

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.069.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 19.12.2019 № 10

О присуждении Малышеву Илье Вячеславовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Зеркальные системы на основе асферических поверхностей высоких порядков для мягкого рентгеновского и вакуумного ультрафиолетового диапазонов длин волн» по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики – принята к защите 17 октября 2019 г. (протокол заседания № 7) диссертационным советом Д002.069.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения (ФГБНУ) «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603950 г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ о создании диссертационного совета номер 670/нк от 30 июня 2017 года.

Соискатель Малышев Илья Вячеславович, 1992 года рождения, в 2015 г. окончил магистратуру Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского по направлению 03.04.03 «Радиофизика», освоил программу

подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики микроструктур Российской академии наук» (срок обучения 01.09.2015 – 31.08.2019), работает в должности младшего научного сотрудника Лаборатории коротковолновой прецизионной оптики и перспективного приборостроения Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе многослойной рентгеновской оптики Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Чхало Николай Иванович, зав. отделом многослойной рентгеновской оптики Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1. Бушуев Владимир Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ)»;
2. Павлинский Михаил Николаевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора ИКИ РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук» (ФИАН) – в своем **положительном отзыве**, составленном и

подписанном Артюковым Игорем Анатольевичем, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Лаборатории рентгеновской оптики Отделения квантовой радиофизики, ФИАН, и утвержденном Савиновым Сергеем Юрьевичем, профессором, доктором физико-математических наук, заместителем директора по научной работе ФИАН, указала, что «Автором предложены новые оптические схемы типа телескопа Шмидта-Кассегрена и коллиматора на основе «камеры Шмидта» с использованием зеркальных корректоров волнового фронта, которые позволяют существенно улучшить светосилу и угловое разрешение современных телескопов, работающих в ВУФ-диапазоне. Новым решением является также использовать рентгенооптическую схему с переменным увеличением для создания рентгеновского микроскопа на длину волны 3.37 нм....К новизне результатов, интересных с научной точки зрения, можно отнести и сам метод z-томографии.... Практическую ценность представляет собой также метод бездеформационного демонтажа прецизионных оптических деталей в оправы и приборы, разработанный автором диссертации для зеркал космического телескопа обсерватории “АРКА”.» «Представленная диссертационная работа И.В. Малышева удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям и критериям, установленным в п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», а её автор, Малышев Илья Вячеславович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Соискатель имеет 32 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 30 работ, из них в рецензируемых научных журналах опубликовано 14 статей. Наиболее значимые работы:

1. Malyshev, I.V. A method of z-tomography using high-aperture soft X-ray microscopy / I.V. Malyshev, N.I. Chkhalo // Ultramicroscopy. - 2019. V.202, P.76-86.

2. Chkhalo, N.I. Collimator based on a Schmidt camera mirror design and its application to the study of the wide-angle UV and VUV telescope / Nikolay Ivanovich Chkhalo, Ilya Vyacheslavovich Malyshev, Alexey Evgenievich Pestov, Vladimir Nikolaevich Polkovnikov, Nikolay Nikolaevich Salashchenko, Michael Nikolaevich Toropov, Sergey N. Vdovichev, Igor Leonardovich Strulya, Yuri Alexandrovich Plastinin, Artem A. Rizvanov // J. Astron. Telesc. Instrum. Syst. - 2018. V.4. No.1, P.014003.

3. Malyshev, I.V. Surface shape measurement of mirrors in the form of rotation figures by using point diffraction interferometer / I. V. Malyshev, N. I. Chkhalo, A. D. Akhsahalian, M. N. Toropov, N. N. Salashchenko & D. E. Pariev // Journal of Modern Optics. - 2017. V.64, No.4, P. 413–421.

4. Chkhalo, N.I. High-performance facility and techniques for high-precision machining of optical components by ion beams / N.I. Chkhalo, I.A. Kaskov, I.V. Malyshev, M.S. Mikhaylenko, A.E. Pestov, V.N. Polkovnikov, N.N. Salashchenko, M.N. Toropov, I.G. Zabrodin // Precision Engineering. - 2017. V.48, P.338–346.

5. Malyshev, I.V. Deformation-free rim for the primary mirror of telescope having sub-second resolution / I. V. Malyshev, N. I. Chkhalo, M. N. Toropov, N. N. Salashchenko, A. E. Pestov, S. V. Kuzin, V. N. Polkovnikov / Proc. SPIE. - 2017. P.102350C.

6. Chkhalo, N.I. Problems in the application of a null lens for precise measurements of aspheric mirrors / N. I. Chkhalo, I. V. Malyshev, A. E. Pestov, V. N. Polkovnikov, N. N. Salashchenko, M. N. Toropov, and A. A. Soloviev // Applied Optics. – 2016. V.55, No.3, P. 619-625.

7. Chkhalo, N.I. Reflective Schmidt–Cassegrain system for large-aperture telescopes / M. N. Brychikhin, N. I. Chkhalo, Ya. O. Eikhorn, I. V. Malyshev, A. E. Pestov, Yu. A. Plastinin, V. N. Polkovnikov, A. A. Rizvanov, N. N. Salashchenko, I. L. Strulya, and M. N. Toropov // Applied Optics. - 2016. V.55, No.16, P. 4430-4435.

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют. Личный вклад соискателя в опубликованные по теме диссертации работы является определяющим.

На автореферат диссертации поступило 3 отзыва (**все положительные**):

1) Богачёв Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, лаборатория рентгеновской астрономии Солнца Физического института им. П.Н.Лебедева РАН, в своем отзыве на автореферат диссертации выделяет «Результаты в области измерения характеристик асферических поверхностей, а также разработку метода уменьшения деформации зеркал за счёт более эффективных способов крепления. Предложена модификация оправы для крепления главных зеркал космических телескопов, позволяющая, по сути, добиться полного отсутствия деформации зеркала...». «Диссертационное исследование И.В. Малышева, оставляет очень хорошее впечатление, как широтой рассмотренных вопросов, так и качеством рассмотрения. Все результаты исследования имеют широкие возможности для практических применений, а частично были успешно применены». **Отзыв не содержит замечаний.**

2) Дружин Владислав Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы» МГТУ им. Баумана, в своем отзыве на автореферат диссертации отмечает: «Особый научный интерес представляет впервые предложенная автором модификация телескопа Шмидта-Кассегрена, главное и вторичное зеркало которого имеют сферическую форму, а коррекция аберраций достигается с помощью лишь одного асферического зеркала, имеющего неосесимметричную асферическую поверхность 6-го порядка. Предложенная схема имеет повышенные оптические характеристики: угол поля зрения 3° , относительное отверстие 1:3.2 и угловое разрешение 1.3", что открывает новые возможности для научных исследований». **Отзыв содержит следующие замечания:**

1. В автореферате не приведены уравнения и значения коэффициентов деформаций, описывающие форму асферических зеркальных поверхностей: корректора системы Шмидта-Кассегрена, корректора коллиматора схемы

«камеры Шмидта», первичного зеркала объектива рентгенооптической системы.

2. Автор предлагает проводить контроль формы неосесимметричных planoидных зеркал с незначительным отступлением от плоскости (порядка 10 длин волн), изготавливаемых методом ионно-лучевого травления или вакуумной асферизации, на интерферометре с дифракционной волной сравнения (ИДВС), однако не указывает предельные возможности метода для контроля асферических поверхностей с большими отступлениями от плоскости, градиентом асферичности.

4) Пунегов Василий Ильич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Физико-математического института ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, профессор, отмечает, что «Анализируя материал, изложенный в автореферате, можно сделать вывод: диссертационная работа выполнена на высоком экспериментальном уровне, а её автор несомненно заслуживает ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности – «приборы и методы экспериментальной физики». **Отзыв содержит следующее замечание:**

1. На мой взгляд, слишком большой объём раздела «Актуальность темы и степень её разработанности» по сравнению с другими разделами. Кроме того, в тексте автореферата слишком много необоснованных сокращений, в частности, например, можно ограничиться МР и не вводить МРМ.

Выбор ведущей организации и официальных оппонентов обосновывается тематической близостью диссертационного исследования соискателя и их научных исследований, посвященных: МР микроскопии (ведущая организация, 8 публикаций за последние 5 лет), разработке телескопов в ВУФ диапазоне (ведущая организация, 6 публикаций за последние 5 лет) и рентгеновском диапазоне (Павлинский М.Н., 7 публикаций за последние 5 лет), а также

теоретическим исследованиям в области рентгеновской оптики (Бушуев В.А., 8 публикаций за последние 5 лет).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработаны:

1) Полнозеркальная модификация схемы телескопа Шмидта-Кассегрена, состоящая из зеркального корректора волнового фронта, имеющего неосесимметричную асферическую поверхность 6-го порядка, и из объектива со сферическими зеркалами.

2) Полнозеркальная модификация схемы «камеры Шмидта» с использованием зеркального корректора с неосесимметричной асферизацией и выпуклой сферической mirrors в плоскости объектов коллиматора.

3) Рентгенооптическая схема с переменным увеличением и полем зрения для мягкого рентгеновского микроскопа на длину волны 3.37 нм.

4) Методика измерения формы оптических элементов, позволяющая отделить неосесимметричную ошибку формы измеряемой поверхности от aberrаций корректора волнового фронта и деформации, вызванной весом оптической детали.

Предложен алгоритм реконструкции трёхмерного изображения клеток в светосильных МР микроскопах за счёт использования z-томографии.

Показано, что модификация пластинчатой оправы за счёт использования перемычек и слоя эпоксидного клея в местах контакта оправы и опорной плиты уменьшает деформацию рабочей поверхности оптической детали, возникающую из-за фиксации оправы на опорной плите, до уровня около 1 нм по СКО.

Продемонстрировано, что асферизация первичного объектива Шварцшильда с числовой апертурой 0.3 улучшает латеральное разрешение до 20 раз: до 8 нм на поле зрения 10 x 10 мкм².

Проведен расчёт изображения и реконструкции структуры модельной белковой клетки в светосильном МР микроскопе, и **получено** 40 нм разрешение с контрастом 50%.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что показана возможность получения трёхмерных изображений клеток по данным мягкой рентгеновской микроскопии с разрешением до 20 нм при контрасте 20%.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики:

1. На базе полнозеркальной модификации схемы Шмидта-Кассегрена разработан прототип двухканального УФ-ВУФ телескопа на диапазон длин волн 120 – 380 нм, имеющий широкое поле зрения 3° и угловое разрешение $\delta\varphi = 1.3''$.
2. На базе полнозеркальной модификации «камеры Шмидта» разработан коллиматор и применен для аттестации углового разрешения УФ-ВУФ телескопа одновременно на всём поле зрения в 3° .
3. Методики измерения формы асферических поверхностей позволили определить деформации формы зеркал и aberrации объективов: ВУФ литографа и телескопов для дистанционного зондирования околоземного пространства и солнечной короны, и измерить форму эллипсоида вращения для рентгеновского микроанализа.
4. Метод бездеформационного монтажа прецизионных оптических деталей в оправы и приборы был использован при разработке макета первичного зеркала космического телескопа обсерватории «АРКА».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

1. Диссертационная работа выполнена с применением общеизвестных и зарекомендовавших себя современных программ для: оптических расчётов, расчётов деформаций по методу конечных элементов, решения деконволюционной задачи микроскопии. Экспериментально измеренные пятна фокусировки и деформация из-за веса оптической детали согласуются с результатами расчёта в программах.

при его непосредственном участии. Постановка цели и задач диссертационного исследования, интерпретация полученных результатов и формулировка выводов осуществлены совместно с научным руководителем.

На заседании 19.12.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Малышеву И.В. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета



Гапонов С.В.

Ученый секретарь диссертационного совета

Водолазов Д.Ю.

Дата оформления Заключения 19.12.2019 г.