

JÁN KEPLER

Mária Hajduková

Abstract. The article is about the great German astronomer, mathematician and theologian Johannes Kepler, and about the opinions of the nature of the universe in the time he lived. Kepler's first cosmological visions, his great astronomical discoveries and their contributions to contemporary astronomy, especially celestial mechanics, are presented and explained through his published works. It is very important to realise that, after 2000 years of a geocentric world view, which meant that the known universe was largely identical with the solar system, his work was a great historical success and later allowed scientists to investigate the then unimaginable distances of the universe.

Život veľkého astronóma a matematika, Jána Keplera, ktorý sa zapísal do dejín astronómie nájdením zákonov vyjadrujúcich skutočný pohyb planét okolo Slnka, sa začal v malom nemeckom mestečku Weil der Stadt, teraz nazývanom aj Keplerstadt – Keplerove mesto. Kepler sa tu narodil v roku 1571 vo veľmi skromných, jednoduchých a nepokojných pomeroch v protestantskej rodine, ako najstarší z ôsmich detí Heinricha a Kathariny Kepler. Jeho strýko Simon už malého Johannesu upútal hviezdnu oblohou a s mamou, bylinkárkou, vo svojich šiestich rokoch pozoroval kométu a neskôr i zatmenie Mesiaca. Jeho slabé, chorľavé telo a nešikovné ruky, nevhodné pre prácu na poli, či prácu ťažkých remesiel, podnietilo rodičov svojho syna poslať do škôl.

Keplerove vynikajúce výsledky v latinskej základnej škole a neskôr v kláštornej škole mu umožnili získať štipendium a študovať ďalej na Univerzite v Tübingene. Z domu kresťansky vychovávaný Johannes sa pustil s horlivosťou do štúdia teológie, neskôr matematiky a astronómie. Jeho profesor astronómie, Michael Maestlin (1550 – 1631), na univerzite oficiálne prednášajúci geocentrizmus, bol zástancom Kopernikovej heliocentrickej sústavy, v tom čase ešte zďaleka nie uznávanej, s ktorou svojho nadaného žiaka oboznámil.

Pohľad na vesmír v dobe Keplera

Predstavy o stavbe vesmíru v dobe, keď Kepler pôsobil (16. – 17. storočie, nástup renesancie) pochádzali ešte z čias Aristotela a Ptolemaia a plne zodpovedali starovekej i stredovekej filozofii a teológii.

Aristoteles (384 – 322 pr. Kr.), ktorý ako prvý sformuloval kľúčovú otázku vtedajšej „kozmológie“ prevyšujúcu hranice prírodovedy, a to, či sa Zem pohybuje, či nie, a či je umiestnená v strede vesmíru, či nie, si získal obrovskú autoritu. Aristotelova sústava predstavovala konečný vesmír, v ktorom existoval iba ideálny kruhový pohyb, planéty boli ohraničené sférou hviezd a nepohyblivá Zem bola centrom vesmíru.

Niet divu, že genialita dvoch najvýznamnejších astronómov antické-

ho sveta, Aristarcha zo Samosu (320 - 250 pr. Kr.), ktorý už v treťom storočí pr. Kr. navrhol heliocentrizmus, a Hipparcha z Nikaie (190 - 125 pr. Kr.), ktorý zaviedol predstavu o pohybe planét po excentrických dráhach, bola zadusená zdanlivo neotrasiteľnou správnosťou Aristotelovho učenia.

Svetová sústava Klaudia Ptolemaia (85 - 166 n. l.), ako matematická schéma opisujúca pozorované pohyby nebeských telies (podrobne popísaná v známom diele *Almagest - Veľká stavba*, ktoré zahŕňalo všetky úspechy grécko-helénskej astronómie, alexandrijskej školy, ako aj Aristarchove a Hipparchove objavy), bola geocentrická, bola vnútorne logická a vysvetľovala i nepravidelnosti v (zdanlivom) pohybe Slnka, Mesiaca a planét, a umožňovala určiť ich polohu na nebi. Na svoje obdobie vysvetľovala pozorované pohyby planét veľmi uspokojivo. Neodrážala však skutočnú skladbu vesmíru. I keď Ptolemaios pripustil, že zložitost pozorovaných pohybov planét by sa dala vysvetliť i pohybom samotnej Zeme, t. j. pripustil relatívnosť pohybu, odmietal však porušiť uznávanú kanonickú Aristotelovu fyziku.

Hlavná práca astronómov v týchto dobách spočívala v zostavovaní vždy nových tabuliek pohybu planét. Postupom času totiž tabuľky zastarali, nové pozorovania pomocou presnejších uhlomerných prístrojov nesúhlasili s ich údajmi. Aby sa zladila teória s údajmi pozorovaní, geocentrická sústava sa stále komplikovala, pridávali sa nové sféry do Aristotelovej sústavy, alebo nové epicykle do Ptolemaiovej sústavy (najprv 40, po zdokonalení 80 epicyklov).

Bolo nutné preveriť geocentrickú teóriu obehu planét analýzou jej počiatkov, zbaviť sa nešťastnej tézy Aristotelovskej fyziky, ktorá nepripúšťala otáčanie Zeme, ani jej pohyb v priestore.

Rozhodujúci obrat urobil M. Kopernik (1473 - 1543) vytvorením svojho heliocentrického svetového systému, predloženého v knihe *De revolutionibus orbium coelestium - O pohybe nebeských sfér*. Kopernikov výklad pohybu planét okolo Slnka bol správny z formálneho hľadiska. Nebol však ešte dostatočne podložený pozorovaniami.

Od začiatku pozorovaní hviezdneho neba bolo potrebné vysvetliť podivuhodné dráhy, ktoré vytvárali blúdiace hviezdy - planéty na nebi medzi nehybnými polohami stálic. Bolo potrebné opísať kinematiku pozorovaných javov, akým boli rôzne oblúky, slučky, zastávky a spätný pohyb na zdanlivej dráhe, ako ich vidieť zo Zeme. M. Kopernik oproti Ptolemaiovi z hľadiska matematiky v podstate zmenil iba počiatok súradnicovej sústavy (zo Zeme na Slnko); dráhy ostali kruhové, musel použiť epicykle. Zásadný význam Kopernikovho učenia bol ten, že zapríčinil zvrät v spôsobe myslenia.

Nová epocha v dejinách ľudstva, začiatok renesancie, počas ktorej pôsobil aj Kepler, je spojená s menami mnohých učencov veľkých schopností, vedcov, básnikov a maliarov, smelých zbaviť sa starých tabuizovaných názorov antiky a stredoveku (ako boli napr. aj odvážni cestovatelia Kr. Kolumbus a Vasco de Gama, umelci talianskej renesancie

Leonardo da Vinci, Michelangelo, Tizian, Raffael a ďalší). Významnú úlohu tu zohrala aj vynájdená kníhtlač znamenajúca jednoduché šírenie nových myšlienok a rýchly prílev vedomostí. V tejto dobe, často označovanej aj za úpadok mravov vo svete, sa Kopernikovo a Galileiho učenie stalo v očiach nielen cirkevných predstaviteľov, ale aj univerzitných profesorov, opierajúcich sa o aristotelovskú filozofiu, podozrivým zo šírenia bludu. 2000 rokov učenia geocentrického názoru na svet, ktorý bol zaužívaný, sa zdal byť samozrejmosťou.

Astronomické začiatky

Po ukončení štúdia v Tübingene Kepler odchádza do Rakúska, kde pôsobil ako matematik a astronóm na vysokej škole v Grazi. Tu začína rozpracovávať svoju kozmologickú teóriu, ktorá sa opierala o Kopernikovo učenie. Predmetom jeho bádania boli zákonitosti a číselné závislosti v prírode. Zaujímal sa hlavne o pohyb nebeských telies, matematické vyjadrenia vzdialeností planét od Slnka (poznal relatívne vzdialenosti vyjadrené vo vzdialenosti Zem-Slnko, nie ich absolútnu hodnotu), ich súvis s časom obehu planét, o určenie vzdialenosti sféry hviezd a tým aj polomeru vesmíru. Od Pytagora (580 - 500 pr. Kr.) a jeho následníkov prevzal nielen dobre rozpracovanú geometriu, ale aj ideu harmónie čísel, ktorá sa v prírode nutne musela nachádzať. Hľadal harmóniu v slnečnej sústave.

V knihe *Mysterium Cosmographicum (Tajomstvo vesmíru)*, ktorú vydal v roku 1596, sa pokúsil skonštruovať geometrickú schému slnečnej sústavy, rozmiestnenie planét a ich vzdialeností od Slnka pomocou pravidelných mnohostenov a im vpísaných a opísaných gulí. I keď postup v tomto diele sa hodnotí ako hraničiaci s číselnou mystikou a jeho význam je iba historický, stojí za zmienku, že táto schéma slnečnej sústavy vystihla veľkú medzeru medzi dráhou Marsu a Jupitera (1, s. 344). Kepler upozornil na chýbajúcu planétu v tomto priestore, ale až o 200 rokov neskôr (po objavení fotografie) sa podarilo nájsť prvý asteroid Ceres (G. Piazzi, 1801), pohybujúci sa okolo Slnka v tomto priestore. Dnes ich počet so známou dráhou prevyšuje tisíce. Jeden z nich, asteroid č. 1134 nesie meno Kepler.

Astrológia

Počas svojho pôsobenia v Grazi pracoval Kepler aj na zostavovaní kalendárov, v ktorých predpovedal aj spojitosť medzi nebeskými javmi a pozemskými udalosťami, ako napr. tuhé zimy. Príliv, odliv, príčiny zmien tlaku v atmosfére (tlaková níz, tlaková výš) v dobe Keplera ešte neboli známe, on ich počítal z postavenia Zeme, Mesiaca a Slnka zo zmien uhlov dopadu slnečných lúčov v rôznych ročných obdobiach. Úspešné predpovede mu priniesli veľkú popularitu, stal sa uznávaným astrológom a neskôr sa vypracovávaním horoskopov aj živil. Niektoré sa vyznačovali aj nelichotivými poznámkami, napr. Wallensteinov ho-

roskop (8). Z čias Keplera pochádza slogan: „astrologia, živiteľka astronómie“. Kepler pripisoval lúčom nebeských telies vplyv na počasie, prírodu a ľudí, harmóniu v zmysle hudby. Hudobné tóny pripisoval aj jednotlivým planétam.

Spolupráca s Tycho Brahem

Výhrady proti heliocentrickému Kopernikovmu systému mal aj dánsky astronóm Tycho Brahe (1546 - 1601), s ktorým sa spája ďalšie obdobie v živote Jána Keplera. Tycho Brahe bol najlepší pozorovateľ až do čias, kým sa polohy neurčovali ďalekohľadom a fotograficky. Presnosť jeho pozičných pozorovaní dosahovala 1 oblúkovú minútu. Nemohol však zistiť nijaký zdanlivý paralaktický posun hviezd na oblohe, ktorý by sa mal prejaviť pri pohybe Zeme okolo Slnka. (Z jeho presných pozorovaní vyplývalo, že hviezdy by museli byť viac než 1 000-krát vzdialenejšie ako Slnko; takéto veľké vzdialenosti Tycho Brahe verný aristotelovskej fyzike odmietal a v roku 1588 vytvoril vlastný svetový systém ako kompromis medzi Ptolemaiovským geocentrickým systémom a Kopernikovým heliocentrickým systémom.) Dnes už vieme, že paralaxa najbližšej hviezdy Proxima Centauri je iba 0,762 oblúkových sekúnd (hviezda je vzdialená 1,3 pc; 1 pc = $30,8 \times 10^{12}$ km), čo je 300 000-krát ďalej než naše Slnko), čo Tycho so svojou presnosťou nemohol odmerať.

Tycho Brahe vybudoval pozorovateľňu na ostrove Ven, kde prevádzal svoje pozorovania vyše 20 rokov, kým bol nútený odísť z dôvodu roztržky s dánskym kráľom, ktorý mu prestal dávať prostriedky na udržiavanie observatória a pokračoval v práci v Prahe, na dvore cisára Rudolfa II.

Tam pozval Jána Keplera, uvedomujúc si jeho matematické schopnosti, aby sa stal jeho spolupracovníkom pri pozorovaniach a hlavne pri výpočtoch. Ich spolupráca (od roku 1600) trvala 18 mesiacov a spočívala predovšetkým v príprave nových tabuliek polôh planét pre cisára Rudolfa II, nazvaných po ňom *Tabulae Rudolphinae - Rudolfínske tabuľky*. Tieto astronomické tabuľky obsahujúce polohy hviezd, Slnka, Mesiaca a planét sa podarilo Keplerovi uverejniť až ku koncu svojho života, v roku 1627. Predstavovali nenahraditeľný príspevok do praktickej astronómie (predpovede zatmení Mesiaca, Slnka, prechodov planét popred slnečný disk), pre poľnohospodárov (predpovede záplav), pre moreplavcov (orientácia) a slúžili viac než storočie ako základ výpočtu dráh planét.

Po smrti Tycha Brahe Kepler v práci pokračoval a stal sa dvorným matematikom cisára Rudolfa II., neskôr Matúša I. a Ferdinanda II. Pobyť v Čechách bol pre Keplera pracovne najpriaznivejším a najplodnejším obdobím jeho života. Na základe bohatých a presných pozorovaní Tycha Brahe objavil svoje zákony pohybu planét, a tak potvrdil správnosť heliocentrického systému. Zjednodušila sa celá teória pohybu planét.

Základné prvky matematickej a fyzikálnej práce Keplera

Analýzou pozorovaní Tycha Brahe získal Kepler najviac informácií o pohybe Marsu a hľadal príčiny rozdielov medzi pozorovanými polohami planét a ich polohami vypočítanými podľa Kopernikovej teórie pomocou tzv. Reinholdových tabuliek. Odchýlky od pozorovaných hodnôt boli väčšie než počítané podľa Ptolemaiovej geocentrickej teórie. V prípade Marsu dosahovali aj viac než 1 stupeň. Metóda, ktorú Kepler použil, bola nasledovná: Vybral všetky dvojice pozorovaní polôh Marsu, ktoré sa časovo líšili o obežnú dobu Marsu okolo Slnka (687 dní). Dostal polohy Marsu (smery) na jeho dráhe pozorované z dvoch rôznych bodov zemskej dráhy. Preložením priamok cez príslušnú polohu Zeme a smerov polohy Marsu dostal priesečník priamok, bod, ktorý zodpovedal skutočnej polohe Marsu v priestore. Na základe veľkého počtu takto určených polôh prišiel k neočakávanému poznatku, že Mars sa pohybuje okolo Slnka po celkom jednoduchej elipse. Žiadne kružnice, žiadne epicykle! (3, s. 41)

Keď spracoval pozorovania ďalších planét, sformuloval základné zákony ich pohybu: Planéty obiehajú okolo Slnka po elipsách a Slnko je v ich spoločnom ohnisku (Prvý Keplerov zákon);

Plochy opísané sprievodičmi planét sú za rovnaký čas rovnaké, čo znamená, že rýchlosť planéty na dráhe nie je rovnaká, ale mení sa so vzdialenosťou od Slnka. Najväčšia je v perihéliu, najmenšia v aféliu (Druhý Keplerov zákon).

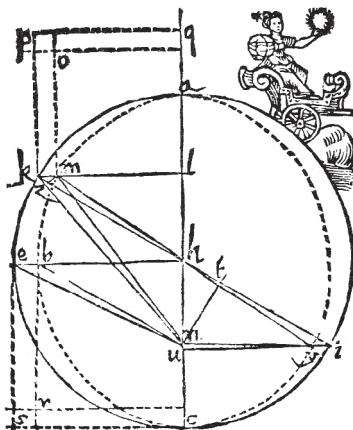
Oba zákony uverejnil v roku 1609 v diele *Astronomia nova* (*Nová astronómia*). Iba na základe veľmi presných pozorovaní, aké získal Tycho Brahe, sa mohol zistiť rozdiel v polohe planét prejavujúci sa v rozdiel medzi kruhovou a eliptickou dráhou.

I keď úloha astronómov bola pozorovať, zapisovať a predpovedať polohy, Kepler začal pátrať aj po príčinách pohybu a neustále uvažoval o sile, ktorá riadi pohyb planét. Poznámky k úvodu už uzavretého spisu *Astronomia nova* odhaľujú fakt, že Kepler vytušil základné prvky gravitačnej teórie. Píše: „Vzájomné telesné pôsobenie medzi príbuznými telesami smeruje k zjednoteniu či spojeniu tak, že Zem viac priťahuje kameň, než kameň Zem...“ (1, s. 343). Podstatu týchto síl však nerozriešil, aj keď už v roku 1621 vyslovil tézu, že „nejaká“ sila – vis vychádzajúca zo Slnka zapríčiňuje pohyb planét (donedávna sa používal pojem zákon živej sily – integrál vis viva). Predpokladal aj to, že príťažlivá sila sa mení nepriamo úmerne so vzdialenosťou, ako aj existenciu odpudzujúcich síl vychádzajúcich zo Slnka a ovplyvňujúcich smer chvostov komét. Kepler prvý raz vysvetlil pozorovanú skutočnosť, že chvosty komét vychádzajú zo strany odvrátenej od Slnka a už vtedy mal názor, že vo vesmíre sa nachádza obrovské množstvo komét (6, s. 89).

Kepler bol so svojimi poznatkami a úvahami už veľmi blízko k nájdeniu gravitačného zákona, chýbala však spojitost pozemskej fyziky a fyziky platnej v slnečnej sústave, ako aj to, že matematické metódy v tom čase používané neboli plne postačujúce. Neskôr v práci *Nova stereo-*

metria dolorium vinariorem (Nová stereometria vínnych sudov, 1615) sice Kepler rozviedol niektoré predpoklady a pojmy diferenciálneho počtu (pomocou ktorých počítal plochy a objemy, tzv. Keplerovo pravidlo sudov, a použil aj pojem nekonečno). Tie však rozvinuli spolu s integrálnym počtom až po objavení gravitačného zákona v druhej polovici 17. storočia Leibniz (1646 - 1716) a Newton (1643 - 1727). Keplerov príspevok k matematike bol aj v rozšírení a použití počítania pomocou Napierom (1614) objavených logaritmov. V roku 1624 uverejnil dielo *Chilias Logarithmorum (O logaritmoch)*.

V roku 1610 sa Kepler dozvedel o novom astronomickom objave, o Galileiho pozorovaní Jupiterových mesačikov pomocou ďalekohľadu, ktorý tiež podporil Kopernikov heliocentrizmus. To ho viedlo k novej oblasti výskumu, ktorú teoreticky rozpracoval a v diele *Dioptrice (Dioptrika)* rozvinul teóriu šošoviek a predstavil konštrukciu ďalekohľadu, známy pod názvom Keplerov ďalekohľad.



*Schéma prvej elipsy vyjadrujúcej pohyb Marsu na dráhe okolo Slnka načrtnutá Keplerom v diele *Astro nomia Nova*.*

Keplerove zákony a nebeská mechanika

Keplerove zákony o pohybe planét, tvare ich dráhy, určení súvislosti medzi rýchlosťou planéty na dráhe a vzdialenosťou, ako aj o vzťahu veľkej polosi dráhy planéty a jej obežnej doby okolo Slnka sa stali základom, z ktorého o niekoľko desaťročí neskôr, po objavení príčin takéhoto pohybu Newtonom formulovaným zákonom všeobecnej gravitácie, vznikla nebeská mechanika.

Keplerove zákony vyplývajú z gravitačnej teórie vo všeobecnejšom tvare, než ich Kepler empiricky odvodil. Sú súčasťou nebeskej mechaniky, hlavne v probléme dvoch telies, ktorý sa nazýva aj keplerovský problém. Pre tri telesá, kde sa uvažuje gravitácia medzi všetkými telesami navzájom, už nie je možné tak jednoducho vyjadriť pohyb a vypočítať dráhu telies. Aj v tomto prípade však počíta keplerovský problém ako prvá aproximácia.

Prvý Keplerov zákon v matematickej podobe je vyjadrený rovnicou kuželosečky: $r = p / (1 + e \cos v)$, kde r je vzdialenosť telesa od ohniska, e číselná excentricita, v je pravá anomália (uhol medzi r a priamkou apsid). Vyplýva z neho, že tvar dráhy vo všeobecnosti môže byť ľubovoľná kuželosečka, nie len jedna z nich, elipsa, ako to odvodil Kepler.

V slnečnej sústave sa všetky telesá pohybujú po uzavretých dráhach - elipsách.

Druhý Keplerov zákon, tzv. zákon plôch, v matematickej formulácii $r^2 d\omega/dt = \text{konšt.}$ hovorí, že plošná rýchlosť je konštantná (ω je uhlová rýchlosť a t je čas). Platí pre ľubovoľné centrálné pole, nie len pre gravitačné.

Až po desiatich rokoch od uverejnenia svojich prvých dvoch zákonov v diele *Harmónia sveta* Kepler sformuloval s konečnou platnosťou tretí zákon pohybu planét: Druhé mocniny obežných dôb planét sú úmerné tretím mocninám veľkých polosí ich dráh.

Tretí Keplerov zákon odvodený z gravitačného zákona, pre pohyb telesa po elipse, má tvar $P^2 = 4\pi^2 a^3 / G(m_1 + m_2)$, kde P je obežná doba, a - veľká polos dráhy, m_1, m_2 hmotnosti. Pre dve planéty, označené 1, 2, obiehajúce okolo Slnka, vychádza $P_1^2/P_2^2 = a_1^3/a_2^3$, tak ako to sformuloval Kepler vo svojom „harmonickom zákone“, t. j. $P^2 = \text{konšt } a^3$.

Tretí Keplerov zákon sa dá použiť na určovanie hmotnosti nielen planét, ale aj hviezd (dvojhviezd pohybujúcich sa okolo spoločného hmotného stredu, ťažiska) a je základom jednej veľmi presnej metódy určovania vzdialenosti hviezd, tzv. dynamickej paralaxy. Herschel (1738 - 1822) zistil už v roku 1803 obch zložiek dvojhviezdy Castor zo súhvezdia Blížencov a z 3. Keplerovho zákona sa určila ich hmotnosť.

Zaujímavú úlohu zohral tretí Keplerov zákon pri určovaní konštant v astronómii, a to gravitačnej konštanty (vo fyzike označovanej κ , v astronómii G , alebo jeho odmocnina, označená k a nazývaná Gaussova gravitačná konštanta). Keď totiž poznáme číselné hodnoty veličín v 3. Keplerovom zákone, možno vypočítať veľkosť konštanty. To urobil Gauss v roku 1800. Použil jednotky hmotnosti, vzdialenosti a času z pohybu Zeme okolo Slnka (nie kilogramy, metre, sekundy) vo vzťahu $k = 2\pi/P(1 + m_1)^{1/2}$ a dostal hodnotu gravitačnej konštanty $k = 0,017202098950$ vyjadrenú v radiánoch. O 100 rokov neskôr Newcomb použil presnejšie hodnoty, hlavne hmotnosti Zeme a Mesiaca, a dostal iné číslo. Ale ak by sa striktne dodržala definícia jednotiek, bolo by nevyhnutné neustále prepočítavanie tabuliek, ktoré závisia od konštanty k vypočítanej s vylepšenými hodnotami jednotiek. Táto nezrovnalosť sa odstránila prijatím numerickej hodnoty k , tak ako ju určil Gauss a prispôbením jednotky vzdialenosti tak, aby bol vzťah (3. Keplerov zákon) vždy splnený. Znamená to zmenu v jednotke veľkej polosí a až na 8. desatinnom mieste. Gaussova gravitačná konštanta k je základnou konštantou v astronómii (5, s. 153).

Kepler a jeho zákony sú známe širokej verejnosti, menej populárna, avšak v astronómii, najmä v nebeskej mechanike, aj dnes nenahraditeľná je **Keplerova rovnica**, nesúca tiež jeho meno. Používa sa pri výpočte dráh nebeských telies alebo pri určovaní efemeríd (predpovedí polohy telesa na sfére, súradnice na sfére pre daný čas). Kepler ju odvodil geometricky pri určení polohy telesa na eliptickej dráhe (poloha na sfére je daná súradnicami r, v , ktoré sa pri obehu s časom menia v súla-

de s 2. Keplerovým zákonom). Na vypočítanie použil geometrické vzťahy vyplývajúce z kružnice opísanej elipse. Zavedená a objasnená bola v Keplerovom diele *Epitome*.

Keplerova rovnica má tvar $M = E - e \sin E$, kde M je stredná anomália, ktorá charakterizuje rovnomerný pohyb po kružnici, a E sa nazýva excentrická anomália, vyjadrujúca (geometricky, nie fyzikálne) nerovnomerný pohyb po kružnici. Je to tzv. transcendentná rovnica, s mnohými metódami jej výpočtu. Jedna z nich je tzv. Newtonova metóda, ktorú zaviedol Isaac Newton.

Už koncom 17. storočia začal prudký rozkvet nebeskej mechaniky, ktorý ovplyvnil ďalší rozvoj nielen astronómie, ale aj matematiky, rozvinul sa diferenciálny a integrálny počet. Väčšina matematikov boli astronómovia a väčšina astronómov matematici. Boli to napr. E. Halley (1656 - 1742), L. Euler (1707 - 1783), J. D. Alambert (1717 - 1783), C. Clairaut (1713 - 1765), L. Lagrange (1736 - 1813), S. Laplace (1749 - 1827), F. Gauss (1777 - 1815), J. Leveriere (1811 - 1877) a ďalší.

Nebeská mechanika umožňovala presne vypočítať dráhy nebeských telies, v tom čase hlavne komét. Zvýšila sa presnosť určených polôh planét, Mesiaca na ľubovoľne dlhý časový úsek dopredu a aj dozadu.

Edmund Halley počítal dráhy komét a predpovedal návrat kométy, ktorá teraz nesie jeho meno. Clairaut spresnil výpočet, zahrnul poruchy od Jupitera a Saturna a na jar roku 1759 sa kométa skutočne vrátila. Bol to veľký úspech astronómie, predpovedať objavenie sa kométy. Ďalší takýto úspech nastal po objavení planéty Urán (Herschel 1781), keď z nepravidielnosti jeho dráhy bola Leverierom a J. Adamsom (1819 - 1892) vypočítaná existencia ďalšej planéty. G. Galle (1812 - 1910) v roku 1846 naozaj našiel planétu presne na teoreticky vypočítanej polohe, líšiace sa iba jeden stupeň. Je to planéta Neptún. Z týchto úspechov nebeskej mechaniky, zrozumiteľných aj obyčajným ľuďom, sa traja výraz „astronomická presnosť“.

Rozvoj astronómie sa urýchlil aj v iných jej oblastiach. Nielen použitie ďalekohľadu, ale zavedenie fotografie, nových metód, umožnilo presnejšie merania. Anglický astronóm J. Bradley (1693 - 1762) pozoroval vlastný pohyb hviezd a objasnil ročnú aberáciu ako dôsledok pohybu Zeme okolo Slnka.

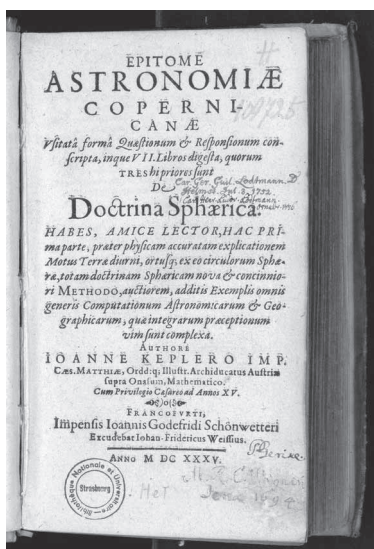
Ale až v roku 1838, viac než 200 rokov po Keplerovej smrti, bola zmeraná prvá paralaxa hviezdy F. Besselom (1784 - 1846) 61 Cygni. Skoro súčasne Stuve (1793 - 1864) zmeral vzdialenosť hviezdy Vegy a Henderson (1798 - 1844) vzdialenosť k nám najbližšej hviezdy alfa Centauri. Tieto vzdialenosti nepredstaviteľne prevýšili odhady veľkosti vesmíru z dôb Keplera.

Harmónia sveta

Svoje životné dielo *Harmónia sveta* (*Harmonices mundi Libri V*) vydal Kepler v roku 1619, v ktorom sformuloval aj svoj tretí zákon po-

hybu planét. Svoje zákony nikdy „zákonmi“ nenazýval, v jeho očiach boli skôr vyjadrením harmónie sveta, ktorú dal svojmu dielu Stvoriteľ. Päť kníh tohto diela pojednáva o pojme „harmónia v matematike“ a o jeho použití v hudbe i v astronómii. Kepler sa snažil ukázať, že vesmír a s ním aj Zem sú harmonické a úplné, pretože sú stvorené Bohom. Keplerove názory v podstate zodpovedali tomu, čo dnes nazývame antropickým princípom. Svet považuje za zrkadlo božských ideí, ktoré vie človek stvorený Bohom spoznávať. Svoj úžas z nájdenej harmónie sveta, ako aj pocit prežívania pri jej odhaľovaní vyjadril slovami: „Cesty, ktorými človek poznáva nebeské diania, mi pripadajú práve tak obdivuhodné, ako ich podstata sama“ (1, s. 209).

Pojem harmónie v hudobnom význame zobral doslovne a prisúdil každej planéte určitú melódiu na základe jej excentricity a rýchlosti pohybu okolo Slnka.



Prvá moderná učebnica astronómie – najobsiahlejšie dielo Keplera – *Epitome astronomice Copernicanae libri I – VII*, v ktorom opísal všetky nové astronomické poznatky vrátane zákonov pohybu planét, sa dostalo ihneď po vydaní na index zakázaných kníh.

Táto harmónia oslovila okrem iných aj skladateľa Paula Hindemitha, ktorý v roku 1957 zhudobnil život a učenie Jána Keplera v opere „Die Harmonie der Welt – Harmónia sveta“ (7).

V rokoch 1618 až 1622 opísal Kepler všetky nové astronomické poznatky vrátane zákonov pohybu planét, názory na stavbu vesmíru a jeho rozmery vo svojom najobsiahlejšom diele *Epitome astronomice Copernicanae libri I – VII* (*Skrátený výklad Kopernikovej astronómie známy pod názvom Epitome*), ktoré sa hneď dostalo na index zakázaných kníh. Kniha sa považovala za najvýznamnejší výklad astronómie od čias *Almagestu*. Stala sa prvou modernou učebnicou astronómie.

Posledným uverejneným Kepleroým dielom (až v roku 1634), ktoré pochádza ešte z jeho pražského obdobia, bol utopistický román *Somnium seu astronomia lunaris* (*Sen alebo astronómia Mesiaca*), označovaný za prvý science fiction. Kepler tu názorne ukázal, ako pozorovateľ z Mesiaca bude mať dojem, že je na

– 54 – telese, ktoré nehybne stojí uprostred vesmíru, a na vlastné oči uvidí, ako sa Zem nazvaná Venera otáča, čo bola v podstate názornou obhajobou heliocentrizmu (1, s. 346).

Jeden z kráterov na Mesiaci nesie Keplerovo meno, i keď tento fakt pravdepodobne nesúvisí s uvedeným dielom.

Kepler a Betlehemska hviezda

Kepler, ktorý ako 25-ročný pozoroval supernovu, neskôr nazvanú aj Keplerova hviezda, napísal v roku 1611 spis *De Stella nova (O novej hviezde)*, v ktorom vyslovil názor, že betlehemska hviezda mohla byť vtedajšia nova. To sa síce nepotvrdilo, ale Kepler poukázal aj na inú možnosť. V roku 1615 vo svojej „*Správe o roku Kristovho narodenia*“ píše o konjunkcii Jupitera a Saturna, ktorú spätne prepočítal a vyšiel mu rok 7 pr. n. l., čo sa neskôr historickými bádaniami potvrdilo ako rok Kristovho narodenia. Išlo dokonca o tri konjunkcie Saturnu a Jupitera v tom istom roku, ktoré nastali v máji, septembri a decembri roku 7 pred našim letopočtom. (Podobné veľké konjunkcie v súhvezdí Rýb boli len v rokoch 786 a 1583.)

Je to najpravdepodobnejšie vysvetlenie Betlehemskej hviezdy. Podľa D. Hughesa (4, s. 28) je dobové svedectvo o trojitej konjunkcii Jupitera a Saturna v súhvezdí Rýb, ako aj jeho význam, tak doložené a jednoznačné, že vylučuje všetky ostatné astronomické hypotézy o Betlehemskej hviezde.

Stále otvorená ostáva však otázka: Existuje medzi astronomickou udalosťou, konjunkciou planét z roku 7 pr. n. l. a historickou udalosťou – narodením Ježiša Krista v tom istom roku, príčinná súvislosť? Alebo je to iba zhoda okolností? (2, s 179)

Meral nebo...

Je obdivuhodné, aké obsiahle a dokonalé je Keplerovo dielo. Obdivoval krásu a harmóniu sveta i napriek tomu, že jeho osobný život bol plný bolesti a utrpenia. Počas prvého manželstva dostával ranu za ranou, postupne mu zomreli tri z piatich detí, ako aj jeho 37-ročná manželka Barbara. Ani druhé manželstvo so Susanne Reutlingen nebolo ušetrené bolesti, úmrtie postihlo štyri zo šiestich detí. Sám bol chorľavý a slabý, ako štvorročný prekonal kiahne, čo mu spôsobilo trvalé poruchy zraku. Sebakriticky a s dávkou humoru to neskôr hodnotil slovami: „K pozorovaniu mám chabý zrak, na mechanické veci nešikovné ruky, k domácim a politickým záležitostiam mám zvláštnu povahu, cholerickú, k neustálemu vysedávaniu mám slabé telo, a to aj vtedy, keď som zdravý. Často vstávam a prechádzam sa...“ (1, s. 343).

Otca stratil ešte počas svojich študentských čias. Starosti mu spôsoboval aj jeho mladší brat Heinrich, o ktorého rodinu sa Ján Kepler taktiež staral. Svoju matku, obvinenú v roku 1615 z bosoráctva sám obhajoval, no napriek úspešnej obhajobe a jej prepusteniu, ktoré dosiahol v roku 1626, na následky mučenia o rok neskôr zomrela.

Ján Kepler bol vedcom, ktorý dopodrobna opísal každý krok svojej

práce, vrátane omylov. Z jeho početných spisov sa dozvedáme mnoho aj o jeho živote, aj o tom, ako astronóm tých čias žil.

Kepler sa celý život nachádzal i so svojou rodinou vo finančnej tiesni, a to aj v časoch, keď pracoval ako cisárov matematik a astronóm. Dokonca sa musel i ponížiť k vymáhaniu dlhov od cisára, ktorý mu za jeho prácu neplatil dohodnutú sumu. Pri opätovných žiadostiach o finančné vyrovnanie, ktoré predkladal na náležité miesta, kam osobne cestoval, Kepler úspešný nebol. Na jednej zo svojich ciest, do Regensburgu, ďaleko od svojej rodiny, osamotene, vyčerpaný a vo vysokej horúčke, vo veku 59 rokov Ján Kepler zomiera (7, 8).

Keplerov vesmír mal veľkosť asi 8-násobok vzdialenosti poslednej vtedy známej planéty, Saturna, končil tenkou sférou stálic, za ktorou podľa Keplera nebolo nič. Neprenikol ďalej. Ale jeho zákony ďalej prenikli, až do celého dnes známeho vesmíru. Dvojhviezdy sa pohybujú okolo hmotného streda jeho zákonov, vzdialenosti sa určujú pomocou jeho zákonov a naše vedomosti o vesmíre stále rozširujeme pomocou pozorovaní z vesmírnych teleskopov, družíc, satelitov, letov na Mesiac, ku kométam, asteroidom, ktoré sa mohli uskutočniť iba vďaka rozvoju nebeskej mechaniky, pri zrode ktorej stál Kepler.

Epilóg

Je potrebné uvedomiť si, že dnes je to iba 400 rokov od uznania heliocentrickej sústavy a že to bol historický úspech, po 2 000-ročnom uznávanom, neotrasiteľnom a nedotknuteľnom Aristotelovskom nazeraní na svet (z hľadiska pozorovateľa na Zemi úplne prirodzenom), ukázať nielen skutočnú stavbu slnečnej sústavy, ale položením základov nebeskej mechaniky aj umožniť výskum ďaleko za jej hranice, až do nepredstaviteľných vzdialeností hviezdneho vesmíru.

Literatúra

1. GRYGAR, J., HORSKÝ, Z., MAYER, P. Vesmír. Praha. Vyd. Mladá fronta. 1979.
2. HAJDUK, A. Boží vesmír. Trnava. Vyd. Spolku svätého Vojtecha. 2009.
3. HAJDUK, A., ŠTOHL, J. Encyklopédia astronómie. Bratislava. Vyd. Obzor. 1979.
4. HUGHES, D. The Star of Bethlehem Mystery. An Astronomers Confirmation. London. Dent et Sons. 1979.
5. MOULTON, F.R. An Introduction to Celestial Mechanics. New York. The Macmillan Company. 1959.
6. PEREL, J. G. Vývin predstáv o vesmíre. Bratislava. Vyd. Osveta. 1960.
7. www.unet.univie.ac.at
8. www.kepler-archiv.de