

MIKULÁŠ KOPERNIK – – ASTRONÓMIA PRED NÍM A PO ŇOM

Juraj Tóth

(Záznam prednášky)

Abstract. Nicolaus Copernicus – astronomy before and after his age (notes from the lecture) Nicolaus Copernicus was born in 1473 in Torun, currently the town in Poland. His first studies were performed in Krakow, where he obtained the first knowledge of astronomy from the work of Georga Peurbacha (1423 – 1461) and his student Johannes Regiomontanus (1436 – 1476). Later, he studied medicine and law in Bologna, Padova and Ferrara. But he had a great interest in astronomy through his whole life. His book *De Revolutionibus Orbium Coelestium* deals with the new cosmological model with the Sun as a center of the Universe. Orbits of planets were circular and more simple in generally compared to geocentric system of Ptolemy. Copernicus was not the first one with heliocentric idea. Already ancient scholars like Aristarchus developed such concepts. But problems with no observation of parallax and rotation effects of the Earth leads to the rejection of heliocentric idea, also in Copernicus time. Tycho Brahe, the greatest star observers before the telescope development, was not able to prove the Copernicus heliocentric model in 16th century. That is why this question remained open for long time and controversial.

Tento dobre známy učenec sa narodil v roku 1473 v Toruni, dnešné Poľsko. Študoval v Krakove, kde sa zoznámil s dielom Georga Peurbacha (1423 – 1461) a jeho študenta Johanesa Regiomontanus (1436 – 1476), ktorý pôsobil istý čas aj v Bratislave na Academii Istropolitana. Neskôr Kopernik strávil desaťročie štúdiami v Taliansku na univerzitách v Boloni, Padove a Ferrare. Po návrate do Poľska pôsobil ako lekár a cirkevný kanonik. Popri svojej práci sa venoval astronómii, čo neskôr vyústilo do jeho diela *De Revolutionibus Orbium Coelestium* vydaného v Norimbergu až v roku 1543, tesne pred jeho smrťou. Dnes vieme, že anonymný predhovor knihy napísal Andreas Osiander, protestantský reformátor z Norimbergu, ktorý opatrne uvádza Kopernikovo dielo ako matematickú hypotézu. Celé dielo je v úvode venované pápežovi Pavlovi III.

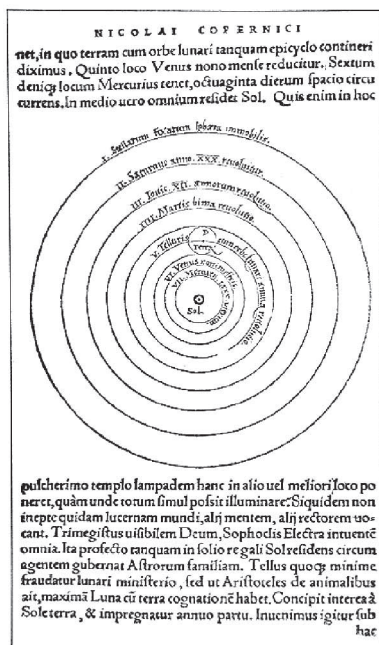
Základnou myšlienkou Kopernika bolo zjednodušenie dovtedajšej kozmologickej predstavy o obehu nebeských telies okolo nehybnej Zeme. Prebral antický koncept dokonalého, nekonečného pohybu po kružniciach, ale do stredu vesmíru namiesto Zeme umiestnil Slnko. V čase Kopernika neexistoval argument ani iný dôkaz o správnosti tejto koncepcie. Kopernik argumentoval jednoduchosťou a elegantnosťou modelu v porovnaní s pomerne komplikovaním geocentrickým Ptolemaiovým konceptom s množstvom kružníc, deferentov a epicyklov.

Ale pozrime sa bližšie na genézu týchto pojmov a kozmologických predstáv pred Kopernikom. Claudius Ptolemaios (cca 90 – 168 n. l.) bol

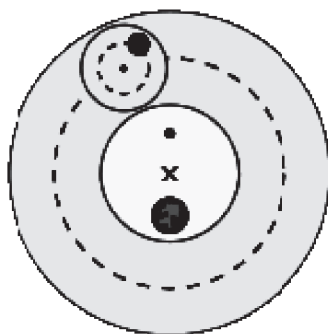
posledným veľkým antickým učencom sumarizujúcim poznatky o nebeských telesách v diele *Almagest*, kde zaviedol prepracovaný geocentrický model. V tomto modeli Zem nebola úplne v strede sústavy. Stred bol medzi ekvantom a Zemou. Čiže v pravom zmysle slova nešlo o geocentrický systém, ale to je detail. Takto sa totiž dosiahla vyššia zhoda predpovedaných polôh planét s pozorovaním. Samotné nebeské teleso obiehalo v Ptolemaiovom modeli po malej kružnici - epicykle, ktorej stred ležal na väčšej kružnici - deferente. Kombinácia týchto dvoch kruhových pohybov dobre simuluje pohyb telesa na oblohe. Ale vôbec prvý geocentrický model zaviedol Edoxus, Platónov spolužiak, ktorý v 4. storočí pred našim letopočtom umiestnil okolo Zeme koncentrické sféry.

Edoxusov model sa skladal z viacerých koncentrických sfér; sféry hviezd s periódou rotácie 24 hodín, sféry 5 planét, ktorých pohyb bol kombináciou 4 sfér, sféry Mesiaca a sféry Slnka. Pohyb Slnka po oblohe bol modelovaný 2 sférami zodpovednými na denný a ročný chod. Jediná nevýhoda tohto modelu bola, že nezohľadňoval pozorovanú zmenu jasností planét, pretože sa nachádzali vždy v rovnakej vzdialenosti na Edoxových sférach. To vyriešil až Ptolemaiov model.

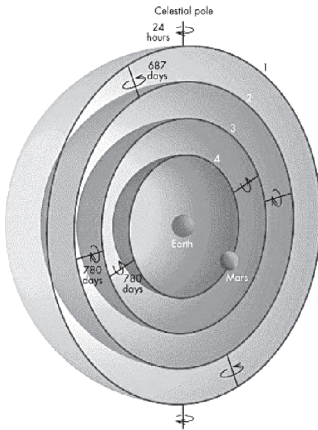
Eudoxov model akceptoval a vylepšoval aj Aristoteles, ktorý bol o generáciu mladší. Zároveň Aristoteles argumentoval v prospech sférickosti Zeme na základe pozorovaní zatmení Mesiaca, kedy zemský tieň mal vždy kruhový tvar. Podobne, pri voľnom páde predmetov na zem, napríklad kameňa, či jablka, sa na každom mieste zeme pozoroval kolmý pád. To sa dá docieľiť iba na sférickej, guľatej Zemi. Pri Zemi ako doske alebo kvádri by bol voľný



Obr. 1: Heliocentrický systém načrtnutý v diele *Revolutionibus Orbium Coelestium*, 1543.



Obr. 2: Schéma stredy geocentrického Ptolemaiovoho systému - bod X.



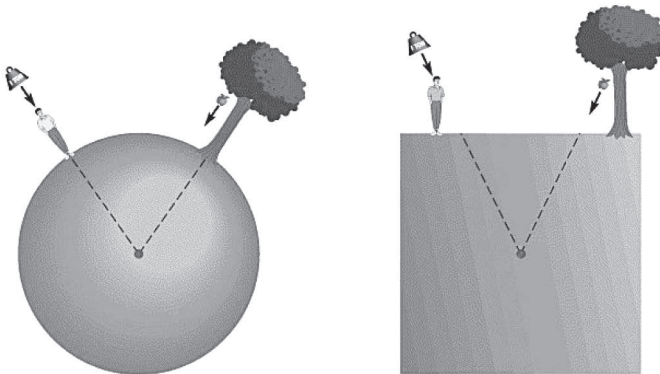
Obr. 3: Edoxov geocentrický model. Znárodnené sú 4 sféry pre planétu Mars, ktorých kombináciou sa vysvetľovala poloha Marsu na oblohe každú noc (perióda 24 hodín), siderická perióda (vzhľadom na hviezdy) 687 dní a synodická perióda (vzhľadom na Zem a Slnko) 780 dní.

pád do centra telesa odlišný od kolmého smeru na zem.

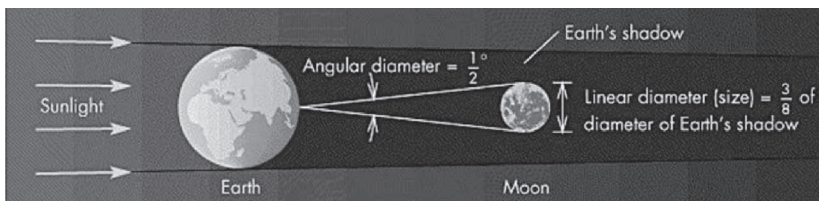
Pri rozvíjaní a zavádzaní geometrických princípov v antickom Grécku dosiahol veľký úspech pri určovaní pomerov vzdialeností a veľkostí nebeských telies Aristarchos zo Samosu (310 – 230 p. n. l.). Aristarchos zo zatmení Mesiaca odhadol pomer veľkostí Mesiac/Zem na $\frac{3}{8}$ (37,5 %). V skutočnosti je priemer Mesiaca len 27 % priemeru Zeme. Akokoľvek, Aristarchos vedel, že Mesiac je menšie teleso ako naša Zem. Neskôr uskutočnil iné meranie.

Pozoroval Mesiac v prvej štvrti, keď je z pohľadu Mesiaca uhol medzi Zemou a Slnkom 90 stupňov, čiže vzniká pravý uhol. Potom už stačí zmerať uhol, pod ktorým vidíme Slnko a Mesiac na oblohe a vypočítať pomer vzdialeností Zem – Slnko a Zem – Mesiac. Čím je tento uhol menší, tým je Slnko bližšie k Zemi. A na druhej strane, čím sa tento uhol blíži k 90°, tým je Slnko ďalej.

Aristarchos pomocou uhlového zariadenia – kvadrantu, určil uhlovú vzdialenosť medzi Slnkom a Mesiacom na 87°. Skutočná hodnota tohto uhla je 89,83°, ale to mu vôbec nemôžeme vypočítať. Tieto merania nie sú jednoduché ani dnes.

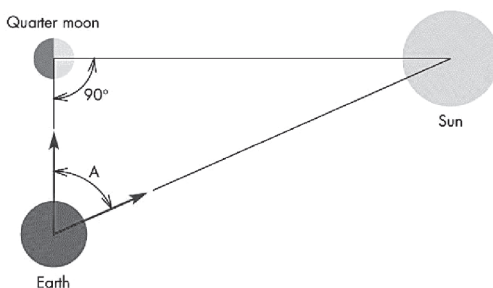


Obr. 4: Aristotelov myšlienkový experiment pri voľnom páde telesa na zem.



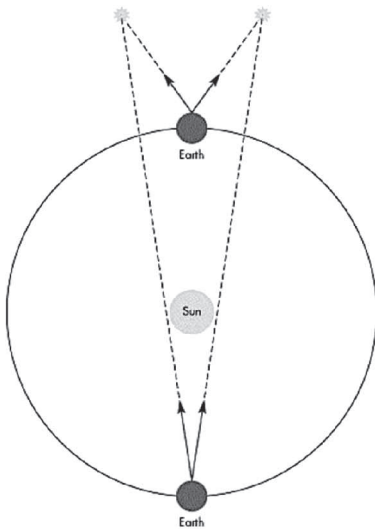
Obr. 5: Aristarchovo odhadnutie rozmeru Mesiaca v porovnaní so Zemou pri pozorovaní zatmenia Mesiaca, ktorý vstúpil do zemského tieňa.

Odhladnuc od tohto faktu, geometrickou analýzou stanovil, že Slnko je od Zeme 18 až 20-násobne ďalej ako Mesiac. Dnes by sme na výpočet použili trigonometrickú funkciu kosínus, ale tú ešte Aristarchos nepoznal. Ďalej do svojich úvah zakomponoval fakt, že Slnko a Mesiac majú na oblohe takmer rovnaký uhlový rozmer a ak je od nás Slnko asi 19-krát ďalej ako Mesiac, musí byť aj 19-krát väčšie ako Mesiac. A keďže už skôr odhadol, že rozmer Mesiaca je $\frac{3}{8}$ Zeme, potom rozmer Slnka je 7-krát ($19 \times \frac{3}{8} \approx 7$) väčší ako Zem. Aristarchos usúdil, že keď je Slnko väčšie ako samotná Zem, je centrálnym telesom, okolo ktorého obieha Zem, Mesiac a planéty. Preto niektorí nazývajú Aristarcha - Kopernikom stároveku. Aj keď dnes vieme, že vzdialenosť k Slnku je omnoho väčšia, približne 390-násobok vzdialenosti k Mesiacu a priemer Slnka je 110-násobne väčší ako priemer Zeme, aj tak môžeme s obdivom konštatovať, ako sa naši predkovia aspoň kvalitatívne správne dostali k týmto vedomostiam.



Obr. 6: Pravouhlý trojuholník, ktorý tvoria v prvej štvrti Mesiac spolu so Zemou a Slnkom. Aristarchos meral uhol A.

Ale heliocentrická myšlienka sa v antickom Grécku veľmi neujala. Ak by túto hypotézu vtedajší učenci akceptovali, museli by vysvetliť pohyb Slnka a hviezd po oblohe pomocou denného rotačného pohybu Zeme a ročného obežného pohybu Zeme okolo Slnka. Prvý pohyb Aristarchovi súčasníci odmietali, lebo sa nepozorovalo silné prúdenie vzduchu smerom na západ, proti smeru pomyselného otáčania Zeme. Iný argument proti rotácii bol v nepozorovaní šikmého voľného pádu v dôsledku rotácie zeme za čas pádu predmetu. Totiž, ak pustíme predmet z výšky padať na zem, za čas voľného pádu by sa mala podložka, miesto, nad ktorým sme pustili predmet, posunúť smerom na východ.

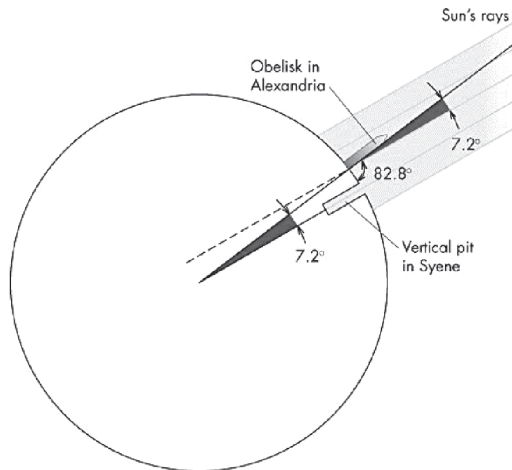


Ale to sa nepozorovalo; nebol známy koncept zotrvačnosti, t. j. v čase vypustenia predmetu, predmet sa otáča spolu so Zemou. Navyše existoval vážny argument proti obehu Zeme okolo Slnka. Spočíval v nepozorovaní paralaxy hviezd – zdanlivom posune polohy hviezd na oblohe v dôsledku rozdielnej vzdialenosti hviezd od Zeme pri pohybe okolo Slnka. Podobný dôsledok by mal pohyb Zeme na dvojice hviezd či súhvezdia v rôznych častiach roka. Jednoducho by sme mali pozorovať zmenu uhla medzi hviezdami, keď je Zem na svojej dráhe okolo Slnka raz bližšie a inokedy ďalej od konkrétnej dvojice hviezd. Celý problém s nepozorovaním tohto paralaktického efektu

bol v tom, že hviezdy sú extrémne ďaleko v porovnaní so zmenou vzdialenosti, ktorú vykoná Zem pri obehu okolo Slnka. Takže uhol paralaxy je veľmi malý, menej ako 1 oblúčková sekunda (1/1800 z uhlového rozmeru Mesiaca na oblohe). Paralaxa hviezd bola objavená až presnými meraniami ďalekohľadom v 19. storočí nášho letopočtu.

Aristarchos teda priniesol geometrickú metodiku zistenia pomeru vzdialeností a veľkostí nebeských telies. Ale až jeho nasledovník Eratostenes (cca 276 – 195 p. n. l.) preniesol pozemské jednotky vzdialenosti do vesmíru. Vykonal zaujímavý experiment zmerania obvodu Zeme. V jednom čase počas letného slnovratu zmeral so svojimi pomocníkmi výšku Slnka nad obzorom počas poľudnia z dvoch rôznych miest v Egypte. Južnejšie mesto, vtedajšia Syena, dnešný Asuán, bol vzdialený 5 000 stadií (~ 800 km) od Alexandrie. Asuán leží v blízkosti obratníka raka, kde je Slnko počas letného slnovratu v nadhlavníku, v zenite.

V tom čase bolo Slnko



napoludnie v Alexandrii o $1/50$ kruhu, čiže $7,2^\circ$ vzdialené od zenitu. Toto uhlové meranie sa dá vykonať z dĺžky tieňa obelisku alebo iného kolmo stojaceho predmetu. Ako je vidieť aj na obrázku, uhlový rozdiel v polohe Slnka na oblohe zodpovedá tomu istému uhlu medzi mestami Alexandria a Syena zo stredu Zeme. Ak vynásobíme $50 \times 7,2^\circ$, dostaneme celý kruh 360° . Podobne ak vynásobíme $50 \times$ vzdialenosť medzi mestami, dostaneme obvod celej Zeme. Prekvapivo výsledok sa nápadne podobá známej hodnote obvodu Zeme, t. j. $40\,000$ km.

Vyššie spomenuté vedomosti antických učencov sa do Európy dostali dvomi cestami, cez Španielsko prostredníctvom prekladov arabských diel (12. storočie) a neskôr cez grécke písomnosti privezené z Byzancie v 14. storočí. A tak sa mohla astronómia vo väčšej miere rozvíjať aj na európskych univerzitách v Bologni, Oxforde alebo v Paríži. Mikuláš Kopernik plynulo nadviazal na túto tradíciu.

Tri roky po smrti Kopernika sa narodil v Dánsku ďalší významný učenc Tycho Brahe. Od malička sa zaujímal o astronómiu a potom ako študent práva tajne pozoroval oblohu. Ako 26-ročný napísal knihu o pozorovaní novej hviezdy z 11. 11. 1572. Dánsky kráľ mu daroval ostrov Hveen a rentu, aby si ho udržal v krajine. Tam vybudoval v roku 1576 observatórium Uranienborg s dôrazom na presnosť prístrojov. Dosahoval dvojnásobne vyššiu presnosť pozorovaní ako jeho kolegovia tej doby. Len použitím uhlových zariadení a oka (ešte nebol vynájdení ďalekohľad) vedel merať s presnosťou na 1 oblúkovú minútu ($1/30$ uhlového rozmeru Mesiaca na oblohe). Ako jeden z prvých Tycho pozoroval systematicky, viacnásobne opakoval merania a overoval dosiahnutú presnosť. Chcel rozhodnúť starú dilemu, či je Zem nehybná alebo predsa len vykonáva obežný pohyb okolo Slnka. Snažil sa pozorovať paralaxu hviezd. Ale nepozoroval počas roka žiadnu zmenu v polohách hviezd. Reálne boli dve možnosti interpretácie, ktoré si Tycho uvedomoval. Buď Zem obieha okolo Slnka, ale hviezdy sú veľmi ďaleko a paralaxa je pod limitom jeho pozorovacích možností, alebo Zem je nehybná v priestore. Priklonil sa k druhej alternatíve, pretože sa mu hviezdy javili ako objekty s istým uhlovým rozmerom. A za predpokladu, že hviezdy sú vzdialené slnká a majú podobný rozmer ako naše Slnko, nemôžu byť až tak ďaleko, že by to znemožnilo pozorovať ich paralaxu. Tu vidíme, že aj keď Tycho sa v tomto ohľade mýlil a chybné priradil hviezdám väčší uhlový rozmer vďaka difrakcii svetla na očnej zreničke, jeho závery boli uvážené a úplne zodpovedajúce vedomostiam tej doby.

Problém sa dlho nedarilo vyriešiť a museli prísť ďalší géniovia svojho obdobia, aby postupne odhaľovali tajomstvá nášho vesmíru. A dnes určite nie sme na konci tohto dobrodružstva.

RNDr. Juraj Tóth, PhD., vedecký pracovník Katedry astronómie, fyziky Zeme a meteorológie Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK v Bratislave. Zaoberá sa malými telesami Slnčnej sústavy. Prednáša Kozmický výskum planét, Planétarnú kozmogóniu a okrem iného aj Vybrané kapitoly z dejín astronómie. Venuje sa aj popularizácii astronómie a astrofyziky.