

**ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ**

**ДОКТОР ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК,
ПРОФЕССОР
Э. Р. МУСТЕЛЬ**

ЧТО ПРОИСХОДИТ НА ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЦА

**Стенограмма публичной лекции,
прочитанной в Центральном лектории
Общества в Москве**



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ПРАВДА“

МОСКВА

1948 г.

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

Доктор физико-математических наук,
профессор
Э. Р. МУСТЕЛЬ

ЧТО ПРОИСХОДИТ НА ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЦА

Стенограмма публичной лекции,
прочитанной в Центральном лекто-
рии Общества в Москве

Редактор — доктор физико-математических наук А. Б. СЕВЕРНЫЙ.

A07178

Тираж — 75.000

Заказ № 1536.

Типография газеты «Правда» имени Сталина. Москва, ул. «Правды», 24.

Всем хорошо известна та огромная роль, которую играет в жизни людей Солнце. Естественно, что изучению этого центрального светила нашей планетной системы учёными уделялось и уделяется исключительно большое внимание. Основные результаты, найденные астрономами при изучении поверхности Солнца — его атмосферы, — представляют в связи с этим значительный интерес.

Вначале напомним основные сведения. Солнце является огромным раскалённым газовым шаром, отстоящим от нас в среднем на расстоянии в сто сорок девять с половиной миллионов километров. Для того чтобы представить себе это громадное расстояние, не лишне напомнить, что свет, распространяющийся в безвоздушном пространстве со скоростью, равной примерно 300 тысячам километров в секунду, доходит от Солнца до нас за $8\frac{1}{2}$ минуты. Ракета, посланная с Земли и движущаяся со скоростью 1000 кило-

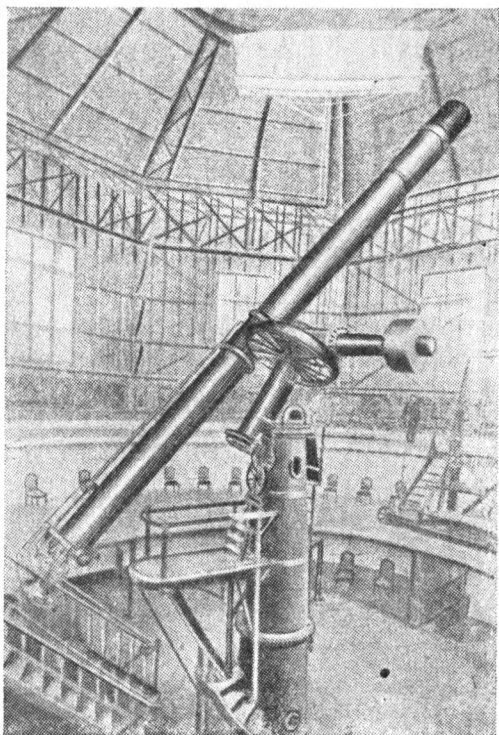


Рис. 1. Пулковский тридцатидюймовый рефрактор.

метров в час, долетела бы до Солнца через 17 лет. Поперечник Солнца равен 1391 тысяче километров, причём он примерно в 109 раз больше, чем экваториальный поперечник нашей Земли.

С помощью каких инструментов астрономы изучают Солнце? В настоящее время учёные располагают большими возможностями. Во-первых, Солнце может изучаться непосредственно с помощью астрономических труб, рефракторов или рефлекторов. При этом наблюдения за поверхностью Солнца можно производить простым глазом¹. Во-вторых, изучение Солнца можно производить путём фотографирования, что является гораздо более важным. На снимке 1 представлен тридцатидюймовый рефрактор Пулковской обсерватории, с помощью которого было выполнено много важных работ по изучению поверхности Солнца. Во время Отечественной войны этот инструмент был разбит в результате варварской бомбардировки Пулкова немецкими фашистами.

При фотографировании Солнца, для получения достаточно больших его изображений, применяют специальную систему двух

¹ Используя, конечно, приспособление, ослабляющее яркий свет Солнца с тем, чтобы не испортить глаз.

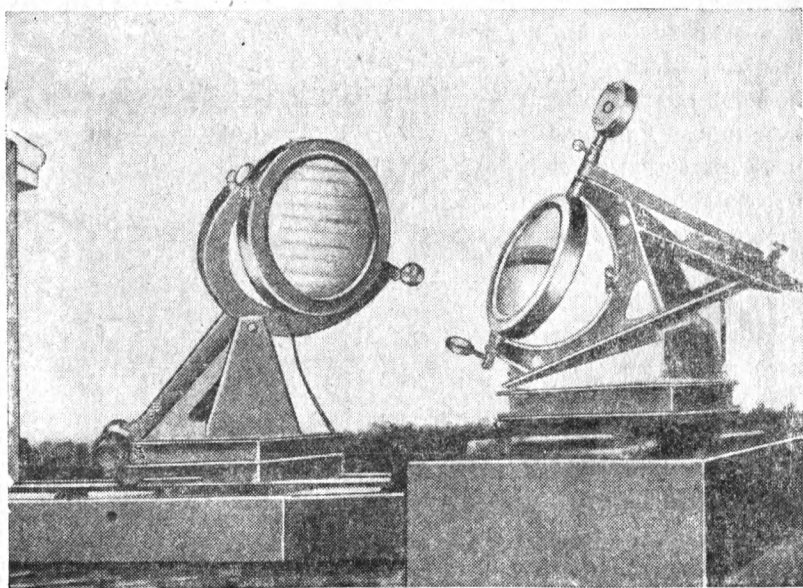


Рис. 2. Горизонтальный целостат Пулковской обсерватории.

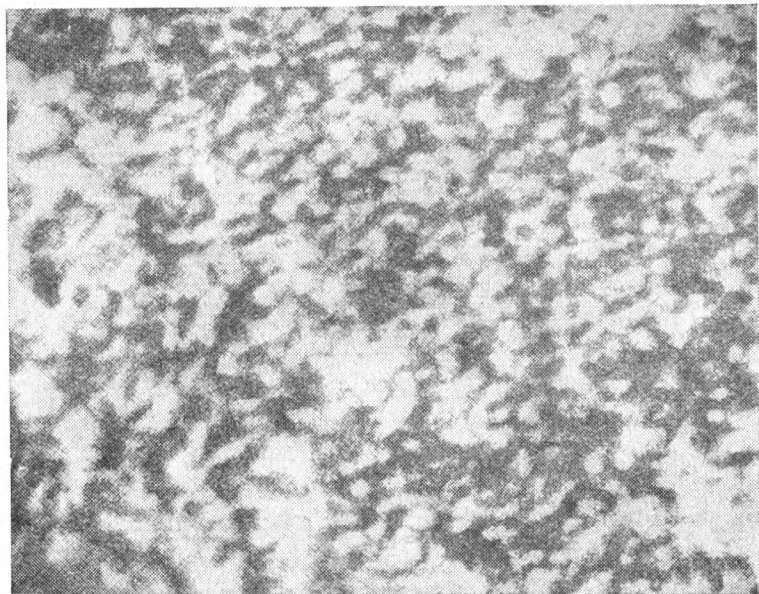


Рис. 3. Грануляция солнечной поверхности по А. Ганскому (Пулково).

плоских зеркал, одно из которых вращается так, что отражённый от него солнечный луч остаётся неподвижным. Эта система двух зеркал называется целостатной установкой. Вид такой установки изображён на снимке 2. Однако, прежде чем достигнуть фотографической пластинки, лучи Солнца проходят через собирающую линзу (объектив), которая и даёт изображение Солнца на пластинке. Существуют и другие типы солнечных телескопов.

Как при фотографировании, так и при непосредственном визуальном* изучении поверхности Солнца при помощи астрономической трубы сразу же можно заметить, что поверхность Солнца освещена не равномерно. Центр солнечного диска является более ярким, чем его края. Это обстоятельство, как легко показать, связано с тем, что температура более нижних слоёв солнечной атмосферы возрастает к центру звезды. Указанные слои солнечной атмосферы называются фотосферой. Из фотосферы и исходит практически вся та световая энергия, которая посылается Солнцем во все стороны. Видимый край солнечного диска можно грубо отождествить с верхней границей фотосферы.

* т. е. глазом.

Однако, помимо общего потемнения солнечного диска, от центра к краю, при достаточно большом увеличении астрономической трубы и хороших изображениях можно заметить, что вся поверхность Солнца имеет зернистое строение: на относительно тёмный фон накладываются более яркие пятна, зёрна, называемые гранулами. Зернистое строение солнечной поверхности называется грануляцией. Размеры отдельных светлых зёрен, гранул, относительно невелики. Согласно выводам русского учёного А. Ганского, сделанным ещё в 1905 году, а также оценкам других астрономов, эти размеры не превышают в среднем 700—1000 километров.

Наиболее интересное обстоятельство, связанное с грануляцией, состоит в том, что существование отдельных светлых зёрен — гранул — относительно кратковременно. А именно, появившись на поверхности, гранула существует около трёх минут, после чего исчезает, уступая место новым гранулам. Таким образом, существование грануляции говорит о том, что фотосфера Солнца не является однородной, а состоит из отдельных газовых образований, находящихся в непрерывном движении. Согласно современным

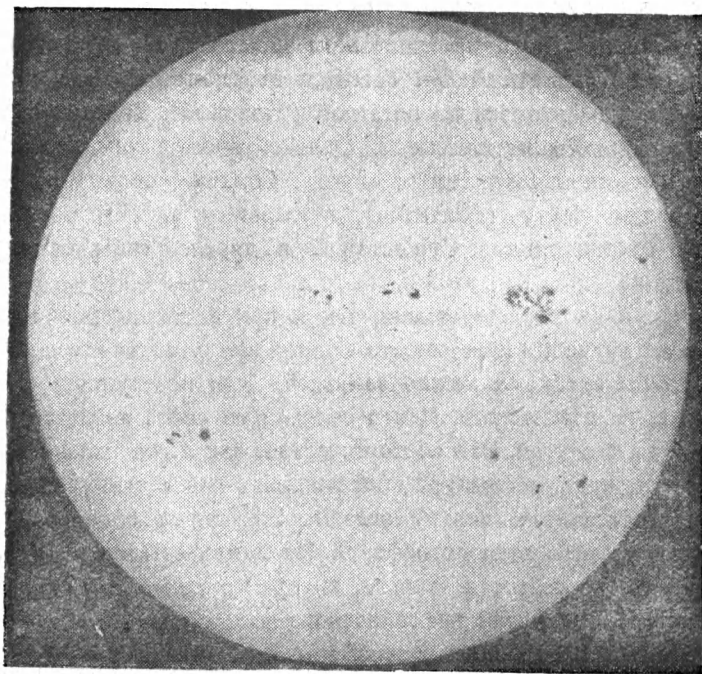


Рис. 4. Общий вид солнечной поверхности с пятнами.

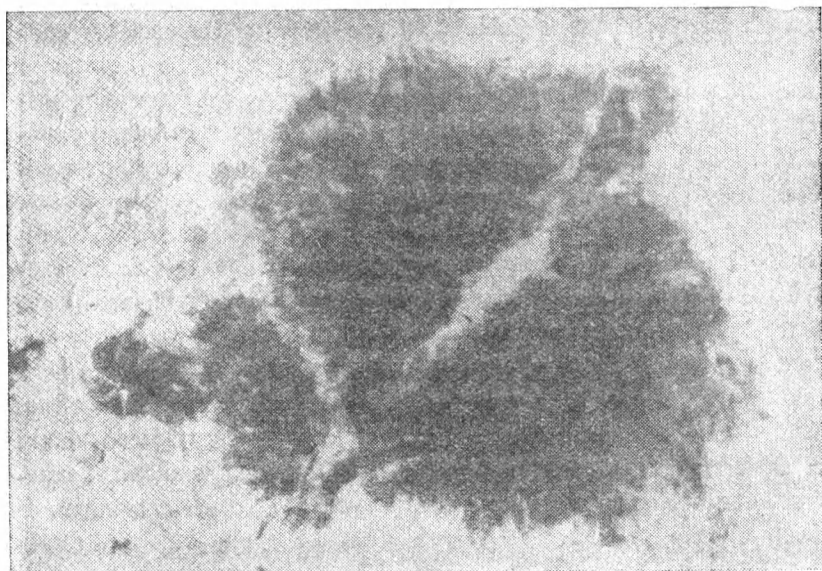


Рис. 5. Вид солнечного пятна по А. Ганскому (Пулково).

представлениям, существование грануляции связывается с тем, что более глубокие, уже не видимые нами, части фотосферы находятся в неустойчивом состоянии.

В качестве иллюстрации приводим снимок грануляции, сделанный Ганским (рис. 3).

Следующим бросающимся в глаза образованием на поверхности Солнца являются солнечные пятна, наглядное представление о которых дают два снимка. Первый снимок (рис. 4) показывает общий вид солнечной поверхности с пятнами. На втором снимке (рис. 5), сделанном А. Ганским, представлен более детальный вид пятна. Каждое пятно, если оно достаточно велико, рисуется в следующем виде: центральная тёмная часть, называемая ядром или тенью, и более светлая, окружающая ядро часть, называемая полутенью. Размеры отдельных пятен весьма различны. Иногда поперечник пятен достигает огромных размеров — 100-200 тысяч километров. Пятна так же, как и гранулы, не являются постоянными образованиями на поверхности Солнца. Каждое пятно или группа пятен, появившись на поверхности Солнца, через некоторое время исчезает. Однако средняя продолжительность существования пятна или группы пятен неизмеримо больше продолжительности существова-

ния одной гранулы. Наблюдались пятна и группы пятен, существовавшие на поверхности Солнца многие месяцы; средняя же продолжительность солнечных пятен измеряется днями и десятками дней. Количество пятен, наблюдаемых на солнечном диске, испытывает периодические изменения со средним периодом около одиннадцати лет. В те годы, когда количество солнечных пятен наименьшее, бывают дни, характеризующиеся полным отсутствием пятен на диске. После этого периода наименьшей солнечной деятельности количество пятен на диске начинает возрастать. Достигнув через несколько лет своего наибольшего значения, это количество убывает; при этом возрастание числа пятен происходит быстрее, чем их убывание. Такие же изменения характеризуют и полную площадь солнечных пятен, наблюдаемых на всём диске. Наблюдения над солнечными пятнами и другими образованиями на поверхности Солнца показали, что Солнце, подобно Земле, вращается вокруг некоторой оси, называемой осью вращения. В связи с этим так же, как и для Земли, астрономами было введено понятие «солнечный экватор».

Скорость вращения фотосферы Солнца, определяемая по перемещению пятен на солнечном диске, оказалась зависящей от расстояния данной точки от экватора. Так, период обращения фотосферы вокруг солнечной оси оказался равным на экваторе 25 дням, в то время как на широте 40 градусов — около 27 дней. Таким образом, фотосфера вращается на экваторе быстрее, чем у полюсов.

Интересно заметить, что солнечные пятна наблюдаются не на всех широтах. Они располагаются в двух нешироких поясах, равноудалённых от солнечного экватора. В тот момент, когда начинается новый цикл солнечной деятельности (возрастание числа пятен), широта указанных поясов достигает наибольших размеров. С течением времени эта широта непрерывно убывает, т. е. зоны пятнообразования приближаются к солнечному экватору. При начале нового цикла пятна вновь уходят в более высокие широты. Однако выше 40 градусов пятна почти никогда не наблюдаются.

К числу непосредственно наблюдаемых образований на Солнце следует также отнести так называемые факелы — более яркие области солнечной поверхности. Факелы наблюдаются только в достаточно удалённых от центра солнечного диска частях. Обычно они окружают солнечные пятна, но наблюдаются также и отдельно от них. Яркость какого-либо факела по отношению к соседним

частям фотосферы возрастает по мере того, как факел приближается к краю диска. Факелы следует рассматривать как образования, расположенные над фотосферой.

Перейдём теперь к рассмотрению результатов, полученных с помощью применения спектрального анализа. Этот способ изучения Солнца привёл к наиболее интересным и важным выводам. Напомним вначале основные положения спектрального анализа. Свет, посылаемый нам солнечным диском и кажущийся белым, является в действительности составным. В этом легко убедиться, пропустив в тёмную комнату через узкое отверстие луч Солнца и поставив на пути луча обычную стеклянную трёхгранную призму. Тогда на белом экране появится разноцветная полоса, начинающаяся с красного цвета и кончающаяся фиолетовым. Для фотографирования спектра Солнца (и других светил) астрономы применяют специальный прибор, называемый спектрографом. В том месте, где собирающая линза астрономической трубы (объектив) или зеркало отражательного телескопа образуют изображение Солнца (т. е. светлый круг), располагается весьма узкая щель. Эта щель устанавливается в фокусе другой собирающей линзы. Свет Солнца, пройдя щель и эту линзу, падает параллельным пучком на призму (или несколько призм). Выйдя из призмы пучком, уже разложенным на составные цвета, он входит в другую, также собирающую линзу. В месте, где лучи сходятся, т. е. в фокусе этой линзы, и фотографируется спектр Солнца. Применение спектрографа показывает, что солнечный спектр пересечён весьма большим числом тёмных линий, называемых линиями поглощения. На снимке 6 дана фотография участка солнечного спектра.

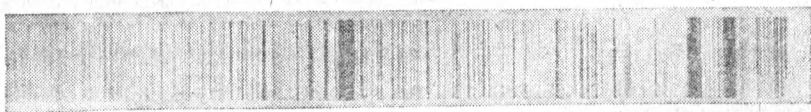


Рис. 6. Часть спектра Солнца.

Как же, однако, могут быть использованы фотографии солнечного спектра? Здесь астрономы целиком основываются на твёрдо установленных физических законах.

Физиками было установлено, что каждый раскалённый газ даёт (если его не слишком много) спектр, состоящий из отдельных ярких линий или полос. Далее, если светящийся раскалённый газ

будет помещён между спектрографом и более нагретым, чем этот газ, телом, излучающим сплошной, т. е. не линейчатый, спектр, спектрограф обнаружит в общем случае линии поглощения. Положение этих линий поглощения будет в точности соответствовать положению тех линий излучения, которые даёт сам газ.

Положение линий, которые даёт данный газ, является в спектре совершенно определённым (если газ не движется по отношению к наблюдателю). Иначе говоря, всякий раскалённый газ имеет свои, ему только и принадлежащие линии в спектре (линии поглощения или линии излучения). Каждая линия характеризуется некоторым числом, длиной волны. Указанное обстоятельство открывает сразу же возможность обнаружить присутствие какого-либо элемента на поверхности Солнца. В самом деле, допустим, что мы сфотографировали в лаборатории спектр раскалённых паров железа и измерили положение (длины волн) всех присутствующих в этом спектре линий. Затем мы смотрим, имеются ли эти линии в соответствующих местах солнечного спектра. Если они действительно имеются, то можно считать присутствие железа в атмосфере Солнца установленным (те линии, которые образуются в земной атмосфере, легко отделять от собственно солнечных линий). То же самое следует проделать и с остальными элементами. Такого рода исследования начались уже давно. В настоящее время мы располагаем довольно богатыми сведениями о химическом составе солнечной атмосферы. При этом были разработаны способы, позволяющие, опять-таки по линиям поглощения солнечного спектра, судить и о количественном химическом составе солнечной атмосферы. В результате оказалось, что больше всего в атмосфере Солнца водорода. Затем идут гелий, кислород, магний, азот и т. д. В 1943 году на поверхности Солнца были открыты золото и радиоактивный элемент — торий. Все элементы в солнечной атмосфере, в том числе и металлы, находятся в газообразном состоянии — по причине чрезвычайно высокой температуры Солнца.

Изучение ширин линий поглощения солнечного спектра и других их свойств, а также применение уже установленных физических законов позволило сделать целый ряд весьма важных выводов о физическом состоянии того слоя солнечной атмосферы, который ответственен за образование указанных линий поглощения. Этот слой, называемый обрабатываемым слоем, располагается над солнечной фотосферой и в её более внешних частях.

В результате многочисленных работ в данном направлении

были установлены следующие факты, касающиеся солнечной фотосферы и обрабатывающего слоя. Оказалось, что средняя температура последних близка к 6 тысячам градусов. Эта температура была получена весьма многими способами, причём все они без исключения основаны на применении к астрономическим наблюдениям твёрдо установленных физических законов. Здесь можно указать на один из таких способов, наиболее простейший, хотя в применении к Солнцу и звёздам он является наименее точным. Известно, что при непрерывном повышении температуры раскалённое тело, излучающее сплошной спектр, также непрерывно изменяет и свою окраску. Вначале оно светит красным цветом, потом жёлтым, зелёным и т. д. При этом установлен совершенно определённый закон, связывающий температуру тела с положением (длиной волны) того участка спектра, где излучаемая телом световая энергия имеет наибольшее значение. В частности, Солнце излучает энергию сильнее всего в голубой части спектра. Применение и этого закона даёт для Солнца температуру около 6 тысяч градусов.

Температура солнечных пятен ниже температуры окружающих мест солнечной поверхности. А именно, температура центральной части пятен, ядра, равна примерно 4500 градусов. Что же касается самых внутренних частей Солнца, то здесь приходится прибегать к весьма сложной теории. Согласно выводам этой теории, температура центральных частей Солнца должна составлять около 20 миллионов градусов.

Использование тех же линий поглощения солнечного спектра показало, что газовое давление в атмосфере Солнца чрезвычайно низко — гораздо ниже, чем давление воздуха на поверхности Земли. Давление воздуха на уровне моря при нормальных условиях равно примерно одной атмосфере. Среднее же газовое давление в обрабатывающем слое Солнца составляет всего около одной тысячной атмосферы. В ещё большей степени это различие между земной и солнечной атмосферами проявляется в разреженности образующего их вещества. Разреженность вещества в солнечной атмосфере неизмеримо выше, чем в земной.

Применение спектрального анализа даёт возможность сделать также и следующие выводы. Оказывается, что при движении какого-либо тела к наблюдателю или от него положение линий поглощения (или излучения) в спектре, создаваемом этим телом, смещается по отношению к нормальному положению, т. е. к то-

му положению, которое соответствует неподвижному телу. При этом, если тело движется к наблюдателю, то линии в спектре тела смещаются в направлении фиолетового конца спектра, если же тело удаляется,—то в направлении красного конца спектра. Допплером и Физо был установлен количественный закон, связывающий смещение линий со скоростью движения тела по отношению к наблюдателю. Таким образом, измеряя в спектре какого-либо тела положение линий поглощения (длины волн) и сравнивая это положение с нормальным, мы можем сразу же установить, движется ли указанное тело по отношению к наблюдателю, и определить скорость его движения. Применение указанного закона к изучению Солнца привело ко многим весьма важным результатам. Так, например, оказалось возможным изучить движение вещества вблизи пятен. При этом было обнаружено, что в самых верхних частях солнечной атмосферы, в хромосфере, о которой речь идёт далее, имеет место втекание вещества в направлении к ядру пятна, и затем его опускание вниз. Напротив, в более нижних частях солнечной атмосферы, в обрабатываемом слое Солнца, имеет место вытекание вещества из пятна. С помощью того же закона Допплера — Физо оказалось возможным более детально изучить закон вращения Солнца. При этом было установлено, что более высокие слои солнечной атмосферы вращаются скорее, чем более низкие.

Чрезвычайно важным результатом изучения линий поглощения в спектре солнечных пятен явилось открытие в последних сильного магнитного поля. Это поле оказалось превышающим магнитное поле нашей Земли у полюсов в несколько тысяч раз. При этом был установлен ряд интересных закономерностей. Так, например, в тех группах солнечных пятен, которые образованы в основном двумя пятнами (биполярные группы), полярность обоих пятен противоположная. То есть, если одно пятно характеризуется южным магнетизмом, то другое—северным.

Кроме того было открыто и общее магнитное поле Солнца, которое оказалось более слабым, чем магнитное поле солнечных пятен. К сожалению, вопрос о происхождении общего магнитного поля Солнца и поля солнечных пятен остаётся, несмотря на обилие соответствующих гипотез, не совсем ясным.

Солнечная атмосфера отнюдь не ограничивается пределами фотосферы и обрабатываемого слоя Солнца. Над обрабатываемым слоем

Солнца, примыкая к нему непосредственно, располагаются более разреженные части солнечной атмосферы — хромосфера.

Каким же образом можно изучать хромосферу? Во-первых, её можно наблюдать непосредственно во время полных солнечных затмений. В течение того весьма непродолжительного промежутка времени, когда тёмный диск Луны полностью закрывает Солнце, хромосфера представляется нам в виде окрашенного в красный цвет кольца. Наводя в этот момент на хромосферу соответствующий инструмент, мы можем снять её спектр. Таким способом были получены весьма ценные научные результаты. Однако существуют и другие способы, позволяющие изучать хромосферу в каждый ясный день. Здесь имеется в виду наблюдение хромосферы с помощью так называемого протуберанц-спектроскопа. Этот инструмент даёт нам возможность видеть хромосферу в какой-либо одной спектральной линии. Выделяя свет, заключённый только внутри этой линии, мы освобождаемся от всего света, излучаемого в других спектральных участках. Следовательно, тем самым можно почти избавиться от света, рассеиваемого нашей земной атмосферой вблизи видимого края солнечного диска. Этот рассеянный свет как раз и мешает нам видеть хромосферу днём (близость хромосферы к яркому солнечному диску). Наблюдения по этому способу ведутся обычно в свете самой яркой линии водорода.

Изучение хромосферы с помощью этих обоих методов привело к следующим основным результатам. Наблюдения с протуберанц-спектроскопом показали, что хромосфера не является сплошной, а состоит как бы из отдельных горящих травинок или стеблей. Некоторые наблюдатели сравнивают вид хромосферы с видом горящей прерии. Наклон указанных травинок может сильно меняться современным. Кроме того этот наклон различен для полярных областей Солнца и для солнечного экватора.

Оказалось, что в хромосфере, так же, как и в обрабатываемом слое, больше всего атомов водорода. Кроме того наблюдения во время солнечных затмений показали, что полная высота хромосферы составляет около 14 тысяч километров. При этом различные элементы наблюдаются в хромосфере до различных высот. Выше всего наблюдается кальций, достигая указанной высоты — 14 тысяч километров, затем идёт водород, наблюдаемый до 12 тысяч километров и т. д. Однако по отсутствию излучения водоро-

да на высоте 14 тысяч километров отнюдь нельзя считать, что его там совсем нет. Условия видимости какой-либо данной спектральной линии чрезвычайно сильно зависят от тех физических условий, в которых находятся излучающие эту линию атомы. Подсчёты показывают, что, несмотря на отсутствие водородного излучения на высоте 14 тысяч километров, водород всё равно является на этой высоте основным элементом.

Далее, ряд физических соображений указывает на то, что температура хромосферы в среднем выше, чем температура обрамляющего слоя. Однако количественную оценку этой температуры сейчас дать трудно.

Обращаясь к вопросу о физической природе солнечной хромосферы, необходимо указать, что основной загадкой, которая ещё не разрешена астрономами, является вопрос о тех силах, которые поддерживают хромосферу, поднимая атомы, её составляющие, до 10-14 тысяч километров. Здесь пока все выдвигающиеся теории встречались с различного рода трудностями.

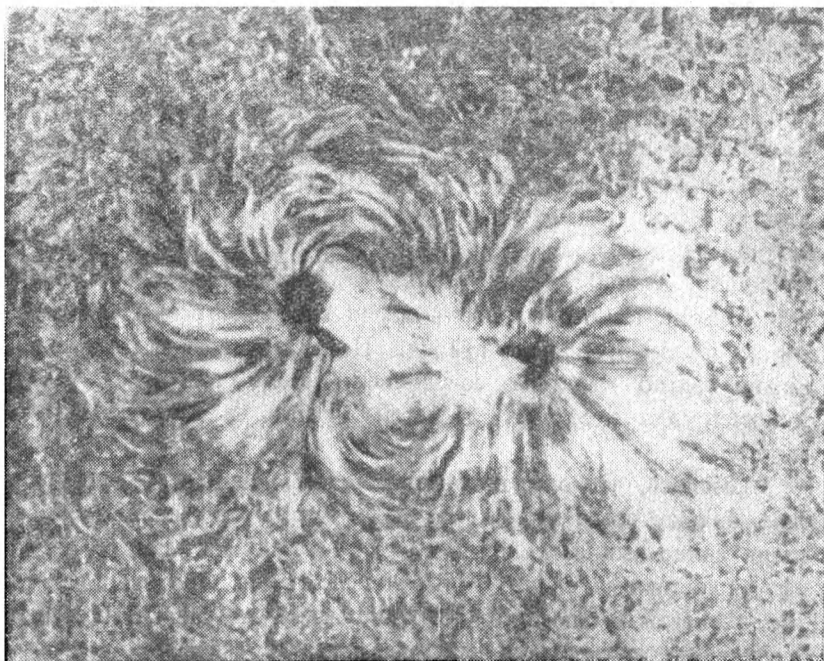


Рис. 7. Снимок части солнечной поверхности около пятен в лучах водорода.

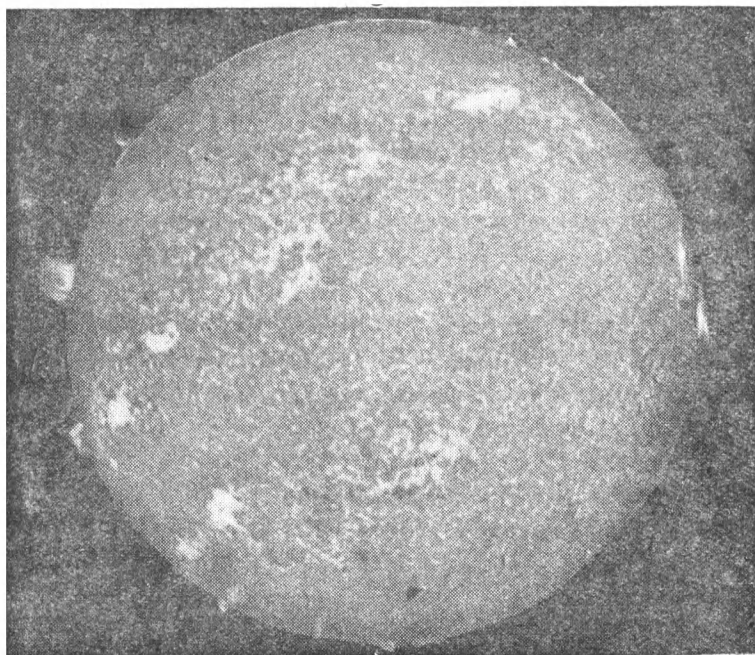


Рис. 8. Снимок солнечной поверхности с протуберанцами в лучах кальция.

Указанный выше способ наблюдений в свете какой-либо одной спектральной линии нашёл при изучении Солнца широкое применение. Для этого были сконструированы два прибора — спектрогелиограф и спектрогелиоскоп. С помощью первого прибора поверхность Солнца может фотографироваться, с помощью второго она может рассматриваться просто глазом. Наиболее интересные результаты получаются при фотографировании Солнца в свете водородных линий и линий кальция. Снимок солнечной поверхности, сделанный в свете самой яркой водородной линии (рис. 7), даёт распределение излучающего водорода над солнечной поверхностью в области двух солнечных пятен (биполярная группа). Он показывает около пятен нечто вроде вихрей, центры которых совпадают с ядрами обоих солнечных пятен. Однако измерения показали, что движение водородных паров в этих вихрях, вообще говоря, невелико.

Вид Солнца в лучах линий поглощения кальция, так называемых линий H и K, иной. Здесь уже такого рода вихрей, как в

свете водородной линии, не наблюдается. На снимке 8 мы даём вид Солнца в свете линии К. Те большие светлые площади, которые отчётливо видны на этом снимке, называются флоккулами. Флоккулы присутствуют равным образом и на водородных снимках. Существование флоккулов говорит о том, что излучение паров водорода и кальция в местах расположения флоккулов является повышенным по сравнению с остальными местами. Наиболее часто флоккулы наблюдаются вблизи солнечных пятен. Далее было установлено, что флоккулы располагаются над факелами, о которых мы говорили ранее. Механизм образования флоккулов пока что ещё не совсем ясен. Возможно, что основную роль здесь играет повышенная температура в хромосфере в тех местах, где наблюдаются флоккулы.

Одновременно с общим видом Солнца в линии К на снимке 8 воспроизведены также и протуберанцы.

Протуберанцы — это выступы раскалённой светящейся материи, наблюдаемые над краем Солнца. Протуберанцы так же, как и хромосферу, можно наблюдать во время полных солнечных затмений, а также вне затмений с протуберанц-спектроскопом. Кроме того их можно изучать с помощью спектроселиографа и спектроселиоскопа. Наконец, в последнее время был изобретён новый способ наблюдения протуберанцев. Для этого изготавлиется специальный фильтр из кварца, который пропускает только свет, соответствующий длине волны самой яркой водород-

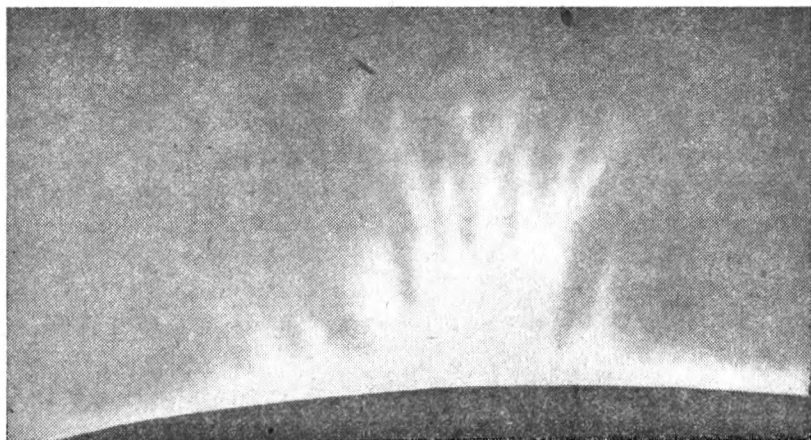


Рис. 9. Спокойный протуберанец.



Рис. 10. Активный протуберанец.

ной линии. Особенно большие успехи в изучении движения и развития протуберанцев были достигнуты с помощью кинематографии.

В результате соответствующих исследований все наблюдаемые протуберанцы удалось разделить по их виду, движению и дру-

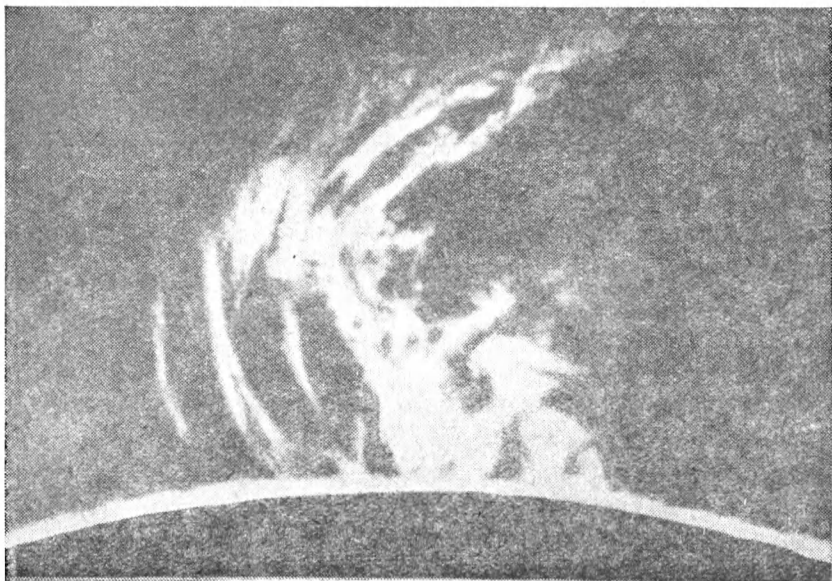


Рис. 11. Эруптивный протуберанец.

гим свойствам на совершенно определённые классы. Опишем некоторые наиболее характерные из этих классов.

К первому классу следует отнести так называемые спокойные протуберанцы, название которых вполне соответствует их поведению. Спокойные протуберанцы могут существовать днями и месяцами, причём изменение их формы происходит сравнительно медленно. На снимке 9 мы даём вид такого протуберанца.

К следующему классу относятся активные протуберанцы, которые характеризуются наличием непрерывно движущихся ленточных потоков светящейся материи. Эти потоки движутся или от протуберанца к протуберанцу или от одного протуберанца вниз, к фотосфере. Вид такого протуберанца изображён на снимке 10, где светлым кружком представлены размеры нашей Земли.

К следующему классу относятся так называемые эруптивные протуберанцы, которые существуют относительно недолго и характеризуются быстрыми изменениями. На снимке 11 представлен характерный вид протуберанца этого класса. При увеличении высоты протуберанец ослабевал и в конце концов исчез.

Несколько подклассов протуберанцев связано с солнечными пятнами.

Наконец, к весьма интересному классу протуберанцев относятся корональные протуберанцы, которые рождаются и развиваются над хромосферой, т. е. в том пространстве, которое относится уже к солнечной короне. Эти протуберанцы причислены к подклассу, именуемому «корональными облаками». Снимки «корональных облаков» показывают вначале одно весьма слабое светящееся пятно, затем число пятен увеличивается, и все они сливаются в одно облако, из которого вниз, к хромосфере, начинают струями двигаться светящаяся материя.

Применение физических законов к протуберанцам показывает, что протуберанцы обладают примерно той же температурой, как и обрабатываемый слой. Согласно последней работе астронома Пулковской обсерватории В. Вязаницына, средняя температура протуберанцев порядка 5 тысяч градусов. В этой же работе убедительно показывается, что свечение протуберанцев обусловлено тем, что они рассеивают тот свет, который падает на них снизу, от Солнца. При этом, если протуберанцы находятся между нами и Солнцем, они ослабляют в соответствующих

местах диска его свет. Это ослабление должно быть наибольшим внутри спектральных линий. Следовательно, наблюдая солнечный диск в свете какой-либо спектральной линии с помощью спектрогелиоскопа или спектрогелиографа, мы должны увидеть протуберанцы (если они, конечно, в данный момент имеются) как тёмные полосы на светлом фоне, так называемые «волокна», что в действительности и наблюдается.

Исследования показали, что в протуберанцах присутствуют в общем те же элементы, что и в обрабатываемом слое Солнца. Однако возможно, что в количественном отношении химический состав различных классов протуберанцев различен. Так, например, наиболее характерными линиями в спектре спокойных протуберанцев являются линии водорода; в спектре же протуберанцев солнечных пятен, наряду с водородными линиями, отчётливо выделяются линии различных металлов.

Размеры протуберанцев весьма различны. Поэтому можно говорить лишь о средних числах. Так, можно считать, что размеры спокойных протуберанцев заключаются в среднем между следующими пределами: толщина от 6 тысяч до 12 тысяч километров; длина от 60 тысяч до 600 тысяч километров; высота до 100 тысяч километров.

Следует указать, что протуберанцы так же, как и все остальные солнечные образования (пятна, факелы, флоккулы), следуют одиннадцатилетнему периоду солнечной деятельности.

К сожалению, вопрос о тех силах, которые поддерживают протуберанцы над поверхностью Солнца и которые заставляют их двигаться, остаётся до настоящего времени открытым. Здесь существует ряд гипотез. Одной из них является гипотеза о том, что протуберанцы поддерживаются световым давлением (т.е. силой, действующей на атомы, когда они поглощают свет). Световое давление, существование которого доказал впервые опытным путём великий русский физик П. Лебедев, играет большую роль в разрешении многих вопросов астрономии: при изучении комет, новых звёзд и т. д. Однако для объяснения поддержки протуберанцев световым давлением со стороны Солнца требуется исключительно большое излучение Солнца в далёкой ультрафиолетовой области спектра. Существование же этого аномально большого излучения не согласуется с другими фактами. За последнее время сделалось очевидным, что в атмосфере Солнца, помимо светового давления, исключительно важную роль играют

силы электромагнитного характера. Возможно, что с их помощью удастся объяснить и указанную загадку протуберанцев. Весьма интересным фактом является то, что, как обнаруживается из кинематографических снимков протуберанцев, большинство движений в них происходит сверху вниз, т. е. к Солнцу, а не снизу вверх, как принято было думать до самого последнего времени. Скорости движений в протуберанцах очень велики и иногда достигают нескольких десятков и даже сотен километров в секунду.

Солнечная корона относится к наиболее внешним и наиболее разреженным частям солнечной оболочки. До 1930 года солнечная корона могла наблюдаться только во время полных солнечных затмений. В 1930 году французским астрономом Лио был построен новый инструмент — внезатменный коронограф, — с помощью которого сделалось возможным наблюдать корону в каждый ясный день, при достаточно высокой прозрачности воздуха. Для соблюдения этого условия коронограф Лио должен быть установлен в горах на достаточной высоте.

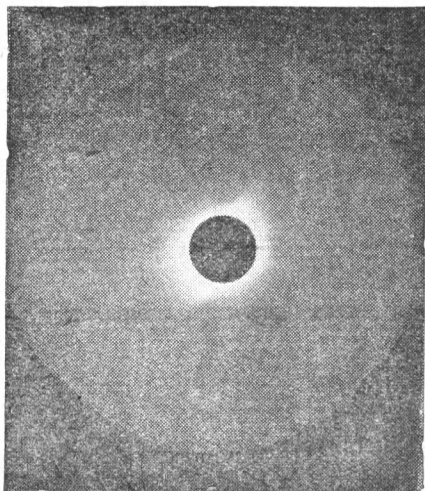


Рис. 12. Снимок солнечной короны, полученный советской экспедицией во время полного солнечного затмения 21 сентября 1941 года.

Представленные здесь два снимка солнечной короны, полученные советскими экспедициями во время полного солнечного затмения 21 сентября 1941 года, дают общий вид солнечной короны (снимок 12) и более внутренние части её (снимок 13, полученный московским астрономом Е. Бугославской); на втором снимке, помимо солнечной короны, у края Луны виден ряд протуберанцев.

Фотографирование солнечной короны показало, что в различные годы солнечной деятельности она имеет различный вид. В годы наибольшей солнечной деятельности корональная материя распределена над Солнцем более или менее равномерно. Напротив, в годы наименьшей солнечной деятельности, когда солнечных пятен и других образо-

ваний меньше всего, корона вытянута вдоль экватора, в то время как материи у полюсов мало. Одним из наиболее интересных свойств формы короны является то, что корона состоит из многих лучей. Эта лучистость была особенно тщательно изучена советскими астрономами Е. Бугославской, С. Всехсвятским и другими на основании снимков, сделанных советскими экспедициями во время затмений 19 июня 1936 года и 21 сентября 1941 года. При этом было установлено много интересных закономерностей.

Наиболее существенные результаты в отношении физической природы солнечной короны были получены на основании изучения её спектра.

При этом оказалось, что корону следует разделять на две части: внутреннюю и внешнюю. Граница, разделяющая обе эти части, отстоит от фотосферы Солнца примерно на 200 тысяч километров. Указанные внутренние части короны называются просто внутренней короной, тогда как внешние — внешней короной.

Наиболее интересен спектр внутренней короны. Это сплошной спектр, на который накладывается ряд ярких линий, числом около двадцати пяти. Происхождение этих корональных линий было установлено в 1941 году шведским физиком Эдленом, причём сразу же выявилось совершенно неожиданное обстоятельство — исключительно высокая температура внутренней короны, порядка миллиона градусов. Основная трудность, которая возникла при многочисленных попытках отождествления корональных линий, состояла в том, что ни один из известных элементов не давал тех линий в спектре, которые неизменно присутствуют в спектре внутренней короны. В то же время представлялось со-

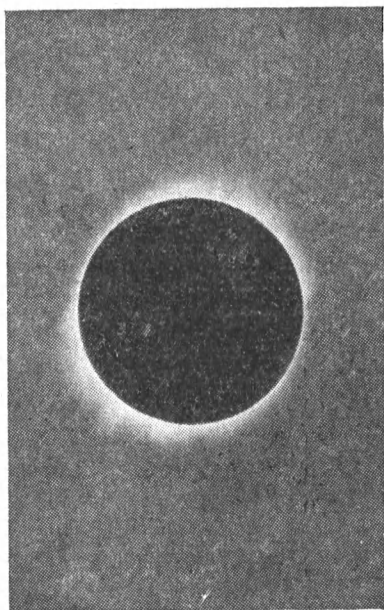


Рис. 13. Снимок внутренней части солнечной короны, полученный московским астрономом Е. Бугославской во время полного солнечного затмения 21 сентября 1941 года.

вершенно невероятным, чтобы во внутренней короне мы имели дело с какими-то новыми, неизвестными нам до сих пор элементами. Например, имелись основания считать, что физические условия во внутренней короне таковы, что там существуют какие-то особо благоприятные условия для возникновения указанных 25 корональных линий. Эти предположения и были полностью подтверждены. Оказалось, что почти все наблюдаемые корональные линии принадлежат атомам железа, кальция, никеля и аргона. Почему же, однако, эти линии не наблюдались раньше в лабораториях? Ответ на эту загадку удалось дать, приписав внутренней короне чудовищно высокую температуру — около миллиона градусов. При такой температуре атомы железа, никеля, кальция и аргона находятся в совершенно необычных для нас условиях. Так, например, часть атомов никеля во внутренней короне лишена пятнадцати внешних электронов и т. д. Кроме того, существенным для возникновения рассматриваемых корональных линий является также и крайняя разреженность материи во внутренней короне. Существование чрезвычайно высокой температуры во внутренней короне подтверждается и другими фактами; в частности на это указывают и радионаблюдения Солнца.

Каково же, однако, происхождение столь высокой температуры? В настоящее время имеется целый ряд гипотез. Согласно, например, теории московского астронома И. Шкловского, нагревание внутренней короны происходит слабым электрическим полем, находящимся над солнечной поверхностью. Согласно другим теориям, раскалённая материя, подобно земным вулканам, выбрасывается из более внутренних частей Солнца. Дальнейшие наблюдения помогут окончательному решению этого вопроса.

Обратимся теперь к внешней короне. Её спектр отличен от спектра внутренней короны. А именно, спектр внешней короны также сплошной, но на него накладываются не яркие линии, а линии поглощения, причём все они совпадают с линиями поглощения обычного солнечного спектра, являясь только более мелкими. Изучение закона падения яркости во внешней короне с расстоянием от солнечного края, а также её спектра дало возможность сделать следующие выводы. Свечение материи во внешней короне определяется двумя совершенно различными источниками. Во-первых, часть света внешней короны излучается материей собственно солнечной короны, т. е. материей, связанной

непосредственно с Солнцем. Эта составная часть солнечной короны является продолжением внутренней короны. К рассматриваемой части принадлежат и корональные лучи (рис. 12). Эта первая часть солнечной короны характеризуется сплошным спектром без каких-либо линий. О физических условиях, господствующих в этой части, имеются пока чрезвычайно скудные сведения. Что же касается общего излучения, принадлежащего собственно солнечной короне, т. е. внутренней короне и первой части внешней короны, то здесь свет Солнца рассеивается электронами, оторванными от атомов.

Вторым источником света, излучаемого внешней короной, являются пылевые частицы, заполняющие межпланетное пространство. Эти частицы своеобразно рассеивают падающий на них солнечный свет и создают тем самым вторую часть внешней солнечной короны, хотя эта внешняя часть и не связана физически, как мы указали, с самим Солнцем.

Отметим, что указанные пылевые частицы, образующие вторую часть внешней короны, создают также и зодиакальный свет. Всестороннее и глубокое изучение вопроса о пылевых частицах, образующих зодиакальный свет (и вместе с тем вторую часть внешней короны), произведено академиком В. Фесенковым.

В заключение остановимся кратко на вопросе о влиянии Солнца на различные земные явления. При этом, конечно, мы лишены возможности говорить об использовании солнечной тепловой энергии. Этот вопрос, имеющий огромное будущее, носит, скорее, технический характер. Одним из наиболее интересных и важных в практическом отношении вопросов является вопрос о влиянии Солнца на погоду и на условия радиосвязи. К сожалению, в первом случае ничего определённого пока сказать нельзя. Несмотря на то, что состояние земной атмосферы, её температура, ветры над землёй и т. д. — всё это в конечном итоге связано с нагреванием Земли Солнцем, тем не менее эта связь является исключительно сложной. Поэтому предсказать погоду в каком-либо месте Земли, основываясь исключительно на солнечных данных (пятна, факелы и т. д.), нельзя. Однако такие крупные атмосферные явления, как, например, вторжения арктического воздуха, по всей видимости, связаны с процессами, происходящими на Солнце. Весьма ценные работы в данном направлении проведены за последние 10 лет астрономами Пулковской обсерватории.

Вопрос о связи между солнечными явлениями и условиями радиоприёма является более определённым. В этом отношении в настоящее время установлен ряд закономерностей. Так, например, установлено, что при появлении на солнечном диске очень ярких флоккулов, так называемых эрупций, на всей освещённой Солнцем поверхности Земли наступает полное прекращение радиосвязи на коротких волнах. Выяснено, что в данном случае Солнце в местах возникновения эрупций излучает огромные количества ультрафиолетовой энергии, которая и воздействует на земную атмосферу.

Далее установлено, что время от времени с отдельных участков Солнца происходит выбрасывание различных частиц — атомов и электронов,—которые, двигаясь с огромной скоростью, врываются во внешние части земной оболочки и также нарушают нормальные условия радиосвязи. Вопрос о предсказании этих возмущений очень сложный и требует дальнейших исследований. Вообще же вопрос о влиянии Солнца на радиосвязь является практически чрезвычайно важным, и к нему приковано внимание большого количества учёных: астрономов, радиофизиков, геофизиков. Весьма большой вклад в это дело внесли советские учёные, особенно астрономы Пулковской обсерватории.

ОПЕЧАТКИ

На стр. 13 (11-я строка снизу) напечатано: современем; **следует читать:** со временем.

На стр. 20 (3-я строка снизу) напечатано: деятельности; **следует читать:** деятельности.

На стр. 22 (3-я строка сверху) напечатано: Например; **следует читать:** Напротив.

К брош. Э. Р. Мустель.

Цена 60 коп.