

Исследование и коррекция теллурического поглощения для детектирования экзопланет на спектрометре высокого разрешения

(по материалам кандидатской диссертации)

Иванова А.Е. (ИКИ РАН)

Метод лучевых скоростей был первым методом обнаружения экзопланет. С 1995 года с его помощью было открыто еще более 2000 экзопланет, и, хотя метод транзитной фотометрии в настоящее время является наиболее продуктивным, метод лучевых скоростей имеет свои преимущества. Помимо возможности открытия новых экзопланет и определения их проективной массы $m \sin i$ он используется для подтверждения экзопланет, найденных другими методами, и измерения массы транзитных экзопланет ($\sin i \sim 1$). Однако метод лучевых скоростей ограничен техническими возможностями: размером и доступностью телескопа, стабильностью и точностью калибровок спектрографа. Спектрографы нового поколения чрезвычайно точны с инструментальной точки зрения, они стабильны и отлично откалиброваны, но их точности все еще недостаточно для обнаружения экзопланет-близнецов Земли. Если невозможно улучшить инструмент, то необходимо улучшить обработку данных, поэтому любое улучшение обработки, связанной с вычислением лучевой скорости, должно привести к повышению точности или к сокращению времени работы телескопа, необходимого для достижения заданной точности.

Поскольку спектры, с которыми работает метод лучевых скоростей, получены с поверхности Земли, они содержат спектр звезды и спектр земной атмосферы (теллурическое поглощение). Это две системы линий, каждая из которых независима от другой и имеет свою собственную скорость относительно наблюдателя. До недавнего времени спектральные области, зашумленные теллурическим поглощением, исключались из рассмотрения. Но появившаяся необходимость повышения точности измерений при помощи обработки данных вынуждает разрабатывать алгоритмы коррекции. Данная диссертация посвящена разработке алгоритма коррекции теллурического поглощения, описанию метода теллурической коррекции и оценке повышения точности измерений лучевых скоростей. Метод коррекции был разработан для теллурического поглощения, порожденного O_2 и H_2O в видимом диапазоне длин волн, и опробован на открытых данных ESPRESSO.

Помимо работы над коррекцией теллурического поглощения, в диссертации также уделяется внимание непосредственно расчету лучевой скорости. На данный момент существуют и широко используются 2 основных метода: метод кросс-корреляции и метод *template-matching* (сравнения с шаблоном). Существует также метод Пьера Конна (описан в *Absolute Astronomical Accelerometry*), который имеет свои ограничения из-за невозможности применения к большим изменениям скорости. В данной диссертации мы предлагаем и показываем применение нового метода, который является компиляцией классического метода кросс-корреляции и метода Пьера Конна (далее РС). Мы предлагаем использовать метод РС для расчета изменения лучевой скорости непосредственно по кросс-корреляционной функции (CCF), с предварительной поправкой на *BERV*, вместо классического фитирования CCF Гауссианной. Поскольку изменение лучевой скорости, вызванное планетами, невелико и выражается в небольшом смещении центра CCF, ранее упомянутое ограничение применимости метода РС больше не актуально. Метод был протестирован как на данных звезд с планетной системой так и на данных звезд без планетной системы, результаты показали, что точность вычисления лучевой скорости с помощью метода РС выше, чем у фитирования гауссианной. В диссертации также показано начало коррекции звездной активности, основанной на методе РС. Поскольку CCF можно рассматривать как усредненную звездную линию, вычисляя изменение лучевой скорости для левого и правого крыла CCF отдельно, можно проанализировать звездную активность.

Вторая часть диссертации посвящена разработке модели трансмиссионной спектроскопии для теллурических экзопланет в начале формирования. Разработка такой модели особенно актуальна после запуска JWST и в преддверии запуска Ariel, поскольку большинство существующих моделей сосредоточены больше на газовых гигантах и коричневых карликах. Была разработана line-by-line модель высокого разрешения для атмосферы, состоящей из H_2O и CO_2 .