



ĆWICZENIE

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 tego ćwiczenia 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.
- Nauczmy się wykorzystywać algebrę i podstawowe prawa termodynamiki.
- Zrozumiemy i nauczmy się stosować podstawowe metody analizy pomiarów (obliczanie błędów).
- Nauczmy 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?

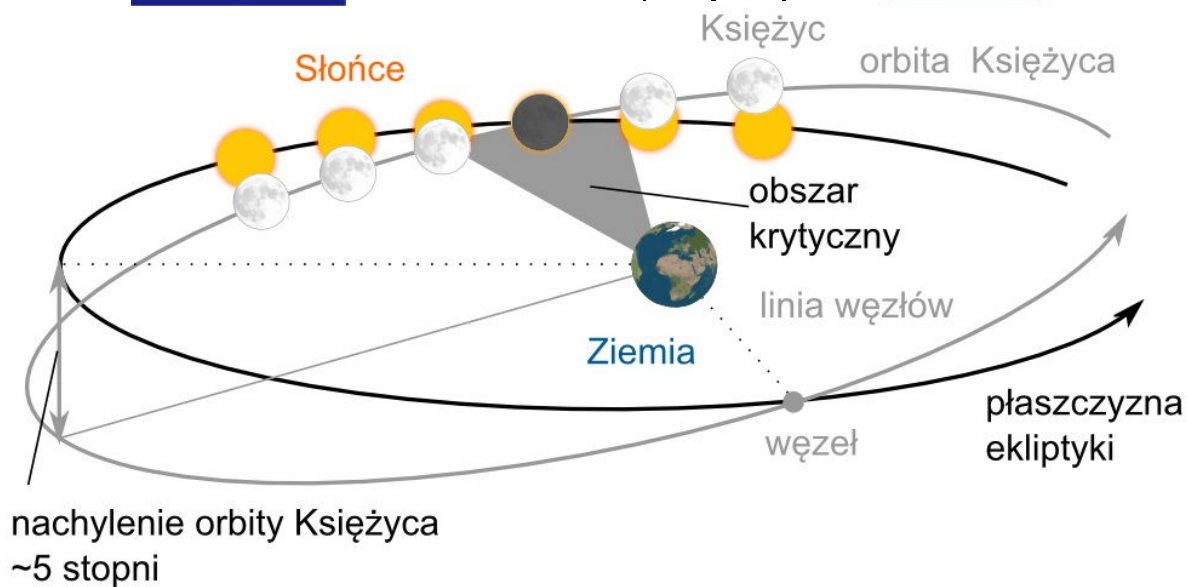
Zaćmienie polega na tym, że jedno ciało niebieskie, na przykład Księżyc, znajdzie się pomiędzy innym ciałem niebieskim, na przykład Ziemią, a źródłem światła, na przykład Słońcem. W układzie Słońce-Księżyc-Ziemia terminu „zaćmienie” używa się do opisu dwóch różnych zjawisk.

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 Warunki występowania zaćmień.

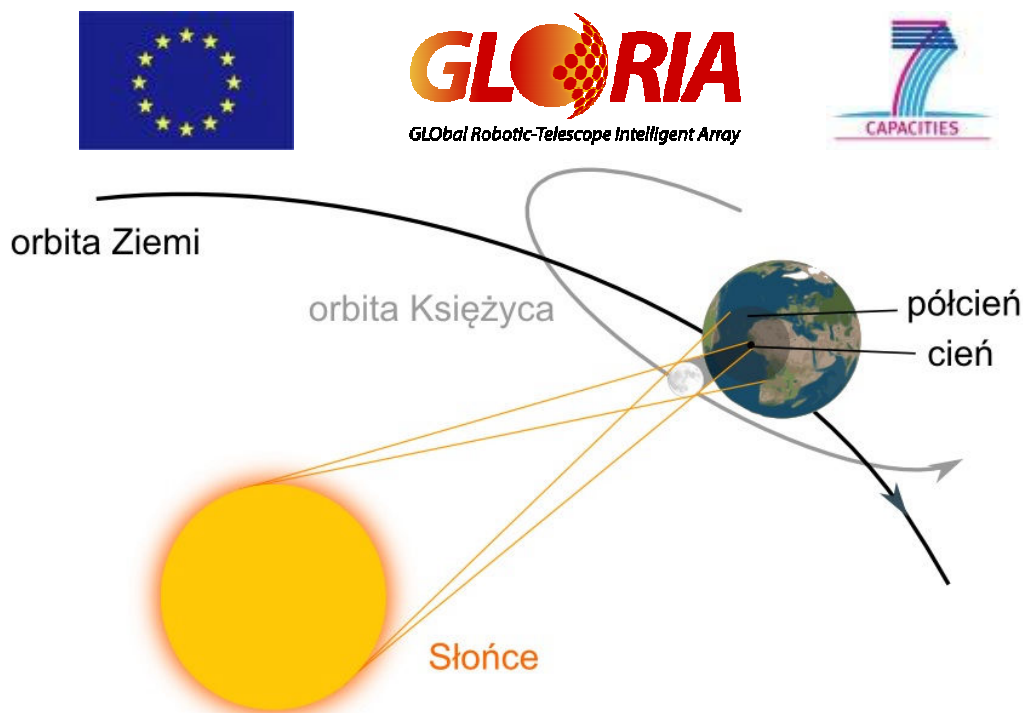
Jak wiemy, orbity Ziemi i Księżyca nie leżą w tej samej płaszczyźnie, więc przez większą część czasu Księżyc jest albo powyżej, albo poniżej ekliptyki, czyli płaszczyzny określonej przez ruch Ziemi dookoła Słońca. Aby doszło do zaćmienia, Księżyc musi znaleźć bardzo blisko płaszczyzny ekliptyki, w fazie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



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

Wzajemne ustawienie Słońca, Ziemi i Księżyc, które umożliwia zaćmienie zdarza się dwa lub trzy razy w roku – co 173.31 dni – w tak zwanych **porach zaćmień**. Rok zaćmieniowy to okres czasu, który upływa pomiędzy dwoma odpowiadającymi sobie ustawieniami Słońca, Księżyc i Ziemi i trwa 346.62 dnia.

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



Rys. 2: Obszary cienia i półcienia podczas zaćmienia..

3.3 Całkowite zaćmienia w ciągu roku.

Każdego roku obserwujemy co najmniej cztery zaćmienia (włączając częściowe zaćmienia Księżycy): dwa zaćmienia Słońca i dwa zaćmienia Księżycy.

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

- 5 zaćmień Słońca i 2 zaćmienia Księżycy
- 5 zaćmień Księżycy i 2 zaćmienia Słońca
- 4 zaćmienia Słońca i 3 zaćmienia Księżycy
- 4 zaćmienia Księżycy i 3 zaćmienia Słońca

3.4 Rodzaje zaćmień

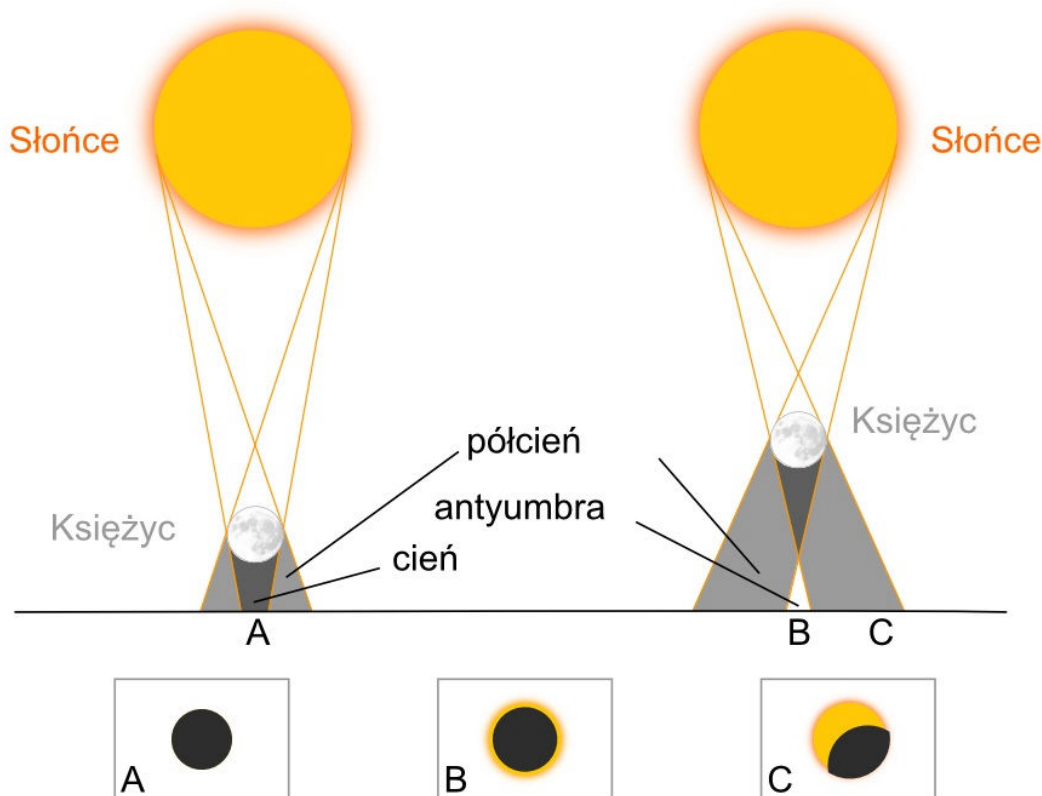
Obserwujemy różne typy zaćmień, w zależności od długości cienia Księżycy i odległości Ziemia-Księżyc. Różne przypadki ilustruje Rysunek 3.

- 1) Częściowe zaćmienie: Do powierzchni Ziemi dociera jedynie półcień Księżycy (Rysunek 3 C). Takie zaćmienia zdarzają się tylko w na dużych szerokościach geograficznych, w pobliżu biegunów północnego i południowego.



2) Zaćmienie obrączkowe: Księżyc jest tak daleko od Ziemi że jego tarcza nie zakrywa w całości tarczy słonecznej, choć i tak blokuje większość słonecznego światła, (Rysunek 3 B).

3) Całkowite zaćmienie: Księżyc jest dostatecznie blisko Ziemi i jego cień całkowicie przestania światło słoneczne Rysunek 3 A).



Rys. 3: Rodzaje zaćmień w zależności od względnego położenia Księżyca wobec ziemi.

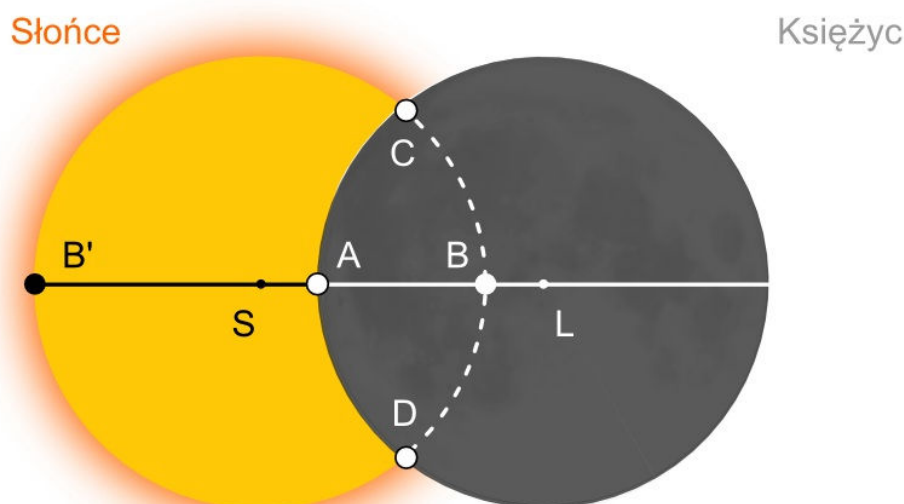
3.5 Jak wyglądają zaćmienia?

Częściowe zaćmienie: Podczas swego trwania, częściowe zaćmienie słońca ma dwa kontakty. 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. 4). 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. 4).

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



wielkość zaćmienia: $m = AB/B'B$

zaciemnienie: $\text{zaciemnienie} = \frac{\text{obszar}(ACBD)}{\text{obszar}_{\text{Słońca}}}$

Rys. 4: 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.

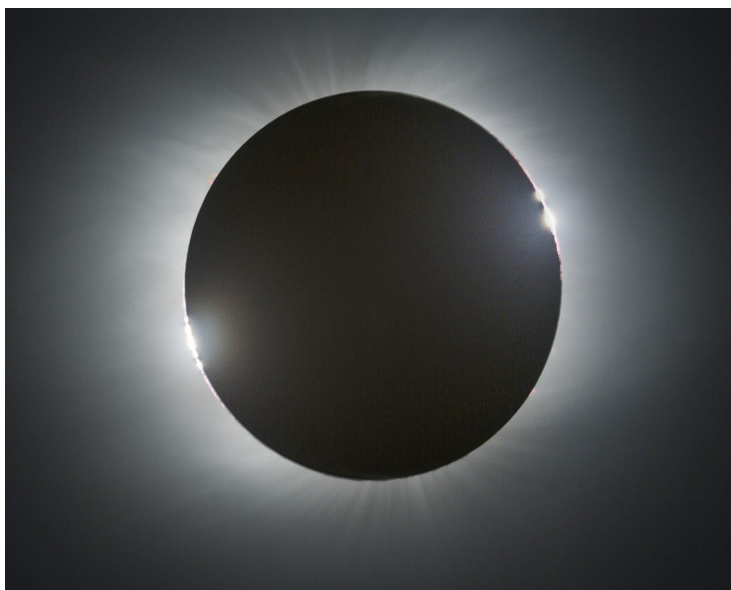
Zaćmienie obrączkowe: Obserwator okolic obręczy zobaczy cztery momenty kontaktu albo styczności tarcz Słońca i Księżyca. Na początku ma miejsce pierwszy kontakt, czyli moment, w którym oba ciała niebieskie "styka się" po raz pierwszy. Następnie w ciągu około półtorej godziny, tarcza słoneczna chowa się 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. Poza obszarem, na którym widoczna jest obręcz, znajdujący się w półcieniu obserwator widzi zjawisko jako zaćmienie częściowe.



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

Zaćmienie całkowite: Tak samo jak zaćmienie obręczowe, zaćmienie całkowite ma cztery kontakty. Pierwszy kontakt i etap poprzedzający są podobne do sytuacji podczas zaćmienia obręczowego. Jednak przed osiągnięciem drugiego kontaktu światło otaczające zaczyna gwałtownie się zmniejszać. Zmieniają się takie parametry atmosfery jak temperatura i względna wilgotność.

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. 5) - 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 **perlami Baily'ego** (Rys. 6). W tym momencie pojawia się nagle korona Słońca, przedtem przysłonięta blaskiem fotosfery. 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. 7).



Rys 5: 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. 6 po prawej stronie), a podczas minimum jest asymetryczna. (Rys. 6 po lewej stronie).



Rys. 6. 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 Married/ starryearth.com). Prawa strona. Całkowite zaćmienie Słońca z 23 listopada 2003. Zdjęcie zrobione na pokładzie samolotu, lecącego nad Antarktydą.



Rys. 7: 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 / starryearth.com)



3.6 Jak obejrzeć zaćmienie? Zapraszamy na wyprawę z GLORIA!

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. Twoje miasto, zjawisko to występuje średnio co 375 lat. Tak więc, aby znaleźć się w paśmie całkowitego zaćmienia, zazwyczaj należy udać się w daleką podróż.

3.6.1. 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.

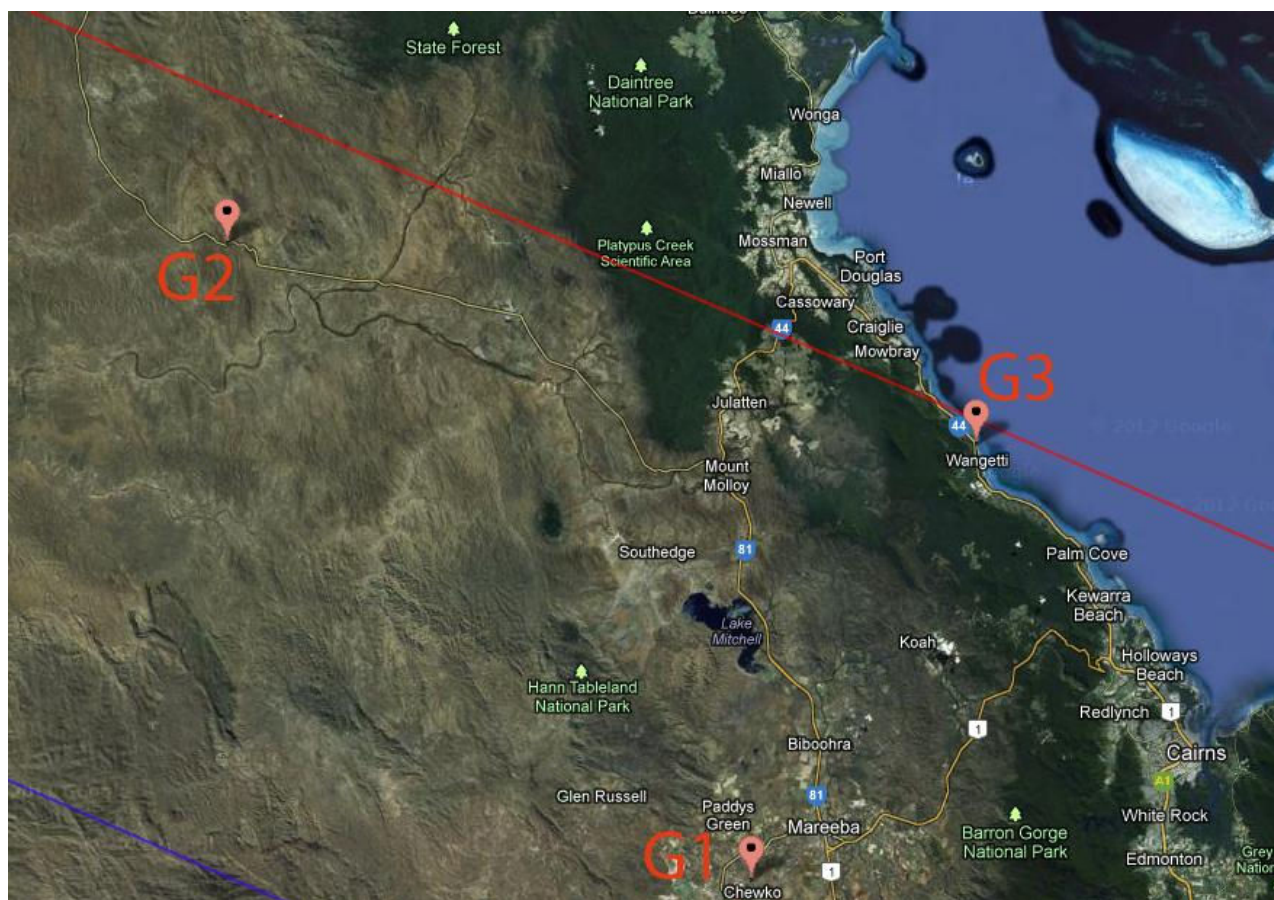


Rys. 8: Całkowite pasmo (niebieskie linie) zaćmienia z 13 listopada 2012. Raport NASA. Zielony punkt wskazuje, gdzie zaćmienie będzie trwało najdłużej. Punkt obserwacyjny ekspedycji będzie znajdował się w okolicach miasta Cairns (stan Queensland) w północno-wschodniej Australii.

GLORIA będzie transmitować zaćmienie 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. 9):



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



Rys. 9: 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).

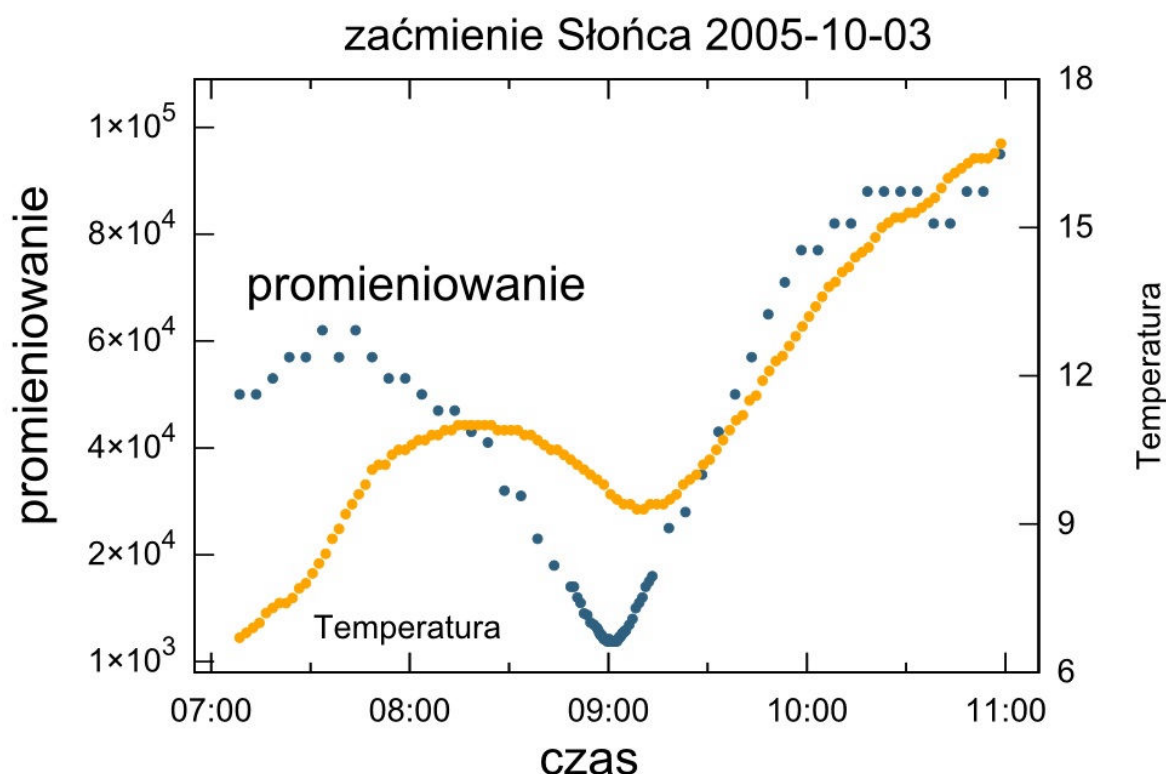


4. Metodologia.

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 opóźnienia 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.

Zjawisko to będziecie mogli zbadać dwoma metodami.



Rys. 10: Spadek promieniowania słonecznego lub jasności oraz temperatury, który miał miejsce podczas obrączkowego zaćmienia z października 2005.



4.2. Metoda 1: Pomiar bezpośredni. Wartości ciśnienia, promieniowania i temperatury.

13 listopada 2012 roku na stronie projektu (www.gloria-project.eu) odbędzie się transmisja na żywo zaćmienia Słońca, przeprowadzana z Australii. Będzie też dostępny drugi 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. 10 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. 10, 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 obydwojema 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.

4.3 Metoda 2: Wykorzystanie bazy danych.

Podczas transmisji zaćmienia stacja meteorologiczna będzie okresowo zapisywała (próbkiwanie 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