

Пайплайн за обработка на наблюдения от ESpeRo

С. Георгиев¹, М. Мойсеев¹, К. Стоянов¹, Р. Константинова-Антова¹,
М. Гълъбова¹

¹Институт по астрономия с НАО, БАН



Абстракт

Представяме напълно автоматизиран пайплайн за първична обработка на наблюдателни данни, получени с ешелния спектрограф ESpeRo на 2м-телескоп на НАО. Пайплайнът е написан изцяло на *python* и извършва основните стъпки по обработка на наблюденията, включващи корекции за космици, bias и плоско поле, идентифициране на ешелните порядъци и калибриране по дължина на вълната. В допълнение, се предоставя възможност за нормиране на получените спектри на отделните ешелни порядъци по интензитет и събирането им в непрекъснат спектър, покриващ целия спектрален диапазон на инструмента.

Първоначална обработка

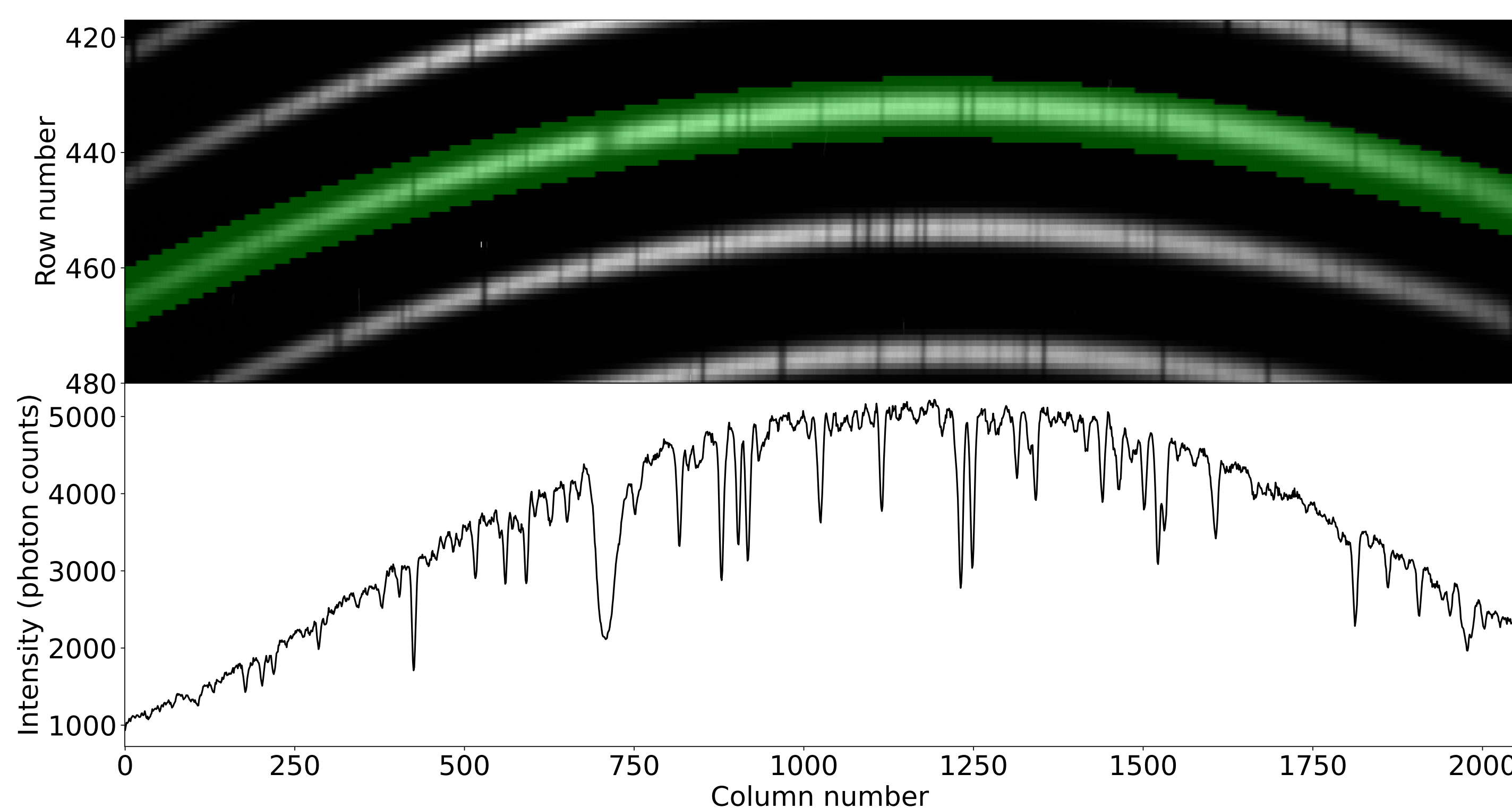
Преди стартирането на пайплайна е необходимо да се уверим, че хедърите на кадрите са попълнени. Това става като непосредствено след получаване на наблюденията се стартира програмата FitsMEdit, инсталирана на компютъра на ESpeRo. Освен попълнените хедъри, програмата създава Journal.txt файл, който пайплайнът използва за зареждането на необходимите данни.

След зареждане на данните, пайплайнът прилага LA-cosmic algorithm (van Dokkum, 2001) за премахване на космически частици. След това се правят корекции за bias и плоско поле по стандартни процедури.

Идентифициране и извличане на порядъците

За идентифициране на ешелните порядъци се използва комбинираното плоско поле, тъй като в него сигналът е достатъчно висок в целия диапазон на инструмента. Най-напред пайплайнът извлича вертикалния профил на плоското поле - вектор, съдържащ сумите на интензитетите по колони на матрицата, обхващайки всички 2048 реда на CCD. След това, с помощта на функцията *find_peaks* от библиотеката *SciPy* в *python*, се идентифицират пикове във вертикалния профил, които съответстват на вертикалните позиции (редове) на най-ярките пиксели от порядъците. За да определи позицията на най-яркия пиксел от всеки порядък по хоризонтала (т.е. по колони), алгоритъмът открива най-яркия пиксел в реда на всеки от пиковете.

След това пайплайнът продължава с трасирането на порядъците върху CCD матрицата, започвайки от първия порядък. Най-яркият пиксел с интензитет $I_{x,y}^0$ служи като начален. От него се разглеждат трите съседни пиксела вляво - $I_{x-1,y-1}^0$, $I_{x-1,y}^0$ и $I_{x-1,y+1}^0$ като се избира най-яркият и се добавя към списъка с пиксели, принадлежащи на порядъка, започващ с първоначалния пиксел. Процедурата се изпълнява итеративно до ръба на кадъра, след което се повтаря по аналогичен начин надясно от началния пиксел. Същото се прилага и върху останалите порядъци. Получените координати се апроксимират с полиноми от пета степен, очертаващи профилите на порядъците.



След трасирането, сигналът се извлича чрез сумиране в рамките на апертура по колони. Характерната вертикална ширина на порядъците е около 10 пиксела. Затова се използва апертура с такъв размер, като се сумират интензитетите в ивица с обхват ± 5 пиксела около профила на всеки порядък. Пример за извличане на спектър е показан на горната фигура.

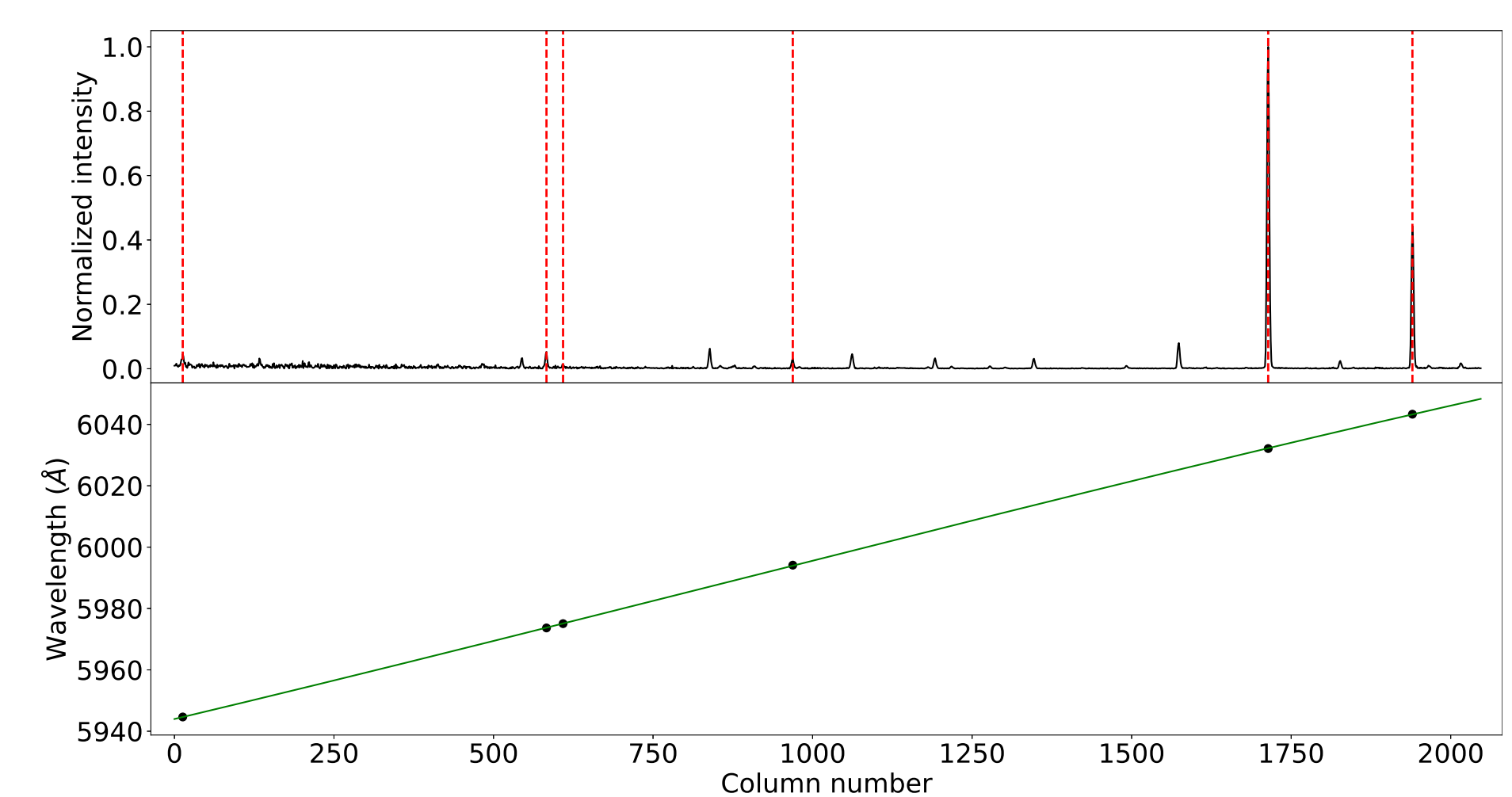
Калибровка по дължина на вълната

Калибрирането по дължина на вълната се осъществява чрез спектър за сравнение - лампа ThAr. След идентифициране на линиите в нейния спектър, се построява дисперсионна крива $D_i(x) = \lambda$, където i е поредността на порядъка, x е пикселната стойност на колоната върху CCD матрицата, а λ е съответстващата дължина на вълната. За целта се използва апроксимация с полином на Чебишов от трета степен:

$$D_i(x) = \sum_{k=0}^3 a_k(i) T_k \quad (1)$$

където T_k е полином на Чебишов от k -та степен, а a_k е определен от фитирането параметър.

За получаване на надеждно дисперсионно решение за всяко наблюдение, програмата използва предварително подготвен стандартен ThAr спектър, в който ръчно са идентифицирани голям брой линии от всеки порядък с помощта на атлас. Техните пикселни позиции са определени чрез гаусови апроксимации. На базата на тези линии се намират дисперсионни решения, с помощта на които се разрешават новите ThAr спектри. Пример за построяването на дисперсионно решение е показан на долната фигура.



Позиции на всяка от линиите $x_{line}[pix]$ от стандарта се използват като начално предположение за гаусианите, които определят положенията им върху некалибрирания спектър x_{line}^{uncal} . Дисперсионното решение на стандарта служи като начално приближение за извеждане на ново решение на база новите двойки $(x_{line}^{uncal}, \lambda_{line})$. Тази процедура се нарича fine-tuning. Полученото дисперсионно решение се използва и за научните спектри. Поради орбиталното движение на Земята е необходимо прилагане на хелиоцентрична корекция. Хелиоцентричната скорост се изчислява с помощта на библиотеката *astropy*, а полученото Доплерово отместване се прилага върху спектъра.

Нормиране на континуума

Поради инструментални ефекти, сигналът в порядъците отслабва по краищата, формирайки характерна крива, която се апроксимира с полином на Чебишов от 5-та степен. За целта предварително се замаскират емисионните и абсорбционни линии и се използват само точки от континуума. Спектърът се разделя на този полином, за да се получи в нормиран вид.

Запис на данни

Пайплайнът предоставя възможност за съшиване на отделните порядъци в един 1-D спектър. Там, където те се препокриват, се използва порядъкът с по-висок SNR. Изходният формат на тези спектри е *.txt*. Ненормирани и нормирани 2-D спектри могат да се запазват в *.fits* и *.txt* формат.