O obězích nebeských sfér

Až na sklonku života publikoval polský astronom Mikuláš Koperník dílo *O obězích nebeských sfér* (*De revolutionibus orbium coelestium*), které připravoval několik desetiletí. Dílo vyšlo v roce 1543 v Norimberku a svou vytištěnou knihu spatřil Koperník až na smrtelné posteli. Je ale velmi pravděpodobné, že dílo už nevnímal, protože ztratil paměť a byl ochrnut.

Podporou Mikulášovi Koperníkvi v publikování jeho slavného díla byl německý matematik, geograf a učitel **GEORG JOACHIM DE PORRIS** (známý také jako **RHAETICUS**) (1514 - 1574). Poté, co musel opustit Lipsko, odešel do Prahy studovat medicínu. Pak se usadil v Krakově, kde se věnoval medicíně a astronomii. V květnu 1539 se vrátil z Fromborku, kde strávil dva roky s Koperníkem a podporoval ho v publikování jeho stěžejního díla. V září téhož roku přijíždí do Gdaňsku, aby navštívil starostu, který mu poskytl finanční podporu na vydání vlastního díla *De libris revolutionum Copernici narratio prima*, ve kterém shrnul základní myšlenky z připravovaného velkého Koperníkova díla. Tento abstrakt byl publikován v Gdaňsku v roce 1540. V srpnu roku 1541 prezentuje své dílo *Mapa Pruska a sousedících zemí* pruskému vévodovi Albrechtovi. Vévoda chtěl znát přesnou dobu východu Slunce, a proto mu Rhaeticus vyrobil přístroj, který mu to měl umožňovat. Na oplátku získal vévodův slib, že bude publikovat Koperníkovy *Oběhy*. Vévoda žádá Rheaticuse, aby se vrátil zpět na univerzitu; Rheaticus se na universitu ve Wittenbergu vrací v říjnu roku 1541. V květnu roku 1542 cestuje do Norimberku, aby dohlédl na vydání Koperníkova díla. Musel ale převzít pozici v Lipsku, a proto byl na pozici redaktora Koperníkových *Oběhů* jmenován Ondřej Osiander.

O tom, že jeho dílo může být zdrojem řady problémů svědčí už to, že sám Koperník dílo věnoval samotnému papeži Pavlu III. s odvoláním na jeho vzdělání a toleranci. Opatrný redaktor Ondřej Osiander (teolog působící v Norimberku a později v Královci) pak sepsal předmluvu, ve které proti vůli autora zdůraznil, že heliocentrická soustava je pouhou domněnkou, která může, ale také nemusí, být pravdivá. A přitom Koperníkovo dílo bylo podloženo důkazy v podobě pozorování! Možná bylo s rukopisem před tiskem manipulováno - např. místo s odvoláním na řeckého astronoma Aristarcha je přeškrtnuto. Rukopis Koperníkovy knihy se stal 16. 2. 1614 vlastnictvím **JANA AMOSE KOMENSKÉHO** (1592 - 1670), který jej koupil. Byl patrně přesvědčen o jeho velkém významu, ačkoliv sám byl zastáncem geocentrického modelu. Později se rukopis objevil v knihovně českého šlechtického roku Nosticů a v roce 1953 byl Československou republikou vrácen zpět do Polska.

Církev Koperníkovo dílo zpočátku nijak neodsuzovala a to patrně z několika důvodů:

1. díky předmluvě Ondřeje Osiandera se na dílo pohlíželo jako na sbírku domněnek, které tedy nemohly škodit;
2. dílo bylo věnováno papeži;
3. dílo bylo po odborné stránce na velmi vysoké úrovni.

Nicméně 6. 3. 1616 bylo dílo zařazeno na církevní index škodlivých, nebezpečných a tedy i zakázaných knih. Proti Koperníkovu dílu vystoupili jak teologové, tak i vědci. Mezi prvními byl kromě jiných současník Koperníka, zakladatel německé a evropské reformace **MARTIN LUTHER** (1483 - 1546). Koperníkovo dílo kritizoval i Tycho Brahe, který nemohl nalézt paralaxy hvězd. Tak by totiž definitivně potvrdil heliocentrický model tím, že se Země vůči hvězdám pohybuje. Vzhledem k tomu, že Koperník velmi pečlivě rozpracoval kinematiku pohybů planet, pokusil se Brahe najít jakýsi kompromis mezi geocentrickým modelem (jehož byl sám zastánce) a heliocentrickým modelem. Z indexu zakázaných knih bylo Koperníkovo dílo vyškrtnuto až v roce 1828.

Koperníkův spis tvoří šest knih. První kniha obsahuje popis heliocentrického modelu, podle kterého Země a ostatní planety obíhají kolem Slunce po kruhových trajektoriích. Toto tvrzení ale Koperník nemohl dokázat pomocí dat získaných z pozorování. V první knize jsou vlastně uvedeny jen

hlavní myšlenky z *Malého komentáře* a ty jsou pak v dalších knihách důkladně rozebírány. Kniha obsahuje také matematické věty z rovinné trigonometrie a sférické trigonometrie, které při řešení používá. Tyto věty zde uvádí Koperník i s důkazy. V celém díle je patrná inspirace Eukleidovými *Základy*.

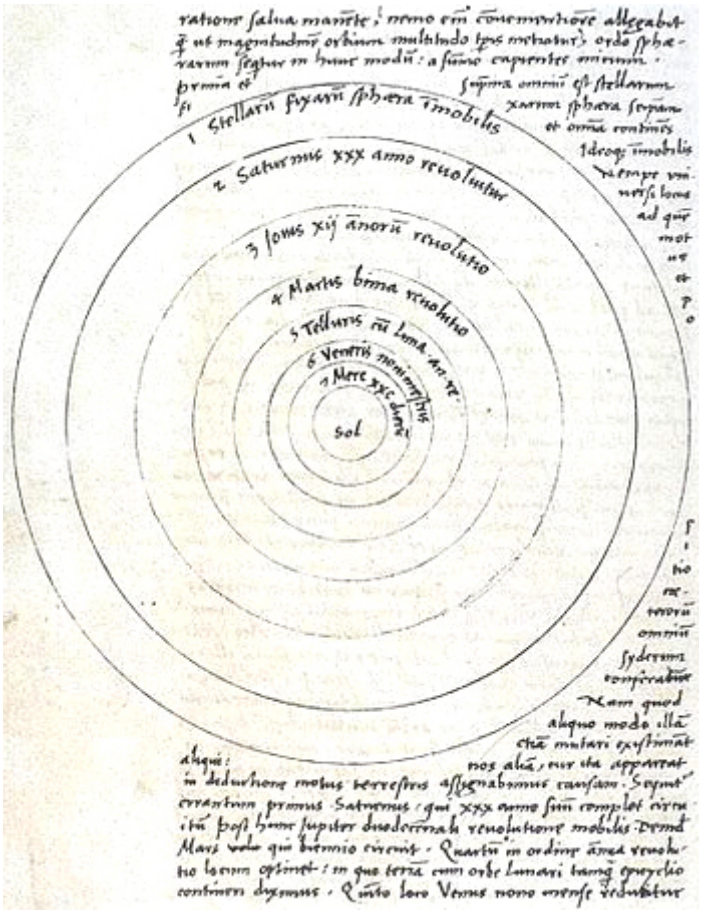
První kniha sestává z těchto kapitol:

1. O tom, že svět je kulatý.
2. O tom, že také Země je kulatá.
3. O tom, jak Země s vodou tvoří jedinou kouli.
4. O tom, že pohyb nebeských těles je rovnoměrný, kruhový, nepřetržitý anebo složený z kruhových pohybů.
5. O tom, zda se Země pohybuje kruhovým pohybem, a o jejím místě.
6. O nesmírné velikosti nebe vzhledem k velikosti Země.
7. Proč se staří domnívali, že Země leží nehybně ve středu světa jako jeho centrum.
8. Řešení předložených důvodů a jejich nedostatečnost.
9. Zda je možné Zemi přisoudit více pohybů a o středu světa.
10. O pořadí nebeských sfér.
11. Důkaz o trojnásobném pohybu Země.
12. O přímkách, které jsou tětivami kruhu.
13. O stranách a úhlech přímostranných rovinných trojúhelníků.
14. O sférických trojúhelnících.

Kapitoly 12 až 14 měly původně tvořit samostatnou druhou knihu, který by obsahovala pomocný matematický aparát. Tato část vyšla odděleně ještě před publikací celého výsledného díla v roce 1542 ve Wittenbergu pod názvem *De lateribus et angulis triangulorum, tum planorum rectilineorum, tum sphaericorum* (*O stranách úhlech rovinných přímosranných a sférických trojúhelníků*). O vydání publikace se postaral Rhaeticus.

Podstatná je desátá kapitola první knihy, v niž je popsán nový heliocentrický model světa (viz obr. 111). Polohu Slunce ve středu trajektorií planet Koperník nijak nezdůvodňuje - bere jí jako výchozí předpoklad. Ve srovnání s Ptolemaiovým geocentrickým modelem, je Koperníkův model zvětšen. Toto zvětšení je dáno pozorováním, na základě kterých Koperník své dílo sepsal; využil jak svá vlastní pozorování, tak pozorování Hipparcha, Aristarcha, … Tím, že se Země v Koperníkově modelu pohybuje, bylo nutné nějak potlačit pohyb hvězd. Ten se v modelu s pohybující se Zemí musel nutně objevit, ale přitom pohyb hvězd není ze Země prakticky pozorován.

Důvodem toho, že ze Země nepozorujeme pohyb hvězd, je jejich velká vzdálenost od Země (resp. malá paralaxa). Proto bylo nutné model zvětšit tak, aby pohyb hvězd nebyl ze Země opravdu pozorován.



Obr. 111

Koperník popisuje Zemi tak, že koná tři pohyby:

1. pohyb kolem své osy, tzv. denní pohyb, který se projevuje střídáním dne a noci;
2. roční pohyb, tj. pohyb, který vykonává sféra Měsíce (střed sféry Měsíce a střed Země splývají); tento pohyb trvá jeden rok;
3. pohyb sklonu zemské osy - precese jarního bodu je známa už od antického astronoma Hipparcha; podle Koperníka je důsledkem složeného pohybu Země kolem Slunce a pohybu sklonu zemské osy fakt, že zemská osa zachovává během svého pohybu stálý směr vzhledem ke hvězdám.

Ač se těmito pohyby, které podle něj koná Země, Koperník velmi přiblížil skutečnosti a současně dramaticky překonal své předchůdce, není precesní pohyb popsaný Koperníkem správný. Koperník tento pohyb zavedl z logické nutnosti; na správné vysvětlení precese bylo nutné ještě několik století počkat. V žádném případě si precesní pohyb nespojoval s tím, že Země představuje vlastně obrovský bezmomentový setrvačník - otázky po příčinách jevů si v té době vědci ještě nekladli.

První kniha končí odvoláním se na své předchůdce s tím, že si jejich úsilí velmi váží, protože velmi pravděpodobně věděli víc, než se v jejich spisech zachovalo. Také chtěl zdůraznit, že myšlenka heliocentrické soustavy se objevila poprvé již u Pythagorejců.

Schéma zobrazené na obr. 111 je velmi zjednodušené a velmi často citované jako ukázka Koperníkova modelu světa. Ve skutečnosti ale jeho model obsahoval 48 kružnic, kterými Koperník popisoval svůj model Sluneční soustavy. Dále musel při dalších preciznějších výpočtech umístit Slunce mimo střed sféry Země - jinak nebyl schopen dopočítat nerovnoměrnosti pohybu Země a dalších planet při jejich oběžích kolem Slunce.

V dalších knihách pak Koperník rozebírá denní pohyb oblohy a uvádí polohy a jasnost 1025 hvězd, u kterých z velké části zachoval i klasifikaci zavedenou Ptolemaiem v *Almagestu*. Pro stanovení polohy hvězd používá ekliptikální souřadnice. Současně zkoumá precesi zemské osy a pohyb jarního bodu, zkoumá též pohyb Měsíce a pohyb planet. Jeho model je jednodušší

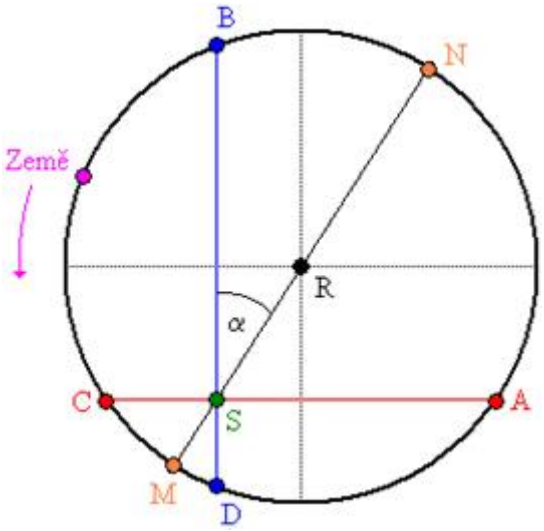
a elegantnější než Ptolemaiův model, ale Koperník zřejmě nebyl dlouho s přesností svojí hypotézy spokojen; možná i proto váhal s jejím uveřejněním. Typické pozorované kličky planet na obloze dokázal vysvětlit tím, že pohybující se planety pozorujeme ze Země, která se sama pohybuje. Tím, že ale stále uvažoval pohyb planet po kruhových trajektoriích, musel připustit pohyb planet kolem středu zemské trajektorie, která se sama pohybuje kolem excentricky umístěného Slunce. Relativně složitý pohyb Měsíce popisoval kombinací několika kruhových pohybů. V Koperníkově díle jsou také uvedeny poměrně přesně relativní vzdálenosti planet od Slunce, i když absolutní vzdálenost Slunce od Země podcenil přibližně 20krát.

Paralaxa hvězd, která vyplývala z pohybu Země vzhledem ke hvězdám a kterou se nepodařilo změřit, byla až do konce 16. století silným argumentem odpůrců heliocentrického modelu. Až práce, které provedli a sepsali Tycho Brahe a Johannes Kepler, prokázaly, že paralaxa hvězd se pohybuje v řádu desetin úhlových vteřin. A proto byla dříve s tehdy dostupnými prostředky (např. Jakobova hůl) neměřitelná.

Koperník se také velmi pečlivě zabývá měřením sklonu ekliptiky k rovině rovníku a dospívá ke správným hodnotám (přibližně $23,5°$).

Zkoumání precesního pohybu Země přivedlo Koperníka patrně k jeho největšímu objevu vůbec: stáčení **přímky apsid**, tj. přímky, která prochází perihéliem a aféliem zemské trajektorie. Situace je zobrazená na obr. 112:

1. bod *R* je střed kružnice, po které se pohybuje Země;
2. v bodě *S* se nachází Slunce;
3. bod *A* představuje polohu Země, v níž nastává jarní rovnodennost;
4. bod *B* označuje polohu Země při letním slunovratu;
5. bod *C* označuje polohu Země při podzimní rovnodennosti;
6. bod *D* označuje polohu Země při zimním slunovratu;
7. bod *M* označuje polohu Země v perihéliu;
8. bod *N* označuje polohu Země v aféliu.



Obr. 112

Konfigurace zobrazená na obr. 112 odpovídá situaci z dob Ptolemaiova měření - přímka apsid (přímka *MN*) byla odkloněna od spojnice slunovratů přibližně o $24,5°$ proti pohybu Země. V době, kdy prováděl měření Koperník, byla přímka apsid odkloněna od spojnice Slunovratů o $6°40'$ ve směru pohybu Země. V současné době je přímka apsid již $13°$ za letním slunovratem. Přímka apsid se tak ve skutečnosti zpožďuje vzhledem k tropickému roku o přibližně 15 minut. Před 700 lety tak procházela přímka apsid slunovraty. Slunce Koperník umísťoval do vzdálenosti rovné jedné čtyřiadvacetině poloměru sféry Země od jejího středu.

Pohyb Země kolem Slunce souvisí také s kalendářem. V té době se připravovala reforma kalendáře, které se ovšem Koperník odmítal zúčastnit. Tvrdil, že pracovat na reformě kalendáře je předčasné, když neznáme přesně dobu trvání tropického roku. Paradoxně ale on sám tuto hodnotu znal velmi přesně. Ve svém díle dokonce odlišuje tropický rok a hvězdný rok (siderický rok).

Ve druhé knize *Oběhů* také popisuje astronomické jevy spojené s polohou Slunce v takových zeměpisných oblastech, které jsou vzájemně odděleny polárními kruhy a obratníky.

Zabýval se také detailně Měsícem. Opravil nedostatky Ptolemaiova modelu, podle kterých by se výrazně měnil úhlový průměr Měsíce při pozorování ze Země. Koperníkem vypočtené vzdálenosti Měsíce od Země v různých fázích Měsíce nejsou sice zcela přesné, ale jsou výrazně přesnější, než hodnoty plynoucí z Ptolemaiova modelu.

Velmi přesně určil doby oběhů planet kolem Slunce. A to nejen vnitřních planet Sluneční soustavy, které se pohybují relativně rychle a tedy chyba určení doby oběhu bude malá, ale také Jupiteru a Saturnu. Jejich oběžné doby jsou přitom přibližně 12 let a 30 let; a zvláště určení periody oběhu 30 let během přibližně stejné doby, po které Koperník na svém modelu pracoval, není jednoduché. Nicméně i zde využíval Koperník stará pozorování a na základě nich pak mohl charakteristiky trajektorií planet dopočítat. Bohužel neměl pro popis všech planet jednotné schéma - téměř každá planeta měla svůj vlastní systém kružnic, po kterých se pohybovala a který zaručoval shodu modelu s pozorováním.

Šestá kniha jeho díla je pak věnována prostorovému pohybu planet. Planety se totiž nepohybují kolem Slunce v jedné rovině, ale roviny jejich trajektorií svírají s rovinou ekliptiky různé úhly. Měl-li být jeho model správný, musel Koperník vysvětlit také tento typ pohybu. Bohužel se mu nepodařilo spojit oba pohyby (rovinný pohyb kolem Slunce a pohyb vzhledem k rovině ekliptiky) do jediného schématu. Proto uvedené dva pohyby odlišuje a pro pohyb vzhledem k rovině ekliptiky zavádí další systém kružnic. Touto částí svého modelu si je sám Koperník nejméně jistý!

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.