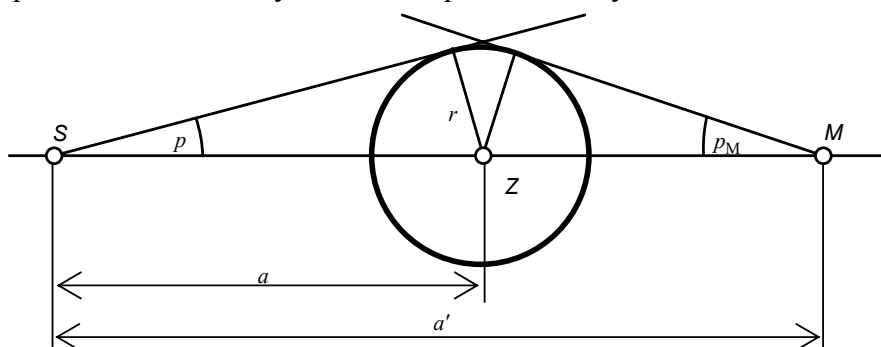


## Venuše po přechodu

Vladimír Štefl\*, PF MU Brno

Jedním z nejzajímavějších astronomických úkazů v roce 2004 byl červnový přechod planety Venuše přes disk Slunce. Následující článek se zabývá jak astronomickými aspekty jevu, tak i jeho historickým významem, neboť jeho pomocí byla upřesněna absolutní vzdálenost Země–Slunce, astronomická jednotka AU.

V historii jako první přechod vnitřní planety Venuše přes disk Slunce předpověděl na 7. 12. 1631 J. Kepler (1571–1630), zemřel však dříve, než jev nastal. Podle jeho údajů francouzský astronom P. Gassendi (1592–1655) přechod Merkuru skutečně pozoroval, zatímco přechod Venuše nebyl ve Francii pozorovatelný.



Obr. 1 princip stanovení vzdálenosti Země–Slunce z parallaxy Marsu

První číselné představy o absolutních hodnotách vzdáleností mezi planetami a Sluncem byly v historii astronomie získány teprve až roku 1672. Měření parallaxy Marsu (úhlu, pod kterým bychom pozorovali ze středu Marsu rovníkový poloměr Země) realizova-

li J. D. Cassini (1625–1712), J. Picard (1620–1682) v Paříži ve Francii a J. F. Richer (1630 až 1696) v Cayenne ve Francouzské Guyaně. Z těchto dvou pozorovacích stanovišť byla proměřena poloha Marsu mezi hvězdami, paralaktický posuv z obou míst spolu s jejich známou vzdáleností umožnil stanovit hodnotu sluneční parallaxy  $p = 9,5''$ , tedy úhlu, pod kterým bychom pozorovali ze středu Slunce rovníkový poloměr Země. Ze změřené parallaxy Marsu  $p_M = 6,25''$  a poměru  $\frac{a'}{a}$ , známém ze III. Keplerova zákona, kde  $a'$  je vzdálenost Mars–Země a  $a$  vzdálenost

Slunce–Země, podle obr. 2 plyne  $p = \left(\frac{a'}{a} - 1\right) \cdot p_M$ .

Odtud byla stanovena vzdálenost Země–Slunce na 138,5 milionů kilometrů. Vzhledem k tomu, že při velké opozici Marsu 1672 bylo obtížné najít na kotoučku planety přesnou polohu středu, získaný výsledek nebyl považován za definitivní. Připomínám, že skutečná hodnota sluneční parallaxy je  $p = 8,794''$  a vzdálenost Země–Slunce tudíž 149,6 milionů kilometrů.

Novou metodu pro upřesnění astronomické jednotky, využívající přechodu Venuše přes disk Slunce, rozpracoval roku 1691 E. Halley (1656–1742) – *The Sight of Venus on the Sun is by far the Noblest that astronomy can afford* podle původního nápadu J. Gregoryho (1638 až 1675). Později upravená verze byla publikována v článku roku 1716 [1]. Halley – obr. 2 – v článku správně předpověděl, že přechod Venuše nastane v letech 1761 a 1769.

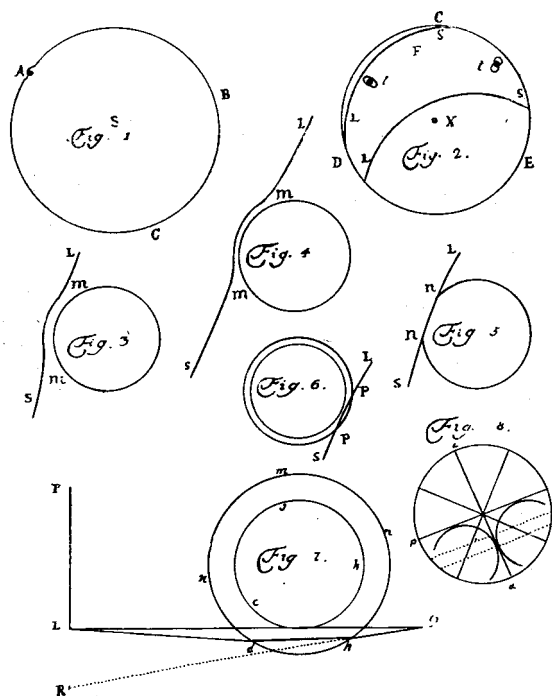
Navrhl pozorování jevu, pokud možno z co nejvzdálenějších míst na Zemi. S maximální



Obr. 2 Edmund Halley (1656–1742)

\* stefl@astro.sci.muni.cz

možnou přesností bylo třeba určit časový interval průchodu Venuše po různých chordách přes disk Slunce. Více než sto astronomů na několika desítkách míst na Zemi pozorovalo tento jev, například v Indii, Jižní Africe, na ostrově Sv. Heleny, na Sibiři atd. Pochopitelně současně probíhala pozorování přímo ve stálých observatořích.



Obr. 3 Záznamy M. V. Lomonosova z pozorování přechodu Venuše v roce 1761

frakci slunečních paprsků v horních vrstvách atmosféry. Vlastní záznamy Lomonosova z pozorování jsou na obr. 3. O třicet roků později W. Herschell (1732–1822) existenci atmosféry Venuše potvrdil.

Dalším jevem, který můžeme pozorovat, je úkaz „černé kapky“, protažení tmavého kotoučku planety k okraji slunečního disku, což je vyvoláno neklidem atmosféry Země a ohybovými jevy v dalekohledu. Zdánlivé prodloužení kotoučku planety tak ztěžuje přesné určení časů kontaktů.

Přechod Venuše přes disk Slunce má značnou důležitost i z pohledu školní výuky, neboť

**tvorba představ o velikostech a prostorových vzdálenostech těles ve sluneční soustavě patří k nejobtížnějším vzdělávacím cílům astronomické výuky na základních a středních školách.** Proto je důležité vyložit podstatu metody zjednodušujícím výkladem přizpůsobeným žákům. V době Halleyho byl již znám

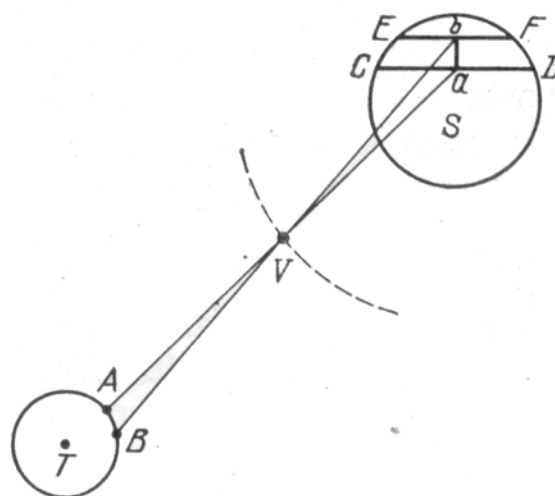
III. Keplerův zákon  $\frac{a^3}{T^2} = konst.$ , ve kterém

$a$  je velikost velké poloosy a  $T$  velikost oběžné doby planety. Odtud při předpokládané znalosti oběžných dob Venuše  $T_V = 225$  dnů a Země  $T_Z = 365$  dnů nalezneme velikost velké poloosy dráhy

Astronomická úloha spočívala v co nejpřesnějším zjištění časových okamžiků vnějších a vnitřních kontaktů disků Venuše a Slunce v průběhu přechodu. Celková časová délka průchodu Venuše přes disk Slunce dosahuje až 7 hodin, jestliže planeta prochází v blízkosti středu disku.

Paralaxa Slunce zjištěná na základě pozorování roku 1761 ležela v intervalu ( $8''$ – $10''$ ), roku 1769 v intervalu ( $8''$ – $9''$ ). Až pozdější podrobné zpracování údajů J. F. Enckem (1791 až 1865) v roce 1824 vedlo k hodnotě sluneční paralaxy  $8,58''$  a tedy k propočítané vzdálenosti Země–Slunce 153,5 milionů kilometrů.

V Rusku pozorovací akci přechodu Venuše roku 1761 organizoval M. V. Lomonosov (1711 až 1765) [2]. Při prvním kontaktu planety Venuše se slunečním diskem zjistil, že tmavý kotouček planety je obklopen světlou aureolou. Lomonosov správně usoudil, že jev je vyvolán existencí atmosféry planety. Víme, že jde o re-



Obr. 4 schéma pozorování přechodu Venuše ze dvou míst na Zemi

Venuše  $a_V = 0,7$  v jednotkách vzdálenosti Země–Slunce. Dále platí  $\frac{a_{ZV}}{a_V} = \frac{3}{7}$ , kde  $a_{ZV}$  je vzdálenost Země–Venuše. Zvolme si dvě místa A a B na Zemi vzdálená 3 000 km nejvhodněji v severojižním směru. Na disku Slunce pozorujeme Venuši z obou míst v polohách  $a$  a  $b$ , vzdálených od sebe  $3\,000 \cdot \frac{7}{3}$  km  $\approx 7\,000$  km. Připomínáme, že  $\sphericalangle AVB = \sphericalangle aVb$ , viz obr. 4.

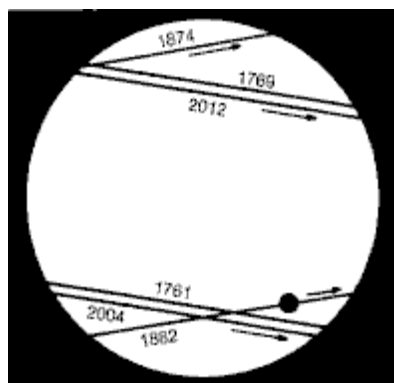
Jaká je velikost hledaného úhlu? Při vzdálenosti Země–Slunce 150 milionů kilometrů  $\sphericalangle aVb = \frac{7\,000 \text{ km}}{108\,000\,000 \text{ km}} = 0,00007 \approx 14''$ , tedy 1/4 velikosti kotoučku Venuše na disku Slunce,

neboť pozorovaný průměr Venuše je  $\frac{12\,000 \text{ km}}{45\,000\,000 \text{ km}} = 0,00027 \approx 56''$ . Velmi malé po-

suny poloh Venuše byly obtížně přímo měřitelné, proto byla nahrazena časovými měřeními.

Jev přechodu Venuše přes disk Slunce je poměrně řídké se opakující astronomický úkaz, nastal, respektive nastane v letech 1631, 1639, 1761, 1769, 1874, 1882, 2004, 2012 a 2117, viz obr. 5. Periodicky se opakuje v časovém intervalu [8; 105,5; 8; 121,5] roků.

Zdůvodnění spočívá v tom, že pokud by dráhová rovina Venuše byla souhlasná s rovinou ekliptiky, pak bychom průchod Venuše přes sluneční disk pozorovali každých 584 dnů při dolní konjunkci – když se Venuše se nachází mezi Sluncem a Zemí. Avšak dráhová rovina svírá s ekliptikou úhel  $3,39^\circ$ , proto jev nastává pouze tehdy, jestliže Venuše se v dolní kon-



Obr. 5 Trajektorie přechodů Venuše přes sluneční disk

junkci nachází v blízkosti uzlů své dráhy. Protože se uzly pozvolna posouvají vzhledem k bodu jarní rovnodennosti, proto jev pozorujeme s výše uvedenou periodicitou. Další podmínkou je blízkost k dráhovému uzlu i u Země samotné [3]. Dráhovým uzlem rozumíme bod, ve kterém planeta vystupuje nad ekliptiku nebo sestupuje pod ni.

Zajímavé jevy spojené s přechodem Venuše přes sluneční disk jsme pozorovali 8. června 2004. Přechod byl pozorovatelný v Evropě, Africe, Asii a v závěrečné fázi i v Severní Americe. První kontakt, okamžik prvního dotyku kotoučku planety Venuše a slunečního disku nastal v Praze 7 hod 19 minut 51 sekund. Druhý kontakt, kdy se kotouček Venuše oddělil zevnitř od slunečního disku, proběhl v 7 hod 39 mi-

nut 23 sekund. Třetí kontakt, okamžik vnitřního dotyku na druhé straně slunečního disku nastal ve 13 hod 3 minuty 39 sekund. Konečně čtvrtý kontakt, oddělení kotoučku Venuše od slunečního disku, proběhl ve 13 hod 22 minut 50 sekund. Jev celkově trval přibližně 6 hodin.

### Literatura:

- [1] Halley E.: *A New Method of Determining the Parallax of the Sun, or his Distance from the Earth*. Philosophical Transactions vol.XXIX (1716).
- [2] Kulikovskij P. G.: *M. V. Lomonosov. Astronom i Astrofizik*. Nauka, Moskva 1986.
- [3] Bouška J., Vanýsek V.: *Zatmění a zákryty nebeských těles*. NČAV, Praha 1963.
- [4] <<http://www.vt-2004.org/>> *Venus Transit 2004* (anglicky).
- [5] <<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/transit/venus0412.html>> *2004 and 2012 Transits of Venus* (anglicky).
- [6] <<http://didaktik.physik.uni-essen.de/~backhaus/VenusProject.htm>> *Transit of Venus, June 8th, 2004* (anglicky).
- [7] <<http://venuse.hvezdarna.cz/>> *Přechod Venuše přes Slunce* (česky).