

Přechod Venuše přes Slunce

8. června 2004

Metodický materiál pro učitele

- historické souvislosti
- pozorování bez dalekohledu
- pozorování dalekohledem
- mezinárodní vzdělávací program
 - soutěže pro děti i studenty
 - možnost zapojení do celoevropského projektu
- vlastní měření a zpracování dat
 - paralaxa
 - Keplerovy zákony
 - goniometrické funkce

autoři:

text a obrázky **Jan Veselý**

výpočty pro schema přechodu a přílohy **František Hovorka**
na základě efemerid **JPL**



HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM v Hradci Králové
Zámeček 456, 500 08 Hradec Králové, tel. 495264087
<http://venuse.astrohk.cz> ; venuse@astrohk.cz

květen 2004

OBSAH:

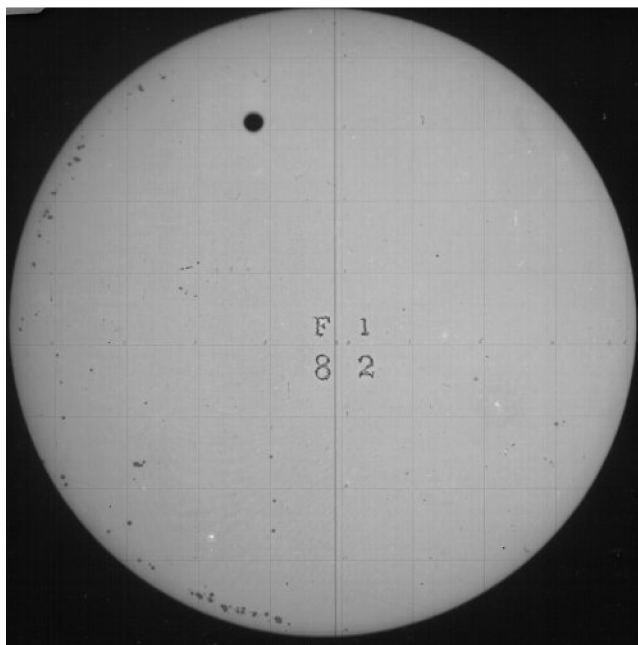
1. Trocha historie	1
2. Jak dochází k přechodu Venuše přes Slunce	2
3. Přechod Venuše přes Slunce 8. června 2004	3
4. Možnosti pozorování	4
4.1. Pozorování očima	5
4.2. Pozorování dalekohledem	7
5. Využití pozorování přechodu Venuše přes Slunce ve školní výuce	9
5.1 Všechny ročníky základních a středních škol	9
5.2 Druhý stupeň základní školy – 5. a 6. ročník	9
5.3 Druhý stupeň základní školy – 9. ročník	9
5.4 Střední školy	10
6. Vzdálenosti ve sluneční soustavě	10
6.1. Keplerův zákon	11
6.2. Astronomická jednotka	13
6.3. Paralaxa	14
6.4. Určení vzdálenosti Země–Slunce pomocí přechodu Venuše přes Slunce	15
7. Mezinárodní projekt VT-2004	16
7.1. Možnosti účasti na mezinárodním projektu VT-2004	16
8. Postup měření	17
8.1. Pozorovací stanoviště	17
8.2. Měření času	18
8.3. Okamžiky T1, T2, T3 a T4	18
9. Vlastní zpracování a výpočty	19
9.1. Výpočet astronomické jednotky z okamžiků T1, T2, T3, T4	19
9.2. Zjednodušené grafické řešení (podobnost trojúhelníků, sinus, tangens)	22
9.3. Praktické využití grafického řešení	24
10. Závěrečné zvolání	25

1. Trocha historie

Pouze Venuše a Merkur obíhají okolo Slunce blíže než Země a mohou se tak dostat mezi Zemi a Slunce, do tzv. dolní konjunkce. Tuto možnost si uvědomil **Johannes Kepler** a předpověděl ve svých Rudolfských tabulkách na rok 1631 přechody obou planet přes sluneční disk. Přechod Merkuru v roce 1631 skutečně pozoroval francouzský astronom **Pierre Gassendi** a pokusil se změřit úhlový průměr Merkuru. Zároveň tím potvrdil správnost Koperníkovy a Keplerovy teorie o uspořádání světa, kterému dnes říkáme sluneční soustava. Přechod Venuše v roce 1631 žádný z astronomů nezaznamenal, úkaz prakticky nebyl pozorovatelný z Evropy. Angličan **Jeremiah Horrocks** pak vypočítal další přechod Venuše přes Slunce na rok 1639 a 4. prosince toho roku skutečně uspěl. Stal se prvním člověkem, který úkaz pozoroval a zaznamenal. Také Horrocks změřil úhlový rozměr přecházející planety a zjistil, že je několiknásobně menší než se tehdy předpokládalo (vlastně jen spekovalo).

Další slavný anglický astronom, **Edmond Halley**, mezitím přišel na způsob, jak úkaz využít ke stanovení astronomické jednotky – střední vzdálenosti Země od Slunce (podrobnosti v kapitole 6 Vzdálenosti ve sluneční soustavě). Protože mu bylo jasné, že následující dvojice přechodů přes Slunce v letech 1761 a 1769 se nedožije, vydal latinsky psaný spis popisující metodu určení rovníkové paralaxy Slunce, z níž lze přímo vypočítat vzdálenost Země–Slunce, jen z doby trvání úkazu na dvou různých místech zeměkoule, v němž naléhavě žádal astronomy budoucí generace, aby mimořádně vzácného jevu neopomněli využít. V letech 1761 i 1769 proto byly pořádány (ve své době velmi dobrodružné) výpravy do různých koutů světa za přechodem Venuše přes Slunce. Populární je například Cookova expedice na Tahiti. Astronomům se tehdy skutečně podařilo určit vzdálenost Země–Slunce s dobrou přesností: výsledky se pohybovaly od 125 do 153 milionů kilometrů.

Zatím poslední příležitost pozorovat přechod Venuše přes Slunce nastala na konci 19. století. V letech 1874 a 1882 již byla k dispozici fotografie, takže měření byla daleko přesnější. Z roku 1874 se snímky nezachovaly, protože se ještě používal dlouhodobě nestabilní mokřý fotografický proces, ale z roku 1882 se dochovaly fotografické desky pořízené expedicemi Americké námořní observatoře (U. S. Naval Observatory).



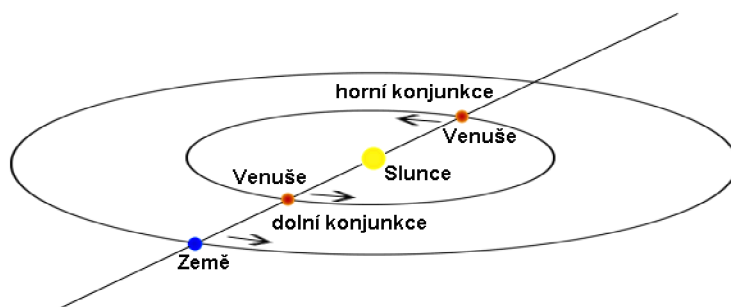
Obr. 1.1: Jedna z jedenácti fotografických desek zachycujících přechod Venuše přes Slunce z roku 1882, jež jsou uloženy v archivu knihovny Americké námořní observatoře (USNO Library). Všechny jsou zveřejněny na internetové adrese: <http://www.usno.navy.mil/library/rare/rare.html> (zdroj)

Zdroje (dalších) informací:

- [1] Dušek, J.: Přechod Venuše, <http://venuse.hvezdarna.cz>
- [2] van Roode, S. M.: Halley's method of durations, <http://home.hetnet.nl/~smvanroode/venustransit/eng/halleysmethod.pdf>
- [3] <http://venuse.astrohk.cz>

2. Jak dochází k přechodu Venuše přes Slunce

Při pohledu ze Země se Venuše na obloze může od Slunce dostat maximálně do úhlové vzdálenosti 47° . Podle toho, na které je straně, hovoříme o **východní elongaci** (Venuše je pozorovatelná jako Večernice) nebo **západní elongaci** (Venuše je Jitřenkou). Mezi tím se vyskytují **konjunkce** (v původním astrologickém významu spojení) – období, kdy Venuše prochází okolo Slunce. Ve skutečnosti se při konjunkci se Sluncem Venuše nachází na spojnici Země–Slunce, buď mezi Zemí a Sluncem, nebo za Sluncem; hovoříme pak o **dolní** resp. **horní** konjunkci.



Obr. 2.1: Schematické znázornění konjunkcí Venuše se Sluncem. Dráhy planet ani velikosti těles nejsou ve správném měřítku.

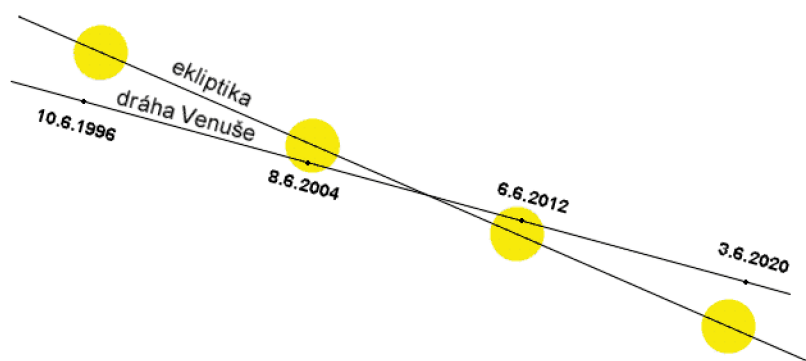
POZOR! Dolní a horní konjunkce se nerozlišuje podle toho, zda na obloze vidíme Venuši procházet nad Sluncem nebo pod ním. Jde o prostorové uspořádání těles zobrazené na schématu. Tedy při horní konjunkci může být Venuše nad Sluncem i pod Sluncem (samozřejmě nikoli zároveň); totéž platí pro dolní konjunkci. Ve vzácných případech může při dolní konjunkci Venuše přímo přejít přes sluneční kotouč.

Dolní a horní konjunkci můžeme rozlišit například pohledem do dalekohledu – při dolní konjunkci je Venuše blízko k Zemi a téměř v novu (je větší a jeví se jako tenký srpek), při horní konjunkci je pak v úplňku (jeví se jako malý kotouček). Budeme-li na obloze sledovat pohyb Venuše vůči Slunci, zaznamenáme, že při horní konjunkci se Venuše vůči Slunci pohybuje od západu na východ a pomaleji, při dolní konjunkci rychleji a od východu k západu. Rychlost onoho pohybu je samozřejmě zdánlivá.

Planety neobíhají okolo Slunce v jedné rovině. Jejich dráhy mají různý sklon (od $1,3^\circ$ v případě Jupitera po 7° u Merkura). Za základní rovinu považujeme rovinu dráhy Země okolo Slunce. Sklon dráhy Venuše vůči dráze Země činí $3,4^\circ$. Díky tomuto sklonu Venuše na obloze většinou mine sluneční kotouč a výsledkem takové konjunkce je jen to, že Venuše je po určitou dobu nepozorovatelná. Když se však při dolní konjunkci Venuše zároveň ocitne blízko **uzlu** své dráhy (místo, kde se roviny drah Země a Venuše protínají), pozorujeme na Zemi **přechod Venuše přes Slunce**. Taková situace je ovšem mimořádně vzácná. Jak je patrné z následující tabulky (jistě v ní odhalíte zajímavé pravidelnosti) a obrázku na další straně, čeká nás dvojice přechodů Venuše přes Slunce v roce **2004** a **2012** (ten druhý nebude pozorovatelný z České republiky). Poté se Venuše od uzlu vzdálí a další přechod si užijí naši praprapravenci v letech 2117 a 2125.

10. 6. 1996	16. 1. 1998	20. 8. 1999	30. 3. 2001
31. 10. 2002	8. 6. 2004	14. 1. 2006	18. 8. 2007
27. 3. 2009	29. 10. 2010	6. 6. 2012	11. 1. 2014
15. 8. 2015	25. 3. 2017	26. 10. 2018	3. 6. 2020

Tab. 2.1: Dolní konjunkce Venuše se Sluncem v letech 1996 – 2020.



Obr. 2.2: Dolní konjunkce Venuše se Sluncem v blízkosti uzlu dráhy Venuše

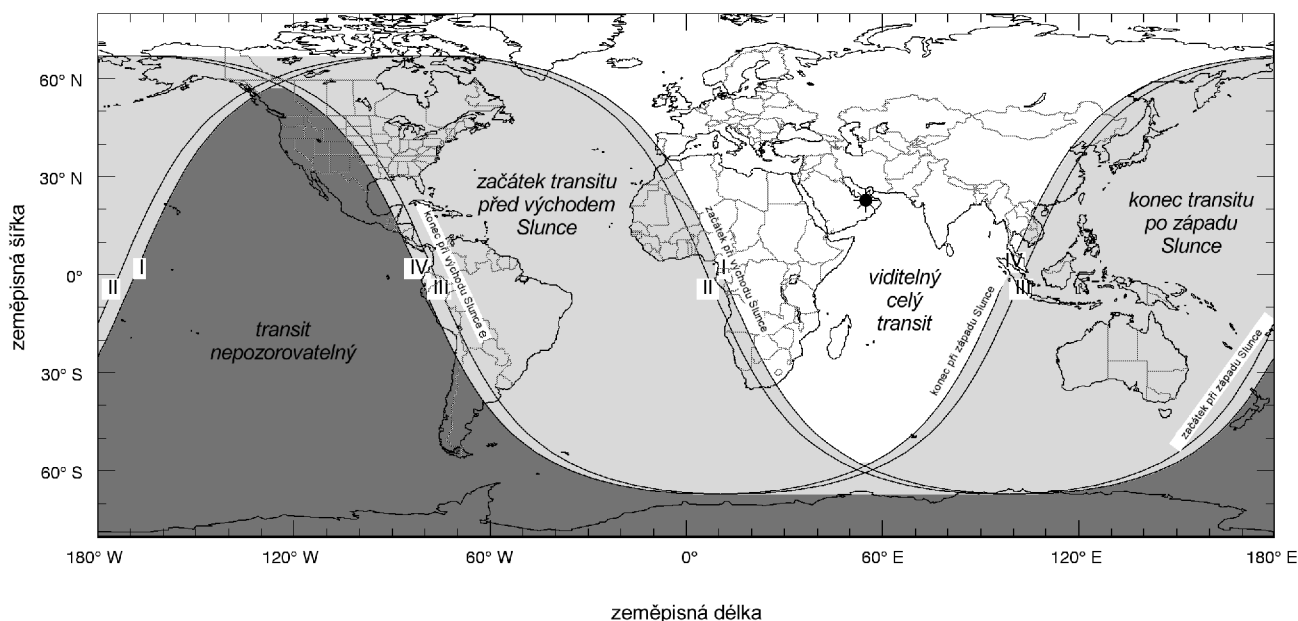
Zdroje (dalších) informací:

[1] <http://venuse.astrohk.cz>

[2] <http://www.chocky.demon.co.uk/oas/venus.html>

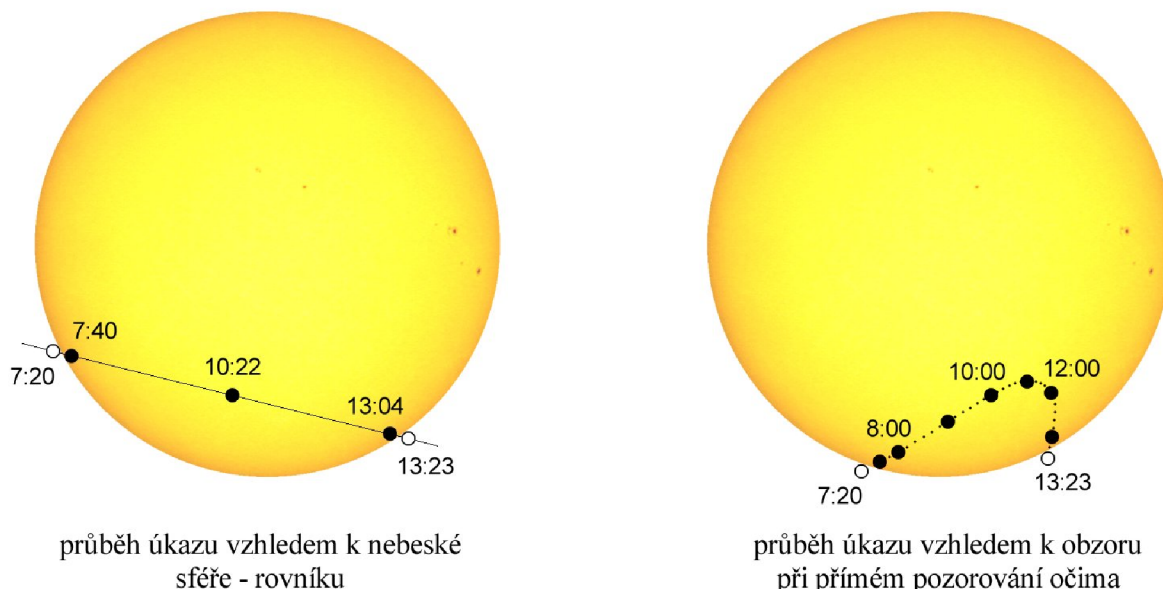
3. Přechod Venuše přes Slunce 8. června 2004

Z obrázku 2.2 lze vyčíst, že příští dvojice přechodů Venuše přes Slunce nastane 8. 6. 2004 a 6. 6. 2012. Přechod v roce 2004 bude pozorovatelný z celé Evropy, velké části Asie a Afriky. V České republice jej uvidíme v celém průběhu.



Obr. 3.1: Viditelnost přechodu (transitu) Venuše přes Slunce ve světě. Zdroj: Fred Espenak
<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/OH/transit04.html>

8. června 2004 u nás vychází Slunce přibližně deset minut před pátou hodinou ranní středoevropského letního času. Úkaz začne v 7:20 SELČ a Slunce již tedy bude vysoko nad obzorem. Venuše se bude přes sluneční kotouč přesouvat celých pět hodin a opustí jej až ve 13:23 SELČ. Obrázek 3.2 schematicky ukazuje přechod Venuše tak, jak jej uvidí pozorovatel v Hradci Králové. Na celém území České republiky se však poloha Venuše na slunečním kotouči bude od polohy na schématu lišit o méně než vlastní zdánlivý rozměr planety, časové údaje zaokrouhlené na celé minuty (uvedené v SELČ) jsou pro celou republiku stejné (liší se pouze v sekundách).



vzdálenost Slunce od Země: 152 milionů kilometrů; zdánlivý průměr Slunce na obloze: 1891"
vzdálenost Venuše od Země: 43 milionů kilometrů; zdánlivý průměr Venuše na obloze: 58"

Obr. 3.2: Schema přechodu přes Slunce 8. června 2004. Takto úkaz uvidí pozorovatelé v České republice.

Vlevo je vyznačen pohyb Venuše přes Slunce vůči nebeské sféře. Takto jej zaznamenáme například v dalekohledu, který je připevněn na paralaktické montáži, motoricky naváděn za Sluncem a navíc nepřevrací. V praxi se tedy levé schéma uplatní jen vzácně. Pozorovatel, který stojí na Zemi a pozoruje úkaz očima, uvidí pohyb Venuše zobrazený na schematu vpravo. Stočení do oblouku je způsobeno relativním otáčením Slunce vůči horizontu (obzoru) během jeho denního pohybu po obloze. Podobně uvidíme pohyb Venuše vůči Slunci i dalekohledem připevněným na azimutální montáži – například triedrem na fotografickém stativu. Většina dalekohledů však nějakým způsobem převrací obraz, často i zrcadlově, takže při teleskopickém pozorování je třeba dát pozor na orientaci obrazu. Podrobnosti o způsobech pozorování najdete v následující kapitole.

Zdroje (dalších) informací:

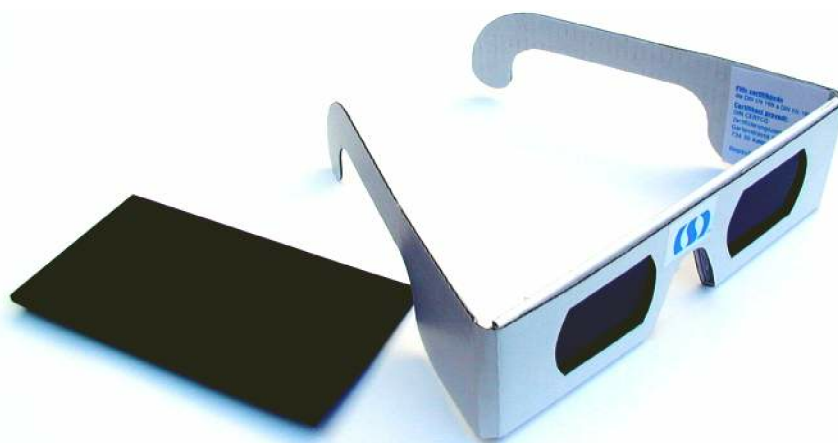
- [1] <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/OH/transit04.html>
- [2] <http://ssd.jpl.nasa.gov/cgi-bin/eph>
- [3] <http://venuse.astrohk.cz>

4. Možnosti pozorování

Vzdálenost Země–Slunce je dnes určena s přesností na metry radarem, takže svůj původní vědecký význam již přechod Venuše přes Slunce ztratil. Zůstala však obrovská vzácnost úkazu a možnost využít historických souvislostí ve výuce na základních i na středních školách. Konsorcium významných evropských astronomických institucí jako **Evropská jižní observatoř (ESO)**, **Evropská asociace pro astronomické vzdělávání (EAAE)**, **Pařížská observatoř**, **Institut pro nebeskou mechaniku a výpočet efemerid (IMCCE)** a **Astronomický ústav AV ČR** vytvořilo rozsáhlý **celoevropský vzdělávací projekt**, kterého se účastní i Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové. Cílem je využít tohoto mimořádného úkazu k **vytvoření co nejširší (celoevropské) mezinárodní spolupráce** učitelů, studentů, amatérských astronomů a profesionálních astronomických pracovišť pro zopakování historického určení astronomické jednotky (střední vzdálenosti Země–Slunce), ale i pro doprovodné aktivity. **Zapojit se může každý, především střední školy, ale i školy základní** (podrobnosti najdete v kapitolách 7 až 9).

4.1. Pozorování očima

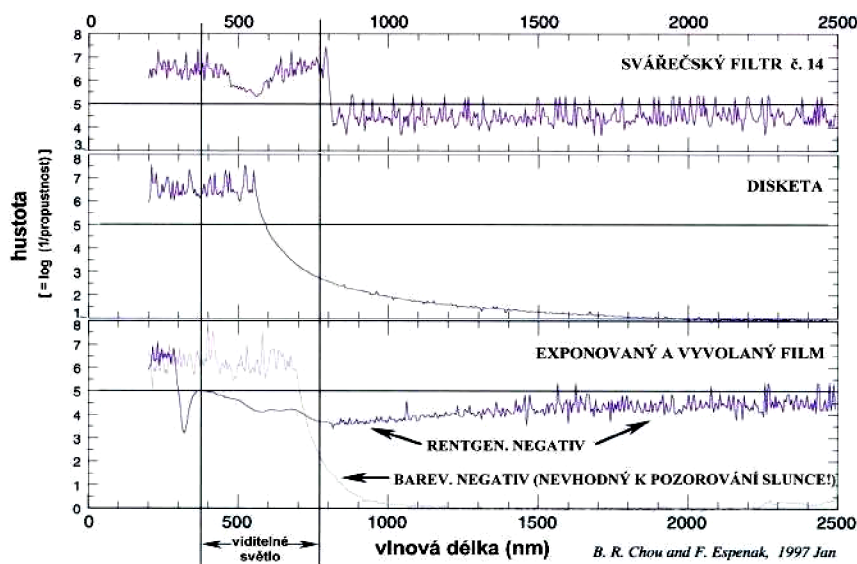
Zdánlivý (úhlový) rozměr Venuše je jedna oblouková minuta, což je dostačující pro to, aby byla Venuše na slunečním kotouči pozorovatelná i bez dalekohledu. **Přímé pozorování Slunce očima však může vést k poškození zraku!** Zatímco při pozorování přes dalekohled může dojít k okamžité ztrátě zraku (viz pozorování dalekohledem), při pozorování očima se zdánlivě nic nestane. Slunce však vydává záření nejrůznějších vlnových délek, nejen to viditelné. Infračervené a především ultrafialové paprsky jsou pro naše oči (nejen pro ně) škodlivé. Ozonová vrstva v zemské atmosféře sice většinu UV záření pohltí, některé vlnové délky však projdou. Dlouhodobé přímé pozorování Slunce (desítky minut až hodiny) může vést k poškození zraku, které se ani nemusí projevit okamžitě. **Oči je třeba chránit!** Norma ČSN EN 1836 předepisuje pro pozorování Slunce očima ochranný filtr, který odpovídá svářečskému ochrannému sklu minimálně č. 12 (čím větší číslo, tím tmavší filtr; ve svářečských brýlích či kuklách jsou však obvykle filtry s nižším ochranným stupněm – do č. 10). **Spolehlivou ochranou zraku je tedy svářečský filtr.** Číslo 12 stačí k ochraně zraku, pro pohodlné pozorování Slunce však doporučujeme č. 13 až 14. V případě Venuše, kdy je třeba, aby oko mělo co největší rozlišovací schopnost, se dokonce hodí filtr č. 15. Svářečské filtry vysokých ochranných stupňů nejsou běžně dostupné. Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové proto ve spolupráci s výrobcem Severosklo Kamenický Šenov s. r. o. nabízí ochranné filtry a brýle vhodné pro pozorování Slunce:



Obr. 4.1: Ochranná skla svářečská (filtry a brýle), vhodná pro pozorování přechodu Venuše přes Slunce, která je možné zakoupit na královéhradecké hvězdárně. V případě hromadné objednávky (deset kusů a více) jsou ochranná skla zasílána poštou na dobírku.

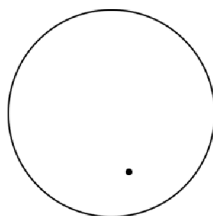
Kromě svářečských skel lze využít i některé improvizované pomůcky. Je však třeba pečlivě vybírat, neboť mezi laiky kolují různé fámy a dezinformace. Bezpečnou pomůckou jsou **brýle na pozorování zatmění Slunce**. Oči ochrání spolehlivě, ale protože v případě slunečního zatmění není třeba dbát na rozlišovací schopnost oka, nemusí být zaručena viditelnost Venuše na slunečním kotouči. Amatérsky je možné vyrobit ochranné brýle z **osvětleného a vyvolaného černobílého filmu**, v ideálním případě filmu **rentgenového**. Kvůli zrnitosti filmu se v tomto případě opět snižuje rozlišovací schopnost. S jistou dávkou opatrnosti lze použít začouzené sklo nebo CD-ROM.

POZOR! K ochraně zraku při pozorování Slunce se **nehodí** nevyvolaný černobílý film, ani barevný film (vyvolaný či nevyvolaný) nebo disketa. V žádném případě nepomohou obyčejné sluneční brýle. Ačkoli se tyto věci občas jako pomůcky pro pozorování Slunce doporučují, bezpečné nejsou. Zpravidla **propouštějí příliš mnoho ultrafialového nebo infračerveného záření** a protože oko na snížený jas reaguje rozšířením zornice, je dávka záření škodlivých vlnových délek, která do oka pronikne, nebezpečná. Na obrázku 4.2 jsou grafy propustnosti různých ochranných pomůcek vhodných i nevhodných pro pozorování Slunce.



Obr. 4.2: Propustnost některých improvizovaných pomůcek pro pozorování Slunce. Graf pokrývá rozsah vlnových délek 200 až 2500 nm (od ultrafialového po infračervené záření). Disketa a barevný film nejsou vhodné pro pozorování Slunce. Zdroj: Fred Espenak, <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html>

Často diskutovaným problémem je **rozlišovací schopnost lidského oka**. Lidské oko má rozlišovací schopnost přibližně jednu až dvě obloukové minuty (je poněkud individuální). Tím je myšleno, že například dvě hvězdy vzdálené od sebe dvě obloukové minuty, by většina lidí měla rozlišit jako dva svítící body vedle sebe. Zdánlivý průměr Venuše při přechodu přes Slunce činí přibližně jednu obloukovou minutu, což, v souvislosti s předchozími větami, vypadá dost beznadějně. Ve skutečnosti je to však s lidským okem mnohem lepší. Při přechodu Venuše nejde totiž o rozlišení dvou bodů vedle sebe, ale jednoho tmavého bodu na světlém pozadí. V tomto případě jde především o poměr jasu a kontrastu. Černý kotouček Venuše na Slunci je mnohem kontrastnější než sluneční skvrny a podle zkušeností pozorovatelů by měl být vidět poměrně snadno. Zkušený pozorovatelé s dobrým zrakem viděli očima na Slunci dokonce i Merkura. K dosažení co nejlepšího výsledku je třeba mít co nejtmaší filtr, aby se snížil jas slunečního kotouče. Rozlišení také stoupá s průměrem zornice, která se při menším množství dopadajícího světla roztahuje, ale zároveň se tím snižuje ostrost vidění. Chcete-li otestovat svoji schopnost uvidět Venuši na Slunci bez dalekohledu, podívejte se na následující obrázek ze vzdálenosti tří metrů.

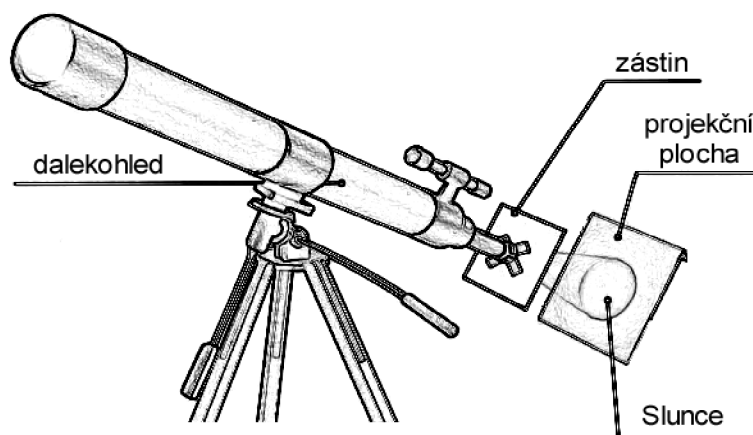


Obr. 4.3: Test rozlišovací schopnosti lidského oka. Pozorovatel, který stojí ve vzdálenosti 3 m od obrázku vidí černou tečku stejně, jako uvidí Venuši na Slunci 8. června 2004.

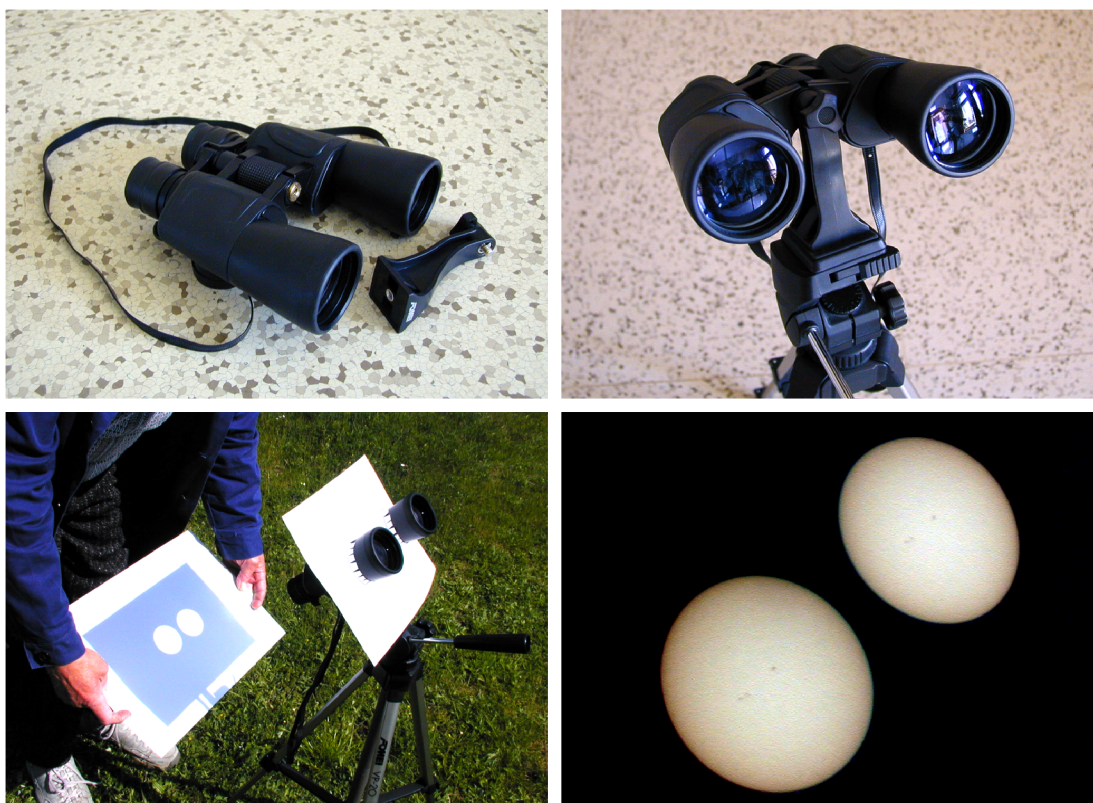
4. 2. Pozorování dalekohledem

Pozorování Slunce dalekohledem je nebezpečné! Dalekohled podstatně zesiluje světlo. Záření, které do dalekohledu vstoupí objektivem, se v dalekohledu koncentruje do výstupního svazku o průměru několika milimetrů. Slunce dává tolik světla, že jeho koncentrovaná energie, dopadne-li na sítnici oka (nebo jinou překážku - zkuste u okuláru dalekohledu namířené na Slunce podržet papír), se rychle přeměňuje na teplo a oko se „vypálí“. **Hrozí trvalá ztráta zraku!** Cílem této kapitoly ale není odradit od pozorování Slunce dalekohledem, nýbrž poradit vhodná řešení a upozornit na úskalí.

Existují dvě dobrá řešení: **před objektiv** nasadit **vhodný filtr** nebo do dostatečné vzdálenosti za okulár umístit stínítko a **dalekohled využít jako promítačku**. První metoda vyžaduje kvalitní filtr (v dalekohledu se všechny nedokonalosti filtru násobí), který bývá drahý. Druhá metoda je pro amatérské pozorovatele mnohem schůdnější. Je však třeba dát pozor, aby v dalekohledu nebyly hořlavé (plast, dřevo) součásti (tubus, okulárové clonky, ...). V tomto případě tedy **hrozí poškození dalekohledu**.

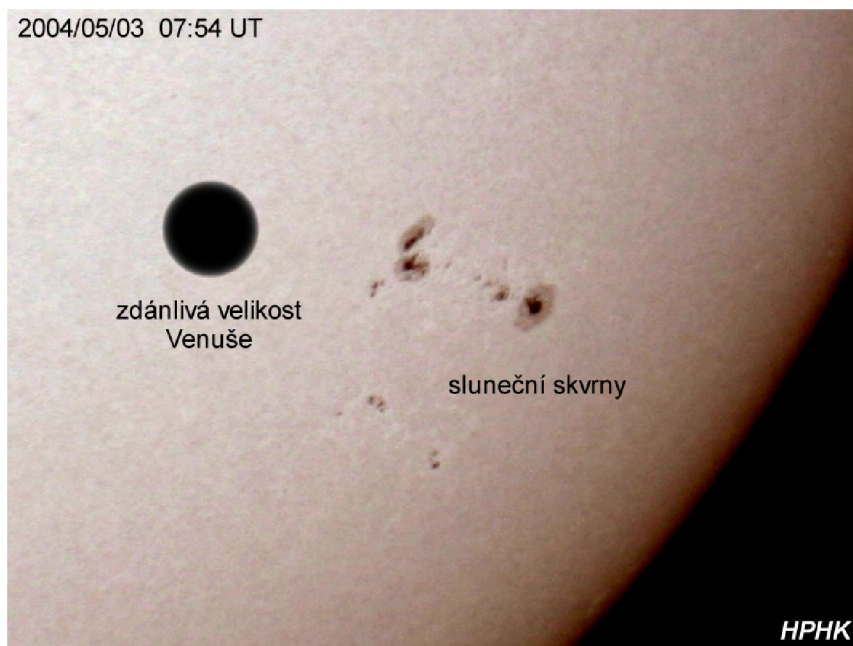


Obr. 4.4: Projekce Slunce dalekohledem na stínítko.



Obr. 4.5: Projekce Slunce třídrem připevněným na fotografickém stativu. Na detailu promítnutých obrazů Slunce lze vytušit i sluneční skvrny (na originálním digitálním snímku jsou dokonce vidět :-))

Způsobem znázorněným na obr. 4.5 je možné použít triedr, který je vybaven závitem k připevnění na fotografický stativ. Do závitu se našroubuje speciální nástavec na stativ. Triedry se závitem a nástavce vyrábí například firma FOMEI (nejde o reklamu, ale o jiné firmě nevím, čímž netvrdím, že jiná firma takové pomůcky nevyrábí – pozn. JV). Triedr je samozřejmě možné držet v ruce, ale udržení Slunce v jeho zorném poli pak bude velmi nesnadné. Pozor na převracející soustavy! V uspořádání podle obrázku 4.4 **dalekohled stranově převrací** (obraz jako v zrcadle) a navíc je **obraz Slunce vzhůru nohama**, při projekci triedrem je obraz „nohama dolů“, ale také stranově převrácený. **Každý hranol nebo zrcadlo zařazené do optické soustavy způsobí jedno stranové převrácení obrazu, při projekci na stínítko dojde k dalšímu stranovému převrácení.** Proto je třeba před pozorováním přechodu Venuše pozorně ověřit orientaci obrazu, například při pozorování slunečních skvrn. Je velmi pravděpodobné, že sluneční skvrny se budou na viditelném povrchu Slunce (fotosféře) vyskytovat také v době přechodu Venuše. Vzhled slunečních skvrn a Venuše před slunečním kotoučem můžete porovnat na následujícím snímku:



Obr. 4.6: Snímek slunečních skvrn pořízený dalekohledem Maksutov–Cassegrain 150/2250 na hvězdárně v Hradci Králové. Do snímku je pro porovnání vložen obraz Venuše, jak bude pozorovatelná během přechodu přes Slunce.

Vlivem otáčení Země bude obraz z malého dalekohledu nebo triedru na fotografickém stativu neustále „utíkat“. Úhlová rychlost tohoto pohybu je rovna úhlové rychlosti otáčení Země násobené výsledným zvětšením soustavy. Vypočítat zvětšení při projekci na stínítko není jednoduché, pro naše účely to není ani podstatné. Důležité je, že dalekohledem musíme neustále pohybovat, abychom udrželi Slunce v zorném poli. Pokud se část Slunce dostane mimo zorné pole, znamená to, že ona chybějící část světla, kterou nevidíme na stínítku, se pohlcuje v dalekohledu a tím jej zahřívá. I z důvodu ochrany dalekohledu bychom se tedy měli snažit udržet Slunce v zorném poli celé (světlo pak prochází jen čočkami). Pohyb Slunce způsobený otáčením Země nám pomůže i k určení orientace obrazu Slunce. **Směr, kterým obraz utíká, označuje západ na nebeské sféře.**

Zdroje (dalších) informací:

[1] <http://venuse.astrohk.cz>

[2] <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html>

[3] <http://www.fomei.com>

5. Využití pozorování přechodu Venuše přes Slunce ve školní výuce

5.1. Všechny ročníky základních i středních škol

Nejjednodušší využití je **prosté pozorování úkazu** a jeho prezentace jako jevu velmi vzácného, historicky důležitého (viz kapitoly 1 a 2) a na pohled zajímavého. Jistě se tím oživí výuka jakéhokoli předmětu. Při pozorování očima s využitím ochranných skel nebo jiných vhodných pomůcek (kapitola 4.1) je důležité **upozornit na nebezpečí přímého pozorování Slunce očima**, na správný způsob ochrany zraku. Při projekci dalekohledem je nutné upozornit na **nebezpečí ztráty zraku při přímém pohledu do dalekohledu**. Podržíme-li těsně za okulárem dalekohledu papír, po chvíli začne hořet. Podobně varovný experiment můžeme uskutečnit i s lupou. (Trik: použijte nějaký tmavší papír, v němž se snadněji pohlcuje světlo, v důsledku čehož dříve vzplane.) Pro tyto účely není nutné sledovat úkaz v celém průběhu, stačí krátká demonstrace jevu.

5.2. Druhý stupeň základní školy – 5. a 6. ročník

V rámci přírodovědy a zeměpisu se žáci učí o sluneční soustavě. Úkaz nastává až na konci školního roku, ale lze jej využít k zopakování poznatků, které získali v prvním pololetí. Je možné jej využít podle odstavce 5.1 a **navíc**:

Přechod Venuše přes Slunce lze demonstrovat jako viditelný důkaz toho, že **Venuše obíhá okolo Slunce blíže než Země**. V souvislosti s pozorováním Venuše před Sluncem je vhodné zopakovat **rozdíl mezi hvězdou (Slunce) a planetou** (v tomto případě Venuše) a připomenout i ostatní planety a další **tělesa sluneční soustavy** (měsíce, planety = asteroidy, komety, meteorická tělesa). Pěkně zpracované informace o sluneční soustavě najdete například na internetových stránkách České astronomické společnosti (<http://planety.astro.cz>). V případě projekce Slunce dalekohledem či triedrem upozorníme na **sluneční skvrny**. Jde o místa s nižší teplotou. Teplota na povrchu Slunce (na základní škole vystačíme s tímto zjednodušením a je vhodné se vyhnout diskusi o tom, co je vlastně povrchem Slunce jakožto plynné koule) dosahuje téměř 6000 °C, teplota ve skvrnách je o 1000 °C až 1500 °C nižší. Skvrny mají zpravidla tmavší centrum, zvané umbra (česky stín), světlejší okraj označovaný jako penumbra (polostín). Tyto pojmy jsou však historické a ve skutečnosti o stíny nejde. V případě potřeby je možné zmínit, že skvrny vznikají v důsledku magnetických poruch na Slunci a že s touto takzvanou sluneční činností jsou spojeny i erupce. **POZOR! Erupce nejsou totéž co skvrny**, i když jsou to projevy téže sluneční aktivity. Sluneční činnost způsobuje na Zemi polární záře, které jsou většinou pozorovatelné z oblastí blízko polárních kruhů, občas i z našeho území. Jasná polární záře byla v České republice pozorována například 20. listopadu 2003.

5.3. Druhý stupeň základní školy – 9. ročník

Součástí výuky fyziky v posledním ročníku základní školy je kapitola „Vesmír“. Přechodu Venuše přes Slunce lze využít podle odstavců 5.1 a 5.2 s podrobnějším výkladem o jevech souvisejících se sluneční činností (magnetické pole). **Navíc**:

V historii byl úkaz využit k trigonometrickému měření střední vzdálenosti Země–Slunce (kap. 1 a 6), tzv. astronomické jednotky (AU), která se k měření vzdáleností ve sluneční soustavě, potažmo v jiných planetárních soustavách, používá dodnes. Pro měření větších vzdáleností (hvězd, galaxií) se užívá jednotky parsek, ale v populární literatuře bývá častěji užívána velmi názorná jednotka světelný rok (vzdálenost, kterou světelný paprsek urazí za jeden rok). Pro astronomy bylo životně důležité zjistit hodnotu astronomické jednotky v kilometrech pro získání přesnější představy o vzdálenostech dalších těles ve vesmíru. Tuto představu mohou získat i žáci pomocí následující tabulky:

1 AU (Astronomical Unit / astronomická jednotka) = 149 597 870 691 m = 149,6 miliónů km

1 ly (light year / světelný rok) = 63 240 AU = 9,5 biliónů km

objekt / jeho vzdálenost od Slunce	kilometry	astronomické jednotky	doba, za kterou doletí světelný paprsek
Země	149,6 miliónů km	1 AU	8 minut
Neptun	4,5 miliardy km	30 AU	4 hodiny
nejbližší hvězda (Proxima)	41 biliónů km	272 000 AU	4,3 roků
vzdálené hvězdy viditelné očima		stovky miliónů AU	tisíce roků
průměr galaxie (např. Mléčné dráhy)		6 miliard AU	100 tisíc roků
blízká galaxie v Andromedě		150 biliónů AU	2,3 miliónu roků
kupa galaxií v Panně			40 miliónů roků
nejvzdálenější pozorované galaxie			13 miliard roků

Tab. 5.1: Vzdálenosti ve vesmíru

Nadanější žáci 9. ročníku nebo celá třída pod vedením učitele se mohou pokusit změřit okamžiky začátku a konce přechodu Venuše přes sluneční disk podle návodu v kapitole 8 a zapojit se tak do mezinárodního projektu VT-2004. Data naměřená žáky, studenty a astronomy amatéry jsou centrálně shromažďována na internetové adrese <http://vt2004.imcce.fr/vt2004i/Index.php>, kde je nutné se předem registrovat. Podrobnosti v kapitole 7.

5.4. Střední školy

Kromě aktivit popsaných v odstavcích 5.1, 5.2 a 5.3 lze úkazu využít k zopakování Keplerových zákonů a důkladnému pochopení problému měření vzdáleností ve vesmíru (ve sluneční soustavě), kterému je věnována celá následující kapitola.

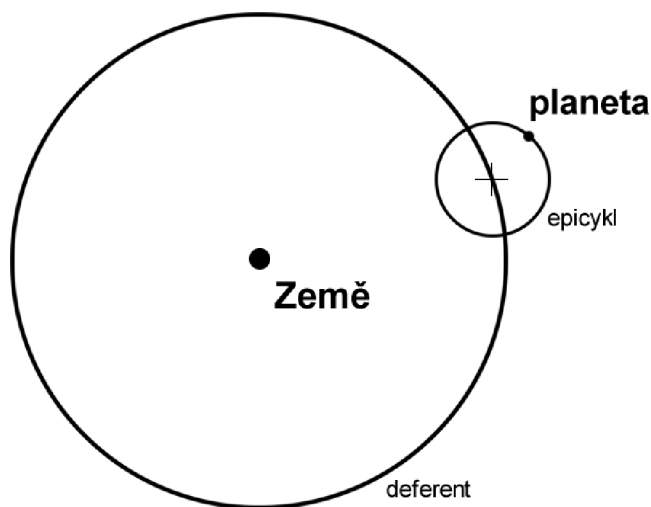
Zdroje (dalších) informací:

- [1] <http://planety.astro.cz>
- [2] <http://venuse.astrohk.cz>
- [3] <http://vt-2004.astro.cz>
- [4] <http://www.astro.cz/prechodvenuse/>
- [5] <http://vt2004.imcce.fr/vt2004i/Index.php>

6. Vzdálenosti ve sluneční soustavě

Na přelomu 16. a 17. století vrcholil spor mezi dvěma představami o uspořádání světa. Proti **geocentrické** (zeměstředné) soustavě, v níž Země byla středem vesmíru a okolo ní se otáčely sféry s planetami, stála nová Koperníková **heliocentrická** (sluncestředná) soustava, v níž středem všeho bylo Slunce a Země se stala jednou z planet. Podnětem pro hledání nového uspořádání byl občasný zpětný pohyb planet po obloze, který se jeví jako „klička“ na hvězdném pozadí. Problém znali už ve starověku a již ve druhém století našel řešení **Ptolemaios**: zavedl soustavu pomocných kružnic – epicyklů (viz obr. 6.1). Vhodným naladěním velikosti epicyklů a rychlosti pohybu planet po epicyklech bylo možné teoreticky vysvětlit jakoukoli pozorovanou kličku a předpovědi poloh planet vypočítané podle

tohoto systému byly na svou dobu velmi přesné. Koperníkova soustava, v níž Země není nehybná, nýbrž se spolu s ostatními planetami „otáčí“ okolo Slunce, vysvětlovala kličkování planety zcela přirozenou cestou, byla tedy jednodušší a elegantnější teorií, ale protože předpokládala rovnoměrné otáčení sfér (koulí), podle ní vypočtené předpovědi pohybů skutečných planet na obloze byly méně přesné.



Obr. 6.1: Ptolemaiova představa o uspořádání světa. Pohyb planet po epicyklu společně s otáčením deferentu vysvětlovaly kličkování planet po obloze.

6.1. Keplerovy zákony

Na začátku 17. století se na dvoře císaře Rudolfa II. sešli dva významní učenci té doby – **Tycho Brahe** (nikoli Tycho de Brahe; přechodu Venuše přes Slunce by možná bylo vhodné využít k vymýcení tohoto nesmyslu masivně tradovaného zřejmě jen v českém prostředí s historicky pochopitelným exportem na Slovensko) a **Johannes Kepler**. Tycho Brahe měřil pomocí důmyslných úhломěrů pohyby planet po obloze a snažil se prosadit hybridní soustavu, v níž Země zůstala středem vesmíru, okolo ní se otáčely sféry Měsíce a Slunce, sféry planet se pak otáčely okolo Slunce. Po smrti Tychona Brahe se k výsledkům jeho pozorování dostal Johannes Kepler. Zjistil, že v zásadě platí Koperníkova heliocentrická soustava, ale že v pohybu planet jsou jisté nerovnoměrnosti. Opustil představu otáčejících se sfér a uvažoval pohyb planet po křivce, tedy zavedl pojem, kterému dnes říkáme dráha, přesněji **trajektorie**. Roku 1609 pak ve spise zkráceně označovaném **Astronomia nova** (Nová astronomie) zveřejnil dva zákony pohybu planet:

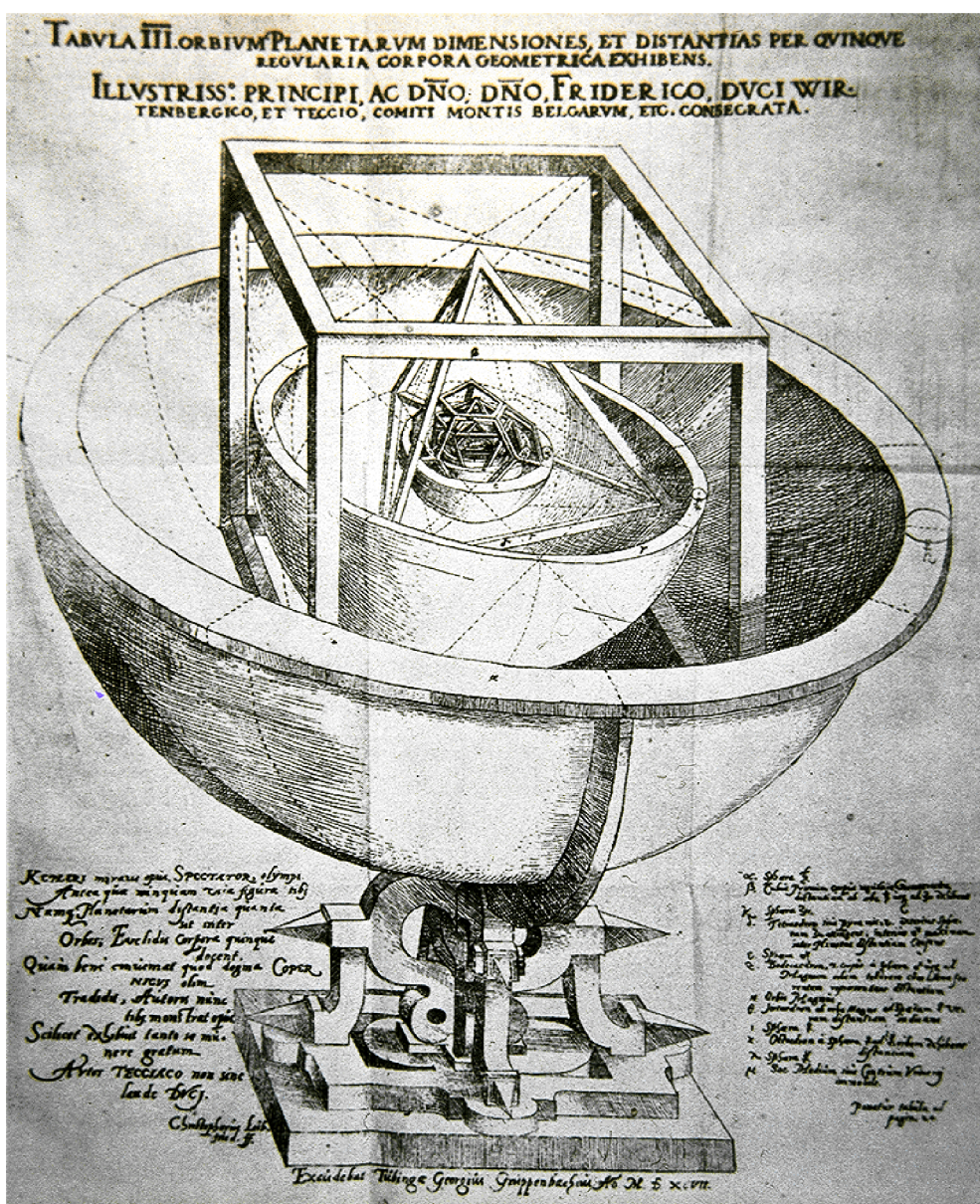
1. **Planety obíhají okolo Slunce po elipsách, v jejichž společném ohnisku je Slunce.**
2. **Plochy opsané průvodičem planety za jednotku času jsou konstantní.**

Dostatečně kvalitní podrobnosti jsou v dostupných učebnicích, takže se zde omezíme jen na stručné shrnutí významu těchto dvou zákonů: První zákon vede k zavedení pojmu trajektorie a vysvětluje jednu část nerovnoměrnosti pohybu planet (nejde o kružnice, ale o elipsy). Druhý zákon vyjadřuje zachování plošné rychlosti planety a skrytě obsahuje zákon zachování energie. Z hlediska pozorovaného pohybu planet přináší vysvětlení další nerovnoměrnosti (je-li planeta blíže ke Slunci, pohybuje se rychleji, nejrychleji tedy v **přísluní** (perihéliu), nejpomaleji v **odsluní** (aféliu) – opět pojmy, které získaly smysl až díky Keplerovým zákonům.). Započítáním uvedených nerovnoměrností se dostaly předpovědi poloh planet, které Kepler zveřejnil v tzv. **Rudolfinských tabulkách**, do souladu s pozorováním. Právě **předpovědi přechodů Merkura a Venuše přes Slunce** měly velkou důkazní váhu ve prospěch Koperníkova heliocentrického systému zpřesněného Keplerem.

Keplerovo snažení však zdaleka přesahovalo oblast astronomie. Astronomii studoval vlastně jen proto, aby mohl vytvořit něco, co bychom dnes nazvali teorií všeho. Propojil dohromady čtyři obory, jež se tehdy vyučovaly na univerzitách – **matematiku, geometrii, astronomii a hudbu**. V roce 1619 vydal své životní dílo **Harmonices mundi** (Harmonie světa), kde zveřejnil (ve třetí kapitole páté knihy) třetí zákon týkající se pohybu planet:

3. Dvojmoci oběžných dob planet jsou přímo úměrné trojmocím velikých poloos jejich drah.

Cestou k tomuto zákonu se Kepler vrátil zpět ke sféram a vkládal mezi ně pravidelné mnohostěny tak, aby sféra jedné planety byla mnohostěnu vepsaná a sféra další planety témuž mnohostěnu opsaná. Třetí mocnina velké poloosy dráhy planety vlastně reprezentuje objem. Zároveň hledal poměry mezi oběžnými dobami a snažil se najít takové, které se podobají hudebním akordům. Tuto část „hudby sfér“ reprezentuje druhá mocnina oběžné doby.



Obr. 6.2: Keplerova ilustrace zákonů uspořádání světa.

Kepler skutečně našel dokonalý řád v uspořádání světa a studium historických a filozofických souvislostí je samo o sobě velmi vzrušující dobrodružství (viz. [2] v seznamu literatury na konci této kapitoly), ale my se vrátíme k fyzikální stránce věci. Třetí Keplerův zákon ve formě stylistického cvičení uvedeného před předchozím odstavcem je matematicky formulován takto:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} \quad (1)$$

6.2 Astronomická jednotka

Třetí Keplerův zákon měl zásadní vliv na další rozvoj fyziky a astronomie. Z tohoto zákona vyšel Isaac Newton, přidal úvahu o hmotnostech těles a objevil gravitační zákon. Třetí Keplerův zákon také dává představu o vzdálenostech planet ve sluneční soustavě. Pouze však o poměrech vzdáleností, nikoli o absolutních hodnotách. Porovnáváme-li parametry drah planet s parametry dráhy Země, můžeme čas měřit v rocích a velkou poloosu dráhy Země položit rovnou jedné. Vzorec (1) se pak zjednoduší do tvaru:

$$T^2 = a^3 \quad (2)$$

Velká poloosa eliptické dráhy je totožná se střední vzdáleností planety od ohniska, v němž leží Slunce. Střední vzdálenost Země–Slunce, již jsme v předchozím odstavci učinili rovnou jedné, se nazývá **astronomická jednotka** a dodnes se používá k měření vzdáleností ve sluneční soustavě. Změříme-li oběžné doby planet (přímo pozorováním, v případě Saturnu to chce jen trochu trpělivosti), můžeme na základě vzorce (2) sestavit tabulku poměrů středních vzdáleností planet, kterou díky Keplerovi znali astronomové již v první polovině 17. století:

planeta	T [roky]	a [AU]
Merkur	0,24	0,39
Venuše	0,62	0,72
Země	1,00	1,00
Mars	1,88	1,52
Jupiter	11,86	5,20
Saturn	29,46	9,54

Tab. 6.1: Oběžné doby a střední vzdálenosti planet od Slunce vypočítané podle třetího Keplerova zákona.

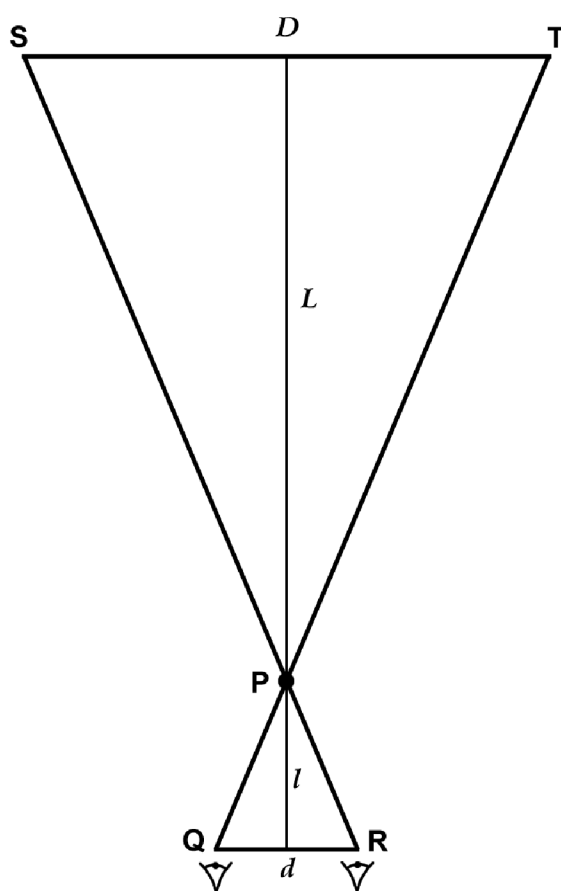
Hodnota astronomické jednotky se z Keplerových zákonů ani dalších tehdejších astronomických vědomostí nedala určit. Její měření se stalo velkým úkolem doby. Jak bylo uvedeno v první kapitole, metodu změření absolutní hodnoty astronomické jednotky (v palcích, loktech, yardecích nebo tehdy ještě nezavedených metrech) našel počátkem 18. století Edmond Halley. Úloha byla převedena na úkol změřit tzv. rovníkovou paralaxu Slunce, z níž lze vypočítat hodnotu astronomické jednotky. Jde v podstatě o trigonometrii a podobnost trojúhelníků, Halley však problém transformoval na měření doby, po kterou se černý kotouček Venuše pohybuje před Sluncem. Než se dostaneme k samotnému principu určování vzdálenosti Země–Slunce, bude užitečné připomenout pojem paralaxy.

6.3. Paralaxa

Trigonometrická metoda určování vzdáleností je založená na jednoduchém jevu a principu **podobnosti trojúhelníků**. Díváme-li se na palec ruky natažené před sebou střídavě levým a pravým okem, prst se vůči vzdálenému pozadí pohybuje. Úhlu, o který se palec posune, říkáme paralaxa. Na obrázku 6.4 je to úhel při vrcholu P. S využitím podobnosti trojúhelníků můžeme měřit (odhadovat) vzdálenosti či rozměry předmětů na horizontu. Vzdálenost očí d a délku ruky l známe a trojúhelníky **PQR** a **PST** jsou podobné, takže bude platit: $D/L = d/l$.



Obr. 6.3: Ilustrace trigonometrické metody určování vzdáleností.



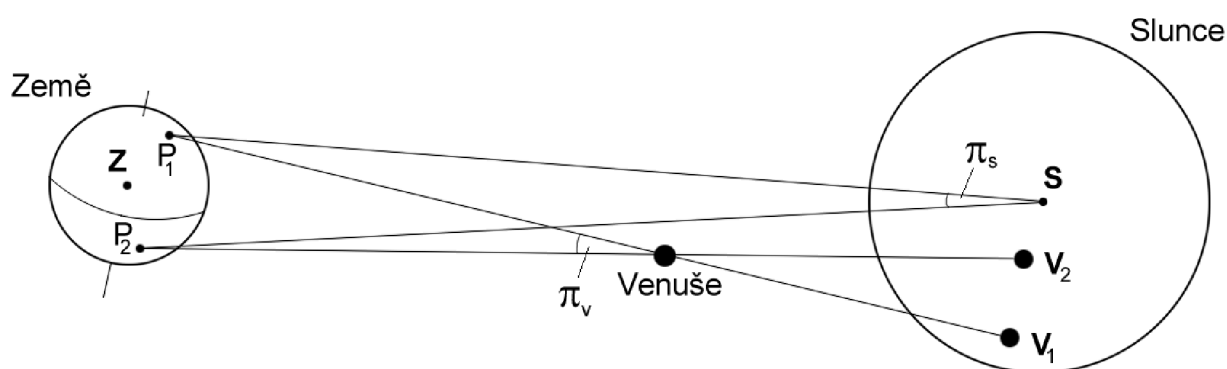
Obr. 6.4: Určení vzdálenosti L nebo rozměru D vzdáleného objektu z paralaxy palce P pozorovaného střídavě levým a pravým okem. Alespoň jeden rozměr v trojúhelníku PST musíme znát nebo odhadnout.

V astronomii se principiálně stejná metoda používá k určování vzdáleností hvězd. Roční paralaxa je obsažená v definici jednotky parsek. Ve sluneční soustavě pak měření rovníkové paralaxy Slunce posloužilo k určení vzdálenosti Země–Slunce, tedy astronomické jednotky.

6.4. Určení vzdálenosti Země–Slunce pomocí přechodu Venuše přes Slunce

Princip, na němž metoda spočívá, je snadno pochopitelný:

- 1) Pozorovatelé na dvou známých stanovištích na Zemi pozorují Venuši před Sluncem. Každému z pozorovatelů se Venuše promítá na jiné místo slunečního kotouče. Úhlová vzdálenost mezi obrazy Venuše V_1 a V_2 na Slunci je paralaxou Venuše π_v . Z ní lze vypočítat vzdálenost mezi Zemí a Venuší.
- 2) Z třetího Keplerova zákona, známých oběžných dob Venuše a Země a právě změřené vzdálenosti Země–Venuše vypočítáme vzdálenost Země–Slunce.



Obr. 6.5: Paralaxa Slunce a Venuše. Dvěma pozorovateli P_1 a P_2 na různých místech na Zemi se Venuše promítá do jiného místa slunečního kotouče. Úhlová vzdálenost obrazů V_1 a V_2 určuje paralaxu Venuše π_v . Paralaxa Slunce π_s i paralaxa Venuše π_v jsou vztaheny k pozorovatelům v místech P_1 a P_2 . V tabulkách se uvádí rovníková paralaxa Slunce π_p přepočítaná na rovníkový poloměr Země. Kvůli přehlednosti a srozumitelnosti je obrázek nakreslen tak, že velikosti a vzdálenosti těles neodpovídají skutečnosti.

Měření astronomické jednotky pomocí přechodu Venuše přes Slunce je mimořádně složitá záležitost a postupy uvedené v kapitole 9 jsou velmi zjednodušené. Při samotném měření pracujeme s okamžitými vzdálenostmi a nikoli středními vzdálenostmi planet. Musíme pečlivě určit polohu obou pozorovatelů vůči středu Země. Navíc paralaxy Venuše i Slunce jsou v řádu obloukových sekund, takže měření samotné úhlové vzdálenosti není možné provést s přesností dostačující k určení astronomické jednotky. V 18. i 19. století byly měřeny časy konce a začátku jevu a paralaxa počítána z těchto údajů. Ovšem synchronizace hodin na dvou místech vzdálených tisíce kilometrů byla téměř neřešitelným problémem, a proto Edmond Halley hledal (a našel) způsob, jak využít pouze rozdílu časů jednotlivých fází úkazu. Nebylo tedy nutné úplně přesně určit okamžiky začátku a konce úkazu, ale jen dobu trvání úkazu.

Zdroje (dalších) informací:

- [1] Jáchim, F.: Tycho Brahe, Prometheus, PHA, 1998
- [2] Grygar, J., Horský, Z., Mayer, P.: Vesmír, Mladá fronta, PHA, 1979
- [3] van Roode, S. M.: Halley's method of durations, <http://home.hetnet.nl/~smvanroode/venustransit/eng/halleysmethod.pdf>
- [4] <http://www.vt-2004.org>

7. Mezinárodní projekt VT-2004

Několik profesionálních institucí jako **Evropská jižní observatoř (ESO)**, **Evropská asociace pro astronomické vzdělávání (EAAE)**, **Pařížská observatoř**, **Institut pro nebeskou mechaniku a výpočet efemerid (IMCCE)** a **Astronomický ústav AV ČR** vytvořilo **celoevropský projekt**, zaměřený na využití přechodu Venuše přes Slunce 8. června 2004 k popularizaci vědy mezi širokou veřejností, ale hlavně školní mládeží. Projekt VT-2004 (Venus Transit 2004) předpokládá zapojení mnoha amatérských pozorovatelů nejen v Evropě, ale i v těch částech přilehlých kontinentů, z nichž bude úkaz viditelný. Cílem je zopakovat historický pokus z 18. a 19. století moderními prostředky, na základě měření všech pozorovatelů cvičně vypočítat hodnotu astronomické jednotky a porovnat výsledek s měřeními z minulých staletí a s hodnotou astronomické jednotky určenou pomocí radarových pozorování ($1 \text{ AU} = 149\,597\,870\,691 \text{ m}$). Cílem není „zpřesnit“ měření astronomické jednotky, ale zapojit co nejvíce lidí z různých zemí.

Srdcem projektu je internetový server:

<http://www.vt-2004.org>

Na něm jsou podrobné informace o úkazu, o způsobu jeho pozorování i o možnosti zapojit se do mezinárodní pozorovatelské sítě. Všechny informace jsou v angličtině. V sekci **Central Display** (<http://www.vt-2004.org/central/>) bude možné sledovat průběh úkazu online. Na toto místo budou stahovány snímky z profesionálních i velkých amatérských přístrojů a prostřednictvím stovek serverů velkokapacitní sítě AKAMAI budou rychle a snadno dostupné pro prohlížení z celého světa (prakticky nehrozí zahlcení linky internetovými návštěvníky). Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové byla vybrána mezi tzv. primary sites, tedy instituce, jejichž data budou přístupná na centrálním displeji. Další internetové přenosy uskutečňované mnoha hvězdárnami a amatéry po celém světě budou na centrálním displeji k dispozici prostřednictvím odkazů na příslušné stránky. **V případě nepříznivého počasí tedy bude možné úkaz sledovat na internetu.**

Český překlad některých stránek z výše zmíněného serveru je na webu České astronomické společnosti <http://vt-2004.astro.cz>, kde se navíc lze přihlásit do soutěže o nejlepší internetové stránky věnované přechodu Venuše přes Slunce.

7.1. Možnosti účasti na mezinárodním projektu VT-2004

V rámci mezinárodního projektu se žáci, studenti a astronomové amatéři mohou zapojit těmito aktivitami:

- 1) **Vlastní pozorování úkazu a zaslání dat k centrálnímu zpracování.** Je třeba se předem registrovat, zadat **identifikační údaje, parametry přístroje a zeměpisné souřadnice** pozorovacího stanoviště. V případě, že jedna skupina studentů bude používat více přístrojů, je třeba každý přístroj registrovat zvlášť! Registrace probíhá na internetové stránce IMCCE <http://vt2004.imcce.fr/vt2004i/Index.php> a ačkoli se server fyzicky nachází ve Francii, s uživateli z České republiky komunikují registrační stránky česky.
- 2) **Natočit krátké video (film) o přechodu Venuše přes Slunce** a zaslat jej do mezinárodní soutěže. Maximální délka filmu je 8 minut, mohou být v jakémkoli evropském jazyce, v případě neangličtiny ovšem s písemným anglickým překladem. Porotou vybraných 12 nejlepších filmů bude prezentováno na Evropském víkendu vědy v Paříži (druhý víkend v listopadu 2004). **První cenou je návštěva největší soustavy dalekohledů na světě (4 x 8 m) na ESO Paranal Observatorij v chilských Andách**, druhou a třetí cenou pak návštěva profesionálního studia pro tvorbu vědeckých filmů ve Francii. Podrobnější podmínky jsou zde: <http://www.vt-2004.org/Video/>.

- 3) **Poslat obrázek** (či jiné plošné umělecké dílo kromě fotografie) buď e-mailem vt-2004@eso.org nebo poštou (maximálně A4) na adresu:

VT-2004 Drawing
EPR Dept.
European Southern Observatory
Karl-Schwarzschild-str.
2D-85748 Garching bei München
Germany

Obrázky jsou vystavovány v internetové galerii <http://www.vt-2004.org/Gallery/> a 25 vylosovaných obdrží tričko VT-2004. Tato aktivita je zaměřena především na mládež do 16 let.

- 4) **Poslat vlastní fotografie dění na obloze** na adresu vt-2004@eso.org (přednost mají jevy a snímky příbuzné s Venuší a Sluncem, není to však podmínkou). Snímky jsou vystavovány na adrese <http://www.vt-2004.org/photos/>, každý den je jeden vybraný snímek vystaven jako VT-2004 Photo of the Day (<http://www.vt-2004.org/photos/vt-pod.html>).

Na národní úrovni byla vypsána:

- 5) **soutěž středních škol o nejlepší internetové stránky** týkající se přechodu Venuše přes Slunce. Přihlásit se lze na adrese <http://vt-2004.astro.cz/cz/cechy/soutez/>, kde jsou podrobně uvedeny i podmínky účasti.

Zdroje (dalších) informací:

- [1] <http://www.vt-2004.org>
[2] <http://vt-2004.astro.cz>

8. Postup měření

Pozorovatelé, kteří se chtějí zapojit do mezinárodního projektu nebo provést vlastní výpočet (je třeba mít nejen svoje data, ale také data z jiného vhodného místa na Zemi – viz kapitola 9), zde najdou podrobnější pokyny co, jak a čím měřit. Ačkoli celý úkaz trvá pět hodin, není třeba jej sledovat po celou dobu. Důležité jsou okamžiky začátku (okolo 7:20 SELČ) a konce (13:00 SELČ) úkazu.

8.1. Pozorovací stanoviště

Protože jde o trigonometrické měření, je třeba co nejpřesněji znát souřadnice pozorovacího stanoviště. Souřadnice lze zjistit následujícími cestami:

- 1) Máme-li k dispozici **přijímač GPS**, odečteme souřadnice s jeho pomocí. Tato metoda poskytne nejkvalitnější výsledek.
- 2) Souřadnice můžeme **odečíst z podrobné mapy**. Polohu stačí určit na obloukové minuty, větší přesnost je samozřejmě vítána. **POZOR!** Jedna oblouková minuta představuje dost velkou vzdálenost, takže nelze použít například souřadnice náměstí, když se škola nachází na okraji obce. V zeměpisné šířce platí, že 1' = 1860 m; v zeměpisné délce na 50. rovnoběžce platí, že 1' = 1200 m

- 3) Souřadnice lze zjistit též na internetovém serveru <http://www.heavens-above.com/>, kde můžete najít souřadnice své obce pomocí odkazu „Select your location from our huge database“. Zpravidla jde o souřadnice středu obce, které je nutné na konkrétní místo přepočítat (viz bod 2).
- 4) Pro učitele, jimž se nepodařilo získat souřadnice místa pozorování nebo nemají jistotu o přesnosti svých souřadnic, připravila Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové následující službu: zašlete popis polohy vašeho stanoviště na e-mailovou adresu venuse@astrohk.cz, my vám souřadnice určíme podle mapy. Pokuste se popsat polohu co nejpřesněji, například jménem ulice a určením, ve které části ulice či obce se vaše pozorovací stanoviště nachází. Chcete-li využít této možnosti, pošlete žádost co nejdříve, abychom v případě velkého zájmu byli schopni všechny požadavky vyřídit.

8.2. Měření času

Časové okamžiky jednotlivých fází úkazu je třeba určovat s přesností na jednotky sekund. V praxi je to velmi obtížné – kvůli chvění vzduchu a dalším optickým efektům při vstupu Venuše na sluneční kotouč a výstupu z něj. Bez ohledu na nejistotu v určení okamžiku, uveďte čas na sekundy, nezaokrouhľujte například na desítky sekund.

Pozorovatelé, již se hodlají zapojit do mezinárodního programu (viz kap. 7), musejí udávat časové okamžiky ve světovém čase UT (Universal Time), který je v podstatě totožný s GMT (Greenwich Mean Time). Pro převod mezi středoevropským letním časem (SELČ) platným na většině území Evropské unie v době úkazu a světovým časem platí:

$$UT = SELČ - 2 \text{ hod} \quad (3)$$

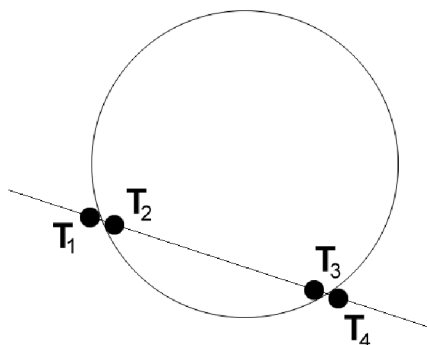
Do formuláře na <http://vt2004.imcce.fr/vt2004i/Index.php> uvádějte časy v UT (GMT).

Velmi důležitá je také přesnost časoměrného zařízení. **Nejpřesnější čas získáme pomocí GPS.** Další možností je použít **hodiny řízené rádiovým signálem DCF77**. Takové hodiny (budíky) jsou dnes běžně rozšířené v domácnostech a jejich přesnost je pro tyto účely dostatečná. Při ruční synchronizaci stopky je třeba počítat s tím, že reakční doba člověka, který stopky synchronizuje, zanechá do měření nepřesnost v řádu desetin sekundy.

K měření času **nejsou vhodné** internetové časové servery ani stopky ručně synchronizované například s rozhlasovým časovým znamením nebo časem vysílaným v teletextu, protože v těchto případech se k nejisté reakční době člověka přidává zpoždění signálu v přenosových zařízeních.

8.3. Okamžiky T_1 , T_2 , T_3 a T_4

Pro určení hodnoty astronomické jednotky Halleyho metodou je třeba změřit časové okamžiky, ve kterých nastanou čtyři základní fáze úkazu.



Obr. 8.1: Důležité fáze přechodu Venuše přes Slunce

První vnější kontakt Venuše se slunečním kotoučem se označuje T_1 , první vnitřní kontakt Venuše s okrajem slunečního kotouče T_2 , druhý vnitřní kontakt kotoučku Venuše s okrajem Slunce T_3 a poslední vnější kontakt Venuše se Sluncem T_4 . Názorně jsou jednotlivé fáze vyznačeny na obr. 8.1. Určení okamžiků T_1 a T_4 je krajně obtížné a pro případné vlastní zpracování jsou nejdůležitější okamžiky T_2 a T_3 . Pokud se v případě nepříznivého počasí podaří určit jen jeden z okamžiků T_1 až T_4 , nelze provést vlastní zpracování dat, ale pro hromadné zpracování v rámci projektu VT-2004 je akceptovatelný i jediný z okamžiků T_1 , T_2 , T_3 a T_4 .

8.4. Sledování pohybu Venuše přes Slunce

Při projekci dalekohledem na paralaktické montáži s pohonem v rektascenzi (hodinovým strojem) je možné zaznamenávat (zakreslovat) pohyb Venuše přes sluneční kotouč. Zjednodušenou metodou popsanou v odstavcích 9.2 a 9.3 je pak možné z takového záznamu změřit paralaxu Slunce a vypočítat astronomickou jednotku. Tato metoda je velmi nepřesná a vyžaduje dobré technické vybavení. Na rozdíl od spolehlivější metody určování časových okamžiků však není závislá na počasí v době začátku a konce úkazu – stačí jen několik intervalů v průběhu celých pěti hodin úkazu.

Zdroje (dalších) informací:

- [1] <http://www.vt-2004.org>
- [2] <http://vt-2004.astro.cz>
- [3] <http://vt2004.imcce.fr/vt2004i/Index.php>
- [4] <http://venuse.astrohk.cz>

9. Vlastní zpracování a výpočty

Přesný výpočet astronomické jednotky z naměřeného časového průběhu přechodu Venuše přes Slunce je velmi obtížný. Zde se omezíme na tři úlohy, které jsou zjednodušeny na pouhé dosazení do vzorce, případně měření pravítkem a výpočet na základě podobných trojúhelníků. Podrobné odvození způsobu výpočtu rovníkové paralaxy Slunce (potažmo astronomické jednotky) najdete na internetu (anglicky):

<http://www.vt-2004.org/Background/Infol2/EIS-B4.html>
http://wwwrc.obs-azur.fr/cerga/mignard/TRANSITS/venus_contact.pdf

Vždy je třeba mít pozorování ze dvou míst na Zemi. Ve všech následujících příkladech je jako druhé pozorovací stanoviště uvažováno jihoafrické město Durban se zeměpisnými souřadnicemi $\phi_2 = 29^\circ 51'$ j.š. a $\lambda_2 = 31^\circ 01'$ v.d.

9.1. Výpočet astronomické jednotky z okamžiků T_1 , T_2 , T_3 , T_4

Halleyho metoda: Předpokládejme, že jsme změřili dobu trvání úkazu na dvou místech na Zemi. Nejčastěji jde o interval mezi tzv. vnitřními kontakty, tedy $T_3 - T_2$, ale může jít také o $T_4 - T_1$, $T_3 - T_1$ nebo $T_4 - T_2$. Podstatné je, abychom porovnávali stejné intervaly pro obě pozorovací stanoviště. Protože se Venuše při pohledu z prvního pozorovacího stanoviště promítá na jiné místo slunečního kotouče než z druhého stanoviště, budou se uvedené intervaly vzájemně lišit. Z rozdílu těchto intervalů lze vypočítat střední rovníkovou paralaxu π_0 Slunce podle vzorce (odvození viz internetové odkazy):

$$\left[\begin{array}{l} (A_i + A_j) (\cos \phi_1 \cos \lambda_1 - \cos \phi_2 \cos \lambda_2) + \\ (B_i + B_j) (\cos \phi_1 \sin \lambda_1 - \cos \phi_2 \sin \lambda_2) + \\ (C_i + C_j) (\sin \phi_1 - \sin \phi_2) \end{array} \right] \pi_0 = - \frac{dD}{dt} \left[(T_{j2} - T_{i2}) - (T_{j1} - T_{i1}) \right] \quad (4)$$

V hranaté závorce na levé straně (nic složitějšího než dlouhý součet) vystupují souřadnice dvou pozorovacích míst ϕ_1, λ_1 a ϕ_2, λ_2 (při tomto tvaru vzorce se **zeměpisné délky na východ od nultého poledníku počítají záporně**) a koeficienty $A_i, B_i, C_i, A_j, B_j, C_j$, které obsahují parametry, jež jsou společné pro všechny pozorovatele na Zemi a pro jednoduchost byly předem vypočteny a sestaveny do tab. 9.1. Indexy i a j se vztahují k jednotlivým kontaktům T_1, T_2, T_3, T_4 , tedy nabývají hodnotu od 1 do 4, ale ve výpočtu se použijí vždy jen dva okamžiky, tedy také jen dva odpovídající koeficienty. Veličina π_0 je hledaná střední rovníková paralaxa Slunce. Na pravé straně je parametr dD/dt opět společný pro všechny pozorovatele (viz tabulka 9.1) a v hranaté závorce rozepsaný výše popsáný rozdíl v trvání úkazu na dvou stanovištích. Indexy i a j se opět vztahují k časovým okamžikům, indexy 1 a 2 rozlišují první a druhé pozorovací stanoviště. Časové intervaly se počítají v minutách!

kontakt / koeficient	A	B	C	dD/dt ["/min]
T1	2,2606	-0,0194	1,0110	-3,0846
T2	2,1970	0,2237	1,1206	-2,9394
T3	-1,0929	-1,1376	1,9090	2,9391
T4	-0,9799	-1,3390	1,8383	3,0842

Tab. 9.1: Tabulka koeficientů pro výpočet rovníkové paralaxy Slunce.

Příklad 1: Pozorovatelům v Hradci Králové (Česká republika) a Durbanu (Jihoafrická republika) se podařilo určit okamžiky vnitřního kontaktu Venuše s okrajem slunečního kotouče T_2 a T_3 . Bez ohledu na vzájemnou synchronizaci hodin (jen je třeba, aby oboje hodiny šly správným tempem) mohou vypočítat dobu trvání úkazu $T_3 - T_2$ a pomocí vzorce (4) vypočítat sluneční paralaxu:

Hradec Králové: $\phi_1 = 50^\circ 11' \text{ s.š.}, \lambda_1 = 15^\circ 50' \text{ v.d.}$
 $T_2 = 05:39:31 \text{ (hh:mm:ss) UT}$
 $T_3 = 11:03:33 \text{ UT}$

Durban: $\phi_2 = 29^\circ 51' \text{ j.š.}, \lambda_2 = 31^\circ 01' \text{ v.d.}$
 $T_2 = 05:35:51 \text{ UT}$
 $T_3 = 11:10:06 \text{ UT}$

Levá strana rovnice (4): předem dosadíme souřadnice obou pozorovacích stanovišť do výrazů v kulatých závorkách (budou se hodit v dalším příkladu). Zeměpisná šířka Durbanu ϕ_2 i zeměpisné délky λ_1 a λ_2 jsou záporné!

$$\begin{aligned} (\cos \phi_1 \cos \lambda_1 - \cos \phi_2 \cos \lambda_2) &= -0,127272 \\ (\cos \phi_1 \sin \lambda_1 - \cos \phi_2 \sin \lambda_2) &= 0,272223 \\ (\sin \phi_1 - \sin \phi_2) &= 1,265825 \end{aligned}$$

Pravá strana rovnice (4): pro Hradec Králové je $T_3 - T_2 = 5 \text{ hod } 24 \text{ min } 2 \text{ sec}$; pro Durban je $T_3 - T_2 = 5 \text{ hod } 34 \text{ min } 15 \text{ sec}$.

Rozdíl mezi oběma dobami trvání úkazu je ΔT (Durban – Hradec Králové) = 10,2167 min.

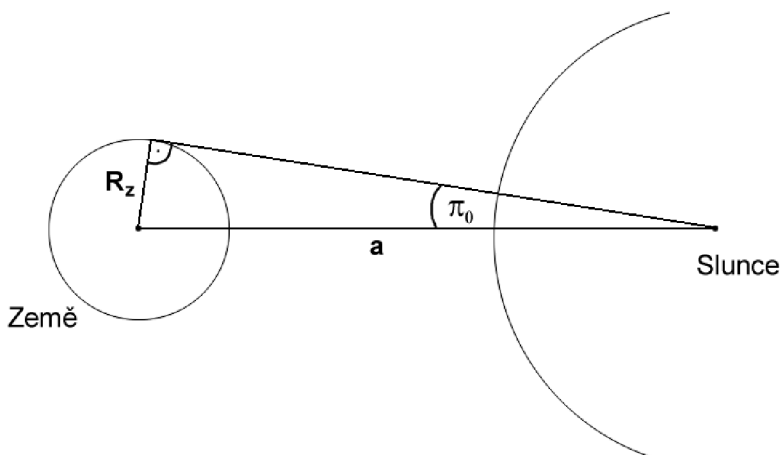
Do rovnice (4) dosadíme koeficienty A, B, C a parametr dD/dt z tabulky 9.1 pro okamžiky T_2 a T_3 . Všimněme si, že $(dD/dt)_3 \approx -(dD/dt)_2$ a záleží tedy jen na správném znaménku:

$$3,4456 \pi_0 = 2,9394 \times 10,2167 \Rightarrow \pi_0 = 8,716''$$

Z hodnoty sluneční paralaxy π_0 vypočítáme astronomickou jednotku snadno. Jak je patrné z obrázku 9.1, platí:

$$a = R_z / \sin \pi_0 \quad (5)$$

R_z je poloměr Země, astronomická jednotka je označena a .



Obr. 9.1: Rovníková paralaxa Slunce

Po převedení hodnoty paralaxy π_0 na stupně a dosazení do vzorce (5) spolu s hodnotou rovníkového poloměru Země $R_z = 6378$ km dostaneme hodnotu astronomické jednotky:

$$a = 150\,935\,858 \text{ km} = 150,9 \times 10^6 \text{ km}$$

Delisleova metoda: Protože Halleyho metoda vyžaduje úspěšné pozorování celého úkazu na obou stanovištích, nehodí se v případě, že jednoho z pozorovatelů zradí počasí. Francouzský astronom Joseph Nicolas Delisle našel ještě před přechodem Venuše přes Slunce v roce 1761 způsob, jak problém obejít. Tzv. Delisleova metoda vystačí s okamžikem jedné (stejně) fáze, například T_2 na obou stanovištích. Na druhou stranu, metoda vyžaduje vzájemně přesně synchronizované hodiny obou pozorovatelů. Střední rovníková paralaxa Slunce se pak vypočte podle vzorce (pro veličiny a indexy platí totéž, co v případě vzorce (4)):

$$\left[\begin{array}{l} A (\cos \phi_1 \cos \lambda_1 - \cos \phi_2 \cos \lambda_2) + \\ B (\cos \phi_1 \sin \lambda_1 - \cos \phi_2 \sin \lambda_2) + \\ C (\sin \phi_1 - \sin \phi_2) \end{array} \right] \pi_0 = - \frac{dD}{dt} (T_{i1} - T_{i2}) \quad (6)$$

Příklad 2: Pozorovatelům v Hradci Králové (Česká republika) a Durbanu (Jihoafrická republika) se podařilo změřit tyto okamžiky:

Hradec Králové: $\phi_1 = 50^\circ 11' \text{ s.š.}$, $\lambda_1 = 15^\circ 50' \text{ v.d.}$
 $T_3 = 11:03:33 \text{ (hh:mm:ss) UT}$

Durban: $\phi_2 = 29^\circ 51' \text{ j.š.}$, $\lambda_2 = 31^\circ 01' \text{ v.d.}$
 $T_2 = 05:35:51 \text{ (hh:mm:ss) UT}$
 $T_3 = 11:10:06 \text{ UT}$
 $T_4 = 11:28:47 \text{ UT}$

Pouze okamžik T_3 určili pozorovatelé na obou stanovištích, takže Halleyho metoda využívající dobu trvání nemůže být použita. Za předpokladu, že oba pozorovatelé měli spolehlivé a vzájemně synchronizované chronometry, můžeme použít Delisleovu metodu (rovnice 6).

Levá strana rovnice (6): Použijeme mezivýpočty z příkladu 1, koeficienty A, B, C najdeme v tabulce 9.1 a dosadíme.

Pravá strana rovnice (6): Rozdíl mezi okamžiky T_{31} (Hradec Králové) a T_{32} (Durban) je:

$$T_{32} - T_{31} = 6 \text{ min } 33 \text{ sec} = 6,55 \text{ min}$$

Po dosazení dostaneme:

$$2,2459 \pi_0 = 2,9391 \times 6,55 \Rightarrow \pi_0 = 8,572''$$

Podle vzorce (5) pak dostaneme hodnotu astronomické jednotky:

$$a = 153\,471\,411 \text{ km} = 153,5 \times 10^6 \text{ km}$$

Ani jednou metodou jsme nedocílili příliš dokonalé shody s tabulkovou hodnotou $149,6 \times 10^6 \text{ km}$. Prakticky jsme na úrovni měření z let 1761 a 1769! Rovnice (4) a (6) však v sobě obsahují četná zjednodušení, aby bylo vůbec možné provést výpočet na této jednoduché úrovni. Navíc určení okamžiků T_1 až T_4 s přesností na sekundy je v praxi krajně obtížné, takže pokud studenti sami určí okamžiky T_2 a T_3 pro své pozorovací stanoviště, pravděpodobně dojdou ke stejně nepřesnému výsledku. To jen dokresluje mimořádnou náročnost měření a výpočtů, které museli podnikat astronomové v 18. a 19. století bez výpočetní techniky, atomových hodin a rychlé komunikace po internetové síti.

Přesnější výpočet provádí internetová aplikace na stránce:

http://home.hetnet.nl/~smvanroode/venustransit/eng/eng_parallax.html

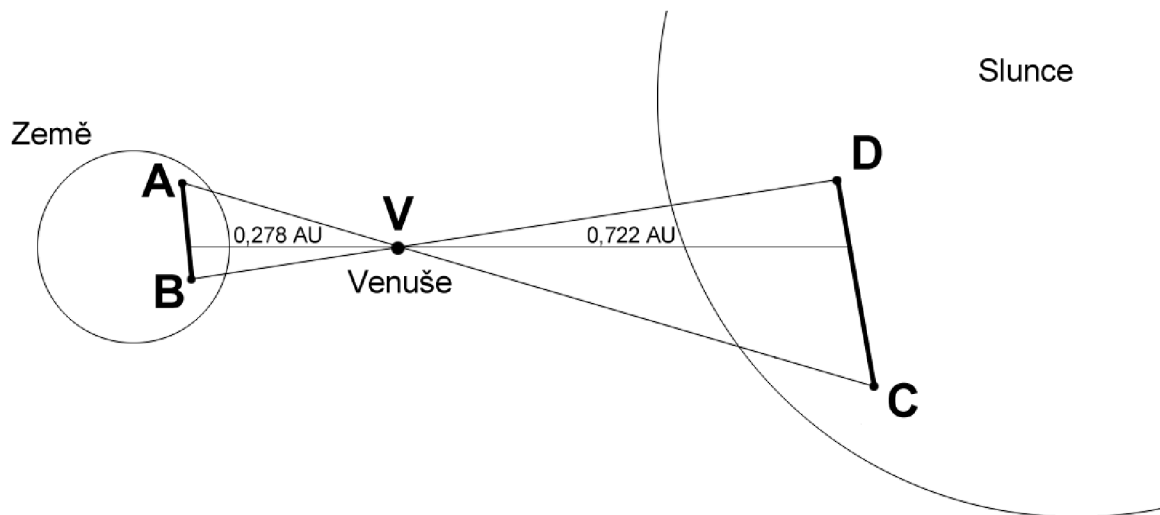
Tu mohou také využít studenti ke zpracování vlastních měření, pokud dostanou například okamžiky T_1 až T_4 pro Durban k dispozici jako měření z druhého pozorovacího stanoviště (viz příloha 1).

9.2. Zjednodušené grafické řešení (podobnost trojúhelníků)

Tuto úlohu by měli být schopni zvládnout i nadaní žáci základních škol. Je odvozena z postupu uvedeného ve zdroji [4] na konci této kapitoly. Kvůli zjednodušení zanedbáváme například rozdíl mezi středními a okamžitými vzdálenostmi těles, vzájemně ne přesně kolmé průměty považujeme za kolmé, a podobně. **Známe oběžnou dobu Venuše (224 dní) a zdánlivý (úhlový) průměr Slunce na obloze ($1890'' = 31,5' = 0,525^\circ$).** Úhlový průměr Slunce lze jednoduše změřit. Ze známé oběžné doby Venuše $T = 224 \text{ dní} = 0,614 \text{ roků}$ vypočítáme na základě třetího Keplerova zákona střední vzdálenost Venuše od Slunce v astronomických jednotkách:

$$T^2 = a_v^3 \Rightarrow a_v = 0,722 \text{ AU}$$

Nachází-li se Venuše mezi Zemí a Sluncem, pak vzdálenost Venuše–Slunce činí 0,722 AU a vzdálenost Venuše–Země 0,278 AU. Protože počítáme se středními vzdálenostmi, jde o dost hrubé zjednodušení. Každý ze dvou pozorovatelů na různých místech na Zemi pak uvidí průmět Venuše na jiném místě slunečního kotouče (viz obr. 6.5). Oběma však bude Venuše po Slunci cestovat stejným směrem, tedy zakreslí-li pozorovatelé v Hradci Králové a Durbanu pohyb Venuše po slunečním kotouči, dostanou vzájemně rovnoběžné úsečky (viz přílohy 2 a 3). Vzdálenost těchto rovnoběžek vlastně představuje úhlovou separaci obrazů Venuše, tedy rozdíl mezi paralaxou Venuše a paralaxou Slunce. Zjednodušené schema situace na obrázku 9.2 obsahuje několik podobných trojúhelníků.



Obr. 9.2: Obrazy Venuše C, D na slunečním kotouči, jak je vidí pozorovatelé na dvou místech na Zemi A, B.

Vzdálenost mezi oběma pozorovateli AB je přímo úměrná vzdálenosti mezi obrazy Venuše na Slunci. Budeme-li se na obrázek 9.2 dívat jako na jakýsi druh mapy a odhlédneme od toho, že body C a D fyzicky neexistují, jde pouze o průměty polohy Venuše, která se nachází mezi Zemí a Sluncem, najdeme vztah:

$$\frac{AB}{0,278 \text{ AU}} = \frac{CD}{0,722 \text{ AU}} \quad (7)$$

Při konstrukci vztahu (7) jsme vycházeli z podobnosti trojúhelníků. Vzdálenost pozorovatelů ale známe (lze ji vypočítat ze zeměpisných souřadnic obou míst a známého poloměru Země). Pro pozorovatele v Hradci Králové a Durbanu činí kolmý průmět přímé vzdálenost mezi nimi $AB = 8050 \text{ km}$, takže vzdálenost CD pak podle vzorce (7) vychází:

$$CD = 0,722 \times 8050 / 0,278 = 20907 \text{ km}$$

Nyní využijeme nákres přechodu Venuše přes Slunce (viz příloha 3). Průměr obrazu Slunce je 260 mm a vzdálenost úseček vyznačujících přechod Venuše pozorovaný z Durbanu a z Hradce Králové je $3,9 \text{ mm}$. Protože známe zdánlivý průměr Slunce na obloze v obloukových sekundách ($1890''$), můžeme trojčlenkou spočítat úhlovou separaci obrazů Venuše CD'' :

$$CD'' = 3,9 / 260 \times 1890'' = 28,35'' = 0,007875^\circ$$

Trojúhelníky AVB a CVD na obrázku 9.2 nejsou pravoúhlé, ale my jsme vzdálenost mezi Hradcem Králové a Durbanem určili jako průmět kolmý na spojnici Země – Slunce, takže vzhledem k mnoha zjednodušením, která jsme již učinili při předchozím postupu, můžeme říci, že s dostatečnou přesností platí:

$$\sin CD'' = CD / a \Rightarrow a = CD / \sin CD'' \quad (8)$$

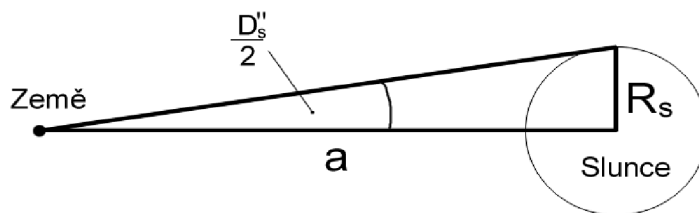
Po dosazení:

$$a = 20907 \text{ km} / \sin 0,007875 = 152 \ 112 \ 110 \text{ km} = 152 \text{ miliónů km}$$

Čistší řešení (avšak se stejně hrubým zjednodušením): Průměr obrazu Slunce a vzdálenost úseček vyznačujících přechod Venuše pozorovaný na dvou uvedených stanovištích použijeme k určení průměru Slunce. Známe-li vzdálenost CD v kilometrech, pak podle rozměrů změřených na kresbě (příloha 3) zjistíme průměr Slunce D_s trojčlenkou:

$$D_s / CD = 260 / 3,9 \Rightarrow D_s = CD \times 260 / 3,9 = 20907 \times 260 / 3,9 = 1 \ 393 \ 800 \text{ km}$$

Zjistili jsme průměr Slunce! To samo o sobě není špatný výsledek našeho snažení. Nyní již jen zbývá ze známého (můžeme změřit) zdánlivého úhlového průměru Slunce ($1890'' = 31,5' = 0,2625^\circ$), vypočítat vzdálenost Země–Slunce podle vzorce (8), kde místo průměru uvažujeme poloměr Slunce $R_s = D_s/2 = 696\,900\text{ km}$



Obr. 9.3: Ilustrace k výpočtu vzdálenosti Země–Slunce ze známého průměru Slunce v kilometrech a úhlového průměru Slunce.

$$a = R_s / \tan (D_s'' / 2) \tag{9}$$

Po dosazení:

$$a = 696\,900\text{ km} / \tan 0,2625^\circ = 152\,111\,045\text{ km} = 152\text{ miliónů km}$$

Výsledky jsou opět značně nepřesné, ale vzhledem ke zjednodušením učiněným při tomto způsobu výpočtu prakticky nelze dosáhnout lepších. Jak bylo uvedeno v kapitole 6, k přesnému určení astronomické jednotky je tato metoda nevhodná a ve skutečné praxi nebyla použita.

9.3. Praktické využití grafického řešení

V příloze 2 je připravený zákres přechodu Venuše přes Slunce vytvořený hypotetickým pozorovatelem v Durbanu. K tomuto zákresu mohou studenti přidat své vlastní pozorování a výsledek zpracovat postupem uvedeným v odstavci 9.2. Průmět vzdálenosti mezi vlastním pozorovacím stanovištěm a Durbanem mohou studenti ztotožnit s průmětem vzdálenosti Durban–Hradec Králové s vědomím jistého zaokrouhlení (protože průmět není kolmý, je jistá nepřesnost obsažena už v hodnotě uvedené v předchozím odstavci). Existují dva možné přístupy k měření:

- 1) Studenti dostanou k dispozici údaje o přechodu Venuše z Durbanu (příloha 1). Změří okamžiky T_2 , T_3 (případně lze úlohu upravit i pro okamžiky T_1 a T_4) na svém pozorovacím stanovišti a výsledek zpracují následujícím postupem:

Na kresbě z Durbanu (příloha 2) určí polohu středů kotoučků Venuše v okamžicích T_2 a T_3 a změří jejich vzdálenost. Ta je přímo úměrná době trvání úkazu ($T_3 - T_2$) v Durbanu.

Z vlastního měření pak vypočítají dobu trvání úkazu ($T_3 - T_2$) na svém pozorovacím stanovišti a na pauzovací papír nakreslí úsečku odpovídající délky (tu vypočítají trojčlenkou):

$$\Delta T_{\text{Durban}} / L_{\text{Durban}} = \Delta T_{\text{vlastní}} / L_{\text{vlastní}} \Rightarrow L_{\text{vlastní}} = L_{\text{Durban}} \times \Delta T_{\text{vlastní}} / \Delta T_{\text{Durban}} \tag{10}$$

Na konce úsečky nakreslí kružnice o velikosti kotoučku Venuše (stejně jako na kresbě z Durbanu) a tuto kresbu na pauzovacím papíře přiloží na kresbu z Durbanu (příloha 2) tak, aby obě úsečky vyznačující dráhu Venuše byly rovnoběžné a kotoučky Venuše z vlastní kresby se dotýkaly vnitřního okraje Slunce. Další postup je shodný s příkladem uvedeným v odstavci 9.2. Jde vlastně o grafické provedení Halleyho metody.

2) Studenti promítnou dalekohledem Slunce na stínítko a zakreslí dráhu Venuše přecházející přes Slunce na pauzovací papír s předem připravenou kružnicí o průměru 260 mm. Stačí zakreslit polohu jen v několika úsecích a proložit přímkou. Kresbu na pauzovacím papíře pak přiložíme na kresbu z Durbanu (příloha 2), orientujeme ji tak, aby dráhy Venuše z našeho stanoviště a z Durbanu byly rovnoběžné a dále postupujeme tak, jak je popsáno v odstavci 9.2. Ačkoli se tato metoda zdá být jednoduchá, je ve skutečnosti náročná na technické vybavení a pečlivost provedení. Promítaný obraz Slunce musí mít stejný průměr jako kresba v příloze 2 (260 mm), dalekohled musí být umístěn na dobře seřízené paralaktické montáži, jinak se bude v průběhu pozorování měnit orientace obrazu Slunce a Venuše se nebude pohybovat po přímce.

Další (vedlejší) možnosti vlastního měření:

- 3) Studenti mohou sami zjistit úhlový rozměr Slunce a Venuše. Jedna otočka Země okolo vlastní osy vůči Slunci (360°) trvá 24 hodin. Zde není třeba uvažovat siderickou dobu rotace (vůči hvězdám), protože budeme sledovat pohyb Slunce. Z toho plyne, že za 1 hodinu Slunce urazí úhlovou vzdálenost 15° , za 1 minutu $0,25^\circ = 15'$ a za jednu sekundu $15''$. Promítneme-li obraz Slunce na stínítko dalekohledem, který není motoricky poháněn „za oblohou“, a změříme dobu, za kterou Slunce urazí na stínítku úhlovou vzdálenost svého průměru, snadno vypočítáme úhlový průměr Slunce v obloukových sekundách (minutách) násobením patnácti. Podobně lze změřit úhlový průměr Venuše (ta má sice vůči Slunci jistý vlastní pohyb, v tomto měření jej však můžeme zanedbat. Pokud zároveň změříme pravítkem průměr obrazu Slunce a průměr obrazu Venuše, můžeme určit vzájemný poměr jejich zdánlivých velikostí a porovnat jej s poměrem změřeným předchozím postupem.
- 4) Ze změřených zdánlivých (úhlových) rozměrů Slunce a Venuše můžeme při znalosti jejich vzdáleností (1,0 AU resp. 0,722 AU) spočítat také poměr skutečných průměrů obou těles a připustíme-li znalost průměru Slunce (který jsme získali jako mezivýsledek při měření astronomické jednotky) určíme i průměr planety Venuše v kilometrech.

Zdroje (dalších) informací:

- [1] <http://www.vt-2004.org/Background/Infol2/EIS-B4.html>
- [2] http://wwwrc.obs-azur.fr/cerga/mignard/TRANSITS/venus_contact.pdf
- [3] http://home.hetnet.nl/~smvanroode/venustransit/eng/eng_parallax.html
- [4] http://sunearth.gsfc.nasa.gov/sunearthday/2004/vt_edu2004_venus_912.htm

10. Závěrečné zvolání

**Přejeme Vám čistou oblohu
a úspěšné pozorování!**

Příloha 1

Příklad pozorování přechodu Venuše z Hradce Králové (Česká republika) a Durbanu (Jihoafrická republika):

Hradec Králové: $\phi_1 = 50^\circ 11' \text{ s.š.}, \lambda_1 = 15^\circ 50' \text{ v.d.}$
 $T_1 = 05:19:46 \text{ (hh:mm:ss) UT}$
 $T_2 = 05:39:31 \text{ UT}$
 $T_3 = 11:03:33 \text{ UT}$
 $T_4 = 11:22:59 \text{ UT}$

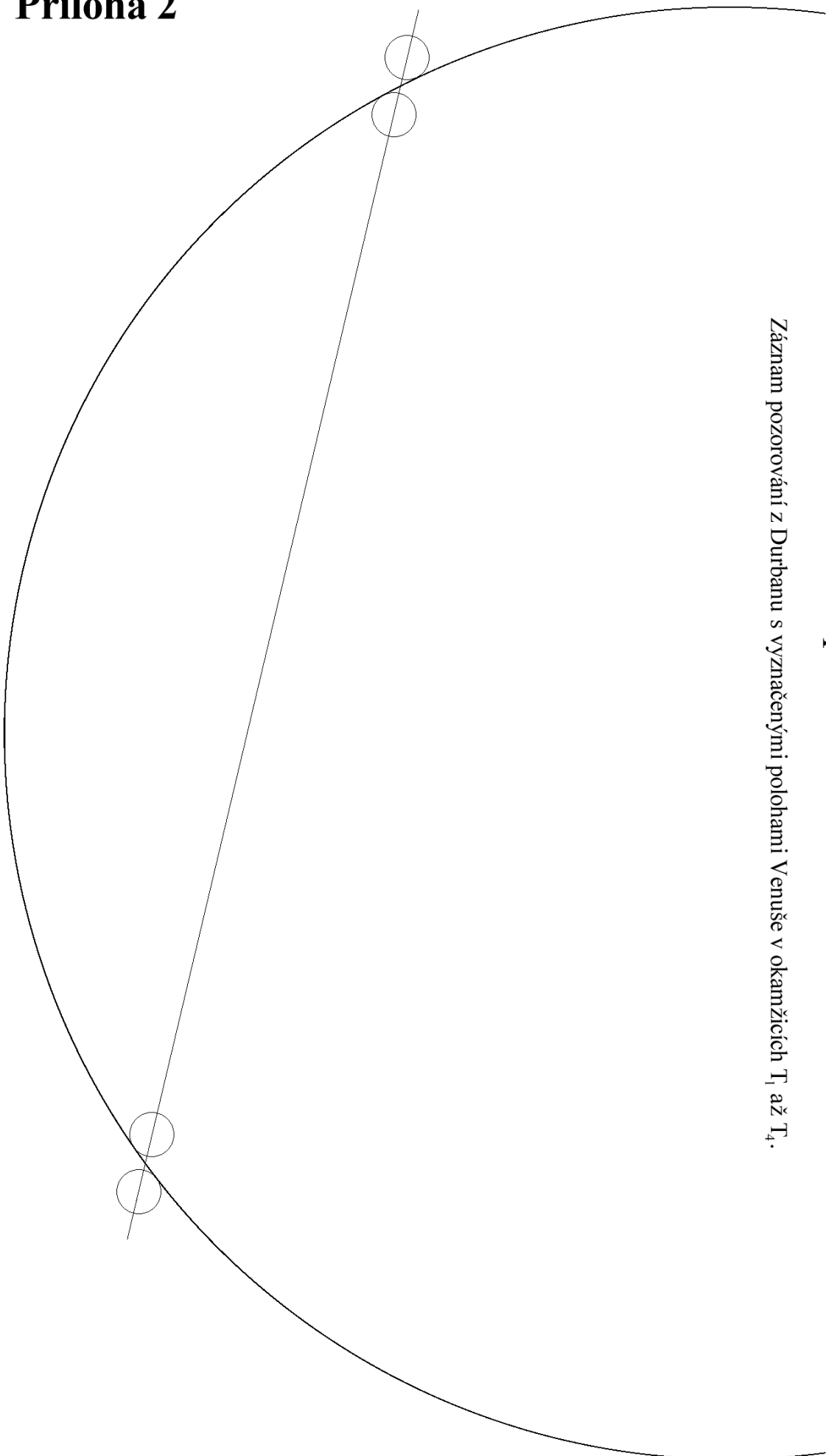
Durban: $\phi_2 = 29^\circ 51' \text{ j.š.}, \lambda_2 = 31^\circ 01' \text{ v.d.}$
 $T_1 = 05:16:53 \text{ (hh:mm:ss) UT}$
 $T_2 = 05:35:51 \text{ UT}$
 $T_3 = 11:10:06 \text{ UT}$
 $T_2 = 11:28:47 \text{ UT}$

Zdroj: http://www.nauticoartiglio.lu.it/almanacco/trans_venus_en.html

Příloha 2

Přechod Venuše přes Slunce 8. června 2004

Záznam pozorování z Durbanu s vyznačenými polohami Venuše v okamžicích T_1 až T_4 .



Příloha 3

Přechod Venuše přes Slunce 8. června 2004

Záznam pozorování z Hradce Králové (spodní úsečka) a Durbanu (horní úsečka).

