

6D071900 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникация»
мамандығы бойынша PhD докторанты

Сағындық Ә.Б.-ның

«Симметрияның екі жазықтығына ие иммерсионды электронды линзаның
қасиеттерін зерттеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

АҢДАТПА

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Электронды оптиканың негізгі элементі болып электронды линзалар табылады. Линзалар әр түрлі жақтан классификациялана алады. Электронды линзалардың негізгі типтеріне иммерсионды линзалар мен бірлік линзалар жатады. Иммерсионды электронды линза деп линзаның оң және сол жағындағы потенциалы тұрақты, бірақ тең емес линзалар аталады. Егер де линзаның оң және сол жағындағы потенциалы тұрақты және өзара тең болса, онда мұндай линзалар бірлік линзалар деп аталады.

Иммерсионды линзаның электрондар көзімен – катодпен комбинациясы иммерсионды объектив деп аталады, мұндай линзаларды басқаша катоды линзалар немесе эмиссионды иммерсионды линзалар деп атауға болады. Ұсынылып отырған жұмыс симметрияның екі жазықтығына ие жаңа эмиссионды иммерсионды электронды линзалардың қасиеттерін зерттеуге арналған. Жақсартылған фокустаушы сипаттамаларға ие вакуумды электрониканың жаңа эмиссионды электронды-оптикалық элементтері ұсынылған.

Бірінші бөлімде электронды линзаларды зерттеу бойынша ғылыми жұмыстарға шолу жүргізілген.

Симметрияның екі жазықтығына ие зерттелуші электростатикалық линзалардағы өрістерді моделдеу мен потенциалдың таралуын есептеу диссертациялық жұмыстың екінші бөлімінде қарастырылған.

Үшінші бөлімде Delphi бағдарламалау тілінде симметрияның екі жазықтығына ие эмиссионды элементтеріне сандық зерттеу жүргізу үшін алгоритмдер мен бағдарламалар өңделген. Кеңістіктің берілген нүктесі облысында фокустау шарты орындалатын параксиалды параметрлерді есептеу әдістемесі қарастырылған. Параксиалды параметрлердің сандық зерттеулері жүргізілген.

Төртінші бөлімде шаршы қимасына ие қорапты линза мен осесимметриялы линзаның фокустаушы параметрлеріне салыстырмалы талдау жүргізілген. Осы бөлімде қарастырылып отырған қорапты эмиссионды иммерсионды линзалар үшін абберрациялар коэффициенті қатары x осі бойынша басқа бағыттағы абберрациялармен салыстырғанда мағыналы аз мәндерге ие екені көрсетілген. Сонымен қатар, y бағытындағы абберрациялар шамалап алғанда осесимметриялы эмиссионды линзалар абберрациясына тең. Сөйтіп, симметрияның екі жазықтығына ие эмиссионды линзалар жақсартылған фокустаушы сипаттамаларға ие зарядталған бөлшектер көзін құруға мүмкіндік береді.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Вакуумды электрониканың электронды-оптикалық элементтері қазіргі кезде әртүрлі электронды құрылғыларды, құралдар мен технологиялық қондырғыларды құру үшін кең қолданылады. Мысалы, мұндай элементтер электронды микроскоптарда, масс-спектрометрлі құрылғыларда, жоғары жиіліктен жоғары құралдарда, сонымен қатар, нано мен микро электронды технологияларының электронды-литографиялық және ионды-литографиялық қондырғыларында қолданылады.

Көптеген құралдардың маңызды элементі болып иммерсионды объективтер табылады. Электронды-оптикалық және ионды-сәулелік құралдар мен құрылғылардың техникалық қасиеттері көбінесе иммерсионды объективтердің фокустау сапасынан тәуелді. Себебі, зарядталған бөлшектер шоғырының құрылу үрдісі дәл иммерсионды объективте басталады.

Электронды линзаларды зерттеудің классикалық әдістері, олар иммерсионды объективтердің бастапқы шарттарының ерекшелігін ескермейтіндіктен, иммерсионды объективтердің теориясын өңдеу үшін қолданыла алмайды. Иммерсионды объективтің тиімді теориясын құру үшін ұзақ уақыт бойы катод бетіндегі потенциалдың нөлге айналуымен, сонымен қатар нөлдік потенциалға ие бетте траекторияның үлкен бұрыштарымен байланысты математикалық сипаттағы қиындықтар бөлет болды.

Заманауи жағдайға және электронды техника құрылғыларын жақсарту бойынша мәселелерге талдау жүргізу негізінде вакуумды электроникада иммерсионды линзалардың жаңа типтерін өңдеу тапсырмалары өзекті болып табылатыны жайлы қорытынды шығаруға болады. Сонымен қатар, электронды-оптикалық элементтердің фокустаушы қасиеттерін жақсарту электронды-оптикалық және ионды-сәулелік құралдар мен технологиялық құрылғыларында жақсартылған техникалық және эксплуатациялық сипаттамаларын алуға мүмкіндік береді. Сондықтан, вакуумды электрониканың жаңа элементтерінің электронды-оптикалық параметрлері мен сипаттамаларын зерттеу электронды аспап жасаудың өзекті тапсырмасы болып табылады.

Жұмыстың мақсаты. Ұсынылып отырған жұмыстың мақсаты болып вакуумды электрониканың жақсартылған фокустаушы сипаттамаларына ие жаңа эмиссионды электронды-оптикалық элементтерін зерттеу мен өңдеу табылады.

Зерттеу тапсырмалары:

1. Симметрияның екі жазықтығына ие фокустаушы иммерсионды элементтердің электростатикалық өрістерін есептеу мен модельдерін өңдеу;
2. Симметрияның екі жазықтығына ие эмиссионды элементтердің параксиалды параметрлеріне сандық зерттеу жүргізу үшін алгоритмдер мен бағдарламалар өңдеу;
3. Симметрияның екі жазықтығына ие иммерсионды электронды линзалардың фокустау параметрлері кешенін есептеу үшін автоматтандырылған жұмыс ортасын құру;

4. Өңделген бағдарламаның көмегімен симметрияның екі жазықтығына ие иммерсионды линзалардың фокустаушы параметрлеріне сандық зерттеулер жүргізу;

5. Қорапты эмиссионды линзаның абберациялық коэффициенттерін есептеу;

6. Қарастырылған иммерсионды линзалардың параксиалды және абберационды параметрлеріне салыстырмалы талдау жүргізу.

Зерттеу объектісі. Зерттеу объектісі болып вакуумды электрониканың негізгі элементі болып табылатын эмиссионды иммерсионды линзалар табылады.

Зерттеу пәні. Зерттеу пәні болып симметрияның екі жазықтығына ие эмиссионды иммерсионды линзаның электронды-оптикалық параметрлері табылады. Бұл параметрлерге кешенді талдау жасау фокустаудың жоғарғы сапасын қамтамасыз ететін жаңа электронды эмиссионды линзаларды өндеуге мүмкіндік береді.

Зерттеу әдістері. Симметрияның екі жазықтығына ие жаңа иммерсионды линзаларды жобалау кезінде маңызды тапсырма болып зарядталған бөлшектердің траекториясын модельдеу, өрістерді есептеу үшін бағдарламаларды өндеу мен зерттеліп отырған линзалардағы потенциалдың таралуын анықтау табылады. Зарядталған бөлшектердің траекториясын модельдеу кезінде эмиссионды линзаның катод облысындағы нөлге бөлінуді жоюға мүмкіндік беретін әдіс қолданылған. Траекторияларды талдау үшін берілген шеткі шарттарға ие Лапластың үшөлшемді теңдеуі шешіледі, яғни симметрияның екі жазықтығына ие эмиссионды линза үшін Дирихле есебі есептелінеді.

Симметрияның екі жазықтығына ие иммерсионды электронды линзалардың фокустаушы параметрлерінің кешеніне сандық зерттеу жүргізу үшін алгоритмдер мен бағдарламалар өндеу қажет. Бағдарламаны өндеу үшін дифференциалды және интегралды теңдеулерді талдаудың сандық әдістері теориясы қолданылған. Жасалған бағдарлама Delphi бағдарламалау тілінде жазылған.

Қорғауға шығарылатын негізгі жағдайлар.

- Симметрияның екі жазықтығына ие иммерсионды эмиссионды линзалардағы электростатикалық потенциалдың таралуын есептеу кезінде үшөлшемді Дирихле есебін есептеу үшін қолданылған математикалық әдістеме мен бағдарлама;

- Нақты шеткі шарттарға ие эмиссионды линзалар үшін электростатикалық потенциалдың таралуы мен олардың туындыларының есептеулерінің нтижелері;

- Симметрияның екі жазықтығына ие эмиссионды линзалардың параксиалды қасиеттерін есептеу үшін қолданылған математикалық модель мен бағдарламалық құрал;
- Берілген потенциалдар мен электродтардың размерлерінің әртүрлі мәндері кезінде симметрияның екі жазықтығына ие эмиссионды иммерсионды линзаларда зарядталған бөлшектердің траекториясын есептеудің нәтижелері;
- Кеңістіктің берілген нүктесі облысында зарядталған бөлшектердің фокусталуы $|w_u|=0$ шартына ие параксиалды теңдеулер параметрлеріне жүргізілген есептеулер нәтижелері ;
- Аберрациялық сипаттамаларға сандық зерттеулер жүргізу үшін қолданылатын математикалық формулалар мен бағдарламалық құрылғылар;
- Осесимметриялы және қорапты эмиссионды линзалардың аберрациялық коэффициенттеріне жүргізілген салыстырмалы талдаудың нәтижелері;
- Симметрияның екі жазықтығына ие эмиссионды иммерсионды линзаларды қолдану кезінде тым болмағанда бір бағытта аберрациялық коэффициенттерді азайту мүмкіндігі жайлы қорытынды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы жұмыста өз кезегінде аналитикалық құралдар мен технологиялық қондырғылардың техникалық сипаттамаларын жақсартуға алып келетін зарядталған бөлшектер фокусының жоғары сапасын қамтамасыз ететін симметрияның екі жазықтығына ие жаңа иммерсионды электронды линзаларды жобалаудың теориялық және практикалық сұрақтары қарастырылуымен анықталады.

Осы уақытқа дейін екіөлшемді электронды линзалар, соның ішінде цилиндрлік және осесимметриялық иммерсионды линзалар қарастырылған. Симметрияның екі жазықтығына ие электронды линзалар қатарынан трансаксиалды иммерсионды линзалар қарастырылған. Практикалық түрде екі-симметриялы электронды иммерсионды линзалардың басқа түрлері зерттелмеген.

Диссертациялық жұмыстың **ғылыми және практикалық маңыздылығы** жоғары болып саналады. Себебі жүргізілген зерттеулер нәтижесінде алынған аберрацияның аз өлшемдеріне және оларды жөндеудің жоғары мүмкіндіктеріне ие жаңа элементтер (иммерсионды электронды линзалар) жаңартылған электронды-ионды-сәулелік құралдар мен құрылғыларды жобалау кезінде қолданыла алады.

Өңделген бағдарламалық кешен масс-спектрометрлік құралдар, электронды-оптикалық түрлендіргіштер мен күшейткіштер, электронды микроскоптар, электронды және ионды литография үшін қондырғылар, иондық имплантация қондырғылары және басқа да тездетілген инновациялық даму үшін қажетті құрылғылар қатарын жобалау мен құруға мүмкіндік береді.

Зерттеу көздері. Қарапайым бірлік және иммерсионды электронды линзаларды зерттеу кезінде қолданылатын фокустау теориясының дәстүрлі

аппараты эмиссионды және шағылушы линзаларды зерттеу кезінде тиімді бола алмайды. Себебі, эмиссионды линзаларда катод облысында бөлшектер траекториясының иілу бұрышының аз болу шарты бұзылады.

Қазіргі кезде Қазақстанда электронды-оптикалық және ионды-сәулелік жүйелердің элементтері мен түйіндерін зерттеу теориясы мен әдістері облысында сапалы ғылыми негіз бар. Кельман В.М. мен Якушев Е.М. басшылығымен қазақстандық ғалымдармен қозғалыс теңдеулерінде координата мен уақытты түрлендірудің ерекше әдісі құрылған. Бұл әдіс электронды айналарда кездесетін қиындықтарды жеңуге мүмкіндік берді. Эмиссионды жүйелердің тиімді теориясы Ибраев А.Т.-пен жасалған, бұл теория катодты линзаларды зерттеу кезіндегі барлық қиындықтарды жоюға мүмкіндік береді. Ибраев А.Т.-мен құралған теориядан эмиссионды иммерсионды линзалардың абберациялық коэффициенттерін есептеу үшін арналған формулалар алынды.

Автордың жеке үлесі сандық зерттеулер жүргізу үшін қажетті алгоритмдер мен бағдарламалардың жасалуы мен сандық зерттеулер нәтижелерінің алынуы автордың өзімен жасалуымен байланысты. Тапсырмаларды қою мен нәтижелерді талқылау ғылыми кеңесшілердің көмегімен жүргізілді.

Нәтижелердің дұрыстығы. Жұмыста алынған нәтижелердің дұрыстығы күмән келтірмейді. Себебі, осесимметриялы линза үшін алынған зерттеулер нәтижесі практикаға енгізілген және жарияланған нәтижелермен сәйкес келеді.

Жарияланымдар. Диссертация тақырыбы бойынша 8 жұмыс жарияланған, соның ішінде 2-і халықаралық рецензияланушы ғылыми журналдарда, 3-і білім беру облысы мен ҚР БҒМ-де бақылау бойынша Комитетпен ұсынылған жарияланымдарда, 3-і халықаралық ғылыми-практикалық конференцияларда.

Халықаралық рецензияланушы ғылыми журналдардағы мақалалар:

- A.T. Ibraev, A.B. Sagyndyk. Numerical investigation of the aberrational coefficients of a box shaped cathode lens. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. (Kazakhstan), ISSN: 2224-5278. Vol. 4, № 424. -2017. – pp. 108-114.

- V.R. Roganov, A.B. Sagyndyk, R.F. Akhtarieva, A.K. Beisenbayeva, S.I. Sannikova. Integrated organization of the system for forming the information support of aeronautical simulator. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562. Vol. 12, №15. -2017. pp. 5207-5213. Индекс Хирша 13, Импакт фактор 0,149.

Білім беру облысы мен ҚР БҒМ-де бақылау бойынша Комитетпен ұсынылған жарияланымдардағы мақалалар:

- А.Т. Ибраев, А.Б. Сагындык. Численное исследование параксиальных параметров коробчатой катодной линзы. Вестник ПГУ, Энергетическая серия. №1. -2017. С. 139-145.

- А.Т. Ибраев, А.А. Ибраев, А.Е. Куттыбаева, А. Сагындык, Д.Т. Джунусова. Параксиальные параметры и aberrации семиэлектродной осесимметричной катодной линзы. Вестник КазНУ. №1. -2016. С.146-152.

- А.Т. Ибраев, А.Е. Куттыбаева, А. Сагындык, В.И. Чернецов, М.В. Чернецов, П.Г. Михайлов. Инвариантное преобразование в информационно-измерительных системах с параметрическими датчиками. Вестник КазНУ. №2. -2017. С. 95-99.

Халықаралық ғылыми-практикалық конференциялардағы мақалалар:

- Ibraev A.T., Ibraev A.A., Kutybayeva A.E., Sagyndyk A., Junussova D. Numerical Study of Focusing Parameters of a Five-Electrode Cathode Lens with the Rotational Symmetry of the Field. The 5th International Workshop on Computer Science and Engineering. -2015. pp. 424-430.

- Ибраев А.Т., Сагындык А. Решение задачи Дирихле для электростатических линз с двумя плоскостями симметрии. ТРУДЫ II Международной научно-практической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика», Алматы, Казакстан. II том. – 2015. С.155-159.

- Ibraev A. T., Sagyndyk A.B. Numerical investigation of the distribution of electrostatic potential and paraxial parameters of a box shaped cathode lens. Proceedings of the 14th European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences. «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education. GmbH. Vienna. -2017. pp. 61-66.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертация компьютерде терілген 109 бетке жазылған, кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытындыдан, 104 әдебиет көрсетілген әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыста 2 кесте мен 101 сурет бар.