

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

САГИДУЛЛАЕВА ЖАННА МУРАТБЕКОВНА

**КЕЛІСІЛГЕН ПОТЕНЦИАЛДАРЫ БАР ЛОКАЛЬДІ ЖӘНЕ ЛОКАЛЬДІ
ЕМЕС ИНТЕГРАЛДАНАТЫН СПИНДІК ЖҮЙЕЛЕР**

Диссертациялық жұмыс солитон теориясы шеңберінде кейбір интегралданатын локальді және локальді емес жалпыланған спиндік модельдерді зерттеуге арналған.

Тақырыптың өзектілігі

Қазіргі кезде солитондар теориясы қарқынды дамуда. Солитон – сызықты емес ортада таралатын құрылымдық тұрақты жалғыз толқын. Ерекше қасиеттеріне байланысты солитондар бөлшектер сияқты әрекет етеді (бөлшек тәрізді толқын): бір-бірімен немесе басқа да бұзылулармен әрекеттескен кезде олар жойылмайды, бірақ құрылымын өзгеріссіз сақтай отырып, қозғала береді. Бұл қасиет деректерді кедергісіз ұзақ қашықтыққа жіберу үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұл солитондарды пайдалану үшін үлкен мүмкіндіктер ашады. Солитондар мен солитон тәрізді толқындарды физиканың әртүрлі салаларында байқауға болады. Солитондардың математикалық сипаттамасы да жасалды. Соңғы онжылдықтарда сызықты емес эволюциялық теңдеулер теориясының дамығаны сонша, локальді емес модельдер пайда болды: кеңістіктік, уақыттық және кеңістіктік-уақыттық.

Спиндік жүйелерді зерттеу қазіргі физиканың негізгі мәселелерінің бірі болып табылады. Дегенмен, локальді емес интегралдық спиндік жүйелерді сипаттауға қатысты сұрақтар ашық күйінде қалып отыр және бұл бағыт соңғы жылдары физика-математика саласындағы зерттеулердің белсенді бағыттарының біріне айналды. Солитон теориясының шеңберінде спиндер мен тізбектердің өзара әрекеттесуінің анықтамасы өте қысқаша интегралдық жүйелер теориясын қамтиды. Бейсызықты эволюция теңдеулерінің маңызды түрлері – магниттердегі толқындық пакеттердің таралу динамикасын сипаттайтын интегралды спиндік жүйелер – жалпыланған Ландау-Лифшиц теңдеуін (ЖЛЛТ) қамтиды. Бұл зерттеуде келісілген потенциалдары мен оның эквиваленттері бар ЖЛЛТ зерттейді. Спиндік жүйелерді, сондай-ақ өздігінен келісілген потенциалдары бар жүйелерді іргелі түсіну және оларды зерттеу магниттік материалдар мен спин динамикасы туралы түсінігімізді кеңейтуге көмектеседі. Бұл спиндік толқындардың құрылымы, магниттік домендер және спиндер арасындағы өзара әрекеттесу сияқты әртүрлі аспектілерді зерттеуге мүмкіндік береді, бұл магнетизмге негізделген жаңа материалдар мен технологияларды әзірлеу үшін маңызды.

Теориялық физика тұрғысынан келісілген потенциалдары бар интегралды спиндік жүйелер үлкен қызығушылық тудырады. Олар дәл аналитикалық шешімдерді алуға, сондай-ақ солитондардың - тұрақты қозғалатын сызықты

емес толқындық құрылымдардың қасиеттерін зерттеуге мүмкіндік береді. Спиндік жүйелердегі солитондарды зерттеу ақпаратты беру мен өңдеудің жаңа әдістерін жасау үшін маңызды мәнге ие. Бұл бағыттағы зерттеулер спинтроника мен магнитоэлектрониканың дамуына ықпал етеді. Спинтроника зерттеудің көп салалы бағыты болып табылады және оған физика, материалтану, электроника және технология сияқты әртүрлі бағыттағы ғалымдар мен зерттеушілер қатысады. Технологияның бұл бағыттары электрондардың спиндік импульсінің қасиеттерін пайдалануға және бақылауға негізделген. Әртүрлі жүйелердегі айналдыру динамикасын түсіну және басқару магниттік жад құрылғылары, спинтрондық транзисторлар және логикалық элементтер, магниттік датчиктер және т.б. сияқты тиімді және қуатты құрылғыларды құрудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Келісілген потенциалы бар спиндік жүйелер саласындағы зерттеулердің нәтижелері әртүрлі технологиялық салаларда тікелей қолданылуы мүмкін. Мысалы, осы жүйелер негізінде жаңа материалдар мен құрылымдарды жасау спинтроника, магнитоэлектроника және ақпараттық технологиялар салаларында тиімдірек және қуатты құрылғыларды жасауға әкелуі мүмкін. Сонымен қатар, ол математикалық физиканың іргелі аспектілерін дамытуға ықпал етеді және ғылым мен техниканың басқа салаларында қолдану мүмкіндігіне ие.

Жұмыстың мақсаты потенциалы бар локальды және локальды емес интегралданатын спиндік жүйелерді теориялық зерттеу, солитон шешімдерін іздеу.

Мақсатқа жету үшін келесі **міндеттерді** шешу қажет болды:

1. Бір өлшемді магнетиктер мысалында ферромагниттік материалдардағы солитондардың пайда болуын сипаттау.
2. Жалпыланған Гейзенберг теңдеуінің солитондық шешімдерін табу.
3. Шредингердің бейсызықты теңдеулер тобының теңдеуіне калибровты эквивалентті жаңа спин жүйесін, оның локальды және локальды емес жағдайлар үшін Лакс ұсынысын анықтау.

Зерттеу объектісі

Ферромагниттік материалдардағы спиндік толқындары және спин динамикасы.

Зерттеу пәні

Ферромагниттік материалдардағы спиндік әсерлесу динамикасын, соның ішінде потенциалдың болу шартын дұрыс сипаттайтын солитон және солитон тәрізді шешімдері.

Зерттеу әдістері

Диссертациялық жұмыста толқындық шешімдерін табу үшін тікелей Хирота әдісі, Дарбу түрлендіру әдісі және тұрақты және айнымалы коэффициенттері бар теңдеулердің шешімін табудың кеңейтілген $\left(\frac{G'}{G^2}\right)$ -әдісі сияқты солитон теориясының әдістері қолданылды. Жоғарыда келтірілген әдістер интегралданатын спиндік жүйелердің дәл және аналитикалық шешімдерін табу үшін өте оңтайлы болып табылады. Олар сондай-ақ

шешімдердің әртүрлі типтерінің жүйелі құрылысын әзірлеуге мүмкіндік береді: солитон, қиратушы толқындар, бризер, домен қабырғалары және т.б.

Зерттеудің жаңалығы

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы ферромагнетиктерде магниттелу векторының қозғалысын сипаттайтын жаңа спиндік модельдің алынғанында. Магниттелу векторының және спиндік толқындардың әрекетін зерттеу берілген ортада солитондардың пайда болу мүмкіндігі туралы гипотезаны тұжырымдауға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, келесі нәтижелер алынды:

- Шредингер типті сызықты емес теңдеулер тобының теңдеуіне эквивалентті калибровті жаңа спиндік жүйесі.
- Солитон теориясы шеңберінде алынған спиндік модельдің интегралдылығын дәлелдейтін Лакс көрінісі.
- Потенциалы бар локальды емес жалпыланған спиндік модельдің шешімдерінің дәл солитон және солитон тәрізді түрлері.
- Локальды емес спиндік модельдердің солитон және солитон тәрізді шешімдерін табу әдістерін жалпылау. Жұмыста қарастырылған модельдердің локальды емес нұсқалары күрделі құрамдас бөліктермен қосымша кеңейтуді қамтамасыз ете алады. Осы жағдайда пайда болатын қосымша теңдеулердің жұбына локальдылықты қалай қосуға болатынын көрсетіледі. Локальдылық сызықты емес теңдеулерді шешудің стандартты процедуралар түрлерінде жүзеге асырылатыны сияқты.

Бұл нәтижелер солитондар теориясындағы әдістерді дамытуға, интегралданатын спиндік жүйелерді зерттеуге, сондай-ақ қарастырылатын модельдердің P - және PT -симметрияларының болуына байланысты көзқарастарды кеңейтуге ықпал етеді.

Қорғауға арналған негізгі тұжырымдар:

1. Келісілген потенциалы бар жалпыланған Ландау-Лифшиц теңдеуіндегі a коэффициенті S_3 спин векторы мен W_3 потенциалдың құраушыларын динамикасына әсер етеді, бұл коэффициенттің өсуімен потенциал амплитудасының артуы байқалады.

2. Шредингердің сызықты емес теңдеулерінің типті жалпыланған теңдеуіне калибровті эквивалентті алынған жаңа спин жүйесі ферромагнетиктерде магниттелу векторының қозғалысын сипаттайды; локальды емес жағдайда S спиндік матрица эрмиттік емес және $S(t, x) = \sigma_3 S^\dagger(t, -x) \sigma_3$ PT -симметриясына ие, ал локальды жағдайда S эрмиттік болады.

3. Кеңейтілген жалпыланған $\left(\frac{G'}{G^2}\right)$ -кеңейту әдісі тұрақты және айнымалы коэффициенттері бар бейсызықты эволюциялық теңдеулерінің шешімдерін табуға мүмкіндік береді, ал негізгі $\left(\frac{G'}{G^2}\right)$ -кеңейту әдісін тек тұрақты коэффициенттермен қолдануға болады.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы

Бұл диссертация теориялық зерттеулерге жатады. Алынған нәтижелер бір өлшемді ферромагнетиктерде спиндік толқындарды сипаттайтын процестерді сипаттауға мүмкіндік береді және спинтроникада маңызды қолданбаларға әкелуі мүмкін. Алынған нәтижелерді ферромагниттік материалдардағы спиндердің динамикасын зерттеуде, сондай-ақ жоғары оқу орындарында бейіндік пәндерді оқытуда қолдануға болады.

Автордың жеке үлесі

Табылған шешімдердің аналитикалық есептеулері мен графиктерін автор өз бетінше жүргізді. Диссертация тақырыбы бойынша барлық жарияланымдар авторың тікелей қатысуымен дайындалған. Мәселені қою, зерттеу әдістерін таңдау және нәтижелерін талқылау ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді.

Диссертациялық жұмысты апробациясы

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер төменде көрсетілген конференцияларда баяндалып, талқыланды:

1. The International Conference in Advancement in Mathematical Sciences (AMS-2015) Анталия, Түркия 2015.

2. The International Scientific Conference «Modern problems of applied mathematics and information technology – Al-Khorezmiy 2016» Бұхара, Өзбекстан 2016.

3. The first Annual Meeting of Kazakh Physical Society, Nazarbayev University, Астана 2018.

4. «Функционалдық талдау және математикалық физика» ғылыми зерттеу тобының семинарлары (Калифорния мемлекеттік университетінің физика кафедрасы, Фресно қ., АҚШ) 2018.

5. International Conference New Trends in the Applications of Differential Equations in Sciences, Әулие Константин мен Елена, Болгария 2019.

6. The XXVIth International Conference on Integrable Systems and Quantum symmetries (ISQS-26) Прага, Чехия 2019.

7. «Уфа күзгі математикалық мектебі – 2021», Башқұрт мемлекеттік университеті, Уфа, Башқұртстан, Ресей, 2021.

8. The XII. International Symposium on Quantum Theory and Symmetries (QTS12) Прага, Чехия.

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

Жарияланымдар

Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша 19 мақала жарияланды, оның ішінде: Web of Science және Scopus халықаралық ақпараттық ресурстарына енгізілген импакт-факторы нөлдік емес журналдарда 2 мақала; Web of Science және Scopus деректер базасында индекстелген шетелдік халықаралық конференциялар жинақтарында 3 мақала, ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК ұсынған мерзімді басылымдарда 3 мақала; Қазақстан Республикасының халықаралық конференциялар материалдарындағы 11 мақала мен тезис.

1. Sagidullayeva Zh., Nugmanova G., Myrzakulov R., Serikbayev N.,

Integrable Kuralay Equations: Geometry, Solutions and Generalizations// Symmetry. – 2022. – Vol. 14, No 7. – P. 1374. Impact Factor 2022 – 2.7. Q2, Процентиль 72.

2. Mohanty S. K., Pradhan B., Sagidullayeva Zh., Myrzakulov R., Dev A. N., Exact solutions for the Bogoyavlensky-Konopelchenko equation with variable coefficients with an efficient technique// Alexandria Engineering Journal. –2023.– Vol. 72. – P. 287-293. Impact Factor 2022 – 6.8. Q1, Процентиль 88.

3. Nugmanova G., Myrzakulov R., Sagidullayeva Zh. Hirota's method for a spin model with self-consistent potential // Journal of Physics: Conference Series, 804, 2017. - 012035.

4. Sagidullayeva, Z., Nugmanova, G., Myrzakulov, R. Integrable surfaces induced by generalized Landau-Lifshitz equation with self-consistent potential // Journal of Physics: Conference Series, 2019.

5. Sagidullayeva, Z., Nugmanova, G., Myrzakulov, R. Dispersionless limit of the Heisenberg ferromagnet equation with self-consistent potential // AIP Conference Proceedings, 2019.

6. Нугманова Г.Н., Сагидуллаева Ж.М. Обобщенная спиновая модель с векторным потенциалом и ее решение // Вестник Карагандинского университета, Серия Математика.-Караганда, 2017.-№2(86).-С. 91-96.

7. Сагидуллаева Ж.М. О калибровочной эквивалентности двухслойного уравнения М-ХСІХ и двухкомпонентного уравнения Шредингера-Максвелла-Блоха // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия физика, астрономия. – Астана, 2018 –№3(124). – С.41-46.

8. Albatyrova M.B., Sagidullayeva Zh.M. Rogue wave and soliton solution for the nonlinear integrable spin model // Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2023. – Vol. 2., No 346. – P. 19-26.

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы

Жұмыс келесі жобалар бойынша гранттық қаржыландыру жобалары аясында ғылыми-зерттеу жоспарларына сәйкес жүргізілді:

1. 0893/ГФ4 «Келісілген қайнаркөзді жалпыланған Ландау-Лифшиц теңдеуін және оның интегралданатын редукцияларын зерттеу» 2015-2017 (жетекшісі Г.Н. Нугманова).

2. AP08857372 «Беттердің/көпбейнелердің геометриясы мен интегралданатын сызықты емес эволюциялық теңдеулердің байланысын зерттеу» 2020-2022 (жетекшісі Нұғманова Г.Н.).

3. AR14972423 «Кейбір интегралданатын локальді және локальді емес жалпыланған спиндік жүйелерді зерттеу» (2022-2024 жылдарға арналған «Жас Ғалым» жобасы бойынша жас ғалымдардың зерттеулерін гранттық қаржыландыру жетекшісі Сағидуллаева Ж.М.).

Диссертацияның көлемі мен құрылымы

Диссертация кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 90 бетте ұсынылған, 22 суреттен, 279 формула берілген, пайдаланылған әдебиеттер тізімі 104 атаудан тұрады.