

УДК 535.8

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРОТОТИПА БЕСЩЕЛЕВОГО АСТРОНОМИЧЕСКОГО СПЕКТРОГРАФА ДЛЯ ТЕЛЕСКОПА CDK500

АХМЕТОВ Д.М. (ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», 420111 К. Маркса 10, Казань, Россия), ХАРИТОНОВ Д.Ю.

(ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», 420111 К. Маркса 10, Казань, Россия)

Научный руководитель – Э.Р. Муслимов, доцент, д.т.н.

(ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», 420111 К. Маркса 10, Казань, Россия)

Введение. Бесщелевые спектрографы позволяют работать одновременно в широком поле зрения, отличаются простотой и компактностью. Данные особенности обуславливают интерес к ним в космических исследованиях и на малых наземных астрономических телескопах. При этом бесщелевой спектрограф чаще всего строится на основе диспергирующего элемента в сходящемся пучке, работающего с изменяющимся по полю зрения углом падения. Эти особенности снижают спектральное и пространственное разрешение, а также равномерность дифракционной эффективности. Мы предлагаем использовать композитную голограмму для преодоления этих недостатков.

Концепция изготовления композитных голографических оптических элементов базируется на создании голограммы, записываемой путем стыковки нескольких элементарных полей с независимой оптимизацией основных параметров записи в каждом элементарном поле. Мы рассматриваем возможность использования такого элемента для улучшения дифракционной эффективности и разрешения бесщелевого спектрографа.

В рамках данной работы мы рассматриваем разработку экспериментальных установок и программы лабораторных исследований, которые бы позволили определить ключевые оптические характеристики бесщелевого спектрографа с классической и композитной голограммной решеткой и продемонстрировать преимущество предлагаемого нового решения.

Разработка и экспериментальные исследования лабораторного прототипа.

В лаборатории нами разрабатывается проект бесщелевого астрономического спектрографа с композитной гризмой[1]. Использование оптического компонента нового типа и новых методик расчета должно позволить существенно повысить основные оптические характеристики прибора.

В качестве примера нами используется оптическая схема бесщелевого спектрографа, которая основана на базе гризмы - склейки объемно-фазовой пропускающей решетки и призмы. Оптическая схема спектрографа разработана для использования совместно с телескопом PlaneWave-CDK500[2]. Основные технические характеристики бесщелевого астрономического спектрографа: рабочий спектральный диапазон 450-950 нм, угловое поле зрения $35.6' \times 7.2'$, спектральная разрешающая способность R260-905, относительное отверстие 1:6.7, частота решетки 347 1/мм. Гризма устанавливается в сходящемся пучке и работает с широким полем зрения. Призма изготавливается из оптического стекла ТФ8, обладающего большим показателем преломления и сравнительно малой дисперсией и служит для уменьшения угла отклонения рабочих пучков и при этом мало влияет на дисперсию и аберрации. Изображение спектра регистрируется номинальной камерой телескопа SBIG STX-1680 – 4096x4096 пикселей размером 9x9 мкм, установленной в смещенном положении. Положение элементов при расчетах определяются относительно номинальной плоскости изображения телескопа.

Рассматриваются два варианта исполнения гризмы: классический и композитный. Классическая гризма представляет собой склейку решетки с прямыми эквидистантными полосами перпендикулярными в профиле к поверхности подложки (т.е. записываемой в симметричной схеме) и призмы. В композитной гризме решетка стыкуется из двух неклассических с независимо изменяемыми параметрами.

Благодаря оптимизации параметров структуры голограммы мы ожидаем увеличить среднее значение дифракционной эффективности в 1,31 раза, выигрыш в спектральном разрешении до 1.71 раз и уменьшение астигматизма до 61 раз. Следует иметь в виду, что при определении ДЭ мощности потока, направленного в рабочий порядок дифракции, коррекция aberrаций уменьшает площадь, в которой этот поток фокусируется. Так что мы ожидаем очень существенного увеличения спектральной засветки изображения и, следовательно, общей чувствительности прибора[3].

Программа экспериментальных исследований спектрографа

В состав установки входят – источник линейчатого спектра (ртутно-гелиевая лампа), конденсор, монохроматор МДР-41, выходная щель которого устанавливается на ширину, соответствующую ширине изображения щели 50 мкм, и служит в качестве тест-объекта, длиннофокусный объектив (Таир-11) для имитации выходного пучка телескопа, оптико-механический узел с гризмой на подвижном основании и приемная часть. При исследовании разрешения в качестве приемной части используется цифровой микроскоп Прима-Эксперт (ЛОМО), при исследовании пропускания – кремниевый фотоиод.

В каждом случае сначала регистрируется неразложенное изображение щели – без гризмы и проводится сканирование по рабочему диапазону спектра. При этом выходная щель монохроматора имеет поворот на 90° – это позволит измерить раздельно разрешение по спектральной и пространственной осям. Далее устанавливается гризма, проводится повторная юстировка и измерения повторяются в рабочем +1-м порядке спектра. Отношение освещенности в спектральном изображении и неразложенном изображении представляет собой пропускание узла спектрографа. Скорректировав это значения с учетом потерь на отражение на поверхностях и в материале призмы, можно установить дифракционную эффективность самой решетки. Для определения аппаратной функции спектрографа необходимо получить относительно распределение освещенности в изображении щели без гризмы и с гризмой и далее вычислить обратную свертку этих двух функций. Вычисления проводятся раздельно для спектрального и пространственного направления и повторяются для нескольких контрольных длин волн и точек поля.

Процедуры измерений и обработки данных для классической и композитной гризмы идентичны.

Выводы. В ходе работы была рассчитана и промоделирована оптическая схема бесщелевого спектрографа. Рассматривается два варианта оптической схемы: с использованием классической и композитной гризмы. Нами показана возможность использования композитного голографического оптического элемента в такой схеме. На базе монохроматора МДР-41 разработана установка для экспериментального определения пространственного и спектрального разрешения, а также коэффициента пропускания бесщелевого спектрографа.

Список использованных источников:

1. Zhilyaev B.E., Slitless spectrograph for small telescopes: First results. *Kinemat. Phys. Celest. 418 Bodies*, 2013, 29, 120–130.
2. CDK500 Observatory System. Available online: <https://planewave.com/product/cdk500-telescope-system/> (accessed on 42907-01-2023).
3. Muslimov, E., Low-resolution spectroscopy mode for CASTLE 425 telescope with a composite grism, *SPIE Proceedings*, 2022, vol. 12184.

Ахметов Д.М. (автор)

Подпись

Муслимов Э.Р. (научный руководитель)

Подпись

