ВКЛАД КРЫМСКИХ УЧЕНЫХ В ИССЛЕДОВАНИЕ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР

Малашук В.М., Андреева О.А.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия
olga@craocrimea.ru

CONTRIBUTION OF CRIMEAN SCIENTISTS TO THE RESEARCH OF CORONAL HOLES

Malaschuk V.M., Andreeva O.A.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia
olga@craocrimea.ru

The paper sheds light on the stages and tasks of the scientific activity of researchers at the Crimean Astrophysical Observatory (CrAO) on studying coronal holes (CHs) and their relation to the surrounding solar formations. Emphasis is put on works of Crimean researchers, whereas exploring CHs is one of important directions in the study of physical processes on the Sun at CrAO. It began in the late 90s of the past century by putting into operation Universal Spectrophotometer at the Tower Solar Telescope TST-2 and continues up to the present time. The paper gives a historical overview on exploring CHs, as well as basic results on the study of CHs derived by researchers of CrAO.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-271-274

Корональные дыры (КД) – это крупномасштабные образования в солнечной короне с открытой конфигурацией магнитных силовых линий, расположенные в униполярных ячейках фоновых магнитных полей. В КД плотность плазмы и температура понижены. Основная особенность КД состоит в том, что они являются источниками высокоскоростного солнечного ветра, влияющего на межпланетное пространство и на гелиосферу Земли. Обнаружение и изучение характеристик этих областей важно как для проверки теорий их формирования и эволюции, так и с точки зрения космической погоды.

Корональные дыры – образования, имеющую самую короткую историю исследования в солнечной физике. Впервые КД были описаны Вальдмайером в конце 50-х годов, когда он отметил области с пониженной яркостью на изображениях солнечной короны, полученные в видимом свете на коронографе в Швейцарской федеральной обсерватории в Цюрихе. В 1960–70 гг. были получены ультрафиолетовые и рентгеновские изображения диска Солнца с космических телескопов OSO, которые подтвердили существование КД. В это же время Хансен установил периодичность появления КД.

Систематическое изучение КД началось в 1973–1974 гг., когда были получены подробные данные в рамках космической миссии “Skylab”. Ко-

личество и качество космических наблюдений КД увеличивается с каждым годом. С начала 90-х годов были получены наблюдения со спутников серии YONKON, SOHO, TRACE, КОРОНАС-Ф, SDO.

С Земли КД наблюдаются обычно только в линии He I 10830Å (HeI), которая образуется в верхней хромосфере на высоте около 2000–3000 км и возбуждается ультрафиолетовым излучением. КД в этой линии оказываются более яркими, чем окружающая корона. Начиная с 1974 г., КД в линии HeI наблюдаются наземными телескопами обсерватории Китт Пик (NSO, USA). В Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) регулярные наблюдения в линии HeI начались в 1999 году и продолжаются до настоящего времени.

Исследование корональных дыр в КрАО

Исследование КД – одно из важных направлений изучения физических процессов на Солнце в КрАО. В 80-х годах прошлого столетия в КрАО под руководством Н.Н. Степанян (рис. 1) были начаты работы по подготовке технических возможностей и программного обеспечения для наблюдений КД. Наталья Николаевна была идейным и научным руководителем практически всех работ, связанных с изучением КД в КрАО. Под ее руководством была разработана система проведения наблюдений в линии HeI и их обработки. 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 использовать наши данные наблюдений в комплексных исследованиях КД совместно с данными космических инструментов.

Рис. 1. Наталья Николаевна Степанян.

Рис. 2. Целостатная установка БСТ-2.

За период с конца 80-х годов прошлого века до настоящего времени сотрудниками КрАО выполнено более 30 работ по данной тематике. Со списком публикаций по КД можно ознакомиться по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/KtzL/H52dPWUpG>. Под руководством Н.Н. Сте-

панян Е.В. Маланушенко защищена диссертация «Исследование атмосферы Солнца в области корональных дыр». Практически во всех работах использованы данные наблюдений полученные на БСТ-2.

Рис. 3. Изображения Солнца в линии He I 10830 Å, полученное на телескопе БСТ-2. Слева – необработанное изображение, справа – с учетом потемнения к краю.

Наблюдения КД в КрАО проводятся на башенном солнечном телескопе БСТ-2 (рис. 2) с дифракционным спектрографом и Универсальным спектрофотометром. В качестве приемного устройства на выходе спектрографа используется фотоумножитель ФЭУ-83 или ПЗС-камера. Достаточно высокая чувствительность этих приемников позволяет применять УСФ для исследования Солнца в близкой инфракрасной области, в частности, в линии He I. Сервисные программы позволяют в течение нескольких минут учесть потемнение к краю и проанализировать изображение для выявления КД. Наблюдения в линии He I проводятся регулярно с 1999 года и оперативно выставляются на сайте КрАО

<http://solar.craocrimea.ru/rus/observations.htm>

Некоторые результаты исследований КД в КрАО

- ✓ Анализ кинематических характеристик КД и ФМП свидетельствует о разной природе и о разной глубине источников ФП и КД. Н.Н. Степанян.
- ✓ Выполнена серия работ по совместным наземным (КрАО) и космическим наблюдениям (КОРОНАС-Ф). Определена структура магнитных полей от фотосферы до короны. Изучена связь солнечного ветра со структурными образованиями на Солнце. (КрАО, ИСЗФ, ИЗМИРАН, ФИАН)
- ✓ Исследование эволюции и характера вращения крупномасштабных фоновых магнитных полей и корональных дыр на Солнце показало, что фоновые магнитные поля – не остатки распавшихся активных областей, а самостоятельное явление. Источник магнитных полей корональных дыр расположен гораздо глубже источника фоновых полей. Н.Н. Степанян, О.А. Андреева, Я.И. Зелык.
- ✓ Открыты новые структурные образования на Солнце – магнитоизолирующие комплексы солнечных образований (МИКСО). Н.Н. Степанян, В.М. Малащук

✓ В рамках серии совместных работ с ИСЗФ изучена связь крупномасштабных магнитных полей на Солнце от фотосферы до поверхности источника с магнитными полями активных областей, вспышек, волокон и корональных дыр. Показана аномальность 24-го цикла солнечной активности. Н.Н. Степанян, З.С. Ахтемов, О.А. Андреева, В.М. Малащук, Н.И. Штерцер, В.А. Перебейнос.

✓ Анализ временных изменений магнитного поля на высотах от фотосферы до 2.5 радиуса Солнца свидетельствует о различной природе крупномасштабного магнитного поля в приэкваториальной и в полярной областях солнечной атмосферы. КрАО: Н.Н. Степанян, З.С. Ахтемов, О.А. Андреева, ИСЗФ.

✓ Выполнена серия работ по исследованию эволюции и влиянию на околоземное пространство долгоживущей гигантской КД (ГКД) 2015–2017 гг. Исследованы физические условия в ГКД и ряд ее эволюционных характеристик. Результаты анализа изменений скорости вращения, площади, интенсивности, напряженности МП и магнитного потока использованы далее для сопоставления с параметрами солнечного ветра и дальнейшего изучения влияния ГКД на околоземную космическую погоду. О.А. Андреева, В.М. Малащук, З.С. Ахтемов, Ю.Т. Цап, О.С. Гопасюк, Э.А. Барановский, В.А. Перебейнос, Н.И. Штерцер, А.В. Борисенко, Р.К. Жигалкин

За почти 40-летний период исследования КД в КрАО удалось создать и модернизировать систему наблюдений на телескопе БСТ-2. На основании наблюдений, полученных в оптическом и ИК диапазонах на телескопе БСТ-2, и данных, полученных в других экспериментах, проведено всестороннее исследование КД в атмосфере Солнца. Изучение характеристик КД в КрАО привело к обнаружению ряда особенностей КД в атмосфере Солнца. Выявлены отличия структуры КД на разных высотах, рассмотрены динамические характеристики и физические параметры атмосферы, ситуации образования и разрушения КД. Полученные результаты позволили дополнить морфологическую модель КД и сделать ряд предположений об их природе и эволюции.

То обстоятельство, что корональные дыры являются источниками высокоскоростного солнечного ветра, воздействующего на магнитосферу Земли, обуславливает практическую значимость наших исследований. Результаты исследования КД могут быть широко использованы в области создания методов прогноза эволюции солнечных образований, а также прогнозирования космической погоды, имеющей большое значение для человека, техно- и биосферы Земли.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 17-42-92017.