

**Отзыв научного консультанта**  
кандидата физико-математических наук  
Вишнякова Евгения Александровича

о работе Колесникова Алексея Олеговича по кандидатской диссертации  
«Разработка и исследование оптических элементов и спектральных приборов на их  
основе для вакуумной ультрафиолетовой области спектра», представленной к защите  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04.05 – Оптика

Колесников Алексей Олегович с отличием окончил Московский физико-технический институт (МФТИ) в 2017 году, и в том же году был зачислен в аспирантуру МФТИ по специальности 01.04.05 – Оптика. К тому времени он уже несколько лет работал в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН (ФИАН), где с 2014 года под руководством д. ф.-м. н. Е. Н. Рагозина проводил работы по материалу своей будущей диссертации. С 2014 года А. О. Колесников является сотрудником ФИАН, в настоящее время – в должности младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа А. О. Колесникова «Разработка и исследование оптических элементов и спектральных приборов на их основе для вакуумной ультрафиолетовой области спектра» нацелена на исследование свойств вогнутых отражательных дифракционных решёток с переменным шагом штриха (в литературе называемых Varied Line Space Gratings, или VLS-решёток) и вогнутых апериодических многослойных зеркал (МЗ), а также на использование свойств VLS-решёток и МЗ для построения спектральных приборов высокого разрешения в ВУФ области спектра. В настоящее время приборы на основе VLS-решёток широко используются в мире, например, на исследовательских станциях на каналах синхротронов и лазеров на свободных электронах, в экспериментальных установках для регистрации ВУФ излучения, генерируемого лабораторной плазмой, электрическими разрядами и др. лабораторными источниками, а также в рентгеновской астрофизике. При этом расчёт VLS-решёток для каждого специализированного спектрального прибора сложен, а их изготовление по-прежнему является нетривиальной задачей.

Основными преимуществами VLS-решёток перед классическими решётками являются возможность управлять формой спектральной фокальной поверхности спектрального прибора, а также возможность компенсировать aberrации оптической схемы на определённых длинах волн. В своей работе А. О. Колесников рассчитал семейство спектрографов с плоским полем для мягкого рентгеновского (МР) диапазона на основе вогнутых VLS-решёток, одну схему из которых он впоследствии реализовал экспериментально. А. О. Колесников продемонстрировал первый отечественный МР VLS-спектрограф с плоским полем с характеристиками: диапазон спектра 50 – 275 Å, спектральная разрешающая способность  $\approx 800$ . Для создания первой отечественной вогнутой VLS-решётки А. О. Колесникову пришлось столкнуться с обратной задачей интерференционной литографии, которая была успешно решена. По расчётам, которые провёл А. О. Колесников, в НПО ГИПО (г. Казань) методом интерференционной литографии была изготовлена первая отечественная вогнутая VLS-решётка, положение штрихов на которой совпало с теоретическим расчётом с точностью  $10^{-3}$ . Этую решётку А. О. Колесников использовал для сборки VLS-спектрографа с плоским полем.

В более длинноволновом ВУФ спектральном диапазоне 800 – 1700 Å интерес А. О. Колесникова был связан с анализом возможностей построения широкополосного изображающего спектрографа нормального падения с компенсацией aberrаций при помощи вогнутой VLS-решётки. А. О. Колесников в своей работе показал, что все ключевые характеристики схемы такого прибора зависят лишь от двух параметров – от двух углов, на которых реализуется полная компенсация астигматизма VLS-решёткой. А. О. Колесников построил карты зависимости характеристик спектрографов от этих двух углов и показал, что выбор конкретной схемы прибора сводится к выбору точки на этих картах. Таким образом были выбраны реализуемые схемы ВУФ спектрографов нормального падения с габаритами 1 м и 5 м, спектральными диапазонами 820 – 1690 Å и 980 – 1520 Å, спектральной разрешающей силой ~ 1900 и ~ 9500, пространственным разрешением ~ 26 мкм, линейным полем зрения 2.5 мм и полем зрения, ограниченным физическим размером входной щели. Подобные схемы для спектральных диапазонов 570 – 1500 Å и 910 – 1640 Å, с разрешающей силой ~ 1550 и ~ 9800, были рассчитаны на основе вогнутых дифракционных решёток с криволинейными штрихами.

А. О. Колесников модифицировал программу для расчёта многослойных МР зеркал, добавив в функционал оптимизации дополнительный член, отвечающий за сглаживание разброса слоёв в синтезируемом МЗ. Были рассчитаны апериодические зеркала на основе структуры Mo/Be, обеспечивающие равномерное отражение на уровне 15.8% в диапазоне 111 – 138 Å и на уровне 10.3% в диапазоне 111 – 222 Å. В ИФМ РАН по нашей просьбе были синтезированы широкополосные Mo/Be МЗ на основе стековой структуры, обеспечивающие равномерное отражение в диапазоне 111 – 138 Å. На основе этих Mo/Be МЗ и пропускающей дифракционной решётки А. О. Колесников экспериментально реализовал стигматический спектрометр, при помощи которого были зарегистрированы спектральные линии ионов фтора и углерода.

С самого начала своей научной работы А. О. Колесников проявил себя как инициативный исследователь и способный экспериментатор, обладающий глубокой фундаментальной подготовкой и умением работать в коллективе. В настоящее время А. О. Колесников является сложившимся специалистом высокой квалификации, которая будет прочным основанием для решения сложных научных задач в будущем.

Считаю, что по объему полученных результатов, их новизне, актуальности, практической, научной значимости представленная работа соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, а сам А. О. Колесников, вне всякого сомнения, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - Оптика.

Научный сотрудник Физического института им. П. Н. Лебедева РАН,  
кандидат физико-математических наук  
Вишняков Евгений Александрович  
ФИАН, 119991 Москва, Ленинский просп., 53  
тел.: +7(499) 132-63-29  
e-mail: vishnyakovea@lebedev.ru

Подпись н. с. Е. А. Вишнякова заверяю:  
Ученый секретарь ФИАН,  
кандидат физико-математических наук  
Колобов Андрей Владимирович



— 2021 г.