

УДК 524.358

**Спектральная переменность звезд Вольфа — Райе.****I. Исследование аппаратурного комплекса****С. В. Марченко**

Исследованы геометрические, сенситометрические, пространственно-частотные характеристики изображений, получаемых с помощью системы спектрограф UAGS+ЭОП+астрофотопленка А-600 РП, а также стабильность воспроизведения характеристик в длительных рядах наблюдений. Получены ошибки определения эквивалентных ширин линий по наблюдениям контрольных звезд.

*SPECTRAL VARIABILITY OF THE WOLF—RAYET STARS. I. INVESTIGATION OF THE APPARATUS COMPLEX, by Marchenko S. V.*—Sensitometrical, geometrical, space-frequency image characteristics obtained by the spectrograph UAGS+image tube+astronomical film A-600 RP system are investigated. The instrumental stability in the long-term observational series is studied. The errors of equivalent widths determination are obtained from observations of comparison stars.

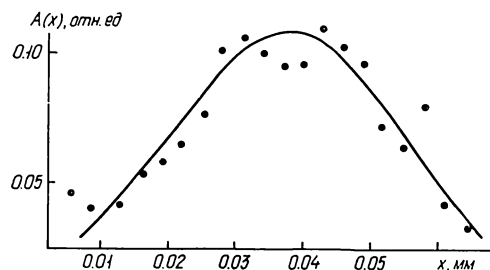
В ГАО АН УССР на основе модульного электростатического ЭОП с волоконно-оптическими дисками разработана универсальная камера с усилителем света «УКУС» [4]. Регистрация изображений в камере осуществляется контактным способом на фотопленку.

В 1984 г. начата программа спектральных наблюдений звезд Вольфа — Райе. Для выявления быстрых маломасштабных изменений в спектрах звезд прежде всего необходима оценка основных характеристик светоприемной аппаратуры и, что особенно важно, стабильности воспроизведения параметров. Изложим результаты исследований камеры «УКУС», проведенных в 1983—1985 гг. В последующих статьях цикла будут приведены результаты измерений эквивалентных ширин и профилей линий шести звезд Вольфа — Райе.

**Геометрические характеристики изображений, разрешающая способность ( $R$ ) по полю** изучались с помощью набора мир. Миров накладывались на входной волоконный диск ЭОП и освещались радиолюминесцентным источником света. Измерение полученных на астрофотопленке изображений мир показало, что разрешение в центре и на удалении от центра  $r \sim 0.5r_0$  ( $r_0 \approx 12$  мм — радиус экрана ЭОП) составило 14—15, а на краю поля — 12—13 штрих/мм. Разрешение системы спектрограф UAGS+ЭОП+астрофотопленка А-600 РП проверялось по методу пограничной кривой [3]. Суть метода заключается в следующем. При фотографировании объекта с перепадом яркости от белого к черному можно получить изображение, фотометрический разрез которого перпендикулярно границе полей дает пограничную кривую  $D(x)$ . Она однозначно связана с функцией рассеяния  $A(x)$  системы, с которой получено изображение  $A(x) = dD(x)/dx$ . По функции рассеяния, в свою очередь, легко оценить разрешение. Для получения пограничной кривой необходимо профотометрировать резкий край изображения щели спектрографа поперек дисперсии. Резкий край получается при фотографировании спектров сильно расфокусированных изображений звезд [3]. На рисунке представлена функция рассеяния  $A(x)$  для системы UAGS+ЭОП+А-600 РП. Определенная методом пограничной кривой разрешающая способность составляет  $R=22—28$  штрих/мм в центре экрана ЭОП и от ночи к ночи воспроизводится с точностью около 7%. Более высокое значение  $R$ , полученное методом пограничной кривой, по сравнению с оцененной по изображению мира получается, вероятно, вследствие того, что мира освещалась рассеянным светом люминофора, а в

методе пограничной кривой использовался пучок с малой расходимостью. В качестве компромисса примем, что разрешение системы составляет 20 штрих/мм в центре экрана. Это позволяет проводить запись спектров звезд с шагом  $\Delta = 0.5R^{-1} = 25$  мкм без потери информации.

Для изучения геометрии изображений на вход ЭОП проектировалась равномерная решетка (прозрачные линии на темном поле). Ее изображение регистрировалось на фотопленке и измерялось с помощью микроскопа с микрометром. В центральной части экрана, до  $r \sim (0.3 - 0.5)r_0$ , геометрических искажений практически нет, а для  $r > 0.5r_0$



они достаточно хорошо аппроксимируются параболой. Установлено, что геометрия изображения не зависит от напряжения на ЭОП для всего рабочего диапа-

Функция рассеяния  $A(x)$  системы спектрограф UAGS+ЭОП+астрофотопленка А-600 РП

зона напряжений. Отсутствие подобной зависимости отмечено и у другого электростатического ЭОП — RCA 8857 [10]. Картина искажений достаточно стабильна и в пределах ночи по данным измерений спектров сравнения воспроизводится с точностью 1—2 %.

**Послесвечение экрана ЭОП.** Во время исследований геометрии изображения проанализирован эффект послесвечения экрана. След изображения сохранялся от десятков минут до нескольких часов в зависимости от температуры окружающей среды. Согласно рекомендации [7], послесвечение убиралось путем кратковременной (5—10 с) подсветки экрана несколькими миниатюрными лампами накаливания.

**Ошибки определения эквивалентной ширины линии.** В суммарную ошибку вносят вклад такие погрешности: неточность построения характеристической кривой, вариации светочувствительности фотопленки и экрана ЭОП по полю изображения и др. Единственная возможность учесть многочисленные погрешности в их «интегральном» действии — наблюдения звезд с постоянными эквивалентными ширинами линий  $W_\lambda$ . Однако по ряду причин подобные стандарты отсутствуют. Поэтому, выбирая звезды для оценки ошибок определения  $W_\lambda$ , мы исходили из предположения, что собственная переменность звезд гораздо меньше, чем погрешности, вносимые аппаратурой и алгоритмом обработки спектрограмм. Следовательно, приведенные ниже оценки точности определения  $W_\lambda$  представляют собой верхний предел, включающий и возможную маломасштабную переменность контрольных звезд.

Наблюдения контрольной звезды  $\alpha$  Луг проводились на фоне выполнения основной программы по поиску спектральной переменности звезд Вольфа — Райе. В течение двух ночей наблюдалась Ве-звезда  $\kappa$  Дга. Спектры получены со спектрографом UAGS на 70-см телескопе АЗТ-2 в Киеве и на 60-см телескопе Цейса Высокогорной наблюдательной базы «Терскол» ГАО АН УССР. Регистрация спектров осуществлялась на астрофотопленку А-600 РП с камерой «УКУС» в качестве промежуточного усилителя света. Обратная линейная дисперсия была порядка 10 нм/мм в области  $H_\alpha$ , что обеспечивало разрешение примерно 0.5 нм. Часть спектрограмм получена с обратной линейной дисперсией около 4.0 нм/мм (в таблице отмечены звездочкой). Типичное время экспонирования для  $\alpha$  Луг — 1 мин, для  $\kappa$  Дга — 2 мин. Как правило, неравномерность чувствительности ЭОП по полю не позволяла одновременно измерять эквивалентные ширины  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  для  $\alpha$  Луг: либо оптическая плотность спектра в области  $H_\beta$  была слишком высока,

либо слишком низка в области  $H_\alpha$  и  $H_\gamma$  при нормальной плотности у  $H_\beta$ . Кроме того, при размере экрана ЭОП  $d \approx 25$  мм линии  $H_\alpha$  и  $H_\gamma$  находились у края экрана, что зачастую делало невозможным одновременное измерение их эквивалентных ширин.

Калибровка спектрограмм осуществлялась двумя способами. В 1984 г. с помощью специального устройства на фотопленку перед проявлением впечатывался ступенчатый ослабитель, освещаемый радиолюминесцентным источником с зеленым свечением (длина волны максимума излучения  $\lambda_{\max} \approx 520$  нм). В 1985 г. в связи с выходом из строя радиолюминесцентного источника мы перешли к другой методике калибровки. Перед проявлением на фотопленку впечатывался непрерывный клин, освещаемый рассеянным светом с  $\lambda_{\max} \approx 530$  нм (комбинация светофильтров СЗС-22 и ОС-11).

**Алгоритм обработки спектрограмм.** Спектрограммы оцифровывались на автоматическом микрофотометре ГАО АН УССР (АМФ-2) с шагом 25 мкм и выводом на перфоленту. Для первичного подавления шумов фотоэмульсии при записи применялся предварительный оптический фильтр с полушириной 0.32 мм [5]. Дальнейшая обработка проводилась на ЭВМ СОУ-1. Пакет программ написан на языке БЕЙСИК. Для визуализации результатов использован планшетный графопостроитель РДД-1. Перевод записей спектров из пропусков в интенсивности осуществлялся с помощью бейкеровской плотности [9], позволяющей аппроксимировать характеристическую кривую полиномами первой — второй степени. Шумы фотоэмульсии дополнительно подавлялись высокоэффективным цифровым фильтром Кайзера — Риды [1, 6]. Дисперсионные кривые для участка спектра 30—60 нм строились по 6—20 опорным линиям спектра неоновой либо гелий-аргоновой лампы. Для определения  $W_\lambda$  участки (15—60 нм) непрерывного спектра, прилегающие к исследуемым линиям, аппроксимировались полиномами Чебышева первой — третьей степени.

**Оценка погрешностей определения  $W_\lambda$ .** Всего выполнено 115 измерений  $W_\lambda$  линий  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  и  $H_\gamma$  у  $\alpha$  Луг и 20 измерений эмиссионной линии  $H_\alpha$  у  $\kappa$  Дга. В таблице приведены юлианская дата начала наблюдений, эквивалентная ширина, точность одного измерения, количество измерений за ночь. Получены следующие средние взвешенные (по количеству наблюдений за ночь) значения  $W_\lambda$  для  $\alpha$  Луг (в нм):  $H_\alpha$ :  $\overline{W}_\lambda = 1.49 \pm 0.17$ ;  $H_\beta$ :  $\overline{W}_\lambda = 1.74 \pm 0.12$ ;  $H_\gamma$ :  $\overline{W}_\lambda = 1.67 \pm 0.19$ . Необходимо отметить хорошее согласие наших данных с ранее полученными оценками  $W_\lambda$  [8]. За период наблюдений появлений эмиссионных деталей в спектре  $\alpha$  Луг не обнаружено. Средняя взвешенная ошибка одного измерения составляет для  $\alpha$  Луг:  $\overline{\sigma}_W = 13\%$  ( $H_\alpha$ ),  $\overline{\sigma}_W = 14\%$  ( $H_\beta$ ),  $\overline{\sigma}_W = 10\%$  ( $H_\gamma$ ); для  $\kappa$  Дга:  $\overline{\sigma}_W = 8\%$  ( $H_\alpha$ ).

Ошибка определения  $W_\lambda$  в нашем случае сопоставима с оценками погрешности определения  $W_\lambda$  для сканера БТА [2]. Такого же порядка и ошибки измерений  $W_\lambda$  от ночи к ночи (в %): 12 ( $H_\alpha$ ), 7 ( $H_\beta$ ), 11 ( $H_\gamma$ ).

Возможный дополнительный источник ошибок при определении  $W_\lambda$  линий  $H_\alpha$  и  $H_\gamma$  — их местоположение. При обратной линейной дисперсии около 10 нм/мм они располагаются вблизи краев экрана ЭОП ( $d \approx 25$  мм), где можно ожидать меньшую стабильность воспроизведения геометрических и сенситометрических характеристик ЭОП от ночи к ночи. Поэтому в дальнейшем при оценке  $W_\lambda$  для звезд Вольфа — Райе мы не использовали участки спектрограмм, близкие к краям экрана ЭОП.

**Выводы.** Исследования системы спектрограф УАГС+ЭОП+астрофотопленка А-600 РП показывают: 1. Разрешение системы составляет примерно 20 пар линий на 1 мм; 2. Геометрические искажения изображений стабильны, не зависят от напряжения питания ЭОП, воспроизводятся от ночи к ночи и в пределах ночи с точностью 1—7 %; 3. Верх-

Результаты измерений эквивалентных ширин линий в спектре  $\alpha$  Lyr и  $\kappa$  Dra

<i>J.D.</i> , 2 440 000+	Звезда	Линия	$W_\lambda$ , нм	$\sigma_W$ , нм	<i>n</i>
5764.549	$\alpha$ Lyr	$H_\alpha$	1.72	0.21	11
5767.528			1.60	0.24	9
5865.361			1.33	0.01	2(*)
5934.317			1.39	0.22	6
6279.314			1.39	0.11	5
6281.310			1.30	0.22	4
6284.309			1.28	0.19	6
5767.528	$\alpha$ Lyr	$H_\beta$	1.77	0.18	8
5935.312			1.51	0.12	3
5937.316			1.83	—	1
5940.308			1.76	0.29	9
5942.305			1.64	0.32	4
5943.315			1.80	0.15	2
5979.272			2.06	0.35	2
5814.430	$\alpha$ Lyr	$H_\gamma$	1.46	0.23	3(*)
5865.361			1.98	0.15	7(*)
5934.317			1.58	0.28	11
5935.312			1.69	0.17	6
5937.316			2.08	—	1
5942.305			1.59	0.08	10
6280.467			1.98	0.12	2
6281.310			1.41	0.12	3
5764.378			$\kappa$ Dra	$H_\alpha$	2.99
5768.391	2.94	0.23			19

ний предел ошибки единичного определения эквивалентных ширин (в оценку входит и возможная маломасштабная переменность контрольных звезд) составляет 0.20 нм для  $W_\lambda = 1.0-2.0$  нм, 0.25 нм для  $W_\lambda = 2.0-3.0$  нм. В дальнейшем примем ошибку 10 % и для  $W_\lambda > 3.0$  нм. Того же порядка точность определения  $W_\lambda$  от ночи к ночи; 4. За полтора года наблюдений не отмечено ни одного появления эмиссионных деталей в спектре  $\alpha$  Lyr.

1. Кайзер Ф. Д., Рид У. А. Сглаживание данных при помощи цифровых фильтров нижних частот // Приборы для науч. исслед.— 1977.— № 11.— С. 82—93.
2. Копылов И. М., Сомов Н. Н., Сомова Т. А. Двухпроцессорный аппаратно-программный комплекс-сканер БТА. III. Автоматизированная экспрессная обработка звездных спектров // Астрофиз. исслед. Изв. Спец. астрофиз. обсерватории.— 1986.— 22.— С. 77—88.
3. Корсун П. П., Марченко С. В. Простой метод определения передаточной функции шелевых спектрографов // Астрон. циркуляр.— 1985.— № 1371.— С. 6—8.
4. Кузнецов В. Л., Лаптев Е. И., Малахов Ю. И. и др. Прибор «УКУС» для астрономической фотографии. I. Общее описание // Астрометрия и астрофизика.— 1984.— Вып. 53.— С. 70—72.
5. Лисовская Т. П., Марченко С. В. Оптимизация щели микрофотометра, как предварительного пространственного фильтра // Астрон. циркуляр.— 1985.— № 1357.— С. 6—8.
6. Лисовская Т. П., Марченко С. В. Шумы фотоэмульсий А-600 РП, КН-4С и их фильтрация // Кинематика и физика небес. тел.— 1985.— 1, № 5.— С. 90—94.
7. Оясте Я. Я. Автоматическая камера с электронно-оптическим преобразователем фотоконтактного типа // Новая техника в астрономии.— 1970.— № 3.— С. 32—33.
8. Hunger K. Die Atmosphäre des AO-Sternes Alpha Lyrae // Z. Astrophys.— 1955.— 36, N 1.— S. 42—97.
9. Vaucouleurs G. Linearization of characteristic curves in photographic photometry // Appl. Opt.— 1968.— 7, N 8.— P. 1513—1518.
10. Vetešník M., Papoušek J. An investigation of the geometrical and photometrical distortion of the image intensifier RCA 8857 and its application in spectroscopy // Scr. Fac. sci. natur. UJEP brun. Phys.— 1982.— 12, N 9.— P. 451—462.