

PRECHODY VENUŠE DISKOM SLNKA V 21. STOROČÍ

Koza Július, Mgr., PhD.

koza@astro.sk

Astronomický ústav Slovenskej akadémie vied, Tatranská Lomnica

Úvod

Ak sa do konca roka 2012 na oblohe neobjaví mimoriadne jasná kométa, nova alebo supernova, prípadne nespadne veľký meteorit akým bol nedávny meteorit Košice, tak pravdepodobne najvýznamnejšou astronomickou udalosťou roka 2012 bude prechod Venuše pred slnečným diskom skoro ráno v stredu 6. júna 2012, ktorý bude posledným v tomto storočí. V prípade priaznivého počasia uvidíme na Slovensku poslednú tretinu prechodu pri výstupe Venuše z disku Slnka. Prechod Venuše je jedným z najvzácnejších predpovedateľných astronomických úkazov, ktorého nasledujúce opakovanie v 22. storočí s veľkou pravdepodobnosťou už nikto z dnes žijúcich ľudí neuvidí. Najbližší totiž nastane až v roku 2117. Ten však z nášho územia nebude pozorovateľný. Až nasledujúci v roku 2125 áno. Je preto povinnosťou astronómov dať tento úkaz do pozornosti mládeže, verejnosti a médií. Dôraz na správnu a včasnú informovanosť treba klásť aj preto, lebo úkaz súvisí so Slnkom, ktoré pri nedodržaní pravidiel bezpečného pozorovania môže predstavovať vážnu hrozbu pre zdravie ľudského zraku. Tento príspevok je stručnou retrospektívou minulých pozorovaní prechodu Venuše pred diskom Slnka. Väčšia pozornosť je venovaná prechodu z 8. júna 2004, ktorého pozorovanie bolo koordinované medzinárodným projektom Venus Transit 2004. Záver príspevku je venovaný vyššie spomenutému prechodu 6. júna 2012 a príspevok je tak v kontexte širšej informačnej kampane venovanej tomuto vzácnemu úkazu prostredníctvom webových stránok a literatúry uvedenej v závere príspevku.

1. Periodicita a mechanika prechodov

V populárnej literatúre je prechod Venuše 6. júna 2012 niekedy zaraďovaný medzi úkazy označované frázoou „raz za život“. Prechod Venuše je však udalosť, ktorú je možné zažiť dvakrát za život, pretože dvojica prechodov nastáva s odstupom ôsmich rokov. No medzi dvojicami je odstup viac ako storočie (obr. 1). Od začiatku teleskopickej éry astronómie v roku 1609 nastali tri páry prechodov v rokoch 1631 a 1639, 1761 a 1769, a 1874 a 1882. V roku 2012 nastane druhý prechod z páru 2004 a 2012 a na nasledujúcu dvojicu bude treba čakať až do rokov 2117 a 2125. Prirodzene tak vzniká otázka, prečo sú prechody tak vzácne. Hlavným dôvodom je sklon roviny dráhy Venuše voči rovine dráhy Zeme (obr. 2).

Výrazom *dolná konjunkcia* označujeme moment, keď vnútorná planéta (Merkúr alebo Venuša) prechádza medzi Zemou a Slnkom (obr. 2 a 3). Prechod nastáva, keď vnútorná planéta v čase jej dolnej konjunkcie sa pri pohľade zo Zeme premieta na disk Slnka. Rozšírenou je predstava, že planéty obiehajú okolo Slnka v spoločnej rovine. Z toho by vyplývalo, že prechod by mal byť pozorovateľný pri každej dolnej konjunkcii. V prípade Venuše je interval medzi dvoma dolnými konjunkciami 583,92 dňa. To je takzvaná *synodická perióda* alebo *synodická obežná doba* planéty, ktorá vyjadruje čas medzi jej dvoma po sebe nasledujúcimi návratmi do rovnakej polohy vzhľadom na Zem a Slnko (obr. 3, vľavo).

Planéty však neobiehajú okolo Slnka v spoločnej rovine. Roviny ich dráh zvierajú s rovinou dráhy Zeme, takzvanou *rovinou ekliptiky*, malý uhol. Rovina dráhy Venuše zvierá s rovinou ekliptiky uhol $3,4^\circ$. Dráha Venuše tak pretína rovinu ekliptiky v dvoch bodoch, takzvaných *uzloch*, ktoré ležia na *uzlovej priamke* (obr. 2). Venuša zostupuje pod ekliptiku

v júni, keď prechádza *zostupným uzlom* a vystupuje nad ekliptiku v decembri vo *výstupnom uzle*. Prechod Venuše pred diskom Slnka nastáva v jej dolnej konjunkcii v čase, keď je Venuša veľmi blízko niektorého uzla svojej dráhy (obr. 2). Táto konfigurácia je však veľmi vzácna. Venuša býva spravidla v čase jej dolnej konjunkcie ďaleko od uzlovej priamky (obr. 3, vpravo), a preto z pohľadu pozemského pozorovateľa je vtedy pod alebo nad slnečným diskom (obr. 2).

Ako sme už spomenuli, prechody Venuše majú zvláštnu periodicitu (obr. 1). Najkratšiu 8-ročnú periódu je možné vysvetliť pomocou jej synodickej obežnej doby 583,92 dňa. Päť synodických obbehov Venuše trvá približne rovnako dlho ako 8 obbehov Zeme, teda 8 rokov ($583,92 \text{ dňa} = 1,6 \text{ roka}$; $1,6 \times 5 = 8$). Osem obbehov Zeme trvá 2922 dní ($8 \times 365,25$) a 5 synodických obbehov Venuše trvá 2920 dní. Po uplynutí 8 rokov sa preto Venuša vracia do tej istej polohy vzhľadom na hviezdne pozadie a aj vzhľadom na Slnko. Ak teda prechod Venuše nastane, po 8 rokoch sa zopakuje. Rozdiel dĺžok spomínaných periód však spôsobuje, že Venuša sa do daného miesta oblohy dostane o niečo skôr. Po uplynutí ďalších 8 rokov sa Venuša posunie už natoľko, že na oblohe prejde mimo slnečný disk (obr. 2).

Rovina dráhy Venuše však nemá v priestore stálu orientáciu a dochádza k jej pomalému stáčeniu, a teda aj stáčeniu jej uzlovej priamky. Tento jav nazývame *precesia*. Z dôvodu precesie je priaznivá prechodová konfigurácia „uzol – dolná konjunkcia“ narušená a obnoví sa až po uplynutí ďalších 105,5 roka alebo 121,5 roka. Postupnosť periód 8; 105,5; 8 a 121,5 sa opakuje po uplynutí 243 rokov. Počas 243 obbehov Zeme okolo Slnka vykoná Venuša 152 synodických obbehov (teda nastane 152 jej dolných konjunkcií) a planéty sú opäť v takmer rovnakom bode svojich dráh a celý cyklus sa opakuje. To preto, lebo 243 rokov trvá približne 88 756 dní ($243 \times 365,25$), čo je rovnako ako 152 synodických obbehov trvajúcich tiež 88 756 dní ($152 \times 583,92$).

2. Vzťah medzi siderickou a synodickou periódou vnútorných planét

Vysvetlenie v predchádzajúcej kapitole je založené na pojme synodická obežná doba alebo synodická perióda vzhľadom na Slnko a Zem, ktorá je v prípade Venuše 583,92 dňa. Vo všeobecnosti sa však pod pojmom obežná doba (perióda) spravidla myslí takzvaná siderická obežná doba alebo perióda vzhľadom na hviezdy, ktorá je v prípade Venuše 224,70 dňa. Len pripomíname, že v známom 3. Keplerovom zákone vystupujú siderické periódou. Pre lepšie pochopenie týchto dvoch periód a ich vzájomného súvisu je v tejto kapitole odvodený matematický vzťah medzi siderickou a synodickou periódou platný pre Merkúr a Venušu, a to pomocou obr. 2, vľavo.

Začnime 1. dolnou konjunkciou na uvedenom obrázku. Nech P_{sid} je siderická perióda vnútornej planéty, P_{syn} je jej synodická perióda a P_{Zem} je siderická perióda Zeme, ktorá je 365,25 dňa. Uhlová rýchlosť pohybu Zeme okolo Slnka je $360^\circ/P_{\text{Zem}}$. Podobne, vnútorná planéta sa pohybuje okolo Slnka uhlovou rýchlosťou $360^\circ/P_{\text{sid}}$. Za čas t sa teda poloha Zeme zmení o uhol $(360^\circ/P_{\text{Zem}})t$. Z toho vyplýva, že počas jednej synodickej periódou vnútornej planéty P_{syn} (medzi 1. a 2. dolnou konjunkciou) Zem opíše uhol $(360^\circ/P_{\text{Zem}})P_{\text{syn}}$ a zodpovedajúca dráha je naznačená červeným oblúkom na obr. 2, vľavo. V rovnakom čase, poloha vnútornej planéty sa zmení o uhol $(360^\circ/P_{\text{sid}})P_{\text{syn}}$ a zodpovedajúca dráha je naznačená na obr. 2, vľavo, červenou špirálou. Orbitálna rýchlosť planét však smerom k Slnku rastie. Preto vnútorná planéta vykonala jeden úplný obchod okolo Slnka a opísala uhol o 360° väčší ako Zem. Preto platí: $(360^\circ/P_{\text{sid}})P_{\text{syn}} = (360^\circ/P_{\text{Zem}})P_{\text{syn}} + 360^\circ$. Z uvedeného vyplýva:

$$\frac{1}{P_{\text{syn}}} = \frac{1}{P_{\text{sid}}} - \frac{1}{P_{\text{Zem}}}.$$

Pre siderické periódy Zeme a Venuše 365,25 a 224,70 dňa vychádza synodická perióda Venuše 583,93 dňa. Pripomíname, že vzťah platí len pre vnútorné planéty, Merkúr a Venušu.

3. Prvé pozorovania prechodov

Johannes Kepler vydal v roku 1627 *Rudolfínske tabuľky*, astronomickú publikáciu pomenovanú na počesť Keplerovho ochrancu a sponzora, cisára Rudolfa II. Tabuľky obsahovali polohy hviezd, ktoré umožňovali vypočítať polohy planét s väčšou presnosťou ako všetky predchádzajúce diela s podobným zameraním. Na základe týchto tabuliek si Kepler uvedomil, že koncom roka 1631 by mali nastať prechody Merkúra a Venuše. Kepler však v roku 1630 umrel. Pozorovať predpovedané prechody sa podujal francúzsky astronóm Pierre Gassendi, ktorý 7. novembra 1631 vykonal historicky vôbec prvé úspešné pozorovanie prechodu Merkúra a zanechal o tom písomný záznam. Nasledujúci mesiac sa Gassendi pokúšal pozorovať aj Keplerom predpovedaný prechod Venuše. Keplerove výpočty však neboli presné, a tak ho nepozoroval. Na základe moderných výpočtov sa však ukázalo, že prechod sa skončil 50 minút pred východom Slnka v Paríži, kde sa ho Gassendi snažil pozorovať.

Podľa Keplerových predpovedí, ďalší prechod Venuše mal nastať až v roku 1761. Avšak v roku 1639 si mladý anglický astronóm Jeremiah Horrocks, žijúci v malej dedinke Hoole 24 km severne od Liverpoolu, uvedomil pri prepočítavaní Rudolfínskych tabuliek, že koncom roka 1639 by mal s veľkou pravdepodobnosťou nastať prechod Venuše. Pretože Horrocks dospel k tomuto záveru sotva mesiac pred úkazom, nemal veľa času oznámiť to astronomickému svetu. Preto iba Horrocks v dedinke Hoole a jeho priateľ William Crabtree v Manchestri boli jedinými svedkami prechodu Venuše 4. decembra 1639, o ktorých sa dochovali písomné záznamy. Horrocks na základe veľkosti kotúčika Venuše na disku Slnka odvodil jej uhlový a aj skutočný polomer.

4. Ako ďaleko je Slnko?

Jednou z hlavných vedeckých otázok 18. storočia bola otázka veľkosti Slnčnej sústavy. Vďaka 3. Keplerovmu zákonu bol známy vzťah medzi orbitálnymi periódami planét a ich vzdialenosťami od Slnka. Hoci boli orbitálne periódy planét známe, nikto nepoznal skutočnú vzdialenosť Zem-Slnko, ktorá bola neskôr pomenovaná ako astronomická jednotka a označená AU.

V roku 1672 sa pokúsili zistiť hodnotu astronomickú jednotku Giovanni Domenico Cassini v Paríži a Jean Richter vo Francúzskej Guyane v Južnej Amerike meraním paralaxy Marsu počas jeho veľkej opozície. Pretože obaja astronómovia pozorovali Mars z vzájomne veľmi vzdialených lokalít, Mars sa javil každému z nich v mierne odlišnej polohe vzhľadom na hviezdne pozadie, čo je efekt nazývaný paralaxa. Cassini využil výsledky týchto pozorovaní najprv k výpočtu vzdialenosti Zem-Mars a potom na výpočet vzdialenosti Zem-Slnko. Jeho odhad 140 miliónov kilometrov bol blízko k správnej hodnote AU. Takéto merania však boli problematické a astronómovia sa snažili nájsť presnejšiu metódu merania astronomickú jednotku.

V roku 1677 pozoroval Edmund Halley prechod Merkúra a uvedomil si, že presnejšiu odpoveď na otázku vzdialenosti Zeme od Slnka by mohlo poskytnúť pozorovanie prechodov Venuše, ktorá je väčšou z dvoch vnútorných planét. Halley nahradil priame meranie paralaktického uhla nepriamym, pri ktorom sú merané časy 2. a 3. kontaktu Venuše s okrajom Slnka (obr. 5, vľavo) z geograficky veľmi vzdialených lokalít Zeme. Rozdiel zmeraných intervalov medzi 2. a 3. kontaktom je možné geometrickými úvahami previesť na paralaktický uhol. Halley objasnil podstatu svojej metódy v práci *Nová metóda určovania*

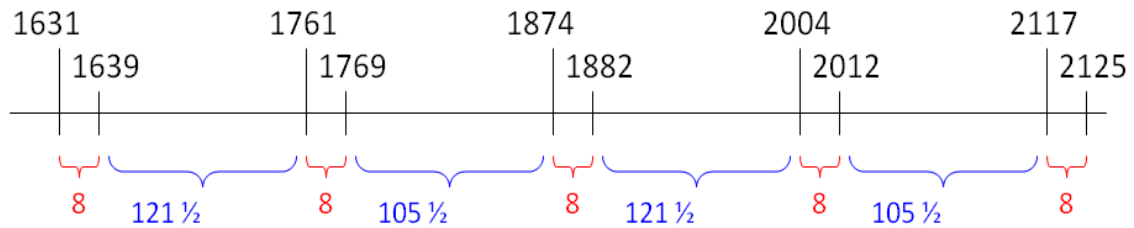
paralaxy Slnka publikovanej v roku 1716. Halley umrel v roku 1742, 19 rokov pred začiatkom nasledujúceho páru prechodov Venuše v rokoch 1761 a 1769. Jeho metóda však podnietila vedecké spoločnosti mnohých krajín, aby zorganizovali početné expedície do veľmi vzdialených kútov sveta. Cieľom bolo zaistiť paralaktickým pozorovaniam prechodu Venuše v uvedených rokoch čo najväčšiu geografickú základňu v miestach s čo najväčšou pravdepodobnosťou dobrého počasia, a tak dosiahnuť určenie astronomickej jednotky s čo najvyššou možnou presnosťou. Reálne pozorovania však odhalili nové ťažkosti.

Pozorovatelia zistili, že nepokojná atmosféra Zeme spôsobuje značné rozmazanie okrajov Venuše a Slnka, čo vážne sťažuje presné meranie časov kontaktov. Tieto merania ďalej sťažoval *efekt čiernej kvapky* (obr. 6, vľavo), ktorý zdanlivo deformoval kotúčik Venuše smerom k okraju Slnka v kritickom okamihu 2. a 3. kontaktu. Efekt veľmi nepriaznivo ovplyvňoval výsledky meraní pozorovateľov pozorujúcich dokonca vedľa seba. Podľa súčasných predstáv je efekt čiernej kvapky spôsobený optikou ďalekohľadu, jej chybami a atmosférami Zeme, Venuše a Slnka. Neočakávaným bol názor, ku ktorému dospel ruský vedec Michail Lomonosov na základe pozorovania prechodu Venuše v roku 1761. Ten si všimol okolo tmavého disku Venuše na tmavom pozadí tenký svetlý oblúk, takzvanú aureolu (obr. 6, vpravo). Na základe tohto pozorovania vyslovil predpoklad, že Venuša má atmosféru. Aureolu je možné za dobrých pozorovacích podmienok uvidieť krátko pred 2. a po 3. kontakte a je spôsobená ohybom a rozptylom slnečného žiarenia v atmosfére Venuše. Významný podiel na určení vzdialenosti Zeme od Slnka mal aj Maximilán Hell rodák zo Štiavnických Baní.

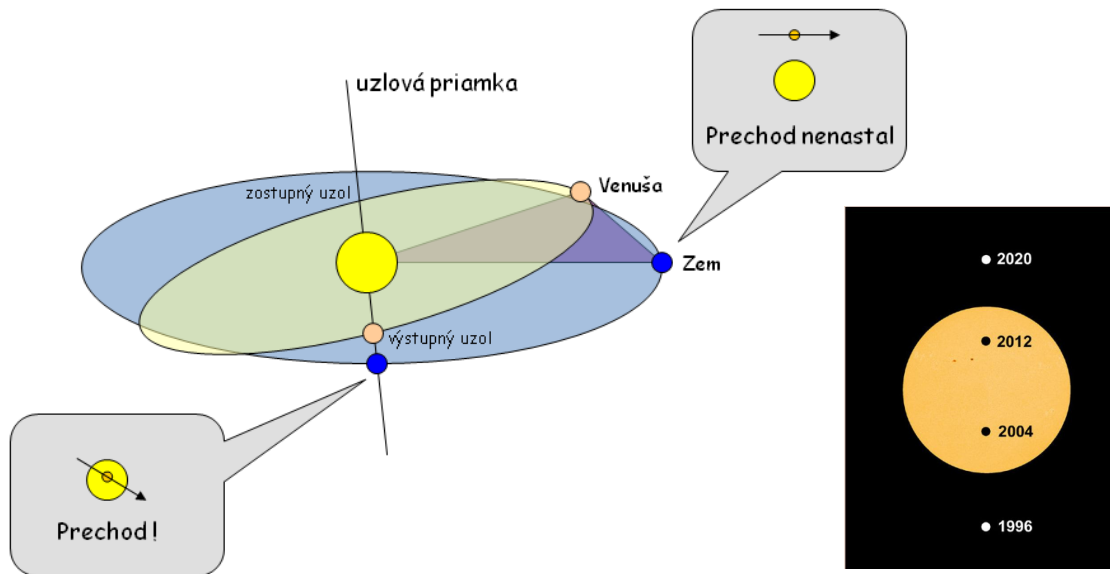
Počas pozorovaní dvojice prechodov v rokoch 1874 a 1882 boli veľké nádeje vkladané do fotografie, od ktorej sa očakávalo vyriešenie problému čiernej kvapky a významné zvýšenie presnosti určenia časov kontaktov. Aj keď mali pozorovatelia lepšie ďalekohľady, stretli sa s rovnakými problémami ako ich kolegovia v 18. storočí. Fotografie prechodu z roku 1874 nemali dostatočnú kvalitu a ich použitie sťažovala rovnaká neostrosť okrajov Venuše a Slnka počas kontaktov, s akou zápasili vizuálni pozorovatelia. Napriek tomu bol získaný značný počet pozorovaní (tab. 2) použiteľných pre výpočet astronomickej jednotky. Jej výsledná hodnota bola významne spresnená v porovnaní s výsledkom dosiahnutým v 18. storočí (tab. 1), a to hlavne vďaka výpočtom amerického astronóma Simona Newcomba.

5. Prechod Venuše 8. júna 2004 a projekt Venus Transit 2004

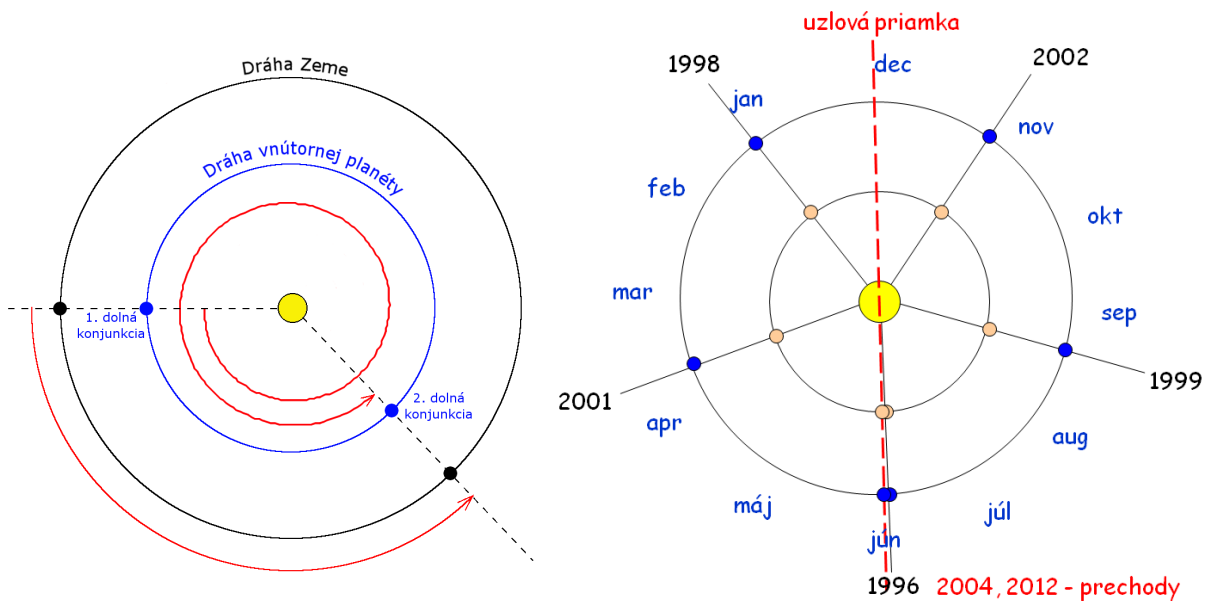
Pozorovanie tohto prechodu prebehlo v rámci medzinárodného projektu Venus Transit 2004 (www.vt-2004.org), ktorý vyhlásilo a koordinovalo Európske južné observatórium (ESO) so sídlom v Garchingu pri Mníchove. ESO je popredná medzinárodná astronómická organizácia zameraná na astronómický výskum združujúca 15 členských krajín a prevádzkujúca najväčšie svetové observatóriá na južnej pologuli. Podnet k vzniku projektu Venus Transit 2004 dal švajčiarsky astronóm Michel Mayor, ktorý stál pri objave prvej extrasolárnej planéty (skrátene exoplanéty) pri hviezde 51 Pegasi v roku 1995. Prechod vnútornej planéty pred slnečným diskom je obdobou úkazu (takzvaného tranzitu) nastávajúceho v podskupine exoplanét nazývaných ako tranzitujúce exoplanéty. Tie v pravidelných intervaloch prechádzajú pred diskom ich centrálnej hviezdy, čo spôsobuje nepatrný pokles jasnosti hviezdy a umožňuje tak odhalenie prítomnosti exoplanéty. Mayor si uvedomil, že paralelu prechodu Venuše a tranzitu exoplanéty by bolo možné veľmi dobre využiť na spropagovanie výskumu exoplanét. Preto niekedy v marci roku 2002 naliehal na predstaviteľov ESO, aby podnikli niečo v súvislosti s prechodom Venuše v roku 2004. Iniciatívy sa chopil astronóm Richard Martin West pracujúci v ESO, ktorý je známy ako objaviteľ kométy West považovanej za jednu z najjasnejších komét 20. storočia. Ten sa stal duchovným otcom projektu *Venus Transit in June 2004: Exoplanets and the size of the world*



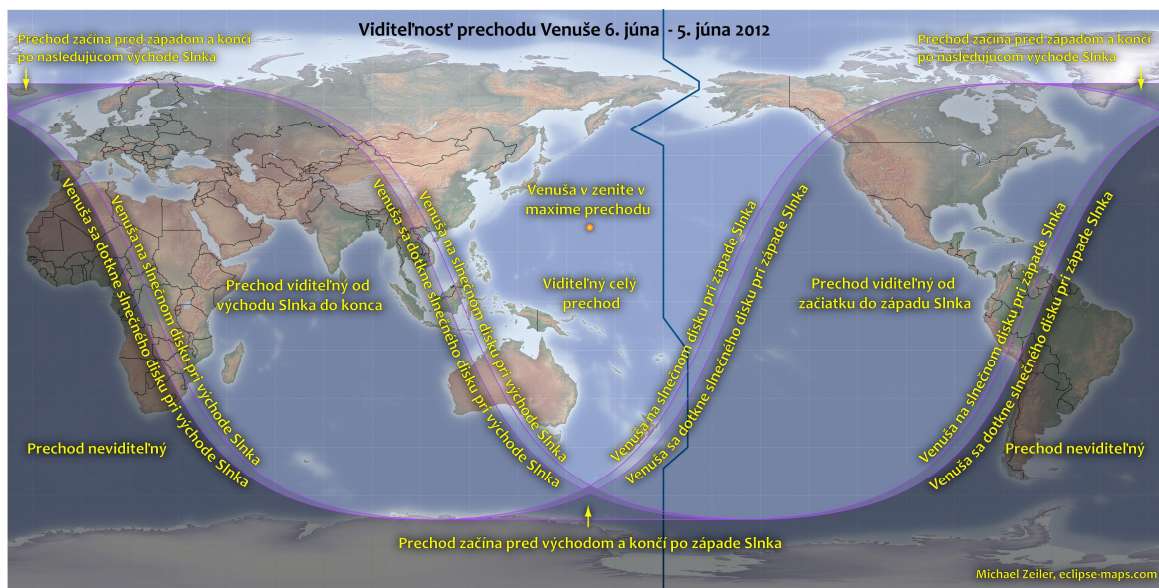
Obr. 1: Časový diagram prechodov Venuše pred diskom Slnka v rokoch 1631 až 2125 a ich periodicita.



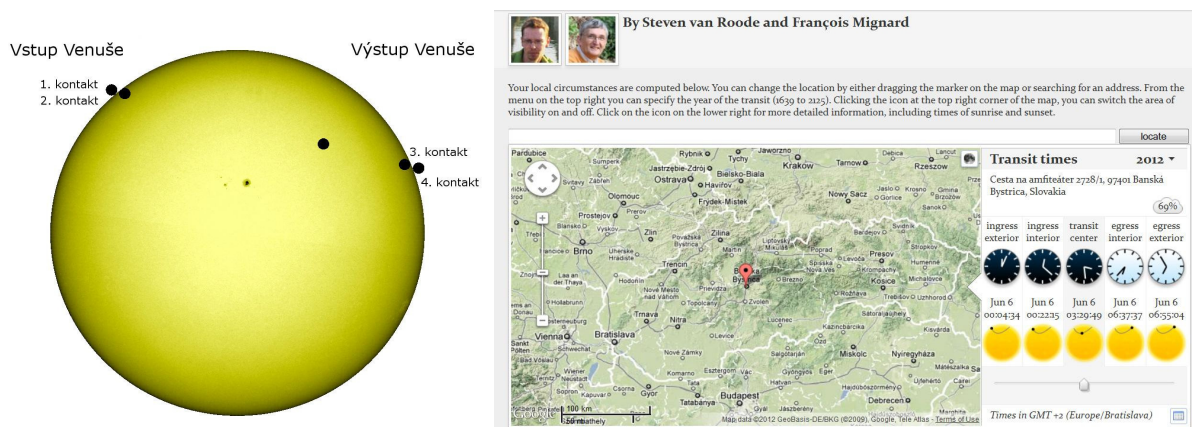
Obr. 2: Súvis sklonu dráhy, uzlovej priamky a prechodov vnútorných planét počas ich dolných konjunkcií. Sklon dráhy je zväčšený pre lepšiu názornosť (vľavo). Približná poloha Venuše vzhľadom na Slnko počas štyroch dolných konjunkcií, ktoré nastali po sebe po uplynutí 8-ročnej periódy (vpravo).



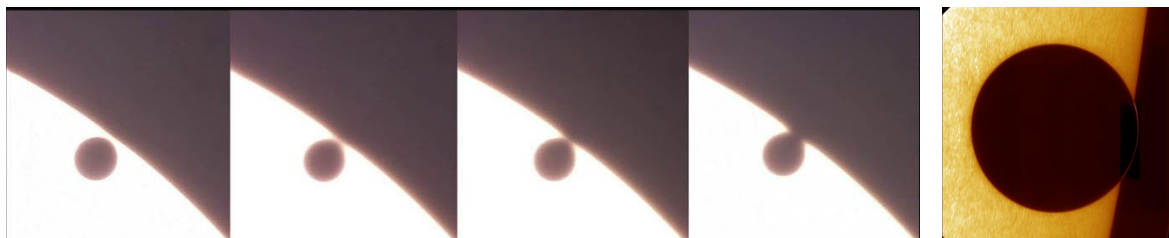
Obr. 3: Obrázok k odvodeniu vzťahu medzi siderickou a synodickou obežnou dobou vnútornej planéty (vľavo). Polohy Venuše vzhľadom na jej uzlovú priamku počas jej šiestich dolných konjunkcií v rokoch 1996 až 2004 (vpravo).



Obr. 4: Oblasti a hranice viditeľnosti rôznych fáz prechodu Venuše pred diskom Slnka 5.-6. júna 2012.



Obr. 5: Kontakty Venuše a disku Slnka (vľavo). Venuša a Slnko sú v mierke. Na obrázku Slnka získanom kozmickým observatóriom Solar Dynamic Observatory 20. júna 2011 je nápadná slnečná škvrna. Grafické rozhranie webovej aplikácie poskytujúcej detailné informácie o prechode pre ľubovoľné miesto Zeme (vpravo).



Obr. 6: Efekt čiernej kvapky v čase 3. kontaktu v závere prechodu Venuše 8. júna 2004 (vľavo, autori: M. Auteri, F. Paglia). Aureola Venušinej atmosféry nasnímaná Švédskym slnečným ďalekohľadom po 3. kontakte (vpravo). Snímky boli upravované pre zvýraznenie efektov.

(*Prechod Venuše v júni 2004: Exoplanéty a veľkosť sveta*), ktorý bol predložený Európskej komisii v máji 2003 so žiadosťou o finančnú podporu. Cieľovými skupinami projektu boli žiaci, študenti, učitelia, astronómovia-amatéri, médiá a široká verejnosť. Vo vzťahu k nim mal projekt definované nasledujúce ciele:

- objasniť podstatu merania vzdialenosti v kozmických škálach,
- premeniť prirodzenú zvedavosť mladých ľudí na poznanie a záujem o vedu a jej metódy,
- poukázať na neistoty vedeckých meraní,
- zdôrazniť výskum exoplanét,
- vyzdvihnúť prvok medzinárodnej vedeckej spolupráce,
- priblížiť verejnosti históriu vedy.

Mottom celého projektu bolo: *Experientia est optima rerum magistra* t. j.: *Skúsenosť je najlepší učiteľ*. V pozadí definovaných cieľov projektu bola snaha vecne a presne trafiť do spektra aktivít Európskej únie zameraných na zmenšenie jej zaostávania za USA a Japonskom v počte mladých ľudí, ktorí si vyberajú vedu ako svoju budúcu kariéru.

Priamym vedeckým cieľom projektu, ktorý realizovali jeho aktívni účastníci-pozorovatelia, bolo zmeranie času kontaktov Venuše s okrajom Slnka (obr. 5, vľavo) a zaslanie týchto pozorovaní prostredníctvom internetu do Inštitútu pre nebeskú mechaniku a výpočet efemeríd (IMCCE) v Paríži. Ten spracoval pozorovania a pozorovateľom spätne zaslal výsledok ich merania astronomickej jednotky. Projekt okrem poznávacieho aspektu podnecoval aj vlastnú aktívnu tvorivosť mládeže, a to prostredníctvom:

- súťaže o najlepší filmový dokument zachytávajúci prípravy na pozorovanie ako aj atmosféru a dianie v deň prechodu,
- výtvarnej súťaže s tematikou prechodu,
- tvorby vlastných webových stránok venovaných prechodu,
- súťaže o najlepší videozáznam prechodu.

Národným koordinačným centrom projektu Venus Transit 2004 pre Slovensko bol Astronomický ústav SAV v Tatranskej Lomnici, ktorý v rámci projektu vykonal nasledovné aktivity:

- zriadil a spravoval národnú webovú stránku projektu,
- realizoval on-line prenos prechodu Venuše na internet,
- zorganizoval dve tlačové besedy venované prechodu pre zástupcov masmédií,
- vydal slovenskú verziu oficiálneho plagátu Venus Transit 2004,
- zorganizoval dvojdnový seminár pre učiteľov zapojených do projektu,
- vydal zborník referátov zo seminára,
- zorganizoval v deň prechodu jeho verejné pozorovanie v priestoroch ústavu.

Tieto aktivity boli vykonané s výdatnou pomocou kolegov z Hvezdárne v Banskej Bystrici, Považskej hvezdárne v Žiline, Krajskej hvezdárne a planetária M. Hella v Žiari nad Hronom, Kysuckej hvezdárne v Kysuckom Novom Meste, Hvezdárne v Sobotišti a s podporou Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV. Detailné informácie o priebehu a výsledkoch projektu boli publikované aj v časopise Kozmos 4/2004 str. 30 a 2/2005, str. 28 až 32. Zo Slovenska sa do projektu zapojilo 85 škôl a 125 pozorovateľov poslalo do centrálnej databázy pozorovania kontaktov pre výpočet astronomickej jednotky. Medzi krajinami participujúcimi v projekte sa Slovensko z hľadiska počtu zapojených škôl umiestnilo spolu s Poľskom na štvrtom mieste za Bulharskom, Českom a Francúzskom. Vzhľadom na ľudnatosť krajín skončilo Slovensko na treťom mieste za Slovinskom a Luxemburskom. Za výsledky

dosiahnuté v projekte bol kolektív pracovníkov Astronomického ústavu SAV ocenený Cenou Slovenskej akadémie vied za popularizáciu vedy. Viac informácií o projekte a jeho výsledkoch je na webovej stránke: <http://www.astro.sk/~koza/projects/vt2004.htm>.

V projekte Venus Transit 2004 bol mimoriadne aktívny a úspešný aj Slovenský zväz astronómov-amatérov (Kozmos 4/2004, str. 31-32), ktorého zástupcovia sa stretli s R.M. Westom počas konferencie *Amateur-astronomers meeting*, ktorá sa konala 7.-9. mája 2004 v Brandýse nad Labem (Kozmos 3/2004, str. 21). V rámci projektu aktívne pôsobila aj väčšina slovenských hviezdárni a planetárií. Veľkú pozornosť v centrále projektu v Garchingu vyvolal úspech slovenského astronóma-amatéra, pána Tomáša Marušku, ktorému sa súčasne s prechádzajúcou Venušou podarilo urobiť aj videozáznam preletu Medzinárodnej kozmickej stanice ISS pred diskom Slnka (Kozmos 4/2004, str. 37). Videozáznam doslova obletel svet a bol vybraný ako „snímka dňa 15. júna 2004“ (VT2004 Photo of the Day) na centrálnej webovej stránke projektu www.vt-2004.org. Ďalší úspech v projekte dosiahla jeho vtedy 7-ročná dcéra Zuzana Marušková, ktorej kresbu komisia v centrále projektu Venus Transit 2004 zaradila do užšej skupiny najlepších kresieb úkazu.

6. Výsledky merania astronomickej jednotky

V tab. 1 je prehľad hodnôt AU pokladaných za správne v rôznych historických obdobiach, ktoré boli získané pozorovaniami prechodu Venuše. V tabuľke nie sú uvedené AU určené inými metódami, napr. z pozorovania paralaxy Marsu, ktoré vykonali Giovanni Domenico Cassini a Jean Richter v roku 1672. Jednotlivé hodnoty sú porovnané s „presnou“ AU určenou z radarových pozorovaní, ktorá má hodnotu 149 597 871 km. V poslednom stĺpci tab. 1 sú v zátvorkách uvedené aj percentuálne odchýlky vypočítaných AU voči „presnej“ AU. Hoci v minulých storočiach bolo získaných pozorovaním prechodov len pomerne málo meraní času kontaktov (tab. 2), iba 10 až 30 najlepších bolo použitých pri výpočte AU v závislosti od autorov pozorovaní. Neistoty uvedené pri vypočítaných AU v tab. 1 sú len odhadnuté, nakoľko v čase, keď boli tieto výsledky získané, nebola ešte vypracovaná teória chýb. Z tab. 1 vyplýva, že do 18. storočia bola AU výrazne podhodnotená. Situácia sa výrazne zmenila po roku 1769 (tab. 1, riadok 3). Prepočítanie výsledkov pozorovaní z rokov 1761 a 1769 Newcombom v roku 1890 po oprave zemepisných dĺžok, ktoré použil v 18. storočí Pingré a ďalší, viedlo k zásadnému spresneniu hodnoty AU (tab. 1, riadok 4). Túto hodnotu nezmenili pozorovania z 19. storočia, ktoré prispeli len k zmenšeniu chýb (tab. 4, riadok 5). Chyby sa s časom znižujú, čo je zrejme dôsledok technologického pokroku.

Výsledok z prvého prechodu v 21. storočí je s ohľadom na chyby jasne najlepší, napriek pomerne malej skúsenosti väčšiny pozorovateľov a náhodnému rozloženiu pozorovacích miest. Je možné povedať, že tento úspech bol dosiahnutý hlavne vďaka:

- použitiu GPS a presných máp pri určení geografickej polohy pozorovacích miest,
- dostupnosti presného svetového času pre všetkých pozorovateľov,
- kvalitnej optike ďalekohľad redukujúcej nepriaznivý vplyv napr. efektu čiernej kvapky (obr. 6, vľavo),
- možnosti získať veľmi kvalitné snímky pomocou CCD a videokamier s krátkymi expozičnými časmi,
- dostupnosti softvéru umožňujúceho po spracovaní snímok lepšiu definíciu okamihu kontaktov, a teda objektivizovať meranie času kontaktu,

Výsledky merania astronomickej jednotky získané v rámci projektu Venus Transit 2004 možno zhrnúť nasledujúcim spôsobom. Aj keby astronomická jednotka nebola známa pred rokom 2004, spojeným úsilím všetkých pozorovateľov zapojených do projektu by sa ju podarilo zmerať s presnosťou lepšou ako stotina percenta (tab. 1, riadok 6). Právom patrí za

to vďaka všetkým pozorovateľom, ktorí prispeli k tomuto spoločnému úspechu.

Tab. 1: Hodnoty astronomickej jednotky AU vypočítané z pozorovaní prechodov Venuše v rôznych historických obdobiach.

Rok prechodu	Autor výpočtov (v roku)	Vypočítaná hodnota AU a jej neistota	Rozdiel voči „presnej“ hodnote AU
1639	Horrocks	94 000 000 km	– 55 597 870 km (– 37 %)
1761	Pingré a Short	138 540 000 km ± 14 400 000 km	– 11 057 871 km (– 7,4 %)
1761 a 1769	Lalande a Pingré	151 000 000 km ± 1 500 000 km	+ 1 402 129 km (+ 0,94 %)
1761 a 1769	Newcomb (1890)	149 670 000 km ± 850 000 km	+ 72 129 km (+ 0,05 %)
1874 a 1882	Newcomb (1890)	149 670 000 km ± 330 000 km	+ 72 129 km (+ 0,05 %)
2004	projekt VT-2004	149 608 708 km ± 11 835 km	+ 10 838 km (+ 0,007 %)

Tab. 2: Celkový počet meraní času kontaktov získaných pozorovaniami prechodov Venuše.

Rok	1761	1769	1874	1882	2004
Počet meraní	100	120	71	85	4550

7. Prechod Venuše pred diskom Slnka 6. júna 2012

Druhý prechod 21. storočia nastane z utorka na stredu z 5. na 6. júna 2012. Dôvodom zvláštneho dvoj dátumu je skutočnosť, že prechod bude pozorovateľný z územia východne aj západne od dátumovej hranice ako vidno na obr. 4, ktorý znázorňuje oblasti a hranice viditeľnosti rôznych fáz prechodu. Pre európskych pozorovateľov teda úkaz nastane v stredu 6. júna. Prvý kontakt Venuše s okrajom Slnka (obr. 5, vľavo) nastane krátko po polnoci z 5. na 6. júna o 0 hod 5 min. Venuša vstúpi celkom na disk po 2. kontakte o 0 hod 22 min. Z územia Slovenska budeme však môcť pozorovať až poslednú tretinu prechodu po východe Slnka, ktoré v stredu 6. júna u nás vyjde približne o 4 hod 45 min. Kotúčik na disku na obr. 5, vľavo, znázorňuje približnú polohu Venuše v čase východu Slnka. Venuša začne opúšťať disk Slnka po 3. kontakte o 6 hod 38 min. Posledný, 4. kontakt Venuše nastane o 6 hod 55 min, no reálne je však presný moment tohto kontaktu nepozorovateľný. Všetky časové údaje sú uvedené v letnom stredo európskom čase. Veľmi podrobné informácie o prechode pre ľubovoľné miesto Zeme je možné určiť pomocou grafickej aplikácie na webovej stránke:

<http://transitofvenus.nl/wp/where-when/local-transit-times>

Na obr. 5, vpravo, je grafické rozhranie webovej aplikácie. Posunutím červeného pointra na vybrané miesto sa v pravej časti priebežne aktualizujú časy kontaktov. Kliknutím na malú ikonu tabuľky vedľa mapy sa zobrazia spolu s časmi kontaktov aj čas východu a výška Slnka nad horizontom, jeho azimut a pozičný uhol Venuše meraný od severu k východu a uhlová vzdialenosť medzi stredmi diskov Slnka a Venuše.

Prechod Venuše je miniatúrnym prstencovým zatmením Slnka. To znamená, že pri pozorovaní prechodu treba prísne dodržiavať všetky pravidlá bezpečného pozorovania Slnka. Hlavné pravidlo znie: **Nikdy sa nepozerajte priamo do Slnka bez použitia bezpečného a kvalitného slnečného filtra.**

Nevhodné až nebezpečné pre pozorovanie Slnka a prechodu sú slnečné okuliare, zadymené

sklo, všetky farebné filmy, čiernobiele filmy neobsahujúce striebro, neutrálne fotografické filtre vrátane polarizačných, CD disky a diskety. Už krátky pohľad na Slnko cez ďalekohľad alebo jeho hľadáčik, triéder, kameru alebo fotoaparát s teleobjektívom bez vhodného slnečného filtra **PRED** objektívom môže spôsobiť vážne poškodenie sietnice ľudského oka. **Bezpečne** je možné Slnko a prechod pozorovať pomocou tmavých zväračských filtrov s hustotou #14, špeciálnych fóliových okuliarov určených na pozorovanie zatmení Slnka prípadne filtrov zhotovených z fólie Astrosolar. Pomocou nich sa však Venuša bude javiť na Slnku ako malý kotúčik na hranici viditeľnosti. Pre názornosť, uhlový rozmer Venuše na disku Slnka bude podobný ako 1-€ minca videná zo vzdialenosti 80 metrov. Preto podstatne lepší zážitok z pozorovania poskytnú ďalekohľady a triédre opatrené vhodným slnečným filtrom pred objektívom. Ak má ďalekohľad hľadáčik, je potrebné aj pred jeho objektív upevniť filter prípadne ho zakryť nepriehľadným krytom. Spoločné pozorovanie prechodu umožňuje projekčná metóda, ktorá nevyžaduje filter. Ďalšie informácie o spôsoboch bezpečného pozorovania prechodu je možné nájsť v literatúre označenej hviezdičkou * a na webovej stránke: http://venustransit2012.szaa.org/ako_vidiet.php

Použitá a doporučená literatúra

Brožúry, zborníky a knihy

- * *Prechod Venuše popred Slnko 6. jún 2012, vydal: Astronomický ústav SAV, apríl 2012*
- Zborník referátov zo seminára „Venus Transit 2004“, vydal: Astronomický ústav SAV, 2004*
- E. Ferencová: Maximilián Hell – významná osobnosť slovenskej vedy a techniky, vydal: Asklepios, Bratislava 1995*
- Maximilián Hell (1720 - 1792) – zborník prednášok z konferencie o živote a diele Maximiliána Hella, vydalo: Slovenské banské múzeum, Banská Štiavnica, 1970*

Články v časopisoch

- * *P. Rapavý: Prechod Venuše pred slnečným diskom, Kozmos 2/2012, str. 46-47*
- P. Zimnikoval: Prechod Venuše cez disk Slnka, Astronomická ročenka 2012, str. 188-190*
- J. Koza: Venus Transit 2004 – výsledky merania astronomickej jednotky, Kozmos 2/2005, str. 28-32*
- J. Koza: Vyhodnotenie projektu Venus transit 2004, Kozmos, 4/2004, str. 30*
- J. Koza: Ako sme pozorovali Venušu, Quark, č.8, 2004, str. 4*
- V. Rušin: Slnko, Venuša a Maximilián Hell, Správy Slovenskej akadémie vied, 7/2004, str. 8-9*
- V. Rušin: Príbeh zabudnutého astronóma, História, 5-6/2004, str. 32-33*
- P. Rapavý: Venuša po prechode, Kozmos 4/2004, str. 31-32*
- P. Rapavý: 8. jún – prechod Venuše pred slnečným diskom, Kozmos 3/2004, str. 22-25*
- * *I. Majchrovič: Zhotovte si kvalitný slnečný filter, Kozmos 2/2004, str. 32*
- P. Zimnikoval: Deň „D“ – 8. jún 2004, Kozmos 2/2004, str. 30-31*
- L. Druga: Hellova Venuša, Kozmos 1/2004, str. 28-30*
- P. Zimnikoval: Planéty čierne na bielom, Kozmos 2/2003, str. 30-31*
- Kozmos 4/2004 (reportáže o výsledkoch pozorovania prechodu Venuše 8. júna 2004)*

Použitá a doporučené webové stránky

<http://venustransit2012.szaa.org>
<http://www.transitofvenus.org>
<http://transitofvenus.nl/wp>
<http://www.vt-2004.org>