

## **НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИИ СОЛНЦА В КРАО РАН**

**Куценко А.С., Теребиж В.Ю., Долгополов А.В., Абраменко В.И.,  
Семенов Д.Г., Скирута В.Н., Плотников А.А., Лопухин В.И.**  
*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный, Крым, Россия*

## **A NEW INSTRUMENT FOR SOLAR SPECTROPOLARIMETRY AT THE CRIMEAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY**

**Kutsenko A.S., Terebizh V.Yu., Dolgoplov A.V., Abramenko V.I.,  
Semyonov D.G., Skiruta V.N., Plotnikov A.A., Lopukhin V.I.**  
*Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia*

**<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-203-206>**

*A new solar spectropolarimeter is being tested at the Crimean Astrophysical Observatory. The device is installed at the largest 0.9-m Russian optical Solar Tower Telescope. The main aim of the instrument is to measure the full vector of the magnetic field in the photosphere and lower chromosphere of the Sun. The spectral range of the spectropolarimeter covers more than 50 angstroms including chromospheric Mg I b2 line and photospheric Fe I 5250 line (Lande factor  $g = 3$ ). The spectral resolution is of the order of 70000. We performed a set of observations during the Summer 2023 and found the instrument to provide good enough quality data for scientific analysis. The comparison of the longitudinal magnetic field maps provided by the instrument and acquired by the SDO/HMI revealed a good visual agreement between the images.*

При анализе солнечных явлений в последнее время заметны тенденции проведения всеволнового мониторинга, включающего диапазоны от радио до рентгеновских длин волн. В таком случае возможен охват всей атмосферы Солнца – от нижней фотосферы до верхней короны – в которой происходят изучаемые явления. В оптическом диапазоне, в свою очередь, также идет бурное развитие наблюдательной базы, направленное на повышение как пространственного разрешения, что пока недоступно для других диапазонов, так и на прецизионную спектрополяризацию в как можно большем спектральном диапазоне. Современные крупные оптические телескопы, например, новейший DKIST с установленным на нем приборами, позволяют проводить наблюдения в фотосфере, хромосфере и нижней короне, используя для этого различные спектральные линии.

В Крымской астрофизической обсерватории в середине 1950-х был построен, а к началу 1970-х модернизирован Башенный солнечный телескоп имени академика А.Б. Северного (БСТ-1). На сегодня инструмент является крупнейшим оптическим телескопом в России, предназначенным для изучения Солнца. Диаметр главного зеркала составляет 90 см.

Инструмент собран по схеме Несмита-Кассегрена с внеосевой конструкцией. Эквивалентный фокус близок к 50 м, позволяя получать в фокальной плоскости изображение Солнца диаметром 450 мм. Телескоп ранее был оснащен двухлучевым магнитографом, предназначенным для измерений магнитных полей Солнца в двух спектральных линиях. В последнее время БСТ-1 использовался исключительно для наблюдения Солнца как звезды.

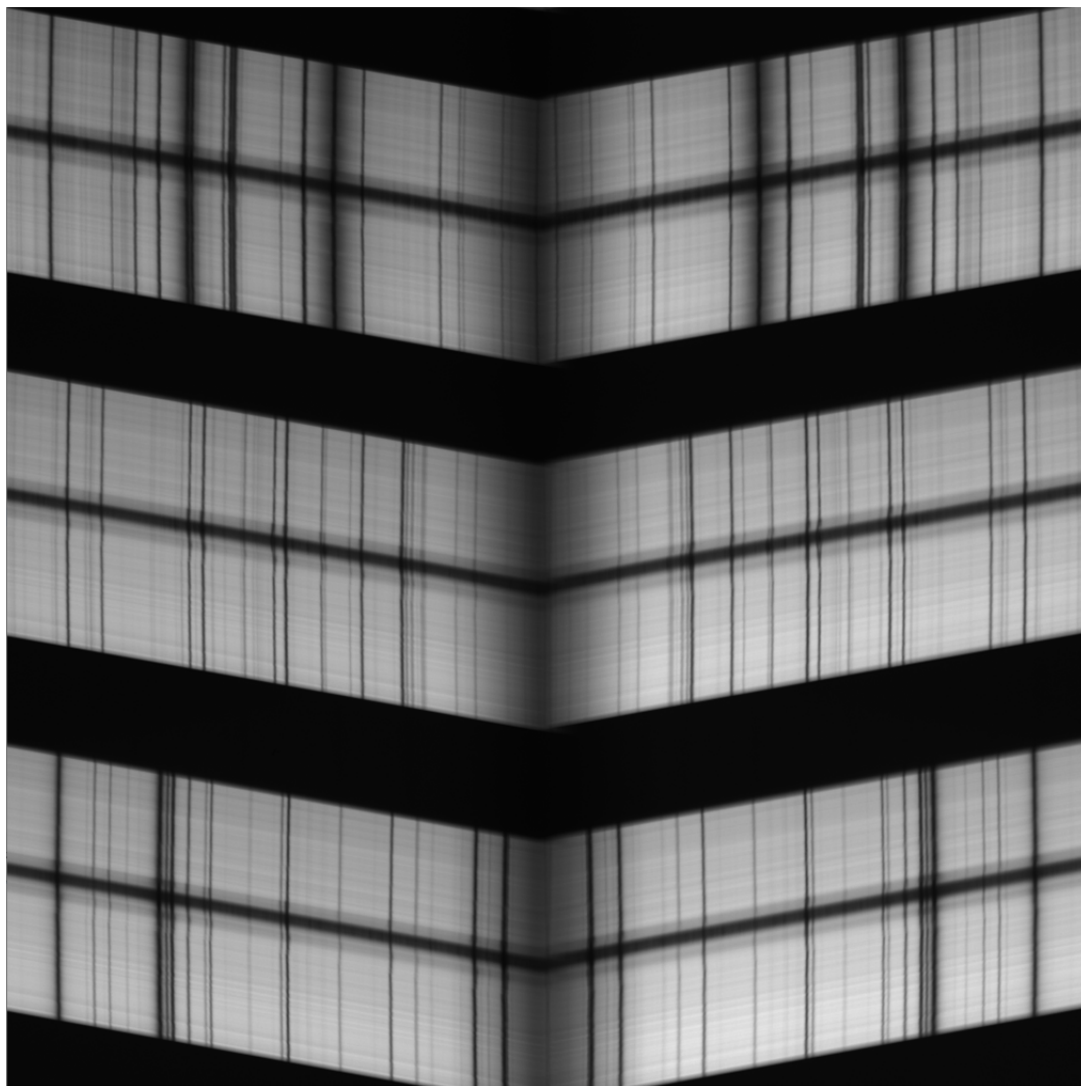
В 2018, после получения финансовой поддержки от РНФ, была начата программа по модернизации телескопа и созданию нового спектрополяриметра для него. Согласно заданию, планировалось, в том числе, максимально автоматизировать сам телескоп. Основные научные задачи, запланированные для нового инструмента, – измерение полного вектора электрического тока и тензора токовой спиральности в атмосфере Солнца, экстраполяция магнитного поля в корону с использованием хромосферного магнитного поля в качестве граничных условий, изучение распространения МГД волн в разных слоях атмосферы и ряд других. Решение поставленных задач требует проведение одновременных измерений полного вектора Стокса в ряде спектральных линий, формирующихся на разных высотах. Было решено сфокусироваться на фотосферных линиях Fe I 5250/5247 и хромосферных Mg I b2 и b4.

Оптическая схема спектрополяриметра была рассчитана Теребижем В.Ю. Прибор представляет собой щелевой эшелльный спектрограф с анализатором поляризации. Входная щель имеет высоту 45 мм, что соответствует 170 угл. сек. на поверхности Солнца. Диаметр коллимированного пучка составляет 120 мм. В качестве основного диспергирующего элемента выбрана эшелльная R2 решетка с размерами 125×250 мм. Для разведения порядков используется плоская дифракционная решетка кросс-дисперсии (600 штр/мм). Камера представляет собой дублет с фокусным расстоянием 800 мм и относительным отверстием f/5. КМОП детектор имеет формат 2048×2048 пкс с размером пикселя 11×11 мкм<sup>2</sup> и позволяет выполнять 24 экспозиции в секунду.

Анализатор поляризации состоит из двух узлов. Первый – вращающаяся ахроматическая фазовая пластина, установленная в световом пучке сразу после входной щели. Для большей гибкости имеется возможность использовать пластину с фазовой задержкой 0.25λ или 0.353λ. Второй узел анализатора – расщепитель поляризации на основе поляризационного куба, установленного перед детектором. Расщепитель позволяет получать на детекторе спектры в двух взаимно-ортогональных поляризациях одновременно, увеличивая точность измерений вектора Стокса.

Пример получаемых спектров показан на рис. 1. Правая и левая (на рис. 1) часть изображения показывают зеркально отображенные три

рабочих спектральных порядка. Вертикальные линии в каждом порядке – спектральные линии, попадающие в диапазон прибора. Две широкие спектральные линии в верхнем порядке – две из трех линий триплета  $\text{Mg I b}$ . В центральном порядке расположены фотосферные линии, в том числе  $\text{Fe I 5250}$ . Почти горизонтальная широкая темная полоса в центре каждого спектрального порядка – изображение тени и полутени пятна, попадающего на входную щель. Видно уширение спектральных линий в области сильных магнитных полей.



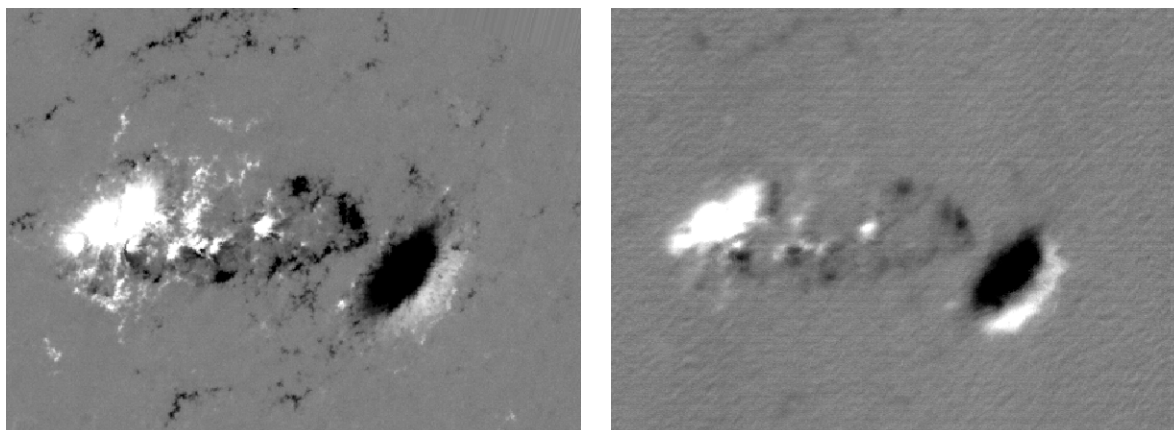
**Рис. 1.**

Измеренные параметры спектрополяриметра приведены в таблице. При наблюдениях возможно устанавливать различные режимы, например, отказываться от поляриметрии в пользу увеличения временного разрешения. Также прибор возможно использовать для наблюдений Солнца-как-звезды, что интересно с точки зрения солнечно-звездных аналогий.

В течение весны и лета 2023 был выполнен ряд наблюдений активных областей на Солнце. Продольное магнитное поле в фотосфере измерялось по расщеплению линии Fe I 5250 с фазовой пластиной  $0.25\lambda$ . Результаты тестовых наблюдений приведены на правой панели рис. 2. Для сравнения на левой панели показана магнитограмма продольного магнитного поля, полученного инструментом HMI орбитальной обсерватории SDO. Видно хорошее согласие между картами магнитного поля.

**Таблица.**

|                                                                    |                                    |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Спектральный диапазон, Å                                           | 5161-5178; 5240-5258;<br>5323-5340 |
| Спектральный сэмплинг, мÅ/пкс                                      | 20                                 |
| Спектральное разрешение                                            | ~70 000                            |
| Пространственный сэмплинг (вдоль щели), угл. сек. /пкс             | 0.4                                |
| Высота щели, угл. сек.                                             | 170                                |
| Временное разрешение (при наблюдениях полного вектора Стокса), мин | менее 10                           |



**Рис. 2.**

Мы планируем, что результаты наблюдений будут общедоступными для научного сообщества. В настоящее время проводится разработка процедур, которые позволят проводить рутинную обработку наблюдений БСТ-1. Дальнейшее развитие инструмента включает в себя установку на телескоп адаптивной оптики нулевого порядка, что должно позволить существенно увеличить пространственное разрешение.