

Dalekohledy a sluneční pozorování

Hlavní témata: Jak fungují dalekohledy. Co to je Evropský Sluneční Dalekohled. Spektroskopie. Elektromagnetické spektrum.

Slunce je naše nejbližší hvězda a zdroj energie, který umožňuje život na Zemi. Je to také jediná hvězda, kterou můžeme detailně studovat. Vzhledem k blízkosti Slunce máme šanci sledovat fyzikální procesy, které se na něm vyskytují, a to s velmi vysokým prostorovým a časovým rozlišením. To nám umožní lépe pochopit i ostatních hvězdy. Zároveň můžeme studovat vliv Slunce na Zemi.

Evropský Sluneční Dalekohled (EST) je dalekohledem nové generace určený k pozorování a studiu Slunce s nebývalou přesností. Bude to největší sluneční dalekohled, který byl kdy v Evropě postaven a jeho konstrukce představuje velkou technologickou výzvu. **EST** je podporován Evropskou Asociací pro Sluneční dalekohledy (EAST). EAST je tvořen 26 výzkumnými institucemi z 18 evropských zemí, které sdružují většinu z komunity evropských slunečních fyziků.

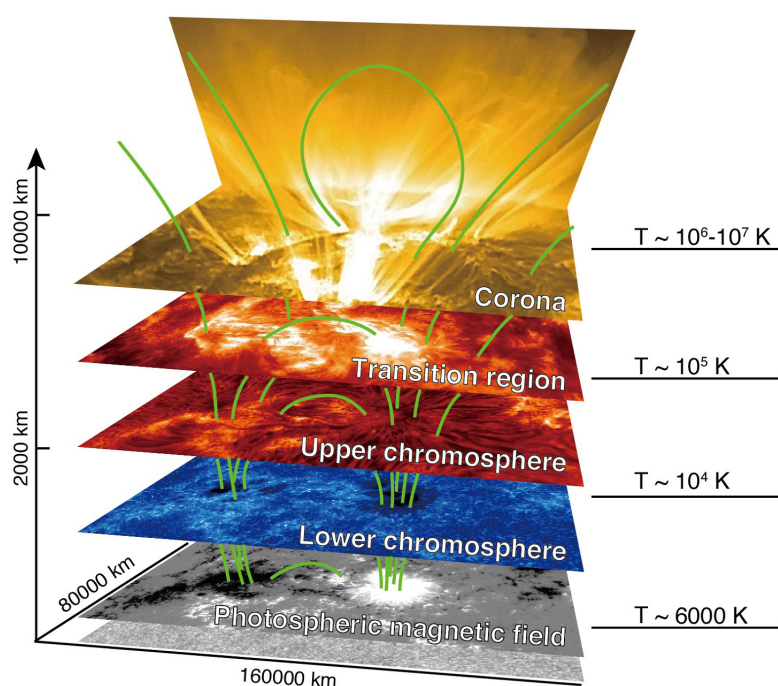
Dalekohled bude umístěn na Kanárských ostrovech (Španělsko). Bude mít dvě hlavní zrcadla k shromažďování slunečního záření. Primární zrcadlo o průměru 4 metry bude umístěno ve spodní části dalekohledu, který bude umístěn na vrcholu věže. Díky svému zakřivenému tvaru bude odrážet světlo k menšímu sekundárnímu zrcadlu zavěšenému nad ním. **Úkol 1.1** je návodem na konstrukci podobného optického systému.



Vizualizace Evropského Slunečního Dalekohledu (EST).

Světlo shromážděné dalekohledem půjde do laboratoře s vědeckými přístroji umístěné v základně budovy. Přístroje EST budou zaznamenávat spektrální a polarimetrické informace. Spektrální data jsou získána rozdělením přicházejícího světla na různé barvy, neboli vlnové délky. Více o tom bude vysvětleno v Úkolu 1.2. Polarimetrická data poskytují informace o magnetickém poli Slunce. Tato technika bude důkladně studována v Kniže úkolů 2. Polarimetrická a spektrální měření jsou základem pro porozumění fyzikálních procesů, které probíhají v atmosféře Slunce.

EST bude optimalizován na studium magnetického propojení vrstev sluneční atmosféry. Tedy, jak jsou různé vrstvy atmosféry (fotosféra, chromosféra, přechodová oblast, korona) spojeny magnetickým polem (viz **Obrázek 2**).



2

Struktura a magnetické propojení vrstev sluneční atmosféry. Měřítko vpravo ukazuje teplotu (T) každé vrstvy v kelvinech (K). Zelené čáry představují čáry magnetického pole. Kredit: NAOJ / JAXA, NASA.

Ačkoli jsou dnes ke studiu Slunce používány pokročilé technologie, byla v minulosti situace velmi odlišná. Sluneční skvrny byly prvními útvary pozorovanými na Slunci. Čínští astronomové je odhalili již ve 4. století před naším letopočtem, ale až v 17. století byly poprvé pozorovány pomocí dalekohledu.

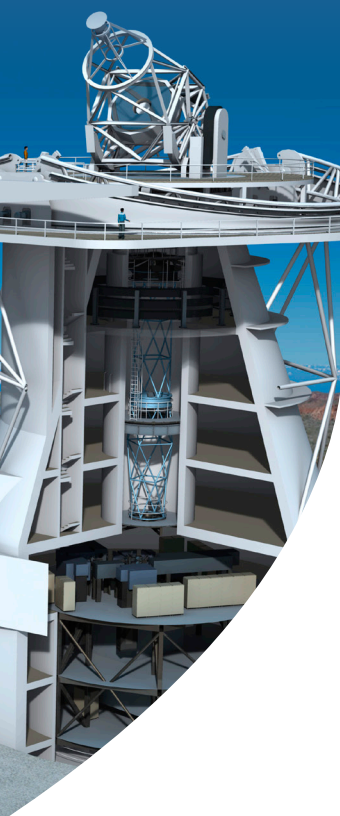
Slavný italský astronom Galileo Galilei pozoroval sluneční skvrny po dlouhou dobu a zaznamenal, že se přes sluneční povrch pohybují. To byl první vědecký důkaz podporující rotaci Slunce. Ukázalo se, že se jedná o velmi důležitý objev. V **Úkolu 1.3** budeme měřit rotaci Slunce pomocí snímků pořízených družicovým dalekohledem na oběžné dráze kolem Země. Také změříme velikost protuberancí, útvarů běžně pozorovaných ve sluneční atmosféře.

i

Chcete-li vědět více

- **EST WEBOVÁ STRÁNKA**
www.asu.cas.cz/est
- **EST BROŽURA**
www.tinyurl.com/EST-brochure
- **SLAVNÍ SLUNEČNÍ FYZIKOVÉ**
www2.hao.ucar.edu/Education

1.1

Dalekohledy a
sluneční pozorování

Jak funguje sluneční dalekohled

Cílová skupina: *Studenti nad 10 let*
Doba trvání: *30 minut*

Cíle

Pochopení odrazu světla.

Pochopení jak dalekohled tvoří obraz objektu.

Naučit se základní optické pojmy, jako je ohnisková zdálenost.

Materiál

- Malé zvětšovací zrcadlo (konkávní zrcadlo, jaké se používá např. pro líčení), nejlépe se stojanem.
- Větší zvětšovací zrcadlo, ale s menším zvětšením než to první, nejlépe se stojanem.
- Bílá plocha nebo zeď ve stínu (není přímo osvětlena jakýmkoliv zdrojem světla).
- Volitelné:
 - výkonná baterka.
 - průhledná (potravinová) fólie.
 - fotografický stativ nebo knihy, a časopisy pro nastavení výšky zrcadel.
 - plastelínu, nebo jiné předměty, které by držely zrcadla ve svislé poloze.

PODSTATA PROBLÉMU

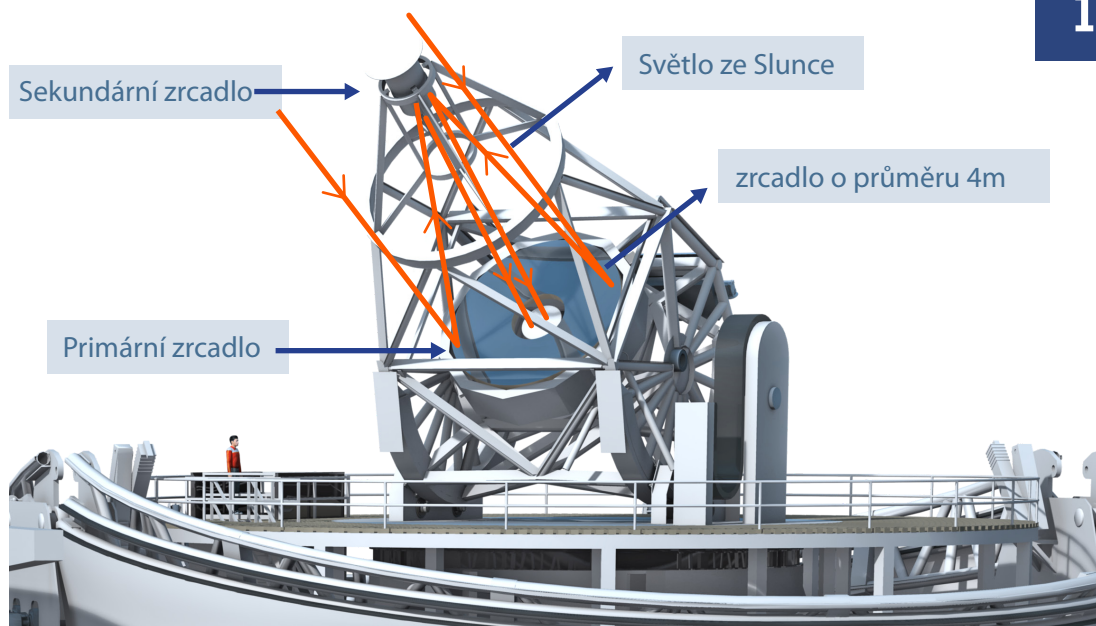
Již víme, že **Evropský Sluneční Dalekohled (EST)** využívá zrcadla ke shromažďování záření ze Slunce. Tento experiment nám názorně ukáže, jak zrcadlový dalekohled funguje.

Ačkoli první dalekohledy v historii využívaly čočky k zachycení a zaostření světla z hvězd (tyto dalekohledy se nazývají refraktory), profesionální dalekohledy v současnosti využívají zrcadla. Zrcadla odrážejí světlo dobře definovaným způsobem. Návrhem tvaru zrcadlové plochy tedy můžeme nasměrovat a soustředit světlo kamkoli chceme. Soustředěním světla nejenom koncentrujeme energii světelného paprsku, ale také můžeme získat obraz původního objektu.

Základem optického systému dalekohledu jako EST jsou dvě zrcadla. Záření ze Slunce je shromažďováno větším z nich, tzv. primárním zrcadlem, které dopadající světlo odráží na menší sekundární zrcadlo (viz **Obrázek 1**). Čím větší je primární zrcadlo, tím více světla může shromažďovat. Můžeme si to představit jako nádobu zachycující dešťovou vodu: čím větší tato nádoba bude, tím více vody za daný čas shromáždí. Toto je hlavní důvod pro stavbu velkých dalekohledů, protože některá měření vyžadují velkou přesnost a tedy co největší množství záření (např. polarizace záření, viz **Knihá úkolů 2**). Navíc, čím větší je primární zrcadlo, tím menší jsou detaily, které můžeme na povrchu Slunce pozorovat.

1.1

Dalekohledy a sluneční pozorování



Náčrt optické cesty EST. Oranžové čáry představují cestu paprsků světla.

Ale i největší dalekohledy mají omezení, protože pozorují oblohu skrze turbulentní atmosféru Země. Ta rozostřuje výsledný obraz, protože působí jako pohybující se průhledná fólie. Tento efekt zemské atmosféry je kompenzován vložením malého deformovatelného zrcátka do optické cesty. Toto zrcátko neustále mění svůj tvar tak, aby korigovalo rozmazání obrazu. Takovýto systém se nazývá adaptivní optika. Systém adaptivní optiky vyvíjený pro EST je tím nejmodernějším co se pro sluneční dalekohledy chystá. Měli bychom tak pozvat téměř dokonalý nezkreslený obraz Slunce.

Abychom lépe porozuměli tomu, jak funguje optika EST, postavíme velmi základní zrcadlový dalekohled.

i

Věděli jste?

Když světlo prochází turbulentní atmosférou Země dochází ke změnám, které negativně ovlivňují výsledný obraz. Velká část vlivu atmosféry může být opravena pomocí adaptivní optiky. Takovýto optický systém se skládá ze zrcadla, které kompenzuje degradaci obrazu způsobenou atmosférou v reálném čase. Zrcadlo musí měnit svůj tvar velmi rychle (mnohokrát za vteřinu) aby to bylo možné.

1.1

Dalekohledy a
sluneční pozorování

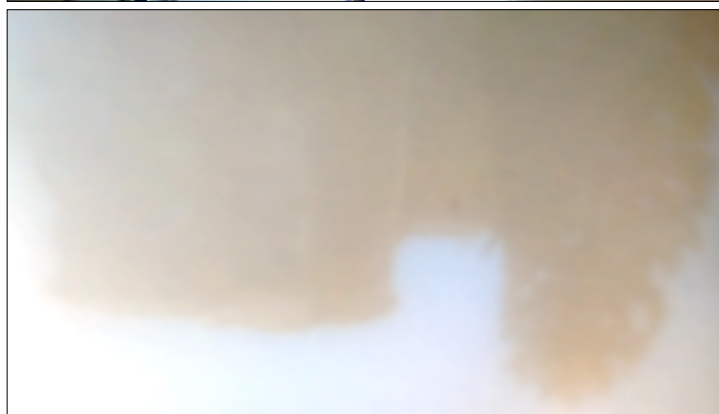


POSTUP

1. Pro simulaci, jak EST shromažďuje sluneční světlo, použijeme dvě zrcadla různého zvětšení. Pokud je to možné, mělo by mít zrcadlo s větším zvětšením menší průměr.
2. Nejprve vytvoříme obrázek s jediným zrcadlem. Držte velké zrcadlo (to s menším zvětšením) před oknem, ze kterého můžete vidět krajinu za denního světla. Další možností jak můžete dosáhnout podobného efektu je použitím jasné baterky v temné místnosti. Natočte zrcadlo tak, aby se světlo odráželo na plochu nebo stěnu, která není přímo ozářena jiným světlem. Na této ploše byste měli vidět obraz krajiny, který je otočený (**Obrázek 2**). Aby byl vzniklý obraz jasný, bude pravděpodobně nutné upravit vzdálenost mezi zrcadlem a plochou. Jinými slovy, je třeba obraz zaostřit.



2



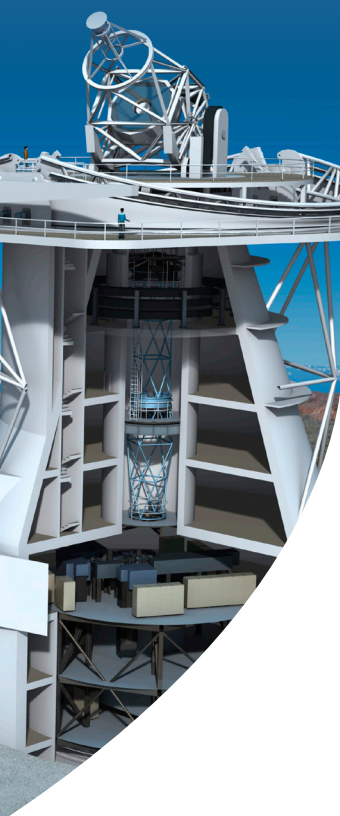
Větší zrcadlo tvoří obraz krajiny
na ploše (nahore).

Detail obrazu na ploše (dole).

3. EST bude směřovat shromážděné světlo k vědeckým přístrojům uvnitř budovy dalekohledu. To je realizováno pomocí sekundárního zrcadla. K napodobení této konfigurace je potřeba umístit menší zrcadlo s větším zvětšením tak, aby odráželo obraz tvořený větším zrcadlem. Je proto nutné přesně nastavit pozici zrcadel tak, aby střed obrazu z primárního zrcadla dopadal na střed sekundárního zrcadla. V našem pokusném dalekohledu jsme větší zrcadlo umístili na stůl a menší na stativ fotoaparátu. Díky tomu jsme mohli upravit výšku malého zrcadla a přesně nastavit jeho pozici vůči primárnímu zrcadlu (**Obrázek 3**). Pokud

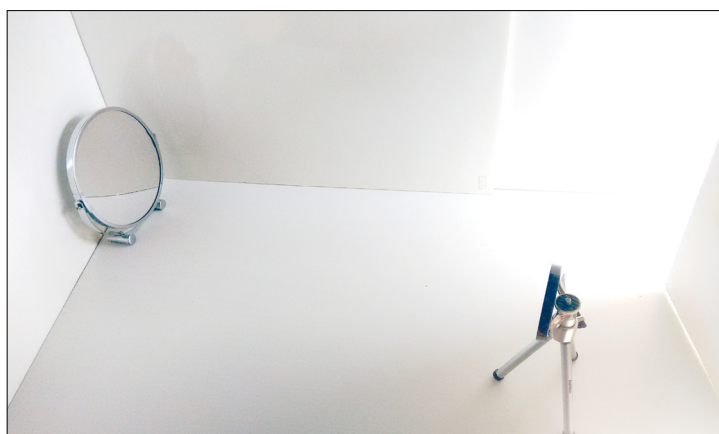
1.1

Dalekohledy a sluneční pozorování



nemáte stativ, můžeme využít knihy a časopisy pro nastavení výšky zrcadel a plastelínu pro jejich zajištění ve vertikální poloze.

4. Následně pomalu natáčejte menší zrcadlo tak, aby se světlo z primárního (většího) zrcadla odrazilo do vašich očí. Díky tomu uvidíte obraz objektu, na který míří primární zrcadlo (**Obrázek 3**).



3



Ukázka provedení pokusu se dvěma zrcadly (nahore).

Sekundární zrcadlo zobrazuje zvětšenou část obrazu krajiny tvořenou primárním zrcadlem (dole).

5. Změnou vzdáleností mezi zrcadly a okem (nebo plochou, na kterou zobrazujete výsledný obraz) zjistíte, že obraz je buďto rozmazaný, nebo ostrý. V astronomii se vzdálenost, ve které je obraz dokonale jasný a ostrý, nazývá ohnisková vzdálenost systému. Tato vzdálenost je daná zakřivením (zvětšením) použitých zrcadel a jejich vzájemnou vzdáleností. Ohnisková vzdálenost dalekohledu musí být přesně známa, aby bylo možné správně umístit vědecké přístroje v profesionálních dalekohledech. Jaká je podle Vás vlastnost dalekohledu, která je nejvíce ovlivněna ohniskovou vzdáleností? Šířka, délka nebo hmotnost dalekohledu?

6. Vliv atmosféry na výsledný obraz můžete napodobit umístěním průhledné (např. potravinové) fólie před primární (největší) zrcadlo. Všimněte si, že pokud používáte pomačkanou fólii nebo s ní pohybuje, výsledný obraz je méně ostrý. V astronomických dalekohledech může adaptivní optika do jisté míry korigovat tento druh poruch způsobených atmosférou, ale ne zcela dokonale. Z tohoto důvodu jsou dalekohledy stavěny v místech, kde je atmosféra co nejčistší a nejstabilnější, takže co nejméně ovlivňuje

1.1

Dalekohledy a sluneční pozorování



kvalitu pozorování. Teď si promyslete jaké podmínky jsou vhodné pro kvalitní astronomická pozorování. Která z těchto podmínek má zabránit nežádoucím účinkům atmosféry?

i

Chcete-li vědět více

- **ODRAZ SVĚTLA**
www.sciencelearn.org.nz/resources/48-reflection-of-light
- **PŘEDÁŠKA O OPTICE A DALEKOHLEDECH OD JIONG QIU (MSU) A WENDA CAO (NJIT)**
https://web.njit.edu/~cao/Phys320_L6.pdf
- **SIMULÁTOR OPTICKÝCH SYSTÉMŮ PRO OPERAČNÍ SYSTÉM WINDOWS**
www.sites.google.com/site/rchamon/home/optical-bench-simulator-obs
- **SIMULACE ŠÍŘENÍ SVĚTELNÉHO PAPRSKU V OPTICKÝCH SYSTÉMECH**
www.ricktu288.github.io/ray-optics

1.2

Dalekohledy a sluneční pozorování



Postavte si spektroskop

Cílová skupina: *Studenti nad 12 let*
Doba trvání: *45 minut*

Cíle

Pochopit elektromagnetické spektrum. Zjistit, co to jsou spektrální čáry, jak je měříme, a jak je používáme ke studiu Slunce.

Materiál

- Prázdný nebo starý kompaktní disk (CD)
- Kartonová trubka, která je alespoň 30 cm dlouhá s průměrem asi 8 až 10 cm (upravená kartonová krabice je také možná)
- Izolační páska (nejlépe černá)
- Lepící páska
- Černý karton
- Nůžky
- Pravítko
- Tužka

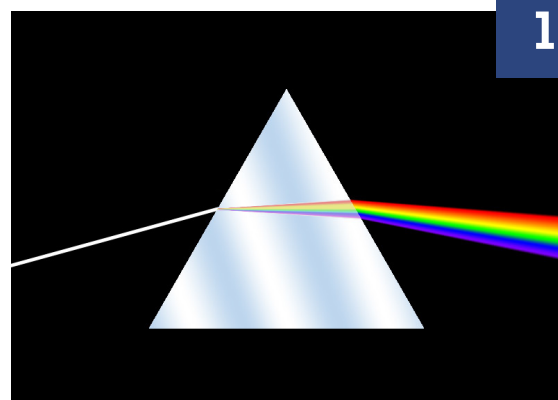
PODSTATA PROBLÉMU

Evropský Sluneční Dalekohled bude vybaven několika spektrografy ke studiu slunečního záření. Co je to spektrograf? K čemu je dobrý? Jaké informace nám poskytuje? Na tyto otázky odpovíme v tomto úkolu.

Spektrograf je vědecký přístroj, který světlo dělí na jednotlivé barvy a vytváří tak spektrum. Jako jednoduchý příklad spektrografu si můžeme představit duhu, ve které vzniká barevné spektrum průchodem slunečních paprsků přes kapky vody. Isaac Newton byl prvním, kdo pochopil tento jev s pomocí série pokusů v letech 1666 až 1672. Vytvořil duhu s pomocí hranolu skla a vytvořil tak první spektrograf.

Spektrograf, který se používá k vědeckým účelům, je o něco komplikovanější, protože musí vytvořit spektrum, které se dá měřit a analyzovat. Ale princip takového spektrografu je stejný jako u duhy tvořené deštěm.

První spektrografy využívaly k vytvoření spektra hranoly skla na kterých se světlo různých barev (různých vlnových délek) lomí do odlišných směrů (**Obrázek 1**). V současné době jsou hranoly nahrazeny difrakčními mřížkami, což jsou pov-



Spektrum tvořené hranolem rozptylujícím světlo.

1.2

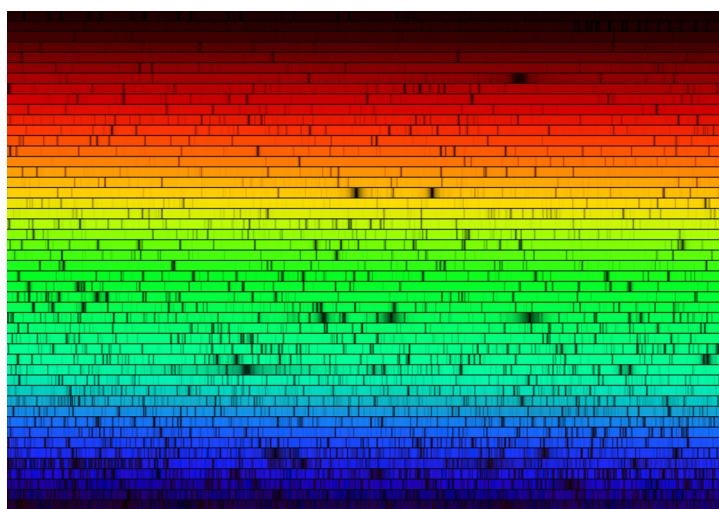
Dalekohledy a sluneční pozorování



rchy velmi hustě pokryty přesně rovnoběžnými proužky. Tyto jsou mnohem účinnější než hranoly. CD disk funguje podobně jako difrakční mřížka, protože jsou v plastu, ze kterého je vyroben, vyryty stopy. Díky těmto vrypům vidíme na CD duhové odrazy.

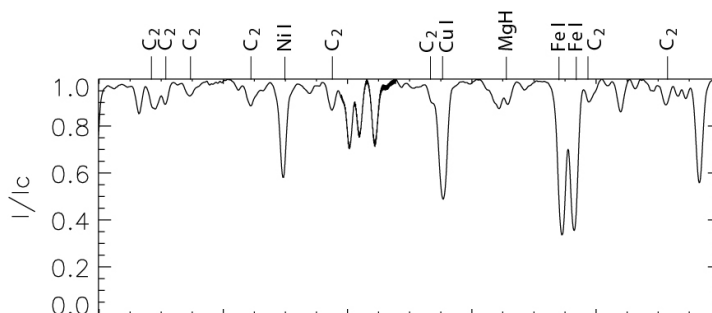
Když pozorujeme se spektrografem hvězdu, její spektrum ukazuje úzké tmavé pruhy, které nazýváme absorpční spektrální čáry. Tyto čáry jsou vytvářeny chemickými prvky přítomnými v atmosférách hvězd (ano, hvězdy mají také atmosféry, i když nejsou podobné těm na planetách; je to jen způsob pojmenování vnějších vrstev hvězdy). Každý chemický prvek absorbuje fotony, částice světla, s velmi specifickými energiemi. Jinými slovy, každý prvek absorbuje světlo velmi specifických barev (nebo vlnových délek). Výsledné spektrum vypadá trochu jako barevný čárový kód. Astronomové studují přítomnost absorpčních čar ve spektrech hvězd, aby určili jejich chemické složení, a to lze dělat také u Slunce.

Žárovky, které používáme doma, mají také spektrum, které může být spojitě (jsou v něm přítomny všechny barvy bez tmavých mezer mezi nimi) nebo místo toho vykazují emisní čáry (jasnější úzké pruhy ve spektru), a to v závislosti na principu jakým žárovka produkuje světlo. Pamatujte, že různé plyny (různé prvky) by poskytovaly odlišné spektrum, například neonová světla versus světla sodíkových pouličních lamp.



Sluneční spektrum s absorpčními (tmavými) čarami. Kredit: Nigel Sharp (NSF), FTS, NSO, KPNO, AURA, NSF

Abychom mohli pracovat se spektry a získávat z nich informace, astronomové transformují barevná spektra na grafy, jako je ten na **Obrázku 3**. Poklesy v křivce představují absorpční čáry ve spektru: čím větší je pokles, tím tmavší je absorpční čára. Absorpční čáry neposkytují pouze informace o chemickém složení hvězd, ale také o jejich teplotě, magnetickém poli a pohybech v jejich atmosférách.



Grafické znázornění slunečního spektra s několika absorpčními čarami různých atomů a molekul.

Spektroskop je zjednodušená verze spektrografu, která spektrum nezaznamenává, ale umožňuje jej přímo pozorovat. Proměňme se v astronomy a vytvořme si svůj vlastní spektroskop.

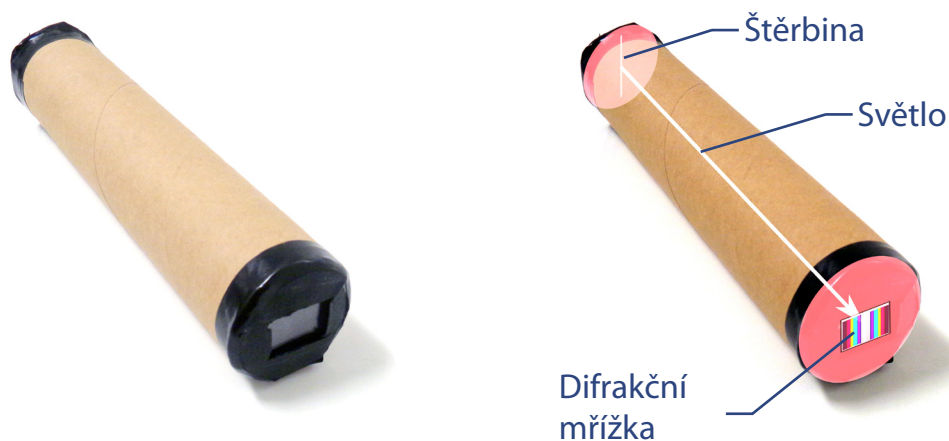
1.2

Dalekohledy a sluneční pozorování



POSTUP

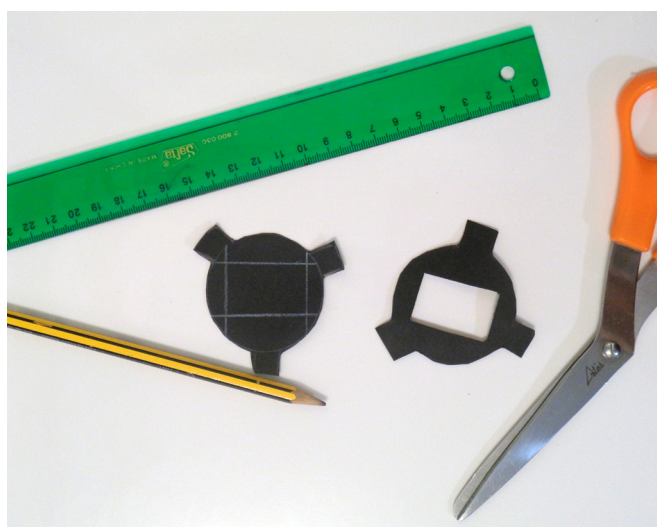
Předtím než začneme si musíme uvědomit, že aby bylo ve spektrech vidět tmavé nebo jasné čáry, musí světlo proniknout do spektroskopu velmi tenkou štěrbinou. Pamatujme si, že každý spektroskop potřebuje optický prvek, který rozptýlí světlo; jinými slovy, aby se různé barvy (vlnové délky) rozptýlily do jiných směrů. Toho dosáhneme s pomocí CD. Na **Obrázku 4** je znázorněno schéma našeho spektroskopu.



Dokončený spektroskop (vlevo) a jeho schéma (vpravo).

1. Vystříhnete tři kruhy z černé lepenky velké tak, aby zakryly oba konce kartonové trubky. Dva z těchto kruhů by měly mít přesahy, abyste je snadno připevnili k trubce.

2. Uprostřed dvou kruhů s přesahy vystříhnete obdélník. To budou místa, do kterých umístíte štěrbinu vašeho spektroskopu a difrakční mřížku (**Obrázek 5**).



Kartonové kruhy s prostřihy pro štěrbinu a difrakční mřížku.

3. K vytvoření štěrbiny použijte zbývající kartonový kruh. Rozřízněte kruh na dvě poloviny a ujistěte se, že řez je co nejčistší bez drsných okrajů. To je důležité pro získání dobrého spektra. Vezměte jeden z lepenkových kruhů s vystříženým obdélníkem a zakryjte jej dvěma půlkruhy tak, aby vznikla úzká štěrbinu (s šířkou menší než 1 mm). Je nutné, aby štěrbinu měla po celé

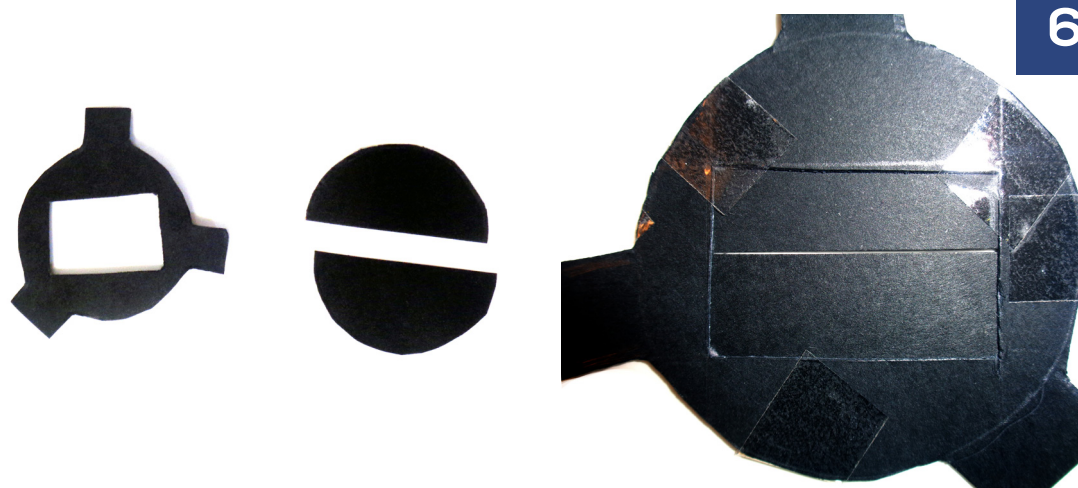
1.2

Dalekohledy a sluneční pozorování



délce stejnou šířku, jinak spektroskop nebude fungovat správně. Půlkruhy upevněte pomocí izolační pásky a ujistěte se, že světlo může procházet pouze štěrbinou (**Obrázek 6**).

4. Přilepte kartonový kruh se štěrbinou na jeden z konců trubky tak, aby byl zcela zakrytý. Pokud je to možné, použijte černou izolační páskou. Pokud páska není černá, namalujte ji, aby se do spektroskopu nedostalo žádné rozptýlené světlo.



Jednotlivé komponenty štěrbiny (vlevo) a hotová štěrbina (vpravo).

5. Pro výrobu difrakční mřížky použijeme kus CD disku. Jak již bylo zmíněno, vrypy na CD z něj dělají něco jako difrakční mřížku. Vystříhněte část CD pomocí nůžek. Tato část musí být větší než je vystřižený obdelník ve zbývajícím kartonovém kruhu (**Obrázek 7**).

6. Světlo musí projít CD diskem, proto musíte odstranit potíštěnou krycí vrstvu, která je odrazná. Toho se dá dosáhnout nalepením lepicí pásky na tuto vrstvu a pak jejím opatrným odstraněním. Tento krok je nutné opakovat, dokud nebude vystřižená část CD disku průhledná (**Obrázek 7**).



Vystříhněte část CD disku a odstraňte z ní reflexní potíštěnou vrstvu.

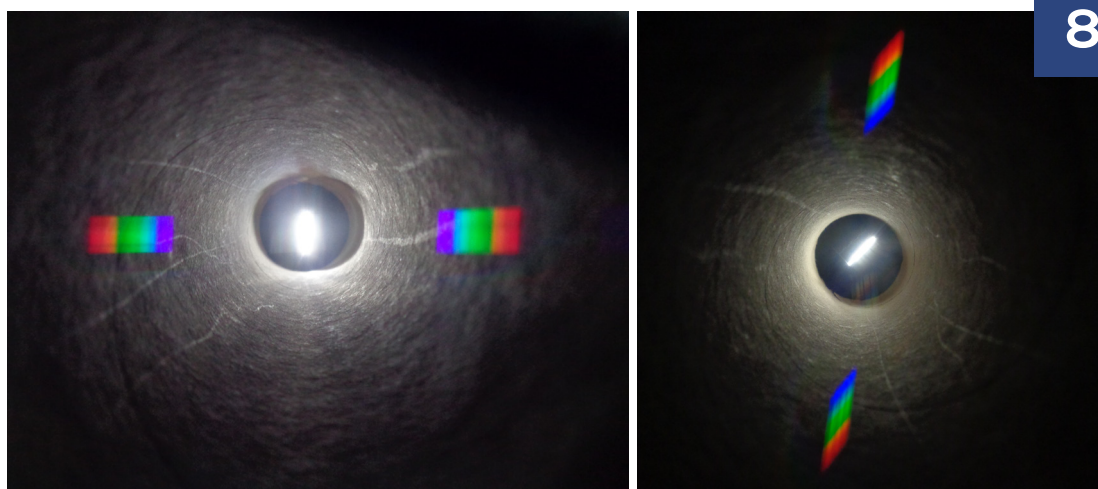
1.2

Dalekohledy a sluneční pozorování



7. Zhotovenou difrakční mřížku umístíte před vystřižený obdelník v kartonovém kruhu a upevníte jej izolační páskou.

8. Abyste získali dobré spektrum, je nutné přesně umístit difrakční mřížku. Vrypy na CD disku by měly být co nejvíce rovnoběžné se štěrbinou. Chcete-li toho dosáhnout, držte difrakční mřížku na jednom konci trubky a dívejte se skrz ni na nějaký zdroj světla (okno, lampa, osvětlená obrazovka, **ne přímo na Slunce**). Pokud je mřížka dobře orientovaná, uvidíte na obou stranách štěrbinu ve vnitřní části trubice duhový vzor rovnoběžný se štěrbinou (**Obrázek 8**). Pokud se vám napoprvé nepodaří uspět, zkuste mírně otočit mřížku vůči štěrbině, dokud nevidíte správný vzor. Jakmile toho dosáhnete, připevněte mřížku k trubce izolační páskou v takto vyměřené poloze. Pečlivě zakryjte všechny ostatní otvory v okolí difrakční mřížky, abyste zabránili vniknutí světla do trubky jinudy než difrakční mřížkou.

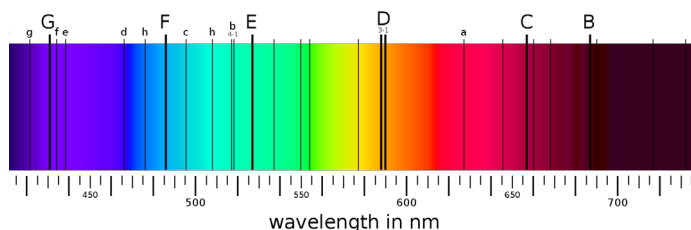


8

Správný duhový vzor je vlevo a špatný vpravo.

9. Nyní máte spektroskop, který můžete použít k analýze různých světelných zdrojů. **Musíte být velmi opatrní a NIKDY se nedívat přímo na Slunce.**

10. Namiřte svůj spektroskop k obloze poblíž Slunce, ale vyhněte se přímému pohledu na Slunce. Dívejte se tak, abyste okem nepozorovali nejjasnější světlo ve spektrografu. Co vidíte ve spektru Slunce? Je to spojitě spektrum nebo vidíte nějaké tmavé čáry? Kolik Fraunhoferových linií vidíte (**Obrázek 9**)? Mění se spektrum, když je Slunce velmi blízko horizontu? Proč to tak je? Mimochodem, můžete pozorovat všechny možné barvy ve slunečním spektru, jako je hnědá nebo růžová? Proč to tak je?



9

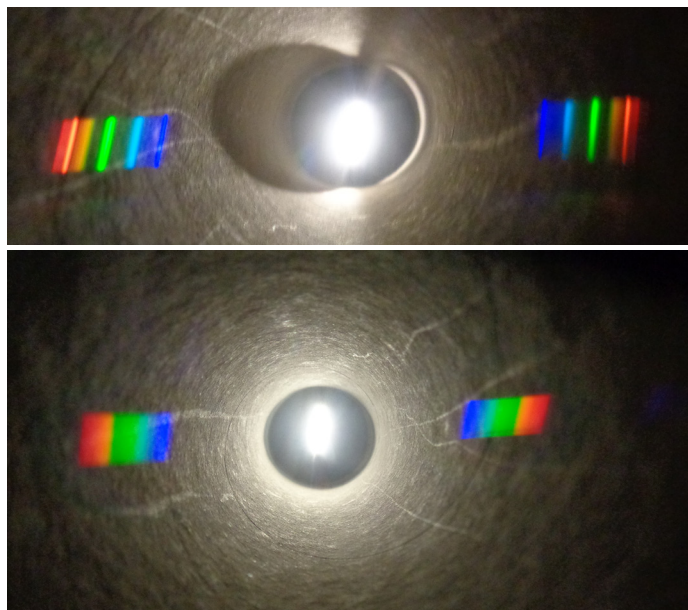
Některé Fraunhoferovy čáry (tmavé linie, zejména D a E) by měly být přes náš spektroskop vidět. Pozorně se dívejte, spektrální čáry jsou velmi tenké.

1.2

Dalekohledy a sluneční pozorování



11. Nyní pozorujte svým spektroskopem různé zdroje světla. Zkuste tyto zdroje izolovat, například zhasněte světla v místnosti s výjimkou světla, které analyzujete, nebo najděte osamělé pouliční osvětlení, které není obklopeno mnoha dalšími. V závislosti na druhu světla můžete pozorovat různé barvy ve spektru. Případně jsou některé barvy jasnější než jiné. Žárovky obsahující rtuťové nebo sodíkové plyny září nádherným emisním spektrem, zatímco LED nebo halogenové žárovky vydávají kontinuální spektrum (**Obrázek 10**). Pomocí spektroskopu se pokuste doma, v jiné budově nebo na ulici najít zdroj světla, který vyzařuje kontinuální spektrum (všechny barvy jsou přítomny bez mezer mezi nimi) a spektrum s emisními čarami. Pokud je to možné, zjistěte typ těchto žárovek a zkuste si vyhledat, zda opravdu vytvářejí kontinuální spektra nebo emisní čáry.



10

Spektra žárovky (nahore) a LED žárovky (dole).

12. Pro tuto část budete potřebovat pomoc dospělého. Nejprve pozorujte spektrum plamene (může to být ze svíčky, krbu nebo plynového sporáku). Poté požádejte svého asistenta, aby nasypal trochu jemné soli do plamene, zatímco se díváte skrz svůj spektroskop. Co pozorujete? Co se děje?

i

Chcete-li vědět více

- **O JOSEFU FRAUNHOFEROVI A JEHO SPEKTRÁLNÍCH ČARÁCH**
www.tinyurl.com/FraunhoferLines
- **IDENTIFIKUJTE ČÁRY VE SLUNEČNÍM SPEKTU**
http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.php
- **PERIODICKÁ TABULKA ATOMOVÝCH SPEKTER PRVKŮ**
<http://homework.uoregon.edu/run/elements/>
- **SIMULÁTOR HRANOLU A DIFRAKČNÍ MŘÍŽKY**
www.ophysics.com/l8.html www.ophysics.com/l5b.html
- **VÝROBA VLASTNÍHO SPEKTROSKOPU, PROJEKT EU-HOU**
www.tinyurl.com/EU-HOU-spectroscope
- **SPEKTROSKOPY V ASTRONOMII**
www.atnf.csiro.au/outreach//education/senior/astrophysics/spectroscopytop.html

1.3

Dalekohledy a
sluneční pozorování

Změřte rotaci Slunce

Cílová skupina: Studenti nad 12 let
Doba trvání: 30 minut

Cíle

Změřte dobu rotace Slunce pomocí pozorování slunečních skvrn.

Ujasněte si, jak velké jsou struktury pozorované na Slunci v porovnání s naší Zemí.

Materiál

- Počítač s přístupem na internet (nebo vytištěné obrázky).
- Pravítko.

PODSTATA PROBLÉMU

Slunce může působit pojmem, že se na něm nic zvláštního neděje a není důvod ho pozorovat. Tak tomu však není. V atmosféře Slunce se vyskytuje mnoho různých struktur, které se neustále vyvíjejí. Mezi ty nejvýraznější patří sluneční skvrny a protuberance.

Sluneční skvrny jsou oblasti, ve kterých je nižší teplota než v jejich okolí. Proto je pozorujeme jako tmavé oblasti na slunečním disku (**Obrázek 1**). Až díky pozorování slunečních skvrn, které v 17. století zaznamenal Galileo Galilei a další astronomové, jsme zjistili, že Slunce je rotující objekt. V první části tohoto cvičení napodobíme tyto astronomy a pomocí měření pozic slunečních skvrn změříme, jak dlouho Slunci zabere otočka kolem své osy (jaká je jeho doba rotace).

i

Chcete-li vědět více

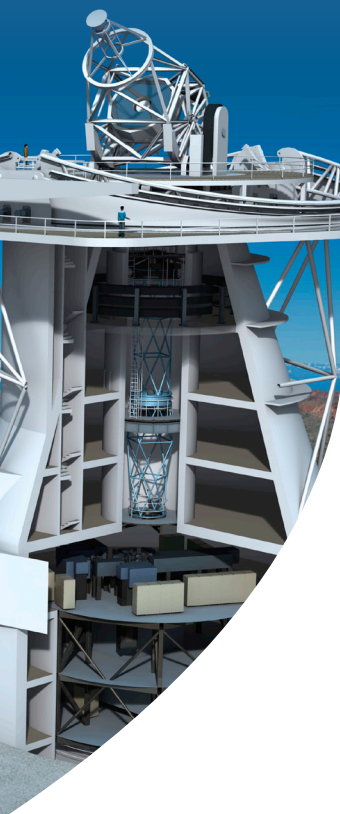
Pokud chcete vědět více o objevu rotace Slunce, podívejte se na první epizodu kresleného seriálu "The QuEST":

www.tinyurl.com/TheQuESTSeries

Protuberance jsou struktury ve sluneční atmosféře, které mají tvar oblouku, a které vystupují tisíce kilometrů nad sluneční povrch. Astronomové předpokládají, že jsou tvořeny díky specifické konfiguraci magnetického pole v těchto výškách nad slunečním povrchem. V **Knize úkolů 2** budeme studovat podstatu slunečních skvrn a protuberancí, ale již zde se seznámíme s jejich vzhledem a velikostmi.

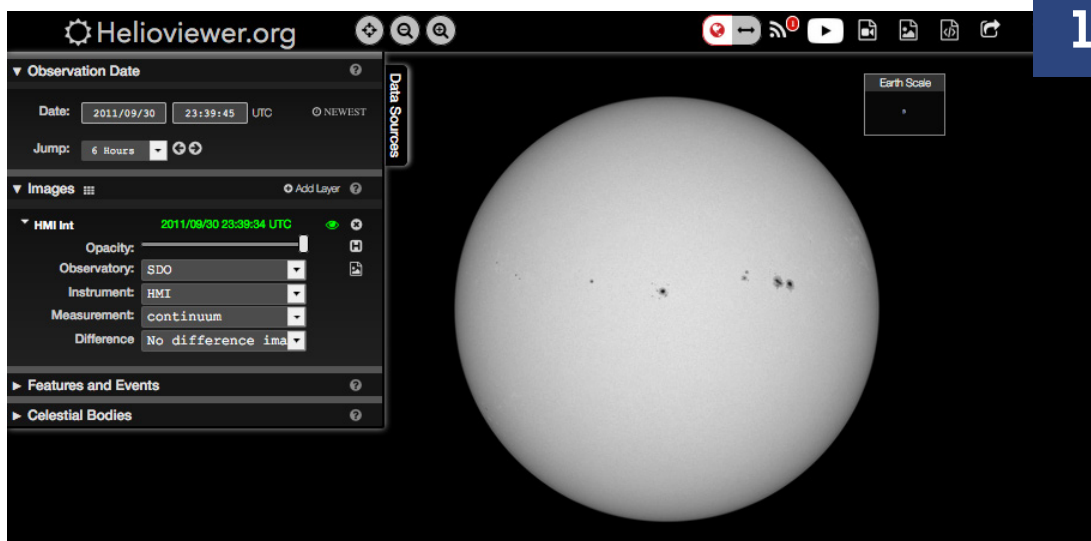
1.3

Dalekohledy a sluneční pozorování



POSTUP

1. K výpočtu doby rotace Slunce budeme potřebovat snímky slunečního disku, na kterých bude sluneční skvrna. Tato struktura nám označí místo na slunečním disku a její pohyb tak umožní odhad rotace Slunce. Na webové stránce www.helioviewer.org najdete snímky Slunce pořízené z několika různých satelitních přístrojů. Vhodné snímky byly pořízeny např. 29. září 2011, kdy byly pozorovány zřetelné sluneční skvrny. Snímky dobře viditelných slunečních skvrn získáte, pokud v ovládacím panelu nastavíte stejné volby, jako jsou ukázány na **Obrázku 1**. Zvolte "SDO" v políčku "Observatory" (satelit), "HMI" v políčku "Instrument" (přístroj) a "continuum" v políčku "Measurement" (měření). Pokud nebudete mít stálý přístup k počítači, vytiskněte si příslušné snímky. Měření bude možno provést i na papíře.



Obráz Slunce se skupinou slunečních skvrn pořízený 1. října 2011. Musíte použít stejné položky v ovládacím panelu Heliovieweru, aby se Vám skvrny zobrazily stejně. Kredit: Helioviewer.

2. Vyberte si jednu ze skvrn viditelných na povrchu Slunce a změnou času v kontrolním panelu se ji pokuste dostat na centrální poledník Slunce (tedy doprostřed mezi pravý a levý okraj Slunce). Příklad takového nastavení je na **Obrázku 1**. V okamžiku, kdy jste s nastavením spokojeni si poznamenejte datum a čas snímku. Abychom si výpočet doby rotace Slunce co nejvíce zjednodušili, budeme hledat snímek Slunce, na kterém se sledovaná skvrna dostane na sluneční okraj. V ovládacím panelu nyní můžete využít funkce "Jump", který zobrazí snímek Slunce posunutý o vybraný časový interval. Vyberte snímek Slunce, kdy Vámi vybraná skvrna mizí za jeho pravým okrajem. Zapište si toto datum a čas. Jak vidíte, zabere to několik dní, než se skvrna dostane ze středu na okraj Slunce. Během této doby se Slunce (a sluneční skvrna na jeho povrchu) otočí o čtvrtinu jedné celé otočky, tedy o 90°. Jedna celá otočka kolem své osy odpovídá 360°.

3. Musíme tedy zjistit, jak dlouho trvalo sluneční skvrně urazit oněch 90°. Spočtete časový rozdíl (t) mezi snímky zobrazujícími skvrnu na středu a na okraji Slunce. Pokud časový rozdíl odpovídá celým dnům, je to jednodušší a rotaci Slunce můžete počítat s časovou jednotkou dní. Pokud zjištěný čas zahrnuje i hodiny (např. 2 dny a 12 hodin), je nutné přepočítat časový interval na hodiny vynásobením počtu dní 24 (počet hodin v jednom dni) a přidáním počtu hodin (uvedený příklad by odpovídal 60 hodinám, tedy 2 x 24 + 12).

1.3

Dalekohledy a sluneční pozorování



4. Teď můžeme spočítat čas potřebný na dokončení jedné sluneční otočky. Pokud skvrna potřebovala čas t (spočítaný výše) na rotaci o 90° , bude potřebovat čtyřikrát více času na celovou rotaci kolem své osy. Jinak řečeno, $T = 4 \times t$, kde T je doba rotace Slunce.

Pokud máme t vyjádřeno v hodinách, bude rovněž T odpovídat počtu hodin. Aby byla výsledná doba rotace ve dnech, vydělte výsledný čas T počtem hodin v jednom dni. Porovnejte výslednou hodnotu s hodnotou synodické doby rotace Slunce na rovníku (která odpovídá 26.24 dní). Synodická doba rotace odpovídá času otočení Slunce tak jak jej vidíme ze Země. Tato hodnota je odlišná od siderické doby rotace (24.47 dní), která by byla pozorována z pevného místa v prostoru, protože synodická doba rotace je ovlivněna pohybem Země po oběžné dráze okolo Slunce.

5. U Slunce je doba rotace závislá na vzdálenosti od rovníku (sluneční šířce). Zkuste si měření doby rotace zopakovat se skvrnou, která se nachází blíže slunečního pólu. Např. 6. prosince 2010 byly pozorovány sluneční skvrny blíže k severnímu pólu Slunce. Porovnejte dobu rotace této skvrny s vaším předchozím výsledkem. Dostali jste rozdílné doby rotace pro skvrny nacházející se na jiných slunečních šířkách? Která z nich je delší?

6. Snímky slunečních protuberancí nám umožní odhadnout jejich velikost a porovnat ji s velikostí naší Země. Využijte opět www.helioviewer.org na zobrazení snímků protuberancí. Např. dne 10 září 2017 byla na Slunci pozorována velká protuberance. Použijte nastavení ovládacího panelu podle **Obrázku 2** (SDO - Observatory, AIA - Instrument, 304 - Measurement). Protuberance se nachází na pravém dolním okraji Slunce (jiho-západní okraj). S pomocí funkce "Jump" můžete pozorovat vývoj protuberance v čase. Na stejném snímku naleznete i Zemi zobrazenou ve stejné škále. To nám umožňuje posoudit velikost jevů na Slunci.

7. Velikost protuberance můžeme spočítat následujícím způsobem. Vyberte si jeden ze snímků protuberance (např. z 10. září 2017 v 02:57:57). Změřte délku protuberance v centimetrech nebo milimetrech. Poté změřte průměr Slunce na stejném snímku. Průměr Slunce je ve skutečnosti 1 391 000 km. Délku protuberance v kilometrech spočítáme trojčlenkou jako

$$\text{délka v km} = \frac{\text{délka protuberance v cm}}{\text{průměr Slunce v cm}} \times \text{průměr Slunce v km}$$

8. Porovnejte velikost protuberance s velikostí Země, která má průměr 12742 km. Váš výsledek by měl být zhruba deset-krát větší než je průměr Země. Stejným způsobem můžete změřit také velikost slunečních skvrn.

9. Velikost struktur pozorovaných na Slunci nám umožňuje pochopit mechanismy, které stojí za jejich vznikem a rovněž množství energie které je v nich akumulováno. Sluneční erupce probíhají právě v místech, kde se vyskytují sluneční skvrny a protuberance. To je hlavní důvod pro nepřetržité pozorování Slunce. Musíme vědět jak případná erupce ovlivní naši planetu. Z tohoto důvodu vznikla v posledních dekadách zcela nová vědní oblast nazývaná Vesmírné počasí, která se touto problematikou zabývá. Pokud se o tom chcete dozvědět více, můžete studovat odkazy vysvětlující sluneční erupce a vesmírné počasí.

1.3

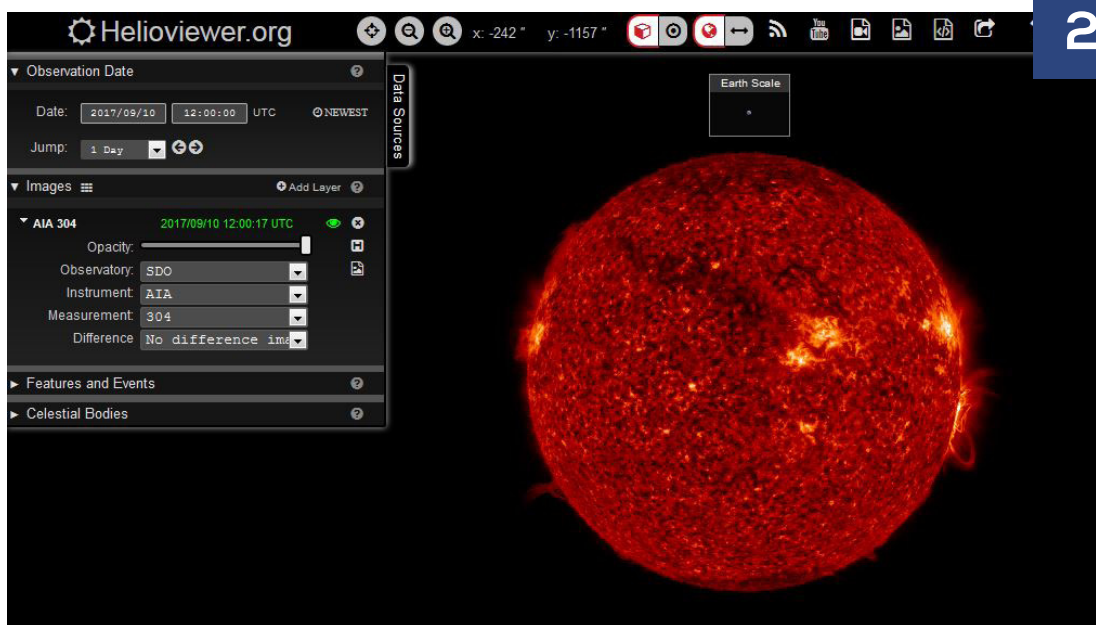
Dalekohledy a
sluneční pozorování

Váš výzkum může začít např. zde (odkazy jsou v angličtině):



www.swpc.noaa.gov/content/education-and-outreach

<https://swrc.gsfc.nasa.gov/main/learnspaceweather>



Snímek sluneční chromosféry získaný přístrojem AIA na družici SDO dne 10 září 2017. Na pravém okraji slunečního disku je vidět velká protuberance. Kredit: Helioviewer.