РЕФЕРАТ НА ТЕМУ:

Целевые наблюдения солнечных затмений (ХVIII-XXI века)

Несмотря на глубокое впечатление, производимое на человеческое сознание полными солнечными затмениями, до сравнительно недавнего времени наблюдению их не уделялось, собственно, настоящего научного внимания. Вплоть до середины XIX столетия наблюдения солнечных затмений продолжали носить почти только чисто астрометрический характер — как средство проверки всё ещё недостаточно разработанной теории движения Луны (в то время изучение движения Луны вызывалось практическими потребностями) и для определения географических долгот пунктов земной поверхности. Явлениям, сопровождающим солнечное затмение, долго в значительной мере приписывали не астрономический, а метеорологический или оптический и притом нередко случайный характер. Здесь играло также роль относительно позднее развитие астрофизики.

Из сохранившихся данных о наблюдениях старых затмений всё же имеются такие, которые в свете современной науки можно расшифровать как физические наблюдения, именно наблюдения короны, её формы и протуберанцев. Более научные описания короны дали Кеплер (1605 г.) и Кассини (1706 г.), причём последний привёл достаточно интересное по тому времени объяснение этого явления, недалёкое от современного. Первые определённые указания на наблюдения хромосферы при затмении Солнца были даны Стеннианом в 1706 г. и Галилеем в 1715 г. Первое научно обстоятельное описание протуберанцев принадлежит Вассениусу, наблюдавшему затмение 1733 г.

Но все эти наблюдения носили по существу случайный характер. Вопрос об организованном производстве наблюдений и тем более о снаряжении специальных экспедиций долгое время совершенно не ставился, в противоположность, например, наблюдению прохождения Венеры по диску Солнца, для которого уже в середине XVIII в. организовывались специальные и сложные экспедиции1). В сравнении с этим организованные наблюдения солнечных затмений запоздали на семь-восемь десятков лет.

Толчок в этом направлении дали наблюдения затмения 1836 г., когда Бэли детально, хотя и без всяких других инструментальных средств, кроме телескопа, наблюдал явления, сопровождающие затмения (в частности, известные «чётки Бэли»). При этом же затмении была сделана первая попытка анализа света короны и протуберанцев с помощью пока несовершенного спектроскопа.

Эти наблюдения служили как бы подготовкой к наблюдениям следующего затмения 1842 г. и выяснили необходимые объекты наблюдения при затмении.

Затмение 1842 г. было по существу первым, которое наблюдалось в организованном порядке. Были снаряжены специальные экспедиции, в которых приняли участие виднейшие астрономы и физики того времени — О. Струве, Эри, Бэли, Араго и др. Это затмение наблюдалось и в нашей стране (О. Струве и А. Шидловским). Все явления были точно зафиксированы и описаны. Однако физическое истолкование наблюдений оставалось в начальной стадии развития, и ещё не удалось с определённостью установить, принадлежит ли та или иная наблюдавшаяся деталь Солнцу или Луне или же имеет иное происхождение. Сделать это выпало на долю последующих экспедиций, когда была разработана соответствующая методика и были введены новые средства наблюдений.

Для наблюдения полного солнечного затмения 28 июля 1851 г. Российская Академия наук направила экспедицию в Ломжу во главе с О. В. Струве. Из своих наблюдений О. В. Струве сделал вывод, что протуберанцы являются выступами на Солнце, так как при перемещении Луны они с одной стороны скрывались за её диском, а с другой стороны появлялись. Этот вывод был окончательно подтверждён при наблюдениях затмения 18 июля 1860 г., производившихся пулковскими астрономами О. В. Струве и Виннеке.

С 1860 г. начинается применение фотографии к наблюдению затмений. Фотографирование затмений показало с ещё большей очевидностью, что протуберанцы и корона принадлежат Солнцу, а не Луне и не представляют явлений оптических.

Наиболее знаменательным фактом в развитии физических исследований солнечных затмений представляется, конечно, применение спектрального анализа. Это было осуществлено впервые при наблюдении затмения в Индии в 1868 г. Жансеном и др. Наблюдения спектра протуберанцев сразу же позволили определить их химический состав. Но, помимо этого, спектральные наблюдения протуберанцев натолкнули Жансена на открытие огромной важности — возможность наблюдения протуберанцев вне затмения. Когда на следующее утро он поставил щель своего спектроскопа на то место у края солнечного диска, где во время затмения был наиболее яркий протуберанец, то он увидел те же яркие линии и смог определить их длины волн. Перемещая слегка щель, Жанеен проследил в красной водородной линии контуры всего протуберанца. В то же время в другой точке земного шара к тому же открытию, но исходя из основных положений спектроскопии, пришёл Локиер.

Применение спектрального анализа во время следующего затмения в 1869 г. привело к открытию зелёной линии излучения короны. Однако принадлежность этой линии именно к короне была установлена окончательно только в 1898 г. Для этой линии, как позднее и для ряда других линий кораны, не удавалось установить их принадлежность ни одному из известных на Земле элементов, и они были приписаны гипотетическому «коронию». Во время затмений 1870 и.1872 гг. спектральный анализ широко применялся многими астрономами. В частности, в 1870 г. Юнгом впервые наблюдался спектр вспышки, и таким образом был открыт слой, дающий фраунгоферовы линии в спектре Солнца. Наконец, первые попытки фотографирования спектра были сделаны в 1875 г., а потом в 1878 г. Спектр хромосферы (вспышки) был сфотографирован впервые во время затмения 1896 г. При наблюдениях затмения 1898 г. в Индии были уже получены очень хорошие снимки спектра вспышки, послужившие, кроме решения ряда астрофизических вопросов, к изучению спектра водорода.

В 1905 г. с помощью вогнутой диффракционной решётки были получены прекрасные снимки спектра вспышки. Тогда же удалось получить снимки спектра солнечного края и обращающего слоя на одной и той же пластинке, медленно передвигавшейся в направлении, перпендикулярном к спектру (рис. 26) f Изучение этого материала, продолжавшееся несколько лет, дало возможность определить абсолютное содержание различных химических элементов в обращающем слое и число атомов различных газов над 1 кв. см фотосферы. В 1914 г. уже были получены с помощью диффракционной решётки первые снимки спектра хромосферы вне затмения, но по своей научной ценности они значительно уступают снимкам во время затмений.

Наряду с успехами спектральных исследований в эти годы были достигнуты значительные успехи в изучении строения солнечной короны и её связи с другими явлениями, происходящими на Солнце. Ведущая роль здесь принадлежит русским астрономам. Уже во время затмения 19 августа 1887 г., полоса которого проходила по нашей стране, экспедиции Московской обсерватории в Юрьевце (А.А. Белопольский и П.К. Штернберг) удалось получить ряд снимков короны. Во время этого же затмения состоялось первое в истории науки наблюдение полного солнечного затмения с воздушного шара, на котором поднялся наш знаменитый учёный Д. И. Менделеев.

Во время затмения 8 августа 1896 г. в наблюдениях участвовали такие крупные наши учёные, как А.А. Белопольский, С.К. Костинский, А.П. Ганский, О.А. Баклунд, Ф.Ф. Витрам и Б.Б. Голицын. После этого затмения А.П. Ганский, изучив ряд снимков короны, полученных во время прежних затмений (начиная с 1860 г.), нашёл замечательную зависимость форм короны от пятнообразовательной деятельности Солнца.

А.А. Белопольский подтвердил окончательно связь корональных лучей с протуберанцами. Фотографии короны, полученные в 1898 г., дали возможность произвести первые определения закона падения её яркости с расстоянием от солнечного края.

Много ценных результатов было получено из наблюдений затмения 30 августа 1905 г. А.П. Ганский, изучив снимки, полученные им с длиннофокусной камерой, пришёл к выводу о зависимости форм и направления корональних лучей от форм находящихся под ними протуберанцев; основания корональных лучей, по выводу Ганского, находятся вблизи от солнечных пятен, хотя и не совпадают с ними.

Работы Ганского по изучению форм короны и её связи с пятнами и протуберанцами были успешно продолжены советскими астрономами. Об этом подробнее будет рассказано ниже (стр. 105), а также в следующей главе.

Развитие теоретической физики в начале XX в. поставило перед наблюдателями затмений новую проблему.

Ещё в 1911 г. Эйнштейн высказал предположение, что луч света, проходя вблизи тела большой массы, искривляет свой путь, как если бы он притягивался этим телом. Позднее Эйнштейну удалось вычислить величину этого искривления в зависимости от расстояния луча от тела и величины его массы. В применении к Солнцу — единственной достаточно большой массе в солнечной системе, около которой это искривление достигает заметной величины, отклонение луча, идущего по касательной к солнечной поверхности, согласно теории должно составить Г',75. Этот «эффект Эйнштейна» можно подметить только во время полного солнечного затмения, когда рядом с Солнцем бывают видны звёзды, свет от которых проходит мимо Солнца близко к его поверхности. Такие звёзды должны казаться нам из-за искривления луча света смещёнными со своих обычных положений в сторону от солнечного края, причём величина смещения должна быть обратно пропорциональна видимому угловому расстоянию звезды от центра Солнца, достигая на самом краю солнечного диска 1",75.

Первая же попытка пронаблюдать это кажущееся смещение оказалась удачной: две экспедиции получили во время затмения 1919 г. величину смещения, почти в точности совпадающую с предсказанной Эйнштейном. Подтвердилась величина смещения наблюдениями и во время затмения 1922 г. Однако экспедиция Потсдамской астрофизической обсерватории, наблюдавшая затмение 1929 г. на о. Суматра и применявшая более усовершенствованные методы и инструменты, нашла, что величина смещения на солнечном краю составляет 2",2, т. е. заметно больше теоретической.

Новые наблюдения эффекта Эйнштейна, произведённые во время затмения 19 июня 1936 г. А.А. Михайловым, дали ещё большую величину — 2",7. Эти расхождения данных наблюдений и теории требуют дополнительных исследований.

Но главное внимание астрономов при наблюдениях затмений продолжал привлекать вопрос о физической природе внешних оболочек Солнца.

В 1913 г. в спектре хромосферы были обнаружены линии ионизованного гелия. На присутствие значительного количества ионизованных атомов различных химических элементов указывали и другие наблюдения. Надо было найти теоретическое объяснение этих результатов.

В 1920 г. индусский физик Саха разработал теорию ионизации, справедливую однако лишь в предположении, что вещество Солнца находится в так называемом термодинамическом равновесии (как газ в замкнутом сосуде). Однако для солнечной атмосферы это условие не соблюдается, и применять теорию Саха здесь нельзя. Целый ряд наблюдательных и теоретических работ последующих лет был направлен к выяснению физических условий, господствующих в обращающем слое, хромосфере и короне.

Температура обращающего слоя была получена многими астрономами по определениям интенсивности и ширины фраунгоферовых линий и оказалась равной 4300°, т. е. значительно ниже температуры фотосферы. Наоборот, для хромосферы в 1932 г. были найдены более высокие значения температуры — до 12000°, что говорило о большой скорости теплового движения её частиц. Однако ещё большие значения скоростей частиц были найдены для солнечной короны.

Как известно, спектр внутренней короны — непрерывный, без фраунгоферовых линий, но с выступающими на его фоне яркими линиями. Такой характер спектра хорошо объясняется рассеянием солнечного света свободными электронами, находящимися в постоянном движении с огромными скоростями (около 400 км/сек). Такие скорости движения частиц соответствуют весьма высоким кинетическим температурам (сотни тысяч градусов). Из этого не следует, однако, что корона «горячее» Солнца, как некоторые представляют себе, так как в разрежённом электронном газе обычное понятие температуры теряет смысл. Высокие скорости частиц приводят, по принципу Допплера, к смещению излучаемых длин волн к красному и фиолетовому концу спектра, благодаря чему фраунгоферовы линии «замываются». Однако в спектре внешней короны эти линии появляются, усиливаясь с удалением от края Солнца. Это показывает, что природа внешней короны иная, и её свечение вызывается рассеянием света крупными частицами.

В 1934 г. Гротриан сделал попытку разделить корональное свечение на две составляющие: электронную и пылевую, используя спектрофотометрические и поляризационные наблюдения. Представление о наличии этих двух видов частиц в короне держалось в науке до 1947 г.

В 1930 г. Лио нашёл, наконец, способ наблюдать и фотографировать корону вне затмения, устранив рассеяние света в приборе и расположив его на высоте 2800 м, на горе Пик дю Миди в Пиренеях. Спектр короны им был прослежен до 4' от края Солнца, степень поляризации — до 6'. Точные измерения длин волн и ширины ярких линий выявили факт вращения короны со скоростью около 2 км/сек у поверхности Солнца.

Прекрасно организованные наблюдения затмения 19 июня 1936 г. шестью советскими экспедициями со стандартными коронографами (стр. 117—118) позволили проследить изменения в короне и хромосфере за 2 часа, пока лунная тень пересекала весь Советский Союз. Были окончательно установлены наличие вращения короны и быстрая изменяемость волокон хромосферы, а также детально исследованы структура короны и связь корональных образований с протуберанцами, пятнами и т. д. (Е. Я. Бугославская, С. К. Всехсвятский, А. Н. Дейч).

В 1941 г. была, наконец, разгадана природа ярких корональных линий. Как показал Эдлен, они вызываются свечением многократно ионизованных атомов железа, никеля, аргона и кальция. Такое свечение имеет место при так называемых «запрещённых» переходах атомов из одного состояния в другое — переходах, возможных лишь при особых условиях. Но именно эти условия и имеют место в короне. А.А. Калиняк по наблюдениям 1941 г. измерил ширину ярких линий короны, снова получив большие значения скоростей и кинетических температур. Во время затмения 21 сентября 1941 г. Д. Я. Мартынов получил спектр хромосферы и по интенсивности линий спектра нашёл количество атомов водорода и гелия у основания протуберанцев. Определение интенсивности многих хромосферних линий было произведено также В.П. Вязаницыным, который получил картину понижения плотности с высотой для водорода, гелия, ионизованного кальция, магния и стронция.

Теоретическое изучение физических условий в короне и хромосфере было успешно проведено московским астрономом И. С. Шкловским. Он показал прежде всего полную неприменимость формулы ионизации Саха к хромосфере и короне и сложность самого механизма ионизации. Так, ионизация элементов в короне вызывается ударами электронов. Ионизация же атомов гелия (в хромосфере) вызывается, как показал И. С. Шкловский, испусканием короной ультрафиолетового излучения весьма короткой длины волны (меньше 900 А). И.С. Шкловский исследовал также влияние этого излучения на состояние верхних слоев земной атмосферы.

Изучая полученные из наблюдений данные об излучении Солнцем радиоволн (от сантиметровых до десятиметровых), И. С. Шкловский и В. Л. Гинзбург показали в 1946 г., что радиоволны испускаются не поверхностью, а внешними слоями Солнца, причём сантиметровые волны излучаются главным образом хромосферой, а десятиметровые — солнечной короной. Наблюдаемые временами резкие усиления радиоизлучения Солнца Шкловский объясняет возбуждением собственных колебаний электронов потоками заряженных частиц (корпускул), выбрасываемых при извержениях на поверхности Солнца.

В 1947 г. появилась работа ван де Холста, в которой он произвёл детальное исследование природы пылевой составляющей короны и показал, что она не имеет непосредственной связи с самим Солнцем, а вызывается диффракцией света Солнца на пылевых частицах, заполняющих межпланетное пространство. Таким образом, ван де Холст подтвердил мысль акад. В.Г. Фесенкова о связи короны с метеорной материей межпланетного пространства, вызывающей явление так называемого зодиакального света.

Ряд астрономов изучал за последнее время распределение плотности электронов в короне. Наиболее полное и тщательное исследование этого вопроса произведено киевскими астрономами А.Ф. Богородским и Н.А. Хинкуловой в 1950 г.

Работы советских учёных 40-50-х годов ХХ века занимают ведущее место в теоретических и наблюдательных исследованиях внешних оболочек Солнца и происходящих там процессов. Советские учёные производят критический пересмотр прежних работ и выдвигают новые проблемы для будущих исследований. Эти проблемы были положены в основу работ во время затмения 30 июня 1954 г, наблюдаемого в Украине.

Эти же и похожие методы легли в основу современных целевых (то есть, преследующих определённую цель) наблюдений солнечных затмений, в частности наблюдений чёток Бейли (Baley’s bead phenomena), проведёнными группой американских астрономов во главе с Дейвидом Данхемом (David W. Dunham) в 1980–2000 годах. Наблюдения чёток Бейли позволили очень неплохо изучить рельеф краевых зон Луны, что немаловажно для будущих исследований естественного спутника Земли с помощью космических аппаратов.

Современные наблюдения отличаются от наблюдений 300-летней давности лишь технологиями и высокой точностью. К примеру, с 2001 года профессиональные наблюдатели отказались от визуальных наблюдений как таковых ввиду их пониженной точности, в пользу наблюдений с ПЗС-матрицами и камкодерами различных модификаций.

Кроме всего, в начале ХХI века широко многими космическими странами практикуются наблюдения солнечных затмений с реактивных самолётов и высоких геостационарных орбит. Особое внимание уделяется наблюдениям солнечной короны во время полных затмений без учёта влияния земной атмосферы, что очень важно для изучения как самой структуры короны, так и для многих других целей.

Литература

А.А. Михайлов. Солнечные затмения и их наблюдение. М., 1954.