



CO CHCEMY ZMIERZYĆ I JAK TO ZROBIMY?

Materiały pomocnicze do ćwiczenia „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.

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 molekuly), 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.

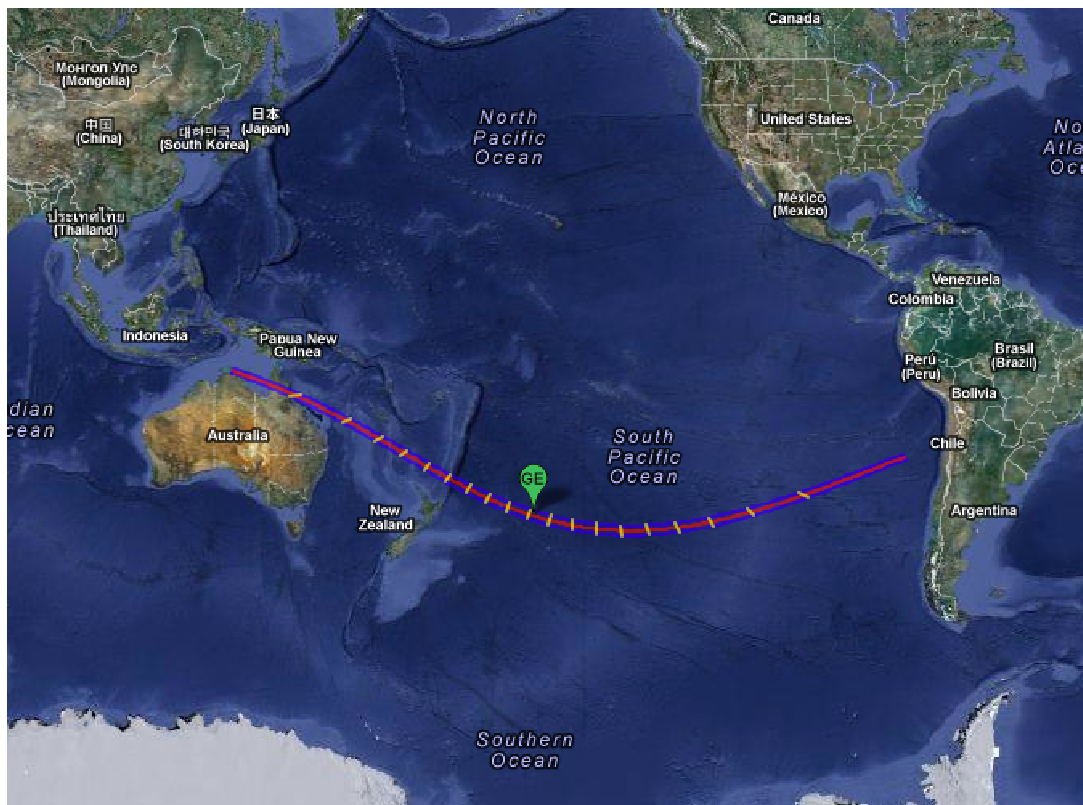
Na przykład, zmiany temperatury podczas zaćmienia słońca są bardzo interesujące, gdyż ludzie dość mocno je odczuwają. Generalnie, dostrzega się spadek temperatury, gdy Słońce jest częściowo zasłonięte, przy czym niektórzy z obserwatorów są w stanie dostrzec natychmiastową zmianę temperatury, a inni twierdzą, 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 codzień, 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.

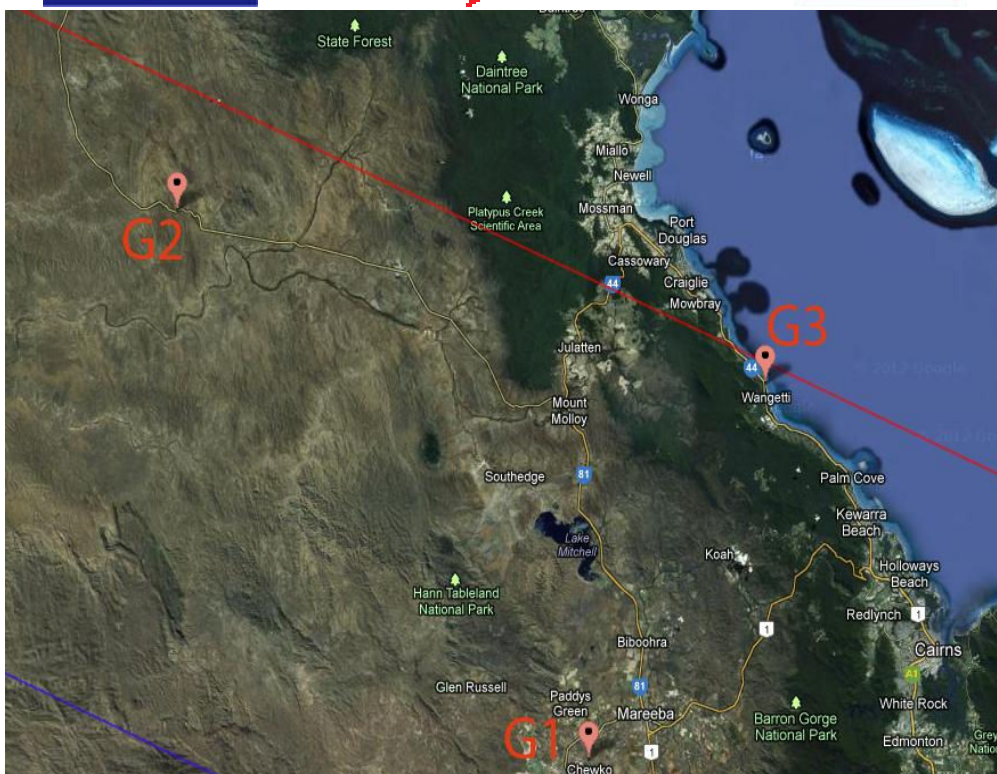
Po upływie ponad roku od ostatniego całkowitego zaćmienia Słońca (ostatnie miało miejsce 11 lipca 2010), cień Księżyca pojawi się na powierzchni Ziemi 13 listopada 2012. Cień pojawi się najpierw w Australii, a następnie przesunie na Ocean Spokojny. Najgłębsze zaćmienie wystąpi pośrodku Oceanu Spokojnego 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 błędów. Czasami błąd spowodowany jest przez instrument, wykorzystywany do dokonania pomiaru, czasami wynika z błędnej percepcji mierzącego, itd. Każdy pomiar zawiera w sobie możliwość błędów, 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 błędów albo niepewności.

Wyrażając wynik pomiaru musimy zawsze podawać zaobserwowaną wartość wraz z błędem oraz jednostką 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



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:

$$X_m = \sum_{i=1}^N X_i / N$$

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:

$$X_m = (x_0 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 5$$

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:

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

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

$$X = X_m \pm \sigma \text{ (Jednostki pomiaru)}$$

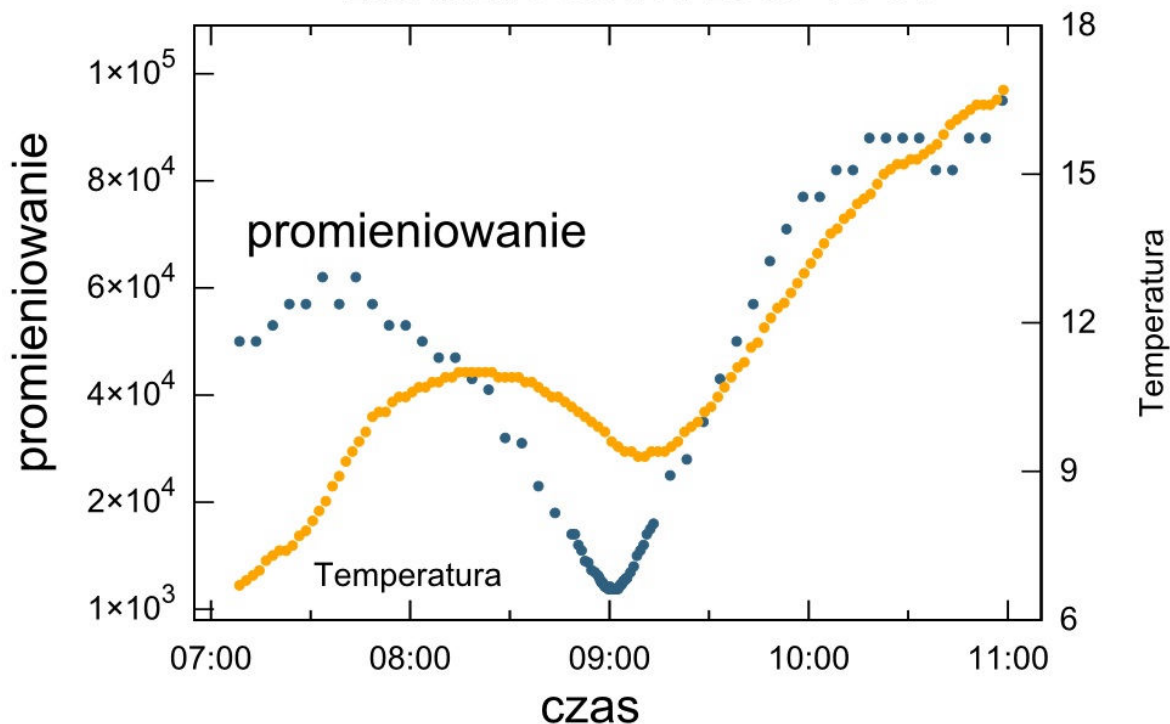
4.2.2 Tworzenie wykresów i próbkowanie.

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 przedstawiamy na osi 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.

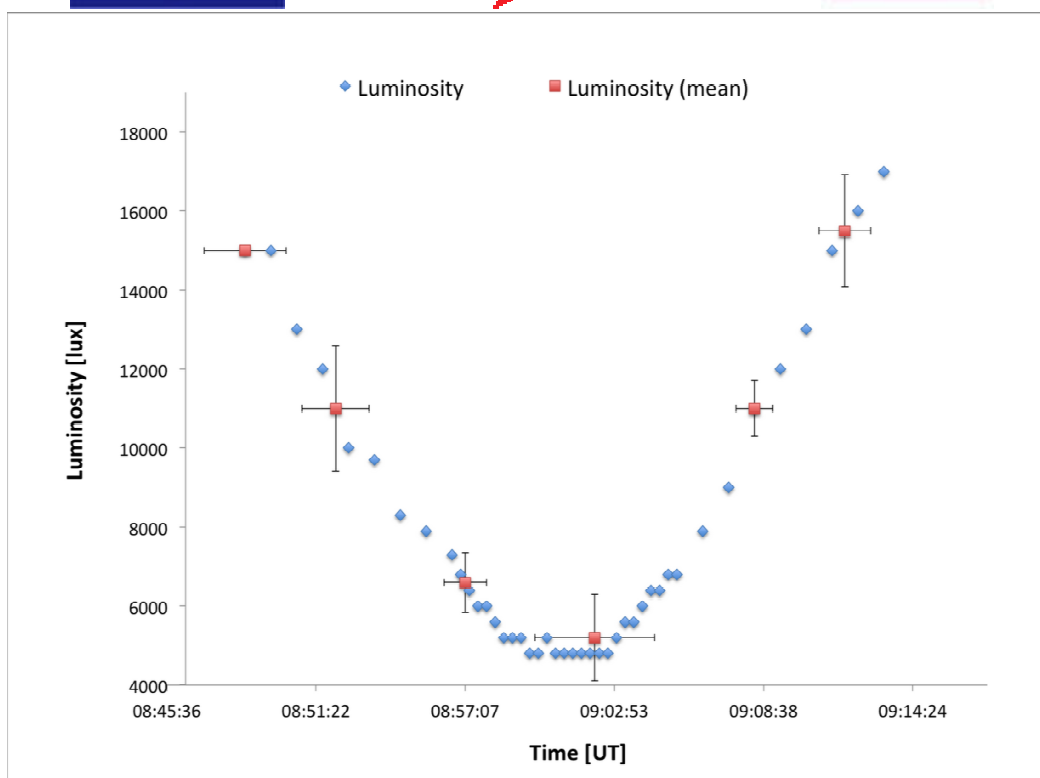


zaćmienie Słońca 2005-10-03



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 "próbkiwane 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 obydwooma 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.