

ПРОЕКТ СВЕТОСИЛЬНОГО ЭШЕЛЛЕ-СПЕКТРОМЕТРА  
ПЕРВИЧНОГО ФОКУСА 6-М ТЕЛЕСКОПА

В. Г. Клочкова, В. Е. Панчук, Э. А. Яковлев\*

Предложена схема экономичного эшелле-спектрометра, ориентированного на выполнение спектроскопических наблюдений с высоким спектральным разрешением ( $\lambda/\Delta\lambda=6 \cdot 10^4$ ).

The layout of the fast echelle-spectrometer for high resolution spectroscopy ( $\lambda/\Delta\lambda=6 \cdot 10^4$ ) is presented.

Размер кабины первичного фокуса 6-м телескопа позволил разработать спектрограф с диаметром коллимированного пучка 100 мм (Зандин и др., 1977). 600 штр/мм является оптимальным параметром астрономических дифракционных решеток, ориентированных на работу в первом и втором порядках, качество решеток с 1200 и 2400 штр/мм заметно ниже. Требование высокой светосилы (от 1:1 до 1:2) в сочетании с указанными цифрами определяет спектрометр первичного фокуса как прибор умеренного спектрального разрешения ( $\lambda/\Delta\lambda=1-2 \cdot 10^3$ ). Переход к высокому спектральному разрешению означает использование эшелле. Схемы использования эшелле условно разобьем на схемы с малым и большим (>100 мм) диаметром коллимированного пучка. На телескопах различного диаметра первые разрабатываются для фокуса Кассегрена, вторые - для фокуса Кудэ. Габариты подвесных кассегреневских эшелле-спектрометров, определяемые относительным отверстием фокуса Кассегрена и диаметром коллимированного пучка, достигают 1-1.5 м. Из-за различий относительных отверстий первичного фокуса и фокуса Кассегрена, а также из-за габаритных ограничений простой перенос известных технических решений на первичный фокус БТА невозможен. Расчеты показывают, что из-за габаритных ограничений в первичном фокусе БТА невозможно превысить диаметр коллимированного пучка 100 мм, сохраняя приемлемые значения относительного отверстия камеры спектрометра (лучше, чем 1:2). Отсюда приходим к величине спектрального разрешения  $\lambda/\Delta\lambda=10^4$  при использовании классической эшелле с углом блеска  $\theta_B=63.5^\circ$ . Традиционно считается, что дальнейшее увеличение спектрального разрешения при сохранении светосилы идет по пути увеличения фокусного расстояния камеры спектрографа, что означает переход к системам с большим диаметром коллимированного пучка (кудэ-эшелле). Другой путь - увеличение угла блеска эшелле - представляется нам также перспективным (Яковлев

\* - ГОИ им. Вавилова

и др., 1991). Изготовление крупногабаритных эшелле высокого качества с  $\theta_B=80^\circ$  позволяет решить проблему наблюдений с высоким спектральным разрешением при минимуме потерь на оптике телескопа и спектрометра. Ниже оценим основные характеристики эшелле-спектрометра первичного фокуса БТА с эшелле  $\theta_B=80^\circ$ , 37.5 штр/мм и диаметром коллимированного пучка 100 мм.

В качестве камеры рассмотрим камеру Шмидта ( $F=175$  мм) из комплекта спектрографа UAGS (УАГС). Эта камера, используемая в схеме UAGS с коллимированным пучком диаметром 75 мм, имеет диаметр пластины Шмидта 125 мм, что обеспечивает невиньетируемое поле камеры 25 мм. При диаметре коллимированного пучка 100 мм размер невиньетируемого поля (12 мм) согласуется с размерами матрицы ПЗС (9x12 мм). Диаметр охлаждаемого модуля, содержащего матрицу, не должен превышать 33 мм, в этом случае светоприемник вписывается в тень кабины первичного фокуса, занимающую центральную часть коллимированного пучка. В табл.1 приведены результаты расчета параметров кадра эшелле-спектрометра с указанной камерой.

Таблица 1. Параметры спектра, получаемого с эшелле 37.5 штр/мм,  $\theta_B=80^\circ$  и камерой  $F=175$  мм

m	$\lambda_c$	FSR(A)	P(A/мм)	ℓ(мм)	m	$\lambda_c$	FSR(A)	P(A/мм)	ℓ(мм)
174	3002	17.2	1.50	11.5	75	6965	92.9	3.49	26.6
131	3987	30.4	2.00	15.2	65	8036	123.6	4.03	30.7
105	4975	47.4	2.49	19.0	58	9006	155.3	4.51	34.4
87	6004	69.0	3.01	22.9					

Расчет выполнен для случая автоколлимационного использования решетки ( $\alpha=\beta=\theta_B$ ,  $\gamma \neq 0$ ). Преимущества и недостатки такой схемы рассмотрены на примере эшелле-спектрометра ЭСПАК (Клочкова и др., 1991). Если элемент скрещенной дисперсии расположен после эшелле, то наклон спектральных линий к оси порядка, обусловленный ненулевым  $\gamma$ , компенсируется разворотом щели спектрометра. Этот прием нельзя использовать в эшелле-спектрометрах Зебра (Гажур и др., 1990) и ЭСПАК, где скрещенная дисперсия обеспечивается призмой двойного хода, работающей до и после эшелле. Следовательно, отказываясь от призмы двойного хода, мы, с одной стороны, увеличиваем габариты спектрометра, но одновременно можем уменьшить габариты за счет некоторого увеличения  $\gamma$ , т.к. появляется возможность компенсации наклона линий. В расчет введена величина  $\gamma=6^\circ$ , что позволяет вписать спектрограф в кабину первичного фокуса. Габариты спектрографа определяются и нетрадиционным значением  $\theta_B$ , необходимая длина решетки составит 567 мм! Очевидно, что такая решетка может быть выполнена только в виде мозаики из двух реплик размером 100x300 мм, скопированных с матрицы размером 200x300 мм. Из таблицы видно, что линейные размеры ℓ, соответствующие длине свободного спектрального интервала FSR, превышают размеры светоприемника, причем использование эшелле 75 штр/мм только ухудшает ситуацию.

Далее варианты конструкции разветвляются. Если мы ограничиваемся Уф-диапазоном, то между камерой и решеткой достаточно поместить призму из кварца с преломляющим углом  $60^\circ$ . В этом случае в кадре форматом 8x12 мм размещается 73

спектральных порядков (табл.2), а коллиматор спектрографа должен быть осевой параболой (1:4) с изломом пучка на щели. Соответствующая схема дана на рис.1. Щелевая часть может быть выполнена в виде кварцевой микропризмы полного внутреннего отражения, на выходную грань которой наклеена собственно щель. Ширина щели (0.63 угл. сек.) определяется произведением широкощельности спектрометра (2.28) на удвоенный размер элемента матрицы (2x0.018 мм). Микропризма может быть наклеена на стальную нить или на кварцевую пластинку, параллельную оси коллиматора, что позволяет применить оригинальную схему подсмotra щели. Компоновка спектральных порядков плотная, т.е. одновременная регистрация спектра фона неба не предусматривается, т.к. при указанных значениях обратной линейной дисперсии влияние фона неба невелико. Высота щели определяется номером  $m$  самого низкого порядка, т.е. расстоянием между осями соседних низких порядков  $\Delta$  и равна 0.057 мм (высота щели  $h=1$  угл. сек).

Рис.1. Эшелле-спектрометр первичного фокуса, ориентированный на работу в синем и УФ диапазонах. Обозначения: 1 - щель, 2 - коллиматор, 3 - мозаика из двух эшелле 100x300 мм, 4 - призма, 5 - камера Шмидта, 6 - криостат с матрицей ПЗС, 7 - сосуд с жидким азотом, 8 - оптика подсмotra щели.

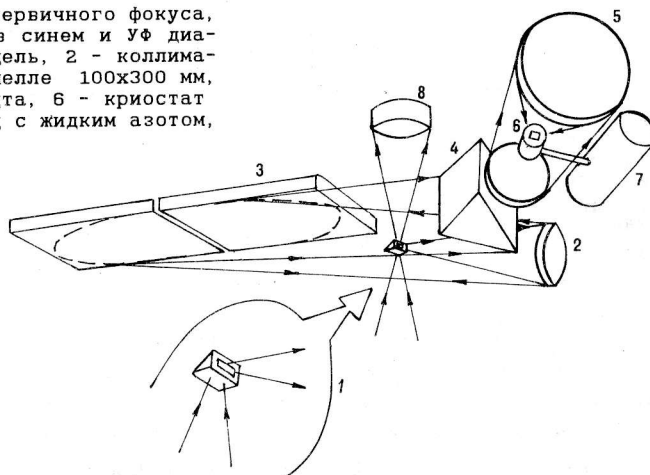


Таблица 2. Характеристики спектра, регистрируемого светоприемником размером 8x12 мм в схеме, изображенной на рис.1.

$m$	$\lambda_{\min}$	$\lambda_{\max}$	$\Delta$ (мм)	$h$ (")	$m$	$\lambda_{\min}$	$\lambda_{\max}$	$\Delta$ (мм)	$h$ (")
171	3046	3064	0.125	2.19	141	3694	3716	0.09	1.66
170	3064	3082	0.124	2.18	134	3886	3910	0.089	1.55
166	3137	3156	0.119	2.08	123	4235	4261	0.077	1.36
161	3234	3254	0.117	2.05	110	4734	4762	0.073	1.29
156	3338	3358	0.110	1.93	99	5260	5292	0.057	1.00
151	3449	3469	0.105	1.84	98	5314	5346	0.056	0.99
147	3542	3564	0.103	1.80					

Если мы отказываемся от регистрации УФ-диапазона, то в качестве узла скрещен-

ной дисперсии можно использовать прозрачную реплику, нанесенную на плоскую сторону коррекционной пластины Шмидта. Современная технология изготовления реплик обеспечивает высокие значения концентрации света в рабочем (первом) порядке, поэтому такое решение, рассмотренное ранее для указанной камеры в работе Мусаева и Панчука (1991), по экономичности не уступает применению призмы из флинта. Параметры кадра даны в табл.3, расчет выполнен для прозрачной реплики 100 штр/мм с  $\theta_B = 1.5^\circ$ . Соответствующая схема дана на рис.2, коллиматор линзовый. Высота щели определяется номером  $m$  самого высокого спектрального порядка и равна 1.5 угл. сек. Не исключено, что для экономного использования площади светоприемника следует сочетать свойства прозрачной решетки и призмы - варьированием параметров такого сложного узла скрещенной дисперсии можно добиться равномерного распределения порядков в кадре.

Рис.2. Эшелле-спектрометр первичного фокуса, ориентированный на работу в видимом и ИК диапазонах. Обозначения: 1 - щель, 2 - коллиматор, 3 - мозаика из двух эшелле 100x300 мм, 4 - прозрачная реплика скрещенной дисперсии, совмещенная с пластиной Шмидта, 5 - зеркало камеры, 6 - криостат с матрицей ПЗС, 7 - сосуд с жидким азотом, 8 - оптика подсмотра щели.

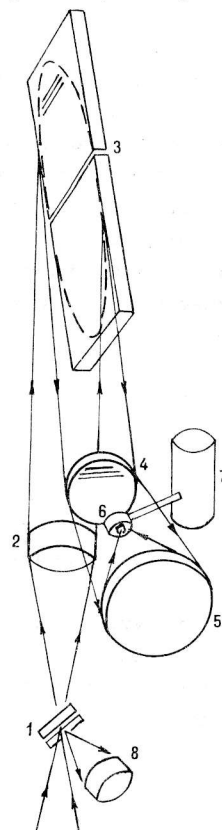


Таблица 3. Характеристики спектра, регистрируемого светоприемником размером 10x12 мм в схеме, изображенной на рис.2.

$m$	$\lambda_{\min}$	$\lambda_{\max}$	$\Delta(\text{мм})$	$h(\text{''})$	$m$	$\lambda_{\min}$	$\lambda_{\max}$	$\Delta(\text{мм})$	$h(\text{''})$
105	4959	4989	0.086	1.51	75	6943	6985	0.170	2.98
104	5007	5037	0.088	1.54	65	8012	8060	0.224	3.92
95	5481	5514	0.106	1.85	55	9468	9525	0.315	5.52
85	6126	6163	0.131	2.29	54	9644	9702	0.328	5.75

Обе схемы могут быть оптимизированы применением соответствующих высокоэффективных отражающих и просветляющих покрытий, что одновременно и понизит уровень рассеянного света (неиспользуемый диапазон спектра обрезается покрытием). Для алюминиевых покрытий зеркал коллиматора и камеры пропускание УФ-варианта оцениваем в 0.27 от потока, прошедшего в щель, пропускание красного варианта - 0.32 (потери на решетках и на защитном стекле криостата с матрицей ПЗС учтены). Применение высокоэффективных покрытий повысит пропускание до 0.51 и 0.45, соответственно. Если учесть, что отсутствует оптика, перебрасывающая свет после главного зеркала, то по величине общего пропускания системы "телескоп-спектрометр" рассмотренные варианты выше характеристик любой из известных нам систем с эшелле, размещаемых в фокусах Кассегрена и Кудэ. Из табл. 2 и 3 следует, что регистрация всего диапазона при фиксированном положении эшелле невозможна ( $\lambda_{\max}[m+1] < \lambda_{\min}[m]$ ), поэтому необходимо предусмотреть два фиксированных положения эшелле, при небольших отклонениях от автоколлимации, т.е. весь диапазон можно регистрировать за две экспозиции.

Итак, два шага в развитии технологии дифракционных решеток - переход к предельным углам блеска эшелле и нанесение прозрачных реплик на корректирующую оптику - позволяют надеяться на дальнейшее повышение эффективности спектроскопических наблюдений. Отметим, что для телескопов с меньшим масштабом изображения на входной щели проблема компоновки в кадре максимального числа порядков решается практически без потерь света, определяемых ограничением высоты щели.

#### Литература

- Гажур Э. Б., Ключкова В. Г., Панчук В. Е.: 1990, Письма в астрон. ж., 16, 473.  
 Зандин Н. Г., Колесников А. Е., Пейсахсон И. В., Лобачев М. В.: 1977, Опτικο-механич. промьш., вып. 2, 34.  
 Ключкова В. Г., Панчук В. Е., Рядченко В. П.: 1991, Письма в астрон. ж., 17, 644.  
 Мусаев Ф. А., Панчук В. Е.: 1991, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 34, 144.  
 УАГС (Universal-Astro-Gitterspectrograph). VEB Carl Zeiss Jena Catalog N 16-190/23-9.  
 Яковлев Э. А., Бикмаев И. Ф., Ключкова В. Г., Панчук В. Е.: 1991, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 34, 64.

Поступила в редакцию  
 12 мая 1991 г.