РЕФЕРАТ НА ТЕМУ:

**СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ: ПРОВЕРКА И УТОЧНЕНИЕ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЛУНЫ. ФОТОМЕТРИЯ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА ПРИ РАЗНЫХ ФАЗАХ**

**НАБЛЮДЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОВЕРКОЙ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЛУНЫ**

Современная теория движения Луны позволяет с большой точностью предвычислить видимое положение Луны на небе и условия видимости лунных и солнечных затмений. Моменты начала и конца частного и полного затмений Солнца предвычисляются с точностью до 1—3 секунд времени, пролегание по земной поверхности полосы полной фазы — с точностью до километра.

Однако, чтобы всегда быть в согласии с действительностью, теория движения Луны требует периодической ее проверки по наблюдениям. Одним из путей такой проверки и являются наблюдения солнечных затмений. Можно предложить следующие работы:

1. Наблюдение моментов контактов.
2. Фотографирование серпов, т. е. частных фаз затмения.
3. Определение границ полосы полной тени на местности.

Все эти работы предъявляют относительно высокие требования к знанию момента наблюдения и географических координат наблюдателя. Произведём некоторый расчёт.

Точность определения координат на небе должна быть около 0",2, точность измерений на фотографической пластинке — 0,001 *мм.* Следовательно, чтобы получить фотографические снимки серпов, обеспечивающие такую точность измерения, нужно, чтобы диаметр *d* изображения Солнца (Луны) на пластинке был не менее, чем



где *d"О*—угловой диаметр Солнца (Луны), приблизительно равный 30' или 1800". Это значит, что снимки серпов нужно делать с помощью телескопа с фокусным расстоянием не менее метра, помещая фотографическую пластинку в фокусе объектива.

Далее, 0",2 на расстоянии Луны составляет 0,4 *км.* Следовательно, неточность в видимом положении Луны приведёт к ошибке в положении лунной тени на земной поверхности в 0,4 *км* (лучи Солнца считаем параллельными). Скорость движения Луны по её орбите составляет 1 *км/сек.* Отсюда в задаче 1-й и 2-й, чтобы обеспечить необходимую точность результатов, необходимо момент наблюдений отметить с точностью не менее 0,4 секунды. Географические координаты наблюдателя (широта и долгота) должны быть известны с точностью до 0',2.

Знание момента наблюдения с точностью до десятых долей секунды (даже до 0,5 сек.) можно получить лишь при наличии хронометра с хорошо известным ходом, изученным путём приёма радиосигналов времени в течение многих дней.

Фиксировать моменты фотографических снимков с точностью до долей секунды можно, если открывание затвора ("моментального") делать под удары хронометра.

При фотографировании частных фаз кроме выполнения вышеуказанных требований необходимо ещё знать ориентировку снимков. Для этого лучше всего получить на пластинке направление суточной параллели, делая два или три снимка на одной пластинке при неподвижной трубе.

Для учёта рефракции при последующей обработке снимков нужно записать температуру воздуха (в тени) с точностью до 1° и показание барометра с точностью до 1 *мм.*

Дальнейшая обработка снимков имеет следующие цели: а) определение относительного расположения Солнца и Луны путём измерения положения линии, соединяющей концы рогов серпа; б) определение моментов первого и четвёртого контактов (начала и конца частного затмения) путём измерения длины хорд ущерблённой части солнечного диска на ряде последовательных снимков, близких по времени к моменту начала и к моменту конца затмения. Эта последняя задача может ограничиться меньшей точностью измерений (порядка нескольких сотых долей миллиметра). Измерения нужно производить с помощью измерительного микроскопа, который изготовляется нашей промышленностью для фабрично-заводских лабораторий.

Что касается наблюдений моментов первого и четвёртого контактов непосредственно в телескоп, то точность их зависит от силы инструмента, от опытности и индивидуальных особенностей наблюдателя, а потому они ненадёжны.

Второй и третий контакты (начало и конец полной фазы) определяются значительно уверенней.

Технически более простой является работа по определению границ полосы полной фазы, так как она не требует знания самого момента наблюдений, а только умения оценить интервал времени (продолжительность полной фазы) с точностью до 1/2 секунды времени.

Работа имеет массовый характер и может быть проведена силами населения тех посёлков, которые лежат вблизи границы полосы тени.

Для наблюдений желательно выбрать ровную местность. Наблюдатели располагаются вблизи южной и северной границы полосы тени поперёк неё, на 2 *км* вне полосы и на 3—5 *км* внутри полосы. Большое число участников обеспечивает лучшее определение границы тени. К наблюдениям должна быть приложена карта или план с указанием места нахождения каждого наблюдателя. Положение наблюдателя нужно знать с точностью до 200—300 *м.*

Форма лунной тени на поверхности Земли представляет собой эллипс. Отмечая продолжительность полной фазы, мы тем самым определяем длину хорд эллипса; имея несколько хорд, можно найти, где лежал его край, т. е. где прошла граница тени.

От наблюдателя требуется отметить, было ли затмение частным или полным и, если затмение было полным, то сколько секунд оно длилось. В момент начала полной фазы нужно сказать "нуль" и считать секунды "раз, два, три..." до конца полной фазы. Счёт секунд можно вести, слушая удары хронометра, часов с маятником, метронома или (при достаточном опыте) по памяти. В счёте секунд следует заранее потренироваться, используя те же приборы или простые часы с секундной стрелкой. Ещё лучше определять продолжительность полной фазы с помощью секундомера.

**ФОТОМЕТРИЯ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА ПРИ ЧАСТНЫХ ФАЗАХ**

Как известно, Солнце не представляется нам в виде равномерно яркого диска, а имеет заметное потемнение к краю. Иными словами, яркость солнечной поверхности убывает от центра к краю диска. Это явление объясняется не поглощением света в солнечной атмосфере, как многие думают, а условиями переноса энергии из внутренних слоев Солнца к его наружным слоям. Действительно, светящаяся поверхность Солнца (фотосфера) получает энергию из недр Солнца. На своём пути эта энергия испытывает поглощение, так как даже наименее плотные наружные слои Солнца являются мало прозрачной средой. Поэтому, если мы смотрим на центр солнечного диска, до нас доходит энергия с большей глубины, чем если бы мы наблюдали край диска Солнца (так как там луч зрения почти касается солнечного шара и не проникает далеко вглубь). Но чем глубже данный слой Солнца, тем он горячее (см. стр. 90), а потому и посылает больше энергии. Следовательно, центр солнечного диска должен казаться ярче, чем его края, что и наблюдается.

Потемнение к краю солнечного диска происходит различно в лучах различной длины волны, т. е. различного цвета. В фиолетовых лучах яркость фотосферы убывает к краю гораздо быстрее, чем в красных лучах. Законы переноса энергии также хорошо объясняют это обстоятельство, ибо чем выше температура источника света, тем больше он посылает фиолетовых (коротковолновых) лучей и, наоборот, чем ниже температура, тем больше испускается красных лучей (по отношению ко всему излучению). Поэтому при переходе от центра солнечного диска к краю (с понижением температуры излучателя) получаемое нами излучение коротких длин волн (фиолетовое) убывает быстрее всего.

Кроме того, предполагается, что фотометрия солнечного диска будет производится как с помощью обычных фотокамер с последующей проявкой пластинок, так и с помощью камкодеров и видеокамер современного производства.

Из всего этого ясно, что изучение закона потемнения к краю солнечного диска может дать ценные данные о строении поверхностных слоев Солнца и условиях переноса энергии внутри него. Исследования в этой области проводились неоднократно. По методике наблюдений их можно разделить на три группы:

1. Непосредственная фотометрия поверхности Солнца в лучах различной длины волны. Этим методом было произведено много точных наблюдений. Однако для областей, близких к краю солнечного диска, этот метод не даёт точных результатов, так как рассеянный свет неба накладывается на свет Солнца и искажает картину. Данные, полученные этим способом, дают распределение яркости до расстояния в 0,9 солнечного радиуса от центра диска Солнца.
2. Измерение относительной яркости солнечных пятен и фотосферы на различных расстояниях от центра диска. Однако, как показали тщательные наблюдения Г. Ф. Ситника, произведённые им на Кучинской обсерватории в 1937—1938 гг., отношение яркости пятна к яркости фотосферы не меняется с расстоянием от центра диска Солнца и не зависит от размеров пятна. Это указывает на то, что и в поверхностных слоях пятен происходит такой же перенос энергии, как и в фотосфере, а именно, каждый слой испускает наружу столько же энергии, сколько он сам поглощает (так называемое лучистое равновесие).

3) Интегральная фотометрия частных фаз солнечного затмения. Этот способ, предложенный Юлиусом в 1905 г., заключается в измерении общего количества света, испускаемого Солнцем при различных фазах частного солнечного затмения. Технически он наиболее прост и даёт самые надёжные результаты, особенно для краевых частей Солнца. Поэтому мы и рекомендуем его любителям астрономии, особенно тем, кто будет наблюдать близко от полосы полного затмения или даже в самой полосе, т. е. при больших фазах затмения.

Для того чтобы результаты таких наблюдений представляли ещё большую ценность, нужно производить измерения в лучах различной длины волны, т. е. применять светофильтры с узкой полосой пропускания. В качестве приёмника света можно применять обыкновенную фотографическую пластинку или фотоэлемент. Фотографический способ легче, но менее точен. Нужно изготовить трубку с круглой диафрагмой на переднем конце и рядом промежуточных диафрагм, назначение которых— исключить рассеяние света в приборе. Внутри трубка должна быть вычернена. Задний конец трубки скрепляется с кассетной частью фотоаппарата перпендикулярно к кассете, в которой помещается фотопластинка. Трубка должна быть перпендикулярна к пластинке и направлена передним концом на Солнце.

Светосила трубки (отношение диаметра к её длине) должна быть порядка 1 : 50, чтобы на пластинку попадало возможно меньше света от неба, но Солнце не диафрагмировалось. Пластинки нужно брать диапозитивные (с возможно меньшей чувствительностью). Экспозицию нужно заранее подобрать по Солнцу. В качестве затвора можно использовать затвор фотоаппарата (желательно лепестковый, а не шторный). Длительность экспозиции должна быть всё время одинаковой.

Наблюдения нужно начинать за полчаса до начала частного затмения и заканчивать через полчаса после его конца, производя экспозиции сначала каждые 10 минут, а когда фаза затмения превысит 0,5 — каждые 5 минут. Ближе к полной фазе, когда от Солнца останется весьма узкий серп, желательно делать экспозиции ещё чаще (через 1 минуту). Моменты надо замечать по хорошо выверенным часам с точностью до 5 секунд. Передвигая кассету с пластинкой, можно получить на одной пластинке до 15 экспозиций. Надо следить, чтобы трубка была всё время направлена на Солнце, для чего следует прикрепить к ней пару диоптров, а весь прибор укрепить на каком-либо несложном штативе.

Как и во всех работах по фотографической фотометрии, совершенно необходимо после наблюдений произвести калибровку пластинок (см. стр. 147—149). Весьма интересно также провести работу по определению интегральной яркости Солнца при разных фазах затмения, и в особенности при фазах, близких к полной, с малыми камерами. Для этого следует фотографировать звездообразное изображение Солнца в выпуклом зеркале, в посеребрённом или блестящем стальном шарике. Применяя дымчатые фильтры, можно подобрать экспозицию так, чтобы она при пластинках или плёнках малой чувствительности составляла 1/50—1/100 сек. С этой экспозицией следует всё время фотографировать звездообразное изображение Солнца. На одной пластинке можно получить ряд изображений, причём лучше применять короткофокусные объективы. Это касается не только линзовых фотокамер и фотоаппаратов, а и объективов современных камкодеров и видеокамер.

До фазы затмения 0,9 следует вести фотографирование через каждые 5 минут. Начиная с фазы 0,9 и вплоть до полной фазы (1,00) следует вести фотографирование через каждые 10 секунд, чтобы получить большой ряд почернений с малой градацией. После полной фазы порядок наблюдений будет обратный. Эти наблюдения дадут возможность судить об изменениях звёздной величины затмевающегося Солнца. При выполнении этих наблюдений камера должна быть прочно установлена на жёстком штативе любого типа на строго постоянном расстоянии от шарика и защищена от порывов ветра.

Чтобы получить на плёнке шкалу звёздных величин, нужно таким же способом снять ряд отражений Солнца (вне затмения) при изменении расстояния от камеры до шарика в геометрической прогрессии. Нужно помнить, что при больших фазах затмения интегральная яркость Солнца уменьшается в десятки раз (а ближе к полной фазе — в сотни раз), поэтому наибольшее расстояние при калибровочных снимках должно в 10—20 раз превышать рабочее расстояние (во время затмения).

Гораздо более точные результаты может дать применение фотоэлектрического фотометра с селеновым фотоэлементом. В этом случае фотоэлемент помещается, как и пластинка в первом способе, у основания трубки, направляемой на Солнце. Регистрация фототока производится стрелочным, петельным или зеркальным гальванометром чувствительностью порядка 10-6 ампера на одно деление шкалы. При этом свет Солнца приходится ослаблять почти в 100 раз, помещая перед фотоэлементом нейтральный, т. е. одинаково поглощающий все лучи спектра, светофильтр.

Однако, так как исследование подобного светофильтра может представить некоторые затруднения ввиду его малой пропускной способности, можно применить иную схему, а именно, направлять фотоэлемент на белый экран, освещаемый Солнцем и расположенный перпендикулярно к его лучам (рис. 1).

Экран также должен быть заключён в зачернённую внутри трубку с рядом поперечных диафрагм, чтобы не допустить освещения его посторонним светом. Эта трубка должна быть в момент отсчёта направлена точно на Солнце.

Экран лучше всего употреблять баритовый или магниевый. Последний можно изготовить самому, закоптив гипсовую, фарфоровую или серебряную пластинку окисью магния (жжёной магнезией). Для этого пластинку надо подержать некоторое время над пламенем горящего металлического магния. Слой магнезии должен быть совершенно гладким и иметь толщину не менее 0,2 *мм.* Однако такой слой весьма недолговечен, а поэтому экран надо покрывать окисью магния незадолго до наблюдений.



Рис.1

Фотоэлемент, заключённый в трубку с рядом диафрагм, направляется на экран под некоторым углом к его нормали. Этот угол должен быть точно известен, так же как и расстояние фотоэлемента от экрана и размеры последнего (диаметр экрана может составлять несколько сантиметров).

Во время производства отсчётов надо открывать фотоэлемент, а затем снова закрывать его. Для этого в заднем конце трубки должен быть помещён затвор, установленный на длительную выдержку.

Нужно тщательно оберегать клеммы фотоэлемента от загрязнения, окисления и вообще всякого прикосновения, ибо это может повлечь за собой изменение сопротивления на контактах и, стало быть, изменение постоянных прибора. Лучше всего залить клеммы парафином и закрыть их чехлом.

Для того чтобы иметь возможность контролировать постоянство чувствительности прибора во время затмения, полезно время от времени направлять на него свет от стандартного источника, например, от электрической лампы, питаемой током постоянной силы. Лампу следует поместить в футляр с окошечком, закрытым молочным стеклом. Это окошечко должно находиться на строго одинаковом расстоянии от фотоэлемента при всех отсчётах.

Лучше всего поместить лампу с окошечком на таком же расстоянии от фотоэлемента, что и экран, и путём поворота на вращающейся подставке направлять его поочерёдно на экран и на лампу. Чтобы каждый раз не терять время на точную наводку трубки фотометра, надо сделать два упора, задерживающих вращающуюся подставку в двух нужных положениях.

Поскольку желательно иметь наблюдения в лучах различной длины волны, нужно поочерёдно закрывать отверстие трубки фотоэлемента различными заранее подобранными светофильтрами, что сравнительно нетрудно, так как на один отсчёт тратится немного времени. Запись моментов, отсчётов гальванометра и номеров применявшихся светофильтров должна производиться помощником наблюдателя, чтобы не отвлекать наблюдателя от его основной работы (наводка, смена фильтров, экспонирование, контроль по лампе). Наконец, фотометрию частных фаз можно произвести визуальным способом, с помощью люксметра или какого-либо визуального фотометра, направленного, подобно фотоэлементу в описанной выше схеме, на рассеивающий экран.

Следует заметить, что, помимо своей основной задачи, фотометрирование частных фаз является весьма желательным для упрощения учёта рассеянного света неба при фотометрии солнечной короны, если оно производится в области полного затмения.

**Литература**

А. А. Михайлов. Солнечные затмения и их наблюдение. М., 1978