

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор CAO РАН

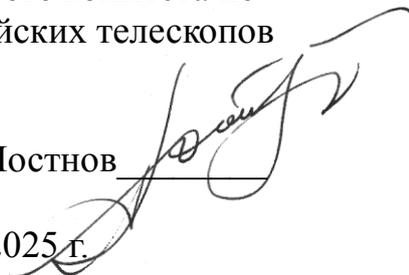
Председатель  
Координационного комитета по  
тематике российских телескопов

к.ф.-м.н. Г.Г. Валявин



30 июля 2025 г.

чл.-корр. К.А. Постнов



30 июля 2025 г.

## **Циркуляционное письмо Координационного комитета по тематике российских телескопов**

К использованию на 6-м телескопе CAO РАН с первого полугодия 2026 г. в опытную эксплуатацию вводятся два новых метода общего пользования:

**Спектрограф постоянной готовности в фокусе Нэсмит-1 (NSS).....2**  
**Эшелле-Спектрограф Первичного фокуса БТА (ESPriF).....4**

В циркуляционном письме дается краткое описание указанных приборов и методов по состоянию на начало 2026 г.

# Спектрограф постоянной готовности в фокусе Нэсмит-1 (NSS)

Статус прибора - общего пользования

Ответственный - И.А. Якунин (elias@sao.ru)

Спектрограф постоянной готовности расположен в фокусе Нэсмит-1 и предназначен для спектроскопии с низким спектральным разрешением во всем оптическом диапазоне, в том числе алертных событий. Прибор размещается на платформе правой боковой стойки телескопа (фокус Несмит-1) в оптическом тракте спектрографа Crab (в настоящее время не эксплуатируется).

## Состав прибора

### Предцелевые устройства

Узел калибровочных ламп состоит из интегрирующей сферы, которая может быть засвечена одним из трех источников света: галогенной лампы плоского поля и двух источников эмиссионного линейчатого спектра для калибровки по длинам волн (лампа СГЗС с He-Ne-Ar наполнением и неоновой лампы), и фокусирующей оптики. Введение света от калибровочных источников в оптический тракт прибора осуществляется выдвижным плоским зеркалом.

Входные щели спектрографа смонтированы на поворотной турели и представлены набором из четырех позиций: 1"×10", 1"×30", 2"×10" и 2"×30" в проекции на небесную сферу. Выбор входной щели производится в зависимости от текущей задачи.

Подсмотр входной щели на основе ЭОП обеспечивает контроль положения объекта в диапазоне до 15 зв. величины при хорошем качестве изображений. Передняя поверхность щелей зеркальная и наклонена на 12 градусов. подсмотре располагается вертикально над щелью. Поле подмотра около 40".

### Оптика

Основным диспергирующим элементом является склейка нескольких объемных голографических решеток VPHG, каждая из которых строит диспергированное изображение объекта в различных диапазонах длин волн. Геометрическая конфигурация взаимного положения обеспечивает разделение спектров на кадре. Призмы прямого зрения обеспечивают прохождение центрального светового пучка без отклонения (режим "гризмы").

В качестве коллиматора используется ахроматический дублет фирмы THORLABS диаметром 25.4 мм и фокусным расстоянием 500мм с просветлением на длинах волн 400-700 нм. Коллимированный пучок диаметром 16.7 мм затем падает на диспергирующий элемент, после чего фокусируется светосильной камерой (F=50мм, f/1.2) на детекторе.

Таким образом, на одном кадре одновременно регистрируется три диспергированных изображения объекта, каждое в своем диапазоне, с общим покрытием по длинам волн 444-707 нм. Такая конфигурация прибора при использовании 1" щели обеспечивает среднее спектральное разрешение  $R = 800$ .

Таблица 1 - Характеристики дифракционных решеток

Решетка	Красная	Зеленая	Синяя
Рабочий диапазон, нм	605-707	518-605	444-518
Обратная линейная дисперсия, нм/пикс	0.191 (для БТА)	0.227 (для БТА)	0.158 (для БТА)
Частота, штр/мм	980	1147	1349

### Система регистрации

В качестве приемника излучения используется коммерческая ПЗС-система с электронным умножением (emCCD) iXon 888 фирмы Andor формата 1024×1024 элементов с размером элемента 13.5×13.5 мкм. Обратная линейная дисперсия решеток с указанной ПЗС-системой представлена в Таблице 1.

Таблица 2 - Параметры штатных режимов работы ПЗС-системы

**SUMMARY OF SYSTEM TEST DATA**

System Readout Rate	Preamp setting	SENSITIVITY & READOUT NOISE	
		CCD Sensitivity *1 (electrons per A/D count)	Single Pixel Noise *2 (electrons)
30 MHz, 16-bit Single, EM amplifier	1	19.3	251
	2	5.89	133
20 MHz, 16-bit Single, EM amplifier	1	17.5	144
	2	4.84	72.4
10 MHz, 16-bit Single, EM amplifier	1	16.6	76.7
	2	4.17	42.9
1 MHz, 16-bit Single, EM amplifier	1	16.4	24.8
	2	4.03	12.5
1 MHz, 16-bit Single, Conventional amplifier	1	3.43	6.59
	2	0.820	4.82
0.1MHz, 16-bit Single, Conventional amplifier	1	3.40	7.07
	2	0.830	3.04

*Эффективность*

Суммарная эффективность системы "телескоп+прибор+детектор" оценивалась по спектрам спектрофотометрических стандартов, оценивалась в июне 2025 года при среднем качестве изображений 2" и используя щель шириной 1" в проекции на небо. Итоговая эффективность представлена на рисунке.

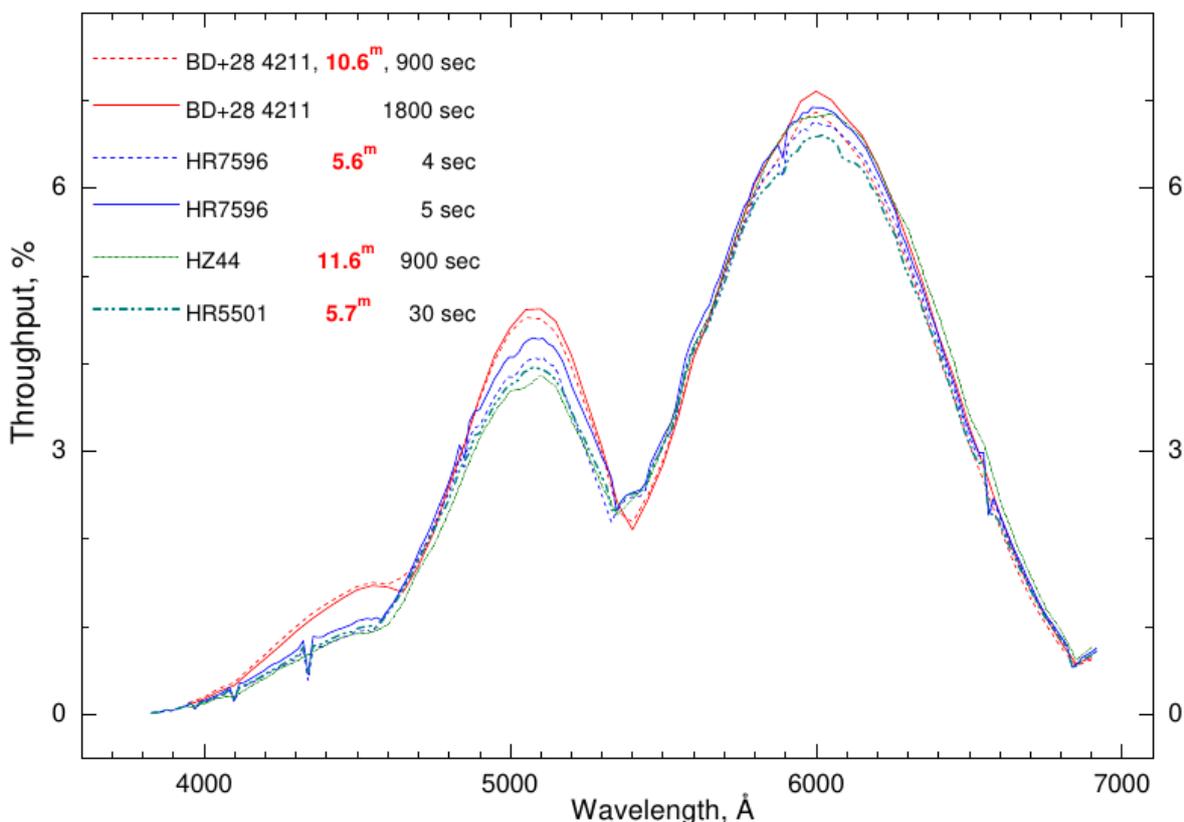


Рисунок 1 - Итоговая эффективность системы "телескоп+прибор+детектор"

### Управление

Для фокусировки изображения в плоскости детектора объектив камеры оснащен интерфейсом, позволяющим настраивать положение линз для достижения резкости.

Подвижные части спектрографа (турель щелей, зеркало переброса калибровочных источников, фокусировка камеры) снабжены электромеханическими приводами и датчиками положений.

## Эшелле-Спектрограф Первичного фокуса БТА (ESPriF)

Статус прибора – общего пользования

Ответственный – М.В. Юшкин ([maks@sao.ru](mailto:maks@sao.ru))

Эшелле-спектрограф ESPriF устанавливается на поворотный стол первичного фокуса телескопа БТА и предназначен для спектроскопии звездообразных объектов ярче  $18^m$  в полосе V с умеренным спектральным разрешением в диапазоне длин волн 3800 — 10 000 Å. Спектральное разрешение ESPriF может варьироваться от  $R = 15\,000$  до  $R = 30\,000$ , в зависимости от выбранного варианта наблюдений.

ESPriF оснащен светоприемником Andor iCon-L 936 на базе матрицы ПЗС E2V CCD42-40 форматом 2048×2048 элементов с размером элемента 13.5×13.5 мкм. Детектор изготовлен по технологии глубокого обеднения кремния и имеет просветляющее покрытие BEX2, что обеспечивает высокую квантовую эффективность во всем рабочем диапазоне ESPriF. Формат светоприемника позволяет одновременно регистрировать на кадре спектральную полосу шириной 5000 Å. Приемник снабжен 5-ступенчатым термоэлектрическим холодильником на эффекте Пельтье, обеспечивающим рабочую температуру приемника  $-89^\circ\text{C}$  при температуре окружающей среды  $+21^\circ\text{C}$ . Время выхода спектрографа в рабочий режим после включения термоэлектрического холодильника – 15 мин.

Оптическая схема ESPriF включает в себя три диспергирующих элемента: основной – эшелле-решетка R3 (угол блеска  $\theta_B = 72^\circ$ ) с плотностью штрихов 66.7 штр/мм, и два элемента скрещенной дисперсии – дифракционная решетка 150 штр/мм с углом блеска  $\theta_B = 7^\circ$  и призма из стекла ТФ8 с преломляющим углом  $A = 42^\circ$ . Весь рабочий диапазон длин волн укладывается в 47 спектральных порядков с абсолютными номерами от  $m = 28$  до  $m = 74$ . В Таблице 3 приведены параметры рабочих спектральных порядков, указаны минимальная  $\lambda_{\min}$ , максимальная  $\lambda_{\max}$  и центральная  $\lambda_c$  длина волны для каждого порядка с абсолютным номером  $m$ , а также приводится свободный спектральный интервал  $\lambda_c/m$ . Перекрытие спектральных порядков на одном кадре выполняется вплоть до длины волны 6200 Å, в более длинноволновую область скважность увеличивается с уменьшением абсолютного номера спектрального порядка. Поэтому при наблюдении в диапазоне длин волн более 6200 Å необходимо указать длины волн спектральных линий, которые необходимо зарегистрировать на кадре.

В качестве входных деккеров ESPriF имеет набор классических щелей, расположенных на одной турели. Всего установлено три входных щели шириной 0.5", 0.75" и 1" (см. Таблицу 4). Все входные щели имеют высоту 2.0" в проекции на небесную сферу. Выбор входного деккера производится в зависимости от наблюдательной задачи, при этом спектральное разрешение ESPriF определяется из соотношения  $R \cdot s'' = 15\,000$ , где  $s''$  – ширина входной щели в угловых секундах. В Таблице 4 также приведены оценочные значения блеска звезды, для которой за время экспозиции  $\Delta t_{\text{exp}} = 1''$  получается спектр с отношением сигнал/шум  $S/N = 100$ . В предщелевой части ESPriF установлен корректор наклонов волнового

фронта, который обеспечивает режим автоматического гидирования, а также компенсирует колебания оптико-механической конструкции телескопа, как на собственных частотах, так и вследствие порывов ветра.

Блок ламп спектра сравнения содержит лампу полого катода, покрытого солями тория, с аргоновым наполнением колбы (Th-Ar), предназначенную для калибровки шкалы длин волн, и галогеновую лампу для калибровки эффектов «плоского поля».

Приемник излучения канала подсмотра входной щели при работе в телевизионном режиме считывания кадров обеспечивает регистрацию объектов до  $15^m$  в полосе V при идеальных погодных условиях (т.е., при размере турбулентного диска звезды около 1" и отличной прозрачности). Для наблюдений предельно слабых объектов при плохих погодных условиях приемник излучения канала подсмотра используется в режиме суммирования кадров.

Для достижения максимального спектрального разрешения входные щели спектрографа ESPriF ориентированы строго вдоль штрихов эшелле-решетки. Требования к позиционной стабильности привели к необходимости использовать эшелле-решетку вне главной плоскости. Эти два обстоятельства приводят к наклону спектральных линий на кадре относительно столбцов ПЗС-матрицы, причем это наклон изменяется вдоль спектральных порядков. Поэтому, для корректной экстракции спектра, необходимо применять системы обработки спектральных данных, использующие алгоритмы экстракции с наклонной щелью.

Таблица 3 - Параметры рабочих спектральных порядков

m	$\lambda_{\min}$	$\lambda_c$	$\lambda_{\max}$	$\Delta\lambda$	$\lambda_c/m$
28	9964	10086	10185	221	360
29	9620	9738	9833	213	336
30	9300	9413	9506	206	314
31	9000	9110	9199	199	294
32	8718	8825	8911	193	276
33	8454	8558	8641	187	259
34	8206	8306	8387	182	244
35	7971	8069	8148	176	231
36	7750	7844	7921	172	218
37	7540	7632	7707	167	206
38	7342	7432	7504	163	196
39	7154	7241	7312	158	186
40	6975	7060	7129	154	176
41	6805	6888	6955	151	168
42	6643	6724	6790	147	160
43	6488	6567	6632	144	153
44	6341	6418	6481	140	146
45	6200	6276	6337	137	139
46	6065	6139	6199	134	133
47	5936	6008	6067	131	128
48	5812	5883	5941	129	123
49	5694	5763	5820	126	118
50	5580	5648	5703	124	113
51	5470	5537	5592	121	109
52	5365	5431	5484	119	104
53	5264	5328	5381	117	101
54	5166	5230	5281	114	97
55	5073	5135	5185	112	93
56	4982	5043	5092	110	90
57	4895	4954	5003	108	87
58	4810	4869	4917	106	84
59	4729	4786	4833	105	81
60	4650	4707	4753	103	78
61	4574	4629	4675	101	76
62	4500	4555	4599	100	73
63	4428	4483	4526	98	71
64	4359	4412	4456	97	69
65	4292	4345	4387	95	67
66	4227	4279	4321	94	65
67	4164	4215	4256	92	63
68	4103	4153	4194	91	61
69	4043	4093	4133	90	59
70	3986	4034	4074	88	58
71	3929	3977	4016	87	56
72	3875	3922	3961	86	54
73	3822	3868	3906	85	53
74	3770	3816	3854	83	52

Таблица 4 - Параметры входных деккеров

Ширина щели	Высота щели	Спектральное разрешение ( $R$ )	Звездная величина ( $S/N=100, \Delta t_{\text{exp}}=1^{\text{h}}$ )
0.50''	2''	30 000	12.5 <sup>m</sup>
0.75''	2''	22 500	12.8 <sup>m</sup>
1.00''	2''	15 000	13.0 <sup>m</sup>

Описание прибора, контактную информацию и образцы спектров можно найти в публикациях:

- Yushkin, M.V.; Emelianov, E.V.; Verich, Yu.B.; Panchuk, V.E. ESPriF: the Echelle-Spectropolarimeter of the BTA Primary Focus. Correction of Low-Frequency Variations in the Star Image // *Astrophysical Bulletin*, Volume 78, Issue 4, pp. 613-621 (2023);
- Panchuk, V.E.; Klochkova, V.G.; Yushkin, M.V.; Sachkov, M.E.; Yakopov, G.V.; Verich, Yu.B.; Emelyanov, E.V. A project of echellé spectropolarimeter for the primary focus of the 6-m BTA telescope // *INASAN Science Reports*, Volume 5(6), pp. 361-367 (2020);

а также на странице лаборатории астроспектроскопии CAO РАН <https://www.sao.ru/hq/ssl/>.