

## Аннотация

### 1. Авторы

Шашкова И.А., Фролов П.Н., Тавров А.В., Киселев А.В., Дзюбан И.А., Безымянникова Ю.О., Шкурский Б.Б.

### 2. Название цикла статей

Разработка методов звездной коронографии для изображения и исследования экзопланет.

### 3. Ссылки на публикации

1. Inna Shashkova; Boris Shkursky; Pavel Frolov; Yulia Bezymyannikova; Alexander Kiselev; Jun Nishikwa; Alexander Tavrov Extremely unbalanced interferometer for precise wavefront control in stellar coronagraphy // J. Astron. Telesc. Instrum. Syst., Vol. 2, No 1, 011011-(1-6), Jan-Mar 2016.
2. Iliа Dziuban; Inna Shashkova; Pavel Frolov; Yulia Bezymyannikova; Alexander Tavrov Precise wavefront control for stellar coronagraphy: possibilities by a common-path extremely unbalanced interferometer // Proc. SPIE 9909, Adaptive Optics Systems V, 99095B (July 27, 2016); doi:10.1117/12.2232506.
3. Pavel Frolov; Alexander Kiselev; Alexander Tavrov Achromatic interfero-coronagraph with variable rotational shear in laboratory experiments // Proc. SPIE 9904, Space Telescopes and Instrumentation 2016: Optical, Infrared, and Millimeter Wave, 990454 (July 29, 2016); doi:10.1117/12.2232523.

### 4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Сегодня достоверно существование более 2000 внесолнечных планет. Большинство из них обнаружено непрямыми методами. При этом прямое наблюдение экзопланет имеет ряд преимуществ перед косвенными методами, так как позволяет не только достоверно установить наличие планеты, но и получить больше информации о спектре ее атмосферы.

Одной из основных проблем, которые решаются методами прямой визуализации экзопланет, в частности звездной коронографией, является получение изображения слабоконтрастного объекта (планеты) на фоне мощного источника излучения (звезды) при малом угловом расстоянии между звездой и планетой. Для этого коронограф, установленный после оптического телескопа, комбинируют с устройством коррекции волнового фронта.

### 5. Конкретная решаемая в работах задача и ее значение

Прямое наблюдение экзопланеты земного типа в видимом диапазоне длин волн с помощью звездного коронографа требует достижения контраста от  $10^{-9}$  до  $10^{-10}$ . Этот контраст возможен при среднеквадратичной ошибке фазы волнового фронта  $\lambda/10000$  и неоднородности по амплитуде 0,1%.

Сигнал, формируемый телескопом метрового класса и первым контуром адаптивной оптики, имеет фазовую ошибку (порядка  $\lambda/500$  по СКО – среднеквадратичному отклонению). Прецизионная адаптивная оптическая система позволяет уменьшить эту ошибку до требуемых значений лишь на пределе технологических возможностей зарубежных деформируемых управляемых зеркал. Таким образом, для успешного применения звездной коронографии становится актуальным не только решение задачи по получению изображения слабоконтрастного объекта, но и поиск методов и средств коррекции волнового фронта, которые возможно реализовать в космическом телескопе.

В работах, представленных на конкурс, решены две задачи: для коррекции волнового фронта предложен и промоделирован метод с применением существенно несбалансированного интерферометра (СНИ), а в части получения изображения слабоконтрастного объекта продолжена разработка и

экспериментальная проработка метода ахроматического интерференционного коронографа общего пути с переменным вращательным сдвигом.

#### **6. Используемый подход, его новизна и оригинальность**

В работах рассмотрена возможность коррекции волнового фронта до значений  $\sim \lambda/5000$  СКО с помощью существенно несбалансированного интерферометра (СНИ), одно из зеркал которого является адаптивным.

В отличие от известного несбалансированного нуль-интерферометра в СНИ используется существенный дисбаланс амплитуды в плечах интерферометра, в одном из которых устанавливается адаптивное зеркало. СНИ устанавливают на входе в звездный коронограф.

Также в работах рассмотрены возможности получения изображения слабоконтрастного объекта с помощью ахроматического интерференционного коронографа общего пути с переменным вращательным сдвигом. Использование переменного вращательного сдвига позволяет более эффективно устранять свет мощного источника излучения по сравнению с фиксированным вращательным сдвигом  $180^\circ$  в предложенном ранее ахроматическом интерферометре общего пути.

#### **7. Полученные результаты и их значимость**

Численное моделирование процесса коррекции волнового фронта показало, что при использовании СНИ достижим требуемый коронографический контраст  $\sim 10^{-9}$ .

В лабораторном эксперименте с макетом ахроматического интерференционного коронографа общего пути с переменным вращательным сдвигом была продемонстрирована возможность увеличения контраста изображения на примере оптической модели звезда – экзопланета.

Результаты, представленные в работах, позволяют рассматривать предложенные методы как набор инструментов для решения задач исследования слабоконтрастных объектов, таких как протопланетные диски и планеты вокруг звезд, коричневые карлики, реликтовые H $\alpha$ -оболочки вокруг молодых звезд, планеты и астероиды Солнечной системы и их спутники; внегалактические объекты (галактики, окружающие квазары, ядра галактик, оптические джеты в центральных частях галактик).