

Mikuláš Koperník v současné výuce astronomie na základních a středních školách

Vladimír Štefl, Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, MU Brno

V roce 2002 v nakladatelství Prometheus vyšla knížka Mikuláš Koperník [1]. Následující článek ukazuje, jak lze její obsah využít ve výuce na základních a středních školách. Do fyzikální výuky vybereme textové ukázky z Koperníkových děl – **Malého komentáře** a **Oběhů**, ve kterých můžeme demonstrovat jeho názory jak astronomické, tak i osobní lidské.

Přibližně kolem roku 1508 Koperník sepsal a rozeslal svým přátelům po Evropě dílo s úplným názvem **Nicolai Copernici de hypothesibus motuum caelestium a se constitutis commentariolus**, česky **Mikuláše Koperníka malý komentář o jím vypracovaných hypotézách nebeských pohybů**, pro které se u nás vžil zkrácený název **Commentariolus - Malý komentář**.

Tato několikastránková rozprava uváděla sedm stručných principů heliocentrismu, v nichž se Koperník přidržoval výkladu pohybů planet prostřednictvím skládání rovnoměrných kruhových pohybů, obdobně jak to činila starořecká astronomie.

1. Není jednoho bodu, který by byl středem všech nebeských drah nebo sfér.
2. Střed Země není středem světa, je pouze středem tíže a středem měsíční dráhy.
3. Všechny sféry obíhají kolem Slunce jako svého středu, proto je Slunce položeno v blízkosti středu světa.
4. Vzdálenost Země od Slunce je nepatrná ve srovnání s velikostí nebeské klenby. Změna polohy pozorovatele, způsobená ročním pohybem Země kolem Slunce, působí zdánlivé posouvání hvězd. Je však příliš malá vzhledem k nesmírné vzdálenosti nebeské klenby, aby takový pohyb mohl být pozorován.
5. Všechny pohyby, které pozorujeme na hvězdné obloze, vznikají z pohybu Země. To totiž ona spolu s nejbližšími živly – vodou a vzduchem – se otáčí denně kolem nehybných pólů. Hvězdná obloha je nepohyblivá.
6. Vše, co se zdá být pohybem Slunce, nepochází z jeho pohybu, ale z pohybu Země a její sféry. Země obíhá kolem Slunce tak jako každá jiná planeta. Země vykonává zároveň několik různých pohybů.
7. Přímý i zpětný pohyb planet není jejich vlastním pohybem, ale klamem vznikajícím při pohybu Země. Její pohyb dostačuje k výkladu mnoha jevů na obloze.

Již při psaní **Malého komentáře** Koperník uvažoval o sepsání systematického výkladu heliocentrické teorie, opírajícího se o astronomická měření a jejich matematické zpracování. Zamýšlenou velkou knihou se stal spis s plným názvem **Nicolai Copernici Torinensis De Revolutionibus Orbium coelestium Libri sex (Mikuláše Koperníka Toruňského šest knih o obězích nebeských sfér)**, který vyšel v roce 1543. Titulní strana rukopisu se nezachovala, je velmi pravděpodobné, že Koperník spis nazval kratším způsobem, například **De Revolutionibus sphaerarum mundi**, respektive pouze **De Revolutionibus**.

Dnes používaný název **De Revolutionibus Orbium coelestium**, česky **O obězích nebeských sfér**, pochází od vydavatele. Jak asi chápal název Koperník a jak by ho vložila současná astronomie? Již pojem **De Revolutionibus**, polsky **O obrotach**, česky **O obězích**, zasluhuje detailnější rozbor. Termín oběhy, který je snad nejvíce blízký tomu, jak jej chápal Koperník, v sobě zahrnuje jak rotační pohyb tělesa kolem osy, tak i postupný kruhový pohyb hmotného bodu kolem určitého středu. V mechanice Koperníkovy doby nebyly tyto pojmy

* stefl@astro.sci.muni.cz

definovány, tím spíše rozlišovány. Rovněž i druhý pojem *orbium* vyžaduje zpřesnění. V textu díla Koperník píše *orbis vel sphaera*, tedy svět nebo sféra, termín *orbis* chápe jako *sféru*. Z další ukázky „*orbis, quibus sidera feruntur errantia*“, česky „*sféry, kterými jsou planety nesené*“, je zřejmé, že planeta je sférou v jeho konstrukci unášena.

V předmluvě díla Koperník vysvětlil vznik heliocentrické teorie a předvídá názorovou revoluci: „*Zajisté s určitostí mohu počítat s tím, Svaty Otče, že někteří, jakmile se doslechnou, že jsem v těchto knihách, které jsem napsal o obězích sfér světa, přisoudil Zemi některé pohyby, ihned strhnou pokřik, že si zasloužím, abych byl pro takovou domněnku rázně umlčen. Nejsm totiž zdaleka natolik zahleděn do svých názorů, abych pečlivě nevážil, co o nich budou soudit jiní...*“

Jednu ze základních myšlenek své teorie, řečeno současnou terminologií, kinematický princip relativity, popisuje Koperník následujícím způsobem: „*A tak já při tom uspořádání pohybů, které Zemi dále ve svém díle připisuji, jsem konečně po mnohém a dlouhém pozorování shledal, že jestliže se pohyby ostatních planet přenesou na oběh Země a to se stane základem pro oběh kterékoli planety, nejen že tak vyjdou jejich zdánlivé pohyby, ale i pořadí a velikosti všech planet a sfér a celé nebe se tak dokonale navzájem propojí, že v žádné jeho části není možno cokoli přemísťit, aniž by se uvedly v nepořádek všechny ostatní části a celý svět.*“

Dále Koperník uvádí: „*všechna změna místa totiž, která se jeví, se děje buď proto, že se pohybuje pozorovaná věc nebo pozorovatel, nebo že se různým způsobem pohybují oba.*“

Důležitý názor na přitažlivost, v Koperníkově interpretaci na tíhu, formuluje takto: „*Myslím, že tíha není nic jiného, než jakési přirozené úsilí částí se shlukovat, které jim dala božská prozřetelnost tvůrce světa, aby se seskupováním do tvaru koule spojovaly do své jednoty a úplnosti. Můžeme věřit, že tuto vlastnost mají jak Slunce, tak Měsíc a ostatní planety, takže jejich působením zůstávají ve sférickém tvaru a uskutečňují přitom různé kruhové pohyby.*“ U Koperníka je tíha určitá snaha přírody, přičemž ji chápal nejenom na Zemi, ale také na Slunci, Měsíci i planetách. K zobecnující myšlence, že všechna tělesa se vzájemně přitahují, však nedospěl.

Významným byl pro Koperníka **argument estetický**, vyzdvihující harmonii heliocentrického celku i jednotlivých částí: „*Avšak uprostřed všech spočívá Slunce. Vždyť kdo by v tomto překrásném chrámu vložil tuto svítilnu do jiného a lepšího místa, než odkud by zároveň všechno mohla osvětlovat? Jistě nikoliv nevhodně někteří nazývají Slunce lucernou světa, jiní jeho myslí, jiní jeho vládcem. ... Shledáváme tedy v tomto uspořádání podivuhodnou symetrii světa a pravé harmonické spojení pohybu sfér s jejich velikostí, jaké žádným jiným způsobem nemůže být nalezeno.*“

Stručně shrnutu složité pozorované přímé a zpětné pohyby planet objasnil jako výsledek skládání dvou skutečných pohybů, planety a Země po jejich drahách kolem Slunce. Denní pohyb kosmických těles po obloze interpretoval jako rotaci Země kolem vlastní osy. Roční pohyb Slunce po ekliptice pokládal za zdánlivý, vyvolaný skutečným pohybem Země v prostoru kolem Slunce.

Jako astronom se Koperník zamýšlel nad nenalezením paralaktických posuvů hvězd, což komentoval slovy: „*Přestože poloměr zemské dráhy je velký, přesto je nicotně malý ve srovnání se vzdáleností nehybných hvězd.*“ Uvědomoval si, že tehdejší přesnost pozorování lidským okem, zhruba 5', nedovolovala stanovení malých paralax.

Hlavní pracovním nástrojem Koperníka bylo lidské oko a primitivní přístroje, které si sám zhotovil. Z toho důvodu nám zřejmě Koperník zanechal přesné popisy svých observačních přístrojů v *Obězích*. Prvním a nejjednodušším používaným přístrojem byl **paralaktický instrument, tzv. trikvetrum**. Skládal se ze tří dlouhých latí, z nichž svíslá zavěšená na stojanovém sloupu byla otáčecí. Lat'-rameno byla dlouhá 1,6 m, centrální sloup měl výšku 2,5 m. Paralaktický přístroj sloužil k určování paralaxy Měsíce a tedy vzdálenosti Měsíce od Země a dále k určování vzdálenosti hvězd od zenitu. Přesnost měření odhadujeme na 5'.

Pro určování výšky Slunce, zeměpisné šířky a úhlu sklonu ekliptiky užíval Koperník **ptolemaiovský kvadrant**. Napříč vodorovnou cihlovou plošinou – pavimentem – probíhal

kovový poledník pevně do ní zasazený. Na tento pás se upevňoval a zaměřoval v poledníkovém směru tzv. sluneční kvadrant. Skládal se z větší čtvercové desky o výšce 1,7 m, z mědi či mosazi, na kterou byla vyryta úhlová stupnice od 0 do 90 stupňů, každý stupeň byl dále ještě rozdělen na šest dílků. Do středního bodu této stupnice byl zasazen sloupek, čímž vznikl gnómon, obdoba slunečních hodin. Gnómonový sloupek ukazoval svým stínem výšku Slunce v poledne, což umožňovalo Koperníkovi stanovit zeměpisnou šířku např. Fromborku, jakož i sklon ekliptiky vzhledem k rovníku, přesnost přístroje dosahovala zhruba 5'.

Nejsložitějším používaným pozorovacím přístrojem Koperníka byl **astroláb**, který umožňoval pozorování objektů na obloze v libovolné poloze a měření úhlové vzdálenosti dvou objektů. Jednalo se o **armilární sféru** s vizíry pro pozorování, otvory v kovových destičkách zasazených na pohyblivou lištu. Skládal se z šesti soustředných dřevěných kruhů – obručí – opatřených úhlovými měřítky a průzory. Každý z kruhů odpovídal určitému kruhu nebeské sféry, například jeden odpovídal ekliptice, tudíž tak bylo možné určovat ekliptikální délku, případně i šířku. Průměr největšího kruhu byl 0,7 m. Určování souřadnic hvězd tímto přístrojem bylo nepřesné, přesnost odhadujeme na asi 10'.

Koperník byl pečlivým pozorovatelem, jeho pozorovací program však spíše doplňoval údaje starších astronomů, rozsáhlejší soubory pozorování nezískal. Na druhé straně si však byl vědom významu pozorování, což v rukopise Oběhů charakterizoval takto: „*Kdo chce sledovat pomocí číselných výpočtů charakter pohybu a rotací, říká nezávislá nic.*“

Výsledkem přijetí heliocentrismu bylo zavedení pojmu **siderické oběžné doby planety** a stanovení její hodnoty ze synodické oběžné doby určené z pozorování a ze známé siderické oběžné doby Země. Ještě významnější bylo **stanovení relativních vzdáleností planet od Slunce, vyjádřených v jednotkách vzdálenosti Země–Slunce**. Celkově heliocentrická teorie zmenšila téměř dvojnásobně chyby efemerid planet v důsledku upřesnění siderických oběžných dob planet a pohybu Slunce. Avšak chyby spojené s odchylkami tvarů drah zůstaly.

Pro zařazení do výuky na základní a střední škole lze použít následující úlohy:

1. Určete poloměr dráhy Venuše, vyjádřený v jednotkách vzdálenosti Země–Slunce, jestliže víme, že u vnitřní planety Venuše Koperník stanovil z pozorování maximální elongaci $\varphi_e = 46^\circ$. Naleznete rovněž poloměr dráhy vnější planety Marsu, u které Koperník zjistil, že nastává kvadratura Z_2M_2 průměrně 106 dní po opozici Z_1M_1 . Při znalosti siderické oběžné doby Země 365 dní a Marsu 687 dní znal střední úhlový pohyb obou planet: Země za 106 dní urazila úhel $\alpha = 104,5^\circ$, Mars úhel $\beta = 55,5^\circ$. Využijte obrázek na str. 41 v [1].

Řešení: V prvním případě $r = \sin \varphi_e \cdot r_{ZS} = 0,72 \cdot r_{ZS}$,

$$\text{v druhém } r = \frac{1}{\cos(\alpha - \beta)} = \frac{1}{\cos 49^\circ} = 1,52 \cdot r_{ZS}.$$

2. V jedné z věží opevněného kláštera ve Fromborku je dnes zavěšeno Foucaultovo kyvadlo s délkou závěsu 28 m a hmotností kyvadla 46,5 kg, demonstrující i Koperníkem hláсанou rotaci Země kolem vlastní osy. Zjištěná doba úplné otočky roviny kmitu kyvadla o 360°

činí zhruba $T = 29 \text{ h } 27 \text{ min}$. Pomocí vztahu $T = \frac{T_p}{\sin \varphi}$, kde $T_p = 23 \text{ h } 56 \text{ min}$ lze ověřit,

že Koperník správně určil astronomickým měřením pomocí ptolemaiovského kvadrantu zeměpisnou šířku Fromborku $\varphi = 54^\circ 21' 34''$.

Literatura:

- [1] Štefl V.: *Mikuláš Koperník*. Prometheus, Praha 2002.
- [2] Koperník M.: *Oběhy nebeských sfér*. Veda, Bratislava 1974.