

22. ročník, úloha I. P ... Mikuláš vs. Klaudius (4 body; průměr 2,43; řešilo 23 studentů)

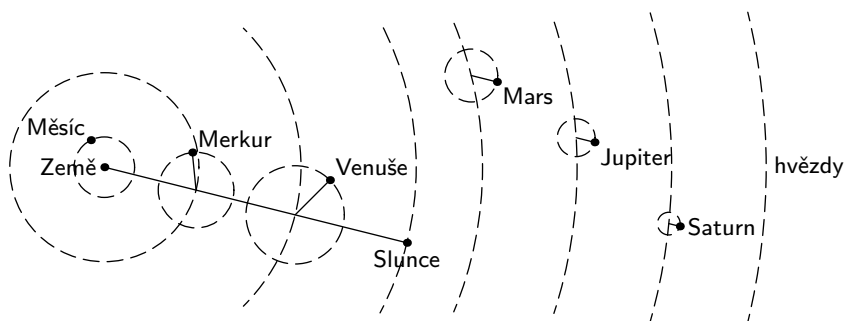
Rok 2009 je vyhlášen jako Mezinárodní rok astronomie a připomíná 400 let používání dalekohledů lidstvem. Vraťme se o čtyři staletí zpět, kdy byl dalekohled již k dispozici, ale klasická fyzika ještě v plenkách. V otázce uspořádání světa spolu soupeřily Koperníkův heliocentrický názor a Ptolemaiov geocentrický systém. Navrhněte experiment, resp. pozorování, které mezi oběma představami dokáže rozhodnout. Dostatečně okomentujte, jaký výsledek lze očekávat a co z něj plyne v prospěch či neprospěch uvažovaných uspořádání. Vlastní pozorování není nutné, i když vhodné. Navíc vysvětlete, proč jsou v geocentrickém modelu Slunce a Země spojeny úsečkou? *Významný důkaz chtěl připomenout Pavel Brom.*

Klaudios Ptolemaios ve svých pracích o astronomii navrhl jednoduchý a z jeho pohledu funkční geocentrický model uspořádání nebeských těles. Vzhledem k tomu, že neměl k dispozici dalekohled, musel se spolehnout na to, co vidí očima, a na svojí intuici. Model, který navrhl, odpovídal veškerým tehdejším pozorováním. Uveďme tedy hlavní důvody hovořící ve prospěch geocentrického modelu:

- necítíme žádný pohyb Země, žádné cukání, Země je v klidu,
- vše padá na Zemi, resp. podle Aristotelova učení do středu světa, kde se Země již dlouho nachází,
- hvězdy se na nočním nebi jeví býti stálými,
- Venuše vypadala na nočním nebi přibližně stejně jasná, je tedy přibližně stejně daleko.

Ptolemaios dal tyto úvahy dohromady a vyslovil dva předpoklady. První, že všechna nebeská tělesa se pohybují po kružnici, a druhý, že ve společném středu takových kružnic je Země.

Bohužel jakkoliv je tento model elegantní, bylo třeba jej neuvěřitelným způsobem zpřesňovat. Velké kružnice, po kterých měly planety obíhat, byly nazvány deferenty. Po deferentech se pohybovaly středy malých kružnic, epicyklů, po kterých planety měly obíhat „ve skutečnosti“. Epicykly se zavedly hlavně pro vysvětlení nepravdivostí v pohybu planet po nebeské sféře, jako je retrográdní pohyb ve smýčkách „tam a zpět“ po obloze, nicméně zde geocentrický model začal pokulhávat. Chybělo fyzikální vysvětlení pohybu planet.



Obr. 1. Představa geocentrického systému

Mikuláš Koperník přišel s jednoduchou myšlenkou, která by se zbavila nepříjemné spojnice Země–Slunce, a dále s tím, že Země je jednou z planet obíhajících Slunce. Když vzal v úvahu své výpočty, vyšlo mu, že není možné, aby fungoval jiný než heliocentrický model sluneční soustavy. Vyplýval z něj i retrográdní pohyb a zdánlivý pohyb hvězd vůči stálícím, dnes nazvaný paralaxa. Mimo jiné došel k závěru, že planety, které jsou ke Slunci blíže než Země, musí nutně

jevit fáze. A jak je možné, že je Venuše neustále přibližně stejně jasná? Změny ve vzdálenosti, a tedy i jasnosti jsou kompenzovány právě zmíněnými fázemi a změnami zdánlivého průměru kotoučku planety.

Zmíněné důsledky heliocentrického modelu tedy musí být experimentálně pozorovatelné.

Fáze Venuše

K pozorování fází Venuše byl třeba dalekohled. Prvním, kdo fáze pozoroval, byl Galileo Galilei v roce 1610. Co můžeme z fází Venuše vyčíst? Nov pozorujeme, když Venuše prochází mezi Zemí a Sluncem, úplněk nastane, když je schovaná za Sluncem, a poloviční fáze nastanou ve chvíli, kdy je od Slunce na obloze nejvíce vzdálená, tedy je v největší elongaci (východní nebo západní).

Nakreslete a rozmyslete si, že v Ptolemaiově systému nikdy nemůže nastat úplněk či jiná fáze, kdy je Venuše osvětlena více jak z poloviny! Tyto fáze však Galilei pozoroval a došel k závěru, že geocentrický systém nemůže být správný.

Galileo sám si uvědomil význam svého pozorování fází Venuše včetně všech důsledků (vztahených k jeho době). Také proto oznámil tento objev jiným vzdělcům raději zašifrovaně – ve formě tzv. anagramu, tedy přesmyčky:

Haec immatura a me iam frustra leguntur – oy,

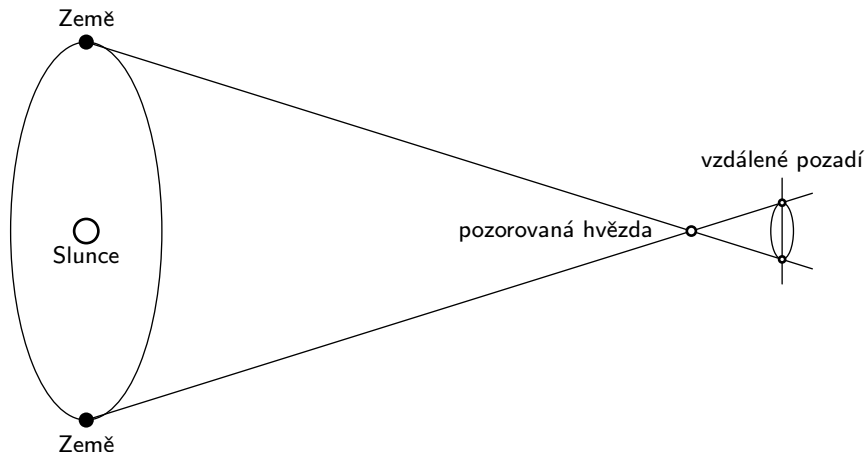
tedy doslova „Aj, toto nezralé ode mě již marně bylo čteno“, tzn. volně přeloženo např. „Toto jsem již zkusal, a to rychle bez rozmyšlení, tedy bez výsledku – ach“. Kepler brzy požádal Galileia o vysvětlení a ten odpověděl, že po správném přeskupení písmen dostaneme:

Cynthiae figuras aemulatur mater amorum,

což lze přeložit (čteno odzadu) „Matka lásek emuluje tvary Cynthie“ (tj. bohyně Měsíce ve starém Řecku), tedy „Venuše napodobuje fáze Měsíce“, odkud už jasně plynulo, že planeta Venuše musí obíhat kolem Slunce.

Paralaxa

Paralaxa je definována jakožto úhel svíraný dvěma přímkami vedenými z dvou různých míst v prostoru k jednomu pozorovanému bodu. Můžeme tedy říct, že jde o zdánlivý rozdíl polohy onoho bodu při pozorování ze dvou různých míst v prostoru. Čím je pak pozorovaný bod dál, tím je paralaxa menší a to byl také kámen úrazu pro brzká pozorování nebeské sféry. Paralaxa hvězd je totiž tak malá, že ji astronomové nebyli schopni zaznamenat až do devatenáctého století. Z geometrického pohledu na heliocentrický systém je existence paralaxy jasná, stejně jako je jasné, že se vzhledem k velkým vzdálenostem musí jako základna pro trojúhelník vzít průměr oběžné dráhy Země (roční paralaxa). První měření paralaxy uskutečnil v roce 1837 Wilhelm Struve. Ten určil paralaxu Vegy (α Lyr), $0,125''$ s chybou $0,055''$ (což se mu zdálo moc, a tak svým měřením nevěřil). Několik málo let po něm uskutečnili podobná měření i Friedrich Bessel (s objektem 61 Cyg) a Thomas Henderson, který shodou náhod změřil největší možnou pozorovatelnou paralaxu, tedy paralaxu naší druhé nejbližší hvězdy, Proxima Centauri. Sice mluvíme o největší paralaxe, nicméně její hodnota je $0,741''$. To skutečně nikdo z renesančních astronomů pozorovat nemohl.



Obr. 2. Paralaxa

Aberace

Aberace byla objevena jaksí náhodou v roce 1725 Jamesem Bradleym při hledání paralaxy. Spíše než o geometrický důsledek se jedná o důsledek konečné rychlosti světla a pohybu Země kolem Slunce, což astronomové, resp. geometři předvídat nemohli. Stejně jako paralaxa způsobuje zdánlivý pohyb hvězd, ale vzhledem k rychlosti pohybu Země (asi 30 km/s) a konečné rychlosti světla maximální aberace je 20,4955". A to je rozhodně lépe měřitelné než paralaxa. Díky důkazu, že Země se okolo Slunce pohybuje, můžeme mluvit o dalším z důkazů heliocentrismu.

A nakonec spojnice Země–Slunce, na níž leží středy epicyklů Merkuru a Venuše, byla nutná jako jakási korekce pozorování. Už Ptolemaios si totiž všiml, že obě zmíněné planety se ukazují vždy blízko Slunce, od něhož se nemohou vzdálit více, než je jistý maximální úhel, tzv. maximální elongace pro danou planetu. (Jsou tedy pozorovatelné jenom ráno jako jitřenky nebo večer jako večernice.)

Jana Poledníková
janap@fykos.mff.cuni.cz