

Қасенова Толқын Қалмаханқызының «6D060400 – Физика» мамандығы бойынша философия ғылымдарының докторы (PhD) дәрежесін алуы үшін ұсынылған «Түйіндер теориясының статистикалық механика модельдерімен байланысын зерттеу» тақырыбына жазылған диссертациялық жұмысының АҢДАТПАСЫ

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Түйіндер теориясы мен статистикалық механиканың байланысы ғалымдар нақты физикалық нысандарда болатын күйінды ағындардың түйіндеріне су байлау мүмкіндігін ұсынғаннан кейін танымал болды. Берілген нәтиже модульдік жүйені зерттеуге, бұл нақты физикалық процесстердегі түйіндердің тәуелсіз ажыратымдылығын толық зерттеуге мүмкіндік береді.

Диссертацияның өзектілігі түйіндер теориясының негізгі мәселелерін ашық күйде қалуында: түйіндерді қатаң жіктеу әрекеттері әлі шешілмеген және олардың есептелетін толық инварианттық жүйесінің бар-жоғы әлі белгісіз; түйіндер математиканың өзінде де, нақты физикалық, химиялық және биологиялық процесстер мен объектілерде де қолданылады.

Түйіндер теориясы мен статистикалық механика модельдерінің байланысын зерттеу қажеттілігі мынада:

- біріншіден, статистикалық қосынды спиндік модельдің энергетикалық функциясының барлық мүмкін күйлері бойынша қосындыға ғана байланысты. Бұл дегеніміз, әр күй графиктің барлық шыңдарының спиндерін және сол арқылы олардың арасындағы өзара әрекеттесу энергиясын анықтайды. Статистикалық қосындыны есептеу үшін графиктің әр жиегін осы жиекпен байланысқан шыңдардың өзара әрекеттесу энергиясынан экспонентке жатқызу керек. Содан кейін бұл процесс барлық мүмкін күйлер үшін қайталанарды;

- екіншіден, жұлдыз-үшбұрыш қатынастарын қанағаттандыратын модельдердің энергетикалық функциялары (және Рейдмейстердің басқа қозғалыстарына сәйкес келетін басқа қатынастар) ілініс инварианттары болып табылатын статистикалық қосындыларды береді.

Тек екі спиндік өзара әрекеттесу арқылы Изинг түрінің моделі ретінде қайта тұжырымдалған шешілетін торлы модельдердің қолданыстағы алгебралық құрылымдары түйін инварианттарының толық тізімін анықтауға жеткілікті мүмкіндік бермейді.

Түйіндер теориясының дамуын ұлы ағылшын физигі Дж. Максвелл толқындардың электромагниттік жолмен әрекеттесетініне сеніп, содан кейін одан да батыл идеяны алға тартты: өзара әрекеттесетін бөлшектердің өзі толқындар; бірақ бөлшектер (атомдар) өте кішкентай және толқындар соншалықты ұзын болғандықтан, толқын атомдары кеңістіктің кішкене аймағымен шектелуі керек: олар құрамында атомторлары туралы бүкіл физикалық және химиялық ақпараттар сақталатын кодталған түйіндер. Берілген теория статистикалық механиканың мұз түріндегі спиндік модельдердің өрім (braid) теориясы және Весса-Зумино өрісінің конформды

теориясы арқылы түйін инварианттарымен байланысының бірқатар мәселелерін шешуді талап етеді.

Сонымен, жоғарыда аталған ғалымдардың зерттеулері түйіндер теориясының полином инварианттарын, олардың құрылымын және топология үшін ерекше маңыздылығын және олардың математикалық физикамен байланысын қарастыруға мүмкіндік береді. Физикамен байланыс түйіндердің көпмүшелері мен статистикалық функциялардың негізгі модельдері арасындағы байланыстан басталады. Бұл қатынас түйіндердің бастапқы полиномктерінен тыс бірқатар инварианттардың құрылысына әкеледі. Жаңа инварианттарды ажырату да басты мәселе болып табылады.

Топологиядағы түйін теориясының осы және басқа да көптеген қосымшаларынан басқа, оның қосымшалары жазық алгебралық қисықтардың ерекшеліктерін, ал көп өлшемді жағдайда күрделі гипер беттердің оқшауланған ерекшеліктерін, сфералардағы тегіс құрылымдарды, динамикалық жүйелер мен қабаттардың дизайнын зерттеуді қамтиды. Түйіндер теориясы мен статистикалық механика модельдерінің шыңы арасындағы байланыс шынайы және жұмбақ болып қала береді. Негізгі сұрақтар бүгінгі күнге дейін ашық және соңында статистикалық физикадағы түйіндер теориясының жетекші рөлі әлі нақты анықталған жоқ деп саналады.

Зерттеу жұмыстарының мақсаты статистикалық физика есептеріндегі түйіндер теориясының инварианттары мен бөлу функциялары арасындағы байланысты зерттеу болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

- 1 Статистикалық механиканың он шынды моделі үшін түйін инвариантын есептеуге өрім (braid) тобының генераторларының кескіндерін құрастыру;
- 2 Үш бөлшектік шынды модельмен байланысты R-матрицадан өрілген (braid) топ генераторларының кескіндерін анықтау процедурасын жалпылау және түйін инварианты үшін алгебралық формуланы шығару;
- 3 Белгілі Янг-Бакстер теңдеуінің үш өлшемді жалпылауы болып табылатын тетраэдр теңдеуінің көмегімен Грассман алгебрасының үстіндегі төртбұрышты тордағы статистикалық механиканың сегіз шынды және алты шынды модельдерінің жаңа шешімдерін алу;
- 4 Шынды модельдер үшін Янг-Бакстер теңдеуінің шешімдерін жіктеу және зерттеу.
- 5 Жаңа интегралданатын жақын көршілес модельдерді құрудың жалпы әдісін қамтамасыз ететін әдісті әзірлеу. Интегралданушылық негізінде матрицаның меншікті күйінің нақты мәнін алгебралық Бете анзатц бойынша анықтау;
- 6 Жартылай бүтін спинмен статистикалық механиканың он шынды моделіндегі элементтерінің мәндерін есептеу. Янг-Бакстер теңдеуінің көмегімен тасымалдау матрицасының меншікті күйі мен меншікті мәнін табу.

Зерттеу нысаны: түйіндер теориясының топологиялық моделі және статистикалық механиканың шындық модельдері.

Зерттеу пәні: түйіндер теориясының топологиялық моделіндегі түйіндердің үш өлшемді бейнеленуінің кванттық монодромиялық матрицаның элементтерімен байланысы (Янг-Бакстер теңдеулері).

Зерттеу әдістері: статистикалық физика әдістері, түйіндер теориясы, өрім (braid) теориясы және топ теориясы.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы алғаш рет статистикалық механиканың үш бөлшекті шынды моделінің жасалуында және түйіннің инварианты алғаш рет есептелуінде. Статистикалық физиканың алты шынды және сегіз шынды модельдері үшін Янг-Бакстер теңдеуінің үш өлшемді жалпыламасының жаңа шешімдері алынды. Алғаш рет статистикалық механиканың дәл шешілетін он шынды моделі қарастырылып, сәйкес түйіндікполиномтабылды.

Қорғауға шығарылатын негізгі мәлімдемелер:

1. $SU(2)$ Черн-Саймонс теориясын қолданатын фермион-бозондық әрекеттесу шартында статистикалық механиканың үш бөлшектік шынды моделінің гамильтониан түйін теориясының Джонс полиномы арқылы өрнектеледі.

2. Домендік қабырғалары бар периодтық шекаралық шарттарда Паули ерекшелік принципіне бағынатын генераторлар үш өлшемді кеңістіктегі статистикалық механиканың сегіз және алты шынды интегралданатын модельдерінде Замолодчиков теңдеуінің жаңа шешімдері туындайды.

3. Спектрлік параметрлердің R – матрицалық элементтерді пайдаланып асимметриялау шартында статистикалық механиканың он шынды моделінің Джонс полиномымен сипатталады.

Зерттеудің ғылыми және тәжірибелік маңыздылығы.

Диссертациялық жұмысқа теориялық сипат тән. Оның нәтижелерін іліністерді, графиктер мен өрімдер (braid) теориясын зерттеу және сутегі байланысы бар кристалдық торларға арналған шынды модельдер тобын түсіндіру үшін, сондай-ақ кейбір ферроэлектрлік және антисегнетоэлектрлік кристалдардың модельдері ретінде пайдалануға болады. Берілген жұмыстың қорытынды нәтижесі термодинамикалық шекте металдар мен минералдардың кристалдық торларын сипаттайтын физикалық қасиеттер мен параметрлер жиынтығын анықтауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, болашақта биологияда, статистикалық механикада, кванттық өріс теориясы мен химияда қолданылатын түйіндердің құрылымын зерттеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Сондай-ақ диссертациялық жұмыстың нәтижелері «Физика» мамандығының бакалаврларына, магистранттарына және докторанттарына элективті курстарды оқу үшін оқу процесінде қолданылуға болады.

Зерттеу нәтижелерінің негізділігі мен сенімділігі. рецензияланатын ғылыми журналдардағы жарияланымдармен және халықаралық конференцияларға қатысумен расталады. Қол жеткізілген ғылыми нәтижелер осы саладағы басқа шетелдік авторлардың еңбектерімен жақсы сәйкес келеді.

Автордың жеке үлесі. Автор жұмыстың мақсатын анықтауға және зерттеу міндеттерін қоюға қатысты, диссертация нәтижелерін талқылауға және мақалалар жазуда белсенді атсалысты. Автор диссертациялық зерттеулері мен қорытындыларды жалпылауда белсенділік танытты. ға дің нәтижелерін талқылауға қатысты. Диссертация нәтижелері бойынша ғылыми жетекшімен бірлесе ғылыми мақалалар жазылып жарияланды.

Диссертациялық жұмыстың қорытындыларын жариялау.

Диссертацияда алынған нәтижелер баяндалып талқыланды:

- 8th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Science Journal of Physics: Conference Series. Eight-vertex model over Grassmann algebra. - 2019. - № 1391, 012035. IOP Publishing. doi 10.1088/1742-6596/1391/1/0120351.

- «Ғылым және білім – 2019» - Студенттер, магистранттар және жас ғалымдардың XVI Халықаралық ғылыми конференциясы. Точное решение для восьмивершинной спиновой модели. -2019. - 1секция. - Б. 272-276.

- «ЛОМОНОСОВ - 2020». Студенттер, магистранттар және жас ғалымдардың XVI Халықаралық ғылыми конференциясы. Баяндама тезистері 1-бөлім. - 2020. - Б. 29-30.

- Proceedings of the IV International Conference "ASTROPHYSICS, GRAVITY AND COSMOLOGY". Application Grassmann algebra for a vertex model. - 2019. - Б. 47.

Сонымен қатар, алынған нәтижелер Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ Жалпы және теориялық физика кафедрасының ғылыми семинарларында, Еуразия халықаралық теориялық физика орталығының семинарларында және Фреснодағы Калифорния мемлекеттік университетінің физика департаментінің семинарларында баяндалып талқыланды.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша қазақстандық және шетелдік журналдарда 8 ғылыми жұмыс жарияланды, оның ішінде: 1 мақала Web of Science и Scopus базасына енетін импакт-факторлы шетелдік журналда; 3 мақала ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған мерзімді басылымдарда, оның ішінде Web of Science и Scopus (Corresponing author) дерекқорда келтірілген журналдағы 1 мақала; Web of Science және Scopus (corresponding author) дерекқорына енетін шетелдік халықаралық конференцияда 1 мақала; халықаралық конференциялар материалдарында 2 мақала және 1 тезис (Corresponing author).

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы. Жұмыс жоба бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарларына сәйкес орындалды – «Исследование некоторых проблем астрофизики и космологии в рамках эйнштейновской и неэйнштейновской теорий гравитации». Жобаны іске асыру жылдары-01.01.2018-01.01.2020. Жобаның ИРН-і BR05236277.

Ғылымды дамытудың басты бағыттары бойынша 2022-2024 жылдарға арналған «Жас ғалым» жобасы бойынша жас постдокторант ғалымдардың іргелі және қолданбалы ғылыми зерттеулерін гранттық қаржыландыруға AP14972644 «Статистикалық механиканың дәл шешілетін шындық модельдері мен түйіндік инварианттар арасындағы байланысты зерттеу» тақырыбы бойынша жобасының жетекшісі.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 3 бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиет тізімінен тұрады. Диссертация көлемі 94 бетті құрайды, 1 сурет және 2 кесте, пайдаланылған дереккөздер саны - 161.