

Итоги 20-летних наблюдений Солнца в линии He I 1083 нм в КрАО

Андреева О. А., Малащук В. М.

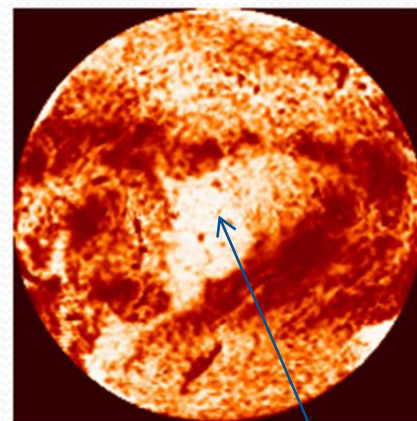
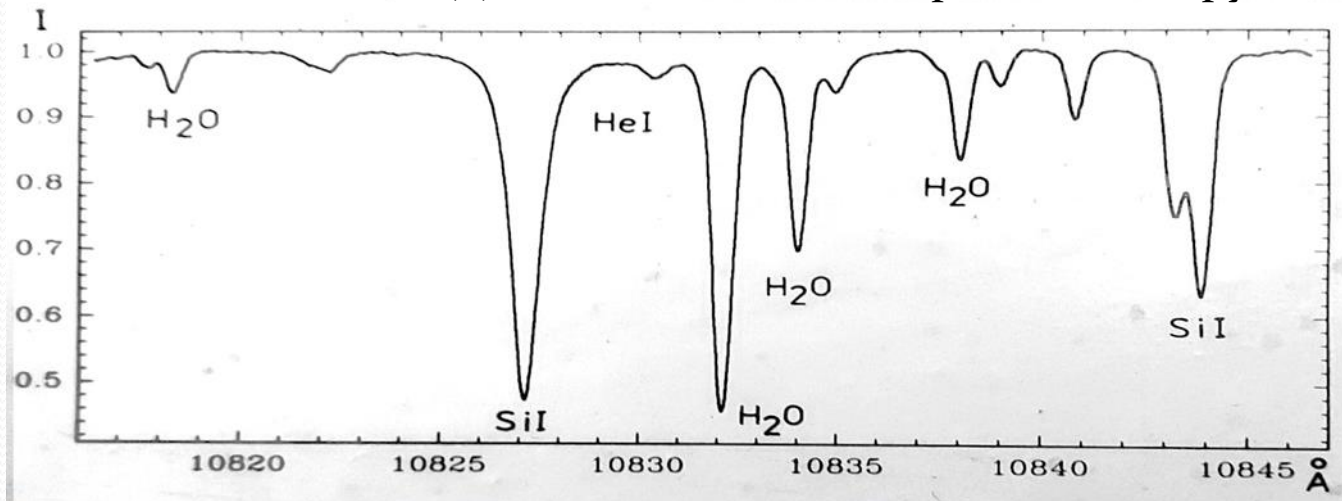
ФГБУН "Крымская астрофизическая обсерватория РАН"
olga@craocrimea.ru

*Всероссийская астрономическая конференция
с международным участием
"Магнетизм и активность Солнца и звезд - 2021" (Крым-2021)*

31.08-03.09.2021 года, Научный, КрАО РАН

Наблюдения в линии HeI λ 1083 нм

Инфракрасные наблюдения в солнечной астрофизике становятся все более и более актуальными, поскольку они открывают совершенно новые перспективы. Линия HeI λ 1083 нм (HeI) - наиболее сильная триплетная линия нейтрального гелия, позволяющая исследовать физические свойства верхней хромосферы и переходного слоя между хромосферой и короной. Именно в этой линии, которая образуется в верхней хромосфере на высоте около 2000-3000 км и возбуждается ультрафиолетовым излучением, возможно наблюдать корональные дыры (КД) с Земли. Эта линия — линия поглощения; в КД она становится слабее, и это приводит к тому, что излучение в ней по сравнению с соседними частями короны оказывается выше. КД в линии HeI более яркие, чем окружающая корона.



Спектр центра Солнца в инфракрасной области, полученный с Универсальным спектрофотометром телескопа БСТ-2

КД

Наблюдения в линии HeI λ 1083 нм в КрАО



Н.Н. Степанян
1930-2018гг.

В 80-х годах прошлого столетия в “Крымской астрофизической обсерватории” под руководством Н.Н. Степанян были начаты работы по подготовке технических возможностей и программного обеспечения для наблюдений в линии HeI λ 1083 нм (HeI). Наталья Николаевна была идейным и научным руководителем практически всех работ, связанных с организацией системы наблюдений в линии HeI и последующей обработки полученных изображений. Был организован ежедневный мониторинг и оперативное представление данных наблюдений в INTERNET, созданы обширные базы данных. Это позволило КрАО участвовать в национальных и международных программах наблюдений “Служба Солнца”, “SpaceWeather” и других. Наблюдения в линии HeI в КрАО проводятся, с 1989г по настоящее время, на башенном солнечном телескопе БСТ-2 с дифракционным спектрографом и Универсальным спектрофотометром (УСФ). В 1998 году УСФ был модернизирован (Stepanyan et al., 2000). С 1999 года начались регулярные наблюдения в линии HeI.

Башенный солнечный телескоп БСТ-2



Целостатная установка БСТ-2

Башенный солнечный телескоп БСТ-2

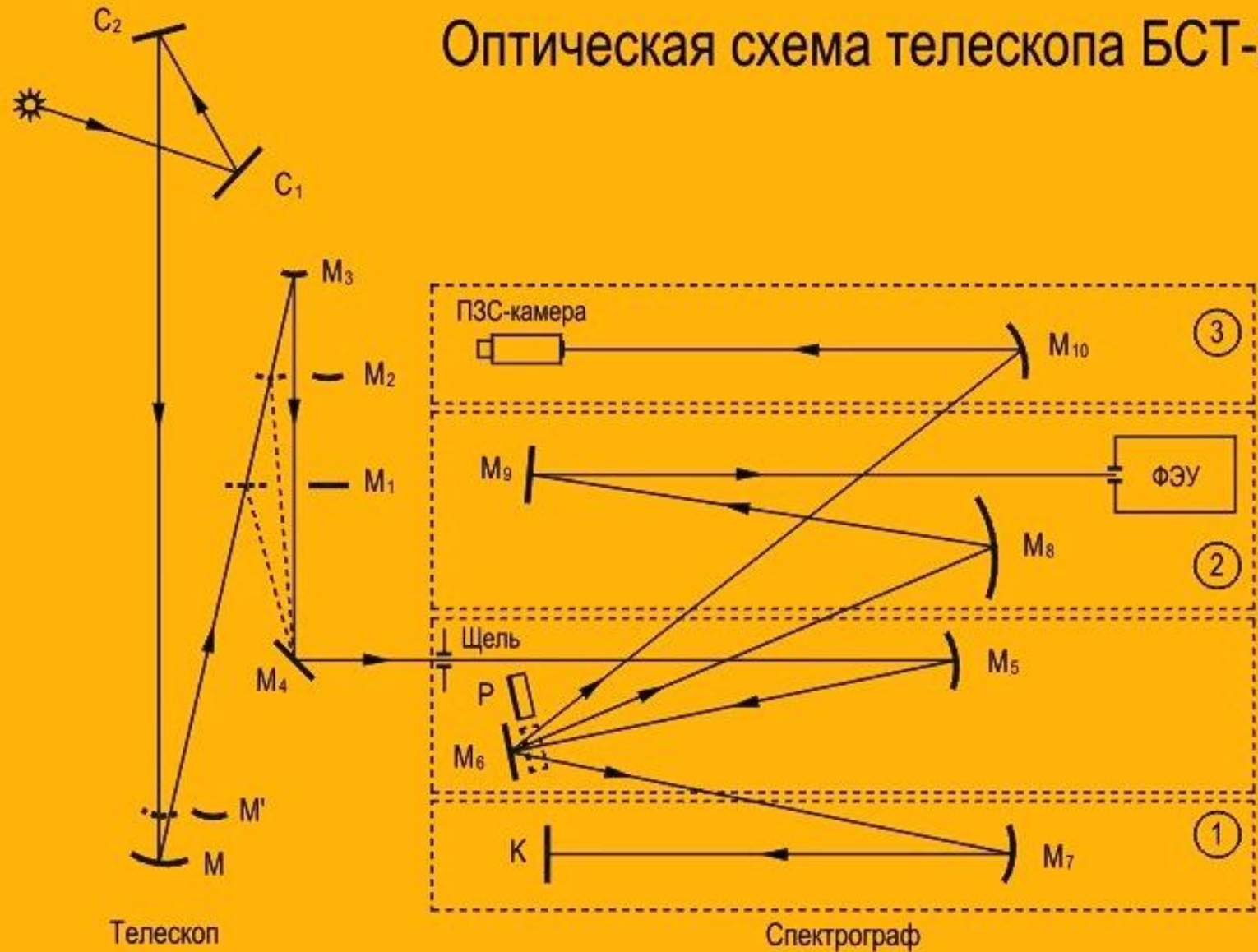
Телескоп предназначен для спектральных и монохроматических наблюдений Солнца. Два главных зеркала и три системы Кассегрена позволяют получить на щели спектрографа изображение Солнца размером от 80 до 300 мм.

Спектрограф оснащен двумя решётками и тремя камерами, позволяющими регистрировать спектры разной дисперсии. Приемниками информации могут служить фотопленки, фотопластинки, ФЭУ и ПЗС-камера.

Такая инструментальная база позволяет решать широкий круг астрофизических задач. Основные научные интересы сотрудников, использующих наблюдения на БСТ-2, сосредоточены в области определения физических и динамических характеристик солнечных образований (вспышек, флоккулов, пятен, корональных дыр, фоновых магнитных полей).

Одна из ежедневных, регулярно выполняемых программ на телескопе – получение изображений Солнца и отдельных его частей в линии HeI и их анализ.

Оптическая схема телескопа БСТ-2



Оптическая схема телескопа БСТ-2

C_1 – целостатное зеркало диаметром $d=600$ мм,

C_2 – дополнительное зеркало $d=550$ мм.

M – первое главное зеркало $d=450$ мм, фокусное расстояние $f=12$ м.

M' – второе главное зеркало $d=200$ мм, $f=8$ м

M_1 ($d=220$ мм), M_2 ($d=180$ мм) и M_3 ($d=140$ мм)-группа кассегреновских зеркал. При наблюдениях работает одно из них.

M_4 – диагональное зеркало

На щели спектрографа строится одно из шести возможных изображений Солнца диаметром от 80 до 300 мм.

Свет, прошедший через щель, попадает в спектрограф (на схеме справа), где он преобразуется в спектр.

M_5 – коллиматорное зеркало $d=200$ мм, $f=7.5$ м,

M_6 – дифракционная решетка,

P – решетка-эшелле с призмой перед ней. Она может быть введена в пучок от коллиматора для получения одновременно спектра всей видимой области на 30 полосках, расположенных друг под другом.

Цифрами 1, 2, 3 обозначены три камерные системы спектрографа.

1. M_7 – камерное зеркало $d=300$ мм, $f=7.5$ м. Возможна регистрация спектра на фотопленке и ПЗС-камере (К)

2. M_8 – камерное зеркало $d=800$ мм, $f=16$ м. Регистрация спектра на ФЭУ после отражения пучка от плоского зеркала M_9 .

3. M_{10} – камерное зеркало $d=200$ мм, $f=1.5$ м. Регистрация спектра на ПЗС-камере.

Оптическая схема спектрографа

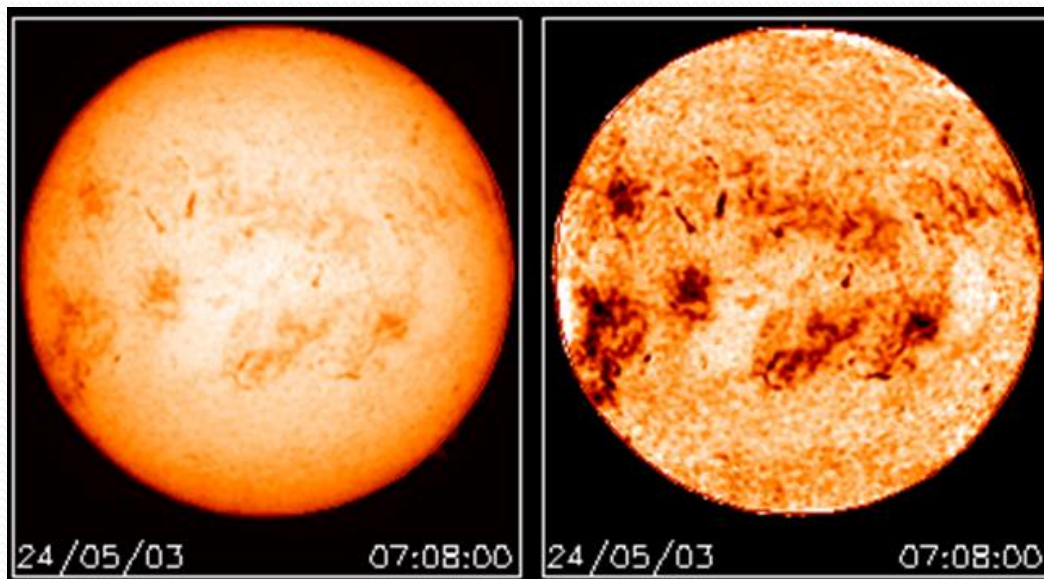
Проходя через щель, расширяющийся световой пучок падает на коллиматорное зеркало M_5 и отражается от него в виде параллельного пучка. Далее параллельный пучок падает либо на решётку-эшелле R , либо на дифракционную решётку M_6 . От решётки расходятся системы монохроматических параллельных лучей и, при помощи одного из трех камерных зеркал, изображение спектра строится либо около кассетной части, либо у входной щели ФЭУ, либо на элементах ПЗС-камеры.

Цифрами обозначены схемы для изображения спектра проходящего через щель светового пучка:

- на кассетной части (используется при измерении магнитных полей пятен);
- на ФЭУ (используется при сканировании солнечного диска в линии $HeI \lambda 1083 \text{ нм}$);
- на ПЗС-камере.

Достаточно высокая чувствительность этих приемников позволяет применять УСФ для исследования Солнца в близкой инфракрасной области, в частности, в линии HeI . Сервисные программы позволяют в течение нескольких минут учесть потемнение к краю и проанализировать изображение для выявления КД.

Наблюдения Солнца в линии HeI λ 1083 нм



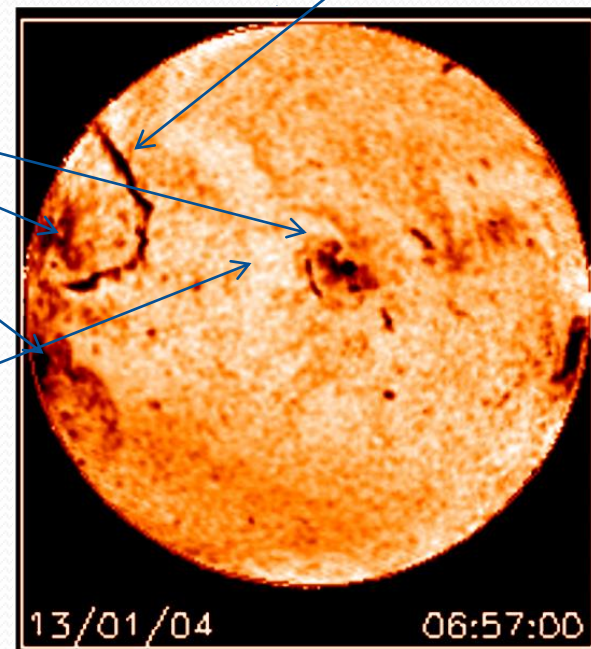
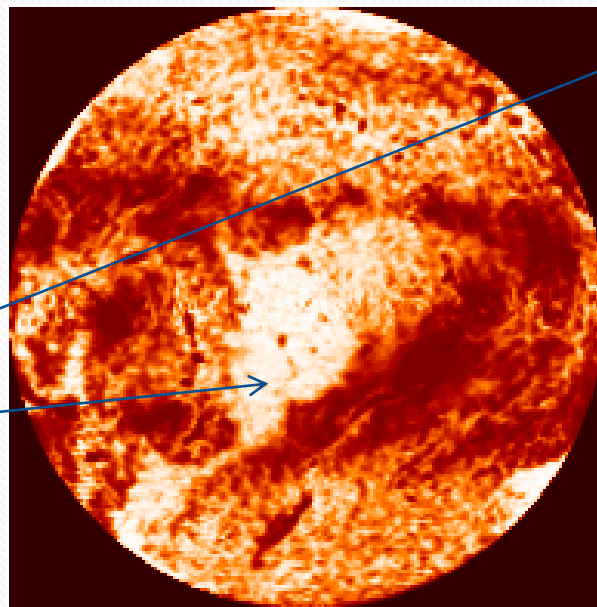
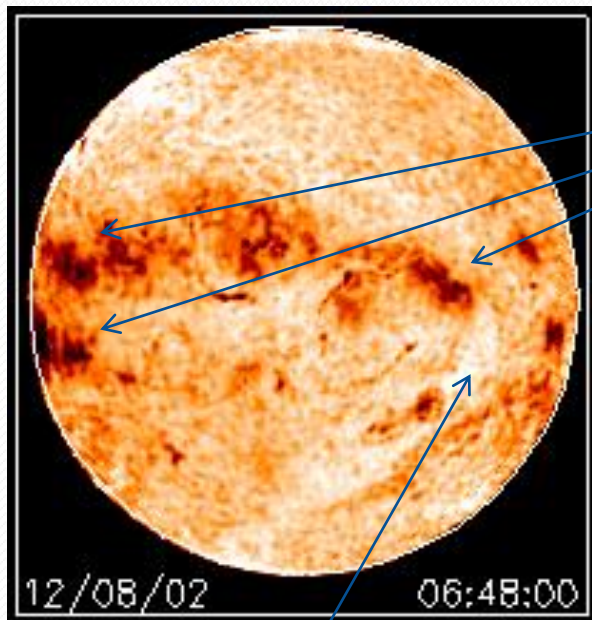
Изображения Солнца, полученные в линии HeI λ 1083 нм на Универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2.

Изображения Солнца строятся путем сканирования оптического изображения Солнца на щели спектрографа. Фотометр регистрирует интенсивность в центре линии HeI. Телескоп и регистрирующее устройство обслуживаются персональным компьютером.

На изображении указывается время и дата наблюдения. Изображения нормализованы к 4.8 x 4.8 секунд дуги на один пиксель. Слева необработанное изображение, справа – обработанное, с учетом потемнения к краю.

Волокна

Активные области



Корональные дыры

Изображения Солнца, полученные в линии HeI λ 1083 нм на Универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2

Единственную возможность видеть с Земли явления, протекающие в переходном слое между хромосферой и короной, дают наблюдения в линии HeI. В частности, корональные дыры с Земли видны только в ней. На приведенных выше изображениях Солнца в линии HeI активные области видны как темные образования, корональные дыры как светлые протяженные области с пониженным контрастом. Многие корональные дыры являются источниками высокоскоростных потоков солнечного ветра - потоков заряженных частиц, долетающих до Земли со скоростями 500-700 км/сек. Сотрудниками Отдела Физики Солнца КрАО найдено, что характеристики выходящих из КД потоков солнечного ветра определяются высотной стратификацией магнитных полей над КД. Высокоскоростные потоки чаще выходят из КД с открытой конфигурацией магнитного поля над ними.

В течение 1999 - 2018 годов был получен обширный наблюдательный материал в линии HeI на УФС телескопа БСТ-2. Он широко использовался крымскими учеными для исследования КД, поскольку это одно из важных направлений изучения физических процессов на Солнце в КрАО. За указанный период выполнено более 40 работ по этой тематике. На данном материале под руководством Н.Н. Степанян Е. В. Маланушенко защищена диссертация «Исследование атмосферы Солнца в области корональных дыр». Краткий обзор выполненных работ представлен в статье (Malashchuk & Andreeva, 2018)

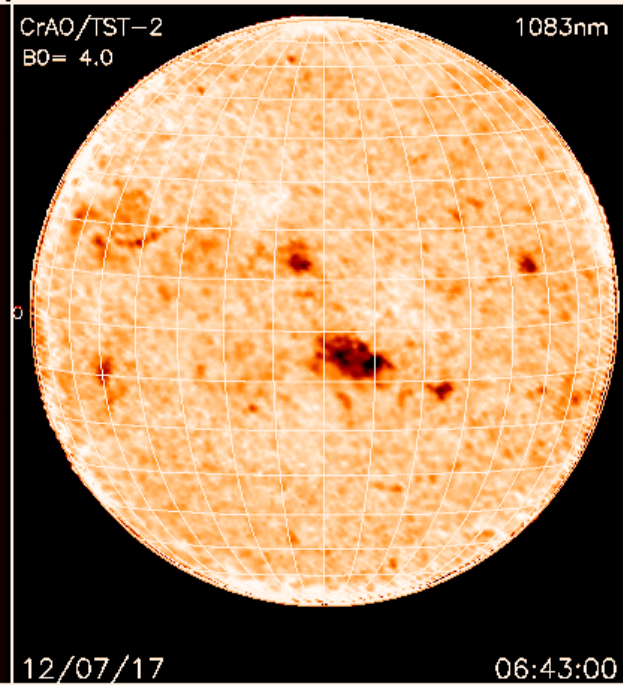
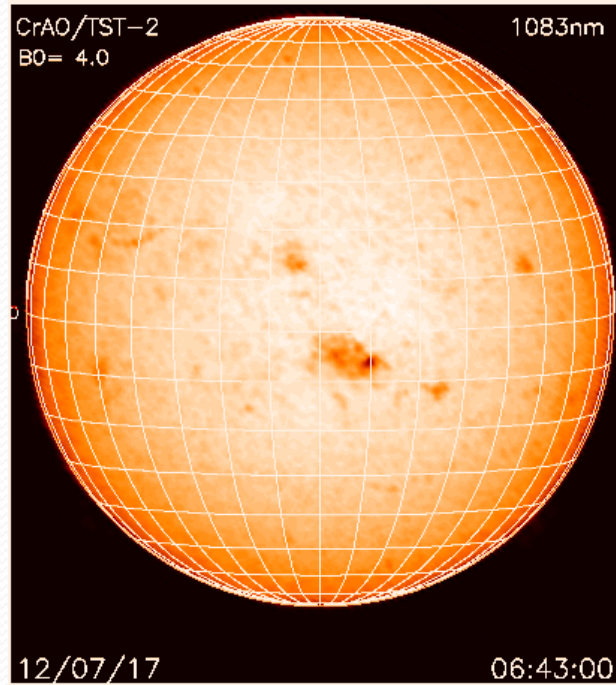
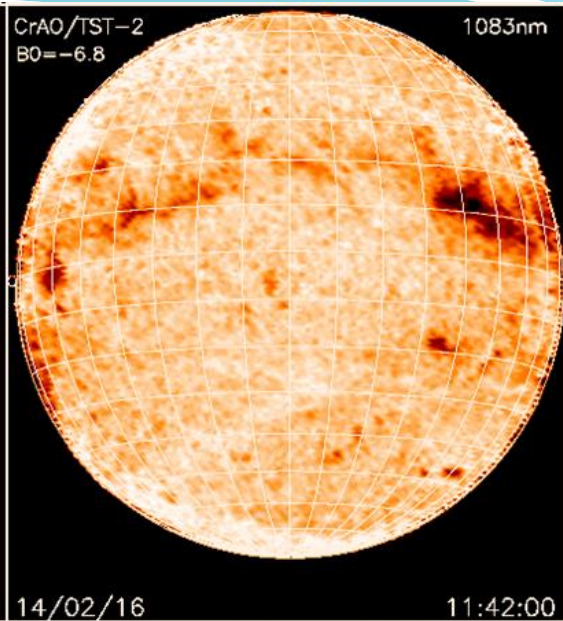
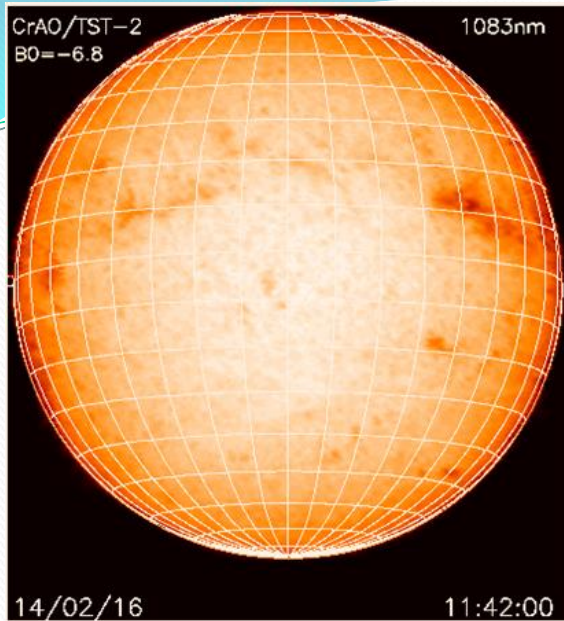
С июля 2018 года до конца 2019 наблюдения не проводились. В 2020 году выполнена модернизация процесса наблюдений и возобновились регулярные наблюдения в линии HeI. В данное время в ЛФС КрАО формируется каталог изображений диска Солнца, полученных на телескопе БСТ-2 в 1999-2018 гг., до модернизации.

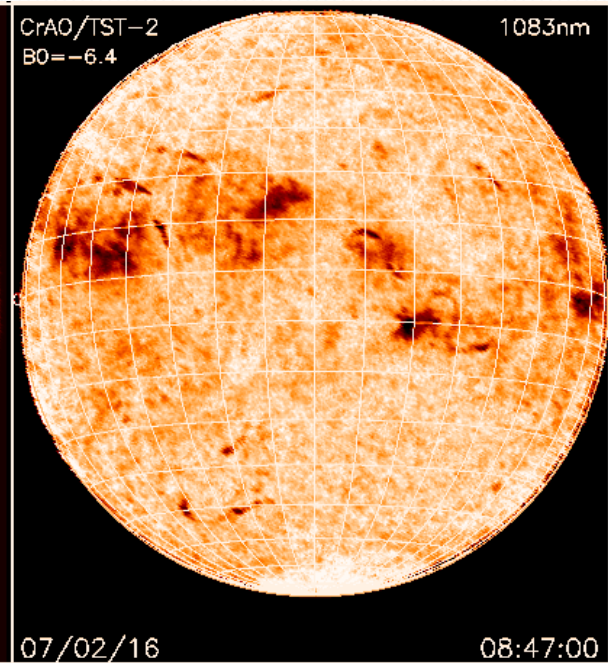
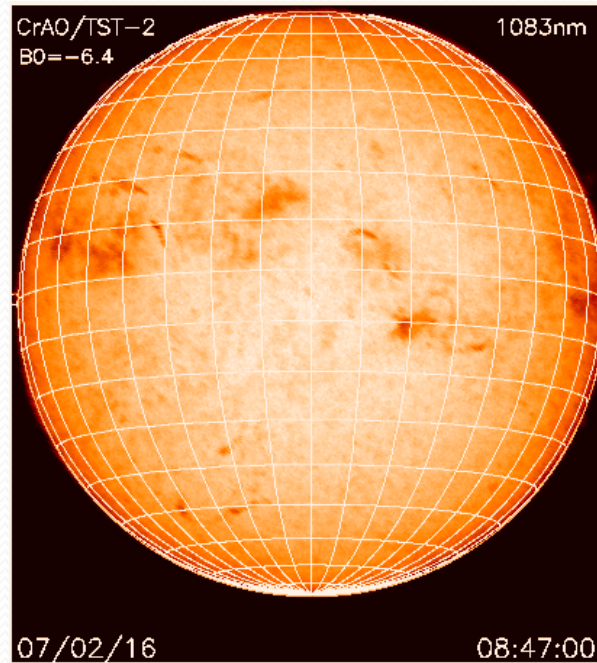
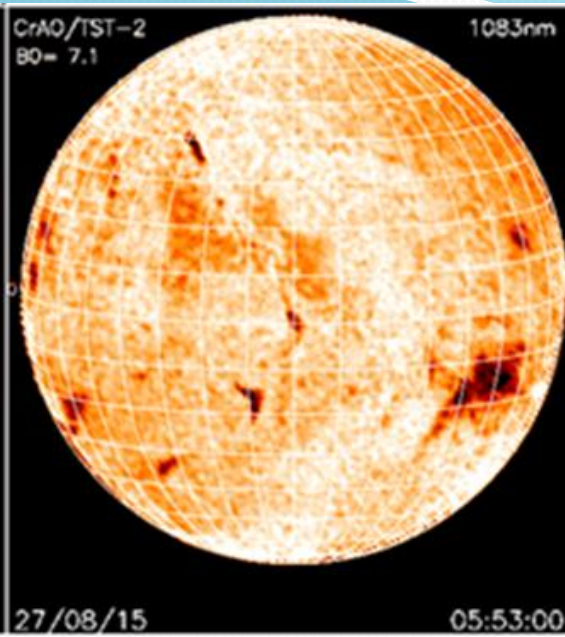
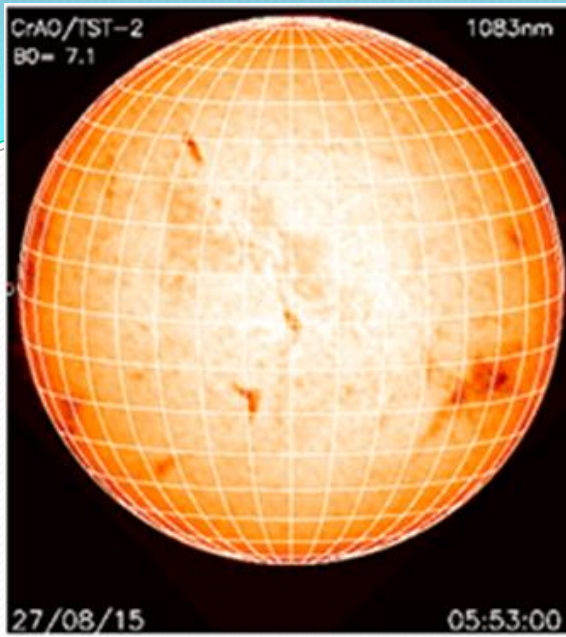
Каталог изображений диска Солнца в линии HeI

Каталог изображений диска Солнца составляется на основе данных наблюдений, полученных на БСТ-2 с дифракционным спектрографом и Универсальным спектрофотометром в 1999-2018гг.

В каталоге будут представлены файлы в FITS и GIF форматах. В FITS файлах отражена информация, регистрируемая во время сканирования изображения: дата и время наблюдения, спектральное разрешение, диапазон изменения наблюдаемых величин, угол θ_0 . GIF файл представляет собой пару карт с изображениями диска Солнца, нормализованных к 2,4 x 2,4 секунд дуги на один пиксель. На картах также указаны данные регистрации изображений. Левое изображение - необработанное, правое – обработано с учетом потемнения к краю. На оба изображения наложена сетка, у которой меридианы и параллели нанесены через 10° .

Фрагменты каталога представлены ниже.





Каталог может быть полезен при проведении научных исследований в области изучения природы и эволюции КД, что способствует решению таких важных проблем солнечной физики как структура и физические условия в солнечной короне, выделение и перенос энергии в солнечной атмосфере и нагрев спокойной короны, вращение и эволюция крупномасштабного магнитного поля, формирование потоков солнечного ветра.

Литература

1. Степанян Н.Н. и др. Солнечный Универсальный Спектрофотометр // Изв. Крымск.астрофиз. обсерв., 2000. Т.96 С. 194.
2. Malashchuk V. M., Andreeva O.A. A study of coronal holes at the Crimean Astrophysical Observatory //Astronomical and Astrophysical Transactions (AApTr), 2019, V.31, № 2, P.217-236