

«6D060400-Физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмысқа

АҢДАТПА

БЕКОВА ГҮЛДАНА ТАҢБАЙҚЫЗЫ

ФЕРРОМАГНЕТИКТЕРДІҢ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС СОЛИТОНДЫ МОДЕЛЬДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Диссертациялық жұмыс бейсызықты ортада спиндік толқындардың таралуын сипаттайтын Гейзенбергтің ферромагнетиктер моделі типті кейбір сызықты емес модельдерді теориялық тұрғыдан зерттеуге арналған.

Тақырыптың өзектілігі.

Соңғы кезде магниттік ортадағы бейсызықты құбылыстарды теориялық және тәжірибелік тұрғыдан зерттеуге ғалымдардың қызығушылығы артты. Бұл қызығушылық негізінен магниттік кристалдардың магнетиктеріндегі бейсызықты қасиеттері көптеген салаларда кеңінен қолданылуына байланысты. Мысалы, қазіргі компьютерлердің кейбір компоненттерінің жылдамдығы цилиндрлік магниттік домендердің динамикасына байланысты, олар негізінен ферромагнитті материалдардың бейсызықты құрылымдары болып табылады. Сонымен қатар, магниттік кристалдардың бейсызықты қозуы болуы мүмкін.

Магнетиктердегі солитондардың, яғни магниттік солитондардың маңызды мысалы ретінде магниттелу бағыттары әр түрлі біркелкі магниттелген домендерді бөлетін домен қабырғасы болып табылады. Қазіргі компьютерлерде ақпаратты жіберу және жазу үшін қолданылатын цилиндрлік магниттік домендер ерекше қызығушылық тудырады.

Бейсызықты құбылыстарды өзара әрекеттесуші спиндер – магнондар жүйелерінің элементар қозуларының өзара әрекеті тұрғысынан сипаттауға болады. Магнондық әсерлесу процестері магниттің сыртқы өрісіне реакциясын қалыптастыруда маңызды рөл атқарып қана қоймай, магниттік жүйелердің кинетикалық және релаксациялық қасиеттеріне де айтарлықтай әсер етеді. Магнетиктердегі бейсызықты құбылыстарды теориялық сипаттауда соңғы уақытқа дейін әлсіз бейсызықты ұғымы қолданылды, бұл магнондардың әрекеттесу энергиясы «еркін» магнонның энергиясымен салыстырғанда аз екенін білдіреді. Алайда, магнетиктер жағдайында магнондардың өзара әрекеттесу энергиясы «еркін» магнонның энергиясымен салыстырылатын болса, онда қарама-қайшы жағдайлар болуы мүмкін. Мұндай жағдайларда әлсіз бейсызықты сипаттама ұғымдарын қолдану енді зерттелетін әсерге сәйкес келмейді және магнетиктердегі күшті бейсызықты құбылыстарды сипаттаудың жаңа тұжырымдамасын және әдістерін енгізу қажет.

Соңғы отызжылдықта ферромагнетиктердегі спиндік толқындардың бейсызықты қасиеттерін белсенді зерттеу басталды. Басқа бейсызықты толқындық процестерді теориялық тұрғыдан зерттеуде маңызды рөл атқарған іргелі ғылымдардың бір бағыты – солитондар теориясы болып табылады.

Магнетиктердегі солитондар кеңістікте локализацияланған магниттік момент толқындары болып табылады және теориялық тұрғыдан белгілі бір шекаралық шарттарды қанағаттандыратын Ландау-Лифшиц, Гейзенберг, бейсызықты Шредингер теңдеулерінің нақты шешімдері ретінде қарастырылады. Бұл зерттеулер маңызды қолданбалы қызығушылық ие, мысалы, телекоммуникациялық жүйелерде, лазерлік жүйелерде, бейсызықты тарату желілерінде, оптикалық ауыстырып-қосқыштарда және байланыс желілерінде деректерді өңдеу және беру үшін құрылғыларды құруда қолдану.

Солитондар статикалық және динамикалық болып екіге бөлінеді. Мысалы, ораушы толқын солитондары болып табылатын динамикалық солитондар магнитті реттелген ортада және оптикалық талшықтарда пайда болуы мүмкін. Ферромагниттік пленкалар мен олардың негізінде жасалған құрылымдар аса жоғары жиілікті сәулеленуде ораушы толқынды солитондарды зерттеу үшін қолайлы. Мұндай ортада спиндік толқындар таралуы мүмкін. Ораушы толқын спинінің солитонын бейсызықты Шредингер теңдеуі арқылы сипаттауға болады. Кейбір зерттеулер солитондық процестерді дәлірек сипаттау үшін классикалық бейсызықты Шредингер теңдеуіне сызықты және бейсызықты өшу, қозу және жоғары дисперсиялық мүшелер сияқты қосымша мүшелерді қосу арқылы модификациялау қажет екенін көрсетеді. Демек, қазіргі уақытта көптеген зерттеушілер эксперименттерде байқалатын солитондық құбылыстарды сипаттайтын жаңа теориялық модельдерді әзірлеумен айналысуда. Сол себепті бұл диссертацияда келтірілген нәтижелер өзекті болып табылады.

Ғалымдар бейсызықты ортада, яғни т.б. орталарда спиндік толқындардың таралу ерекшеліктерін зерттей бастағаннан кейін, ферромагнетиктің солитондық модельдерінің түрлері қарқынды дами бастады. Бұл зерттеушілерге бүкіл бейсызықты динамиканы егжей-тегжейлі зерттеуге мүмкіндік береді. Магниттердегі солитондарды зерттеудегі негізгі мәселелері келесі себептерге байланысты:

Біріншіден, көптеген зерттеушілер тәжірибелерде байқалған солитонды құбылыстарды сипаттайтын жаңа теориялық модельдерді жасауға назар аударуда.

Екіншіден, бірқатар жұмыстар диссипативті емес модельдер шеңберіндегі зерттеулерге арналғандықтан, көптеген қызықты (физикалық тұрғыдан) сұрақтар туындайды: магниттік дипольдік өзара әрекеттесу кезінде солитондар қалай өзгереді деген сияқты.

Жоғарыда аталған математикалық физиканың заманауи мәселелеріне сүйене отырып, **«Ферромагнетиктердегі сызықты емес солитонды модельдерді зерттеу»** атты диссертациялық жұмыс бейсызықты ортада спиндік толқындардың таралуын сипаттайтын Гейзенбергінің ферромагнетиктер моделі типті кейбір бейсызықты модельдерді теориялық тұрғыдан зерттеуге арналған.

Жұмыстың мақсаты: Ферромагнетиктердің Гейзенберг типті кейбір бейсызықты модельдерін теориялық тұрғыдан зерттеу және спиндік

толқындардың өздігінен әрекеттесуін сипаттайтын теңдеулердің солитондық шешімдерін зерттеу.

Жоғарыдағы айтылған мақсатқа жету үшін келесі **міндеттер** қойылды:

1. Жалпыланған Гейзенбергтің ферромагнетик теңдеуіне геометриялық және калибровті эквивалентті болатын бейсызықты эволюциялық теңдеулерді анықтау.

2. Келісілген көздері бар жалпыланған Гейзенбергтің ферромагнетик модельдері болып табылатын теңдеулердің дифференциалдық геометриясын зерттеу.

3. Ферромагнетиктердегі спиндік толқындардың әрекеттесуін сипаттайтын бейсызықты Шредингер теңдеуі типті теңдеулердің солитондық шешімдерін алу және олардың өзгеру динамикасын зерттеу.

Зерттеу нысандары. Спиндік жүйелердің бейсызықты модельдері.

Зерттеу пәні. Бейсызықты Шредингер теңдеуі мен Гейзенбергтің жалпыланған ферромагнетик теңдеуінің солитондық шешімдерін іздеу.

Зерттеу әдісі. Бейсызықты толқындардың динамикасын сипаттайтын солитондық шешімдерді алу үшін Дарбу түрлендіру әдісі қолданылды, ол солитондар динамикасының эволюциясын зерттеу үшін белсенді түрде қолданылды.

Диссертациялық жұмыстың **жаңалығы мен ерекшелігі, алғаш рет:**

1. Гейзенбергтің жалпыланған ферромагнетик теңдеуі мен Конно-Ооно теңдеуімен арасында геометриялық және калибровті байланыс орнатылды. Конно-Ооно теңдеуінің солитондық шешімі алынды.

2. Келісілген көздері бар Гейзенбергтің жалпыланған ферромагнетик моделі мен жалпыланған комплексті қысқа импульсті теңдеуінің дифференциалдық геометриясы зерттелінді.

3. Ферромагнетиктердегі спиндік толқындардың өздігінен әрекеттесуін сипаттайтын сызықты емес Шредингер теңдеуі типті теңдеулердің бір және екі солитондық шешімдері құрылды, олардың сақталу заңдары табылды.

Қорғауға арналған негізгі тұжырымдары:

1. Келісілген көздері бар Гейзенбергтің жалпыланған ферромагнетик моделінде спиндік вектор \mathbf{A} және базистік вектор \mathbf{e}_1 тепе-тең ($\mathbf{A} \equiv \mathbf{e}_1$) болғанда, комплексті қысқа импульсты теңдеудің жалпыланған түрімен өзара геометриялық және калибровті эквивалентті болады.

2. Келісілген көздері бар Гейзенбергтің жалпыланған ферромагнетик моделінде потенциалы $\mathbf{W} = 0$ болса, онда ол Гейзенбергтің жалпыланған ферромагнетик моделіне келеді, ол комплексті байланысқан дисперсиясыз Конно-Ооно теңдеуімен геометриялық эквивалентті болады және оның шешімі солитондық шешімге сәйкес келеді.

3. Ферромагнетиктердегі спиндік толқындарды сипаттайтын екі өлшемді бейсызықты Шредингер теңдеуінің $\delta = 1$ «тартылыс» кезінде бір, екі солитондық шешімдері болады және оның екі солитонның соқтығысуы серпімді, яғни әсерлескеннен кейін өзінің пішінін мен жылдамдығын сақтайды.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы. Диссертациялық жұмыс теориялық сипатта. Алынған нәтижелерді солитондар

теориясында, мысалы, Гейзенбергінің ферромагнетик теңдеулерінің динамикасын зерттеуде қолдануға болады. Сондай-ақ жұмыс нәтижелерін солитонды, солитон тәрізді шешімдерді алу үшін бейсызықты ортадағы оптикалық тарату желілеріндегі электромагниттік толқындар және т.б. жұмыстар үшін қолданылады. Диссертацияның кейбір нәтижелерін элективті курстарды («Солитондар теориясы» және «Гидродинамикалық жүйелердің теориясы» лекциялық курстары) оқығанда оқу үдерісінде пайдалануға болады.

Нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі. Ғылыми нәтижелердің сенімділігі импакт-факторы жоғары шетелдік журналдарда және халықаралық шетелдік конференциялар материалдарының жинақтарындағы жарияланған жұмыстарға шетелдік ғалымдардың сілтеме жасауымен расталады.

Автордың жеке үлесі. Зерттеу барысында автор ғылыми жетекшінің басшылығымен барлық есептеулерді орындай отырып, жұмыстың барлық кезеңдеріне қатысып, табылған шешімдердің графиктерін тұрғызып, басылымдарды өзі дайындады.

Диссертациялық жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер келесі конференцияларда баяндалып, талқыланды:

1. 5th International conference Modern problems of applied mathematics and information technology - Al-Khorezmiy (Bukhara, 2016. –November 9-10).

2. 3rd International Conference “Astrophysics, Gravity and Cosmology” (Astana 2016. –November 30 – December 2).

3. 22th international conference Geometry, Integrability and Quantization (Varna, 2019. – June 8-13).

4. The 26th international conference on Integrable Systems and Quantum symmetries (Prague, 2019. – July 8 - 12).

Сонымен қатар, алынған нәтижелер Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің жалпы және теориялық физика кафедрасында және Еуразиялық халықаралық теориялық физика орталығының семинарларында баяндалып, талқыланды.

Диссертация тақырыбы бойынша жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша қазақстандық және шетелдік журналдарда 12 мақала жарияланды, оның ішінде Web of Science деректер және Scopus базаларына енгізілген импакт-факторы жоғары шетелдік журналда 2 мақала (Q2, IF= 1,783 және IF=3,1) және Scopus (Процентиль 56 және 73, физика және астрономия бағыты); ҚР ҒЖБМ Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған мерзімді басылымдарындағы 3 мақала; Web of Science, Scopus дерекқорларындағы индекстелген журналдардың конференция жинағындағы 7 мақала жарияланды. Негізгі жұмыстар:

1. Zhassybayeva M., Bekova G., Yesmakhanova K., Myrzakulov R. Integrable motions of curves of the induced Fokas–Lenells equation // *Optik*. -2023. –Vol. 286. – P.170979. Impact Factor 2022 – 3.1. Q2, Процентиль 73.

2. Yesmakhanova K., Nugmanova G., Shaikhova G., Bekova G., Myrzakulov R. Coupled Dispersionless and Generalized Heisenberg Ferromagnet Equations with Self-Consistent Sources: Geometry and Equivalence // *International*

Journal Geometrical Methods in Modern Physics. – 2020. – Vol. 17, No 7. – P. 2050104. Impact Factor 2019 – 1.287. Q2, Процентиль 47.

3. Yesmahanova, K.R., Shaikhoval, G.N., Bekoval, G.T., Myrzakuloval, Z.R. Determinant representation of Darboux transformation for the (2+1)-dimensional Schrodinger-Maxwell-Bloch equation //Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2016. – Vol. 441. – P. 183-198.

4. Yesmakhanova K., Shaikhoval G., Bekoval G. Soliton solutions of the Hirota's system //AIP Conf. Proc. –2016. – Vol. 1759. –P. 020147. Процентиль 15.

5. Shaikhoval G., Yesmakhanoval K., Bekoval G., Ybyraiymoval S. Conservation laws of the Hirota-Maxwell-Bloch system and its reductions // Journal of Physics: Conference Series. – 2017.–Vol. 936, N1. –P. 012098. Процентиль 22.

6. Bekoval G., Shaikhoval G., Yesmakhanoval K. Travelling wave solutions for the two-dimensional Hirota system of equations // AIP Conference Proceedings. – 2018.–Vol. 1997, –P. 020039. Процентиль 15.

7. Bekoval G., Shaikhoval G., Yesmakhanoval K., Myrzakulov R. Conservation Laws for Two Dimensional Nonlinear Schrodinger Equation // AIP Conference Proceedings. –2019.–vol. 2159, –P.030003. Процентиль 15.

8. Bekoval G., Shaikhoval G., Yesmakhanoval K., Myrzakulov R. Darboux transformation and soliton solution for generalized Konno-Oono Equation // Journal of Physics: Conference Series. –2019. –vol.1416. –P. 012003. Процентиль 22.

9. Ismailoval F.Ye., Bekoval G., Shaikhoval G.N. Traveling wave solutions for the two-dimensional generalized nonlinear Schrodinger equation // Вестник КазННТУ. – 2019. – №4 (134). - стр. 534-540.

10. Бекова Г.Т., Мусатай С.С., Абыканова Б.Т. Решения типа разрушительных волн двумерного нелинейного уравнения Шредингера // Вестник КазННТУ. -2020. №2 (138). стр.-715-721.

Н-индекс және сілтемелер. Докторант Г.Т. Бекованың Web of Science базасында h-index-7 (Citation 114) және Scopus базасында h-index-9 (Citation 124) ғылымиметриялық көрсеткіштерге ие.

Диссертация тақырыбының ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы. Жұмыс келесі жобалар бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес жүргізілді:

1. «Исследование обобщенных нелинейных уравнений Шредингера и их интегральных редукций» (2015-2017), мемл. тіркеу № 115PK01346. Келесімшарт №268, 04.02.2015 ж. Жетекшісі: К.Р. Есмаханова.

2. «Солитондар теориясы негізінде ферромагнетиктердегі толқындық процестерді моделдеу» (2022-2024). АР 14972426. Жетекшісі: Г.Т. Бекова.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 3 бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімі 195 атаудан тұрады. Жұмыстың көлемі 101 беттен тұратын компьютерлік мәтіннен, оның ішінде 12 суретті қамтиды.