**Введение**

В очень далёкие времена, около 6000 лет назад, народы, населявшие обширные равнины вдоль великих рек Египта, Китая, Индии и Месопотамии, достигли в своём развитии высокой самобытной культуры.

Свободные от тяжёлого физического труда представители имущих классов и их окружение имели полную возможность заниматься развитием культуры и искусства, создавать силами рабов знаменитые сооружения – храмы, дворцы, усыпальницы, известные ныне как выдающиеся памятники древнего мира.

Они же вели наблюдения над явлениями природы, пока ещё примитивные, но всё же наблюдения, которые с появлением простейшей письменности фиксировались в летописях и, накапливаясь веками, составили впоследствии фундамент зарождавшихся наук, и одной из первых среди них была астрономия, наука о небесных светилах и явлениях. Заниматься наблюдениями природных явлений человечество заставила жизненная необходимость. Люди давно поняли, что их жизнь зависит от Солнца.

И всё же именно жрецам-астрологам принадлежит несомненная заслуга в накоплении простейших астрономических знаний. Эти астрологи были и первыми астрономами, изучавшими звёздное небо.

Длительные наблюдения звёздного неба и их обращения привели к открытию ряда закономерностей в природе. Было обнаружено суточное вращение звёздного неба, перемещение по нему Луны и строго периодическое измерение её вида (смена лунных фаз), регулярно повторяющееся изменение вида звёздного неба и годовое движение Солнца на фоне звёзд, подмечена связь между видом звёздного неба и сезонами года, в частности, наступлением разлива рек, увлажняющего обрабатываемые поля, что было особенно важно для выращивания обильного урожая.

Подмеченные в природе закономерности жрецы сохраняли в великой тайне и считали достоянием только своей касты. Даже разработанные ими календари не разглашались властителям и, тем более, народу.

В Древнем Египте в третьем тысячелетии до н.э. применялся солнечный календарь, согласованный с сезонами года. Сопоставляя на протяжении многих десятилетий вид предутреннего звёздного неба с днями наступления разливов реки Нила, египетские жрецы установили, что они наступают через несколько дней после первого утреннего (т.е. непосредственно перед восходом Солнца) появления самой яркой звезды неба. Эту звезду прозвали Изидой-Сотис, т.е. слезой богини плодородия Изиды: по древнеегипетскому поверью слёзы Изиды переполняли реки и вызывали их разлив. Началом года считался день утреннего появления на небе звезды Изиды-Сотис, и он приходился всегда на один и тот же сезон года.

В древних крупных централизованных государствах, при их правителях, были придворные жрецы-астрологи, которые были обязаны вести наблюдения за небом и по расположению светил предсказывать наступление небесных явлений, благоприятствующих или препятствующих жизни государства и действиям правителей.

Со временем, к началу VΙ в. до н.э., древние астрономы сумели установить причину солнечных затмений. Они обратили внимание на покрытия звёзд Луной при её движении по небу и на исчезновение Луны во время солнечных затмений, а отсюда пришли к выводу, что Луна встречается с Солнцем и заслоняет его.

Можно привести много примеров, когда вычисление обстоятельств и дат солнечных затмений позволило установить или уточнить не только даты исторических событий, но и системы древних летоисчислений.

Изучение древних солнечных затмений помогает науке уточнить многие даты исторических событий и даже внести коррективы в их последовательность. Но почему же при таких исследованиях отдаётся предпочтение полным или почти полным солнечным затмениям, а не лунным? Всё дело в том, что каждое полное солнечное затмение происходит в узкой и притом определённой полосе земной поверхности, а от года к году положение этой полосы значительно меняется, да и Солнце в разные месяцы года бывает в различных созвездиях. Поэтому, по местности, в которой происходит полное (или почти полное) солнечное затмение, можно вычислениями установить его точную дату.

Лунные же затмения видны со всего ночного полушария Земли, и следовательно, даже за сравнительно небольшой промежуток времени в каждой местности может произойти несколько таких затмений, даты которых вычисляются тоже с большой точностью. Но установить соответствие одной из вычисленных дат определённому историческому событию бывает затруднительно, хотя и возможно.

Однако изучение древних солнечных затмений имеет не только исторических, но и астрономический интерес, так как путём сравнения перемещений лунной тени по земной поверхности можно установить естественную эволюцию движения Луны, и именно такое сравнение впервые навело на мысль о непрерывном (вековом) незначительном замедлении вращения Земли. Это замедление ныне окончательно обнаружено, хотя и составляет всего лишь 0,0014 сек за столетие.

Солнечные и лунные затмения принадлежат к таким же естественным явлениям, как и всё остальное в природе, и, изучив закономерности этих явлений, современная астрономия имеет возможность за много лет вперёд вычислять их наступление.

Однако ещё в глубокой древности астрономы-астрологи обязаны были предсказывать затмения и они, как правило, умели это делать, хотя и не знали истинных причин этих явлений. Просто из многовековых наблюдений затмений была обнаружена закономерность в их повторении, используя которую астрологи предсказывали наступление предстоящих затмений.

**1. Движение тел солнечной системы**

Если в ясную ночь пронаблюдать звёздное небо в течение нескольких часов, то легко заметить, что небесный свод, как одно целое, со всеми находящимися на нём светилами плавно вращается около некоторой воображаемой оси, проходящей через место наблюдения. Это вращение небесного свода и светил называется суточным движением, так как одно полное обращение совершается за сутки. Вследствие суточного вращения звезды и другие небесные тела непрерывно меняют своё положение относительно сторон горизонта.

Если наблюдать суточное движение звёзд в северном полушарии Земли (но не близко к её полюсу) и при этом стоять лицом к южной стороне горизонта, то их вращение происходит слева направо, т.е. «по часовой стрелке». На восточной стороне горизонта (если наблюдать не на полюсе Земли) звезды восходят, поднимаются выше всего над южной стороной горизонта и заходят на западной стороне. При этом каждая звезда всегда восходит в одной и той же точке восточной стороны горизонта и заходит всегда в одной и той же точке западной стороны. Максимальная высота над горизонтом для каждой данной звезды и для данного места наблюдения также всегда постоянна.

Если же стать лицом к северной стороне горизонта, о наблюдения покажут, что одни звёзды будут также восходить и заходить, а другие – описывать полные круги над горизонтом, вращаясь вокруг общей неподвижной точки. Эта точка называется северным полюсом мира.

Солнце и Луна, так же как и звёзды, восходят на восточной стороне, выше всего поднимаются над южной и заходят на западной стороне. Но, наблюдая восход и заход этих светил, можно заметить, что в разные дни года. Они восходят, в отличие звёзд, в разных точках восточной стороны горизонта и заходят также в разных точках западной стороны.

Так, Солнце в начале зимы восходит на юго-востоке, а заходит на юго-западе. Но с каждым днём точки его восхода и захода передвигаются к северной стороне горизонта. При этом с каждым днём Солнце в полдень поднимается над горизонтом всё выше и выше, день становится длиннее, ночь – короче.

В начале лета, достигнув некоторого предела на северо-востоке и на северо-западе, точки восхода и захода Солнца начинают перемещаться в обратном направлении, от северной стороны горизонта к южной. При этом полуденная высота Солнца и продолжительность дня начинают уменьшаться, а продолжительность ночи – увеличиваться. Достигнув некоторого предела в начале зимы, точки восхода и захода Солнца снова начинают передвигаться к северной стороне неба и все описанные явления повторяются.

Из элементарных и не очень продолжительных наблюдений легко заменить, что Луна не остаётся всё время в одном и том же созвездии, а передвигаясь с запада на восток примерно на 13˚ в сутки. Перемещаясь по 12 созвездиям, Луна обходит полный круг по небу за 27,32 суток.

Ещё в глубокой древности среди звёзд зодиакальных созвездий было замечено пять небесных светил, внешне очень похожих на звёзды, но отличающихся от последних тем, что они не сохраняют одного и того же положения в созвездиях, а «блуждают» по ним подобно Солнцу и Луне. Эти тела были названы планетами, что значит «блуждающие светила». Древние римляне дали планетам имена своих богов: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. В XVIII–XX вв. были открыты ещё три планеты: Уран (в 1781 г.), Нептун (в 1846 г.) и Плутон (в 1930 г.).

Планеты перемещаются по зодиакальным созвездиям большую часть времени с запада на восток, но часть пути и с востока на запад. Первое движение, т.е. такое же, как у Солнца и Луны, называется прямым, второе, с востока на запад, – попятным движением [5].

**1.1 Законы Кеплера**

Современник Галилея Иоганн Кеплер (1571–1630 гг.), прозванный «законодателем неба», родился в маленьком вюртембергском городке Вейле в бедной семье. Видимо его замечательные способности обратили на себя внимание, и он получил возможность поступить в университет. Плодом его девятилетней упорной работы явился его труд «Новая астрономия», изданный в 1609 г.

В этой книге Кеплер устанавливает такой кинематический закон: площади, описываемые радиус-вектором планеты, пропорциональны временам. Этот закон. Называемый законом площадей, есть коренное преодоление традиционного учения о равномерности планетных движений.

В 1619 г. появилось новое сочинение Кеплера: «Пять книг Иоганна Кеплера о гармониях мира».

В настоящее время три закона, установленные Кеплером, обычно формулируются следующим образом:

Первый закон. Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых (общем для всех планет) находится Солнце.

Второй закон. Радиус-вектор планеты в равные времена описывает равные площади.

Третий закон. Квадраты времён сидерических обращений планет вокруг Солнца пропорциональны кубам больших полуосей их орбит [2].

Так как площади, описываемые радиус-вектором в одинаковые промежутки времени, равны, то соответствующие им дуги орбиты неодинаковы и линейная скорость на орбите меняется – наибольшего значения она достигает в перигелии, наименьшего – в афелии.

Три закона Кеплера представляют собой кинематику так называемого невозмущенного движения планет.

**1.2 Элементы эллиптической орбиты**

Движение планеты будет вполне определено, если известны плоскость, в которой лежит её орбита, размеры и форма этой орбиты, её ориентировка в плоскости и, наконец, момент времени, в который планета находится в определённой точке орбиты. Величины, определяющие орбиты планеты, называются элементами её орбиты.

За основную плоскость, относительно которой определяется положение орбиты, принимается плоскость эклиптики.

Две точки, в которых орбита планеты пересекается с плоскостью эклиптики, называются узлами – восходящим и нисходящим. Восходящий узел тот, в котором планета пересекает эклиптику, удаляясь от её южного полюса.

Эллиптическую орбиту планеты определяют следующие 6 элементов:

1. Наклонение плоскости орбиты к плоскости эклиптики. Наклонение может иметь любые значения между 0 и 180˚. Если 0<i<90˚, то планета движется вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля (прямое движение); если 90˚<i<180˚, то планета движется в противоположном направлении (обратное движение).
2. Долгота (гелиоцентрическая) восходящего узла Ω, т.е. угол между направлениями из центра Солнца на восходящий узел Ω и на точку весеннего равноденствия. Долгота восходящего узла может иметь любые значения от 0 до 360˚. Долгота восходящего узла Ω и наклонение определяют положение плоскости орбиты в пространстве.
3. Угловое расстояние ω перигелия от узла, т.е. угол между направлениями из центра Солнца на восходящий узел Ω и на перигелий Π. Он отсчитывается в плоскости орбиты планеты в направлении её движения и может иметь любые значения от 0 до 360˚. Угловое расстояние перигелия ω определяет положение орбиты в её плоскости.
4. Большая полуось эллиптической орбиты, которая однозначно определяет сидерический период обращения T планеты. Часто одновременно с ней даётся в качестве элемента среднее суточное движение , т.е. средняя угловая скорость планеты за сутки.

1. Эксцентриситет орбиты, где и – полуоси эллиптической орбиты. Большая полуось и эксцентриситет определяют размеры и форму орбиты.

1. Момент прохождения через перигелий, или положение планеты на орбите в какой-нибудь определённый момент времени.

Часто вместо элемента ω, т.е. расстояния перигелия от узла, берут элемент , называемый долготой перигелия. Часто также вместо элемента T пользуются углом между направлением на перигелий и радиус-вектором, направленным к планете, в заданный момент времени

Все планеты движутся только по эллиптическим орбитам. Гиперболические и (условно) параболические орбиты бывают у комет и метеорных тел [5].

**1.3 Движение Земли**

Так как наблюдатель вместе с Землёй движется в пространстве вокруг Солнца почти по окружности, то направление с Земли на близкую звезду должно меняться и близкая звезда должна казаться описывающей на небе в течение года некоторый эллипс. Этот эллипс, называемый параллактическим, будет тем более сжатым, чем ближе звезда к эклиптике и тем меньшего размера, чем дальше звезда от Земли.

Движение Земли вокруг Солнца происходит в том направлении, что и вращение Земли вокруг оси, и неравномерно. При этом ось вращения Земли всегда наклонена к плоскости орбиты Земли под углом 66˚33'. Поэтому нам и кажется, что Солнце так же неравномерно перемещается по небесному своду среди звёзд, так же с запада на восток, но по окружности (эклиптике), плоскость которой наклонена к плоскости небесного (и земного) экватора под углом 23˚27'= 90˚ – 66˚33' [5].

У звезды, находящейся в полюсе эклиптики, эллипс превратиться в малый круг, а у звезды, лежащей на эклиптике, – в отрезок дуги большого круга, который земному наблюдателю кажется отрезком прямой. Большие полуоси параллактических эллипсов равны годичным параллаксам звёзд.

Следовательно, наличие годичных параллаксов у звёзд является доказательством движения Земли вокруг Солнца.

Вторым доказательством движения Земли вокруг Солнца является годичное аберрационное смещение звёзд, открытое ещё в 1728 г. английским астрономом Брадлеем при попытке определить годичный параллакс звезды γ Дракона.

Наблюдатель, находящийся на поверхности Земли, участвует в двух её основных движениях: в суточном вращении вокруг оси и в годичном движении Земли вокруг Солнца. Поэтому различают суточную и годичную аберрации.

Суточная аберрация есть следствие сочетания скорости света со скоростью суточного вращения наблюдателя, а годичная – со скоростью его годичного движения.

Различие между параллактическим и аберрационным смещением заключается в том, что первое зависит от расстояния до звезды, второе только от скорости движения Земли по орбите.

Большие полуоси параллактических эллипсов различны для звёзд, находящихся на разных расстояниях от Солнца, и не превосходят 0'', 76, тогда как большие полуоси аберрационных эллипсов для всех звёзд, независимо от расстояния, одинаковы и равны 20'', 50.

Кроме того, параллактическое смещение звезды происходит в сторону видимого положения Солнца, аберрационное же смещение направлено не к Солнцу, а к точке, лежащей на эклиптике, на 90˚ западнее Солнца [5].

**1.4 Движение Луны**

Движение Луны является одним из самых трудных для исследования по двум причинам:

1. Возмущения в движении Луны очень велики;
2. Луна близка к Земле, и поэтому в её движении заметны такие отклонения, которые ускользают при наблюдении более далеких небесных тел.

Видимое движение Луны на фоне звёзд есть следствие действительного движения Луны вокруг Земли. Оно сопровождается непрерывным изменением её внешнего вида, характеризуемого фазой Луны. В некоторые дни Луна совсем не видна на небе.

С незапамятных времён люди знали, что Луна перемещения по звёздному небу в том же направлении, что и Солнце, т.е. в сторону, противоположную видимому вращению небесной сферы, но значительно быстрее Солнца. Наблюдения привели к точному установлению видимого пути Луны на небе. Оказалось, что плоскость, в которой движется Луна, наклонена к плоскости эклиптики под углом 5˚8'.

Скорость видимого суточного движения Луны среди звёзд равна 360˚: 27,32, т.е. 13˚, 18, так как Луна завершает своё обращение от какой-либо звезды до той же звезды приблизительно в 27,32 сут. Это так называемое звёздное или сидерическое время обращения Луны или сидерический (звёздный) месяц. Он представляет собой среднее значение периода обращения Луны вокруг Земли.

Фазы Луны постепенно переходят одна в другую в следующей последовательности: новолуние – на небе всю ночь совершенно не видно Луны; первая четверть – Луна видна в виде полукруга выпуклостью вправо; полнолуние – виден полный круг Луны; последняя четверть – Луна видна опять в виде полукруга, обращенного выпуклостью влево.

Промежуток времени между двумя соседними новолуниями называется синодическим месяцем. Вследствие эксцентриситета лунной и земной орбит продолжительность синодического месяца может меняться в пределах 13 ч. Среднее её значение равно 29,53 сут (приблизительно).

То, что синодический месяц длиннее сидерического, объясняется так: за то время, в течение которого Луна обойдёт вокруг Земли, сама Земля переместиться по своей орбите относительно Солнца и взаимное расположение этих трёх тел будет иное.

**2. Солнечные затмения**

Наши предки во время солнечного затмения приходили в ужас, но теперь-то мы знаем, что ничего страшного в этом нет: затмение Солнца – это явление кратковременной проекции диска Луны на видимый диск Солнца, при котором тень, отброшенная Луной, перемещается по земной поверхности.

В далёкие от нас времена солнечные затмения вызывали у людей суеверный ужас. Не зная причин затмений, невежественные люди дорисовывали наблюдаемую картину своим воображением.

Одни полагали, что солнечные затмения представляют собой особые знамения, которыми боги выражают свой гнев, вызванный неблаговидными поступками народов, целых государств или их правителей, и предрекают многие несчастья – голод, разорение, нападение сильных и жестоких врагов, потоп, массовые болезни, вымирание и другие тяжёлые невзгоды или даже конец мира.

Другие видели в этом явлении нападение на Солнце огромного чудовища – дракона, пытающегося сожрать небесное светило. Малодушные в панике разбегались, стремясь укрыться от солнечного затмения и гнева богов, а более храбрые, стремясь спасти Солнце от дракона, быстро вооружались подручными средствами – бубнами, барабанами, кастрюлями, сковородками, луками со стрелами, копьями и камнями, словом, всем тем, что сразу попадалось под руку, и, подняв невообразимый шум, метали стрелы, копья и камни в чудовище.

И к радости своей скоро обнаруживали, как из-за чёрной круглой заслонки на небе снова появляется узкий солнечный серп, исчезают звёзды и лучистое сияние, быстро светлеет и наконец, Солнце снова принимает свой обычный вид.

В своём движении вместе с Землёй вокруг Солнца Луна часто заслоняет (покрывает) звёзды зодиакальных созвездий. Значительно реже происходят покрытия Луной планет, оказавшихся на небе в непосредственной близости к лунному пути.

Периодически Луна частично или полностью заслоняет Солнце – происходят солнечные затмения [7, стр. 4].

Рис. 1. Полное солнечное затмение

**2.1 Причины наступления солнечных затмений**

Освещаемая Солнцем Луна отбрасывает в пространство сходящийся конус тени и окружающий его расходящийся конус полутени. Когда лунная тень и полутень падают на земную поверхность, на ней происходит солнечное затмение [1].

Рис. 2. Схема солнечного затмения

Из мест, оказавшихся в лунной тени (А на рис. 2), видно полное солнечное затмение (Солнце полностью закрыто Луной).

В местностях, покрытых лунной полутенью (В и С на рис. 2), происходит частное солнечное затмение (солнечный диск заслонён Луной не полностью): из южной зоны (С) полутени видна закрытой северная (верхняя) часть солнечного диска, а из северной зоны (В) – южная (нижняя) его часть.

Рис. 3. Фаза солнечного затмения.

Так как: ,

то

При частном солнечном затмении и фаза.

На границе лунной полутени (DE на рис. 2) наблюдается внешнее касание дисков, и фаза, а за этой границей затмения вообще не происходит. Следовательно, солнечные затмения принадлежат к оптическим явлениям.

**2.2 Условия наступления солнечных затмений**

В разных точках Земли солнечное затмение наступает в разное время. Вследствие движения Луны вокруг Земли и вращения Земли вокруг своей оси тень от Луны перемещается по земной поверхности приблизительно с запада на восток, образуя полосу тени длиной в несколько тысяч километров и шириной в среднем около 200 км (максимальная ширина 270 км).

Рис. 4. Почему не всегда бывают солнечные затмения

Причину и виды солнечных затмений можно показать на простом опыте, демонстрируемом в затемнённом помещении.

Для этого необходимо поставить на один конец длинного стола электрическую лампу (лучше в шаровом матовом абажуре), на другой конец – географический глобус, а между ними нужно подвесить небольшой шарик на нитке. Освещаемый лампой, шарик будет отбрасывать тень и полутень на глобус, т.е. демонстрировать полное и частное солнечное затмение. Сместив шарик несколько вверх и вниз, можно пропустить его тень мимо глобуса, оставив на нём только полутень, что покажет причину частных солнечных затмений. Смещение шарика далее в том же направлении до схода его полутени с глобуса, продемонстрирует новолуние без солнечных затмений.

Солнечное затмение начинается с правого, западного края Солнца, на диске которого появляется небольшой ущерб, имеющий форму окружности того же радиуса. Постепенно фаза затмения увеличивается, и солнечный диск принимает вид непрерывно суживающегося серпа, значительно отличающегося по своей форме от серповидных лунных фаз, ограниченных не круговым, а эллиптическим терминатором.

Если затмение частное, то в середине затмения его фаза достигает некоторого наибольшего значения, а затем снова уменьшается, и затмение оканчивается на левом, восточном краю солнечного диска. При частных затмениях ослабления солнечного света не заметно (за исключением затмений с наибольшей фазой, близкой к 1), и фазы затмения видны лишь при наблюдениях сквозь тёмный светофильтр.

В полосе полной фазы солнечное затмение тоже начинается с частных фаз, но когда Луна полностью закроет Солнце, наступает полумрак, как в тёмные сумерки, и на потемневшем небе появляются самые яркие звёзды и планеты, а вокруг Солнца видно красивое лучистое сияние жемчужного цвета – солнечная корона, представляющая собой внешние слои солнечной атмосферы, не видимые вне затмения из-за их небольшой яркости в сравнении с яркостью дневного неба [2].

Рис. 5. Фотография солнечной короны

Над всем горизонтом вспыхивает заревое кольцо – это в местность, покрытую лунной тенью, проникает солнечный свет из соседних зон, где полного затмения не происходит, а наблюдается только частное. Ведь сияние и голубые лучи, входящие в солнечный свет, обильно рассеиваются земной атмосферой, а красные и оранжевые проходят сквозь неё почти беспрепятственно, и даже плотный приземной слой воздуха не служит им помехой.

Поэтому-то этот слой воздуха и воспринимается окрашенным в красновато-розовый цвет.

Затмения бывают, кольцеобразные (рис. 6), полные (рис. 7) и частные [2, стр. 52].

Полное затмение – лучшее время для изучения солнечной атмосферы: серебристой короны и более низкого слоя – красной хромосферы, над которой вздымаются огненные фонтаны протуберанцев [3, стр. 292].

Рис. 6. Схема кольцеобразного солнечного затмения

Рис. 7. Схема полного солнечного затмения

Вскоре, чаще всего через 2 – 3 минуты, Луна открывает западный солнечный край, полная фаза затмения оканчивается, пропадает заревое кольцо, быстро светлеет, исчезают звёзды, планеты и солнечная корона.

Между прочим, вид солнечной короны меняется из года в год, от растрёпанного во все стороны, до вытянутого вдоль солнечного экватора. Очевидно, вытянутый вид короны дал повод древним египтянам изображать Солнце крылатым.

В каждой местности затмение начинается и оканчивается в различные моменты времени и его обстоятельства, в том числе и продолжительность, зависят не только от скорости движения лунной тени (полутени), но и от расположения в ней этой местности.

Вычисленные обстоятельства затмения наносятся на географическую карту, которая в этом случае называется картой солнечного затмения. На ней изображаются линии, соединяющие точки земной поверхности с теми или иными одинаковыми величинами и поэтому называемые изолиниями (от греческого «изоз» – равный, одинаковый). Так, изохроны начала (конца) частного затмения проходят через точки, в которых частное затмение начинается (оканчивается) в один и тот же момент в определённой системе счёта времени, например, по московскому времени. Изофазы всегда соединяют точки, в которых наибольшая фаза затмения одинакова (правильнее их называть изофазами наибольшей фазы).

Продолжительность всего затмения и его полной фазы на центральной линии подсчитывается по диаметрам лунной полутени и тени и по скорости их перемещения по земной поверхности. Вычисления эти, как и вычисления всех обстоятельств солнечных затмений для разных местностей Земли, очень сложны, поскольку скорость лунной тени (и полутени) на земной поверхности зависит от величины и направления геоцентрической скорости Луны, от географической широты местности и от угла наклона конуса лунной тени к поверхности этой местности.

Но всё же, ради наглядности, можно показать хотя бы приближённый принцип вычисления продолжительности полного солнечного затмения на центральной линии полосы полной фазы.

Коль скоро движение Луны и вращение Земли происходит в прямом направлении, то лунная тень перемещается по земной поверхности примерно со скоростью [4, стр. 79]:

,

где – геоцентрическая скорость Луны и – линейная скорость точек земной поверхности в направлении движения лунной тени.

Очевидно, что наибольшая продолжительность полной фазы затмения возможна только при максимальном диаметре лунной тени и лишь в экваториальной зоне Земли, где линейная скорость точек земной поверхности наибольшая и близка к = 0,47 км/сек.

Максимальный же диаметр лунной тени, как мы уже знаем, возможен лишь при наименьшем геоцентрическом расстоянии Луны, когда её скорость приближается к =1,08 км/сек. Поэтому наибольшая продолжительность полной фазы солнечного затмения

а более точные расчёты приводят к значению:

.

**2.3 Периодичность солнечных затмений**

Частные солнечные затмения происходят в каждой местности, естественно, чаще полных затмений, так как диаметр лунной полутени, как было уже показано, значительно превышает поперечник лунной тени.

Так, например, на долю Москвы за 30 лет, с 1952 по 1981 г. включительно, приходится 13 частных солнечных затмений, т.е. в Москве они происходят в среднем через каждые 2,3 года.

Аналогичная картина присуща и многим другим местам земной поверхности. Но коль скоро при частных солнечных затмениях с небольшой фазой солнечный свет почти не слабеет, то на них просто не обращают внимания и относят затмения Солнца к числу очень редких явлений природы.

Но частные затмения со значительной фазой уже вызывают их интерес, так как изучение серии фотографий последовательных фаз затмения позволяет уточнить движение Луны и при необходимости внести в теорию её движения соответствующие поправки.

Полные же солнечные затмения астрономы наблюдают обязательно, и для этого им зачастую приходится отправляться в очень далёкие экспедиции и заранее, за три-четыре недели до затмения, устанавливать и налаживать научную аппаратуру.

Помимо уточнений для теории движения Луны, сопоставление вычислительных и наблюдаемых контактов и фаз затмения помогает изучать ничтожные уклонения от равномерного вращения Земли, ну, а главная цель наблюдений полных солнечных затмений, – это конечно, изучение солнечной короны, внешние области и лучи которой вне затмения не видны.

За те несколько минут, что длится полная фаза затмения, астрономы успевают на своих инструментах получить многочисленные фотографии короны, снятые в разных цветных лучах, фотографии её спектра, записать посредством саморегистрирующей аппаратуры изменений интенсивности её радиоизлучения и выполнить ещё ряд других наблюдений, крайне необходимых для изучения физической природы Солнца и происходящих на нём процессов.

Это изучение в свою очередь помогает астрономам познавать природу многочисленных звёзд, лишь одной из которых является наше Солнце [8, стр. 297].

**3. Лунные затмения**

Разные чувства вызывает лунное затмение. Можно любоваться медно-красным диском Луны, голубоватым ободком по краю тени, радуясь тому, какое нынче выдалось светлое и яркое затмение.

Рис. 8. Луна – единственный природный спутник Земли

Лунных затмений, особенно полных, боялись не менее чем солнечных, потому что Луна не только покрывалась непонятной тенью, но часто при этом становилась красной, будто обливалась кровью.

Первое полное лунное затмение зарегистрировано в древнекитайских летописях. Вычислено, что оно произошло 29 января 1136 г. до н.э. Последующие три зарегистрированных полных лунных затмения упомянуты в знаменитом труде «Альмагесте» выдающегося древнегреческого астронома Клавдия Птолемея, по древневавилонским летописям. Первое из них произошло в 27 году эры Набонассара или 19 марта 721 г. до н.э., а два последующих – 8 марта и 1 сентября 720 г. до н.э. [8].

В старину тёмно-багровое, кровавое лунное «затмище» пугало. Не говоря уже о тех случаях, когда луна, к удивлению и тревоге очевидцев, вообще исчезала с неба! А вдруг навсегда?!

Древние обитатели Южной Америки инки думали, что Луна покраснела от болезни и если она умрёт, то, пожалуй, сорвётся с неба и упадёт. Зная, что Луна – большая приятельница собак, инки таскали псов за уши, взывая: «Матушка Луна, матушка Луна!». Бедная Луна, заслышав визги и мольбы, собирала все свои силы, чтобы победить болезнь и воскреснуть с прежней яркостью.

Рис. 9. Полное лунное затмение

Норманнам же представлялось, что красный волк Мангарм опять осмелел и напал на Луну. Отважные воины, конечно, понимали, что не могут причинить вреда небесному хищнику, но, зная, что волки не выносят шума, кричали, свистели, били в барабаны. Шумовая атака продолжалась иной раз два, а то и три часа без перерыва.

В Древнем Китае в третьем тысячелетии до н.э. тоже был разработан лунный календарь, в который периодически включались дополнительные месяцы для его согласования с сезонами года, а впоследствии создавались и лунно-солнечные календари различных систем, основанные на смене лунных фаз, так и на смене сезонов года. Подобные календари разрабатывались во многих древних государствах, и их целью было ввести счёт по лунным фазам, но удерживать начало календарного года на определённом сезоне естественного солнечного года. И лишь в середине XΙX в. на помощь историкам пришли астрономы.

А в Центральной Азии затмение проходило в полной тишине. Люди безучастно глядели, как злой дух Раху проглатывает Луну. Никто не шумел и не махал руками. Ведь всякому известно, что добрый дух Очирвани когда-то отсёк демону полтуловища и Луна, пройдя сквозь Раху, как через рукав, засветит вновь.

На Руси всегда считалось, что затмение предвещает беду: «Месяц погибе и бысть аки кровь… и по двою часу паки свету исполнился (а через два часа опять просветлел)». И вспоминает летописец, как качали головами мудрые «стари людие» и рекли: «Не благо есть сяково знамение!».

**3.1 Причины наступления лунных затмений**

Причина лунных затмений стала в какой-то степени понятна уже восточным мудрецам много тысяч лет назад. Но, как и все важные знания о небе, она была жреческой тайной. Греческие учёные осмыслили и рассекретили халдейские и египетские премудрости.

Затмения Луны происходят всегда в полнолуние, когда Солнце, Земля и Луна выстраиваются в один ряд. Освещённая Солнцем Земля отбрасывает в пространство тень. В длину тень имеет вид конуса, вытянутого на миллион километров; поперёк она круглая, а на расстоянии 360 тыс. километров от Земли её диаметр в 2,5 раза больше лунного. Когда Луна целиком войдёт в обширное пространство тени, наступает полная фаза затмения, длящаяся иногда более полутора часов, пока краешек нашего спутника опять не появится на свету.

Итак, круглое и красное – это пространство земной тени, которую пересекает Луна. Аристотель чётко сформулировал эту истину и сделал очень важный вывод: раз конус тени во всякое затмение имеет круглое сечение, значит, и Земля наша округла и может быть только шаром. Это было первое (но не единственное) доказательство шарообразности Земли.

Если бы плоскость орбиты Луны совпадала с плоскостью земной орбиты (плоскостью эклиптики), то затмения Луны повторялись бы каждое полнолуние, т.е. регулярно через 29,5 суток. Но месячный путь Луны наклонён к плоскости эклиптики на 5˚, и Луна дважды в месяц лишь пересекает «круг затмений» в двух «рискованных» точках. Эти точки называются узлами лунной орбиты. Следовательно, для того чтобы произошло лунное затмение, необходимо совпадение двух независимых условий: должно полнолуние и Луна в это время должна пребывать а узле своей орбиты или где-то рядом.

В зависимости от того, насколько близко Луна окажется к узлу орбиты в час затмения, она может пройти через середину конуса тени, и затмение будет максимально продолжительным, а может пройти краем тени, и тогда мы увидим частное лунное затмение. Конус земной тени окружён полутенью. В эту область пространства попадает лишь часть солнечных лучей, не заслонённая Землёй. Поэтому бывают полутеневые затмения. О них тоже сообщается в астрономических календарях, но эти затмения неразличимы для глаза, только фотоаппарат и фотометр способны отметить помрачение Луны во время полутеневой фазы или полутеневого затмения. Когда же полнолуние случается далеко от узлов лунной орбиты, Луна проходит выше или ниже тени и затмения не происходит.

Рис. 10. Схема лунного затмения

Восточные жрецы, ещё не очень чётко всё это понимая, веками вели упорный счёт полным и частным затмениям. На первый взгляд в расписании затмений не обнаруживается никакого порядка. Бывают годы, когда случается три лунных затмения, а бывает, что и ни одного. К тому же лунное затмение видно только с той половины земного шара, где Луна в этот час находится над горизонтом, так что с любого места на Земле, например из Египта, можно наблюдать только чуть больше половины всех лунных затмений.

**3.2 Условия наступления лунных затмений**

Во время затмения Луна прячется в тень Земли и, казалось бы, должна каждый раз совсем исчезать из виду, потому что Земля непрозрачна. Так бы и происходило, если бы Земля не имела атмосферы. В действительности же солнечные лучи, касательные к поверхности земного шара, пронизывая атмосферу, рассеиваются и попадают в тень Земли. Сквозь толщу воздуха лучше всего проходят красные и оранжевые лучи, они-то и окрашивают диск Луны в багровый, кирпичный или медный цвет в зависимости от состояния атмосферы.

Земля, освещаемая Солнцем, отбрасывает от себя тень (и полутень) в сторону, противоположную Солнцу [5, стр. 148].

Рис. 11. Схема лунного затмения

Так как диаметр Солнца больше диаметра Земли, то её тень подобно лунной тени имеет форму постепенно суживающегося конуса. Конус земной тени длиннее конуса лунной, а его диаметр на расстоянии Луны превышает диаметр Луны больше, чем в 2,5 раза.

При движении вокруг Земли Луна может попасть в конус земной тени, и тогда произойдёт лунное затмение. Поскольку во время затмения Луна в действительности лишается солнечного света, то лунное затмение видно на всём ночном полушарии Земли и для всех точек этого полушария начинается в один и тот же физический момент и заканчивается так же одновременно. Но эти моменты по местному времени каждой точки Земли, конечно, различны и зависят от географической долготы места.

Так как Луна движется с запада на восток, то первым входит в земную тень левый край Луны. На нём появляется ущерб, который постепенно увеличивается и видимый диск Луны принимает форму серпа, отличающегося от серпа лунных фаз тем, что линия, отделяющая светлую часть диска Луны от затемнённой, представляет собой дугу окружности с радиусом, приблизительно в 2,5 большим радиуса лунного диска, тогда как при лунных фазах терминатор имеет вид полуэллипса.

Рис. 12. Фазы (формы видимой части) Луны

Если Луна полностью войдёт в земную тень, то произойдёт полное затмение Луны, если в тени окажется только часть Луны, то затмение будет частным. Так как диаметр земной тени на расстоянии Луны от Земли может превышать диаметр Луны до 2,8 раза, то полное лунное затмение может продолжаться почти до двух часов [6, стр. 30].

Полному или частному лунному затмению предшествует (и завершает их) полутеневое лунное затмение, когда Луна проходит сквозь земную полутень. Полутеневое затмение может быть и без последующего наступления теневого затмения.

Совершенно очевидно, что затмения Луны могут происходить только во время полнолуний.

В отличие от солнечных, лунные затмения представляют собой не оптическое, а физическое явление прохождения Луны сквозь земную тень, имеющую, как и у Луны, форму сходящегося круглого конуса, окруженного расходящейся полутенью [3, стр. 86].

Рис. 13. Схема лунного затмения

В зависимости от гелиоцентрического расстояния Земли, длина её тени может быть различной – от 1359 тыс. км (Земля в перигелии) до 1405 тыс. км (Земля в афелии), а при среднем расстоянии близка к 1382 тыс. км, т.е. всегда больше геоцентрического расстояния Луны.

Участок эклиптики, на котором происходят лунные затмения, называется зоной лунных затмений и её границы определяются внешним касанием Луны с земной тенью (полнолуния 2,5,8,11 на рис. 14).

Рис. 14. Условия наступления лунных затмений. Луна и земная тень при различных полнолуниях

При небольших частных фазах лунного затмения земная тень на Луне кажется чёрной из-за резкого контраста с яркой, незакрытой тенью поверхностью Луны.

Как правило, на протяжении одного календарного года происходит одно-два лунных затмения, в некоторые годы их может не быть вообще, а иногда происходит и третье, которое возможно в самом конце года из-за отступления лунных узлов, при условии, конечно, что первое из трёх затмений произошло в начале года.

В заключение отметим, что в очень редких случаях бывает и четыре лунных затмения в год, когда в зоне одного из лунных узлов происходит подряд два затмения, с интервалом в 30 дней, но тогда оба этих затмения и ещё одно – обязательно частные полутеневые, а четвёртое может быть и частным теневым, но с очень небольшой фазой.

Наблюдения полных лунных затмений представляют значительный научный интерес, так как позволяют изучать структуру и оптические свойства земной атмосферы, а также тепловые свойства различных участков лунной поверхности, в том числе и изменение их температуры при разных фазах затмения.

**Заключение**

Последовательность затмений повторяется почти точно в прежнем порядке через промежуток времени, который называется саросом (сарос – египетское слово, означающее «повторение»). Сарос, известный ещё в древности, составляет 18 лет и 11,3 суток. Действительно, затмения будут повторяться в прежнем порядке (после какого-либо начального затмения) спустя столько времени, сколько необходимо, чтобы та же фаза Луны случилась на том же расстоянии Луны от узла её орбиты, как и при начальном затмении.

В течение каждого сароса происходит 70 затмений, из них 41 солнечное и 29 лунных. Таким образом, солнечные затмения происходят чаще лунных, но в данной точке на поверхности Земли чаще можно наблюдать лунные затмения, так как они видны на целом полушарии Земли, тогда как солнечные затмения видны лишь в сравнительно узкой полосе. Особенно редко удаётся видеть полные солнечные затмения, хотя в течение каждого сароса их бывает около 10 [8, стр. 297].

В данной работе я постаралась полностью раскрыть суть солнечных и лунных затмений, показать их необычайную красоту. В них меня привлекает их загадочность. Даже люди, знакомые с астрономией, редко задумываются над тем, что наше древнее светило мА видим, по существу, голым. Те, кого визит лунной тени застает на открытом воздухе, просто вынуждены поднять глаза к Солнцу – чтобы выяснить, что происходит с нашей милой жёлтой звёздочкой – и увидеть его волшебные золотистые одежды. Зрелище, ради которого учёные иногда забираются вглубь раскалённых пустынь и вечных льдов, на некоторых счастливчиков просто «сваливается с неба». Немногие это оценивают. Жаль. Ведь приход многочисленных зрителей на столь редкое и красивое небесное представление можно было бы запросто обеспечить, своевременно сообщив о нём через средства массовой информации.

**Список литературы**

1. Дагаев М.М., Дёмин В.Г., Климишин И.А., Чаругин В.М. Астрономия. – М.: Просвещение, 1983. – C. 406.
2. Попов П.И., Воронцов-Вельяминов Б.А., Куницкий Р.В. Астрономия. – М.: Просвещение, 1967. – C. 603.
3. Энциклопедия «Аванта Плюс». – M.: Наука, 2002. – С. 1357.
4. Дагаев М.М. Солнечные и лунные затмения. – М.: Наука, 1978. – C. 579.
5. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. – М.: Наука, 1977. – C. 543.
6. Аксёнов С., Угольников О., Чикмаев В.И. «Ура грандиозному спектаклю природы!» // Ж. «Звездочёт», 1998. – №1. – с. 27.
7. Федотов Д., Остров В. «Золотые одежды Солнца» // Ж. «Вселенная. Пространство. Время», 2006. – №4. – с. 4.
8. Пономарёв С.М. Астрономический календарь. – Н.Н.: 1895. – С. 313.