



ISSN 1607–2855

Том 5 · № 1–2 · 2004 С. 254–258

УДК 524.387

## Автоматическая нормализация на континуум эшелле спектров звезд

Д.А. Ляшко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Таврический национальный университет им.В.И.Вернадского, Симферополь

<sup>2</sup>Institute for Astronomy, University of Vienna, Austria

*Для нормализации к континууму мы используем спектр плоского поля. Этот подход позволяет учесть аппаратные искажения, вносимые эшелле спектрографом и автоматизировать процесс проведения континуума. Данный подход позволяет решить одну из главных проблем — нормализацию на континуум в порядках, которые содержат водородные линии. При разработке комплекса программ автоматической обработки эшелле спектров, были использованы наблюдения, полученные на спектрографах: GIRAFFE (SAAO); Южная Африка, SARG (TNG) Италия, BOES (BOAO) Южная Корея.*

*АВТОМАТИЧНА НОРМАЛІЗАЦІЯ НА КОНТИНУУМ ЕШЕЛЛЕ СПЕКТРІВ ЗІРОК, Ляшко Д.А. — Для нормалізації до континуума ми використовуємо спектр плоского поля. Цей підхід дозволяє врахувати апаратні викривлення, внесені ешелле спектрографом і автоматизувати процес проведення континуума. Даний підхід дозволяє вирішити одну з головних проблем — нормалізацію на континуум у порядках, що містять водневі лінії. При розробці комплексу програм автоматичної обробки ешелле спектрів, були використані спостереження, отримані на спектрографах: GIRAFFE (SAAO); Південна Африка, SARG (TNG) Італія, BOES (BOAO) Південна Корея.*

*AUTOMATIC CONTINUUM ECHELLE SPECTRA NORMALIZATION, by Lyashko D.A. — For continuum normalization we use a spectrum of a flat field. This approach allows to take into account the hardware distortions brought echelle spectrograph and to automate process of carrying out of a continuum. The given approach allows solving one of the main problems — normalization on a continuum in orders which contain hydrogen lines. By development of a complex of programs of automatic processing echelle spectra, the supervision received on spectrograph have been used: GIRAFFE (SAAO); Southern Africa, SARG (TNG) Italy, BOES (BOAO) South Korea.*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Нормализация на континуум является наиболее трудоемкой операцией в обработке спектров звезд. Результат во многом определяется опытом и интуицией наблюдателя. Между тем хорошо известно, что обработка экспериментальных данных должна осуществляться независимо от человека. В этой связи нами предложен автоматизированный подход к обработке эшелльных спектров звезд, исключаящий какое-либо вмешательство со стороны наблюдателя в процесс обработки [1]. В данной работе описаны основные этапы предлагаемого подхода, иллюстрированные примерами, полученными на конкретных спектрометрах.

### 2. НОРМАЛИЗАЦИЯ НА КОНТИНУУМ ПОРЯДКОВ ЭШЕЛЛЕ СПЕКТРОВ, НЕ СОДЕРЖАЩИХ ШИРОКИХ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ

Предлагаемый алгоритм проведения непрерывного спектра в спектрах звезд спектральных классов O–K состоит из следующих этапов.

## 2.1. Построение аппаратной функции спектрометра

Непрерывный спектр звезды при прохождении эшелле спектрометра искажается в результате сильной зависимости чувствительности прибора от номера пикселя вдоль оси дисперсии. Это искажение возможно описать, используя т.наз. аппаратную функцию спектрометра. Аппаратную функцию можно получить, анализируя спектр плоского поля (свет калибровочной лампы проходит тот же оптический путь, что и свет звезды). Кроме того спектры плоского поля позволяют исключить из спектра звезды специфические искажения: так называемые «фринги» (интерференция света на защитном стекле ССD, молекулярные полосы так называемых «мокрых» световодов и т.д.). Основой для построения аппаратной функции служит медианное среднее набора изображений плоского поля. Поскольку спектр плоского поля может быть искажен за счет фрингов, аппаратная функция спектрографа для каждого порядка получается путем построения гладкой огибающей.

Проведя деление спектра плоского поля на аппаратную функцию, мы получаем также возможность, компенсировать соответствующие искажения в спектре исследуемой звезды. Описанная процедура проиллюстрирована на рис. 1.

Полученная аппаратная функция отличается от аппаратной функции, искажающей спектр звезды. Поэтому необходимо произвести преобразование аппаратной функции спектрографа, полученной по спектру калибровочной лампы, в так называемую функцию отклика (response function), искажающую спектр звезды.

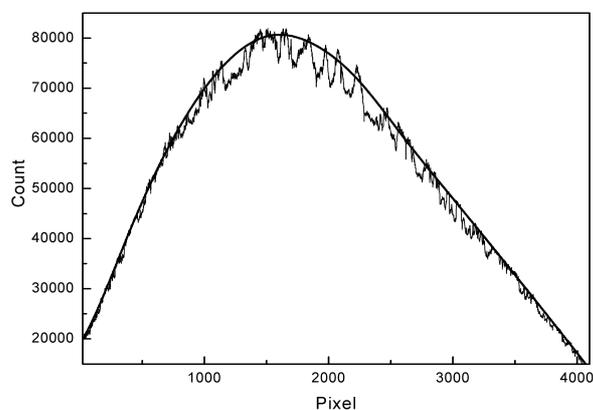


Рис. 1. Построение аппаратной функции 54-го порядка спектра плоского поля спектрометра BOES

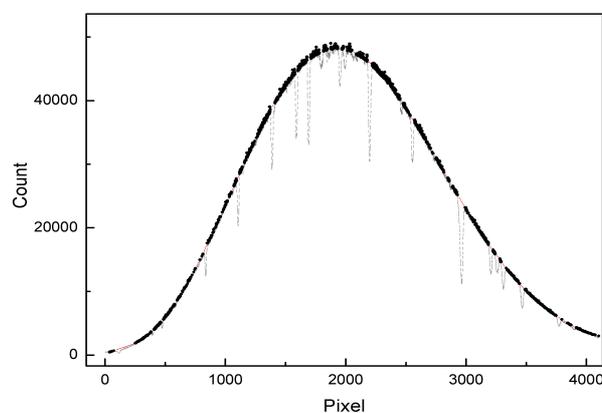


Рис. 2. Отбор точек для проведения континуума в спектре Сириуса

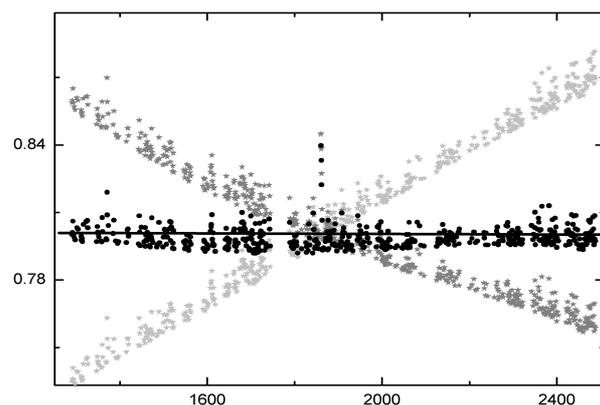


Рис. 3. Алгоритм нахождения коэффициента  $S$

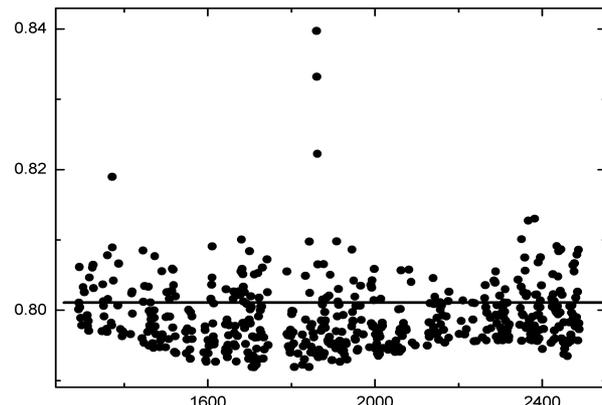


Рис. 4. Алгоритм нахождения коэффициента  $B$

## 2.2. Преобразование аппаратной функции спектрометра

В спектре звезды для каждого порядка отбираются точки условного континуума и ищутся коэффициенты трансформации, позволяющие провести преобразованную аппаратную функцию через эти точки наилучшим образом. Для отбора точек условного континуума применяется следующая методика.

Порядок разбивается на пять интервалов, на каждом из которых для первого приближения выбираются локальные максимумы. Используя итерационную аппроксимацию сглаживающим сплайном, как и для построения аппаратной функции, отбираем точки порядка спектра звезды для построения континуума (рис. 2).

Выполненные исследования показывают, что преобразование аппаратной функции спектрометра в функцию отклика осуществляется введением трех параметров: параметр сдвига  $S$ , масштабный коэффициент  $B$  и нелинейный параметр  $A$ . Параметр  $A$  учитывает изменение формы аппаратной функции спектрометра на краях порядков эшелле спектров звезд.

В основе определения коэффициентов трансформации лежит следующий факт. Если в данном порядке эшелле спектра имеются точки условного континуума, то линия, проведенная через эти точки после деления спектра звезды на непрерывный спектр, обязана быть прямой, параллельной оси длин волн и иметь значение 1.

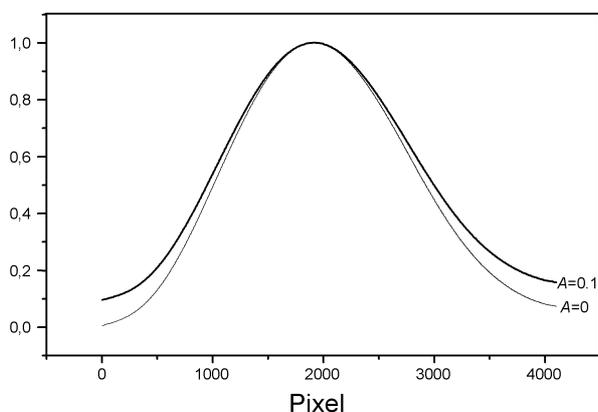


Рис. 5. Изменение формы аппаратной функции при помощи коэффициента  $A$

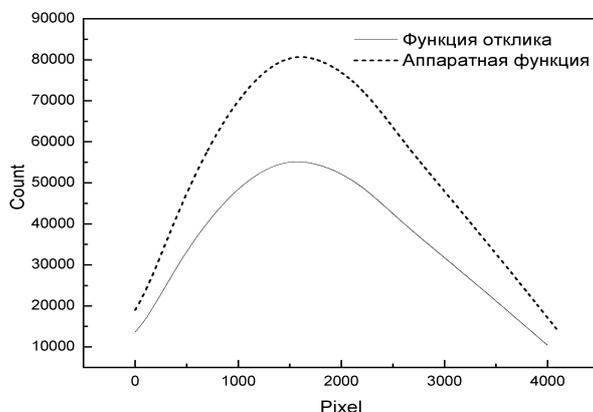


Рис. 6. Аппаратная функция и функция отклика для 54 порядка спектра Сириуса спектрографа BOES

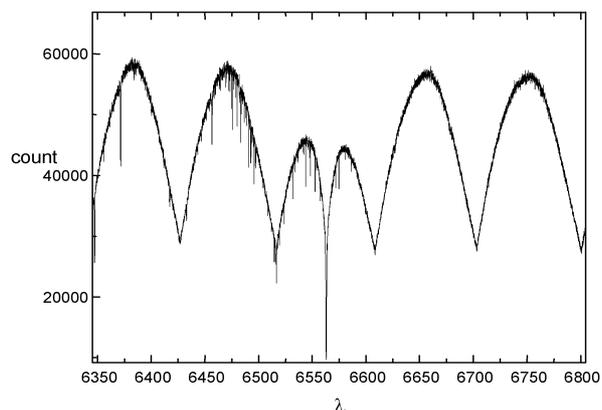


Рис. 7. 49, 50 и 51 порядки спектра Сириуса, содержащие линию  $H_{\alpha}$

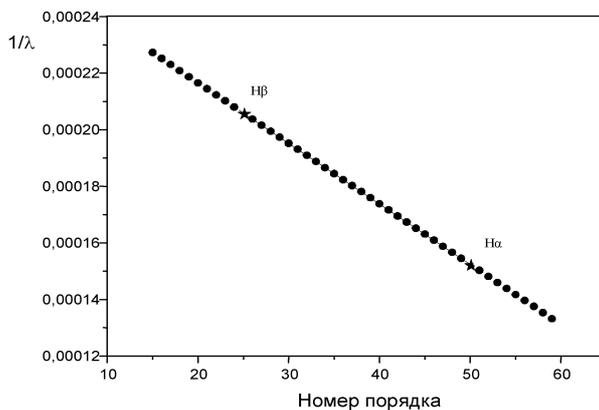


Рис. 8. Интерполяция коэффициента  $S$

Для определения параметра  $S$  делим отобранные точки на аппаратную функцию спектрометра и подбираем величину сдвига  $X = X - S$  таким образом, чтобы получить прямую параллельную оси длин волн (рис. 3).

Определяем масштабный коэффициент как медианное среднее результата деления точек условного континуума на аппаратную функцию спектрометра, преобразованную с помощью коэффициента  $S$ . Медианное среднее используется для исключения дефектов спектра (рис. 4).

На краях порядка необходимая дополнительная коррекция осуществляется с помощью нелинейного коэффициента  $A$  (1).

$$B_{\text{new}} = \frac{B + A}{1 + A} \quad (1)$$

где  $B_{\text{new}}$  — функция отклика,  $B$  — нормированная на 1 аппаратная функция.

Нелинейная поправка возникает из-за дисторсии спектрометра. Преобразование аппаратной функции при помощи коэффициента  $A$  показано на рис. 5.

На рис. 6 показаны аппаратная функция и полученная функция отклика для 34 порядка спектра Сириуса для 5 фибера спектрографа VOES.

### 3. НОРМАЛИЗАЦИЯ НА КОНТИНУУМ ПОРЯДКОВ ЭШЕЛЛЕ СПЕКТРОВ, СОДЕРЖАЩИЕ ШИРОКИЕ ЛИНИИ ПОГЛОЩЕНИЯ

Даже в эпоху фотографических эмульсий и обычных неэшелльных низко-дисперсионных спектров, нормализация на континуум широких, в первую очередь водородных линий в спектрах звезд спектральных классов А–F являлась проблемной. Тем более данная задача является проблемной для эшелльных спектров (рис. 7).

Из рис. 7 видно, что восстановить функцию отклика в соответствующих порядках практически невозможно. Простое деление спектра звезды на аппаратную функцию способно несколько улучшить ситуацию, но результат очень далек от тех точностей, которые требуют современные проблемы физики звездных атмосфер.

В этой связи мы используем технологию восстановления функции отклика в порядках, содержащих водородные линии, используя значение функции отклика, полученные для остальных порядков эшелле спектра.

В настоящее время процедура позволяет определить функцию отклика для водородного порядка путем интерполяции коэффициентов  $S$  и  $B$ . Тогда, зная аппаратную функцию и соответствующие коэффициенты, мы получаем функцию отклика для порядка, содержащего водородную линию.

Процесс интерполяции показан на рис. 8 и рис. 9 и позволяет получить достаточно точное ре-

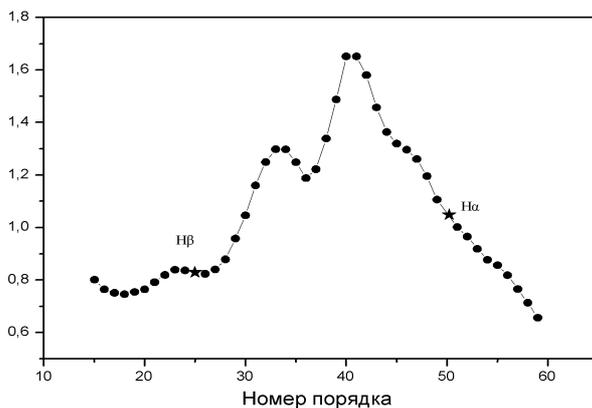


Рис. 9. Интерполяция коэффициента  $B$

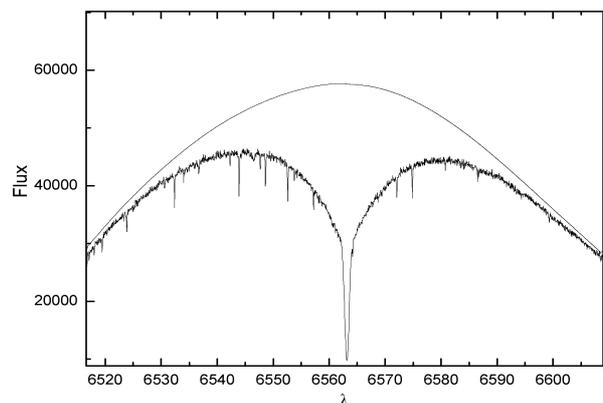


Рис. 10. Результат интерполяции порядка спектра Сириуса, содержащего линию  $H\alpha$

шение для центральной части порядка.

Значение третьего параметра  $A$  определяется из условия совпадения нормализованных спектров в местах пересечения с соседними порядками и путем интерполяции функции отклика соседних порядков. На рис. 10 показан результат восстановления порядка содержащего линию  $H_{\beta}$  в спектре Сириуса.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время описанная методика внедрена и используется в обсерваториях: ВАОО (Южная Корея), НИИ КрАО (Украина), Институт Астрономии Венского университета. На базе предложенной методики была обработана наземная часть наблюдений по проекту COROT [2], начата адаптация данной методики на спектрографе UVES [3]

**Благодарности.** Автор признателен В.Цымбалу, стимулировавшему данную работу и за плодотворные дискуссии; Д.Мкртчяну и Г.Галазутдинову за ряд ценных указаний, всестороннее тестирование программы и предоставленные спектры; В.Вайсу за обсуждения и поддержку данного проекта. Автор признателен за поддержку следующим фондам: The Austrian Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (P-14984), the BM:BWK and ASA (project COROT).

1. *Tsybal V., Lyashko D., Weiss W.W.* Processing stellar echelle spectra // IAU Symposium №210. Modelling of Stellar Atmospheres.
2. *Baglin A., Auvergne M., Barge P., Buey J.-T., Catala C., Michel E., Weiss W.W. and the COROT Team* COROT: asteroseismology and planet finding // Proceedings of the First Eddington Workshop, ESA SP-485, 2002. — P. 17.
3. *Kauffer A.* Uv-visual echelle spectrograph (uves) templates reference guide. Doc. № VLT-TRE-ESO-13200-1567 Issue 2.2, Date 10/01/2004.

Поступила в редакцию 1.11.2004