

ПРОЕКТ “ДИСКАВЕР”: НАБЛЮДЕНИЕ ЗЕМЛИ И ИЗУЧЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

И.С. ВЕСЕЛОВСКИЙ,

доктор физико-математических наук
Научно-исследовательский институт ядерной физики
им. Д.В. Скобельцына
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Институт космических исследований РАН

К.Б. КАПОРЦЕВА,

студентка магистратуры физического факультета
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

А.Т. ЛУКАШЕНКО,

кандидат физико-математических наук
Научно-исследовательский институт ядерной физики
им. Д.В. Скобельцына
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/50044394819020026

Американская космическая обсерватория, созданная по проекту “Deep Space Climate Observatory” (обсерватория исследования космической погоды, сокращенно “DISCOVER”, произносится: “Дискавер”), была запущена в 2015 г. на околоземную орбиту. Она предназначена для наблюдения Земли и регистрации солнечного ветра в целях исследования космической погоды (ЗиВ, 2000, N 3). Для достижения этих целей используется комплекс научной аппаратуры, состоящий из шести приборов. Это – совместный проект NASA и NOAA (Национальное управление океанических и атмосферных исследований – официальный источник прогнозов и предупреждений о космической погоде при правительстве США). В течение трех лет обсерватория проводит наблюдения Земли и изучает солнечный ветер. Получены первые результаты.



ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СОЛНЦА НА ЗЕМЛЮ

В 1859 г. британский астроном Ричард Кэррингтон наблюдал многочисленные пятна и вспышки на Солнце.

1 сентября 1859 г. им была зафиксирована самая яркая вспышка из всех, что он когда-либо видел. Она вызвала крупный корональный выброс массы, достигший Земли за 18 часов и ставший причиной мощнейшей за всю

историю наблюдений геомагнитной бури. По всему миру (в том числе и на экваториальных широтах) наблюдались северные сияния; в Европе и Северной Америке отказали телеграфные системы; нарушилась связь. Это происшествие получило название “событие Кэррингтона”, или “солнечный супершторм” (ЗиВ, 2004, № 5; 2011, № 5). Но и тогда связь между геомагнитными бурями на Земле и солнечной активностью еще не была очевидна. В 1892 г. великий английский физик У. Томпсон (лорд Кельвин) ошибочно утверждал: “Предположение о связи земных магнитных бурь с пятнами на Солнце не имеет под собой реальных оснований. Совпадение периодов – чистая случайность”.

Первые прямые измерения солнечного ветра за пределами магнитосферы были выполнены в 1959 г. группой советских ученых под руководством Константина Иосифовича Грингауза (1918–1993) – заведующего лабораторией Ра-

диотехнического института Академии наук СССР, с 1971 г. – руководитель Лаборатории межпланетной и околопланетной плазмы ИКИ АН СССР. Начиная с 1956 г., К.И. Грингауз руководил разработкой приборов для исследования ионной компоненты ионосферы Земли. Созданная в его лаборатории аппаратура успешно работала на автоматических межпланетных станциях (АМС) “Луна-1” (январь 1959 г.), “Луна-2” (сентябрь 1959 г.), “Луна-3” (октябрь 1959 г.) и “Венера-1” (февраль 1961 г.). С помощью ионных ловушек были измерены некоторые параметры идущей от Солнца плазмы: например, величины потоков частиц. Первые измерения межпланетной плазмы были проведены на

По всему миру наблюдались северные сияния; в Европе и Северной Америке отказали телеграфные системы; нарушилась связь. Это происшествие получило название “событие Кэррингтона”, или “солнечный супершторм”

АМС “Луна-1”, но тогда еще не было понятно, являются ли измеренные потоки постоянно исходящими от Солнца или это следствие выброса частиц из магнитосферы Земли. Повторные измерения, проведенные с помощью АМС “Луна-2”, дали ответ на этот вопрос. Путь станции от Земли до Луны можно разделить на три этапа. На первом из них (от момента включения аппаратуры до удаления аппарата от Земли на 20 000 км) были зарегистрированы холодные ионы атмосферного происхождения; эту область назвали “плазмосфера”. На втором – от 20 000 до 110 000 км – обнаружены электроны, и эта область хвоста магнитосферы получила название “плазменный слой”. Третий этап, на котором работали приборы (от 300 000 км до падения на Луну), был выбран так, чтобы понять, есть ли у Луны газовая оболочка. Здесь ионные ловушки зарегистрировали потоки частиц, которые не изменялись при приближении аппарата к Луне. Таким образом, был сделан вывод о том, что у Луны

нет магнитосферы и атмосферы, а эта плазма имеет солнечное происхождение и непрерывно истекает от Солнца. Следующие эксперименты, выполненные на АМС “Луна-3” и “Венера-1”, подтвердили этот вывод. Так началась эра исследования солнечного ветра посредством прямых измерений.

“Событие Кэррингтона” – не единственная солнечная буря, ставшая причиной широкого интереса к космической погоде. Геомагнитная буря (или “Квебекское событие”), произошедшая 13–14 марта 1989 г., привела к нарушениям в энергосистеме Квебека (провинция Канады). Колебания магнитного поля Земли, вызванные солнечной вспышкой, спровоцировали срабатывание

Таблица 1

Перечень основных космических аппаратов, оборудованных инструментами для наблюдения за Солнцем и солнечным ветром

Название	Заказчик	Время работы
“Wind”	NASA	начиная с 1994 г.
“Интербол-1”	Россия, Чехия, ESA	1995–2000 гг.
“SOHO”	ESA, NASA	начиная с 1996 г.
“ACE”	NASA	начиная с 1997 г.
“STEREO-A” и “STEREO-B”	NASA	начиная с 2006 г. (STEREO-A), 2006–2016 гг. (STEREO-B)
“Дискавер” (“DSCOVR”)	NASA, NOAA	начиная с 2015 г.
“Паркер” (“Parker Solar Probe”)	NASA	начиная с 2018 г.
“Solar Orbiter” (SolO)	ESA и NASA	запуск запланирован на 2020 г.
“Интергелиозонд”	Россия	запуск перенесен на 2025 г.

защитных механизмов линий электропередачи, что привело к общей энергетической неисправности, продолжавшейся более 9 часов. На всей Земле происходили нарушения высокочастотной радиосвязи, были зарегистрированы сбои в работе космических аппаратов. Полярные сияния во время бури наблюдались вплоть до широты Мексиканского залива.

Столь мощные магнитные бури происходят редко, но частые вспышки на Солнце порождают множество магнитных бурь – достаточно сильных для того, чтобы вызвать сбои в работе спутников,

в электросетях и в системах навигации и глобального позиционирования GPS (например, недавняя буря, случившаяся 8 сентября 2017 г.). Поэтому так важно уметь прогнозировать события такого рода, а для этого необходимы современные системы мониторинга солнечной активности. Человечество уже запустило много космических аппаратов, предназначенных для наблюдений за Солнцем и солнечным ветром (см. табл. 1), но история проекта “Дискавер” особенно интересна.

ЗАМЫСЕЛ ПРОЕКТА “ТРИАНА”

Проект “Дискавер” (“DSCOVR”), возможно, возник в тот самый момент, когда в декабре 1972 г. люди впервые увидели во всей красе свой дом – знаменитый снимок полного диска Земли (также известный как “Blue Marble” – “голубой мрамор” или “голубой шар”), сделанный с борта космического корабля “Аполлон-17” во время полета на Луну. Эта фотография появилась весьма кстати – в тот период экологические проблемы стали глобальными и об их преодолении заговорили в мире; этот образ способствовал развитию планетарного сознания и зарождению глобальных движений по защите окружающей среды. Недаром именно он стал символом Международного дня Земли, который, начиная с 1970 г., празднуется 22 апреля в Америке, а с 1990-х гг. отмечается и в России. В 1970-х гг. вдохновленный воздействием этого эпохального снимка вице-президент США (1993–2001) Альберт Гор мечтал о спутнике, который бы передавал изображения Земли через Интернет – для того чтобы каждый мог увидеть нашу планету, которую мы должны беречь и защищать от угрозы уничтожения.

Фотографии Земли действительно могут впечатлять и вдохновлять



Диск Земли. Знаменитый снимок получен 7 декабря 1972 г. экипажем КК “Аполлон-17” с расстояния 29 тыс. км от планеты. Фото NASA

людей, но для того чтобы создать космический аппарат для съемки планеты с большого расстояния и запустить его, этого недостаточно. Такой проект должен был выполнять и научные задачи. Снимок всей Земли позволяет измерить ее полное альbedo (отношение отраженного планетой излучения к падающему на нее), но это трудно или даже невозможно сделать, если изображение составлено из разных снимков. Зная альbedo, можно определить количество тепла, которое Земля получает от Солнца. Эти данные важны для изучения глобального потепления – процесса, который существенно влияет на климат. В 2007 г. Альберт Гор стал лауреатом Нобелевской премии мира: она была присуждена Межправительственной группе экспертов по изменению климата (IPCC) “за их усилия по сбору, анализу и распространению огромного объема информации о влиянии человека на изменения климата на Земле и обоснование тех мер, которые необходимы для противодействия таким изменениям”. На встрече вице-президента А. Гора с директором NASA Дэниэлом Голдином (приблизительно в 1998 г.) последний сказал, что агентство может воплотить его мечту менее чем за 100 млн долларов. Проект

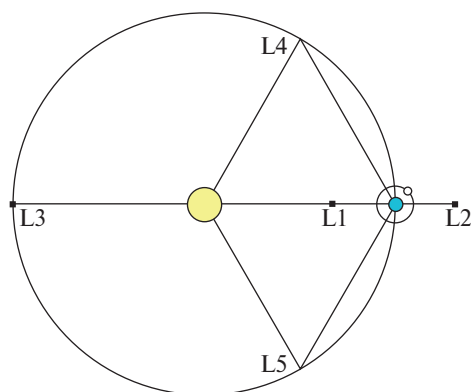
получил имя “Триана” (в честь Родриго де Триана – испанского моряка, первым увидевшего Новый Свет с корабля Христофора Колумба) и прозвище, образованное от имени инициатора, “Горесат” (спутник Гора).

ПРОЕКТ “ТРИАНА” ТРАНСФОРМИРУЕТСЯ В “ДИСКАВЕР”

Итак, NASA приняло вызов А. Гора и к началу 2001 г. создало спутник “Триана” для наблюдения Земли; он должен был отправиться в точку Лагранжа L1 на линии Земля–Солнце, на расстояние приблизительно в 1,5 млн км от Земли (солнечный ветер преодолевает это расстояние примерно за 25–60 мин). Главная задача “Трианы” – фотографирование и исследование компонент земной поверхности и атмосферы: например, уровней озона и аэрозолей, облачного покрытия и плотности растительности; вторичная – наблюдение за Солнцем и солнечным ветром (взамен устаревшего спутника “ACE”, запущенного NASA в рамках программы “Эксплорер” в точку L1 в 1997 г.).

В начале 2000-х гг. NASA поддерживало исследования в области наук о Земле. В одном из рекламных видео агентство предположило, что миссия по наблюдению за планетой не ограничится “Трианой”: последующий спутник будет отправлен в точку L2, находящуюся на расстоянии в 1,5 млн км от Земли в направлении от Солнца, где он сможет постоянно контролировать теневую половину нашей планеты. С помощью этих двух спутников специалисты смогли бы непрерывно наблюдать весь земной шар.

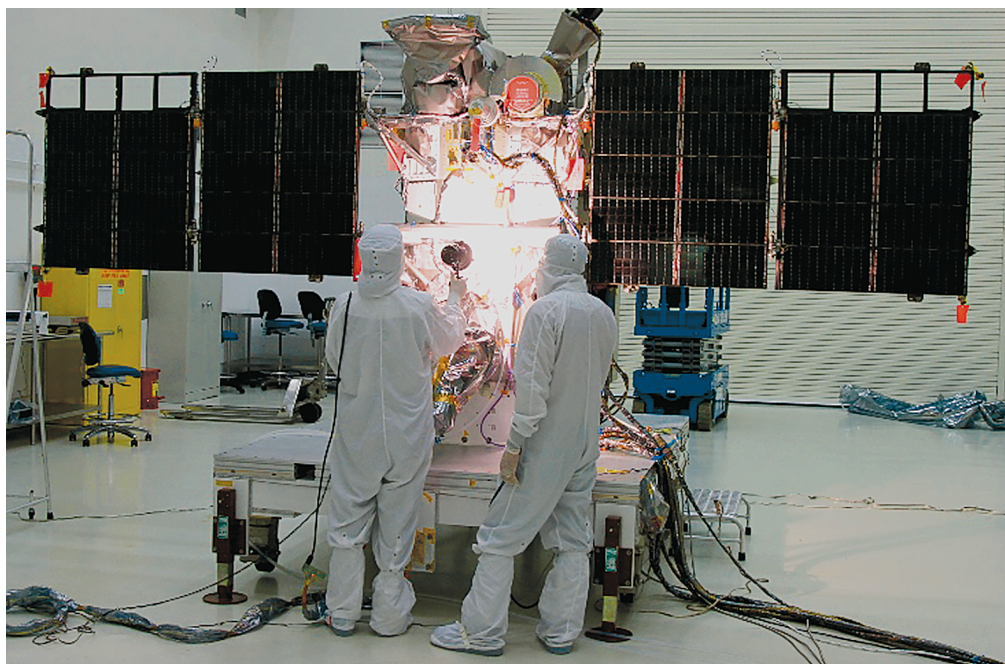
Положение точек Лагранжа на линии Земля–Солнце: L1 и L2 находятся на расстоянии 1,5 млн км от Земли, L4 и L5 – в 150 млн км от Земли, L3 – в 300 млн км от Земли



Но в 2000 г. А. Гор проиграл президентские выборы, к власти пришли республиканцы во главе с Джорджем Бушем и запуск КА “Триана” был приостановлен. “Мы готовились перевести его на стартовую площадку, когда нам сообщили это”, – посетовал ведущий инженер по механическим системам “Трианы” Джулио Розанова. Спутник стоимостью 100 млн долларов поместили в хранилище Центра космических полетов им. Р. Годдарда NASA. Миссия оказалась в состоянии “бюрократической неопределенности”. Приблизительно в 2003 г. NASA переименовало проект “Триана” в “Deep Space Climate Observatory” (“DSCOVR”), или

“Дискавер”, но космический аппарат по неизвестной причине продолжал оставаться в хранилище (его планировалось запустить в январе 2003 г. на борту КК “Колумбия” (STS-107), потерпевшего впоследствии аварию; ЗиВ, 2003, № 5, с. 59–61). Во время правления администрации Буша проект стал политически уязвимым в основном из-за

Космическая обсерватория “Дискавер” (“DSCOVR”) в чистой комнате в Центре космических полетов им. Р. Годдарда. Фото NASA



ЗАПУСК И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

связи космического аппарата с демократами. Официальное обоснование задержки отправки спутника в космос заключалось в том, что дорогостоящее строительство Международной космической станции обладало более высоким приоритетом. Так или иначе, но готовый космический аппарат “пылился в шкафу” 7 лет.

В 2008 г. Комитет по уменьшению воздействия на окружающую среду (CSESMO) постановил, что проект “DSCOVER” является оптимальным решением, удовлетворяющим требованиям к миссии по изучению космической погоды NOAA и BBC США, а также потребностям NASA в области наук о Земле. Федеральный законопроект о бюджете на 2009 г. содержал 9 млн долларов, специально предназначенных для “...восстановления “DSCOVER”, обеспечения полета и оперативной готовности приборов к работе над проблемами в области наук о Земле”. В конце 2009 г. группа из 15 техников и инженеров произвела полную проверку компонентов космического аппарата “Дискавер” и нашла его в отличном состоянии. К тому времени инструменты EPIC и NISTAR, специализированные для геофизических исследований, были модернизированы и готовы к полету. Однако цель проекта изменилась: приоритетной задачей стала замена устаревающего КА “ACE”, разработанного для исследований космического пространства и наблюдений за состоянием солнечного ветра. Мониторинг Земли стал его второстепенной задачей. В результате проект “Триана” получил новую жизнь и новое имя – “Дискавер” (“DSCOVER”).

Комитет по уменьшению воздействия на окружающую среду (CSESMO) постановил, что проект “DSCOVER” является оптимальным решением, удовлетворяющим требованиям к миссии по изучению космической погоды NOAA и BBC США, а также потребностям NASA в области наук о Земле

Несмотря на то что финансирование возобновилось, запуск космической обсерватории “Дискавер” несколько раз откладывался, и в итоге ее старт с помощью ракеты-носителя “Falcon-9” частной компании “SpaceX” состоялся 11 февраля 2015 г. Обсерватория благополучно отправилась в путешествие, выйдя на первоначальную околоземную орбиту высотой $187 \times 1\,371\,156$ км и наклоном 37° . В течение 110 сут она двигалась в направлении к точке

L1 и прибыла туда в начале июня 2015 г. Первая фотография Земли, сделанная с помощью прибора EPIC из точки L1, появилась 6 июля 2015 г. Все данные, полученные “Дискавер” с помощью инструмента PlasMag, начиная с июля 2016 г. находятся в сети, в свободном доступе.

Будущее проекта “Дискавер” стало неопределенным после прихода к власти в США республиканцев – исследования в области наук о Земле снова “попали в немилость”. Вскоре после выборов 2016 г. советник Д. Трампа сказал, что президент намерен сократить исследования NASA в области изучения климатических изменений. В новом бюджете страны приоритет был отдан исследованию Марса и поиску внеземной жизни на далеких планетах.

Четырем миссиям NASA в области наук о Земле грозило лишение финансирования: под закрытие попадали проекты “PACE” (Plankton, Aerosol, Cloud and ocean Ecosystem – планктон, аэрозоль, облака и экосистема океана), “OCO-3” (“Орбитальная углеродная



Запуск ракеты-носителя "Falcon-9" с космической обсерваторией "Дискавер" на борту. Космодром Канаверал, 11 февраля 2015 г. Фото NASA

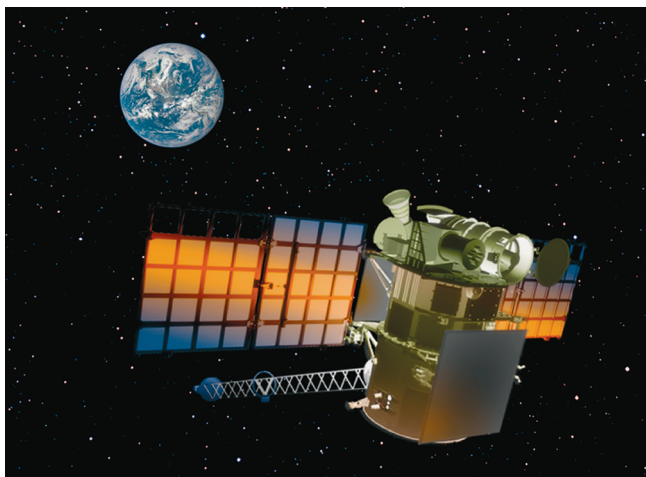
обсерватория-3"), "CLARREO" (Climate Absolute Radiance and Refractivity Observatory – климатическая обсерватория абсолютного излучения и отражения) и "Дискавер". Планировалось, что космическая обсерватория "Дискавер" по-прежнему будет предоставлять данные, предназначенные для раннего предупреждения о явлениях, вызванных солнечной активностью (воздействия которых на нашу планету могут потенциально привести к повреждению земной инфраструктуры). Но сокращение финансирования грозило двум из инструментов "Дискавер" – EPIC и NISTAR. В марте 2018 г. Конгресс сохранил финансирование программы, однако выделение бюджетных средств

на 2019 г. еще не подтверждено. Что касается других проектов – они тоже пока финансируются, и работа над ними продолжается.

Авторы статьи надеются, что приборы EPIC и NISTAR продолжат свою работу, ведь они позволяют нам больше узнать о родной планете.

НАУЧНАЯ АППАРАТУРА "ДИСКАВЕР"

Космическая обсерватория "Дискавер" размером $1,37 \times 1,83$ м и массой 570 кг (запас топлива и газов – 140 кг) оснащена двумя двухсекционными жестко закрепленными панелями солнечных батарей. Для нацеливания солнечных батарей используются 6 солнечных датчиков. Также космический аппарат оснащен *системой ориентации и определения положения в пространстве*



Космическая обсерватория "Дискавер" ("DSCOVR") в точке Лагранжа L1 на линии Земля–Солнце, расположенной в 1,5 млн км от нашей планеты. Рисунок NASA

относительно звезд (звездный датчик, гироскопы); системой управления полетом (32-разрядный компьютер Power PC/6000); исполнительными механизмами (система из четырех маховиков, приводимых в движение бесщеточными двигателями постоянного тока); бортовым накопителем данных емкостью 2,6 Гбит; энергонезависимой памятью и системой связи S-диапазона.

На космической обсерватории "Дискавер" установлено шесть научных приборов: цилиндр Фарадея, плазменный магнитометр, спектрометр электронов ES, радиометр NISTAR, анализатор высоты импульсов РНА и полихроматическая фотокамера EPIC.

Температура, плотность, скорость и направление ионов солнечного ветра измеряются с помощью цилиндра Фарадея,

построенного Массачусетским технологическим институтом и управляемого Гарвардско-Смитсоновским центром астрофизики и Мичиганским университетом в Анн-Арборе (параметры для него, принятые за необходимые для успешного осуществления миссии, представлены в табл. 2). Цилиндры Фарадея – одни из первых инструментов, созданных для изучения плазмы солнечного ветра. К числу важных их преимуществ относятся длительный срок службы и высокое разрешение по времени.

На двух межпланетных станциях "Вояджер" (США), запущенных в 1977 г. (ЗиВ, 1978, № 2; 2005, № 4), также есть цилиндры Фарадея, однако современные их аналоги улучшены. Два цилиндра Фарадея установлены на КА "Wind". На нем одно измерение параметров солнечного ветра занимает 92 секунды. Одной из наиболее высоких скоростей обладает плазменный спектрометр БМСВ (быстрый монитор солнечного ветра), разработанный ИКИ РАН совместно с Карловым университетом (Чехия); установлен на космической обсерватории "Радиоастрон" (КА "Спектр-Р"; ЗиВ, 2000, № 4; 2011, № 6, с. 17–18) в рамках международной миссии "Плазма-Ф". С его помощью параметры ионов космической плазмы измеряются с частотой 32 раза в секунду.

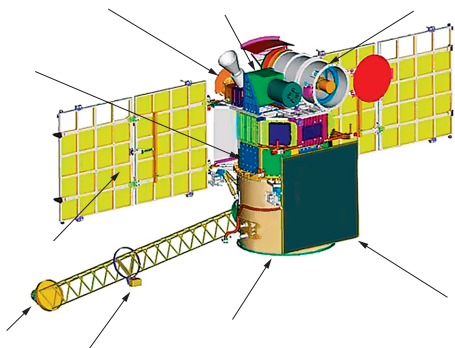


Схема расположения научных приборов и бортовых систем на космической обсерватории "Дискавер". Рисунок NASA

Таблица 2

Основные параметры цилиндра Фарадея, магнитометра и спектрометра электронов

Параметр	Значения, требуемые для выполнения программы
Цилиндр Фарадея	
Диапазон измерения скорости	200–1250 км/с
Точность измерения скорости	20%
Диапазон измерения плотности	1–100 см ⁻³
Точность измерения плотности	20%
Диапазон измерения температуры	40 тыс. – 2 млн К
Точность измерения температуры	20%
Частота измерений	0,0167 Гц
Плазменный магнитометр	
Диапазон измерения магнитного поля	0,1–100 нТл*
Точность измерения магнитного поля	± 1 нТл
Частота измерения магнитного поля	0,0167 Гц
Спектрометр электронов	
Диапазон измерения энергии	5 эВ – 1 кэВ
Частота измерения энергии	0,0167 Гц

* *Примечание.* С учетом погрешности, нижней границей будет 1 нТл.

Планировалось, что цилиндр Фарадея обсерватории “Дискавер” будет измерять параметры протонов в солнечном ветре с частотой, по крайней мере, один раз в секунду; однако при наблюдении высокоскоростного потока в начале октября 2015 г. были обнаружены неполадки, вызвавшие в “зашумлении”

данных. Это привело к задержке ввода прибора в эксплуатацию и снижению частоты выложенных в открытый доступ данных – до одного раза в 20 секунд. Предпринимались попытки преодолеть возникшие трудности за счет усовершенствования алгоритмов первичной обработки результатов измерений и калибровок. После того как данные о солнечном ветре, полученные с помощью “Дискавера”, стали появляться на разрабатываемом NOAA сайте (<https://www.ngdc.noaa.gov/dscovr/portal/index.html#/>), были изменены диапазоны измерений (см. табл. 3). Авторы статьи сравнивали данные, полученные с помощью цилиндра Фарадея, с 1-минутными данными, представленными в широко известной базе OMNIWeb (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/>), которые представляют собой компиляцию наблюдений на нескольких аппаратах (в последние годы это “Wind” и “ACE”). Данные по скорости (наиболее надежно измеряемый параметр) оказались обычно близки, но наблюдались труднообъяснимые расхождения в значениях плотности и в особенности температуры солнечного ветра.

Какова текущая ситуация с цилиндром Фарадея? Согласно докладу Дугласа Байсекера (NOAA) на прошедшем в апреле 2018 г. совещании, у этого прибора есть проблемы с аппаратурой, которые приводят к появлению фоновых шумов, но надежда вычистить последние за счет внесения дальнейших поправок в программное обеспечение остается.

Цилиндр Фарадея, работающий на борту обсерватории “Дискавер”, является предшественником аналогичного прибора, установленного на АМС “Паркер” (Parker Solar Probe – солнечный зонд им. Ю. Паркера, запущен 12 августа 2018 г.). С его помощью на этом КА будут проводиться измерения параметров солнечной плазмы с частотой 100 раз в секунду. Руководитель

Таблица 3

Максимальные и минимальные значения температуры T , плотности n и скорости v , измеряемых с помощью цилиндра Фарадея “Дискавер”

Дата	T_{\min} , К	T_{\max} , К	n_{\min} , см ⁻³	n_{\max} , см ⁻³	v_{\min} , км/с	v_{\max} , км/с
До 26 октября 2016 г. включительно	35 529	$7,9497 \times 10^7$	0,2178	221,19	169	1516
Начиная с 27 октября 2016 г.	2000	2×10^6	1	100	189	1111

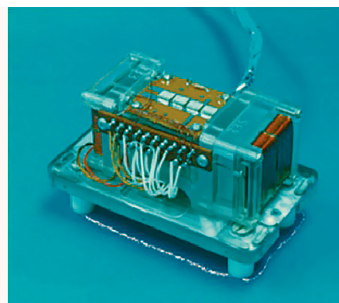
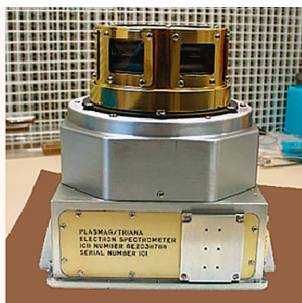
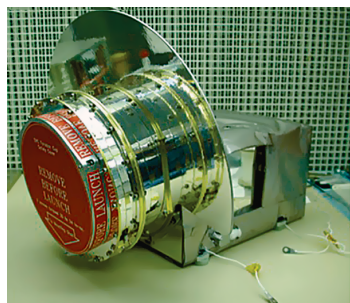
коллектива разработчиков прибора для обеих миссий – Джастин Каспер из Мичиганского университета; он занимался созданием цилиндра Фарадея для проекта “Триана” в лаборатории Алана Лазаруса (Массачусетский технологический институт) с 1999 г.

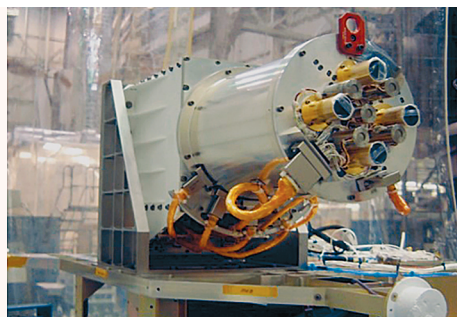
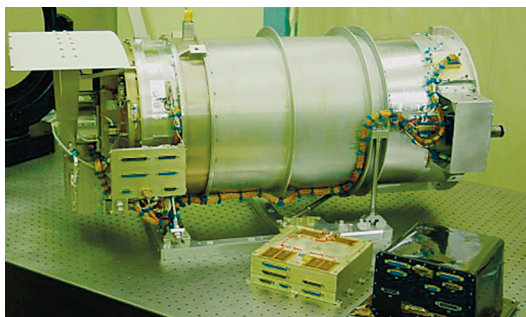
Плазменный магнитометр комплекса *PlasMag* измеряет три компоненты вектора магнитного поля. Его основные характеристики указаны в табл. 2. С его помощью получают данные с частотой 50 раз в секунду, что намного лучше по сравнению со спутниками “Wind” – 11 раз в секунду и “ACE” – 6 раз в секунду. Но это не предельное значение, достигнутое к настоящему времени. Частота измерений магнитометра, установленного на АМС “Паркер”, – свыше 250 раз в секунду.

Спектрометр электронов (Electron Spectrometer, ES; или Electron Electrostatic Analyzer – электростатический детектор

электронов), как и магнитометр, был разработан в Центре космических полетов им. Р. Годдарда NASA. Он регистрирует электроны солнечного ветра: определяет их энергетический спектр и направление движения. В настоящее время еще не ясна роль электронов в механизмах нагрева и ускорения солнечного ветра. Для этой задачи предназначено всего несколько приборов: например, установленные на космических аппаратах “Wind”, “ACE” и “STEREO” (ЗиВ, 2007, № 2); поэтому работа электронного спектрометра позволит узнать больше о солнечном ветре. Электронный спектрометр должен был находиться на конце штанги, рядом с магнитометром – для того чтобы его полю зрения была доступна вся небесная сфера, но прибор пришлось переместить на корпус обсерватории (чтобы он не создавал помех в измерениях магнитного поля), и его поле зрения уменьшилось.

Научная аппаратура комплекса *PlasMag*: цилиндр Фарадея, спектрометр электронов и магнитометр. Космическая обсерватория “Дискавер”. Фото NASA





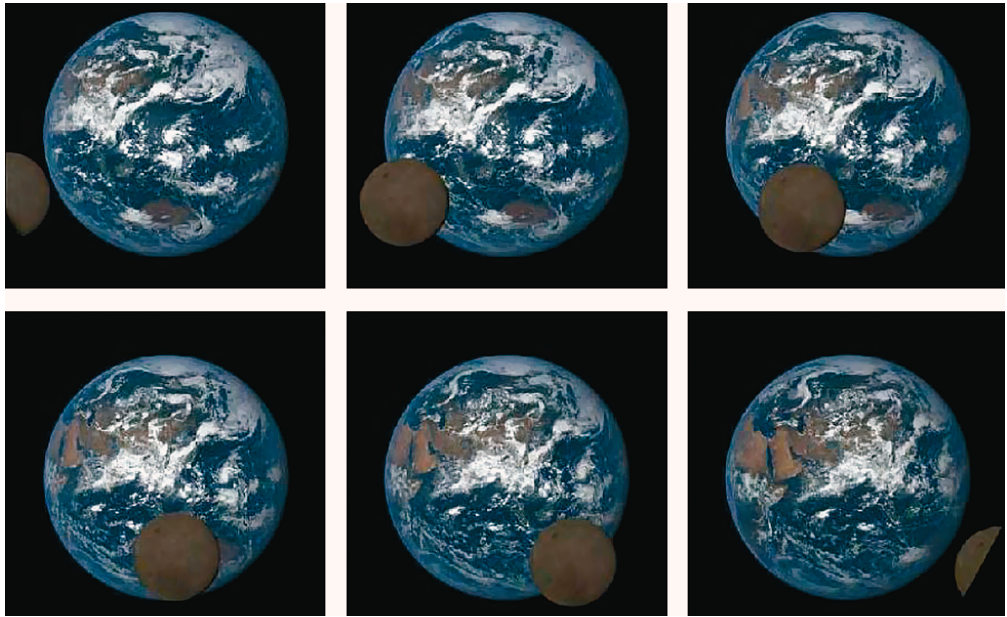
Научные приборы, установленные на космической обсерватории "Дискавер": фотокамера EPIC и радиометр NISTAR. Фото NASA

Радиометр NISTAR Национального института стандартов и технологий США включает в себя четыре детектора: три активных резонансных радиометра и один кремниевый фотодиодный канал. Прибор измеряет абсолютную освещенность Земли, суммированную по всей ее поверхности, обращенной к Солнцу, по 4-м каналам ежеминутно, с точностью порядка 0,1%. Каналы А, В и С определяют мощность исходящего от Земли полного излучения в ультрафиолетовой, видимой и дальней инфракрасной областях спектра (А: 0,2–100 мкм, В: 0,2–4 мкм, С: 0,7–1,1 мкм). Фотодиодный канал (от 0,2 мкм до 1,1 мкм) используется для калибровки прибора. Данные, полученные с помощью этого прибора, должны помочь нам понять, как и почему происходят глобальные изменения климата нашей планеты и насколько велико влияние антропогенного фактора.

Цель *анализатора высоты импульсов* (Pulse Height Analyzer, PHA) – следить за воздействием частиц высокой энергии (тяжелых ионов) на электронику космических аппаратов. Этот инструмент создан в Центре космических полетов им. Р. Годдарда. Он представляет собой небольшой маломощный спектрометр линейной передачи энергии (High Linear Energy Transfer Radiation Spectrometer,

HiLRS) и предназначен для оценки воздействия одиночных событий на микроэлектронику обсерватории в космической среде. Линейная передача энергии – это физическая характеристика качества ионизирующего излучения, представляющая собой величину средней энергии, которую вещество может получить от налетающей заряженной частицы на единицу ее пути. Такой анализатор измеряет энергию, заряд и массу ионизирующих частиц.

Полихроматическая фотокамера для наблюдения Земли (The Earth Polychromatic Imaging Camera, EPIC) с апертурой диаметром 30,5 см представляет собой 10-канальный спектрорадиометр для наблюдений в диапазоне волн от ближнего ультрафиолетового (317 нм) до ближнего инфракрасного (780 нм). Камера EPIC позволяет получать цветные снимки Земли (видимый диаметр Земли из точки Лагранжа варьируется от 0,45° до 0,53°) и исследовать альбедо поверхности, уровни плотности озона и аэрозолей в атмосфере, высоту расположения облаков и площадь облачного покрова, а также вегетационный индекс (показатель количества фотосинтетически активной биомассы). "С помощью EPIC вы видите облачную структуру от восхода Солнца до заката", – прокомментировал качества инструмента его разработчик Джей Герман (Центр космических полетов им. Р. Годдарда NASA и Мэрилендский университет). Группа Дж. Германа получает впечатляющие изображения и может в режиме



Прохождение Луны перед Землей 5 июля 2016 г. (шесть фаз). Снимки получены с помощью фотокамеры EPIC на обсерватории “Дискавер”. Фото NASA

реального времени наблюдать, как пыль из Сахары летит через Атлантику на Американский континент. Ученые также могут контролировать движение частиц – таких, как вулканический пепел и дым от пожаров. Например, исследователи смогли рассмотреть следы облаков над океаном, оставшиеся от выхлопных газов кораблей. Обработанные изображения, полученные с помощью EPIC, также находятся в сети в открытом доступе (<https://epic.gsfc.nasa.gov/>), а впечатляющие видео вращения Земли, смонтированные из этих снимков, можно посмотреть на сайте <http://blueturn.earth/>.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

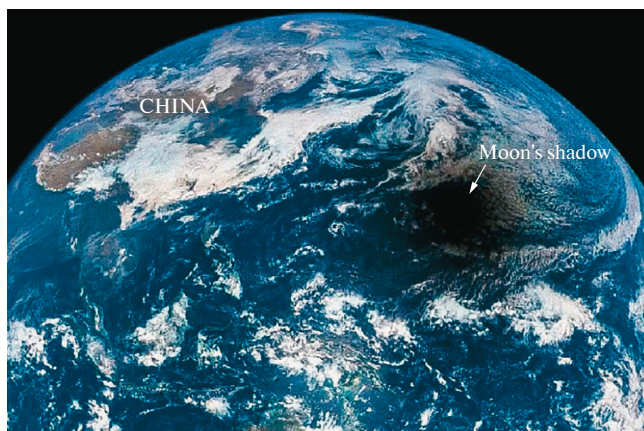
Космическая обсерватория “Дискавер”, находящаяся в точке Лагранжа L1, уже три года отправляет на Землю данные, и многие научные группы опубликовали результаты исследований.

Например, американскими учеными (Ю. Янг и соавторы)¹ был предложен метод определения высоты верхней границы облачного покрова и толщины облаков над океаном с использованием фотокамеры EPIC. Калибровка камеры EPIC проводится с помощью наблюдений Луны, которая попадает в ее поле зрения каждые 2–3 месяца (И. Геогджаев и А. Маршак, NASA)². Например, 5 июля 2016 г. получены снимки прохождения

¹ Yang Y., Marshak A., Mao J., Lyapustin A., Herman J. A method of retrieving cloud top height and cloud geometrical thickness with oxygen A and B bands for the Deep Space Climate Observatory (DSCOVR) mission// J. Quant. Spectrosc. Radiat. Trans., 2013. V.122. P. 141–149; DOI:10.1016/j.jqsrt.2012.09.017.

² Geogdzhayev I., Marshak A. Calibration of the DSCOVR EPIC visible and NIR channels using MODIS and EPIC lunar observations// Atmos. Meas. Tech., 2018. V. 11. P. 359–368; <https://doi.org/10.5194/amt-2017-222>.

Тень Луны (указана стрелкой), отбрасываемая на Землю во время полного солнечного затмения 9 марта 2016 г. Снимок сделан с помощью фотокамеры EPIC на космической обсерватории "Дискавер". Фото NASA



Луны перед Землей, 9 марта 2016 г. – тени Луны на диске Земли во время полного солнечного затмения.

В 2018 г. была опубликована статья, посвященная дневным и сезонным вариациям отражательной способности Земли, обусловленным движением облачных масс и вращением Земли вокруг своей оси³; проанализирован состав и области распространения пылевых облаков⁴, а также вулканических выбросов⁵. Другие спутники дистанционного зондирования Земли находятся на низких околоземных орбитах, и ученые не имеют возможности наблюдать целиком все полушарие планеты, тогда как EPIC дает возможность получать снимки всего диска Земли каждые 1–2 часа.

Такая информация имеет большое значение не только для составления точных метеорологических прогнозов и обеспечения безопасности авиационных перелетов, но и для лучшего понимания глобальных процессов, происходящих в атмосфере Земли. Наблюдения, выполненные с помощью EPIC, также используются как опорные в изучении экзопланет. На примере Земли изучается, как на вариации исходящего от планеты излучения влияют такие ее параметры, как период вращения, покрытие облаками, тип поверхности (вода или суша) и возможное наличие растительности.

Данные о плазме солнечного ветра, получаемые с помощью приборного комплекса PlasMag, также используются учеными в работе. Например, исследовательская группа под руководством В.В. Калегаева (НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына) использовала данные, полученные с помощью "ACE" и "Дискавер", для определения положения магнитопазы Земли, с докладом об этом на 42-й научной ассамблее КОСПАР выступила В.О. Баринава. Там же представили свои доклады и зарубежные ученые: о наблюдениях серии необычных вспышек на Солнце в сентябре 2017 г. (С. Сяо и др., Китай; Л. Дорман и др., Израиль, Болгария), о предсказании

³ Yang W., Marshak A., Varnai T., Knyazikhin Yu. EPIC spectral observations of the variability in Earth's global reflectance// Remote Sens., 2018. V.10(2). P. 254; DOI:10.3390/rs10020254.

⁴ Xu X., Wang J., Wang Y., Zeng J., Torres O., Yang Y., Marshak A., Reid J., Miller S. Passive remote sensing of altitude and optical depth of dust plumes using the oxygen A and B bands: First results from EPIC/DSCOVR at Lagrange-1 point// Geophys. Res. Letters, 2017. V. 44. P. 7544–7554; DOI: 10.1002/2017GL073939.

⁵ Carn S., Krotkov N., Fisher B., Li C., Prata A. First observations of volcanic eruption clouds from the L1 Earth-Sun Lagrange point by DSCOVR/EPIC// Geophys. Res. Letters, 2018. V. 45(20). P. 11456–11464; https://doi.org/10.1029/2018GL079808.

индекса геомагнитной активности Солнца (И. Желавская и Ю. Шприц, Германия), об изучении межпланетных ударных волн (А. Коваль и др., США; О. Гончаров и др., Россия, Чехия, США).

Несмотря на все трудности, благодаря уникальной научной аппаратуре и удачной локации, проект “Дискавер” уже

принес много интересных результатов. В их числе снимки Земли, позволяющие по-новому взглянуть на нашу планету. Авторы статьи надеются, что в будущем все вопросы решатся и ученые получают еще больше новых данных с помощью космической обсерватории “Дискавер”.

Информация

Темная материя в древней галактике

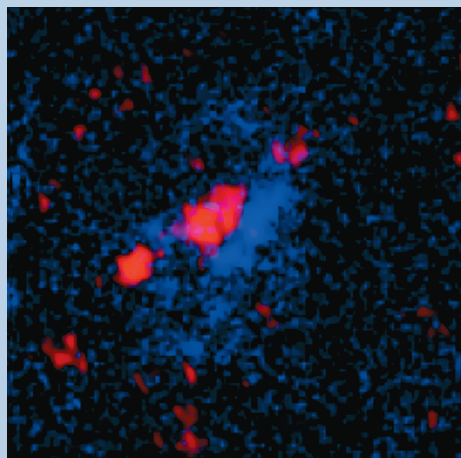
Накопление барионной и темной материй в галактиках в течение длительного времени – фундаментальное условие в моделях формирования галактик. Телескопические обзоры галактик в течение десятков лет показали, что почти у всех присутствует огромное количество темной материи; более того: ее в 5 раз больше, чем обычной во Вселенной. Однако несколько недавних исследований показали, что некоторые галактики не следуют этой схеме. Некоторые галактики, удаленные на 10 млрд св. лет от нас, не располагают ожидаемым объемом темной материи – следовательно в тот период галактики не вмещали много темной материи, но получили ее каким-то образом позже. Если это так, то придется пересмотреть научные взгляды на процесс их формирования.

Недавно астрономы Техасского университета, используя 10,4-метровый телескоп Кека на Гавайях, обнаружили в 9 млрд св. лет от Земли древнюю дисковую галактику DSFG850.95, содержащую чрезвычайно высокое количество темной материи (ЗиВ, 2009, № 5; 2010, № 1; 2012, № 5). Это открытие идет вразрез с существующими современными теориями о том, что представляла собой молодая Вселенная. Что именно вызвало такую аномалию и аномалия ли это – исследователям пока не известно.

Наблюдения показывают, что некоторые дисковые галактики (при красном смещении $z > 1$) имеют понижающиеся кривые вращения – в отличие от галактик с небольшим крас-

ным смещением, в которых кривые вращения звезд сглаживаются при больших радиусах. Галактика DSFG850.95 ($z = 1,555$), образовавшаяся 4,1 млрд св. лет после Большого взрыва, имеет плоскую кривую вращения между радиусами 6–14 кпк и долю темной материи $0,44 \pm 0,08$, аналогичную ее содержанию в Млечном Пути. Результаты расчетов показывают, что DSFG850.95, с высокой долей темной материи, относится к дисковым галактикам с низким красным смещением.

В результате этих исследований подтверждено то, что подобная ситуация в галактиках современной Вселенной складывалась и раньше. Для того чтобы получить больше сведений, ученые продолжают изучать это явление с помощью комплекса радиотелескопов ALMA в Чили.



Дисковая галактика DSFG850.95, находящаяся в 9 млрд лет от нас. В ней обнаружено аномально большое количество темной материи. Фото Обсерватории Кека (США)

Журнал “Astrophysical Journal”,
2018. Т. 869. № 1