



Pomiar zmian zachodzących w atmosferze w czasie całkowitego zaćmienia Słońca w roku 2012

Autorzy:

- **Miguel Ángel Pío Jiménez.** Astronom z Instytutu Astrofizyki Wysp Kanaryjskich
- **Dr. Miquel Serra-Ricart.** Astronom z Instytutu Astrofizyki Wysp Kanaryjskich
- **Juan Carlos Casado.** Astrofotograf z tierrayestrellas.com, Barcelona.
- **Dr. Lorraine Hanlon.** Astronom, University College, Dublin, Irlandia.
- **Dr. Luciano Nicastro.** Astronom, Istituto Nazionale di Astrofisica, IASF Bolonia.
- **Dr. Davide Ricci.** Astronom, Istituto Nazionale di Astrofisica, IASF Bolonia.

Współpraca:

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

1. Cele

Podczas tej aktywności nauczymy się obserwować zmiany w atmosferze, w szczególności zmiany temperatury, wynikające ze spadku promieniowania słonecznego, wywołanego okultacją fotosfery słońca przez księżyc. W tym celu użyjemy stacji meteorologicznej znajdującej się w Australii.

Cele, które zamierzamy osiągnąć to:

- Zrozumiemy podstawowy mechanizm zjawiska zaćmienia.
- Nauczymy się wykorzystywać algebrę i podstawowe prawa termodynamiki.
- Zrozumiemy i nauczymy się stosować podstawowe metody analizy pomiarów (obliczanie błędów).
- Nauczymy się pracować w zespole, którego sukces zależy od wkładu każdego z uczestników.

2. Aparatura.

Wykorzystamy stację meteorologiczną, wyposażoną w czujniki temperatury i intensywności promieniowania słonecznego.. Uczniowie uzyskają dostęp do pomiarów w czasie rzeczywistym, a po zaćmieniu - do bazy danych z pomiarami archiwalnymi. Wykonanie zadania ułatwi specjalnie przygotowany interfejs.



3. Zjawisko

3.1 Co to jest zaćmienie?

Zaćmienie polega na tym, że jedno ciało niebieskie, na przykład Księżyc, znajdzie się pomiędzy innym ciałem niebieskim, na przykład Ziemią, a źródłem światła, na przykład Słońcem. W układzie Słońce-Księżyc-Ziemia terminu „zaćmienie” używa się do opisu dwóch różnych zjawisk.

1. **Zaćmienie Słońca** ma miejsce wtedy, gdy Księżyc znajdzie się pomiędzy Słońcem a Ziemią i całkowicie lub częściowo zablokuje dochodzące do Ziemi światło słoneczne. Dlatego zaćmienie Słońca może się zdarzyć tylko wtedy, gdy Księżyc znajduje się w nowiu. W przypadku zaćmienia całkowitego Księżyc kompletnie przesłania tarczę Słońca. W przypadku zaćmienia częściowego tylko część tarczy słonecznej jest zasłonięta.

2. Zaćmienie Księżyca ma miejsce wtedy, gdy księżyc znajdzie się cieniu Ziemi. Taka sytuacja wymaga by Księżyc, Ziemia i Słońce były ustawione prawie w jednej linii, z Ziemią znajdującą się pomiędzy Słońcem a Księżycem. Dlatego zaćmienia Księżyca występują tylko podczas pełni.

3.2 Historyczne znaczenie zaćmień.

Źródła historyczne zawierają wiele wzmianek, dotyczących zaćmień w różnych epokach i obserwowanych przez różne kultury; jedno z nich pochodzi z Chin z roku 709 p.n.e., a drugie z Babilonu z roku 332 p.n.e. Najstarsze zarejestrowane zaćmienie Słońca zostało zanotowane w Chinach 22 października 2137 p.n.e. i z tego, co wiemy, astronomowie Hsi i Ho zapłacili życiem za to, że je źle przepowiedzieli.

W czasach nowożytnych zaczęto obserwować zaćmienia w roku 1715. Mapa, wykonaną przez Edmunda Halley'a, wyobrażała zarys obszaru, na którym miało nastąpić całkowite zaćmienie. W rzeczywistości całkowite zaćmienie obserwowano kilkadziesiąt kilometrów dalej. Poprawiona mapa zawierała zarys obszaru, na którym obserwowano całkowite zaćmienie wraz z przewidywaniami dla zaćmienia, które obserwowano w Europie w roku 1724.

Umiejętność przewidywania zaćmień Słońca była bardzo ważna. W czasie zaćmienia występują najlepsze warunki do badania górnych warstw atmosfery Słońca, zwłaszcza tzw. „chromosfery”, którą można wyraźnie zaobserwować tylko podczas zaćmienia.

Dopiero jednak od połowy XIX wieku, dzięki rozwojowi spektrografii, obserwacja Słońca oraz, takich zjawisk jak zaćmienia, zaczęła mieć większe znaczenie. Kolejnym ważnym wynalazkiem, który dziś jest bardzo dobrze znany, a który pojawił się na początku dziewiętnastego wieku i którego rozwój nastąpił w tym samym stuleciu, jest fotografia. Możliwość robienia zdjęć i spektrogramów/ podczas zaćmień Słońca, obserwowanych z różnych miejsc, okazała się bardzo ważna, gdyż w owych czasach nie istniały żadne teorie na temat Słońca i jego budowy. Nie istniał opis fizyczny Słońca, a astrofizyka ograniczała się głównie do astrometrii. Podczas całkowitego zaćmienia słońca, które miało miejsce w roku 1868 i było

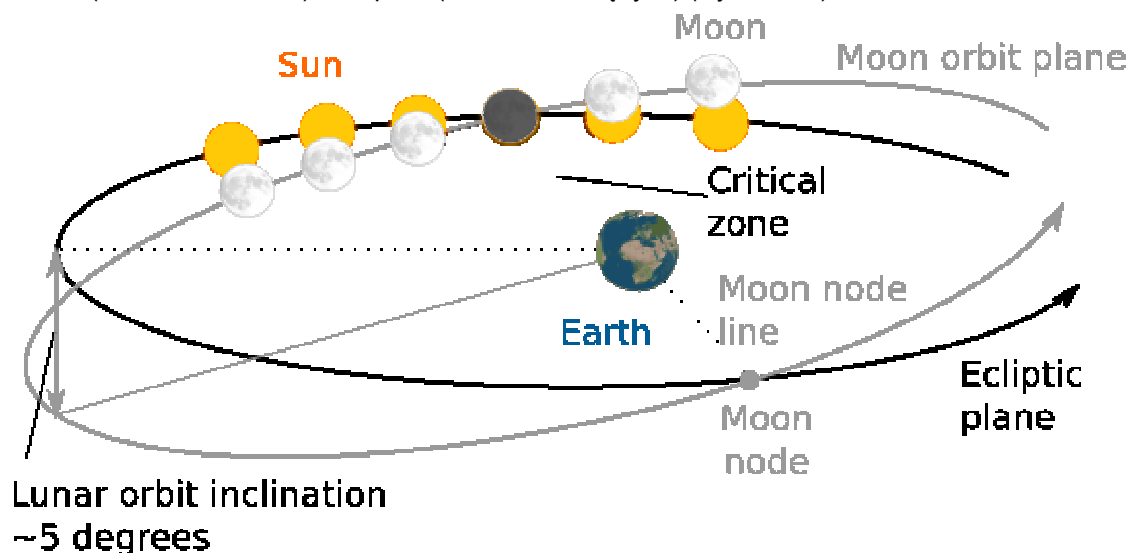


widoczne w Indiach, P.J.C. Janssen zaobserwował widmo chromosfery słonecznej i zauważył bardzo jaskrawą linię emisji w pobliżu znanej już wtedy długości linii dubletu sodu. Ponieważ linia była bardzo jaskrawa, przewidział, że będzie widoczna także w miejscu, z w którym nie obserwowano zaćmienia. N. Lockyer (założyciel znanego czasopisma Nature), znajdując się w Anglii, zmierzył dokładnie pozycję tej linii i stwierdził, że nie ma ona nic wspólnego z liniami sodu, lecz widać ją wyłącznie w widmie Słońca. Wyciągnął stąd wniosek że linia ta pochodzi od nieznanego w tych czasach na Ziemi pierwiastka 'helu' (od greckiego boga Słońca, Heliosa). Dopiero w roku 1895 udało się wyizolować hel na Ziemi.

Po odkryciu helu nastąpiły kolejne odkrycia bardzo jasnych linii widmowych, które początkowo uważano za pochodzące od 'koronium', gdyż pochodziły z korony Słońca, ale inaczej niż w przypadku helu, nie potrafiono ich wytłumaczyć aż do roku 1939, kiedy to ustalono, że linie te powstają w wyniku przejść energetycznych pomiędzy różnymi poziomami energetycznymi w atomach żelaza lub niklu. Przejścia te, których wzbudzenie wymaga stosunkowo dużych energii, związane są z jedną z niewielu wciąż nie do końca zrozumianych tajemnic budowy Słońca. Dlaczego w górnych warstwach Słońca panują znacznie wyższe temperatury (rzędu milionów stopni), niż w warstwie widzianej gołym okiem, zwanej fotosferą, która ma około 5800 stopni Kelvina.

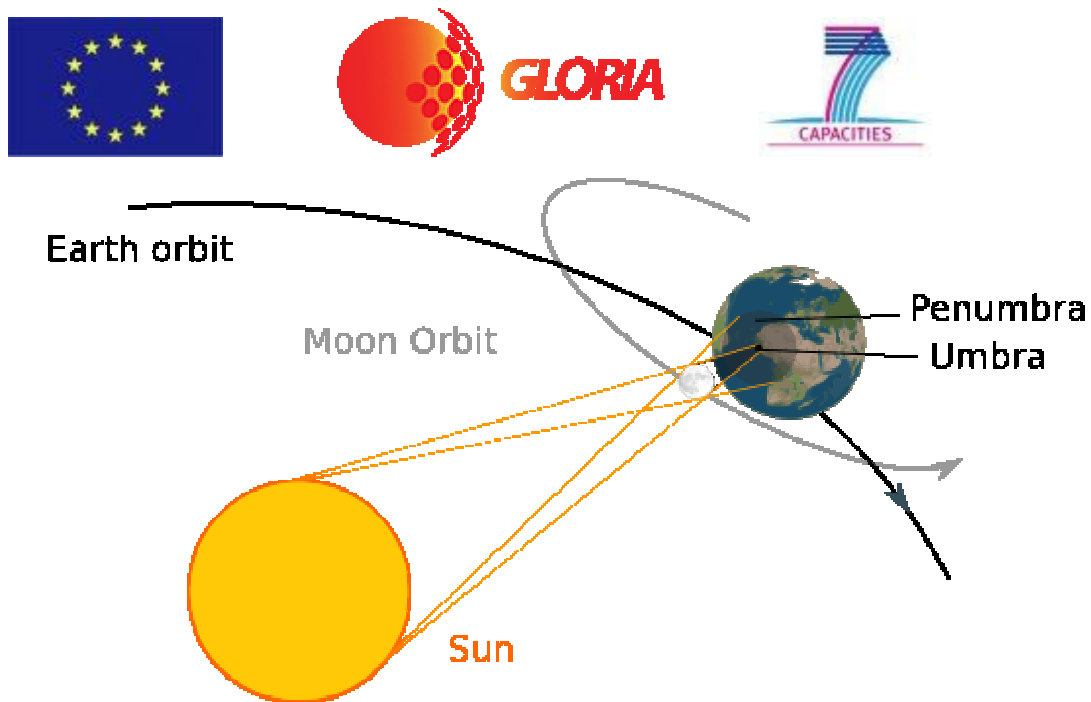
3.3 Warunki występowania zaćmień.

Jak wiemy, orbity Ziemi i Księżyca nie leżą w tej samej płaszczyźnie, więc przez większą część czasu Księżyc jest albo powyżej, albo poniżej ekliptyki, czyli płaszczyzny określonej przez ruch Ziemi dookoła Słońca. Aby doszło do zaćmienia, Księżyc musi znaleźć bardzo blisko płaszczyzny ekliptyki, w fazie nowiu (zaćmienie Słońca) albo pełni (zaćmienie Księżyca) (Rysunek 1).



Rys. 1: Zaćmienie Słońca i orbita Księżyca. „Obszar krytyczny” wyznacza pas, w którym może nastąpić zaćmienie.

Podczas zaćmienia Słońca, do Ziemi musi dotrzeć przynajmniej stożek półcienia Księżyca, powodując zaćmienie Słońca widoczne w jakimś miejscu naszej planety (Rysunek 2).

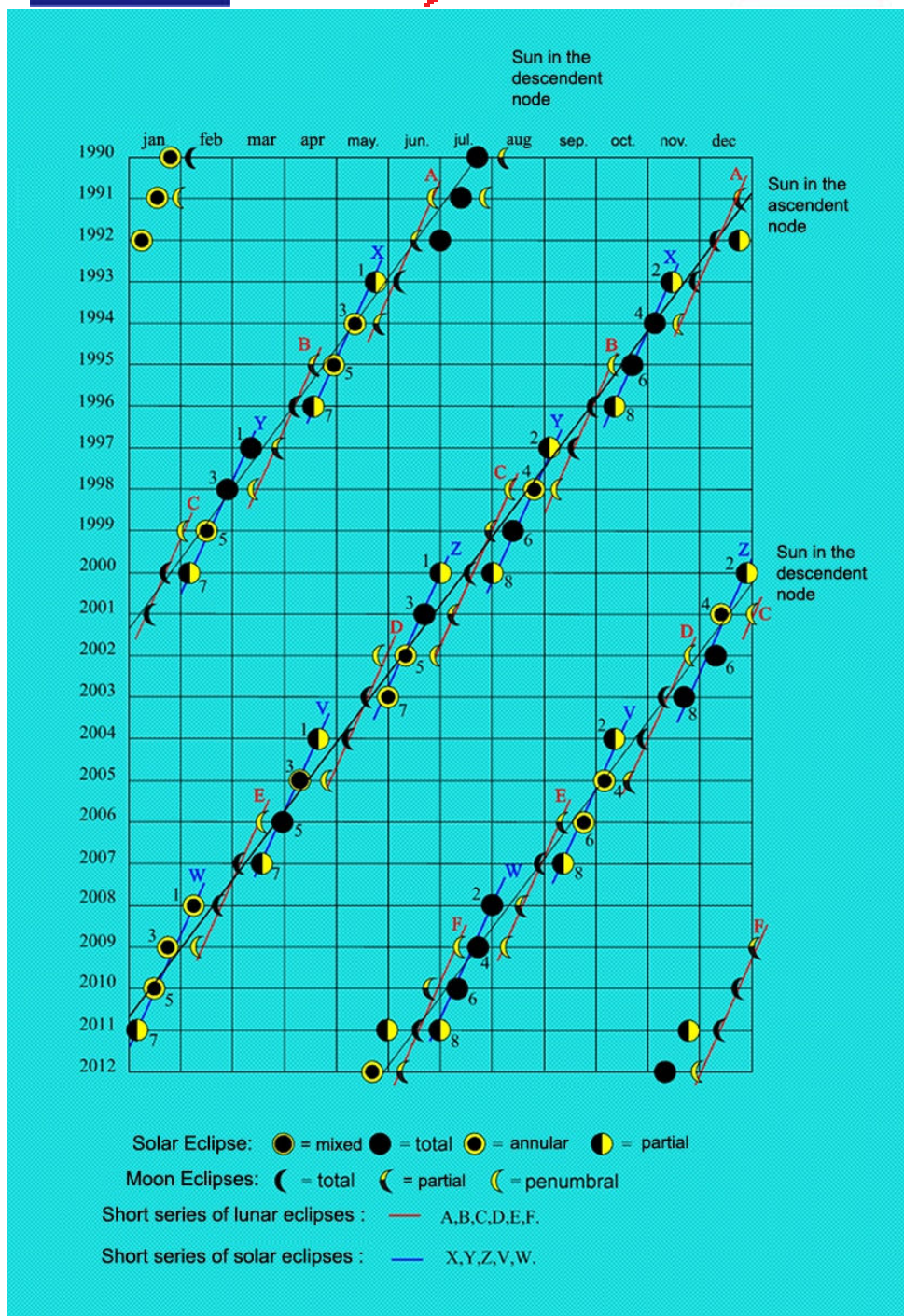


Rys. 2: Obszary cienia i półcienia podczas zaćmienia.

Konfiguracja Słońca, Ziemi i Księżycy, pozwalająca na wystąpienie zaćmienia Słońca występuje dwa lub trzy razy w roku - co 173.31 dni

3.4 Całkowite zaćmienia w ciągu roku.

Jest ich co najmniej cztery (włączając częściowe zaćmienia Księżycy): dwa zaćmienia słońca i dwa zaćmienia księżyca. Na rysunku 3 przedstawione są przykładowo lata 1999, 2003, 2005. .



Rys 3: Zaćmienia Słońca i Księżyca w latach 1990-2012 (wykres przygotowany przez I.M.C.CE, zaadaptowany przez J.C. Casado).



W praktyce w kalendarzach liczba przedstawianych zaćmień jest ograniczana do dwóch, a częściowe zaćmienia Księżyca są pomijane. Często zdarza się, że najpierw ma miejsce całkowite zaćmienie Słońca, a potem częściowe zaćmienie Księżyca.

W jednym roku kalendarzowym może nastąpić do siedmiu zaćmień, tak jak miało to miejsce w latach 2000 i 2001, a także 2009, 2010 i 2011, z tym, że wtedy konfiguracja orbit Ziemi i Księżyca nie była idealna i wystąpiło tylko sześć zaćmień.

Maksymalna liczba zaćmień w ciągu roku – siedem – występuje bardzo rzadko. Może to mieć miejsce w następujących kombinacjach:

- 5 zaćmień słońca i 2 zaćmienia księżyca
- 5 zaćmień księżyca i 2 zaćmienia słońca
- 4 zaćmienia słońca i 3 zaćmienia księżyca
- 4 zaćmienia księżyca i 3 zaćmienia słońca

W każdym z tych przypadków wystąpią też mniej ważne częściowe zaćmienia Słońca. Ostatnio 7 zaćmień zdarzyło się w roku 1982. Wszystkie 3 zaćmienia Księżyca były zaćmieniami całkowitymi. Taka sytuacja powtórzy się dopiero w roku 2485..

3.5 Cykle zaćmień

Miesiąc synodyczny trwa od jednego nowiu do kolejnego (29.53 dni). Rok zaćmienia (346.62 dni) nie zawiera całkowitej liczby miesięcy synodycznych (między 11 a 12). Określając najmniejszą wspólną wielokrotność dla obu cykli otrzymujemy nowy cykl, który pozwala przewidywać pory zaćmień.

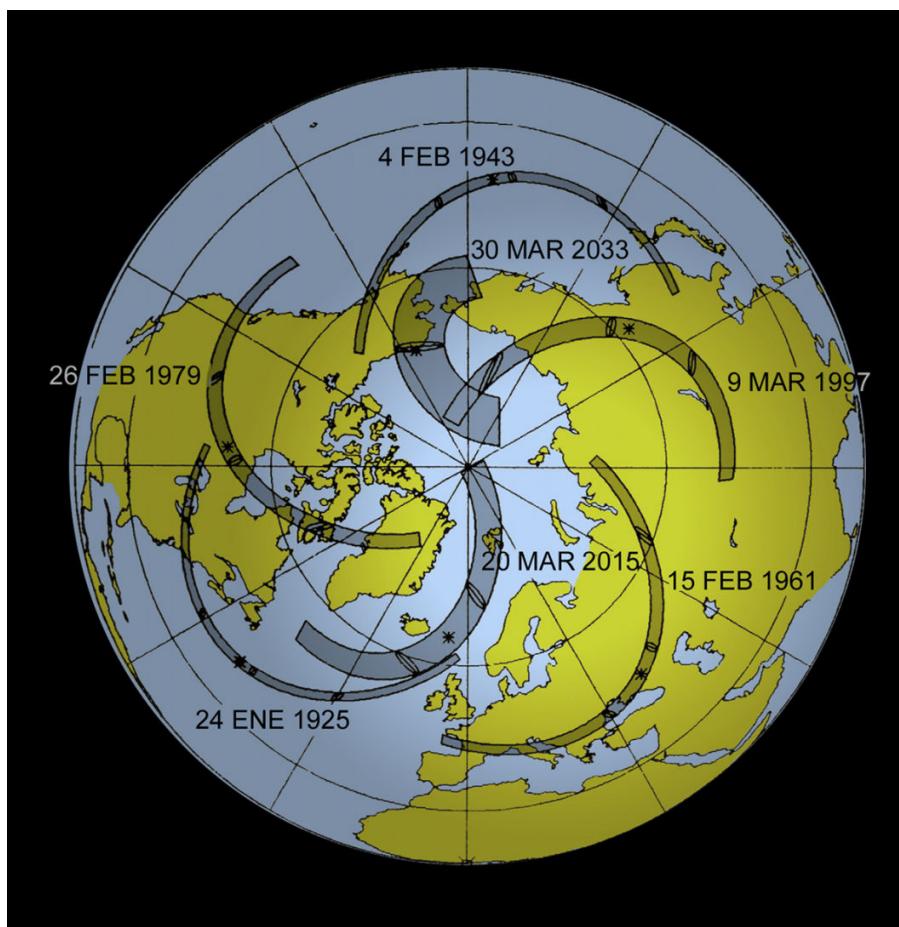
Jest to tak zwany cykl Saros, podobno znany nawet astronomom starożytnego Babilonu. Cykl Saros składa się dokładnie z 223 miesięcy synodycznych. Okres ten wynosi 18 lat i 11 dni (18 lat i 10 dni, jeżeli wliczymy 29 lutego). Cykl Saros jest równy 19 latom zaćmienia, to znaczy,

$$\begin{aligned} 223 \text{ miesiące synodyczne (każdy o długości 29,5306 dni)} &= 6.585,32 \text{ dni} \\ 19 \text{ lat zaćmienia (każdy o długości 346,6200 dni)} &= 6.585,78 \text{ dni} \end{aligned}$$

Te dwa cykle nakładają się na siebie, dzięki czemu w tych okresach czasu zaćmienia powtarzają się.

W okresie cyklu Saros uwzględniono ułamek dnia (6585.32 dni). Kiedy następuje powtórzenie cyklu, Ziemia znajduje się w pozycji odpowiadającej tej części dnia. Zaćmienie jest widziane na terenach położonych na zachód od miejsca, gdzie obserwowano poprzednie zaćmienie, w odległości mniej więcej $\frac{1}{3}$ obwodu Ziemi. Po upływie trzech cykli Saros, zaćmienie Słońca występuje mniej więcej na tej samej długości geograficznej, co 54 lat przedtem, przesuwając się trochę w kierunku któregoś z biegunów.

Każde zaćmienie z tej samej „rodziny” albo serii Saros przesuwają się w kierunku tego samego bieguna (północnego lub południowego). Zjawisko to zilustrowane jest na Rys. 4, który przedstawia całkowite zaćmienia Słońca z lat 1925, 1943, 1961, 1997, 2015 i 2033, należących do tej samej serii cyklu Saros: 120. Seria ta rozpoczęła się częściowym zaćmieniem na biegunie południowym w roku 915 n.e., a kolejne zaćmienia przesuwają się stopniowo na północ (najstarsze z nich znajdują się na niższych szerokościach). Zmianę tę powoduje różnica połowy dnia między zaćmieniami 19-letnimi i Saros (6585.78 na 6585.32 = 0.46 dni). Na Rys. 4 seria Saros kończy się częściowym zaćmieniem na biegunie północnym, które nastąpi w roku 2195.



Rys. 4: Linie wszystkich zaćmień tej samej serii Saros 120 (F. Espenak, NASA RP 1178, adaptacja: J.C. Casado)

Cykl Saros wygląda podobnie w przypadku zaćmień Księżyca. Podczas każdego kolejnego zaćmienia Księżyca miejsce obserwacji przesuwa się na północ lub południe w stosunku do środka cienia Ziemi.

W czasie jednego cyklu Saros występują krótsze serie zaćmień Słońca i Księżyca. Jest to osiem lub dziewięć następujących po sobie zaćmień, związanych z ośmioma konfiguracjami orbity Księżyca względem ekliptyki. Zaćmienia te zwiększają się do czwartego lub piątego w serii, a potem zmniejszają się.

Analiza długiej serii zaćmień pozwala badać nie tyle ewolucję zaćmień w ramach jednego cyklu Saros, lecz raczej porównywać odpowiadające sobie zaćmienia w dwóch cyklach Saros, czyli takie, które mają miejsce podczas tego samego miesiąca synodycznego (od 1 do n w kolejnych cyklach Saros). Podczas 72 cykli Saros (ok. 1300 lat), zaćmienie Słońca podlega następującym zmianom: po dwunastu częściowych zaćmieniach o zwiększającej się intensywności, następuje 48 całkowitych lub pierścieniowych zaćmień, a potem 12 częściowych zaćmień o zmniejszającej się intensywności.

Liczbę cykli Saros określił holenderski Astronom G. Van den Bergh w roku 1955 na podstawie listy 8,000 zaćmień opisanych przez Theodore von Oppolzera.



Rys. 3 przedstawia zaćmienia dla 23 lat, od roku 1990 do 2012. Widać wśród nich cykl Saros trwający od czerwca 1993 roku do czerwca 2011 roku. Ten cykl Saros zawiera 81 zaćmień, w tym 40 zaćmień Słońca i 41 Księżyca. Pośród 40 zaćmień słońca, 15 jest częściowych a 25 centralnych (12 obrączkowych, 12 całkowitych i jedno hybrydowe).

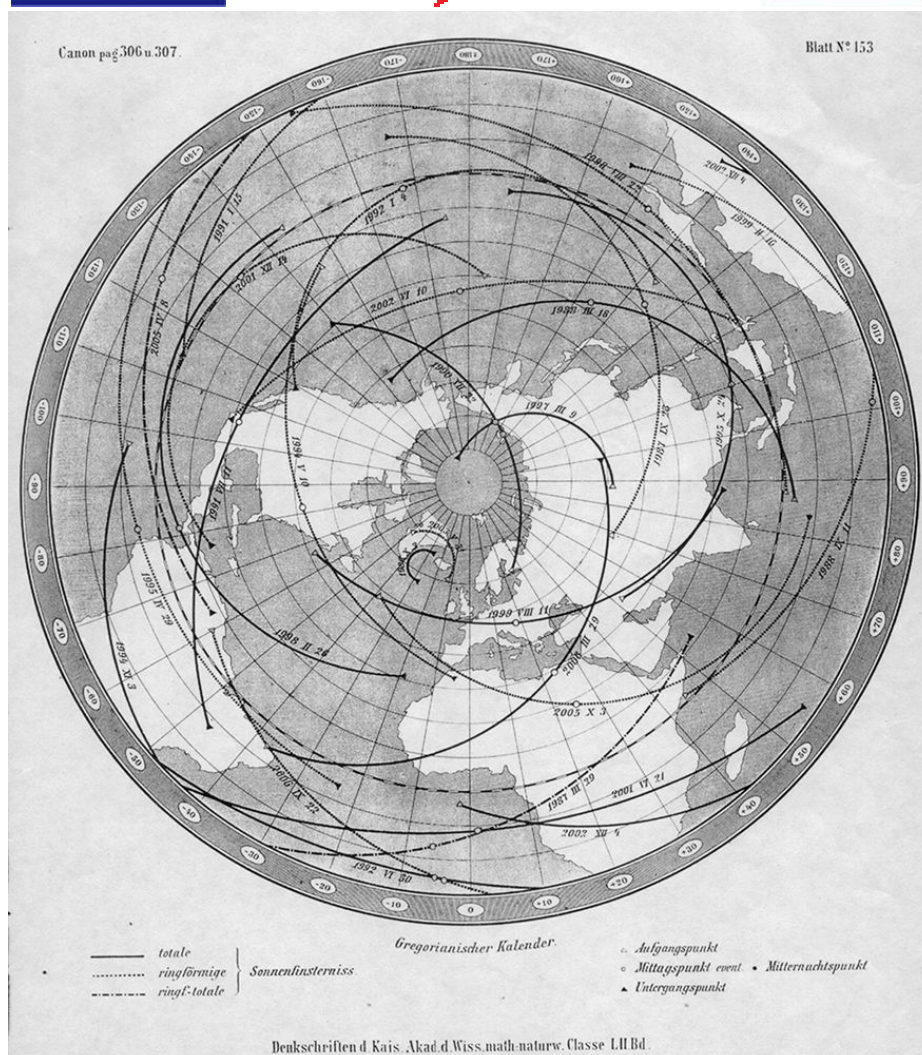
Rysunek przedstawia niektóre zaobserwowane cechy zaćmień:

- Krótkie serie zaćmień Księżyca zaznaczone są na czerwono, a Słońca na niebiesko.
- Kiedy mają miejsca trzy zaćmienia, zaćmienie środkowe jest największe, a pozostałe są słabsze.
- Cztery zaćmienia z roku 2011 są takie same jak zaćmienia z roku 1993, a cztery zaćmienia z roku 2012 odpowiadają zaćmieniom z roku 1994.

3.6 Kanon zaćmień

Listy zaćmień Księżyca i Słońca są publikowane jako **kanony zaćmień**.

Autorem najbardziej znanego z nich jest Theodor Ritter von Oppolzer. Po raz pierwszy kanon (niemiecki tytuł: „Canon der Finsternisse”) został opublikowany roku 1887 w tomie 52 czasopisma Herausgegeben von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe Cesarskiej Akademii w Wiedniu. To wielkie dzieło zostało ponownie wydane przez wydawnictwo Dover American, ale obecnie nie jest dostępne na rynku. Kanon zawiera 8000 zaćmień słońca dla lat 1207 - 2161, i 5200 zaćmień księżyca za lata 1206 - 2132. Kanon zawiera rysunki i obliczenia geometryczne i trygonometryczne, niezbędne do wyznaczenia szczegółów każdego zaćmienia, widzianego z dowolnego miejsca na Ziemi. Kanon zawiera także mapy zaćmień słońca (Rys. 5). Kanon ten nie zawiera częściowych zaćmień Księżyca, natomiast występują w nim pewne błędy dotyczące wcześniejszych zaćmień, gdyż w czasach, gdy był tworzony, nie znano dobrze dynamiki systemu Ziemia-Księżyc.



Rys. 5: Mapa z Kanonu Oppolzera, przedstawiająca centralną linię zaćmień słońca od 19 maja 1985 do 7 lutego 2008. Całkowite zaćmienia oznaczane są linią ciągłą, a obrączkowe przerywaną. Niektóre linie mogą nie zgadzać się z nowoczesnymi mapami. Jest tak dlatego, że zostały one określone na podstawie obliczeń trzech punktów, połączonych łukiem. Dla dokonania dokładnych obliczeń Oppolzer zalecał wykorzystanie tablic Kanonu.

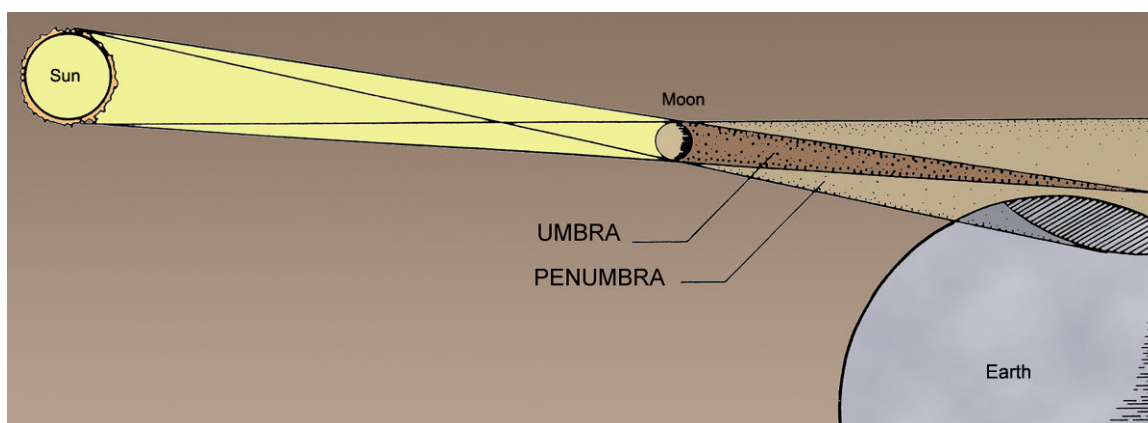
W czasach współczesnych Jean Meeus i Hermann Mucke (1979 i 1983, Astronomisches Büro, Vienna) opublikowali obliczony numerycznie kanon zaćmień Słońca, zawierający wszystkie zaćmienia od -2003 do +2526 roku i kanon zaćmień Księżyca od -2002 do +2526.

Najnowszy kanon został opublikowany przez astrofizyka Freda Espenaka z NASA i zawiera wszystkie zaćmienia Słońca i Księżyca od 1901 do 2100 roku. Podaje on szczegółowe dane i mapy dla zaćmień od roku 1986 do 2035. Kanony te są dostępne na stronie internetowej (patrz literatura i informacja) jak również kilka katalogów zaćmień słońca od -1999 do +4000 oraz zaćmień księżyca od -1999 do +3000.



3.7 Typy zaćmień

1) Częściowe W tego typu zaćmieniu cień nie obejmuje całej powierzchni Ziemi. Zaćmienia takie występują na wysokich szerokościach (na północy i na południu) i odpowiadają początkowym i końcowym wydarzeniom cyklu Saros (Rys. 6).



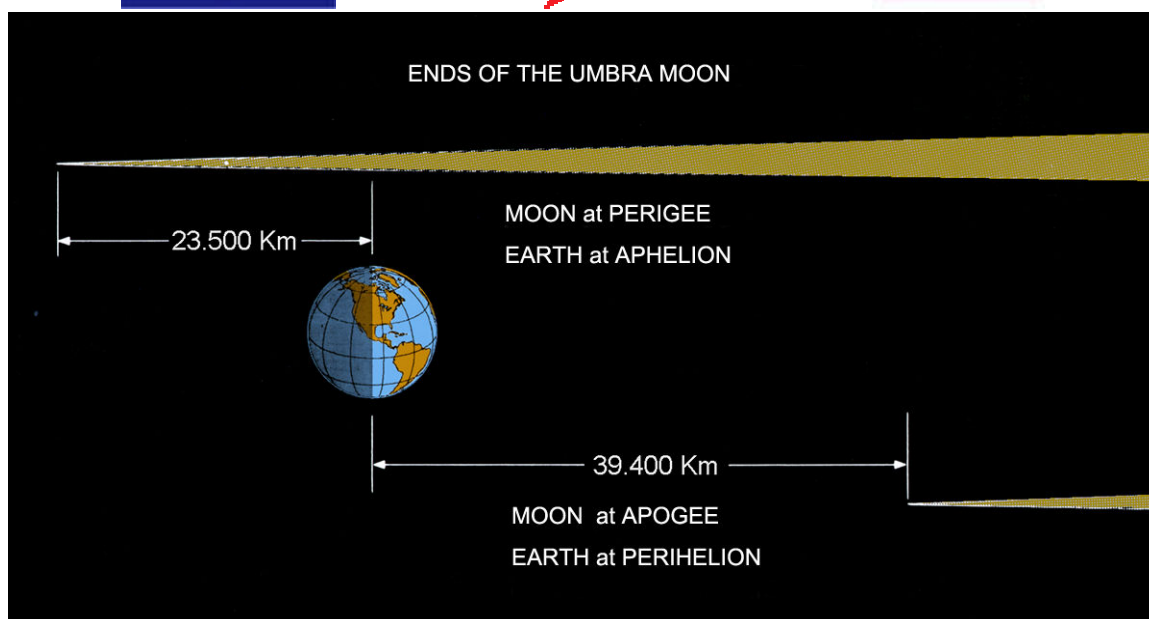
Rys. 6: Schemat częściowego zaćmienia słońca (za: Brewer B., „Eclipse”).

2) Niecentralne Cień dociera do Ziemi, powodując zaćmienie słońca, które może być: obrączkowe, całkowite, lub hybrydowe, ale koniec stożka cienia nie sięga Ziemi. Takie zaćmienia dotyczą regionów podbiegunowych. Oczywiście, częściowe zaćmienia również nie są centralne, ale określenie "niecentralne" zarezerwowane jest dla zaćmień całkowitych i pierścieniowych.

3) Centralne: Oś stożka cienia Księżyca przecina Ziemię. W rzadkich przypadkach może się zdarzyć, że zaćmienie jest centralne, ale nie ma granicy na północy ani na południu, gdyż cień rzucany jest na tereny podbiegunowe, w pobliżu krawędzi/brzegu Ziemi.

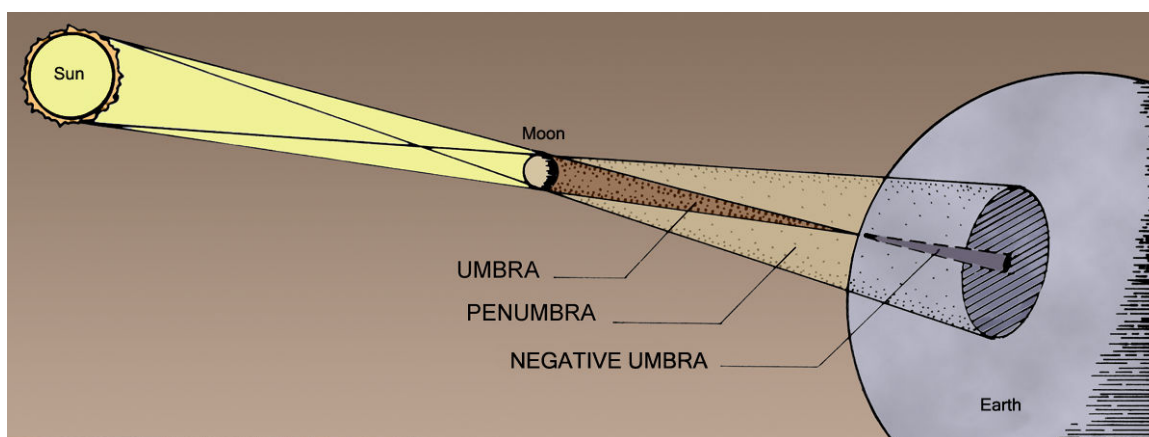
Warunki centralnych zaćmień komplikuje fakt, że ekliptyka jest elipsą. W związku z tym pozorna średnica Słońca wynosi od 31' 28" w apocentrum i 32' 32" w perycentrum. Różnica 3% nie jest obserwowalna gołym okiem, ale wpływa na zaćmienia. Co więcej, orbita Księżyca dookoła Ziemi ma także kształt elipsy. Odchylenie między perygeum a apogeum osiąga 12%, co powoduje oscylację pozornej średnicy Księżyca od 29' 24" a 33' 32". Jak widać z powyższych rozważań, zmiany pozornych średnic Słońca i Księżyca wpływają na to, czy zaćmienie centralne będzie: **całkowite**, **obraczkowe**, lub **hybrydowe**.

Kiedy Księżyc znajduje się w apogeum a Ziemia w peryhelium, cień pada na odległość do 39,400 km od środka Ziemi. W takim przypadku pozorna średnica Księżyca jest o 10% lub 3' mniejsze niż Słońca. I odwrotnie, jeżeli Księżyc znajduje się w perygeum, a Ziemia w aphelium, cień rozciąga się o 23,500 km od środka Ziemi, przewyższając pozorną średnicę księżyca o 7% lub 2' w stosunku do Słońca. Odległości te są skrajnymi wartościami dla obu sytuacji (Rys. 7).



Rys. 7: Skrajne pozycje/wartości cienia Księżyca w stosunku do Ziemi. (F. Espenak, NASA RP 1178, adaptacja: J.C. Casado).

Jak widać, w pierwszym przypadku przedłużenie cienia generuje negatyw cienia lub anty-cień (Rys. 8). W związku z tym Księżyc wydaje się być mniejszy niż Słońce i jego zarys widoczny jest na tle jaskrawej fotosfery słonecznej. Ten rodzaj zaćmienia: obrączkowe, bierze swoją nazwę od pierścienia światła słonecznego, które otacza Księżyc w środkowej fazie zjawiska.

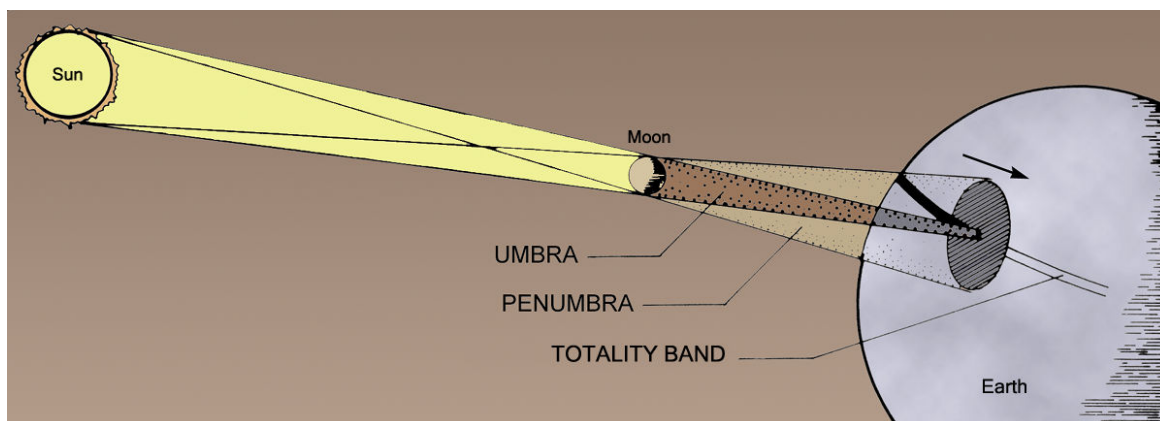


Rys. 8: Schemat centralnego obrączkowego zaćmienia (za: Brewer B., „Eclipse”).

Kiedy sytuacja jest przeciwna do opisanej powyżej, to znaczy Księżyc znajduje się w perygeum a Ziemia w aphelium, cień przecina Ziemię, powodując **całkowite** zaćmienie Słońca. W wyniku przesuwania się Księżyca i obrotu Ziemi, stożek cienia Księżyca (cień i półcień) przesuwają się po powierzchni Ziemi i można obliczyć, z których miejsc zaćmienie było widoczne (Rys. 9). W wyniku ruchu

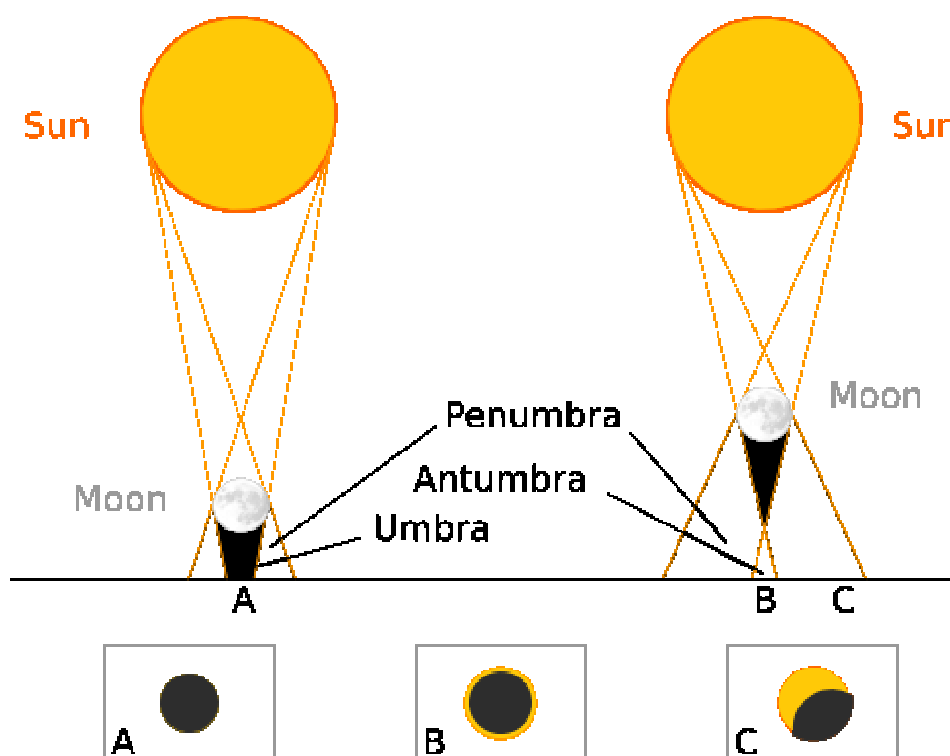


cienia Księżyca po powierzchni Ziemi powstanie długi i wąski korytarz zwany pasem zaćmienia, w którym zjawisko widziane jest jako zaćmienie całkowite. Długość tego pasa zazwyczaj wynosi około 14,000 km, a największa szerokość, 273 km, co stanowi mniej niż 0.5% powierzchni Ziemi. Tak jak w przypadku zaćmień pierścieniowych, po obu stronach ścieżki pełnego cienia znajduje się szeroki pas półcienia szeroki na tysiące kilometrów, z którego zjawisko widziane jest jako zaćmienie częściowe, tym słabsze, im dalej od ścieżki zaćmienia znajduje się obserwator.



Rys. 9: Schemat centrum całkowitego zaćmienia słońca (za: Brewer B., „Eclipse”)

Trzeci rodzaj zaćmienia to połączenie zaćmienia obrączkowego i całkowitego. Nazywane jest mieszanym, hybrydowym albo zaćmieniem pierścieniowo-całkowitym. Występuje wtedy, gdy czubek cienia celuje w różne miejsca na Ziemi a ze względu na zakrzywienie powierzchni kuli ziemskiej, cień raz dociera do powierzchni naszej planety a w innym punkcie trajektorii, cień jest "za krótki" więc powstaje anty-cień i wynikające z niego zaćmienie obrączkowe. Pasma zaćmienia pierścieniowo-całkowitego zaczyna się i kończy (zazwyczaj, chociaż nie zawsze) jako zaćmienie pierścieniowe, które zmienia się na całkowite pomiędzy początkiem a końcem zaćmienia. Takie zaćmienia stanowią 4% wszystkich zaćmień.



Rys. 10: Rodzaje zaćmień w zależności od względnego położenia Księżyca wobec ziemi.

Co roku mają miejsce co najmniej dwa zaćmienia Słońca w pobliżu węzłów orbity Księżyca, ale może też ich być cztery albo nawet pięć. Pięć zaćmień Słońca ma miejsce w latach, w których pierwsze zaćmienie występuje krótko po pierwszym styczniu. Wtedy drugie zaćmienie występuje podczas następnego nowiu, trzecie i czwarte przed upływem pół roku, a piąte 345 dni po pierwszym, gdyż taką właśnie liczbę dni ma 12 miesięcy synodycznych.

Średnio w tym samym punkcie na Ziemi całkowite zaćmienie słońca zdarza się raz na 200-300 lat. Aby takie zaćmienie nastąpiło, Księżyc musi znajdować się w koniunkcji dolnej (nów) a Słońce musi znaleźć się między $18^{\circ} 31'$ i $15^{\circ} 21'$ jednego z węzłów na orbicie Księżyca.

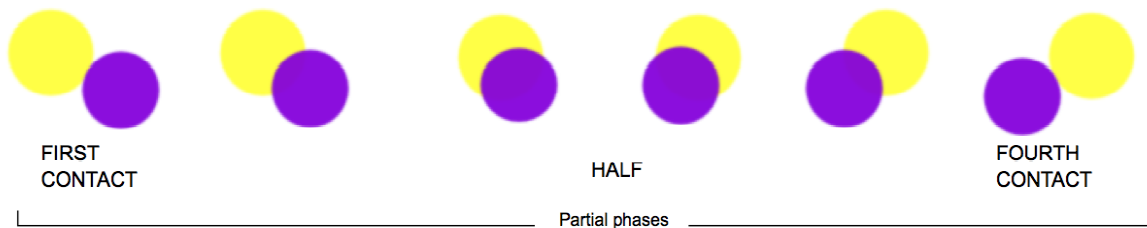
3.8 Jak je widzimy.

Częściowe zaćmienie: Podczas swego trwania, częściowe zaćmienie słońca ma dwa kontakty (Rys. 11). Jako pierwszy występuje kontakt między tarczą Słońca i Księżyca, który jest początkiem zjawiska. Następnie Księżyc przesuwa się stopniowo w stronę środkowego, czyli najwyższego punktu zjawiska, zakrywając coraz większą część tarczy słońca i osiągając maksymalną wielkość. Wielkość zaćmienia to ułamek średnicy tarczy Słońca zasłonięty przez Księżyc. Jest to wartość reprezentująca proporcję obu średnic i nie należy jej mylić z zaciemnieniem, które jest miarą powierzchni Słońca zakrytej przez Księżyc (Rys. 12). Wielkość zaćmienia może być wyrażona w procentach albo ułamku dziesiętnym



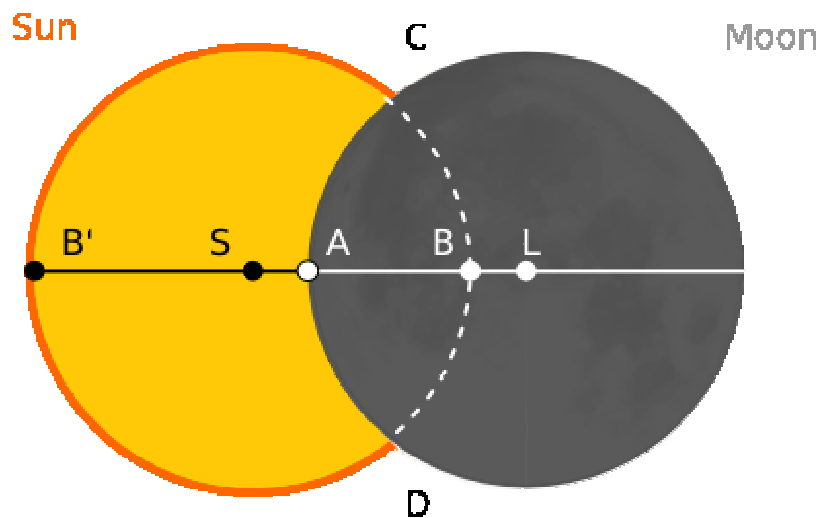
(60% albo 0.60). Od tego momentu Księżyc zaczyna się cofać aż do ostatniego kontaktu i do zakończenia zaćmienia (Rys. 13).

Partial Solar eclipse



Rys. 11: Fazy częściowego zaćmienia Słońca (albo całkowitego lub obrączkowego zaćmienia widzianego jako częściowe) (za: Brewer B., „Eclipse”).

BARDZO WAŻNE: Podczas zaćmienia częściowego Słońce jest bardzo jasne, więc należy stosować odpowiednie zabezpieczenia podczas obserwacji, takie same jak podczas obserwacji Słońca.



Magnitude of a solar eclipse: $m = AB/B'B$

Degree of darkness: $obsc = \text{area}(ACBD)/\text{area}_{\text{Sun}}$

Rys. 12: Wielkość i zaciemnienie podczas zaćmienia Słońca. Wielkość zaćmienia jest wyrażona ułamkiem zasłoniętej średnicy, a głębokość cienia lub zaciemnienie wyrażane jest przez wielkość zasłoniętej powierzchni w stosunku do powierzchni Słońca.



Zaćmienie obrączkowe: Mimo że wielkość zaćmienia jest duża i zmniejszenie jasności Słońca jest wyraźne, szczątkowa jasność tarczy Słonecznej jest wystarczająco silna, aby ograniczyć widzialność korony Słońca. **NALEŻY STOSOWAĆ TAKIE SAME ZABEZPIECZENIA WZROKU JAK PRZY ZAĆMIENIU CZĘŚCIOWYM.**



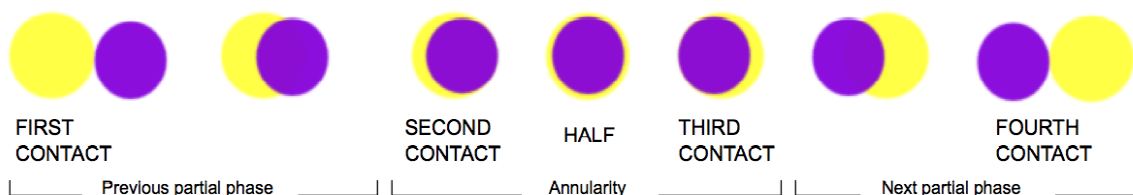
Rys. 13: Sekwencja całkowitego zaćmienia Słońca z pierwszego sierpnia 2008 r., widzianego nad Zbiornikiem Nowosybirskim w Rosji. (Fot. J.C. Casado / staryearth.com).

Obserwator okolic obręczy zobaczy cztery momenty kontaktu albo styczności tarcz Słońca i Księżyca. Na początku ma miejsce pierwszy kontakt, czyli moment, w którym oba ciała niebieskie "styka się" po raz pierwszy. Następnie w ciągu około półtorej godziny, tarcza słoneczna chowa się powoli, aż do drugiego kontaktu, kiedy to tarcza Księżyca w całości "wchodzi" na powierzchnię Słońca. Następnie rozpoczyna się faza centralna albo obrączkowa, osiągająca kulminację w środku zdarzenia.



Faza ta może trwać najdłużej około dwunastu i pół minuty. Kolejna faza odbywa się w odwrotnym kolejności niż poprzednia; trzeci kontakt następuje na krawędzi obręczy, a czwarty stanowi zakończenie zaćmienia (Rys. 14). Poza obszarem, na którym widoczna jest obręcz, znajdujący się w półcieniu obserwator widzi zjawisko jako zaćmienie częściowe.

Annular Eclipse



Rys 14: Fazy zaćmienia obrączkowego (za: Brewer B., „Eclipse”).

Zaćmienie całkowite: Tak samo jak zaćmienie obrączkowe, zaćmienie całkowite ma cztery kontakty. Pierwszy kontakt i etap poprzedzający są podobne do sytuacji podczas zaćmienia obrączkowego. Jednak przed osiągnięciem drugiego kontaktu światło otaczające zaczyna gwałtownie się zmniejszać. Zmieniają się takie parametry atmosfery jak temperatura i względna wilgotność (odnotowane na przykład podczas badań prowadzonych przez Marcosa Penalozę z Uniwersytetu w Essex i doktora Edwarda Hannę z Centrum Badań Morskich w Plymouth).



Rys. 15: Diamentowy pierścień podczas całkowitego zaćmienia Słońca 29 marca 2006; zdjęcie wykonane w pobliżu Al Jaghub na pustyni Libijskiej. (Fot. J.C. Casado / starryearth.com)

Jeżeli obserwator znajduje się w wysoko położonym miejscu i ma dobry widok na otaczający go krajobraz, może zobaczyć półcień, rzucany przez księżyc, zbliżający się z wielką prędkością do zachodniej krawędzi horyzontu. W momencie drugiego kontaktu, wytwarza on „diamentowy pierścień”

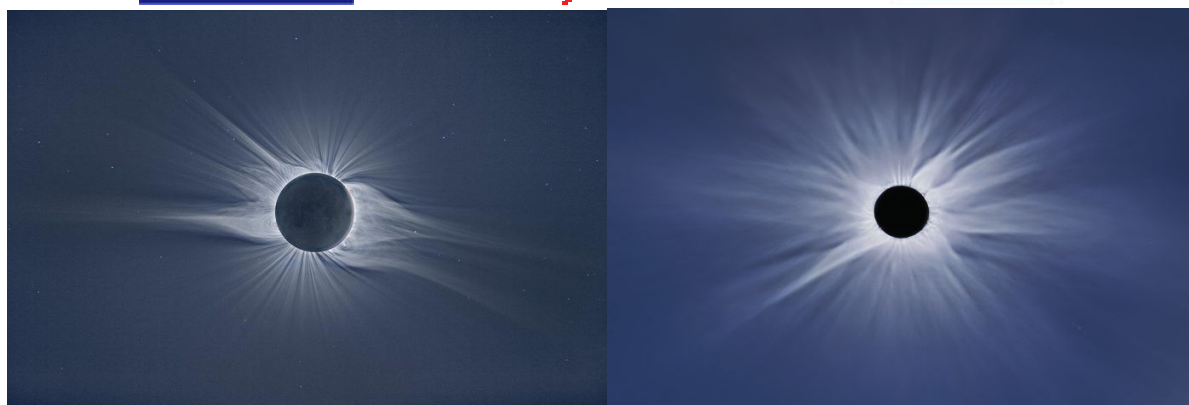


(Rys. 15) - rozbłysk światła w momencie, gdy Słońce chowa się całkowicie za tarczą Księżyca. Zanim zniknie ostatni fragment fotosfery, nierówności terenu na krawędzi tarczy Księżyca powoduje pojawienie się na świetlistych fragmentów zwanych **perłami Baily'ego** (Rys. 16). W tym momencie pojawia się nagle korona Słońca, przedtem przysłonięta blaskiem fotosfery (Rys. 17). Podczas pierwszych kilku sekund widać część chromosfery w postaci cienkiego łuku o intensywnie czerwonej barwie z jaskrawymi plamkami który szybko znika w cieniu tarczy Księżyca (Rys. 18).



Rys 16: Połączone zdjęcia przedstawiające 2 i 3 kontakt (perły Baily'ego i wewnętrzną koronę podczas zaćmienia Słońca z 22 lipca 2009, widzianego w pobliżu miasta Chongqing w Chinach.. (Fot. J.C. Casado / staryearth.com).

W koronie o intensywnie perłowo-białej barwie, widać struktury których wygląd zależy od słonecznego pola magnetycznego. W centrum znajduje się tarcza słońca, która wygląda jak czarna dziura na niebie. Kształt i jasność korony zależą głównie od aktywności Słońca w danym momencie jedenastoletniego cyklu. Podczas solarnego maksimum korona ma w przybliżeniu symetrię radialną (Rys. 17 po prawej stronie), a podczas minimum jest asymetryczna. (Rys. 17 po lewej stronie).



Rys. 17: Lewa strona: Obraz całkowitego zaćmienia Słońca z 1 sierpnia 2008, widzianego z Zalewu Nowosybirskiego (Nowosybirsk, Rosja). Połączenie 68 cyfrowych obrazów, pokazuje długie pasma korony, i gwiazdy w 10-krotnym powiększeniu (Zdjęcia i przetwarzanie: JC Marred/ staryearth.com). Prawa strona. Całkowite zaćmienie Słońca z 23 listopada 2003. Zdjęcie zrobione na pokładzie samolotu, lecącego nad Antarktydą.

Planety są widoczne gołym okiem, a najjaśniejsze gwiazdy daje się dostrzec na niebie, co daje wrażenie sztucznej „nocy”, chociaż oświetlenie bardziej wskazuje na późny wieczór (Rys. 19). Horyzont ma barwy takie jak przy zachodzie słońca, w pewnej odległości zaćmienie nie jest całkowite.



Rys. 18: Chromosfera i protuberancje widoczne podczas całkowitego zaćmienia Słońca 29 marca 2006, sfotografowane w pobliżu Al Jaghbub na Pustyni Libijskiej. Połączenie zdjęć wykonanych na początku i końcu całkowitej fazy zaćmienia. (Foto: J.C. Casado / staryearth.com)

Koniec całkowitego zaćmienia wydaje się następować szybko, być może dlatego, że faza ta (krótsza) występuje pomiędzy dwiema dłuższymi fazami zaćmienia częściowego. W najlepszej lokalizacji, tzn. w Ekwadorze, trwa ona najwyżej 7 ½ minuty. Na wszystkich szerokościach geograficznych może



trwać najwyżej do 6 minut, a w regionach polarnych, do trzech. Statystycznie, średnia długość wynosi 3 minuty. Podczas trzeciego kontaktu (drugi diamentowy pierścień) następują podobne wydarzenia, ale w odwrotnej kolejności niż podczas pierwszego kontaktu.



Rys. 19: Panoramiczny widok, przedstawiający cień Księżyca, przesuwający się z prędkością ponad 4500 km/godz., na chwilę przed drugim kontaktem. Zaćmienie z 23 listopada 2003r. Zdjęcie wykonane podczas lotu nad Antarktyką. (Fot. J.C. Casado / staryearth.com)

Całkowite zaćmienia (prawie to samo można powiedzieć o zaćmieniach obrączkowych) nie są tak rzadkie, jak mogłoby się zdawać, gdyż średnio występują co 18 miesięcy. Jednakże, dla pojedynczych punktów na powierzchni Ziemi, takich jak np. miasto, zjawisko to występuje średnio co 375 lat. Tak więc, aby znaleźć się w paśmie całkowitego zaćmienia, zazwyczaj należy udać się w daleką podróż.

3.9 Mapy zaćmień

Aby przedstawić te rejony na Ziemi, na których widziane będzie zaćmienie Słońca, używa się map Ziemi z nałożonymi krzywymi, ograniczającymi tereny, na których zaćmienie będzie widzialne.

Interpretacja takich map jest łatwiejsza niż się wydaje, a co więcej dostarcza stosunkowo dużo informacji na temat ogólnych i lokalnych okoliczności wydarzenia.

Główny problem stanowi niemożność intuicyjnego przedstawienia powierzchni kulistej (Ziemia) na mapie, gdyż jest ona płaska. Zależnie od zastosowania, wybiera się określony typ odwzorowania kartograficznego. Większość map zaćmień słońca, takich jak te dostępne w kalendarzach astronomicznych, publikowanych co roku na przykład przez Narodowe Obserwatorium Astronomiczne lub Królewski Instytut i Obserwatorium Marynarki w San Fernando, wykorzystuje rzut stereograficzny, który pozwala dobrze przedstawić zacienione obszary, przy niewielkich deformacjach terenów, przedstawionych na mapie.

Jako przykład wybraliśmy mapę (Rys. 20) całkowitego zaćmienia słońca z 13 listopada 2012 r.



Total Solar Eclipse of 2012 Nov 13

Geocentric Conjunction = 22:18:04.3 UT J.D. = 2456245.429217
Greatest Eclipse = 22:11:48.0 UT J.D. = 2456245.424861

Eclipse Magnitude = 1.0500 Gamma = -0.3718

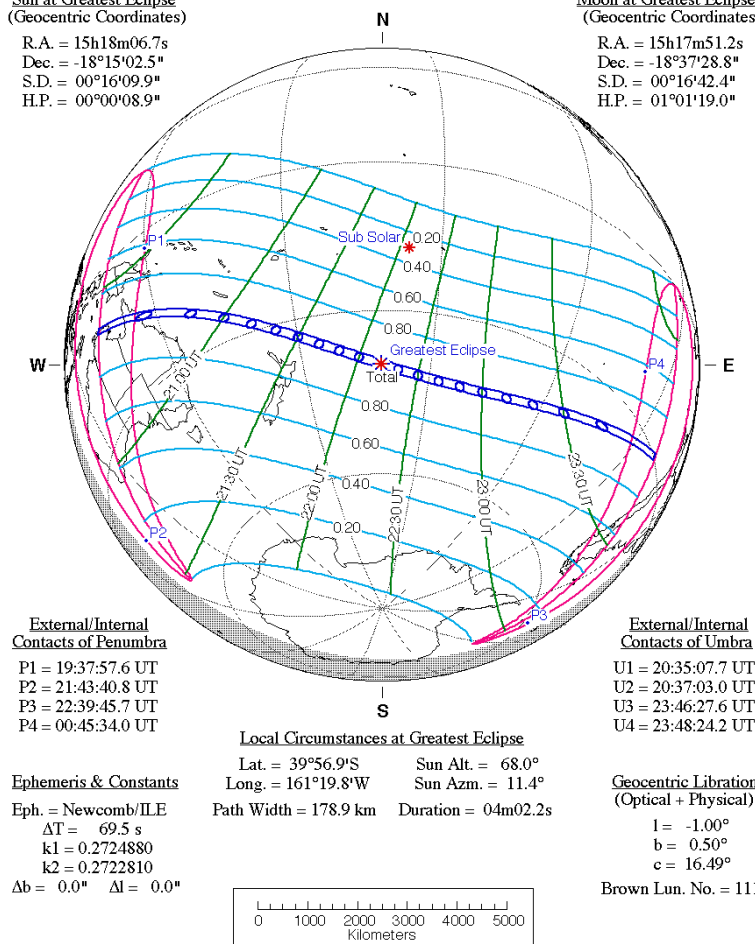
Saros Series = 133 Member = 45 of 72

Sun at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 15h18m06.7s
Dec. = -18°15'02.5"
S.D. = 00°16'09.9"
H.P. = 00°00'08.9"

Moon at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 15h17m51.2s
Dec. = -18°37'28.8"
S.D. = 00°16'42.4"
H.P. = 01°01'19.0"



External/Internal
Contacts of Penumbra

P1 = 19:37:57.6 UT
P2 = 21:43:40.8 UT
P3 = 22:39:45.7 UT
P4 = 00:45:34.0 UT

External/Internal
Contacts of Umbra

U1 = 20:35:07.7 UT
U2 = 20:37:03.0 UT
U3 = 23:46:27.6 UT
U4 = 23:48:24.2 UT

Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 39°56.9'S Sun Alt. = 68.0°
Long. = 161°19.8'W Sun Azm. = 11.4°
Path Width = 178.9 km Duration = 04m02.2s

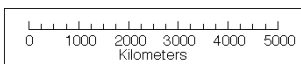
Ephemeris & Constants

Eph. = Newcomb/ILE
 $\Delta T = 69.5$ s
 $k1 = 0.2724880$
 $k2 = 0.2722810$
 $\Delta b = 0.0'' \Delta l = 0.0''$

Geocentric Libration
(Optical + Physical)

$l = -1.00^\circ$
 $b = 0.50^\circ$
 $c = 16.49^\circ$

Brown Lun. No. = 1112



F. Espenak, NASA's GSFC - Fri, Jul 2,
sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html

Rys. 20: Globalna mapa całkowitego zaćmienia Słońca z 13 listopada 2012 r.

Okolice, w których zaćmienie będzie lepiej lub gorzej widoczne zaznaczone są kolorem. Poza tymi okolicami, nawet jeśli zobaczycie słońce, to zaćmienie słońca nie wystąpi, gdyż będziecie się znajdowali poza zasięgiem cienia księżyca. Długie wąskie pasmo po środku to pas zaćmienia całkowitego. Obserwator znajdujący się na jego terenie będzie widział całkowite zaćmienie. Czerwona gwiazdka, umieszczona mniej więcej po środku pasa całkowitego zaćmienia oznacza punkt, w którym zaćmienie będzie trwało najdłużej.



Na zewnątrz pasma, w którym widziane jest całkowite zaćmienie, widać będzie zaćmienie częściowe, przy czym widzialność będzie się zmniejszać im dalej obserwator znajdzie się od środka pasma, mierząc w linii prostopadłej.

Godziny, w których zaćmienie zacznie się i skończy są zaznaczone liniami przerywanymi w odcinkach dwugodzinnych czasu uniwersalnego. Na czerwono zaznaczony jest pierwszy i ostatni kontakt, to znaczy miejsca na Ziemi gdzie, odpowiednio wystąpi pierwszy i ostatni kontakt z cieniem Księżyca.

3.10 Co badać

Zaćmienia słońca, w szczególności całkowite, dostarczają jedynej w swoim rodzaju możliwości dokonania obserwacji i eksperymentów, mimo tego, że faza środkowa jest bardzo krótka. Tematyka niektórych z tych badań dotyczy przede wszystkim samego Słońca oraz otaczającej je przestrzeni, a innych, szeroko pojętych związków z naszą planetą.

Co więcej, satelity takie jak np. SOHO, które monitorują Słońce na różnych długościach fal, dostarczają danych odniesienia do porównań między obserwacjami dokonywanymi w stacjach znajdujących się na ziemi i w przestrzeni kosmicznej.

Badania, które, ogólnie rzecz biorąc, można przeprowadzić podczas zaćmień Słońca:

Słońce jako ciało niebieskie:

- Badania korony słonecznej (jest ich najwięcej), która, jak powiedziano we wstępie, ma średnią temperaturę około 1 miliona stopni Celsjusza, a nadal nie wiadomo, co ją wytwarza. Badania te mogą dotyczyć: gęstości i struktur korony, fal uderzeniowych, związków między protuberancjami, „zimnej” materii koronalnej (800 000 stopni Celsjusza), pól magnetycznych, materii w wewnętrznej koronie, polaryzacji.
- Precyzyjne pomiary średnicy Słońca. Pierwszy i ostatni kontakt fazy zaćmienia stanowią punkty odniesienia dla dokonania takich pomiarów. Badania te mogą odpowiedzieć na pytanie, czy Słońce zmienia swoją wielkość.
- Badanie przestrzeni i materii dookoła Słońca (czy istnieje pierścień materii??).
- Weryfikacja ogólnej teorii względności.

Oddziaływanie Słońca z Ziemią:

- Zmiany grawitacji w systemie Ziemia-Księżyc: ich badanie pozwoli dokładniej przewidywać zjawiska astronomiczne.
- Zmiany pogody: ciśnienia, temperatury, względnej wilgotności, przewodzenia powietrza. Jest to dziedzina, w której amatorzy mogą współpracować z uczonymi.
- Wpływ na środowisko: efekty optyczne (zmiany koloru i jasności nieba), pojawianie się pasm cienia, badania promieniowania słonecznego i jego związku z warstwami atmosfery. Zmiany w atmosferze ziemskiej spowodowane pochłanianiem promieniowania słonecznego przez cząsteczki (atomy i molekuły), co zmienia ich własności w dzień i w nocy.
- Reakcje i zmiany zachowania dzikiej fauny i flory.



- Aspekty historyczne: zaćmienia były wykorzystywane do datowania wydarzeń historycznych.
- Aspekty etnograficzne: lokalne i pop kulturowe legendy, mity i wierzenia

3.11 Wpływ na lokalny klimat.

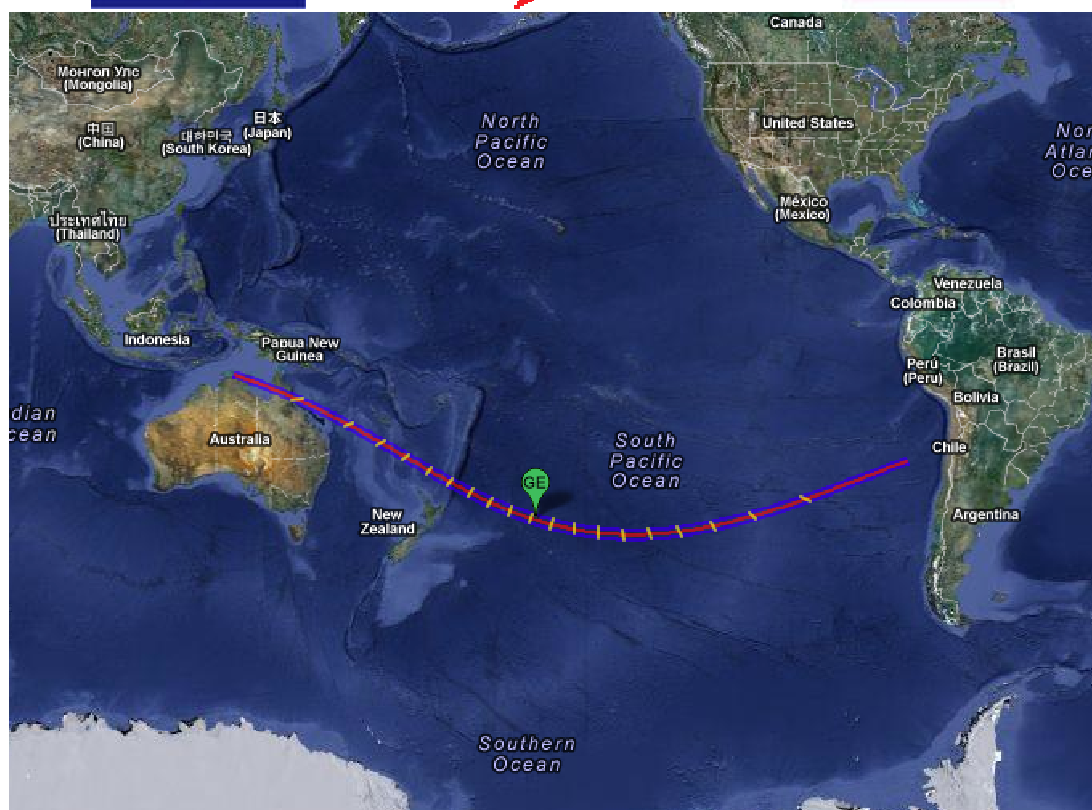
Zaćmienia Słońca są zjawiskami bardzo atrakcyjnymi dla meteorologów, gdyż podczas ich trwania można najlepiej zbadać reakcję atmosfery na nagłe pojawienie się promieniowania słonecznego. Jak widać istnieje wiele badań, których celem była analiza wpływu powyższych zjawisk na pogodę, pomiary temperatury powietrza lub gleby podczas zaćmienia słońca, zmian wilgotności, prędkości i kierunku wiatru i innych ważnych aspektów związanych z badaniami atmosfery.

Na przykład, zmiany temperatury podczas zaćmienia słońca są bardzo interesujące, gdyż ludzie dość mocno je odczuwają. Generalnie, dostrzega się spadek temperatury, gdy Słońce jest częściowo zasłonięte, przy czym niektórzy z obserwatorów są w stanie dostrzec natychmiastową zmianę temperatury, a inni twierdzą, że ma ona miejsce dopiero po czwartym kontakcie (zakończeniu zaćmienia). Co więcej, rozkład i zasięg spadku temperatury różni się dla poszczególnych miejsc i może sięgać od jednego do kilku stopni, zależnie od wielu czynników takich jak zasłonięta proporcja słońca, szerokość geograficzna, pora roku i dnia, warunki pogodowe, wysokość, na której dokonywane są pomiary, klimat oraz inne czynniki lokalne takie jak topografia, roślinność itd. Także czas, który upływa między momentem, gdy zaćmienie osiąga maksimum, a temperatura minimum, jest bezpośrednim wynikiem termicznej inercji atmosfery, i jej oddziaływania z powierzchnią Ziemi. Podobnie jak dzieje się to na co dzień, gdy maksymalne temperatury powietrza występują zawsze kilka godzin po tym jak Słońce przejdzie zenit (lub wysoką pozycję na niebie).

Wielu autorów mówi też o zmianach ciśnienia atmosferycznego podczas zaćmienia (na przykład, zobacz artykuł Jay Andersena). Tak więc niekiedy twierdzi się, że zmiany ciśnienia mają formę fal, usuwających się z drogi cienia Księżyca na powierzchni Ziemi (różne miejsca, w których na powierzchni Ziemi widać całkowite zaćmienie przedstawione są na Rys. 21). Tak więc fale ciśnienia odsuwają się z drogi tak jak fale, tworzone przez dziób łodzi. To wszystko jest bardzo ciekawe, dlatego chociaż efekt wytwarzany przez ochłodzenie się atmosfery jest bardzo trudny do zaobserwowania, spróbujemy to uczynić, dokonując pomiarów ciśnienia.

3.12 Całkowite zaćmienie słońca w 2012 r.

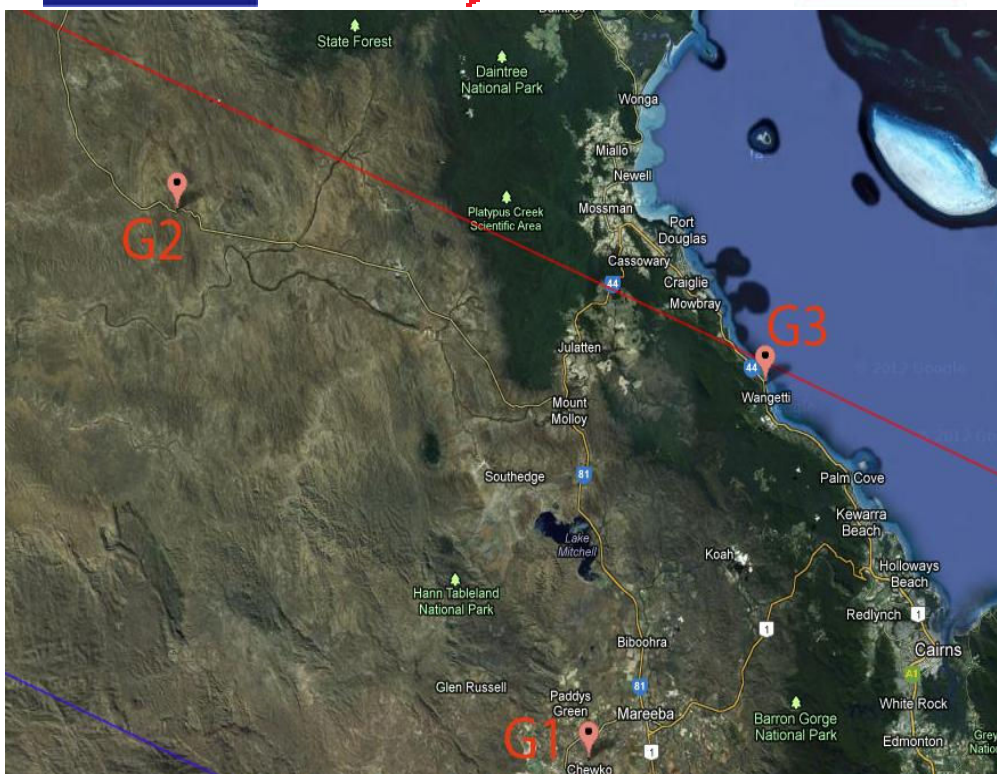
Po upływie ponad roku od ostatniego całkowitego zaćmienia Słońca (ostatnie miało miejsce 11 lipca 2010), cień Księżyca pojawi się na powierzchni Ziemi 13 listopada 2012. Cień pojawi się najpierw w Australii, a następnie przesunie na Ocean Spokojny. Najgłębsze zaćmienie wystąpi pośrodku Oceanu Spokojnego i będzie trwało 4 minuty i dwie sekundy. Słońce będzie znajdowało się wtedy 68 stopni nad horyzontem o godzinie 22:11 czasu uniwersalnego.



Rys. 21: Całkowite pasmo (niebieskie linie) zaćmienia z 13 listopada 2012. Raport NASA. Zielony punkt wskazuje, gdzie zaćmienie będzie trwało najdłużej. Punkt obserwacyjny ekspedycji będzie znajdował się w okolicach miasta Cairns (stan Queensland) w północno-wschodniej Australii.

Transmisja będzie przesyłana z trzech punktów obserwacyjnych w północno-zachodniej Australii (Stan Queensland), w pobliżu miasta Cairns, gdzie zaćmienie będzie trwało około dwie minuty. Te punkty to (patrz Rys. 22):

- G3. Na wybrzeżu, w okolicach Oak Beach.
- G2. Na stałym lądzie. Autostrada Rt-81.
- G1. Na stałym lądzie. Miasto Mareeba. Siedziba grupy koordynującej.



Rys. 22: Punkty obserwacyjne ekspedycji. Czerwona linia zaznacza centrum pasa zaćmienia. Jeden punkt obserwacyjny znajduje się na wybrzeżu, a dwa na stałym lądzie (czerwone punkty G1, G2 i G3).

Prace ekspedycji i retransmisja będą koordynowane i kierowane przez Dr. Miguela Serra-Ricart (astronom z Instytutu Astrofizyki Wysp Kanaryjskich i Dyrektor Obserwatorium w Teide).

4. Metodologia.

4.1 Obliczanie reakcji termicznej atmosfery na podstawie pomiarów atmosfery podczas całkowitego zaćmienia Słońca.

Jednym ze zjawisk, które towarzyszą zaćmieniu, szczególnie całkowitemu, jest spadek temperatury wywołany zmniejszeniem promieniowania słonecznego. Co ciekawe, zjawisko to nie występuje natychmiast w chwili, gdy Słońce zostaje całkowicie zakryte (maksymalne zaćmienie lub drugi kontakt), ale pojawia się po upływie od 2 do 20 minut.

Długość odstępu czasu zależy od wielu czynników, na przykład pory dnia, w której następuje zaćmienie, obecności zbiorników wody, na przykład oceanu, bliskości terenów leśnych, itd., jednak parametr ten można łatwo zmierzyć. Wystarczy tylko wziąć pod uwagę moment, w którym intensywność światła albo promieniowanie słoneczne spadnie do minimum, co następuje w momencie, gdy zaćmienie osiąga swoje maksimum (drugi kontakt) oraz moment, w którym wystąpi najniższa wartość temperatury, który ma miejsce później. Reakcja termiczna atmosfery, czyli *bezwładność cieplna atmosfery* to okres czasu, jaki upływa między tymi dwoma minimami.



Proponujemy oszacowanie reakcji termicznej atmosfery dwiema metodami, dla różnych okresów czasu i porównanie wyników końcowych (zmierzone wartości i błędy).

4.2 Krótkie wprowadzenie do teorii błędów i próbkowania.

Pomiar prawie zawsze polega na porównaniu mierzonej wielkości do pewnego standardu/normy. Na przykład, jeżeli mierzymy szerokość laboratorium ustawiając naprzemiennie stopy, możemy powiedzieć, że szerokość laboratorium wynosi 18 stóp, a jedna stopa jest naszą jednostką pomiarową/naszym wzorcem. Jednakże pomiar nigdy nie jest dokładny, więc nie może być kompletny bez oszacowania wartości błędu. Czasami błąd spowodowany jest przez instrument, wykorzystywany do dokonania pomiaru, czasami wynika z błędnej percepcji mierzącego, itd. Każdy pomiar zawiera w sobie możliwość błędu, którą należy wziąć pod uwagę, przedstawiając wyniki wykonanych pomiarów.

Zależnie od rodzaju błędów można zdefiniować dwa typy błędów.

- **Błędy systematyczne.** Wynikają z problemów związanych z używaniem aparatów pomiarowych albo z faktu, że kiedy włączamy narzędzie pomiarowe do systemu, ulega ono zmianom i modyfikacjom i przez to wielkość, którą chcieliśmy zmierzyć zmienia swoją wartość. *Zazwyczaj mają ten sam kierunek.*
- **Błędy losowe:** Są wynikiem niekontrolowanych czynników, które losowo zmieniają wartości pomiarów. Wyniki są losowo rozłożone dookoła prawdziwej wartości, co pozwala na wykorzystanie metod statystycznych dla oszacowania wartości.

Ze względu na możliwość występowania błędów nie można poznać prawdziwej wartości pomiaru. Staranność pozwala ograniczyć błędy systematyczne, a błędy losowe mogą być zmniejszone przez użycie metod statystycznych. *Wartość szacunkowa pomiaru to średnia wartość obliczona z kilku pomiarów.*

Załóżmy, że chcemy zmierzyć długość L pręta i otrzymujemy dwa zbiory wyników:

Grupa a: 146 cm, 146 cm, 146 cm

Grupa b: 140 cm, 152 cm, 146 cm

W obu przypadkach wartość szacunkowa jest taka sama (146 cm). Nie jest taka sama dokładność pomiaru. Jak można odróżnić dokładności tych dwóch pomiarów? Wykorzystując pojęcie błędu albo niepewności.

Wyrażając wynik pomiaru musimy zawsze podawać zaobserwowaną wartość wraz z błędem oraz jednostkę pomiaru. Można powiedzieć, że prawdziwą wartością pomiaru jest wysokie prawdopodobieństwo w przedziale, którego granicami są szacunkowe wartości pomiaru plus/minus błąd szacunkowy.

wynik pomiaru = obserwowana wartość $\pm$ błąd (jednostka pomiaru)

W ostatnim przykładzie, po oszacowaniu błędów wynik może zostać zapisany w sposób następujący: $L = 146 \pm 4$ cm



4.2.1. Błędy losowe.

Jak powiedziano powyżej, błędy wynikają z przyczyn, które nie mogą być kontrolowane i zmieniają losowo wyniki pomiarów, albo je zwiększając, albo zmniejszając. Trudno jest je oszacować: osiąga się to na podstawie cech systemu pomiarowego oraz przez wykonywanie kilku pomiarów, a następnie poddanie ich analizie statystycznej. Dzięki wielokrotnym pomiarom można obliczyć odchylenie standardowe σ .

4.2.1.1 Odchylenie standardowe.

Aby otrzymać dobre rezultaty pomiarów i zmniejszyć wpływ przypadkowych błędów należy powtórzyć pomiar kilka razy. Rezultatem pomiarów będzie uzyskana średnia, która będzie prawdopodobnie najbliższa prawdziwej wartości. To samo dotyczy zbiorów danych uzyskanych w odcinkach pomiaru albo przez próbkowanie, a interwał zmieniamy odpowiednio grupując dane i jako wartość pomiaru traktujemy średnią wartość każdej z grup.

Średnią wartość każdej z grup obliczamy przy pomocy następującego wyrażenia:

$$\bar{X}_m = \sum_{i=1}^N X_i / N$$

gdzie X_i to każdy z punktów należących do badanej grupy a N jest liczbą wszystkich danych. Na przykład, zakładając zbiór wartości dla temperatury, średnia wartość zostanie obliczona przy pomocy wyrażenia:

$$\bar{X}_5 = (X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4) / 5$$

gdzie X_0, X_1, X_2, X_3 i X_4 są wartościami temperatury dla grupy 5 danych.

Odchylenie standardowe obliczamy przy pomocy następującego wyrażenia:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Odchylenie standardowe jest oszacowaniem losowych błędów pomiaru i dlatego możemy je wyrazić tak jak powyżej.

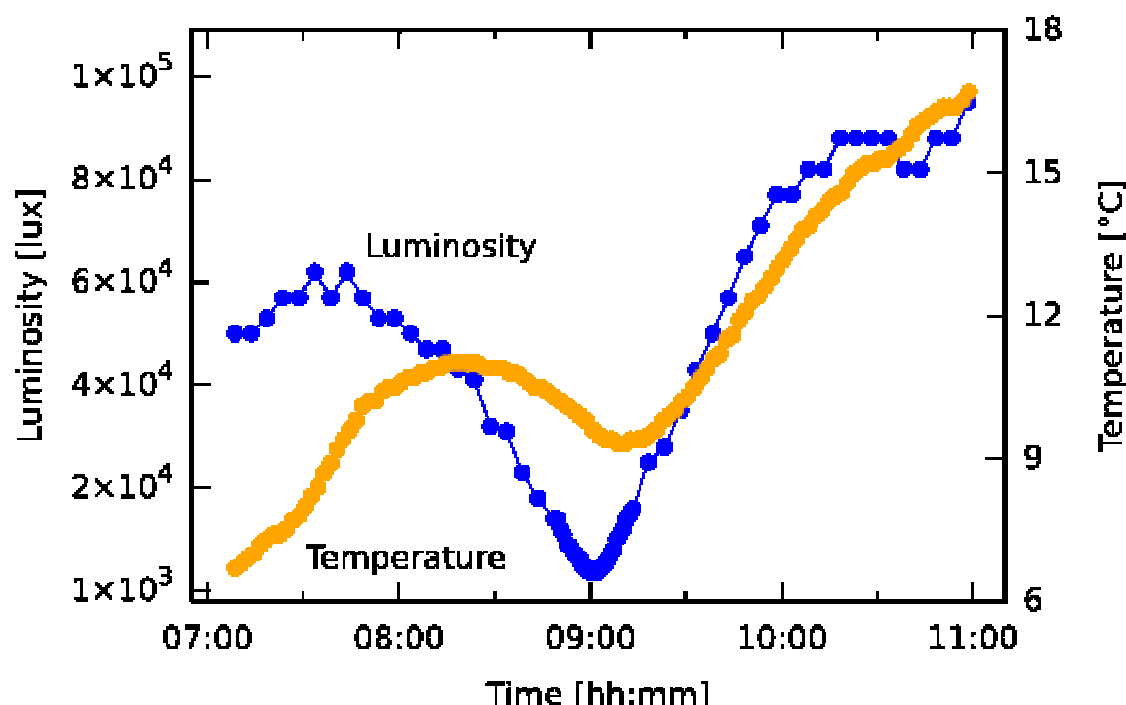
4.2.2 Tworzenie wykresów i próbkowanie.

Aby przedstawić wartości zmiennej na wykresie, odwzorowujemy je jako odpowiadające jej punkty na osiach wykresu, a wartość błędu reprezentowana jest jako linia pozioma albo pionowa, zależnie od tego, czy błąd dotyczy współrzędnych x czy y , przy czym długość linii odpowiada wartości błędu, zgodnie ze skalą osi. Zatem i większy błąd, tym dłuższa linia dla każdego punktu.

Na rysunku poniżej przedstawione są dane dotyczące promieniowania słonecznego i temperatury, mierzonych podczas obrączkowego zaćmienia z roku 2005 w wiosce Los Pedrones w Walencji.

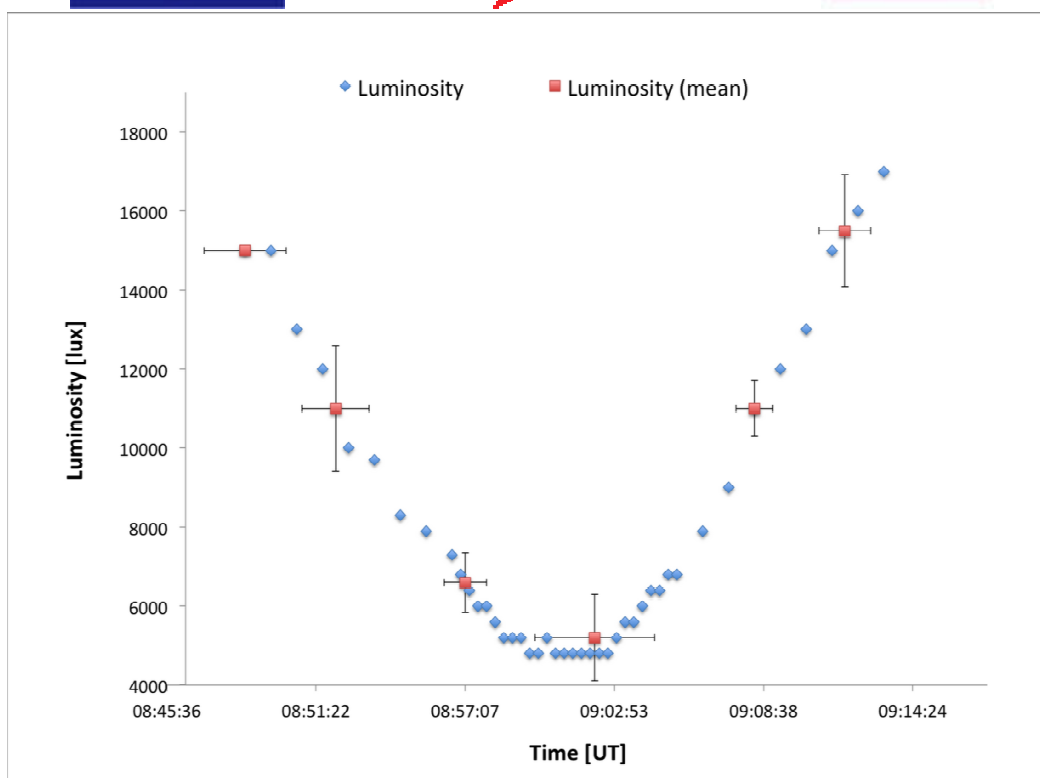


Solar eclipse 2005-10-03



Rys. 23: Spadek promieniowania słonecznego lub jasności oraz temperatury, który miał miejsce podczas obrączkowego zaćmienia z października 2005.

Kolejnym bardzo ważnym czynnikiem, jest wybór metody zbierania i przedstawiania danych. W Dane, przedstawione na rysunku Rys. 23, były "próbkowane dynamicznie", to znaczy sposób zbierania danych zmieniał się w czasie trwania zjawiska (dane pobierano najpierw co 5 minut, potem co minutę, a paśmie krytycznym, w maksimum zaćmienia, co 20 sekund, a następnie coraz rzadziej, w odwróconej kolejności). Ten rodzaj próbkowania pozwala nam dopasować pomiary do interesującej nas fazy zjawiska, nie tracąc z oczu kierunku zmian mierzonej wartości. Dlatego na Rys. 23 widzimy, że w obszarze krytycznym gęstość pomiarów jest znacznie większa (więcej kropek w tym samym okresie czasu), niż w pozostałych obszarach.



Rys. 24: Spadek promieniowania słonecznego (lub jasności) podczas obrączkowego zaćmienia, które miało miejsce 3 października 2005. Niebieskie kropki oznaczają faktyczne punkty pomiaru jasności w krytycznej fazie zaćmienia (drugi kontakt). Pomarańczowe kropki zostały wygenerowane po korekcie uśredniającej wynik dla każdych 5 minut wraz z liniami błędów.

Opierając się na tym samym zbiorze danych możemy zmienić sposób przedstawienia pomiarów, wybierając przedział czasu, taki jak na początku pomiarów i obliczając w każdym z przedziałów wartość średnią z pomiarów w tym przedziale i błąd, czyli odchylenie standardowe (patrz Rys. 24). Widzimy, że trend dla tych punktów jest taki sam, jak dla niebieskich punktów, ale dla pomarańczowej krzywej „Jasność (średnia)” widzimy linie błędów zarówno na osi x jak i na osi y, co wynika z faktu, że istnieje niepewność co do tych wartości w każdym z przedziałów.

Podsumowując: po dokonaniu serii pomiarów należy zawsze podawać nie tylko wartości dla danej zmiennej, ale także i błąd.

4.3. Metoda 1: Pomiar bezpośredni. Wartości ciśnienia, widoczne promieniowanie i temperatura.

13 listopada 2012 roku na stronie projektu (www.gloria-project.eu) znajdować się będzie transmisja na żywo zaćmienia Słońca, przeprowadzana z Australii. Będzie też dostępny kanał, na którym będziecie mogli oglądać w czasie rzeczywistym stację meteorologiczną ekspedycji umieszczoną w punkcie G1 (Mareeba, Australia), tak że uczniowie będą mogli zapisywać wartości temperatury, widocznego promieniowania i ciśnienia atmosferycznego, tak jakby sami znajdowali się na miejscu.



Interwał pomiarowy powinien zostać zaplanowany wcześniej przez ucznia albo nauczyciela, tak aby uzyskać zrozumiałą interpretację zmian wartości każdej z mierzonych zmiennych na wykresie. Początkowy interwał nie powinien być większy niż dwie minuty i powinien zmniejszać się do 5 sekund podczas maksimum zaćmienia (drugi kontakt).

Na Rys. 23 przedstawiono przykładowe dane dla promieniowania słonecznego i temperatury pobrane podczas obrączkowego zaćmienia z roku 2005, gdzie interwał pomiaru był zmienny, dane były początkowo pobierane co 5 minut, następnie co 1 minutę, a w pobliżu maksimum, co 20 sekund, a dla drugiej połowy zaćmienia proporcje te zostały odwrócone. Taki pomiar nazywa się "próbkowaniem dynamicznym".

Po dokonaniu pomiarów należy graficznie zilustrować zapisane wartości, tak jak na Rys. 22 lub 23, przedstawiając zmiany w czasie dla każdej ze zmiennych przy pomocy oprogramowania, które pozwala przedstawiać dane liczbowe (Excel, OpenOffice, Libre Office, Origin). Chodzi o to, aby można było zobaczyć trend dla każdego z obserwowanych zjawisk. Uzyskawszy wykres należy określić punkt w czasie, w którym wystąpiło minimum dla temperatury i promieniowania (albo jasności) i oszacować wartość *atmosferycznej bezwładności termicznej*, obliczając różnicę w czasie między obydwoma minimami.

Dobłą metodą uzyskania dokładnego minimum jest dopasowanie paraboli do danych w pobliżu minimum. Nauczyciel musi sam zdecydować, czy należy nauczyć studentów dopasowywania krzywej, gdyż temat ten nie znajduje się w podstawie programowej.

Po zakończeniu zaćmienia udostępnione zostanie nagranie wideo z kompletnymi pomiarami, dokonanymi na stacji meteorologicznej, pozwalające powtórzyć proces zapisywania danych.

4.4 Metoda 2: Baza danych.

Podczas transmisji zaćmienia stacja meteorologiczna będzie okresowo zapisywała (próbki co około 5 sekund) wartości dla trzech omawianych wyżej zmiennych, tak że będą one dostępne także po zaćmieniu. Dane będą udostępnione w bazie danych, znajdującej się na portalu internetowym GLORIA (www.gloria-project.eu).

W bazie danych przechowywane będą wszystkie zmienne w funkcji czasu. Uczeń będzie mógł określić interwał próbkowania, jaki chce wykorzystać, a system obliczy odpowiednie wartości i ich błędy oraz przedstawi je w układzie kartezjańskim. W ten sposób uczeń może samodzielnie wybrać zakres, który go interesuje i zobaczy jak zmieniał się trend, a także błędy związane z poszczególnymi punktami.

Można będzie wybierać różne próbki dla różnych pór zaćmienia, tak że będzie można ustalić dłuższy interwał na początku i pod koniec zaćmienia i zmienić go w momencie krytycznym, w pobliżu maksimum, na mniejszy, żeby ograniczyć błędy w tej części krzywej.

Po próbkowaniu i wykonaniu reprezentacji graficznej, uczeń może określić *atmosferyczną bezwładność cieplną*, korzystając z tej samej procedury jak poprzednio, samemu ustalając momenty, w których krzywe jasności i temperatury osiągnęły swoje minima i obliczając różnicę w czasie.



LITERATURA

1. SERRA-RICART, M. et al. *Eclipses. Tras la sombra de la Luna*. Shelios, 2000; barwna książka, zachowująca rygor naukowy, poświęcona ekspedycjom obserwującym całkowite zaćmienia Słońca.
2. GIL CHICA, F.J. *Teoría de eclipses, ocultaciones y tránsitos*. Alicante University, Murcia, 1996. Traktat na temat teorii zaćmień. W książce tej opisano szczegółowo matematyczne aspekty tych zjawisk, w związku z tym niezbędna jest zaawansowana znajomość matematyki.

Literatura przedmiotu w języku angielskim:

3. ESPENAK, F. *Fifty Year Canon of Solar Eclipses : 1986-2035*. NASA Reference Publication 1178. Sky Publishing Corporation, Cambridge (USA), 1987. Kanon opracowany przez jednego z najlepszych specjalistów w dziedzinie, Freda Espenaka. Zawiera dane i mapy dla wszystkich zaćmień słońca od roku 1986 do 2035 ze szczegółami i ogólną informacją dla okresu 1901-2100.
4. ESPENAK, F. *Fifty Year Canon of Lunar Eclipses : 1986-2035*. NASA Reference Publication 1216. Sky Publishing Corporation, Cambridge (USA), 1987. Kanon zawierający dane i mapy zaćmień Księżyca w latach 1986-2035 szczegółowo i w latach 1901-2100, ogólnie.
5. MEEUS, J. *Elements of solar eclipses 1951-2200*. Willmann-Bell, Inc, Richmond (USA). Zawiera elementy 570 zaćmień między 1951 i 2200, co pozwala oszacować ich ogólne i szczególne cechy. Szczegółowe wzory zostały opracowane przez Bureau des Longitudes w Paryżu. Istnieje także zbiór zarejestrowanych danych, ale aby z niego korzystać, należy mieć odpowiednie oprogramowanie.
6. GUILLERMIER, P. y KOUTCHMY, S. *Total Eclipses*. Springer, 1999. Nauka, obserwacje, mity i legendy na temat zaćmień, zwłaszcza całkowitych zaćmień słońca. Wspaniała książka dla tych, którzy chcą dowiedzieć się więcej o zaćmieniach i ich obserwacji.
7. REYNOLDS, M.D. y SWEETSIR, R.A. *Observe eclipses*. Observe Astronomical League Publications, Washington (USA), 1995. Znakomita praca o obserwacji w terenie, przedstawiająca wszystkie aspekty, które mogą zainteresować amatora. Można ją nabyć przez amerykańskie wydawnictwo magazynu Sky and Telescope, Sky Publishing Corporation.
8. JAY ANDERSON. *Environment Canada*. Weather, Volume 54, Issue 7, pages 207–215, July 1999. Czasopismo publikujące artykuły naukowe na temat atmosfery i klimatu.

Warto wiedzieć, że NASA Technical Publication wydaje mniej więcej na półtora roku przed każdym pierścieniowym i całkowitym zaćmieniem zbiór map, prognoz oraz informacji o ogólnych i miejscowych



okolicznościach danego zaćmienia. Dalszych informacji może udzielić Fred Espenak, NASA / GSFC, Code 693, Greenbelt, MD 20771 (USA) lub e-mailem: espenak@gsfc.nasa.gov