

УДК 524.387

## МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЭШЕЛЬНОГО СПЕКТРА ИСКУССТВЕННОЙ ЗВЕЗДЫ

*Ляшко Д.А.<sup>1,2</sup>*

### ВВЕДЕНИЕ

Для проведения количественных и качественных исследований небесных объектов применяются различные оптические методы. Одним из таких методов является спектральный анализ изображений звезд. В настоящее время основными спектральными приборами, устанавливаемыми на современных телескопах, являются эшелльные спектрографы (спектрографы со скрещенной дисперсией). Основными преимуществами таких приборов являются большая разрешающая способность, регистрация большого спектрального диапазона, возможность применения в качестве регистрирующих элементов приборов с зарядовой связью (CCD матриц). На небольшой площади такие приборы позволяют разместить спектр объекта в виде разнесенных в пространстве старших порядков дифракционной решетки.

Однако процедура обработки эшелльных спектров имеет ряд специфических особенностей. В каждом порядке функция отклика прибора является существенно нелинейной. Поскольку мы не можем получить спектр объекта непосредственно в энергетических единицах, для анализа необходима процедура так называемой нормализации спектра на континуум. В силу отмеченной нелинейности кривой реакции спектрометра данный этап обработки эшелле спектров имеет неоднозначный характер. Например, при наличии в порядке широких линий поглощения, имеющих протяженность больше размеров порядка, уровень непрерывного спектра в данном порядке не достигается вообще. Между тем, результаты анализа звездных спектров очень существенно зависят от качества проведения континуума.

В этой связи необходимо разработать некий критерий для оценки существующих и разрабатываемых методов обработки эшелльных спектров. Очевидно, что таким критерием может быть изображение спектра звезды, нормализованный на континуум спектр которой нам известен заранее. Таким спектром может быть рассчитанный теоретический спектр звезды, соответствующим образом трансформированный в двумерное изображение эшелле.

Разработанный программный комплекс обработки эшелльных спектров StarXP [1,2] позволяет в автоматическом режиме получать спектры объектов в остаточных интенсивностях. Для проверки качества проведения непрерывного спектра была разработана методика, позволяющая нанести синтетический (теоретически

<sup>1</sup> Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского Кафедра экспериментальной физики

<sup>2</sup> Institute for Astronomy, University of Vienna, Tuerkenschanzstrasse 17 A-1180 Vienna, Austria

рассчитанный) спектр на изображение спектра плоского поля (спектр калибровочной лампы, не имеющий линий поглощения). Полученный таким образом спектр искусственной звезды обрабатывается как обычный звездный спектр. Сравнивая рассчитанный и обработанный спектры, можно судить о качестве разработанных методов обработки.

#### ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Для создания изображения спектра искусственной звезды используется изображение калибровочной лампы, снятое через спектрограф, и теоретический спектр специально рассчитанный для данной задачи. Наша цель смоделировать процесс регистрации спектра на спектрографе со скрещенной дисперсией. Для этого необходимо изменить пиксели в изображении спектра плоского поля, которые участвуют в формировании спектра звезды.

Для отбора таких пикселей необходимо определить уровень так называемой "подложки". Все точки, находящиеся ниже этого уровня, являются рассеянным светом – светом, попадающим между порядками эшелле спектра. Эти точки не содержат информации о звездном спектре.

На рис 1 показан 3-х мерный участок изображения эшелле спектра. Для определения рассеянного спектра сначала производится некоторое количество (40-60) разрезов изображения в направлении перпендикулярном дисперсии. В каждом из таких разрезов находят межпорядковые минимумы, которые на рисунке показаны черными точками. Затем через эти локальные минимумы проводятся сглаживающие сплайны (линии серого цвета), которые идут параллельно оси дисперсии. В результате получается двумерная поверхность, определяющая долю рассеянного света на всей площади ПЗС матрицы.

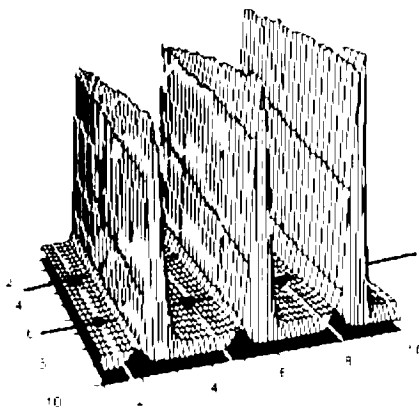


Рис. 1. Построение 2D поверхности на фрагменте изображения эшелле спектра, которая определяет уровень рассеянного света.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ПОРЯДКОВ

Исследование большого количества изображений, полученных на различных спектрографах, показало, что достаточно один раз определить карту порядков для данного прибора, вместо поиска порядков для каждого отдельно взятого изображения. Температурные смещения изображения и юстировка прибора приводят к смещению положений порядков, но не приводят к изменению их формы (рис. 2.). Следовательно, можно один раз с большой точностью определить карту порядков для конкретного спектрографа (создать атлас порядков данного спектрографа) и сравнивать с этой картой каждое полученное изображение, для того, чтобы определить величину смещения карты порядков по отношению к атласу порядков данного спектрографа. Определив величину смещения методом кросскорреляции, мы находим расположение порядков для данного изображения.

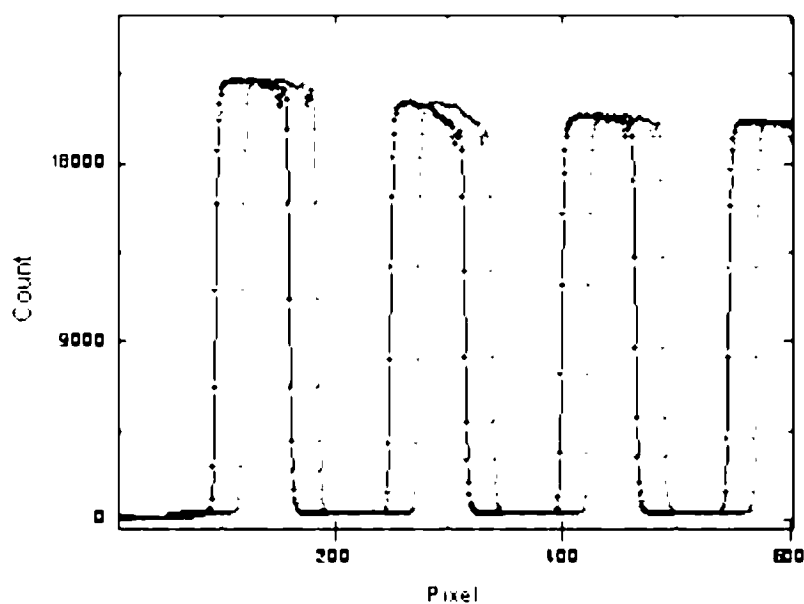


Рис. 2. Смещение положений порядков для спектрографа UVES (серая линия) по отношению к атласу порядков.

В результате этих операций мы получаем информацию о координатах пикселей, из которых состоят порядки эшелле спектра.

### ПОДГОТОВКА СИНТЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Для расчета синтетического спектра берутся длины волн, полученные при обработке близкого по дате изображения эшелле спектра звезды

Для каждого порядка спектра рассчитывается поток излучения в непрерывном спектре и поток излучения в спектральных линиях с заданными параметрами модели атмосферы и сворачивается с аппаратной функцией спектрографа.[3] По этим данным мы определяем угол наклона непрерывного спектра и, разделив потоки в линиях на соответствующие потоки в непрерывном спектре, получаем спектр в остаточных интенсивностях.

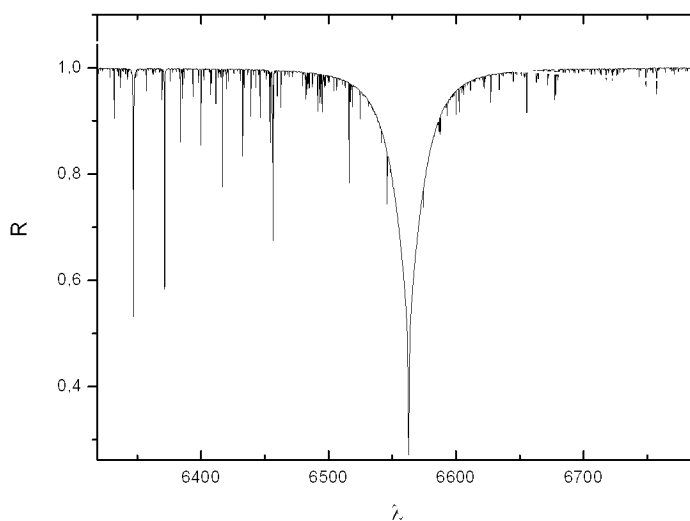


Рис. 3. Участок синтетического спектра и прямая линия, характеризующая наклон непрерывного спектра, подготовленные для наложения на спектр плоского поля.

### НАЛОЖЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА НА СПЕКТР ПЛОСКОГО ПОЛЯ

Согласно теории работы эшелле спектрографа [4], распределение интенсивности в фокальной плоскости прибора описывается следующим выражением:

$$f(\lambda) = f_0(\lambda) \cdot r(\lambda) \quad (1)$$

Здесь  $f(\lambda)$  -интенсивность излучения в фокальной плоскости спектрографа,  $f_0(\lambda)$  -интенсивность излучения на щели спектрографа,  $r(\lambda)$  - аппаратная функция спектрографа. В нашем случае спектр плоского поля, который не содержит спектральные линии, моделирует аппаратную функцию спектрографа. Произведение нормированного на континуум синтетического спектра на прямую, характеризующую наклон

непрерывного спектра, можно считать интенсивностью излучения, падающего на входную щель спектрографа.

Следовательно, нашей задачей является изменить амплитуды пикселей с учетом интенсивности синтетического спектра

Для каждой строки поперек порядка вычисляется значение подложки, используя крайние точки порядка. По этим точкам проводится прямая линия. Полученное в каждом пикселе значение подложки вычитается для того, чтобы изменять только значимую часть профиля порядка. (Рис. 4.)

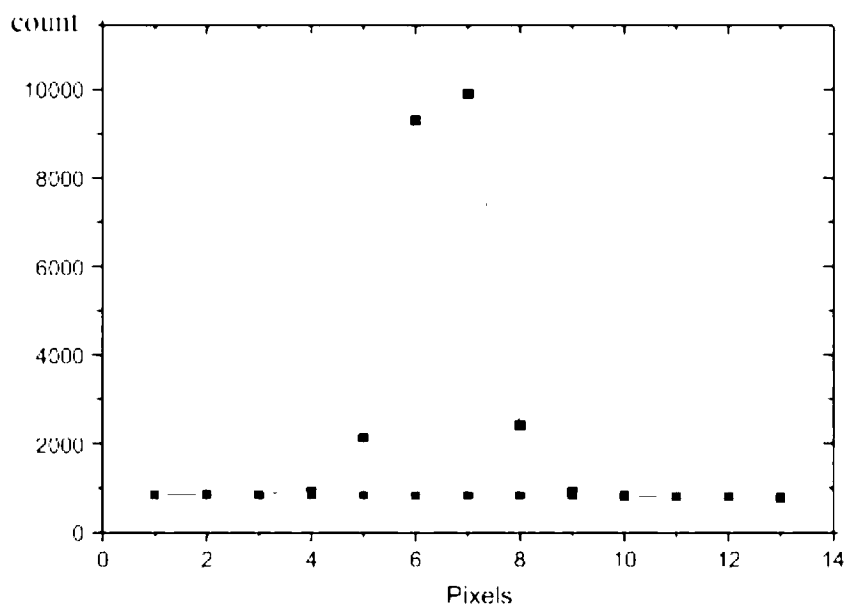


Рис. 4. Определение нулевого уровня для вычисления весов каждой точки в суммарный профиль порядка. Черным цветом показаны точки разреза порядка поперек оси дисперсии, серым определен нулевой уровень.

Рассчитается общая площадь оставшейся части порядка и для каждой точки определяется коэффициент вклада этой точки в интегральный сигнал. Ясно, что наиболее значимыми будут точки, расположенные вблизи максимума, а точки на краях будут давать очень незначительный вклад в интегральный отсчет. Весовой вклад каждой точки определяется нормировкой профиля порядка на максимум.

Значение остаточной интенсивности каждой точки синтетического спектра является множителем, на который необходимо изменить площадь разреза порядка (Рис. 5).

Затем производится восстановление вычитенную ранее подложки и рассеянного света и производится запись нового профиля порядка в массив изображения.

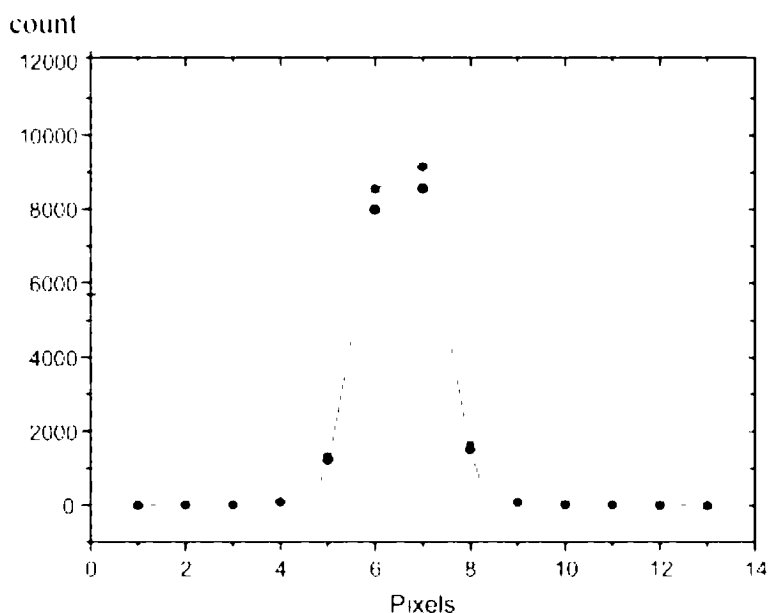


Рис. 5. Изменение амплитуды пикселей с учетом интенсивности синтетического спектра в зависимости от их весов. Серый цвет, исходная интенсивность пик селей, черный цвет интенсивность, измененная с учетом синтетического спектра.

### ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННОГО СПЕКТРА.

Подготовленное изложенным выше способом изображение спектра искусственной звезды было обработано при помощи программы StarXp таким же образом, как и настоящие изображения спектров звезд, получаемых на данном спектрометре. Следует заметить, что интенсивность света от калибровочной лампы намного выше, чем от реального объекта и отношение сигнал/шум спектров звезд будет хуже. Исследуя полученный спектр можно сделать следующие выводы:

- Данная методика позволяет пронаблюдать зависимость уровня шумов от интенсивности спектра калибровочной лампы.
- Используя сетку изображений калибровочной лампы, снятых с разной интенсивностью можно определить вид аппаратной функции спектрометра, и использовать его для нашей методики нормировки на непрерывный спектр.
- Ошибка проведения непрерывного спектра полученная по ядрам сильных линий составляет 2-3% и зависит от уровня шумов спектра плоского поля

На рис. 6. показано сравнение синтетического спектра и нормализованного программой StarXp спектра искусственной звезды.

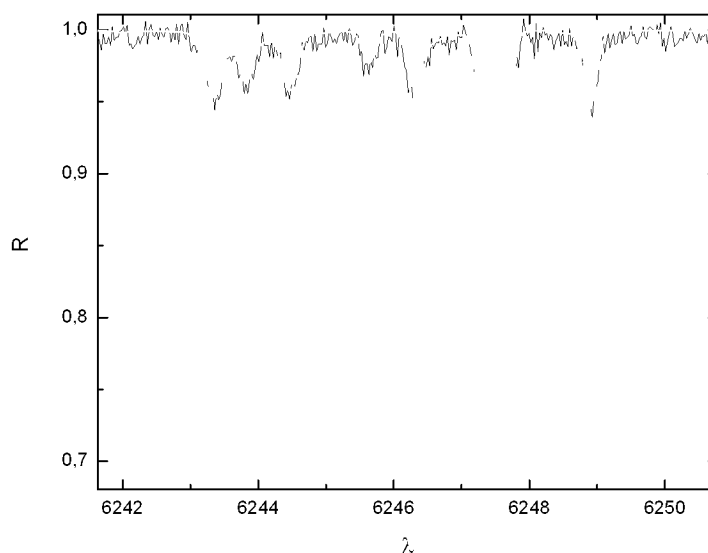


Рис. 6. Сравнение фрагмента синтетического спектра (гладкий спектр) и нормализованного программой StarXp спектра искусственной звезды (зашумленный спектр)

### ВЫВОДЫ

Впервые предложена методика построения спектра искусственной звезды.

Методика позволяет:

- Смоделировать процессы регистрации спектров в спектрографах со скрещенной дисперсией на CCD матрицу.
- Протестировать комплексы программ обработки, исследуя спектр объекта, для которого заранее известен абсолютно правильный результат обработки.
- Оценить реальную разрешающую способность спектрографа.
- Определить точность проведения непрерывного спектра.
- Проверить методику интерполяции функций отклика порядков, содержащих широкие линии поглощения.

**Список литературы**

1. Ляшко Д.А. Автоматическая нормировка на континуум эшелле спектров звезд. // Кинематика и физика небесных тел. - 2005. - Т. N. - с..
2. Tsymbal, V., Lyashko, D., & Weiss, W. W. 2003, in Processing Stellar Echelle Spectra. IAU Symp 210, editors. N. Piskunov, W.W.Weiss, D.F. Gray, Astr. Soc. Pacific.
3. Tsymbal, V. V. 1996, in Model Atmospheres and Spectral Synthesis, ed. S. J. Adelman, F. Kupka & W.W.Weiss, ASP
4. Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И. Техника и практика спектроскопии. М.: Наука, 1972. 375 с.

*Поступила в редакцию 19.05.2005 г.*