

# ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ МЕРОПРИЯТИЕ.

## Измерение локальных изменений параметров атмосферы во время солнечного затмения (полного солнечного затмения 2012 г).

### Авторы:

- Mr. **Miguel Ángel Pío Jiménez**. Astronomer of the Institute of Astrophysics of Canary Islands.
- Dr. **Miquel Serra-Ricart**. Astronomer of the Institute of Astrophysics of Canary Islands.
- Sr. **Juan Carlos Casado**. Astrophotographer of tierrayestrellas.com, Barcelona.
- Dr. **Lorraine Hanlon**. Astronomer University College Dublin, Irland.
- Dr. **Luciano Nicastro**. Astronomer Istituto Nazionale di Astrofisica, IASF Bologna.
- Dr. **Davide Ricci**. Astronomer Istituto Nazionale di Astrofisica, IASF Bologna.

### Соавторы:

- Dr. **Eliana Palazzi**. Astronomer Istituto Nazionale di Astrofisica, IASF Bologna.
- Mrs. **Emer O Boyle**. University College Dublin, Irland.

### 1. Цели мероприятия

Целью мероприятия является наблюдение изменений в атмосфере, в частности изменений температуры, вызванных уменьшением потока излучения от Солнца при полном солнечном затмении, когда диск Луны закрывает Солнце. Эти наблюдения будут проводиться на метеорологической станции в Австралии. затмен

#### Цели мероприятия:

- Понимание основных причин затмений.
- Применение математики (алгебры) и основ физики (термодинамики) для определения температуры и измерения потоков излучения на метеостанции.
- Развитие понимания и применение основных методов статистического анализа (расчёт ошибок).
- Обучение навыкам совместной работы, при которой важен вклад каждого из участников.

### 2. Оборудование

Наблюдения будут проводиться на метеостанции, оборудованной приборами для измерений температуры и потока солнечного излучения. Ученики получают доступ к реальным "живым" данным или, на более поздних этапах, к базе архивных измерений. Для проведения занятия будет создано веб-приложение.

### 3. Явление

#### 3.1 Что такое затмение?

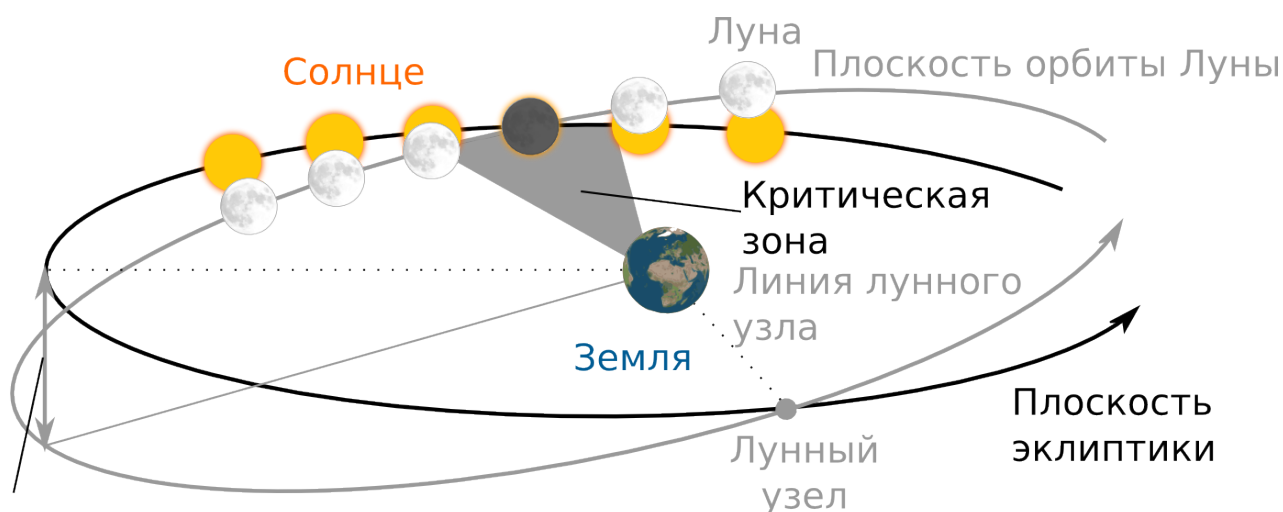
Затмением называют ситуацию, при которой свет от какого-либо из небесных тел временно заслоняется другим. В дальнейшем мы будем рассматривать затмения, происходящие в системе Солнца, Земли и Луны, в которой этот термин применяют по отношению к двум совершенно разным явлениям:

1. **Солнечное затмение** происходит, когда Луна проходит между Солнцем и Землей и, частично или полностью, закрывает Солнце. Это может произойти только в новолуние, когда Солнце, Луна и Земля лежат на одной прямой. При полном затмении солнечный диск целиком затмевается Луной. При частичном и кольцевом затмениях затмевается только часть диска.

2. **Лунное затмение** случается, когда на Луну падает тень Земли. Это явление может произойти только тогда, когда Солнце, Земля и Луна лежат на одной прямой, или же очень близко, и Земля находится посередине. Следовательно, лунные затмения случаются только в полнолуние.

### 3.2 Условия, при которых происходят затмения

Известно, что орбиты Земли и Луны не лежат в одной плоскости, поэтому большую часть времени Луна находится выше или ниже плоскости эклиптики (плоскости, которую задаёт обращение Земли вокруг Солнца). Для того, чтобы случилось затмение, в новолуние (солнечное затмение) или в полнолуние (лунное затмение) Луна должна находиться на эклипктике, или очень близко к ней.

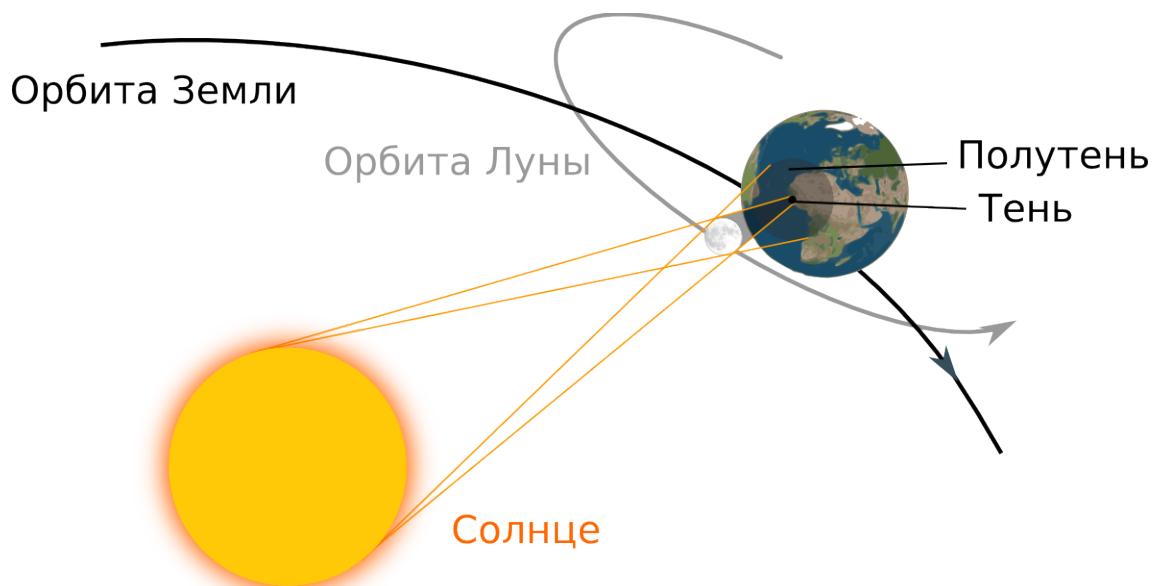


Наклон лунной орбиты  
около  $\sim 5$  градусов

**Рисунок 1:** Плоскость эклиптики и лунная орбита. "Критическая зона" отмечает сегмент орбиты, на котором могут происходить затмения. Линия лунного узла соответствует прямой, соединяющей центр Земли и точку, в которой орбита Луны пересекает плоскость эклиптики.

Условия, при которых происходит солнечное затмение, выполняются два или три раза в год, через каждые 173.31 дня - это так называемые **сезоны затмений**. **Год затмения** - это интервал времени между двумя последовательными парадами (выстраиваниями на одной прямой) Солнца, Луны и Земли, который равен 346.62 дня, т.е. двум сезонам затмений.

Линия узлов лунной орбиты не имеет постоянного направления, она вращается со скоростью приблизительно  $20^\circ$  в год, совершая полный оборот за 18.6 лет. Это значит, что затмения происходят каждый год в разное время. Например, затмения в 2001 году были в январе-феврале, июне-июле и в декабре, затмения в 2003 году - в мае и ноябре, в 2006 -- в марте и сентябре. Из-за движения точки пересечения орбит затмение может произойти в любой части эклиптики.



**Рисунок 2:** Схема расположения областей тени и полутени во время затмения.

### 3.3 Число затмений в год

Минимальное число затмений, которое происходит каждый год - четыре, два солнечных и два лунных.

Максимально возможное число затмений в год - семь, но это бывает очень редко. Возможны следующие комбинации:

- 5 солнечных и 2 лунных затмения
- 5 лунных и 2 солнечных затмения
- 4 солнечных затмения и 3 лунных
- 4 лунных и 3 солнечных затмения

### 3.4 Виды солнечных затмений

В зависимости от длины лунной тени и расстояния между Луной и Землей, различают несколько типов солнечных затмений, как показано на Рисунке 3.

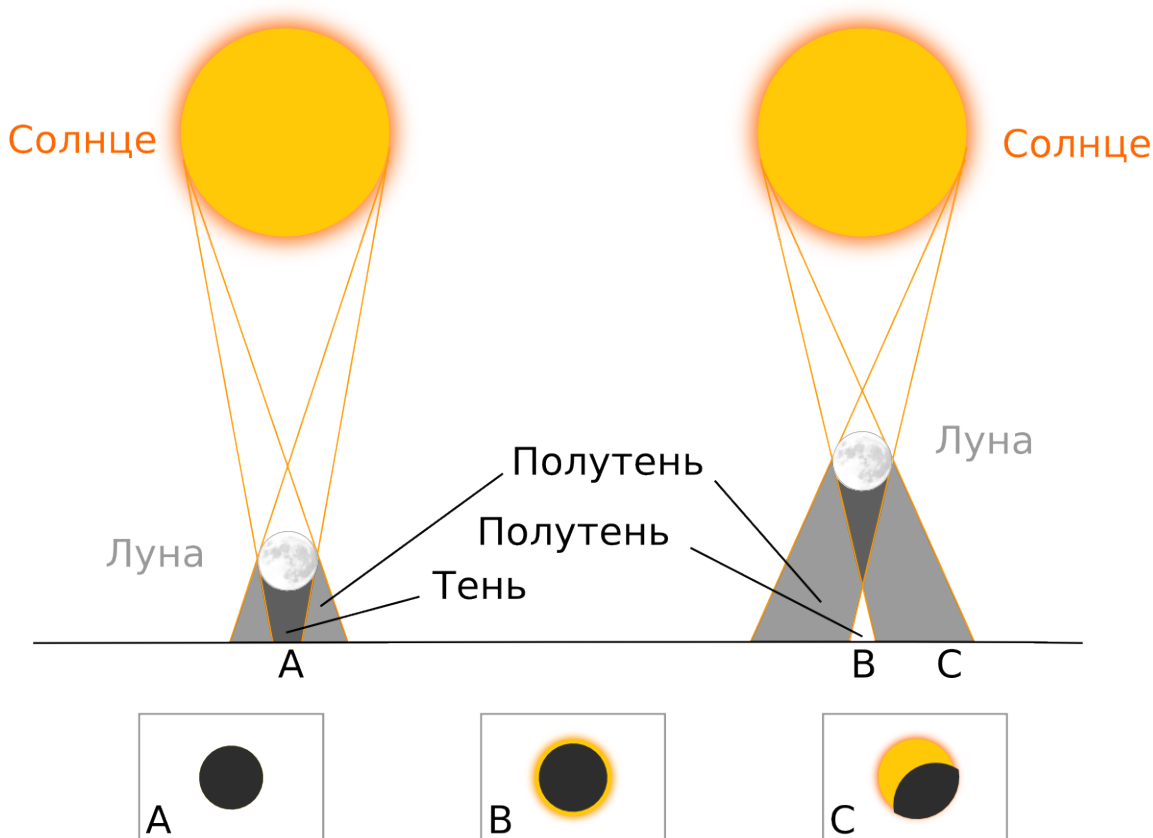
**1) Частное затмение:** Только лунная полутень достигает поверхности Земли (см. Рисунок 3, случай С). Такие затмения случаются всегда в высоких широтах (на юге или на севере).

**2) Кольцевое затмение:** Луна настолько далеко от Земли, что ее полная тень не способна целиком закрыть диск Солнца. Луна, однако, перекрывает большую часть солнечного света, оставляя только узкую кольцеобразную полосу на краю (Рисунок 3, случай В).

**3) Полное затмение:** в этом случае Луна находится достаточно близко к Земле, чтобы её тень достигла поверхности Земли, полностью зарывая весь солнечный диск (Рисунок 3, случай А).

Стоит заметить, что солнечные затмения видны на Земле только благодаря тому, что некоторые моменты года угловые размеры Луны и Солнца совпадают. Сотни миллионов лет назад Луна находилась слишком близко к Земле для того, чтобы так точно и аккуратно закрывать солнечный диск, как сейчас. Из-за приливных сил орбита Луны увеличивается приблизительно на 3.8 см каждый год, и через 1.4 миллиарда лет расстояние между Землей и Луной вырастет на 23500 км. После этого Луна больше не

сможет полностью затмевать солнечный диск. Следовательно, последнее полное солнечное затмение на Земле произойдет через 1.4 миллиарда лет!

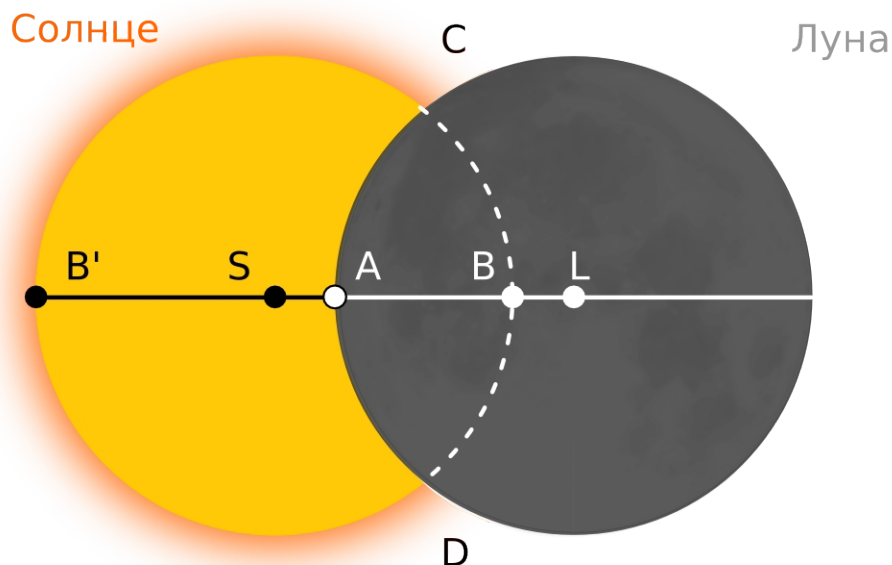


**Рисунок 3:** Схема, показывающая различные виды затмений в зависимости от относительного положения Луны и Земли. Когда Земля оказывается в положении (А), случается солнечное затмение; в (В) можно увидеть кольцевое затмение, тогда как в (С) видно лишь частное затмение.

### 3.5 Как проходят затмения

**Частное затмение:** при частном затмении есть две точки "контакта". Первая точка, обозначающая начало явления, - момент, когда соприкоснутся диски Солнца и Луны. Из-за движения Луны по орбите темная часть солнечного диска становится всё больше, достигает максимума, а затем тень постепенно уходит с поверхности Земли и полный солнечный диск появляется снова. Величина затмения - это доля солнечного диаметра, закрытая Луной (Рисунок 4). Величина выражается как процентной, так и десятичной долей (60% или 0.60). Термин "**потемнение**" относится к доле солнечной поверхности, закрытой Луной (Рисунок 4).

**ОЧЕНЬ ВАЖНО БЕРЕЧЬ ГЛАЗА:** при частичном затмении Солнце остается очень ярким, так что при его наблюдениях нужно соблюдать меры предосторожности.



Величина солнечного затмения:  $m = AB/B'B$

Степень потемнения:  $obsc = \text{площадь}(ACBD)/\text{площадь Солнца}$

**Рисунок 4:** Величина и степень потемнения при солнечном затмении. Величина отражает долю солнечного диаметра, скрытую Луной, тогда как потемнение - долю закрытой поверхности (рисунок J.C. Casado).

**Кольцевое затмение:** При наблюдениях кольцевых затмений отмечают четыре момента контакта между солнечным и лунным дисками. **Первый контакт** - это момент касания двух дисков. Медленно, приблизительно в течение 1.5 часа, лунный диск полностью закрывает солнечную поверхность, происходит **второй контакт**. Затем наблюдается **кольцевая** фаза, завершающаяся **третьим контактом**. Эта фаза может длиться до 12 минут и 30 секунд. **Четвертый контакт** знаменует окончание затмения.

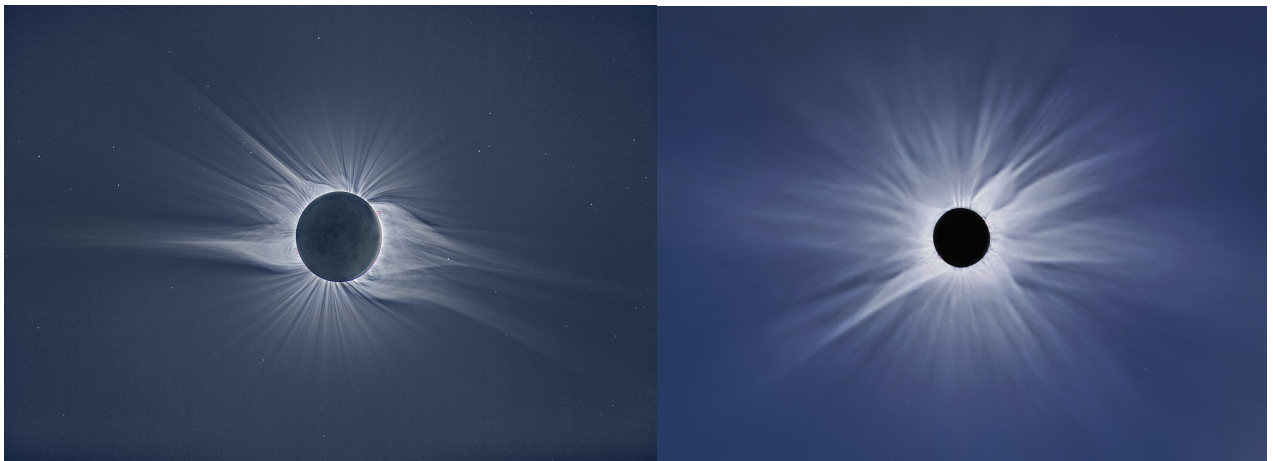
**Полное затмение:** При полном затмении тоже выделяют четыре контакта. Первый контакт и предшествующая стадия похожи на первую стадию кольцевого затмения. Но перед вторым контактом наблюдатель видит драматические изменения освещения. Параметры атмосферы, такие как температура и относительная влажность, также изменяются.

Если наблюдатель находится на возвышении с хорошим обзором вдаль, можно увидеть быстрое приближение лунной тени с запада. В момент второго контакта появляется **бриллиантовое кольцо**, которое становится максимально ярким при полном затмении солнечного диска. Но перед окончательным исчезновением Солнца из-за неровностей лунного диска на краю можно увидеть яркие детали, получившие название **чётки Белла** (Рисунок 5). Затем внезапно появляется внешняя часть солнечной атмосферы (солнечная корона) (Рисунок 6). В первые несколько секунд можно увидеть солнечную хромосферу (газы). Они видны как тонкие выпуклые дуги насыщенного красного цвета. Они быстро исчезают при перемещении лунного диска (Рисунок 7).



**Рисунок 5:** Композитное изображение, показывающее моменты второго и третьего контактов, чётки Белла, неровности и внутренние части короны во время солнечного затмения 22 июня 2009 г, наблюдавшегося недалеко от китайского города Chongqing. (Фотография J.C. Casado / starryearth.com).

Структура яркой, жемчужно-белой солнечной короны (внешних частей атмосферы) зависит от магнитного поля Солнца. Из-за того, что её яркость в 100000 раз меньше яркости Солнца, в обычное время она не видна. В центре лунный диск, похожий на чёрную дыру в небе. Форма и яркость короны зависят от активности Солнца. Один солнечный цикл длится 11 лет. Во время солнечного максимума корона радиально симметрична (на Рисунке 6 справа), а во время минимума -- корона ассиметрична (на Рисунке 6 слева).



**Рисунок 6:** Слева - изображение полного солнечного затмения 1 августа 2008 г из Новосибирска. Показана сумма 67 цифровых снимков, демонстрирующая протяжённые структуры короны, неоднородности, отражённый земной свет и звёзды. Справа - фотография полного затмения 23 ноября 2003 года, полученная с борта самолёта над Антарктикой. Снимки и обработка: JC Married / starryearth.com.



**Рисунок 7:** Хромосфера, видимая во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года, снятая неподалёку от города Ал Джабаб в ливийской пустыне. Показана композиция снимков, сделанных в начале и конце полной фазы. Снимки J.C. Casado / starryearth.com.

### **3.6 Видимость и длительность**

Солнечные затмения - не такие нечастые явления, как можно было бы подумать. Однако, из-за небольших размеров лунной тени, они наблюдаются только в относительно узкой полосе на Земном шаре. Это значит, что в данной точке Земли, например в данном городе, полное затмение наблюдается в среднем раз в 375 лет. Следовательно, для того чтобы стать очевидцем затмения, нужно совершить далекое путешествие. В среднем полное затмение длится около 3 минут, а самое длинное - 7 минут 30 секунд.

#### **3.6.1. Полное солнечное затмение 2012 года**

Со времени последнего затмения (с 11 июля 2010 г) прошло больше года. Лунная тень вернётся вновь на поверхность Земли 13 ноября 2012 г. Путешествие тени начнётся с Австралии и пройдёт по Тихому океану. Максимум затмения приходится на середину Тихого океана, продолжительность 4 минуты 2 секунды, когда Солнце будет на высоте 68 градусов над горизонтом в 22:11 по Гринвичу.



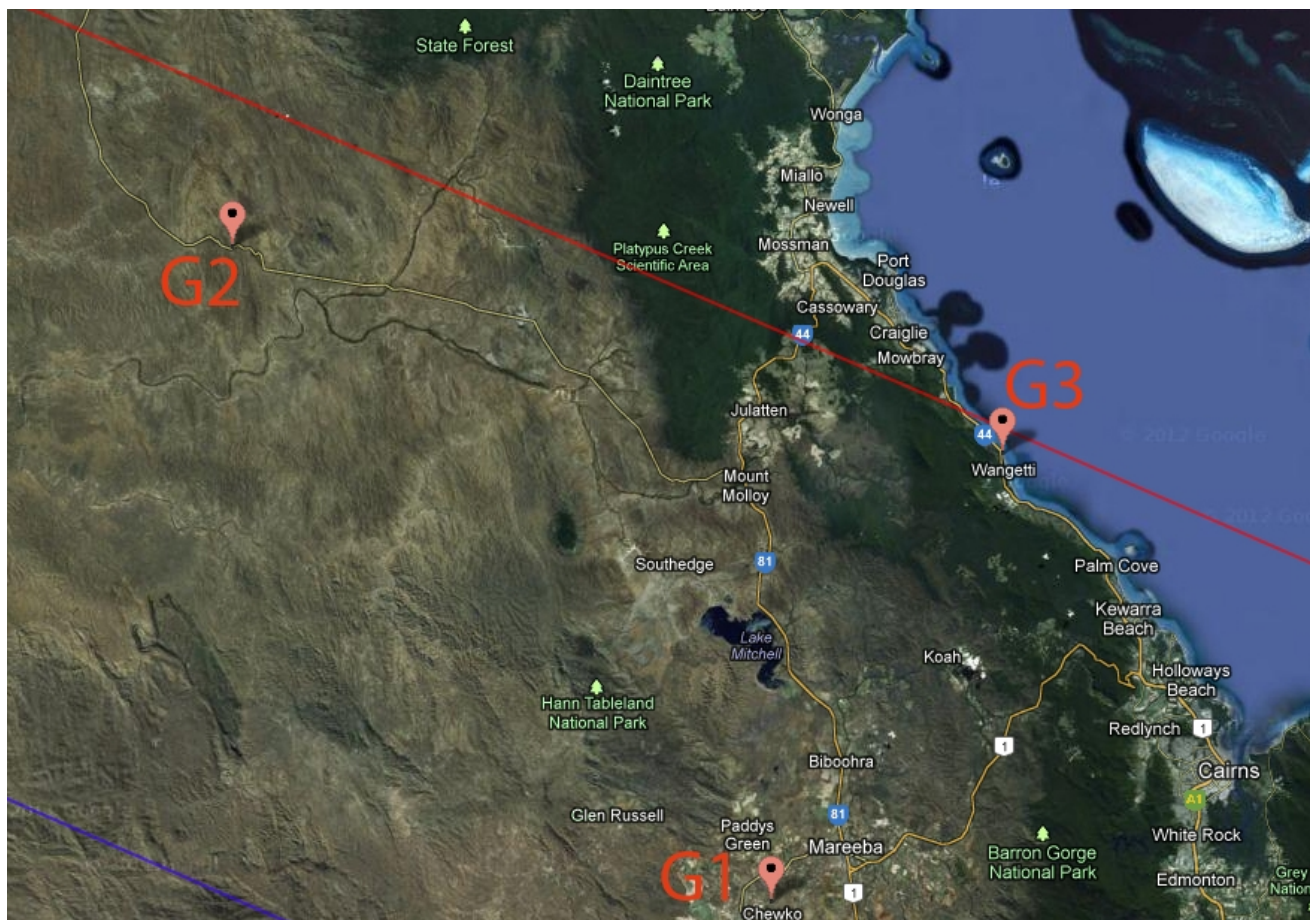


**Рисунок 8:** Полоса полной фазы (синие линии) затмения 13 ноября 2012 года по данным НАСА. Зелёный маркер отмечает точку, в которой длительность затмения будет максимальной. Экспедиция будет наблюдать затмение из окрестностей города Кэрнс (штат Квинслэнд) на северо-западе Австралии.

Участники проекта GLORIA будут вести трансляцию события из трех наблюдательных пунктов на северо-западе Австралии (штат Квинслэнд), рядом с городом Кэрнс, где продолжительность затмения будет около 2 минут:

- G3. На побережье, в окрестностях Oak Beach.
- G2. В глубине материка. Шоссе Rt-81.
- G1. В глубине материка. Город Мариба, где будет расположена база экспедиции (см. Рисунок 9)





**Рисунок 9:** Наблюдательные пункты экспедиции. Красная линия отмечает середину полосы полной фазы. Пункты расположены как на побережье, так и в глубине материка (красные маркеры G1, G2 and G3).

Экспедицию и трансляцию возглавит Dr. Miquel Serra-Ricart (астроном Института Астрофизики Канарских островов и руководитель обсерватории Теиде).

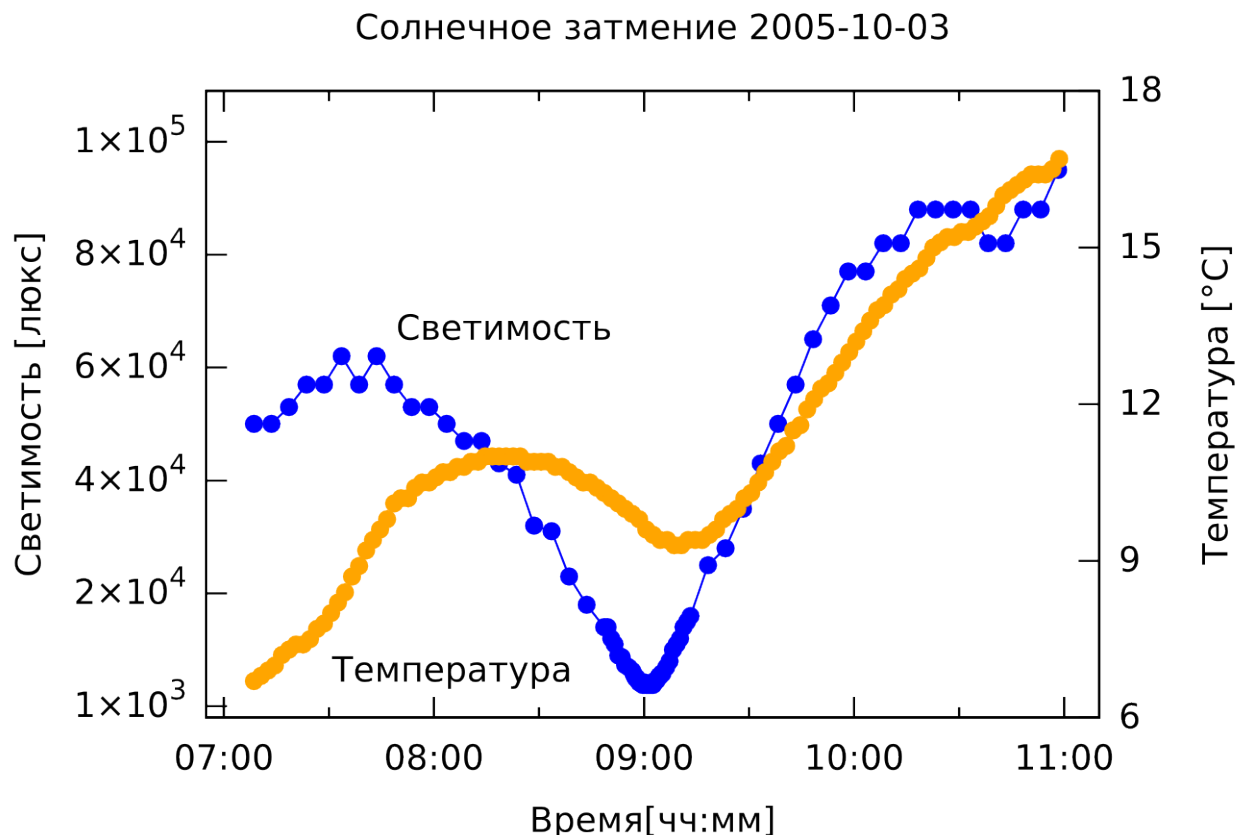
## 4. Проведение мероприятия

### 4.1 Расчёт теплового отклика атмосферы по данным атмосферных измерений во время полного солнечного затмения.

Интересным эффектом, возникающим во время солнечного затмения, особенно полного, является понижение температуры воздуха, связанное с уменьшением потока солнечного излучения или объёмной освещённости. Интересно то, что это явление наблюдается не одновременно с полным закрытием Солнца (полной фазой или моментом второго контакта), но отстаёт от него на время от 2 до 20 минут.

Время задержки зависит от многих факторов, таких, как время суток, в которое проходит затмение, близость водоёма (озера или океана), влияние лесных массивов, но оно легко измеримо. Необходимо зарегистрировать время минимума интенсивности света, т.е. максимума затмения (второй контакт). Затем - определить момент, когда температура достигает минимума. Время между двумя этими минимумами - это тепловой отклик атмосферы, или же её *тепловая инерция*.

Следующие упражнения (Метод 1 и Метод 2) может быть использован для оценки теплового отклика атмосферы.



**Рисунок 10:** Спад солнечной освещённости (синяя кривая) и температуры воздуха (жёлтая кривая) в зависимости от времени во время кольцевого солнечного затмения в октябре 2005 года.

#### 4.2. Метод 1. Прямые измерения. Давление, освещённость и температура.

Прямая трансляция солнечного затмения 13 ноября 2012 года из Австралии будет вестись на сайте проекта GLORIA ([www.gloria-project.eu](http://www.gloria-project.eu)). Одновременно на сайте будут транслироваться показания приборов, установленных на метеостанции в точке G1 (Mareeba, Австралия). Учащиеся могут записывать значения температуры, интенсивности солнечного излучения и давления воздуха, как если бы они лично присутствовали на метеостанции и сами проводили наблюдения.

Измерения должны проводиться периодически с определенным интервалом, который могут выбрать сами учащиеся или же их учитель. Рекомендуется не выбирать интервал между измерениями больше двух минут, а при приближении к точке максимума затмения (второй контакт) - снизить его до пяти секунд.

На Рисунке 10 приведён пример данных (солнечная освещённость и температура воздуха), полученных во время кольцевого затмения 2005 года с переменным временным интервалом - сначала замеры снимали каждые 5 минут, затем - каждую минуту, а вблизи точки максимума - каждые 20 секунд. Аналогичную процедуру измерений повторили во второй части затмения. Такой подход к измерениям называется "измерениями с переменным шагом".

После проведения измерений записанные данные нужно представить графически. С помощью любого программного пакета (например, Excel, OpenOffice, LibreOffice, Origin ...) можно построить графики зависимости каждой измеренной величины от времени. Используйте эти графики для определения точных моментов времени минимума температуры и минимума интенсивности солнечного потока. Посчитав разницу между этими значениями, можно оценить *тепловую инерцию атмосферы*.

Для точного определения положения минимума можно использовать аппроксимацию данных аналитической функцией. Учитель должен самостоятельно решить, стоит ли это делать, так как описание процедур аппроксимации данных не входит в это учебное пособие.

По окончании затмения на сайте будет доступна видеозапись всего набора измерений с метеостанции.

#### **4.3 Метод 2: База данных**

В течение прямой трансляции затмения, данные измерений с метеостанции будут периодически сохраняться (приблизительно раз в 5 секунд) и в дальнейшем будут доступны в любое время на сайте проекта GLORIA ([www.gloria-project.eu](http://www.gloria-project.eu)). Будут также доступны веб-инструменты для детального анализа данных на любом из сохранённых интервалов времени. К примеру, можно будет выбрать данные с различных фаз затмения и построить графики значений температуры воздуха и интенсивности солнечного излучения вместе с ошибками измерений. Интервал можно динамически изменять ("приближать" данные) для более точного определения положений минимумов интенсивности и температуры.

После отбора данных и построения графиков, можно определить *тепловую инерцию атмосферы* так же, как было описано выше.