

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА РАСШИРЕНИЯ НА
ФОТОМЕТРИЧЕСКУЮ ТОЧНОСТЬ КУДЕ-СПЕКТРОГРАММ

Д. Колев

I. Введение.

Для повышения точности фотографической спектрофотометрии приходится расширять спектрограммы как можно больше. Так, великолепные по точности спектрограммы Сириуса Куруца и Фуренлида (1979) имеют отношение "сигнал/шум" больше 300, что достигнуто расширением спектра до 5 мм, а на куде-спектрографе 1.5-м телескопа ЕСО предусмотрена возможность расширения до 8 мм / Данкс, 1981 /. На куде-спектрографе 2-м телескопа НАО "Рожен" реально достижимо отношение $(S/N) \approx 150$ для IIa-0 при максимальной высоте щели 10 мм, проектирующей на эмульсию в 2.7 мм. При этом, в особенности для коротких экспозиций, особое внимание следует уделять равномерности расширения. Современные цифровые микроденситометры позволяют ценой многократного сканирования и складывания интенсивностей обрабатывать и плохо расширенные спектры, но при этом конечная фотометрическая точность очевидно всегда будет ниже, чем при однократном сканировании равномерно расширенного спектра оптимальной плотности.

Первоначально поставленный расширитель на 2-м телескопе НАО позволял работать с ним только до высоты 3 мм, что совершенно неприемлемо, поскольку для хорошего расширения спектров приходится "качать" весь телескоп. С начала 1985 г. работает новый расширитель, изготовленный фирмой-поставщиком "Карл Цейсс"-Йена по нашему предложению. Конструктивно в узле расширителя заменена только качающаяся плоскопараллельная

пластина - теперь ее толщина такова, что обеспечивает при неизменном угле наклона пластины сканирование звездным изображением щели по всей высоте.

В связи с исследованием работы нового расширителя мы попытались сформулировать количественные критерии допустимой неравномерности расширения спектрограмм, что, вместе с результатами исследования самого расширителя, является предметом настоящей работы.

II. Неравномерность расширения спектрограмм и точность профилей спектральных линий.

Рассмотрим две спектрограммы, одинаковые во всем за исключением расширения - одна равномерно расширенная, а другая - неравномерно и примем для облегчения анализа, что плотность этой спектрограммы поперек дисперсии меняется линейно. Пусть при сканировании на измерительном приборе, свободном от нелинейных искажений, щелью, равной ширине спектра, реакция прибора одинаковая и измеренная плотность континуума лежит на прямолинейной части харквивой. Для обеих спектрограмм имеем

$$D_1(x) = D_1^0 = \text{const} \quad /1/$$

$$D_2(x) = D_2^0 + (\Delta D/H) \cdot x, \quad /2/$$

где x - расстояние от края спектра с минимальной плотности поперек дисперсии,

H - ширина полосы спектра, равная высоте измерительной щели.

На спектр падает поток постоянной интенсивности I_0 , который в границах измерительной щели пропорционален H :

$$\Phi_0 = k \cdot I_0 \cdot H \quad /3/$$

После прохождения через спектрограммы поток в обоих случаях будет

$$\Phi_1 = \kappa \int_0^H I_0 \cdot 10^{-D_1(x)} dx = \kappa \cdot I_0 H \cdot 10^{-D_1^0} \quad /4/$$

для равномерно расширенной спектрограммы и

$$\Phi_2 = \kappa \int_0^H I_0 \cdot 10^{-[D_2^0 + (\Delta D/H)x]} dx = \kappa I_0 H \frac{10^{-D_2^0}}{\Delta D \cdot \ln 10} (1 - 10^{-\Delta D}) \quad /5/$$

для неравномерной.

Учитывая, что в нашей задаче фотографическая плотность D можно определить как $\lg(\Phi_0/\Phi)$, получаем, что в обоих случаях измеренная плотность будет соответственно :

$$D_1 = D_1^0 \quad /6/$$

$$D_2 = D_1 = \lg \frac{10^{D_2^0} \cdot \Delta D \cdot \ln 10}{(1 - 10^{-\Delta D})} = D_2^0 + \delta D \quad /7/$$

$$\text{где } \delta D = \lg \Delta D + 0.36 - \lg(1 - 10^{-\Delta D}) \quad /8/$$

С точностью не хуже 10% формально δD можно заменить на $\Delta D/2$ если $\Delta D \leq 0.5$, а ограничивая интервал ΔD до 0.2 точность замены возрастает до 6%, причем всегда $\delta D < \Delta D/2$.

Попытаемся ответить на вопрос каким образом будет меняться профиль спектральной линии в зависимости от ΔD . Из-за нелинейности нижней части харкривой эмульсии величина ΔD для достаточно сильных линий будет разной в крыльях и в ядре, причем очевидно, что, поскольку градиент харкривой - γ - разный на уровнях плотностей континуума и ядра и $\gamma_{\text{я}} < \gamma_{\text{к}}$, то

$$\Delta D_{\text{я}} \approx \Delta D_{\text{к}} \cdot \gamma_{\text{я}} / \gamma_{\text{к}} < \Delta D_{\text{к}} \quad . \text{ При одинаковых плот-}$$

ностях континуума измеренная плотность в ядре сильной линии на "неравномерной" спектрограмме будет меньше, чем у той же линии на хорошо расширенной, т.е. линия будет казаться глубже. Например для наиболее часто применяемой эмульсии IIa-0 на плотностях $D_{\text{к}} = 0.8$ и $D_{\text{я}} = 0.3$ $\gamma_{\text{к}} \approx 1.6$ и $\gamma_{\text{я}} \approx 0.7$. Линия с такими параметрами на "равномерной" пластинке будет

иметь центральную глубину $R_c = 0.64$. Приближенный расчет показывает, что формально неравномерность плотности континуума $\Delta D = 0.5$ приведет к возрастанию R_c до 0.76, т.е. внесет ошибку в R , а в первом приближении и в эквивалентную ширину w_λ порядка 20%. Даже неравномерность порядка $\Delta D = 0.1$ вызывает ошибку в 5%.

Если принять величину 3% как предел допустимых искажений при массовом измерении интенсивностей линий, можно установить критерий неравномерности расширения спектра $\Delta D \leq 0.1$. Для более тонких работ следует стремиться, например, к $\Delta D \leq 0.05$ что соответствует ошибке всего в 1.5%. Можно ожидать, что для эмульсий с более крутыми характеристическими кривыми и при более высокой средней плотности спектра критерий неоднородности будет мягче. Кроме того неравномерность не скажется на профили слабых линий, у которых и плотность ядра попадает на линейной части харкривой. Легко показать также, что неравномерность расширения не вносит ошибок в позиции линии.

III. Качество расширения куде-спектрограмм НАО.

Для оценки качества работы расширителя на эмульсии IIa-0 было получено несколько спектрограмм звезд γ Peg /2.9^m/ и HD 11905 /6.5^m/ в камерах 2 / дисперсия 9 Å/мм/ и 3 /4Å/мм/. Высота щели менялась от 6 до 10 мм, на пластинке - от 0.5 до 1.7 мм. Спектрограф работает без фотогида и поэтому были испробованы различные режимы гидирования - непрерывный контроль за положением изображения на щели и периодический контроль через 1-2 минут. Время выдержки менялось от 4 до 90 мин. Спектрограммы просканированы на микроденситометре Джойс-Лобл в НАО поперек дисперсии на двух уровнях плотности со щелью 25 x 250 мкм².

Необходимость непрерывного контроля вызвана такими обстоятельствами, как дрейф изображения по координате α при несовпадении скорости слежения за звездой с суточным вращением, что при неточной установке щели по α деротатором приводит к неравномерному расширению. Неравномерность появится и при длительной экспозиции при больших зенитных отстояниях, если спектр из-за атмосферной дисперсии не будет выставлен вдоль щели.

Примеры сканов представлены на Рис. 1

->

Спектрограмма № 3с-0564 экспонирована 90 мин. при тщательном контроле и отвечает критерию монотонной неоднородности $\Delta D \leq 0.05$. Спектрограмма № 2с-2267 с выдержкой 80 мин при периодическом контроле отвечает критерию $\Delta D \leq 0.1$, а спектрограмма № 2с-2268 с выдержкой 4 мин, при которой контроль за положением изображения осуществлялся всего 2-3 раза за время экспозиции, показывает наибольшие неоднородности, хотя и выходит за критерием $\Delta D \leq 0.1$ ненамного. Отметим, что частота качания пластины расширителя достаточно большая - около 8 сканов в минуту. Тем не менее, как видно на последнем примере необходим постоянный контроль, чтобы избежать неравномерности расширения.

IV. Выводы.

Проведенное исследование работы нового расширителя куде-спектрографа 2-м телескопа НАО "Рожен" доказывает высокое качество расширения спектрограмм, которое можно достичь. Шумовые характеристики сканов соответствуют типичным для Иа-0 при сканировании со щелью, равной примененной нами. Демонстрированные эффекты неравномерного расширения вызваны исключительно неодинаковыми, переменными и внешними по отношению к самым расширителем условиями гидирования. Вне сомнения, что при внимательной подготовке и проведения наблюдения автомати-

ческое расширение куде-спектрографа НАО позволяет получать высококачественный наблюдательный материал .

Выведенные критерии неравномерности расширения могут служить основой качественной оценки материала.

Автор выражает свою признательность Й.Борисовой и П.Павловой за большую помощь в сканировании спектрограмм на микро-денситометре НАО.

Болгарская Академия наук
Секция астрономии с НАО
НАО "Рожен"

ЛИТЕРАТУРА

Данкс (**Danks A.C.**), 1981 , editor, **The ESO User's Manual** ,
sec.III. A.1, p. 5 .

Куруц и Фуренлид (**Kurucz R.L. and Furenlid I.**), 1979,
Sample Spectral Atlas for Sirius . , Smithsonian
Astrophysical Observatory Spec.Report №387,p. 5 .

INFLUENCE OF THE WIDENING ON THE PHOTOMETRIC ACCURACY OF THE
COUDE-SPECTROGRAMS

D. Kolev

ABSTRACT :

The problems of the good quality of the spectrograms widening are discussed and criterions are propose. The spectrum density inhomogeneity perpendicular to the dispersion (ΔD) limits an accuracy of the lines intensity measurements as follow: 1.5% if $\Delta D = 0.05$ and 5% if $\Delta D = 0.1$.

The new automated widening of the coude-spectrograph of the 2-m telescope at NAO "Rozhen" is tested. The results show an excelent quality of the widening if the guidance of the star image is careful .

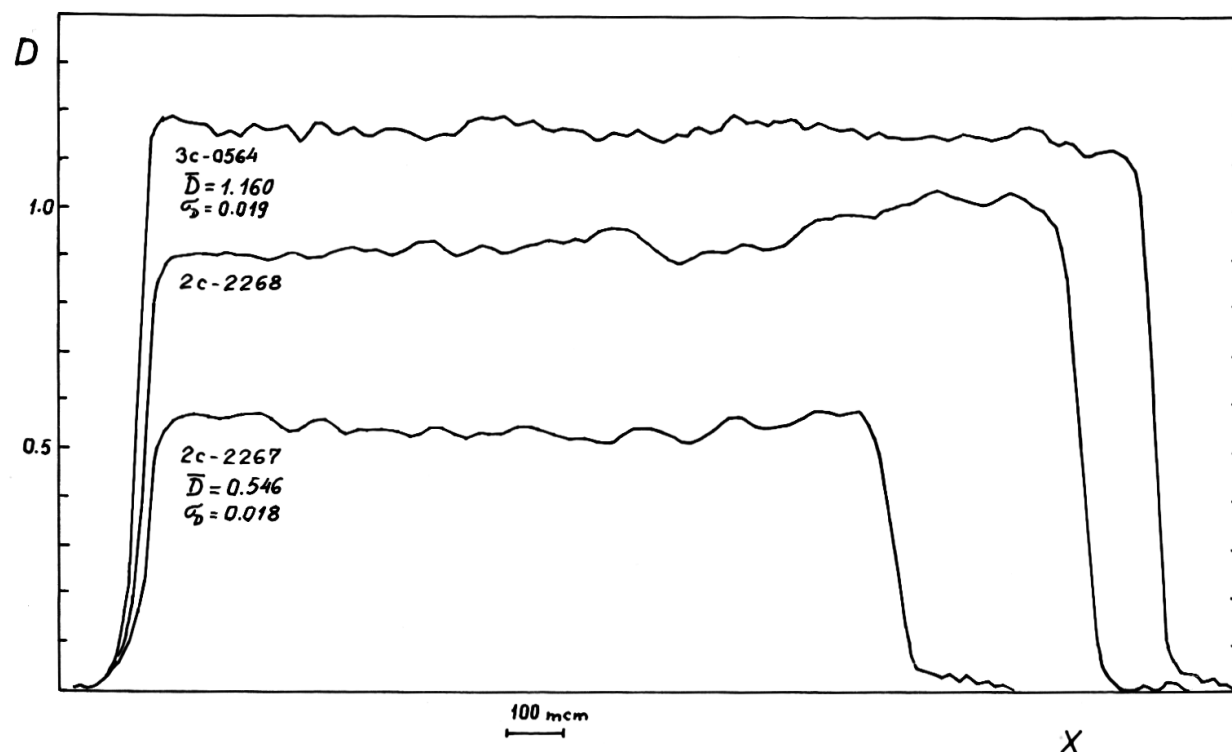


Рис.1. Поперечные сканы тестовых спектрограмм для исследования равномерности автоматического расширения :

3c-0564 - γ Рег , $2.9^{\text{м}}$, $4 \text{ } \text{\AA}/\text{мм}$, эксп. 90 мин. , высота щели 10 мм ;

2c-2268 - γ Рег , $2.9^{\text{м}}$, $9 \text{ } \text{\AA}/\text{мм}$, эксп. 4 мин. , 10 мм ;

2c-2267 - HD 11905 , $6.5^{\text{м}}$, $9 \text{ } \text{\AA}/\text{мм}$, эксп. 80 мин. , 8 мм .