VÝUKOVÁ AKTIVITA

Měření lokálních změn atmosféry během zatmění Slunce (úplné zatmění Slunce 2012)

Autoři:

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

Spolupracovníci:

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

1. Cíle aktivity

V této aktivitě budeme sledovat změny v atmosféře, zejména pak změny teploty způsobené snížením slunečního záření během úplného zatmění, kdy je Sluneční disk zcela zastíněn Měsícem. Pro tento účel bude využita meteroologická stanice v Austrálii.

Cíle jsou:

- Pochopení základní fenomenologie zatmění.
- Aplikace matematiky (algebra) a elementární fyziky (termodynamika) k určení teploty a úrovně záření z údajů získaných meteorologickou stanicí.
- Pochopení a aplikace základních statistických metod (výpočet chyby měření).
- Týmová práce s oceněním individuálních příspěvků.

2. Přístroje

V této aktivitě bude použita meteorologická stanice, která je vybavena senzory pro měření teploty a úrovně slunečnícho záření. Studenti budou mít k dispozici aktuální data nebo archiv hodnot, umístěný v databázi. Přístup k datům bude zajištěn pomocí webového rozhraní.

3. Úkaz

3.1 Co je to zatmění?

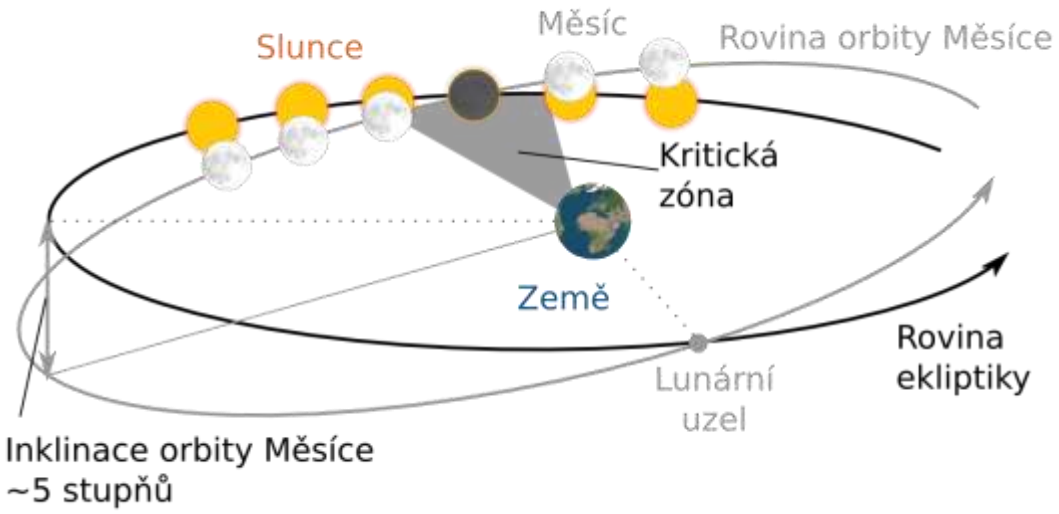
Termín zatmění se používá ve spojení se dvěma velmi rozdílnými jevy:

1. **Zatmění Slunce** nastane, když Měsíc vstoupí mezi Zemi a Slunce, takže jej částečně (částečné zatmění) nebo zcela (úplné zatmění) zakryje. Taková situace může nastat jen, pokud je Měsíc v novu a současně jsou Slunce a Měsíc v zákrytu pro pozorovatele na Zemi.

2. **Zatmění Měsíce** nastane, když je měsíční disk zastíněn planetou Zemí. Nastává při úplňku, pokud se Slunce, Země a Měsíc ocitnou v jedné přímce

3.2 Podmínky, za kterých k zatmění dochází

Víme, že oběžné dráhy Země a Měsíce nejsou koplanární, takže většinu času je Měsíc pod rovinou ekliptiky (roviny, kde se nachází Slunce a planety). Aby mohlo dojít k zatmění, Měsíc se musí dostat do této roviny (nebo velmi blízko) a musí být v novu (zatmění Slunce) nebo v úplňku (zatmění Měsíce).

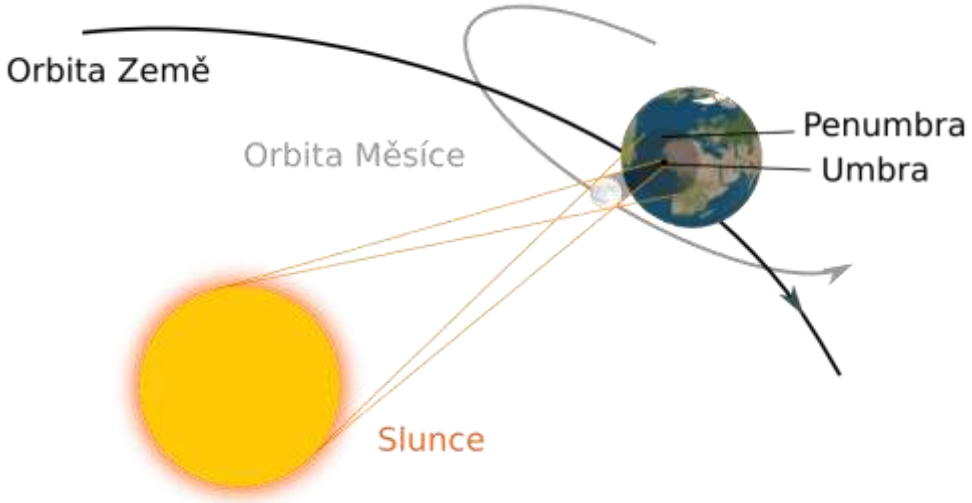


Obrázek 1: Rovina ekliptiky a oběžná dráha (orbita) Měsíce. "Kritická zóna" označuje plochu, kde může zajít k zatmění. (starryearth.com)

K těmto podmínkách dochází dvakrát až třikrát ročně (každých 173.31 dne), v takzvané **sezóně zatmění**. Rok zatmění říkáme intervalu mezi dvojím zarovnáním Slunce, Země a Měsíce do jedné přímky; tento interval je dlouhý 346.62 dní a dojde během něho ke dvěma zatměním.

Lunární uzly nemají pevnou orientaci, ale rotují o zhruba 20° za rok, takže k oběhu dojde za 18.6 roku. To znamená, že datum, kdy dochází k zatmění, se každý rok mění. Např. v roce 2001 byla zatmění v lednu a

únoru, červnu a červenci a v prosinci, v roce 2003 v květnu a prosinci a v roce 2006 v březnu a září. Pohyb orbitální uzlů znamená, že zatmění nastanou během průchodu Měsíce ekliptikou.



Obrázek 2: Znázornění stínu a polostínu během zatmění

3.3 Počet zatmění za rok

Nejmenší počet zatmění je čtyři za rok - dvě zatmění Slunce a dvě zatmění Měsíce.

Maximální možný počet zatmění je sedm, ale to se stává jen zřídka. V úvahu připadají následující kombinace:

- 5 slunečních a 2 měsíčních
- 5 měsíčních a 2 sluneční
- 4 sluneční a 3 měsíční
- 4 měsíční a 3 sluneční

3.4 Typy zatmění Slunce

Existuje několik rozdílných typu zatmění Slunce, které se liší velikostí stínu Měsíce a vzdáleností Měsíce od Země. Zatmění jsou znázorněna na obrázku 3. Udělejme si ještě malý přehled typů stínu:

Umbra označuje nejtemnější část stínu. Z jakéhokoli místa umbry není zdroj vidět a to ani částečně. Umbra obklopuje jak ostatní druhy stínů, tak předmět samotný.

Penumbra označuje polostín – oblast, ze které je zdroj světla částečně vidět a částečně jej překrývá předmět, jež stín vrhá.

Antumbra vymezuje oblast, z níž je vidět *prstencové zatmění* zdroje světla uvažovaným předmětem. Antumbra se může vyskytnout v případě, že zdroj světla je větší než daný předmět

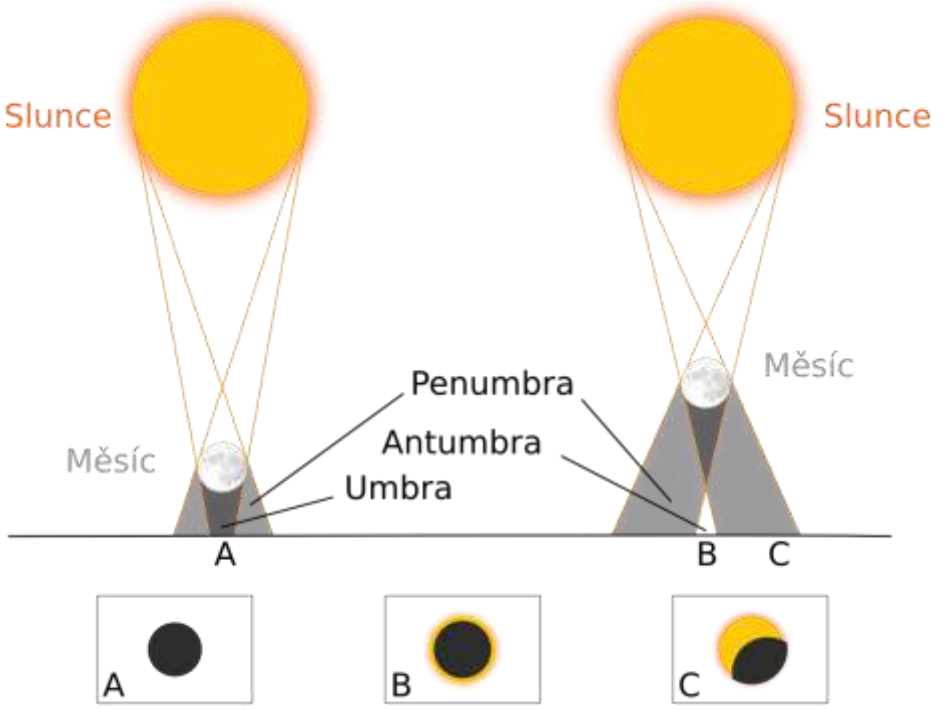
Nyní tedy můžeme rozdělit zatmění na

1) Částečné zatmění: Povrchu Země dosáhne pouze měsíční polostín (viz Obrázek 3, pozice C). K těmto zatměním dochází ve vysokých zeměpisných šířkách (sever i jih).

2) Prstencové zatmění: Měsíc je příliš daleko od Země na to, aby jeho stín kompletně zakryl Slunce, ale stále blokuje většinu slunečního disku, takže je vidět prstenec světla (Obrázek 3, pozice B).

3) Úplné zatmění: V tomto případě je Měsíc dostatečně blízko Zemi, takže jeho polostín dokonale zastíní celý sluneční disk (Obrázek 3, pozice A).

Je třeba zdůraznit, že zatmění Slunce jsou vidět na Zemi jen proto, že šťastnou shodou okolností jsou v některých obdobích během roku úhlové velikosti Měsíce a Slunce totožné. Před stovkami milionů let byl Měsíc příliš blízko k Zemi na to, aby přesně pokryl Slunce, jak můžeme pozorovat dnes. Slapové síly zvětšují oběžnou dráhu Měsíce kolem Země cca o 3,8 cm ročně, takže asi za 1.4 miliardy let se vzdálenost Země - Měsíc zvýšil o 23.500 km. Pak už nikdy Měsíc plně nezastíní Slunce, takže za 1.4 miliardy let bude úplně poslední úplné zatmění Slunce!

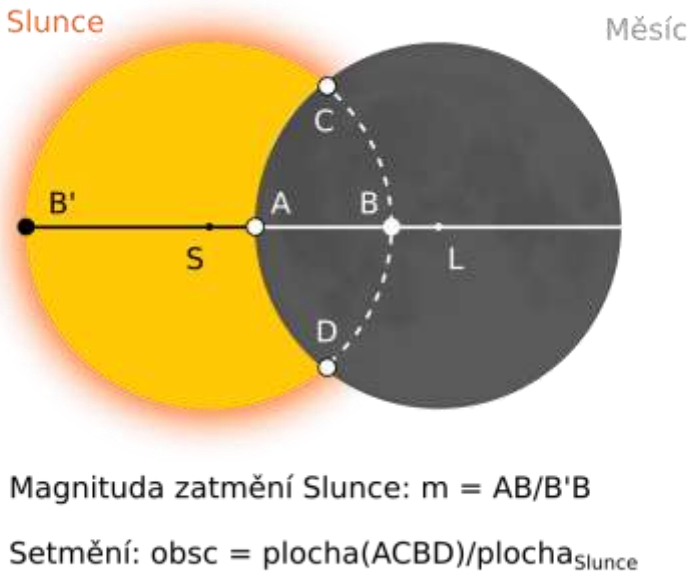


Obrázek 3: Diagram ukazující závislost typu zatmění na relativní pozici Měsíce vzhledem k Zemi.

3.5 Jak zatmění probíhá

Částečné zatmění: Během částečného zatmění dochází ke dvěma bodům dotyku. První bod je okamžik, kdy se dotknou disky Slunce a Měsíce. Jak měsíc postupuje po své oběžné dráze, překrývá stále větší část slunečního disku až do maxima, po kterém stín opouští povrch Země a sluneční disk je opět plně viditelný. 'Magnituda' zatmění je část průměru slunečního disku zakrytá Měsícem (Obrázek 4), vyjádřená v procentech nebe desetinným číslem (60% nebo 0.60). Termín '**setmění**' vyjadřuje část plochy slunečního disku zakrytou Měsícem (Obrázek 4).

UPOZORNĚNÍ: Během částečného zatmění je Slunce velmi jasné, takže platí stejná pravidla jako pro normální pozorování Slunce.

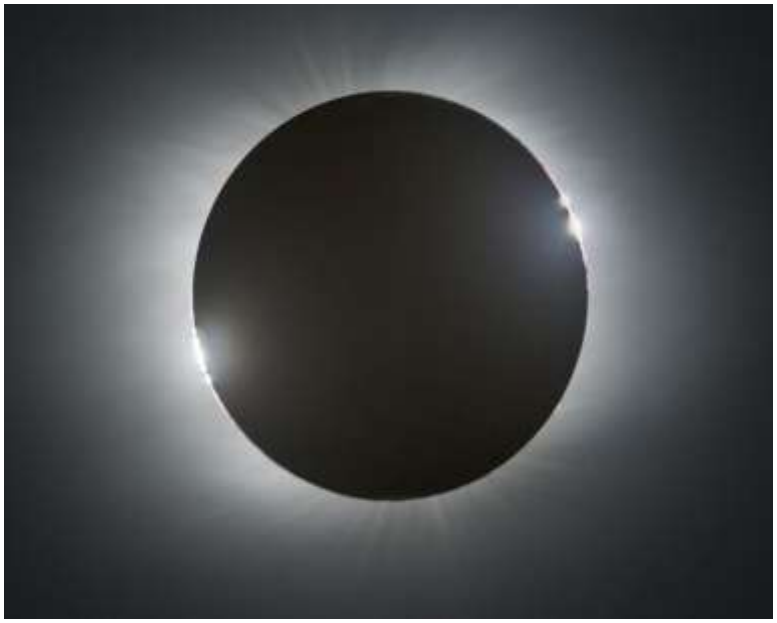


Obrázek 4: Magnituda a setmění během zatmění Slunce. (J.C. Casado).

Prstencové zatmění: Pozorovatel prstencového zatmění bude svědkem čtyř doteků slunečního disku s měsíčním. **První kontakt** je okamžik, kdy se disky dotknou. Během následujících asi 30 minut měsíční disk zcela překryje disk sluneční; to je **druhý kontakt**. Pak následuje střední nebo také **prstencová** fáze, kulminující **třetím kontaktem**. Tato fáze trvá typicky 12 minut a 30 vteřin. **Čtvrtý kontakt** označuje konec zatmění.

Úplné zatmění: Úplné zatmění má čtyři doteky. První kontakt a předchozí fáze jsou podobné jako u prstencového zatmění. Ale nyní, před druhým kontaktem, uvidí pozorovatel dramatické změny světla. Parametry atmosféry (teplota, relativní vlhkost) se také mění.

Pokud je pozorovatel na vysoko položeném stanovišti s dobrým výhledem, uvidí jak měsíční stín dosahuje velkou rychlostí západní horizont. V okamžiku druhého kontaktu udiví pozorovatel **diamantový prsten**, jas, ke kterému dojde v okamžiku, kdy je Slunce téměř zcela skryto. Ještě než zmizí poslední část Slunce, uvidíme díky nerovném terénu měsíčního disku, světelné fragmenty světla, nazývané Bailyho korálky (obr. 5). Pak se náhle ukáže vnější atmosféra Slunce (sluneční koróna) (Obrázek 6). V prvních několika vteřinách jsou viditelné plyny okolo Slunce, které rychle zmizí po příchodu měsíčního disku (Obrázek 7).



Obrázek 5: Kompozice obrázků ukazuje druhý a třetí kontakt, Bailyho korálky a vnitřní korónu při zatmění Slunce 22. července 2009, v blízkosti města Chongqing, Čína. (J.C. Casado / starryearth.com)

Sluneční koróna (vnější atmosféra Slunce intenzivní perlově bílé barvy), se formuje pod vlivem magnetického pole Slunce. Obvykle není vidět, protože to je asi 100,000 krát méně intenzivní než sluneční světlo. Ve středu je měsíční disk, jako černá díra v nebi. Tvar a jas koróny závisí na tom, v jaké části svého 11 letého cyklu se Slunce nachází. Ve slunečním maximu je koróna radiálně symetrická (obr. 6 vpravo), zatímco během minima je koróna asymetrická (obr. 6 vlevo).

Obrázek 6: Vlevo. Obrázek úplného zatmění Slunce 1. srpna 2008 od Novosibirsku, Rusko. Kombinace 67 digitálních snímků ukazuje dlouhé úseky v koróně. Vpravo:. Obrázek z úplného slunečního zatmění 23.listopadu 2003 z paluby letadla letícího nad Antarktidou (JC Married / starryearth.com)

Obrázek 7: Chromosféra a protuberance viditelné během zatmění 19. března 2006. Fotografie pořízena blízko města Al Jaghbub v Libyjské poušti. Jedná se kombinaci fotografií pořízených na začátku a konci jevu. (J.C. Casado/ starryearth.com)

3.6 Viditelnost a doba trvání

Úplné zatmění Slunce není tak neobvyklé jev, jak by se mohlo zdát. Nicméně, protože stín Měsíce je úzký, jsou zatmění viditelná pouze v poměrně úzkém pásmu na zemském povrchu - průměrný interval, za který

mohou být pozorována na jednom místě je asi 375 let. Proto se často pořádají daleké expedice, která tento jev s průměrnou dobou trvání 3 až 7 a půl minuty pozorují.

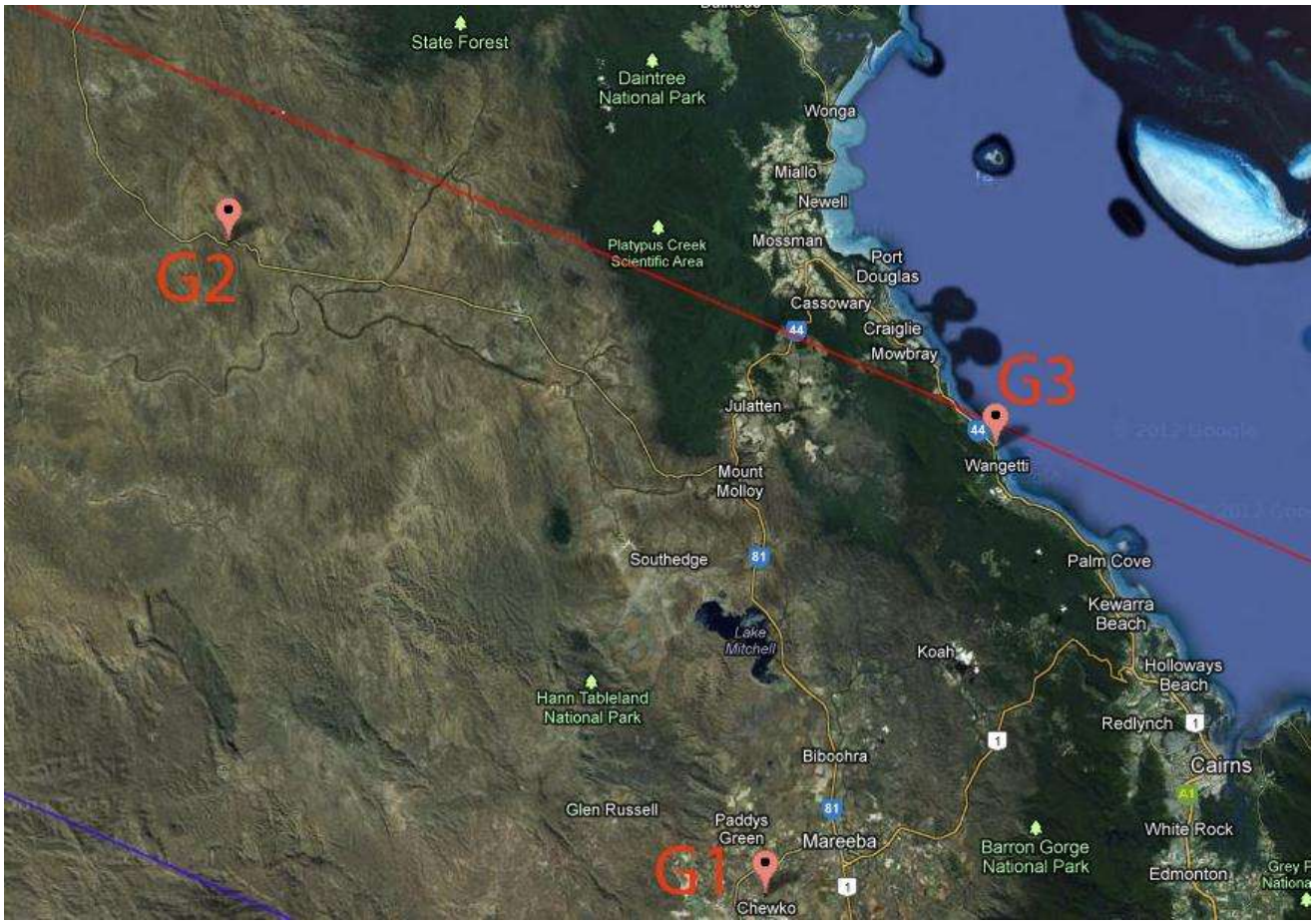
3.6.1. Úplné zatmění Slunce v roce 2012

Po více než roce bez úplného zatmění Slunce (poslední zatmění bylo 11. července 2010) se měsíční stín opět vrátí na povrch Země 13. listopadu 2012. Cesta stínu začíná v Austrálii, k maximu dojde ve 22:11 středoevropského času uprostřed Pacifického oceánu. Slunce tou dobou bude 68 stupňů nad horizontem a celý jev bude trvat 4 minuty a 2 vteřiny.

Obrázek 8: Postup stínu Měsíce po povrchu Země 13.11. 2012 (předpověď NASA). Zelená značka reprezentuje místo, ze kteého je možné pozorovat po nejdelší dobu.

GLORIA bude přenášet zatmění ze třech pozorovacích stanovišť (viz Obrázek 9) v severozápadní Austrálii (okolo města Cairns, stát Queensland), kde bude mít zatmění asi dvouminutové trvání:

- G3. Na pobřeží, v okolí Oak Beach.
- G2. Vnitrozemí. Dálnice Rt-81.
- G1. Vnitrozemí, město Mareeba, koordinační skupina.



Obrázek 9: Pozorovací místa expedice. Červená čára označuje pásma stínu.

Koodrinátorem expedice a přímého přenosu bude Dr. Miquel Serra-Ricart (astronom z Institute of Astrophysics of the Canary Islands a ředitel Teide Observatory).

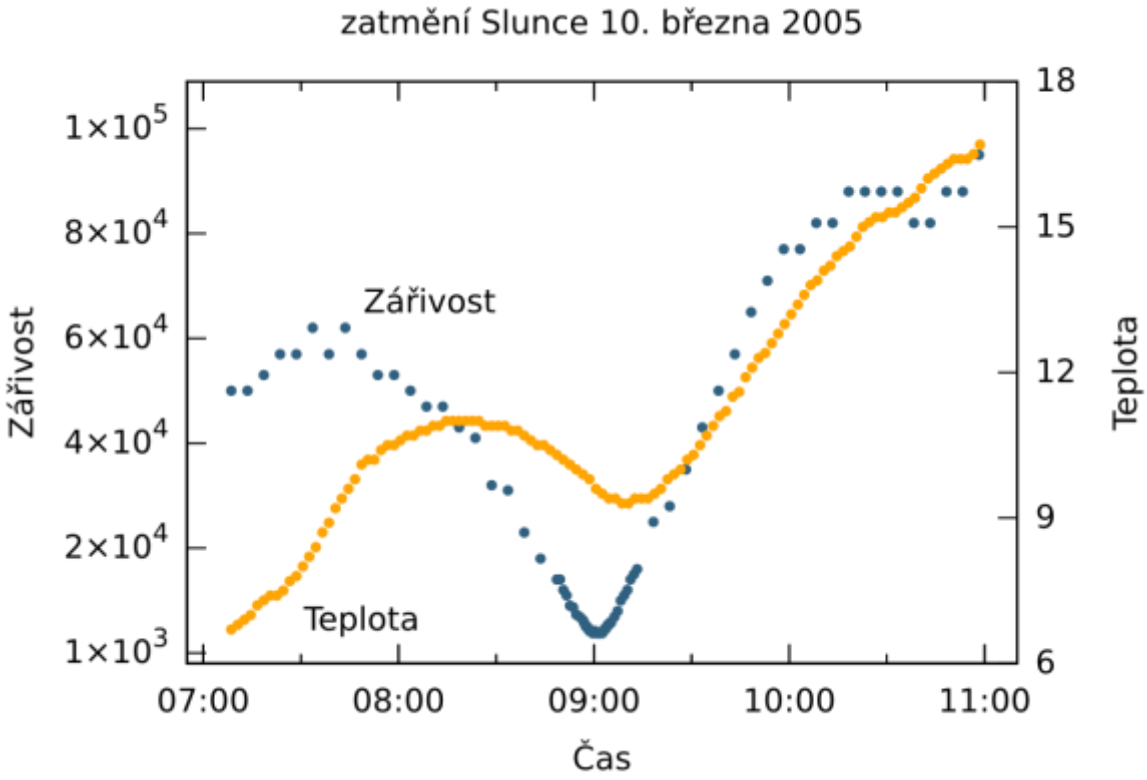
4. Aktivity

4.1 Výpočet teplotní odezvy atmosféry z měření během úplného zatmění Slunce.

Zajímavý efekt, ke kterému dochází v průběhu zatmění (více patrný při úplném zatmění), je pokles teploty prostředí v důsledku poklesu slunečního záření. Zajímavé je, že tento jev nenastane okamžitě, když je Slunce zcela zakryto (maximální zatmění nebo druhý kontakt), ale efekt se projeví asi za 2 až 20 minut.

Toto zpoždění závisí na mnoha faktorech, jako je například denní doba, kdy k zatmění dojde, přítomnost vodních ploch (jezera nebo oceány) nebo blízkost zalesněných oblastí, ale je snadno měřitelné. Interval, nazývaný *tepelná setrvačnost atmosféry* je dán časem mezi minimem intenzity světla (shodný s maximem zatmění, druhý kontakt) a minimem teploty atmosféry.

Následující cvičení může být použito k odhadu tepelné odezvy atmosféry.



Obrázek 10: Pokles slunečního záření (modrá) a teploty (žlutá) jako funkce času během prstencového zatmění v říjnu 2005.

4.2. Metoda 1: Přímé měření. Tlak, sluneční záření a teplota.

Přímý přenos zatmění Slunce, který bude přenášen 13. listopadu 2012 z Austálie, bude možné sledovat na stránkách projektu GLORIA (www.gloria-project.eu). Současně budou v paralelním webovém kanálu přenášena meteorologická data ze stanoviště G1 (Mareeba). Studenti tak budou mít k dispozici aktuální hodnoty teploty, slunečního záření a tlaku vzduchu.

Interval měření by měl být periodický a může být určen studentem nebo učitelem. Doporučujeme, aby interval mezi dvěma měřením nebyl delší než dvě minut a v době maxima zatmění (druhý kontakt) byl 5 vteřin.

Na obrázku 10 je příklad průběhu úrovně slunečního záření a teploty během prstencového zatmění v roce 2005; měřící interval se měnil v průběhu zatmění, z počátečních 5 minut až na 20 vteřin v maximu zatmění. Měřící sekvence byla v obrácenném pořadí pro kontrolu opakována v druhé polovině zatmění. Tomuto typu měření říkáme "dynamické vzorkování".

Pořízená měření je potřeba v programu, který umožňuje práci s numerickými daty (tj. Excel, OpenOffice, LibreOffice, Origin ...), takže bude viditelný trend naměřených hodnot v čase. Z těchto grafů bude možné určit minima teploty a slunečního záření a určit tepelnou setrvačnost atmosféry.

Přesný výpočet minim je možné provést aproximací dat (parametrizace křivky). O zvolené metodě rozhode učitel, protože aproximace není součástí tohoto materiálu.

Po zatmění bude k dispozici video s kompletním záznamem dat z meteorologické stanice.

4.3 Metoda 2: Databáze.

Během přímého přenosu zatmění bude meteorologická stanice periodicky (každých 5 vteřin) ukládat hodnoty měření teploty a slunečního záření. Tyto hodnoty budou kdykoliv přístupné z webové stránky projektu GLORIA (www.gloria-project.eu). Pro zpracování dat bude k dispozici webové rozhraní. Hodnoty budou vykreslovány do grafů včetně chyby měření, časový interval bude možné změnit.

Po výběru dat a vytvoření grafické reprenentace je možné vypočítat tepelnou setrvačnost stejným způsobem jako v Metodě 1.

LITERATURA

1. SERRA-RICART, M. et al. *Eclipses. Tras la sombra de la Luna.* Shelios, 2000. Barevná kniha věnovaná expedicím za zatměním Slunce.
2. GIL CHICA, F.J. *Teoría de eclipses, ocultaciones y tránsitos.* Alicante University, Murcia, 1996. Kniha, která detailně rozebírá matematické aspekt těchto jevů, vyžaduje pokročilé znalosti matematiky.
   The wider literature on the subject is in English:
3. ESPENAK, F. *Fifty Year Canon of Solar Eclipses : 1986-2035*. NASA Reference Publication 1178. Sky Publishing Corporation, Cambridge (USA), 1987. Obsahuje data a mapy všech zatmění Slunce od roku 1986 do roku 2035 s detaily a obecné inforamace o zatmění v letech 1901-2100..
4. MEEUS, J. *Elements of solar eclipses 1951-2200*. Willmann-Bell, Inc, Richmond (USA).
5. GUILLERMIER, P. y KOUTCHMY, S. *Total Eclipses*. Springer, 1999. Věda, pozorování, mýty a legenry kolem zatmění, zejména úplného zatmění Slunce.
6. REYNOLDS, M.D. y SWEETSIR, R.A. *Observe eclipses*. Observe Astronomical League Publications, Washington (USA), 1995.
7. JAY ANDERSON. *Environment Canada.* Weather, Volume 54, Issue 7,pages 207–215, July 1999.

Poznámka: NASA Technical Publication publikuje 18 měsíců před každým prstencovým nebo úplným zatměním mapy, grafy, předpovědi a lokální infromace. Pro více infromací kontaktujte Freda Espenaka, NASA / GSFC, Code 693, Greenbelt, MD 20771 (USA) nebo e-mailem: espenak@gsfc.nasa.gov