

УДК 681.782.46

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯННОГО СВЕТА И ПАРАЗИТНЫХ ЗАСВЕТОК В
АСТРОНОМИЧЕСКОМ БЕСЩЕЛЕВОМ СПЕКТРОГРАФЕ**

**Ахметов Д.М.(КНИТУ-КАИ), Харитонов Д.Ю.(КНИТУ-КАИ),
Ибатуллин Э.Г.(КНИТУ-КАИ)**

**Научный руководитель – доктор технических наук, проф. Муслимов Э.Р.
(КНИТУ-КАИ)**

Введение. Использование бесщелевого спектрографа в астрономии позволяет регистрировать спектры низкого и среднего от протяженных объектов или одновременно регистрировать спектры нескольких звезд, проводя обзорные исследования. С точки зрения оптической схемы такой прибор может быть сравнительно простым и компактным и отличаться высоким пропусканием, однако контраст изображения и возможность расшифровки спектра могут быть ограничены рассеянным светом и паразитными засветками. В настоящей работе проводится их моделирование с помощью трассировки лучей.

Основная часть. Ранее нами была разработана оптическая схема бесщелевого спектрографа для малого астрономического телескопа [1]. Она строится на основе гризмы – склейки объемно-фазовой дифракционной решетки и призмы, устанавливаемой перед фокальной плоскостью телескопа в сходящемся пучке. Схема разработана для диапазона 450-950 нм и должна обеспечивать спектральную разрешающую способность до 1067 при эквивалентном относительном отверстии 1:6.7 и поле зрения 35.6'x7.2'. Эти характеристики определены с помощью моделирования с использованием трассировки лучей через разработанную систему в последовательном режиме.

При этом в реальном устройстве качество изображения будет испытывать влияние рассеянного света и засветок. Можно выделить следующие механизмы формирования посторонних засветок фотоприемника и соответствующие способы их моделирования.

1. Рассеяние излучения, обусловленное шероховатостью полированных поверхностей оптических деталей (как правило – от 20 до 50 нм). Такое рассеяние на практике проявляется в размытии краев функций рассеяния точки и линии. Для его учета используются модель К-корреляции, в состав которой в явном виде входит среднеквадратичная шероховатость поверхности [2]. Она позволяет сгенерировать вторичные рассеянные лучи при трассировке в непоследовательном режиме и определить соответствующую относительную интенсивность.
2. Рассеяние излучение, обусловленное загрязнениями на поверхности оптических компонентов, в первую очередь – частицами пыли размером от 5 до 100 мкм. В некоторых случаях может быть оценено с помощью расчета дифракции на частицах, однако в нашем случае удобнее оказывается вычислить эквивалентную шероховатость по данным из [3] и далее провести расчет по модели К-корреляции.
3. Рассеяние излучения, обусловленное дефектами голографического слоя и голографическими шумами при записи. Данный фактор довольно сложно представить, используя аналитические модели. На практике удобно подставить эмпирические измерения, представленные упрощенной моделью рассеяния, например АВg [4], либо продемонстрировать низкий уровень рассеяния на голографическом слое и исключить его из дальнейшего расчета.
4. Паразитные изображения, сформированные за счет остаточного отражения от преломляющих поверхностей. Могут быть сравнительно просто рассчитаны с помощью развертки оптической системы, отображающей многократное прохождение луча в последовательном режиме. Однако более точный результат дает трассировка в непоследовательном режиме при полном описании свойств поверхностей – остаточного отражения с учетом просветляющих покрытий и

показателя преломления материала на каждой длине волны.

5. Паразитные изображения, формируемые из-за остаточного отражения от поверхности фотоприемника. Моделируются аналогично п.4.
6. Паразитные изображения, сформированные нерабочими порядками дифракции решетки. В данном случае необходимо учитывать не только 0-й порядок дифракции, относительная интенсивность которого может достигать 30%, но и 2-й и, иногда -1й порядки. Они также могут обладать значительной интенсивностью, особенно в случаях, когда допущения теории объемной решетки выполняются не строго. При этом необходимо учитывать спектральную и угловую селективность решетки при каждом прохождении излучения через нее. Последний аспект требует сочетания методов трассировки лучей в непоследовательном режиме и строгого анализа связанных волн (RCWA).

Разработанная модель работает в среде Zemax Optics Studio и отражает все перечисленные механизмы кроме п.3. При этом трассировка проводится в непоследовательном режиме как минимум дважды – в упрощенном режиме, т.е. без разделения лучей, но при сохранении расчетных интенсивностей; и в полноценном непоследовательном режиме при генерации всех вторичных лучей и выборке их по значимости (сортировке только тех лучей, которые взаимодействуют с последующими поверхностями). Первый подход эффективен при расчете паразитных изображений по пп.4-6, второй - для рассеянного света в пп.1-3. Кроме того, анализ требует сканирования по рабочему спектральному диапазону и по полю зрения. В каждом случае используется сходящийся гомоцентрический пучок лучей, длина волны изменяется с шагом 100 нм, а положение фокуса пучка соответствует центру номинального поля зрения и его краям с меридиональным (спектральным) и сагиттальном (пространственным) направлении.

Выводы. Построенная модель позволит оценить влияние различных механизмов рассеянного света и засветок на качество изображения. Результаты моделирования будут использованы для интерпретации данных при последующих экспериментальных исследованиях, а также для выработки способов ограничения указанных нежелательных эффектов.

Список использованных источников:

1. Muslimov, E. et al. Optical Design of a Slitless Astronomical Spectrograph with a Composite Holographic Grism.// Photonics – 2023 – №10 – P.385.
2. Dittman M.G., K-correlation power spectral density and surface scatter model// Proc. SPIE - 2006 – Vol.6291 - P.62910R.
3. Dittman M.G., Contamination scatter functions for stray-light analysis// Proc. SPIE - 2002 – Vol. 4774
4. E. Fest Stray Light Analysis and Control – Spie Press, Bellingham, USA – 2013 – 228P.
- 5.

Ахметов Д.М. (автор)

Подпись

Харитонов Д.Ю. (соавтор)

Подпись

Ибатуллин Э.Г.(соавтор)

Подпись

Муслимов Э.Р. (научный руководитель)

Подпись