

ЖАСЫБАЕВА МЕРУЕРТ БАКТЫКЕНОВНА

«Кейбір интегралданатын жалпыланған сызықты емес Шредингер типті теңдеулерді және олардың спиндік жүйелерін зерттеу»

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

АННОТАЦИЯСЫ

Тақырыптың өзектілігі

Сызықты емес Шредингер типті теңдеулер мен олардың жалпыламаларының солитонды шешімдері әр түрлі физикалық жүйелерде қалыптасатын тұрақты локализацияланған толқындық құрылымдарды сипаттауда маңызды орын алады. Мұндай құрылымдар дисперсия мен бейсызықтықтың өзара теңгерілуі нәтижесінде пайда болып, таралу және өзара әсерлесу кезінде пішінін сақтайды. Осы қасиеттер солитондарды сызықты емес оптикада, плазма физикасында, магниттік орталарда, гидродинамикада және кванттық конденсацияланған жүйелерде негізгі зерттеу объектілерінің біріне айналдырады.

Ультрақысқа импульстерді, жоғары энергиялы толқындық пакеттерді және көп модальды орталарды зерттеу қажеттілігі классикалық сызықты емес Шредингер теңдеуі шеңберінен шығатын неғұрлым дәл математикалық модельдерді талап етеді. Осындай модельдердің бірі – Фокас-Ленэллс (ФЛ) теңдеуі, ол сызықты емес Шредингер типті интегралданатын теңдеу болып табылады және күшті бейсызықты әрі дисперсиялық орталарда ультрақысқа оптикалық импульстердің таралуын сипаттайды. Классикалық теңдеумен салыстырғанда, бұл модель өздігінен күрттену, бейсызық дисперсия және фазалық модуляцияны сипаттайтын қосымша мүшелерді қамтиды.

Алайда нақты физикалық жүйелер көбіне кеңістіктік құрылымы күрделі және толқындық өрістері векторлық сипатқа ие болады. Осыған байланысты Шредингер типті теңдеулердің көп өлшемді және көп компонентті жалпыламалары ерекше мәнге ие. Мұндай модельдер бірнеше компоненттердің өзара әрекеттесуін және энергияның қайта бөлінуін ескеруге мүмкіндік береді, бұл күрделі толқындық құрылымдарды модельдеуде маңызды.

Сонымен қатар, маңызды бағыттардың бірі – туындылы және жоғары ретті дисперсияны, толқындық пакеттердің өздігінен күрттенуін және ортаның біртектісіздігін ескеретін жоғары ретті жалпыланған СЕШТ (ЖСЕШТ) зерттеу болып табылады. Мұндай эффектілер фемтосекундтық импульстер мен экстремалды толқындық құбылыстарды (бризерлер, қиратушы толқындар) сипаттауда шешуші рөл атқарады. Нақты аналитикалық шешімдер күрделі сызықсыз режимдердің физикалық табиғатын терең түсінуге және орта параметрлері мен локализацияланған толқын сипаттамалары арасындағы байланысты анықтауға мүмкіндік береді.

Калибрлік түрлендіру арқылы Шредингер типті теңдеулердің спиндік жүйелермен байланысы солитондарды геометриялық тұрғыдан интерпретациялауға және олардың тұрақтылығын зерттеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, дисперсиялық шектерді зерттеу соққы толқындары мен өткір фронттарды сипаттауда маңызды.

Осылайша, жұмыстың өзектілігі жалпыланған, көп өлшемді және көп компонентті интегралданатын модельдерді кешенді зерттеу қажеттілігімен анықталады. Алынған нәтижелер локализацияланған толқындардың қалыптасуы мен эволюциясын терең түсінуге және оларды сызықсыз оптикада, плазмада және кванттық жүйелерде қолдануға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты:

Жалпыланған сызықты емес Шредингер типті теңдеулер мен олардың спиндік жүйелерін теориялық тұрғыда зерттеу, олардың шешімдерін анықтау және олардың физикалық сипаттамаларын зерттеу. Осы мақсатқа жету үшін келесі нақты **міндеттер** қойылды:

1. Жалпыланған сызықты емес Шредингер типті теңдеулердің шешімдерін табу;
2. ФЛ теңдеуінің спиндік жүйесінің шешімдерін табу;
3. $(2+1)$ -өлшемді және екі компонентті $(2+1)$ -өлшемді ФЛ теңдеулерін және олардың спиндік жүйелерін құру, олардың шешімдерін алу.

Зерттеу нысандары: интегралданатын жалпыланған сызықты емес Шредингер типті теңдеулер мен олардың спиндік жүйелері.

Зерттеу пәні: сызықты емес Шредингер типті теңдеулердің және ФЛ теңдеуінің спиндік жүйесінің солитонды шешімдерін іздеу.

Зерттеу әдістері: Дарбу түрлендіруі, Хирота әдісі және билинеаризациялау сияқты интегралданатын әдістерді қолдану, сондай-ақ ФЛ теңдеуіне эквивалентті спиндік жүйені алу үшін калибрлік түрлендіру.

Ғылыми жаңалығы, алғаш рет:

1. Жалпыланған сызықты емес Шредингер типті теңдеулер мен ФЛ теңдеуінің спиндік жүйесінің әр түрлі шешімдерін табылды.
2. Бір және екі компонентті $(2+1)$ -өлшемді ФЛ теңдеулері мен олардың спиндік жүйелері құрылып, олардың ДТ-лері жасалып, нақты бір солитонды және екі солитонды шешімдері алынды.
3. ФЛ теңдеуімен индукцияланған солитонды бет, ФЛ теңдеуі мен оның спиндік жүйесінің дисперсиясыз шектері және комплексті байланысқан дисперсиясыз жүйенің спиндік жүйесінің солитонды шешімі ұсынылды.

Диссертациялық жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы

Бұл жұмыста жалпы жалпыланған сызықты емес Шредингер типті теңдеулер мен олардың спиндік жүйелерінің интегралданатын табиғатын, солитонды шешімдерін және геометриялық қасиеттерін зерттеуге бағытталған. Бұл зерттеу нәтижелері теориялық жағынан математикалық физика мен дифференциалдық геометрия әдістерін біріктіру арқылы жаңа шешімдер мен модельдер жасауға мүмкіндік береді. Практикалық жағынан олар оптика, плазма физикасы, магниттік жүйелер және телекоммуникация

салаларында локализацияланған толқындарды сипаттау мен басқаруға, сондай-ақ сызықты емес құрылғылар мен технологияларды жобалауға қолданылады. Осылайша, жұмыс теориялық іргетасты кеңейтіп, нақты физикалық жүйелерде қолдануға мүмкіндік беретін практикалық мәнге ие.

Қорғауға шығарылатын негізгі қағидаттар:

1. Интегралданатын сызықты емес Шредингер типті теңдеулер үшін Дарбу түрлендіру арқылы нақты локализацияланған толқындық шешімдер алынады. Уақытқа тәуелді дисперсияның $a_1(t)$, $a_3(t)$ және бейсызықтықтың $a_2(t)$ коэффициенттері толқындардың локализациясын, амплитудасын, тұрақтылығын және траекториясын басқарады, ал λ спектрлік параметр локализацияланған толқындардың әр түрлі типтері арасында ауысуды қамтамасыз етеді.

2. ФЛ теңдеуі мен оның спиндік жүйесі $\Phi = g^{-1}\Psi$ (мұндағы $g(x,t)$ унитарлы 2×2 өлшемді матрица және $g = \Psi|_{z=\lambda_0}$) калибрлік түрлендіру арқылы эквивалентті, бұл бейсызықты толқындық процестерді спиндік жүйелер арқылы сипаттауға мүмкіндік береді және интегралданатын құрылымын сақтайды.

3. Үйлесімділік шарттары негізінде $(2+1)$ -өлшемді және екі компонентті $(2+1)$ -өлшемді ФЛ теңдеулері алынады. Лакс жұптары олардың интегралданатындығын дәлелдейді. Алынған солитонды шешімдер бейсызықты толқындардың локализациясын, тұрақтылығын және серпімді өзара әрекеттесуін сипаттайды.

Нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі

Зерттеу нәтижелерінің сенімділігі мен негізділігі Web of Science/Scopus деректер базасына енгізілген халықаралық рецензияланатын журналдарда және шетелдік конференциялар материалдарының жинақтарында жарияланған еңбектермен, сондай-ақ оларға шетелдік ғалымдардың жасалған сілтемелерімен дәлелденеді.

Автордың жеке үлесі

Диссертациялық зерттеу жұмысының барлық сатыларына автор тікелей қатысты. Ол зерттеу мәселесін қою, әдістемелерді әзірлеу, есептеулер жүргізу, нәтижелерді талдау, қорытындылар жасау және ғылыми мәтіндерді дайындау жұмыстарын орындады. Барлық жарияланған мақалаларда автордың ғылыми үлесі айқын көрініс тапқан және диссертация мазмұнын толық қамтиды.

Жұмыстар мен жарияланымдардың апробациясы

Жұмыстың негізгі нәтижелері халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалып, талқыланды: «Ломоносов – 2018» (Астана, 2018); International Conference on Technology, Engineering and Science (Antalya, 2018); «Ғылым және Білім – 2018, 2019» (Астана); «Анализдің, дифференциалдық теңдеулердің және алгебраның өзекті мәселелері» (Астана, 2019); 8th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences (Bratislava, 2019); 4th International Conference «Astrophysics, Gravity and

Cosmology» (Astana, 2019); The 26th International Conference on Integrable Systems and Quantum Symmetries (Prague, 2019).

Бұдан бөлек, жұмыстың негізгі қорытындылары Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ-нің «Жалпы және теориялық физика» кафедрасында өткізілген семинарлар барысында баяндалып, пікір алмасу жүргізілді.

Зерттеу тақырыбы бойынша жарияланған ғылыми жұмыстар
Диссертациялық зерттеу нәтижелері бойынша 18 ғылыми жұмыс жарияланды. Оның ішінде 4 мақала шетелдік жоғары импакт-факторлы журналдарда жарық көріп, Web of Science және Scopus базаларында индекстелген. Сонымен қатар, осы базалардағы журналдардың конференция материалдарында 2 мақала, шетелдік конференцияларда 1 мақала, ҚР ҒЖБМ ұсынған басылымдарда 5 мақала және басқа басылымдарда 1 мақала жарияланды. Негізгі жұмыстар:

1. **Zhassybayeva M.**, Shaikhova G., Yesmakhanova K., Myrzakulova Z. Darboux transformation and exact soliton solutions of the two-component (2+1)-dimensional Fokas-Lenells equation // Results in Physics. – 2025. – Vol. 79. – P 108517.

2. **Zhassybayeva M.**, Myrzakulova Z., Yesmakhanova K. Modified Fokas-Lenells equation: self-consistent sources and soliton solutions of the spin and (2+1)-dimensional models // Symmetry. – 2025. – Vol. 17, Issue 7. – P. 1961.

3. Nugmanova G., Bekova G., **Zhassybayeva M.**, Taishiyeva A., Yesmakhanova K., Myrzakulova Z. Ferromagnet-type system: Integrable flows of curves/surfaces, soliton solutions, and equivalence // Symmetry. – 2025. – Vol. 17, Issue 7. – P. 1041.

4. Taibi Z., Chaachoua Sameut H., **Zhassybayeva M.**, Sakthivinayagam P., Serikbayev N. Exploration of time-dependent dispersion and nonlinearity management in stabilization and transition of localized structures in nonlinear optical media // Symmetry. – 2025. – Vol. 17, Issue 12. – P. 2165.

5. **Zhassybayeva M.**, Yesmakhanova K. Soliton surfaces induced by the Fokas-Lenells equation // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1416, Issue 1. – P. 012042.

6. **Zhassybayeva M.**, Yesmakhanova K. Dispersionless limit of the (1+1)-dimensional Fokas-Lenells equation // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1391, Issue 1. – P. 012103.

7. **Zhassybayeva M.**, Yesmakhanova K. The Construction of the (2+1)-Dimensional Integrable Fokas-Lenells Equation and its Bilinear form by Hirota Method // International Conference on Technology, Engineering and Science. – 2018. – Vol. 4. – P. 61-66.

8. **Zhassybayeva M.**, Yesmakhanova K. Soliton solutions for the (2+1)-dimensional integrable Fokas-Lenells equation. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2019. – Vol. 6, Issue 328. – P. 130-137.

9. **Жасыбаева М.Б.**, Нугманова Г.Н. Спиновая система, эквивалентная интегрируемому уравнению Фокаса-Ленэллса. Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. - Астана, 2018. - №1(122). - С. 53-57.

10. **Жасыбаева М.Б.,** Есмаханова К.Р. Преобразование Дарбу и точное односолитонное решение уравнения Фокаса-Ленэллса. Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. - Нур-Султан, 2020. - №3(132). - С. 8-13.

11. **Мырзакулов Е.М.,** Жасыбаева М.Б., Каирбаева М.А. Екі компонентті Фокас-Ленэллс тендеуімен байланысқан екі қабатты спинді жүйе. Вестник Кокшетауского университета имени Ш. Уалиханова. - Кокшетау, 2022. - №1. - С. 4-14.

12. **Жасыбаева М.Б.,** Мырзакулова Ж.Р. Преобразование Дарбу и солитонное решение производного нелинейного уравнения Шредингера первого типа. Вестник Торайгыров университета. - Павлодар, 2025. - №3.

13. **Жасыбаева М.Б.** Односолитонное решение уравнение M-LXXII. Материалы XIII Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2018». - Астана, 2018. - С. 396-399.

14. **Жасыбаева М.Б.** Бездисперсионный предел (2+1)-мерного интегрируемого уравнения Фокаса-Ленэллса. Материалы XIV Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2019». - Астана, 2019. - С. 260-262.

15. Айжан А., **Жасыбаева М.Б.,** Есмаханова К.Р. Представление Лакса бездисперсионного (2+1)-мерного уравнения Фокаса-Ленэллса. «Анализдің, дифференциалдық тендеулердің және алгебраның өзекті мәселелері» (ЕМЖ-2019) атты халықаралық конференция материалдары. – Астана, 2019.

16. **Жасыбаева М.Б.,** Абеуова М. Бездисперсионный предел интегрируемого уравнения M-LXXII. Материалы XX Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2025». – Астана, 2025. - С. 224-226.

17. **Жасыбаева М.Б.** Об одном интегрируемом уравнении Фокаса-Ленэллса с самосогласованным источником. Материалы XIV Международной научной конференции студентов, магистрантов и молодых ученых «Ломоносов – 2018». - Астана, 2018. - С. 19-21.

18. **Жасыбаева М.Б.,** Мырзакулова Ж.Р., Абеуова М. Преобразование Дарбу для двухслойного уравнения M-LXXII. Academic journal of physical and chemical sciences. – Алматы, 2025. №4. - С.24-37.

Жұмыстың ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы: Жұмыс гранттық қаржыландыру аясындағы ғылыми-зерттеу жоспарларына сәйкес келесі жобалар бойынша орындалды: «Эйнштейндік және эйнштейндік емес гравитация теориясы шеңберінде астрофизика және космологияның кейбір мәселелерін зерттеу» (2018-2020 жж., №0118РК00935, келісімшарт №03-02-12/1942, 24.04.2018 ж., жетекшісі – Р. Мырзакулов); «Фокас-Ленэллс типті тендеулердің солитондар динамикасын зерттеу» (2025-2027 жж., грант №АР25794905, жетекшісі – М.Б. Жасыбаева).

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыстың құрылымы қойылған мақсаттармен айқындалған және кіріспе, үш бөлім, қорытындыдан тұрады. Жұмыс 108 бет басылған мәтіннен, 26 суретпен және 137 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімін қамтиды.