік толқын серпімді толқын тудыратыны көрсетіліп, түсу бұрышына байланысты трансформацияның энергетикалық коэффициенттері есептелді.

– Диэлектрик пен пьезоэлектрик шекарасында көлденең-горизонталь серпімді толқынның диэлектрик-пьезоэлектрик шекарасында акустикалық өрісі ағынының шағылу және сынуы зерттелді. Күшті анизотропты пьезоэлектриктерде толқындық вектор бетінің ойыс аумағында электросерпімді толқынның тармақ өзгертпестен қосарлана сынуы байқалатыны көрсетілді, оны М.К. Балакирев пен И.А. Гишинский болжаған.

– Аналитикалық түрде шекаралары металданған және бос бет жағдайларында Гуляев-Блюстейн толқынның болу шарттары мен жылдамдық, өшу коэффициенті сынды беттік акустикалық толқындар сипаттамалары ромб және тетрагональ симметриялы пьезоэлектрлі жартылайкеңістік үшін анықталды.

– Алғашқы рет толық Максвелл теңдеулерін серпімді ортаның қозғалыс теңдеуімен бірге пайдалану нәтижесінде беттік электромагниттік толқынның пьезоортадағы және вакуумдегі өшу көрсеткіштері алынды.

### **Қорғауға ұсынылатын қағидалар.**

– Квазиэлектростатикалық жуықтаусыз алынған коэффициенттер матрицасы пьезоэлектрлік орталардағы поляризациясы және табиғаты түрлі толқындардың байланысын және өзара энергия трансформациясын көрсетеді. Ығысу бұрышы ортаның тек пьезосерпімді параметрлерімен анықталады. Матрицант әдісі топтық жылдамдықты, серпімді энергия концентрациясы көрсеткішін есептеуге мүмкіндік береді.

– Толық акустоэлектромагниттік теорияны сұйық пен пьезоэлектрик шекарасында электромагниттік толқынның шағылу-сыну есебіне пайдалану шағылған толқыннан қоздырылатын серпімді толқындарды сипаттауға мүмкіндік береді.

– Асақушті калий ниобаты пьезоэлектригнің толқындық вектор бетінің ойыс аймақтарында серпімді толқынның тармақ өзгертпестен қосарлана сынуы жүзеге асады.

– Алынған Гуляев-Блюстейн беттік акустикалық толқынының металданған және бос бет жағдайларында болу шарттары толқын сипаттамаларын (жылдамдық, өшу көрсеткіші, электромеханикалық байланыс коэффициенті) аналитикалық түрін анықтауға мүмкіндік береді. Электромагниттік толқынның пьезоортадағы және вакуумдегі өшу көрсеткіштері квазистатикалық жуықтау шеңберінде алынбайды.

**Диссертация көлемі мен құрылымы.** Диссертацияның жалпы көлемі 102 бет, 39 сурет, 6 кесте бар. Диссертация кіріспеден, 4 тарудан, түйіннен, 129 атауы бар қолданылған әдебиеттер тізімінен және қосымшадан тұрады.

**Басылымдар мен жұмыс апробациясы.** Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша 14 ғылыми жұмыс, соның ішінде, ҚР БҒМ білім және ғылым саласындағы бақылау Комитеті ұсынған басылымдарда 4, Scopus деректер базасына енетін басылымдарда 1 ғылыми жұмыс жарияланды және 1 авторлық куәлік (№1747, ИС0013171, 15.09.2014) алынды.

### **Теориялық және практикалық маңызы.**

Жұмыста матрицант әдісінің акустоэлектроника және акустооптика есептерін толық динамикалық теорияны пайдалана шешуде эффективтілігі көрсетілді. Алынған нәтижелер теориялық акустоэлектроника мен кристаллоакустиканың дамуы саласында маңызды. Нәтижелер акустоэлектроника мен кристаллоакустиканың түрлі құрылғыларын жасауда есептеулер жүргізуде қолданылуы мүмкін.