

MIKULÁŠ KOPERNÍK

I. a II. díl

Vydáno u příležitosti 500. výročí
narození M. Koperníka

48 obrazů

Autoři:

Prof. Oldřich Hlad

PhDr. Zdeněk Horský, C.Sc.

Prom.soc. Pavel Najser

Ing. Antonín Růkl

Výtvarnice:

Božena Šimková

Fotograf:

Václav Chochola

Vyrobil:

KRÁTKÝ FILM PRAHA

D i a f i l m

149-73-n

Obraz 1 - Koperníkův portrét, považovaný
za nejautentičtější

Mikuláš Koperník, polský astronom a všestranný vědec, se narodil v polské Toruni 19. února 1473, zemřel ve Fromborku 24. května 1543.

Od jeho narození uplynulo v letošním roce právě půl tisíciletí. Přesto jeho vědecké dědictví je stále živé - naopak, s odstupem doby stále zřetelněji vyniká, že málo kdo dal rozvoji vědy tak podstatný impuls a málokdo zasáhl tak pronikavým způsobem do samých základů našich představ o světě, jako právě Mikuláš Koperník.

Úkolem tohoto pásma je postihnout aspoň v hlavních rysech podstatu Koperníkova objevu a jeho základní vliv na vývoj vědy.

Obraz 2 - Sluneční soustava

Sluneční soustava, jak ji zná novověk, se liší od starověkých představ a dokonce i od představ Koperníkovy. - Centrální gravitační síla působící mezi Sluncem a planetami i mezi planetami navzájem, řídí pohyby těles přirozených i umělých po keplerovských kuželosečkách, převážně elipsách. Planety, měsíce planet, komety, meteory i planetky svými pohyby dosvědčují pravdu díla Koperníkova, Keplerova i Newtonova. Jejich myšlenky přispěly více než cokoli jiného v mnohatisícileté historii přírodních věd k poznání podstaty světa a k vytvoření správného názoru na vesmír.

Cesta k poznání sluneční soustavy i ostatního vesmíru nebyla jednoduchá a snadná. Na počátku vývoje novodobé astronomie a fyziky byli Koperník

a Kepler. Jejich dílem končí období starověkých představ a začíná astronomický novověk.

Obraz 3 - Stonehenge - prehistorická astronomická observatoř

Sledování pohybů nebeských těles patří bezesporu k nejstarším oborům lidské rozumové činnosti. Archeologické nálezy nám dokazují, že počátky astronomie sahají hluboko do prehistorické doby.

Potřeby určování času a orientace v přírodě patřily od pradávna k existenčním nezbytnostem každodenního života. Klíčem k řešení těchto problémů byly záhadné, leč pravidelně se opakující pohyby těles na obloze. Neschopnost pochopit pravou podstatu těchto jevů vyústila ve víru v nadpřirozené síly a náboženské uctívání.

Velkého rozmachu dosáhla stronomie ve velkých civilizacích starověku. Stále větší nároky na přesnost kalendáře a potřeba orientovat se na pouštích, stepích a na moři vedly k systematickému astronomickému pozorování.

Astronomům starověké Číny, Egypta, Mezopotámie, Indie a o mnoho století později i astronomům indiánských států ve Střední a Jižní Americe, se podařilo poměrně přesně určit řadu základních period, rovin a jejich vzájemných sklonů. K výkladu vesmíru jako celku však ještě nedospěli.

I na evropské půdě máme konkrétní důkazy o pravěkých staronomických pozorováních. Na snímku je Stonehenge - obrovská kamenná astronomická observatoř z neolitické doby stará téměř 3500 let.

Tato nesmírně důmyslná stavba, budovaná po tři století, sloužila jako gigantický kalendář, umožňovala však určovat a předpovídat řadu dalších astronomických úkazů (např. zatmění) a dodnes není jasné, zda tato skutečnost byla stavitelům a uživatelům observatoře známa.

Obraz 4 - Schéma Filolaovy soustavy

Antická astronomie je od svých počátků charakterizována snahou o postihnutí skutečného prostorového uspořádání vesmíru. První představy o podstatě, rozměrech a uspořádání světa v řecké vědě jsou z dnešního hlediska velmi primitivní. Velkým pokrokem však je skutečnost, že první řečtí materialisté se zbavili mýtů a jejich výklady jsou prosty nadpřirozených božských sil.

Osobitým a v mnohém pokrokovým byl pro kosmologii přínos stoupenců pythagorovské školy. V úvahách o modelu vesmíru se u těchto myslitelů objevují názory o kulatosti Země, rotaci Země a konečně i o pohybu Země po kruhové dráze. Tato tvrzení postrádala ještě jakýkoliv fyzikální podklad a byla výsledkem spíše idealistických filosofických spekulací spojených s matematickou mystikou. Na pokrokové myšlenky pythagorovců však o 2000 let později vědomě navazoval Mikuláš Koperník.

Velmi kuriózní a svérázný model vesmíru se zachoval od pythagorovce Filolaa. Středem světa není Země ani Slunce, ale centrální oheň, kolem něhož obíhají všechna známá nebeská tělesa. Aby však docílil ideálního počtu deseti oběžnic, přidal Filolaos hypotetické těleso, tzv. Protizemi, které krouží kolem centrálního ohně v nejvnitřnější dráze a nemůže být se Země obíhající v dráze následu-

dující nikdy spatřena, stejně jako ohnivé centrum, neboť Země je obydlena pouze na jedné polokouli, od Protizemě a centrálního ohně stále odvrácené.

Obraz 5 - Aristarchova měření vzájemných velikostí a vzdáleností Měsíce, Slunce a Země

V helénistickém období antické vědy pronikly do astronomie exaktní metody zkoumání. Nové konstrukce přístrojů umožňovaly přesnější pozorování a důmyslné aplikace geometrických postupů nahradily dřívější spekulativní úvahy.

Ve 3.stol.př.n.l. se podařilo Aristarchovi důvtipnou geometrickou úvahou určit vzájemné poměry vzdáleností a velikostí Země, Měsíce a Slunce. I když výsledky jsou z dnešního hlediska numericky nesprávné, znamenaly pro astronomii obrovský krok vpřed.

Je jednoduchou a logicky naprosto správnou úvahou došel Aristarchos ke zjištění, že v době měsíční čtvrti tvoří polohy Země, Slunce a Měsíce pravouhlý trojúhelník. Po změření úhlu β mezi Měsícem a Sluncem lze pak určit i poměrnou délku stran tohoto trojúhelníka a tím i poměrné vzdálenosti obou těles od Země. Vzhledem k tomu, že zdánlivý průměr Měsíce a Slunce na obloze je přibližně shodný, usoudil správně Aristarchos, že ve stejném poměru, v jakém jsou vzdálenosti, jsou i velikosti Slunce a Měsíce. Aristarchos však určil úhel β nepřesně, což velmi ovlivnilo výsledky jeho měření.

Výsledky tohoto měření použil Aristarchos i pro výpočet vzájemných poměrných velikostí Slunce, Měsíce a Země. Vyšel z pozorování úplného zatmění

Měsíce a shledal, že průměr zemského stínu ve vzdálenosti Měsíce je roven zhruba dvojnásobku měsíčního průměru. Z předchozích výpočtů znal poměrné vzdálenosti a velikosti Měsíce a Slunce a mohl tedy z podobných trojúhelníků snadno určit poměrné velikosti všech tří těles.

Přestože výsledky Aristarchova měření jsou značně chybné a podceněné, ukázaly, že rozměry vesmíru jsou podstatně větší, než se dosud předpokládalo.

Aristarchos je též autorem prvního heliocentrického systému, který je principiálně totožný se soustavou Koperníkovou. Aristarchův heliocentrický systém se však v antické astronomii neujal a na své znovuzrození čekal dalších 17 století.

Obraz 6 - Pohyb po epicyklu

Složité dráhy planet na obloze, zejména zpětné pohyby se smyčkami a změny v jejich jasnostech, vynutily si po zavržení Aristarchova heliocentrismu kvalitativně novou teorii, která by byla schopna postihnout všechny tyto zvláštnosti pohybů nebeských těles.

Zhruba ve 3. stol. př. n. l. vznikla komalogická teorie excentrů a epicyklů. Základními stavebními kameny této teorie, kterou matematicky rozpracoval Apollonios z Pergy, bylo již z dřívějších úvah známé skládání rovnoměrných kruhových pohybů.

Nejjednodušší je kombinace dvou kruhů, které se otáčejí stejným směrem. Kružnice d se nazývá deferent a kružnice e epicykl. Země je ve středu deferentu a planeta na obvodu epicyklu. Střed epi-

cyklu se pohybuje rovnoměrně po kružnici deferentu a planeta se pohybuje rovnoměrně po kružnici epicyklu.

Výsledná dráha planety pak vykazuje změny vzdálenosti od středu deferentu a zároveň tvoří smyčky se zpětnými pohyby planety. Různými směry a rychlostmi otáčení a dále vhodně volenými velikostmi pomocných kružnic lze velmi dobře napodobit pohyby planet na obloze. Tyto skutečnosti byly astronomům již ve 2. stol. př. n.l. dobře známy, zbývalo však ještě vybudovat z popsaných prvků ucelenou kosmologickou teorii, která by byla modelem celého známého vesmíru.

Obraz 7 - Ptolemaiova soustava

Posledním plodem a zároveň dovršením antické astronomie je dílo alexandrijského astronoma Claudia Ptolemaia ve 2. stol. n.l.

Jeho hlavní dílo nazvané "Velká skladba" obsahovalo skutečně shrnutí a zdokonalení astronomických poznatků celé antiky, včetně pozorovacích přístrojů, katalogů hvězd, potřebných matematických výpočtů a hlavně dokonale propracované teorie planetární soustavy na geocentrickém základě. V pozdější době se pro název Ptolemaiova díla vžila arabská zkratka Almagest.

Podle Ptolemaia je středem vesmíru nehybná Země. Kolem ní se pohybují planety v pořadí Měsíc, Merkur, Venuše, Slunce, Mars, Jupiter a Saturn. Celý vesmír je pak ohraničen sférou stálic.

Ptolemaios použil pro svůj model planetární soustavy teorie epicyklů, kterou však zdokona-

lil přidáním dalšího pomocného kruhu, tzv. ekvantu, který mu umožňoval ještě více se přiblížit keplerovským elipsám, objeveným o jedno a půl tisíciletí později. Systém se tak stal ještě komplikovanější a tím pro budoucnost i nejpravděpodobný.

Podle Ptolemaia se celý vesmír otočí jednou za den kolem Země, planety se pak posunují vlastními pohyby proti směru tohoto denního pohybu. Planety se pohybují po epicyklu a deferentu, Měsíc a Slunce pouze po kružnicích. Vzhledem k tomu, že Venuše a Merkur se na obloze vzdalují vždy jen o určitý úhel od Slunce, umístil Ptolemaios středy jejich epicyklů na spojnici Země-Slunce.

Schéma Ptolemaiova systému na obrázku je značně zjednodušené. Celá soustava obsahovala ještě řadu dalších kruhů, pomocí nichž vysvětloval Ptolemaios všechny známé nerovnosti v pohybech planet, včetně jejich pohybu v šířce.

Ptolemaiova soustava byla velmi složitým, leč dokonalým systémem na nesprávném základě, který však umožňoval s poměrně velkou přesností vypočítat polohy planet i předpovědi zatmění do budoucnosti.

Obraz 8 - Ulugbekova hvězdárna v Samarkandu

Po úpadku antické vzdělanosti nastává ve vývoji astronomie dlouhá mezera.

V raném středověku navázala na antické astronomické dědictví arabská věda, která vycházela zejména z díla Ptolemaiova a Aristotelova.

V arabských vědeckých centrech, jakým byl např. v 8. a 9. století Bagdád, pracovaly celé skupiny astronomů na zdokonalení Ptolemaiovy soustavy a výsledky jejich pozorování skutečně předčily výsledky antické.

Rozvoj arabské astronomie prvního tisíciletí zasáhl až k národům střední Asie. Vynikající vědci těchto zemí, jakými byli např. Al Biruni a známý tádžický básník a vědec Omar Chajjám, se však neomezili na zpřesňování Ptolemaiova systému, ale došli k polemice o správnosti podstaty tohoto modelu vesmíru.

Vrcholem arabské astronomie byl bezesporu vznik a práce samarkandské observatoře v první polovině 15. století. Uzbecký vládce Samarkandu Ulugbek založil zde vynikající astronomickou školu a vybavil ji na svou dobu skvělými pozorovacími přístroji, jejichž obrovské rozměry umožňovaly takovou přesnost pozorování, která nebyla do té doby dosažena. Obrovitý sextant Ulugbekovy hvězdárny, který je na snímku, měl poloměr více než 40 metrů.

Výsledkem činnosti uzbecké observatoře byly vynikající tabulky pro výpočet pohybů planet a katalog více než 1000 hvězd. Kvalita těchto děl byla tak vysoká, že přesnějších výsledků bylo dosaženo až v 2. polovině 16. stol. v měření Tychona Brahe.

Po zavraždění Ulugbeka byla samarkandská hvězdárna pobořena a astronomická škola zanikla.

Obraz 9 - Alfonsinské tabulky

V raném středověku se vývoj astronomie v Evropě značně opozdil za rozvojem arabské vědy.

Teprve ve 13.století vznikla v Toledu za vlády kastilského krále Alfonse X. křesťanská astronomická škola, která navazovala na výsledky arabské astronomie a zprostředkovala jejich rozšíření v Evropě. Výsledkem činnosti toledské školy mělo být přezkoumání dosavadních astronomických spisů a revize výkladu pohybů planet.

Mimořádnou pozornost si zaslouží tabulky vypracované toledskými astronomy, po panovníku zvané alfonsinské. Tyto tabulky, které jsou největším dílem této astronomické školy, sloužily pro výpočet pohybu planet a proti starším pozorováním obsahovaly některá zlepšení. Vycházely z Ptolemaiova geocentrického systému a po postupném rozšíření se hojně používaly až do vydání tabulek vycházejících z Koperníkova heliocentrického systému.

Na snímku jsou efemeridy, v podstatě středověká hvězdářská ročenka, vypracovaná pro 7 planet bratrem Křížem z Telče v r. 1488 podle alfonsinských tabulek, která je majetkem Universitní knihovny v Praze.

Obraz 10 - Krakov na konci 15.století

Mezitím v Evropě narůstá význam měst. Ve městech se rozvíjí výroba a kvete obchod. Měšťanstvo nabývá na politické moci, měštští synkové získávají přístup k vzdělání, ke kultuře a umění.

Ve městech a pro městskou mládež vznikají školy. Obchodní spojení mezi jednotlivými městy bylo zároveň cestou pro kulturní a vědecké styky. Právě ve městech byl domovem jeden z největších vynálezů této doby - knihtisk a jedním z artiklů, jímž se také obchodovalo, byly knihy.

Města byla také sídlem nejvyšších vědeckých institucí této doby - universit. Jednou z nejstarších ve střední Evropě je universita v Krakově, založená r. 1364, tedy velmi krátce po založení vůbec nejstarší university ve střední Evropě v Praze 1348. Snad vůbec nejvýznamnějším žákem krakovské university měl v blízké budoucnosti být práce Mikuláš Koperník.

Krakov byl jedním z nejvýznamnějších měst této části Evropy. Jako sídelní město polského krále vynikal i leskem dvora a bohatým kulturním životem.

Obraz 11 - Koperníkův rodný dům v Toruni

Neméně významné město však byla i tehdejší Toruň. Na rozdíl od Krakova se sice přímo nepodílela na ruchu královského dvora, ale o to více vynikala čilým obchodem. Řeka Visla jako dopravní a tím i obchodní tepna ji spojovala s mořem a tedy i s celým tehdejším světem. Proto mohla být obchodním centrem a snad právě proto se sem z Krakova přistěhoval obchodník Mikuláš Koperník, astronomův otec. Byl to známý a zámožný kupec, který zbohatl zejména při obchodu s mědí a četnými obchodními styky s přístavním městem Gdaňskem. Měl i značný veřejný vliv, byl soudním přísedícím v Toruni a nemálo se angažoval v akcích Polska proti náporům Řádu německých rytířů.

Jeho manželka Barbara pocházela z toruňského patri-
cijského rodu Watzenrode. Zejména její bratr Lukáš
aspiroval na nejvyšší funkce. V jednom z toruňských
domů kupce Mikuláše Koperníka, který je na obrázku,
v dřívější ulici sv. Anny č. 17 - dnes Koperníkově
ulici, se dne 19. února 1473 narodil druhý syn, nej-
mladší ze čtyř dětí. Po otci dostal jméno Mikuláš.
Odtud vyšel do světa ten, který zastavil Slunce a
nebe a pohmul Zemí.

Obraz 12 - Collegium maius Jagellonské university
v Krakově

Jako typický syn tehdejší zámožné kupecké
rodiny musel být nejprve dobře vzdělán, aby byl
připraven pro své životní úkoly. Avšak po smrti
kupce Mikuláše Koperníka vzdělání i kariéru budou-
cího astronoma usměrňoval především jeho strýc
Lukáš Watzenrode, který mezitím získal významné
místo kanovníka varmijské kapituly a později do-
konce i funkci varmijského biskupa. Místo kanov-
níka dávalo zabezpečení pro celý život. Když po-
znal nadání Mikuláše Koperníka i jeho staršího
bratra Ondřeje, rozhodl se, že pro oba rovněž vy-
může kanovnícká místa. Očekával, že tak získá ve
své kapitule oporu pro svoji pozici a své věrné
stoupence.

První cesta obou bratrů vedla na krakov-
skou universitu. Zde, v Collegiu maius, byli při-
jati mezi universitní posluchače a na této uni-
versitě ztrávil M. Koperník nejméně 4 roky - od r.
1491 do r. 1495.

Podle strýcovy vůle se měl soustředit především k přípravě na studium práv. Avšak přirozené nadání vedlo Mikuláše Koperníka velmi brzo k astronomii. V tomto oboru mohl získat na krakovské universitě velmi mnoho. Krakovská astronomická škola se honosila jmény významných profesorů: Nejvýznamnější byl Vojtěch z Brudzeva, pod jehož vedením Mikuláš Koperník pravděpodobně určitou dobu studoval. Byli zde dále i Vojtěch ze Šamotul, Jan z Gogova a Martin z Olkusza. Prostřednictvím posledního z nich sem zasahovala i tradice tzv. vídeňské školy, reprezentované největšími astronomy před Koperníkem: Purbachem a Regiomontanem.

Obraz 13 - Zvláštní postavení Slunce mezi planetami

Zasahovaly sem však i ohlasy světových myšlenkových proudů, především z vlasti renesance - z Itálie. Zvláště vlivné byly v tomto ohledu renesanční ohlasy starověké Platónovy filosofie, zdůrazňující roli Slunce ve vesmíru. Spisek "O slunci" od předního italského filosofa tehdejší doby Marsilia Ficina, překladatele Platónových spisů, byl znám i v Krakově.

Kromě toho i předcházející stará astronomie, která počítala s tím, že Země je nehybným středem světa, znala skutečnost, že všechny planety jakýmsi podivuhodným způsobem respektují pohyb Slunce. Merkur a Venuše se od něho nikdy příliš nevzdalují, u Saturnu, Jupiteru a Marsu zase záhadné kličky v jejich pohybu mezi hvězdami bezprostředně závisejí na postavení těchto planet ke Slunci. Strídání měsíčních fází - úplňku, novu a čtvrtí - závisí přímo na postavení Měsíce ke Slunci. Proto i v této astronomii bylo Slunce považováno za jakéhosi vládce planet. Ta-

to myšlenka našla i několikrát výtvarné vyjádření, jako např. na tomto dřevorytu, kde je Slunce zobrazeno jako král se svým heraldickým zvířetem - lvem, a na otěžích drží všech šest ostatních planet. Tento dřevoryt se opakoval v několika publikacích z počáteční doby knihtisku, je např. i ve spisech známého astronoma Petra Apiana.

Pod dojmem všech těchto názorů a především pod přímým vlivem přísné kritičnosti krakovské astronomie Mikuláš Koperník pravděpodobně již za studií v Krakově zapochyboval o správnosti tehdy všeobecně platné Ptolemaiovy soustavy.

Obraz 14 - Bologna na přelomu 15. a 16. století

Pobytem na krakovské universitě však Koperníkovo studium zdaleka nemělo končit. Jeho vlivný strýc Watzenrode, který mezitím pro něho i pro jeho bratra vymohl místa varmijských kanovníků, doporučil oběma mladíkům další studium práv v Itálii. Cílem byla nejprve Bologna, tehdy obrovské a významné město, kde Mikuláš Koperník studoval téměř pět let (1496-1501). Ač boloňská právnická škola měla vynikající pověst, přece i zde poutala Koperníkův hlavní zájem astronomie. Byl žákem a spolupracovníkem profesora Domenico de Novara, pocházejícího z Ferrary. Spolu s ním konal i základní pozorování.

Když v jubilejním roce 1500 Koperník navštívil na delší čas Řím, byl již považován za významného astronoma.

Obraz 15 - Lékařství v renesanci

Jako kanovník byl teď Koperník vyslán na

studia do Itálie svou kapitulou. Kapitula naléhala, aby se její kanovník vrátil. Koperník měl naopak zájem co nejvíce vytěžit z možnosti studovat v Itálii. Když v r. 1501 se nakrátko vrátil do Varmie, podařilo se rozšířit své úkoly o studium medicíny, neboť kapitula odhadovala, že bude potřebovat lékaře. Koperník rád uposlechl a hned se vrátil do Itálie.

Studium lékařství bylo v této době jedním z nejpodnětnějších. Právě v tomto oboru byly poprvé prosazovány experimentální metody, právě zde nejprve pronikly moderní požadavky, že nestačí pouze suché knižní vědomosti, ale že je třeba zkoumat, pitvat, zkoušet a zobecňovat nové poznatky.

Obraz 16 - Padova

Medicínu Koperník studoval v Padově, kde byla věhlasná lékařská škola. Ale vědecký život byl v tomto universitním městě mnohem rozsáhlejší a pravděpodobně právě zde se Koperník setkal s nejostřejšími kritickými hlasy proti staré scholastické vědě a proti středověké nadvládě aristotelismu. Za svých studií Koperník plně dozrál ve všestrannou typicky renesanční vědeckou osobnost.

Svůj studijní pobyt v Itálii Koperník ukončil v r. 1503. 31.května toho roku složil na universitě ve Ferrare přísné doktorské zkoušky a byl prohlášen doktorem kanovníckého práva. Bezprostředně potom se vrátil do vlasti a pak již do konce života neopustil severní Polsko.

Obraz 17 - Mořeplavba

V tu dobu si už zřejmě vytyčil úkol pracovat na

základech nové planetární soustavy. Kromě všeobecných filosofických důvodů působily v tu dobu i zcela praktické příčiny k tomu, aby se zájem stále víc soustřeďoval k prozkoumání přesného pohybu planet. Koperník sám uváděl, že mu šlo o prozkoumání otázky kalendářní reformy. Ta se tehdy počítávala velmi naléhavě a skutečně byla provedena v r. 1582 s podstatným přihlédnutím ke Koperníkovým výsledkům. Druhou, daleko mocněji působící silou byl obrovský rozvoj mořeplavby. Od Kolumbova objevu se evropské loďstvo stále více vydávalo na cestu přes oceán. Teď však mnohem naléhavěji bylo třeba určovat polohu lodí i nově objevených zemí, určovat jejich zeměpisné souřadnice. To nebylo možné jinak než astronomicky a zeměpisnou délku nemohli tehdy vůbec určovat jinak než pomocí některé z planet. Proto bylo třeba znát jejich pohyby přesně.

I na lodích byly používány astronomické přístroje, především astroláby.

Obraz 18 - Astroláb

Habermelův astroláb z konce 16.století je jeden z nejpřesnějších a také nejkrásnějších přístrojů tohoto druhu (přístroj je uložen v Oxfordském historickém muzeu v Anglii).

Astroláby sloužily jednak k přímému měření výšek nebeských těles nad obzorem a dále k nejruznějším astronomickým a astrologickým výpočtům. K měření sloužilo otočné záměrné pravítko s průzory a úhломěrná stupnice na obvodu astrolábu. Během měření byl přístroj volně zavěšen a většinou byl pouze držen v ruce, takže přesnost měření byla nevalná.

Na ploše astrolábu byla nakreslena souřadnicová síť a těsně nad ní se otáčela jemná kovová mříž s četnými hroty, které představovaly hvězdy. Tak bylo možno natáčením mříže určovat polohy hvězd nad obzorem. Na stejném principu jsou konstruovány současně otáčivé mapy hvězdné oblohy.

Vysoký stupeň dokonalosti řemeslné práce, demonstrováný na této ukázce, současně naznačuje i kvalitativní pokrok v konstrukci astronomických přístrojů. S přesnými kovovými přístroji dosahoval Tycho Brahe desetkrát větší přesnosti, než Koperník s jednoduchými dřevěnými přístroji.

Nemůžeme přehlédnout, že jednou z příčin zájmu o pohyb planet byla i astrologie, která právě v této době dosahovala největšího rozšíření. Nikdo z nás nepochybuje dnes o tom, že astrologie je pavědou, která nemá s vědeckým poznáním přírody nic společného. Přesto na přelomu 15. a 16. stol. nebyla její historická úloha neblahá. Renesance ji chápala jako pokus spojit lidské osudy s přírodním děním. Záležet mělo především na postavení planet v okamžiku narození toho kterého člověka. Proto byl takový zájem znát pohyby planet přesně, aby je bylo možno odvodit z tabulek i tehdy, když je den či když je zamračeno a planety nelze pozorovat přímo. Aby byly výpočty usnadněny, pronikla četná astrologická data i na astroláby.

Obraz 19 - Královské a řádové Prusy v době Koperníkově

Koperník se narodil v Královských Prusích v Toruni, kam se jeho rodina přestěhovala z Krakova, sídelního města polských králů. Celé území Královských

Prus, do něhož od severovýchodu zasahovalo území Řádu německých rytířů, podléhalo polskému králi. Jeho jednotlivé části spravovali lenní vládci světští nebo církevní.

V severovýchodní části Královských Prus leží Warmie. Některé části tohoto kraje - zejména Frombork, Lidzbark (tehdy Heilsberk) a Olštých s okolím patřily warmijské kapitule, jejímž kanovníkem byl i Koperník. Je tedy přirozené, že většinu svého života pobýval Koperník zde, na území tak exponovaném v bojích s Řádem. Žil zde od svých třiatřiceti let a velmi se exponoval pro polské zájmy. V roce 1521 byl králem Zikmundem jmenován komisařem Warmie.

Z jeho působení v kapitule nutno připomenout významné práce národohospodářské a činnost diplomatickou. Vykonával též povinnosti kapitulního lékaře a jistou dobu byl pověřen správou a obranou hradu Olštýna.

Ve Warmii, hlavně ve Fromborku, napsal svoji knihu "De revolutionibus" ("O pohybech") a konal astronomická pozorování.

Obraz 20 - Koperníkův pobyt v Itálii

Ve svých třiatřiceti letech je Koperník zvolen členem warmijské kapituly a ta ho vysílá na studia do Itálie, centra tehdejší evropské vědy a kultury. Cíl byl jasný: měl studovat práva a medicínu - ve prospěch kapituly i svůj. Během desetiletého pobytu v Itálii studoval Koperník i astronomii a co hlavní - byl ovlivněn humanismem.

Cestu vykonal dvakrát. V roce 1496 do Boloně a někdy v období 1500/01 zpět do Fromborku. Roku 1501 byl vyslán do Itálie znovu, aby dokončil studia práv ve Ferrare a studoval medicínu v Padově. Roku 1500 byl v Římě na oslavách jubilejního roku.

Není známo, kudy Koperník do Itálie jel, zda a kde se na našem území ubytoval. Je jisté, že musel přejíždět území dnešní ČSSR.

Obraz 21 - Frombork, pozdně středověká rytina

Frombork, sídlo varmijské kapituly, Koperníkovo působiště pro celý další život, kromě několika delších či kratších pobytů v některém z jiných center kapitulního panství. Frombork je malé rybářské městečko na pobřeží Baltu. Zdá se zcela ztracené a odlehle od živého kulturního a vědeckého kvasu v tehdejší jižní, západní a střední Evropě. To, co zde v tuto dobu nepoprávalo lidem klidu, bylo střetávání polských a německých zájmů. Německé reprezentoval výbojný Řád německých rytířů, který měl hlavní sídlo v nedalekém Malborku, kapitula a často jako její hlavní reprezentant v této věci právě Mikuláš Koperník, hájili polská práva. A přece právě v tomto prostředí se Mikuláš Koperník soustřeďuje k svému epochálnímu dílu, často i vzdor neporozumění kolegů z kapituly.

Obraz 22 - Koperníkova věž ve Fromborku

Traduje se, že v této věži, která je součástí opevnění fromborské kapituly, konal Koperník svá astronomická pozorování. Novější výzkumy však naznačují, že Koperník pravděpodobně konal pozorování vně

hradeb kapituly na zvlášť upravené plošině. Ne-li tedy v této věži, pak aspoň v její blízkosti stávaly Koperníkovy mohutné dřevěné přístroje, ať již to budilo obdiv či odpor jeho kolegů a představených.

Obraz 23 - Pamětní deska varmijských biskupů

Dodnes je před fromborskou katedrálou pamětní deska varmijských biskupů. Tři z nich velmi podstatně zasáhli do Koperníkova života: Lukáš Watzenrode, jeho strýc, který ho podporoval ve studiích a vybojoval pro něho doživotní zajištění kanovníka, ale také ho využíval pro své diplomatické a mocenské zájmy.

Koperníkův nejbližší přítel Tidman Giese, který jej nabádal, aby neohroženě vydal své stěžejní dílo a Jan Dantyszek, dřívější Koperníkův přítel, později ve funkci biskupa typický církevní hodnostář a pokrytec, který v mnohém ztrpčoval Koperníkova poslední léta.

Obraz 24 - Koperníkovy astrometrické přístroje:

kvadrant a astrolabium

Ve Fromborku byly zřejmě instalovány i Koperníkovy astrometrické přístroje. Následující dva obrázky ukazují dřevěné kopie přístrojů, které Koperník popisuje v "De Revolutionibus". Koperník převzal tyto popisy s malými úpravami z Ptolemaiova "Almagestu" a není zcela jisto, které přístroje měl skutečně zhotoveny. Přesnost těchto

přístrojů byla asi 10' - 20' (obloukových minut.) Na tomto obrázku je kopie kvadrantu. Jeho základem byla svislá deska ze dřeva, z kamene či z jiného pevného materiálu. Ve svislé rovině byl narýsován čtvrtkruh (kvadrant), rozdělený na 90° (a každý stupeň dále na desítky minut) tak, že 0° ležela na vodorovné přímce a 90° na svislici, vedené středem čtvrtkruhu. Do středu čtvrtkruhu byl vetknut krátký čep (u Koperníka zvaný gnómon) kolmo na rovinu kvadrantu. Rovina kvadrantu byla pak ztotožněna co nejpřesněji s rovinou místního poledníku.

Přístrojem se měřila polední výška Slunce podle stínu, vrženého "gnómonem"; stín se přitom zachytil na nějakou destičku, přiloženou ze strany ke stupnici. Koperník měřil kvadrantem polední výšky Slunce ve slunovratech a z jejich rozdílu určil sklon ekliptiky na 23°, tedy poměrně přesně.

Obraz 25 - Astrolabium

na svoji dobu velmi složitý přístroj, sestavený z jednoho pevného a pěti pohyblivých kruhů. Na svislém sloupku byl připevněn vnější kruh, znázorňující meridián. Uvnitř se otáčely další kruhy, představující nebeský rovník, ekliptiku, kolury a nejmenší vnitřní kruh nesl průzory k cílení na Měsíc a hvězdy. Přístroj byl konstruován tak, aby po jeho správném ustavení pod širým nebem souhlasily roviny hlavních kruhů přístroje s rovinami příslušných kružnic souřadnicových soustav na nebeské sféře.

Astrolabium bylo možno měřit ekliptikální souřadnice hvězd (tj. astronomickou délku a šířku).

Podmínkou byla současná viditelnost Slunce a Měsíce nad obzorem na začátku měření; Měsíc sloužil jako pomocný cíl mezi Sluncem a měřenou hvězdou.

Ve dne se astrolabiem změnila délka oblouku ekliptiky mezi Měsícem a Sluncem. Po západu Slunce mohl být pak změřen oblouk mezi Měsícem a hvězdou. Součet těchto dvou oblouků s délkou Slunce (odečtenou z tabulky v "De Revolutionibus") dal dohromady oblouk mezi jarním bodem (počátkem soustavy ekliptikálních souřadnic) a hvězdou, tj. hledanou délkou hvězdy.

Obraz 26 - Olštýn

Patrně ne všude mohl Koperník instalovat své přístroje a pozorovat; sotva měl tuto příležitost, když byl administrátorem v Olštýně. Nejen že zde byl zaměstnán spoustou hospodářské agendy kapituly, ale zažil zde i vyhrocené válečné dny.

Přesto se zdá, že i zde pomýšlel na přístroje. Dodnes se na tomto zámku ukazují zbytky pozoruhodně konstruovaných slunečních nástěnných hodin, které tu prý Koperník zkonstruoval.

Obraz 27 - Starověká představa o Sluneční soustavě

Překrásné prstence symbolizující sféry planet vzbuzují dojem geometrické harmonie. Uprostřed světa je nehybná Země.

Tato nehybná Země je základem pro Ptolemaiov výklad světa i základem fyziky Aristotelovy. Tato představa je vůdčí myšlenkou starověkého i středo-

věkého nazírání na svět a byla převzata i do církevních dogmat - vyhovovala Písmu svatému. Jako taková byla nevybíravým způsobem hájena církvemi.

Právě v otázce pohybu Země se liší Koperníkovovo učení od jeho předchůdců.

Obraz 28 - Zámek v Lidzbarku a jedna z kopií
Koperníkova spisu Commentariolus

Ať už povinnosti dané kapitulou či vyžádané jeho strýcem biskupem varmijským zavedly Koperníka kamkoli, všude stále pracuje na svém astronomickém díle. Někteří badatelé se domnívají, že na zámku v Lidzbarku, kde byl okolo r. 1506 sekretářem varmijského biskupa a svého strýce Lukáše Watzenrode, sepsal pozoruhodný spisek, který je znám pod zkráceným latinským názvem Commentariolus - Malý komentář. Zde již vyložil zcela jednoznačně hlavní teze své nové soustavy: Slunce je středem vesmíru a středem drah planet, Země je jednou z planet a pohybuje se.

Commentariolus nebyl publikován tiskem, byl zřejmě určen jen k tomu, aby v opisech koloval mezi několika málo zasvěcenými odborníky.

Obraz 29 - Praha v pol.16.stol.- výsek z dřevorytu

Podobně v opisech koloval jiný Koperníkův spisek, sepsaný v r. 1524 ve formě dopisu Koperníkovu příteli kartografovi Bernardu Wapovskému.

Již v r. 1531 byl tento dopis opsán v Praze u Šimona Hájka, otce známého českého astronoma Tadeáše Hájka z Hájku. Tadeáš zase zachoval pro budoucnost Koperníkův Commentariolus. V r. 1575, když se poprvé v Řezně na korunovaci Rudolfa II. setkal Tychonem de Brahe, věnoval mu jako osobní dar opis Koperníkova Commentariolu. Dnes jsou známy všeho všudy tři rukopisné kopie tohoto spisku. Všechny pocházejí z Prahy. Máme plné právo usuzovat, že Commentariolus byl v majetku Hájkovy rodiny již mnohem dříve a že jedním z center, odkud se ještě za Koperníkova života šířila známost výchozích tezí jeho díla, byl dům Šimona Hájka v blízkém sousedství Betlémské kaple v Praze.

Obraz 30 - Trikvetr

Od napsání "Malého komentáře" do ukončení vrcholného Koperníkova díla "De Revolutionibus" uplynula asi tři desetiletí. V té době Koperník zdokonaluje obraz nové soustavy, shromažďuje další argumenty ve prospěch heliocentrismu a také měří a upřesňuje některé parametry.

Snad nejpopulárnějším Koperníkovým přístrojem, nejčastěji popisovaným v literatuře, byl t r i k v e t r , zvaný též paralaktický přístroj. Ten sloužil podle Koperníka především k měření zenitových vzdáleností Měsíce a k určení paralaxy Měsíce.

Obrázek ukazuje dřevěnou kopii přístroje. Na svislém sloupku byla otočně upevněna dvě pravítka. Na horním pravítku byly dva průzory k zacílení na Měsíc. Ve výřezu horního pravítka se posouval okraj dolního pravítka, na kterém byla nanesena stupnice, rozdělená na 1400 stejných dílků.

Po zamíření na Měsíc odpovídal úhel mezi horním pravítkem a svislým sloupkem zenitové vzdálenosti Měsíce. Na stupnici dolního pravítka se pak odečetla délka **tětivy** ke středovému úhlu (zenitové vzdálenosti) **na kružnici**, opsané kolem otočného bodu horního pravítka poloměrem 100 000 jednotek. Hledaný úhel se pak našel v tabulkách tětiv, které Koperník uvedl v 1.knize "De Revolutionibus".

Obraz 31 - První vydání knihy "O pohybech"

z roku 1543

Tento exemplář knihy je uložen v Praze na Strahově. V knize "O pohybech" (De Revolutionibus) je rozpracováno v **šesti knihách** celé astronomické dílo Koperníkovo. Jeho **představa**, že rotující Země obíhá kolem Slunce, se ukázala správnou a způsobila zvrát nejen ve fyzice a astronomii, ale i ve filosofii, a stala se jedním ze základů vědeckého názoru na svět.

Díky působení profesora vittenberské university Rhaetika byla kniha vytištěna a Koperníkovo učení se šířilo po Evropě. Mezi významné stoupence patřili na přelomu 16. a 17. století Möstlin, Bruno, Galilei, Kepler a další.

Církev a zejména církev katolická si osobovaly právo apriorně rozhodovat o přípustnosti vědeckých myšlenek a jejich šíření. Roku 1616 zakazuje církev šíření Koperníkova učení, kniha "O pohybech" je dána na index. Stoupenci učení jsou pronásledováni.

Protože základní myšlenky Koperníkova učení odpovídají materiální podstatě sluneční soustavy, byly vědou postupně prokázány.

Obraz 32 - Sluneční soustava dle Koperníka

V rukopisu knihy je toto schéma Sluneční soustavy, určující pořadí jednotlivých planet při pohybu kolem Slunce. Myšlenka, že Země je jednou z nich, natrvalo odstranila Zemi a tedy i člověka ze středu vesmíru.

Podstatné je, že oběhem Země kol Slunce, otáčením Země kolem osy a precesí vykládá Koperník děje, které pozorujeme na obloze. To odovídá fyzikální podstatě slunečního systému.

Ani geniální tvůrce nového systému nemohl vyřešit celý problém do všech důsledků. Ze starověkých představ zachovává Koperník myšlenku o rovnoměrném pohybu po kružnici. Popravdě řečeno, on zachovává dokonce představu sfér - koulí. Neřeší ani otázku absolutních vzdáleností planet od Slunce. To konečně nemohl ani Kepler. K tomu je nutné změřit alespoň jednu základní vzdálenost - bázi.

To se podařilo až v letech 1681-83 Cassinimu a Richerovi, kteří změřili paralaxu a tedy i vzdálenost Marsu od Země. Z toho bylo možno odvodit i vzdálenost Země - Slunce.

Na tomto místě je vhodné se zmínit i o osudech rukopisu. 17.ledna 1614 jej v Heilsberku zakoupil Jan Ámoš Komenský. Je to poznamenáno na jednom z prvních listů rukopisu. O dvě stránky dále jsou záznamy o příslušnosti rukopisu do knihovny Nosticů. V Praze byl rukopis do roku 1956 a nyní je uložen v Jagellonské universitě v Krakově.

Obraz 33 - Více středů přitažlivosti

Starověká představa světa byla představou geometrickou. Síla ve smyslu fyzikálním v ní neměla místo. Jaká byla příčina pohybu sfér, nikdo nevěděl. Dohady se pohybovaly za hranicemi vědy.

Víme dnes velmi dobře, že příčinou pohybu je gravitační síla, kterou na sebe působí každé dvě hmoty. Zákon všeobecné přitažlivosti formulovat až roku 1686 Isaac Newton: "Tělesa se přitahují silou, která je přímo úměrná součinu hmot a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti."

I před Newtonem někteří tušili existenci této síly a některé závislosti. Byli to např. Hook a Kepler. Kepler se domníval, že jde o magnetickou sílu a že je nepřímo úměrná vzdálenosti planet od Slunce.

Koperník ve svém díle hovoří o tíži, kterou podle něho má nejen Země, ale i ostatní tělesa - Slunce, Měsíc, planety. A již v Koperníkově díle se děje pohyb těles kolem více středů.

Další střed přitažlivosti - Jupiter pro měsíce Jupitera - objevil roku 1609 G.Galilei.

Obraz 34 - Roční pohyb Země kolem Slunce
a jeho důsledky

Přímo v díle Koperníkově jsou obrázky, v nichž snadno rozeznáme výklad čtvera ročních období. Z Koperníkova obrazu z rukopisu poznáme, že osvětlení a tedy i oteplení závisí na pohybu Země kolem Slunce, kdy směr osy Země je stále týž. Tedy nikoli pohyb Slunce. Ani vzdálenost Země-Slunce.

Pohybem Země kolem Slunce lze vysvětlit zdánlivý pohyb Slunce po ekliptice během roku, všechny jevy související se střídáním ročních období na různých místech Země a změnu vzhledu oblohy během roku, tj. viditelnost různých souhvězdí na noční obloze v různých ročních dobách.

Zdůrazněme, že to byl právě Koperník, který zavedl do astronomie a fyziky pojem relativnosti pohybu. Země rotuje a pozorovatel vidí se Země rotací sféry - oblohy a všeho, co je na ní. Země obíhá kolem Slunce a pozorovatel na Zemi vidí pohyb Slunce.

Obraz 35 - Aberace

Jedním z důsledků oběžného pohybu Země kolem Slunce je roční aberace hvězd. Pojem aberace vyložíme názorně na příkladu padající dešťové kapky, jejíž dráhu zaznamenává pohybující se pozorovatel (levá část obrazu). Předpokládáme, že kapka padá svisle a v bodě A proletí před okem pozorovatele. Krátce poté se oko přesune k bodu B a kapka bude v tomto okamžiku v bodě B. Když kapka dopadne na zem v bodě C, je už oko v bodě C.

Z hlediska pohyblivého pozorovatele tedy padají kapky zepředu, rovnoběžně se směrem C'C. Pro nehybného pozorovatele padají kapky svisle.

Analogicky si představíme pozorovatele, pohybujícího se se Zemí kolem Slunce v proudu světelných paprsků ze vzdálené hvězdy. Protože rychlost šíření světla je konečná, sčítá se tato rychlost vektorově s rychlostí Země a dochází ke změně směru na hvězdu - k aberaci světla (hvězdy). Hvězda je proto od střední polohy zdánlivě odchýlena ve směru pohybu Země kolem Slunce a během roku se hvězda zdánlivě pohybuje po elipse, jejíž hlavní poloosa je asi 20". Toto platí pro všechny hvězdy. Kdyby Země stála, úkaz by nenastal.

Roční aberaci hvězd objevil r. 1728 anglický astronom Bradley. Tím byl poprvé podán přímý důkaz ročního pohybu Země a s konečnou platností prokázána správnost fundamentální téze Koperníkova učení.

Obraz 36 - Klička planety dle Koperníka

Při pozorování pohybu planet mezi hvězdami zjistíme, že se mění nejen jeho rychlost, ale pravidelně po určitých obdobích i směr. Planeta se pohybuje zprava doleva, ale můžeme pozorovat i zastávky a zpětný pohyb. Planeta opíše na obloze mezi hvězdami kličku (smyčku). To pochopitelně pozorovali i ve starověku. Aby mohli polohy planet předpovídat včetně těchto nepravidelností, vytvořili systém epicyklů.

Koperník vykládá zdánlivý pohyb planety mezi hvězdami skládáním pohybu Země a planety. Na

obrázku je to předvedeno pro planetu Mars. Vždy kolem opozice předbíhá rychlejší Země pomalejší Mars a v tu dobu pozorujeme jeho zdánlivý zpětný pohyb.

Pro detailní výklad kličky a správnou předpověď je nutno vědět, že dráhy planet jsou skloněny vůči dráze Země. To Koperník nepředpokládal. Proto výklad podle něho by vysvětlil pohyb jen dopředu a dozadu, neboli změnu tzv. astronomické délky, tj. vzdálenosti od jarního bodu. Pohyb v šířce, tedy nad a pod ekliptikou, vysvětloval Koperník odděleně v knize šesté svého díla velmi složitou geometrickou konstrukcí, která neodpovídá skutečnosti.

Obraz 37 - Rotace a precese

Otáčením Země kolem vlastní osy (rotací) vysvětlil Koperník denní zdánlivý pohyb oblohy a všech těles na ní. Pro nás je to vysvětlení zcela logické a jediné přijatelné. Těžko si můžeme představit, že obíhá za jeden den kolem Země velký vesmír. Rotující Země neodporuje našim fyzikálním představám a víme, proč důsledky rotace Země kolem sebe nemůžeme pozorovat. Ne tak středověký člověk. Viděl, že rotuje obloha - tedy vlastně sféra, u níž neznal ani podstatu, ani vzdálenost. Neznal setrvačnost, respektive - neuměl ji interpretovat na pohyb Země, a všeho, co je na ní. Platila Aristotelova fyzika s nepohyblivou Zemí. Naše představy jim byly tak cizí, jako jejich vžití představy nám. Přijmout Koperníkovo učení znamenalo tyto představy popřít. A popřít celou tehdejší fyziku.

Důsledky precese na obloze pozorovali již ve starověku (Hipparchos). Věděli, že vzdálenosti

hvězd od průsečíků ekliptiky s rovníkem - tj. jarního bodu, plynule narůstají, neboli-že jarní bod se posouvá vpravo po ekliptice. Příčinu pochopitelně neznali a vykládali si tento pohyb např. tím, že další sféra za sférou hvězd sféru hvězd strhává.

Koperník považoval precesi za důsledek dalšího pohybu Země.

Dnes víme, že na setrvačnické Zemi působí dvojice sil, která se snaží rotační osu Země postavit kolmo k oběžné dráze. Tak je tomu např. u planety Merkur. Výsledkem působení této dvojice sil na Zemi je pohyb osy Země po plášti kužele jednou dokola za 26 000 let. Proto zemská osa míří dnes k Polárce v Malém vozu, ale v průběhu 26 000 let míří do různých souhvězdí na kružnici, která má střed v pólu ekliptiky.

Pokusem dokázal rotaci Země Foucault v pařížském Pantheonu v roce 1851 pohybem kyvadla na dlouhém závěsu. Rovina kyvadla zůstává při pohybu kyvadla zachována. Rozkýváme-li je v určité rovině mířící např. na nějakou hvězdu, bude stále kývat směrem k ní. Kdyby se Země netočila, nebude měnit polohu vůči kyvadlu. Povrch Země se však při pokusu pod kyvadlem stáčí.

Obraz 38 - Epicykl u Koperníka

Koperník nestanovil ve svém díle jen základní principy. Musil propracovat teorii tak, aby bylo možno sestavit předpovědi poloh nebeských těles - ofemeridy.

Jak dnes víme, je pohyb planet složitý. Obíhají nerovnoměrným pohybem po elipsách, v jejichž oh-

nisku je Slunce. To Koperník nemohl vědět. Naopak předpokládal, že pohyb se děje po kružnici a je rovnoměrný. Této starověké představy se nezbavil.

Proto musil k popisu složitého pohybu planety po obloze a k výpočtu efemerid použít starověkého prvku - epicyklu a střed deferentu umístit excentricky mimo Slunce. Dokonce středy deferentů jednotlivých planet nesplývaly (pochopitelně). Proto i Koperníkova soustava, zatížená představou kruhových pohybů, byla jen geometrickou abstrakcí a předpovědi poloh nebyly úplně přesné.

Úplné řešení problému vyžadovalo čas. Bylo nutné, aby někdo provedl dlouhé řady přesných pozorování a z nich odvodil přesné zákony pohybu planet.

Problém vyřešil pozorovatel Tycho Brahe a teoretik Johannes Kepler.

Obraz 39 - Nepohyblivá sféra hvězd

Koperníkova teorie musela zahrnout i jevy týkající se hvězd. Koperník v knize "O pohybech" umístil katalog hvězd a vysvětlil precesi. Protože všechny jevy na obloze důsledně vykládá pohybem Země a planet, je přirozeně sféra hvězd nepohyblivá. Její denní pohyb pokládá Koperník správně za zdánlivý a vykládá jej rotací Země.

Později se ukázalo - a dnes to bezpečně víme-, že sféra hvězd neexistuje. Víme, že hvězdy jsou v různých vzdálenostech a tvoří soustavu naší Mléčné dráhy - Galaxii. To Koperník nemohl tušit a tak v jeho díle zůstává starověká představa kompaktní sféry hvězd zachována.

Obraz 40 - Paralaxa

Roční paralaxa hvězdy je změna směru na hvězdu způsobená tím, že hvězdu pozorujeme z různých míst na dráze Země kolem Slunce. Pozorujeme-li např. hvězdu H_1 se Země, která je v místě I, promítá se hvězda na oblohu (na pozadí vzdálenějších hvězd) do bodu I'. Přemístíme-li se pak postupně se Zemí do míst II, III, a IV, bude hvězda přecházet do odpovídajících poloh II', III' a IV'. Během roku se hvězda zdánlivě pohybuje po elipse, zvané paralaktická elipsa. Hlavní poloosa této elipsy odpovídá úhlu π (pí), pod kterým bychom viděli z hvězdy poloměr zemské dráhy. Čím je hvězda dále, tím menší elipsu během roku opisuje.

Velikost roční paralaxy je tedy nepřímo úměrná vzdálenosti hvězdy d . Vzdálenosti hvězd obvykle vyjadřujeme v jednotkách, zvaných parseky. Ze vzdálenosti jednoho parseku bychom viděli poloměr zemské dráhy pod úhlem 1". Vzdálenost hvězdy v parsekách vypočteme jednoduše jako převrácenou hodnotu paralaxy, kterou dosadíme do vzorečku ve zlomcích vteřiny. Nejbližší hvězda v okolí Slunce, Proxima Centauri, má roční paralaxu 0,76" a jen několik desítek hvězd má paralaxu větší než 0,1".

Paralaxu hvězd marně hledaly celé generace hvězdářů a dlouho se nepodařilo podat tento nezvratný důkaz o pohybu Země kolem Slunce. Teprve v letech 1836-39 změřily první paralaxy astronomové W. Struwe (hvězda Vega, = 0,123"), Bessel (61 Cygni, = 0,293") a Henderson (Proxima Centauri, = 0,754") - v závorkách uvádíme nově naměřené hodnoty. Dlouho hledaný důkaz správnosti Koperníkova učení tedy přišel pozdě - až 110 let po nečekaném Bradleyově objevu aberace hvězd.

*) 1 parsek = 3,26 světelného roku = 206 265
a s t r o n o m i c k ý c h j e d n o t e k =
30 860 000 000 000 km (přes 30 biliónů kilo-
metrů).

Obraz 41 - Jak daleko je sféra hvězd ?

Ještě v Koperníkově době panovalo přesvědčení, že všechny hvězdy jsou stejně daleko od nás a že jsou na obrovské duté kouli (snad křišťálu, zvané sféra hvězd).

Do středu sféry hvězd byla kladena Země; Koperník přisoudil centrální postavení Slunci a Zemi přiznal oběžný pohyb. Tím byl dán znovu a naléhavěji než kdykoli předtím podnět k hledání roční paralaxy hvězd.

Ve starověku a středověku dosahovali hvězdáři při měření poloh hvězd přesnosti asi 0,5°. Aby hvězdy měly tak velkou paralaxu, musely by být velmi blízko - jen asi 110 krát dále od Země, než je Slunce. Protože Koperníkoví předchůdci žádnou paralaxu nenašli, věřili že hvězdy jsou o něco dále, snad dvěstěkrát dál než Slunce.

Koperník už měl k dispozici měření přesná asi na 10' a předpokládal, že hvězdy jsou podstatně dále, asi tisíckrát dále než Slunce. Se stoupající přesností měření se pak zvyšují odhady vzdáleností a současně vznikají pochybnosti o tom, zda hvězdy jsou skutečně stejně daleko, na společné sféře.

Skutečnost přesvědčila všechna očekávání: změření prvních paralax ukázalo, že nejbližší

hvězdy jsou několik set tisíckrát vzdálenější než Slunce. Kromě toho bylo již z prvních měření zřejmé, že hvězdy jsou v prostoru kolem Slunce rozloženy v různých vzdálenostech, že tedy neexistuje žádná sféra hvězd, ale hvězdný vesmír bez hranic.

Toto poznání mělo a má značný filosofický dosah; Koperník ukázal lidstvu Zemi jako obyčejnou planetu, která nemá žádné významné místo ve vesmíru. Přisoudil však toto centrální postavení Slunci, takže bylo možno věřit, že alespoň sluneční soustava je čímsi výjimečným ve vesmíru. Teprve určení vzdáleností a prostorového rozložení hvězd umožnilo dojít ke správné představě o postavení Slunce a planet ve vesmíru.

Obraz 42 - Schéma Descartova vesmíru

Koperník vyňal Zemi z jejího výjimečného postavení uprostřed vesmíru a toto místo postoupil Slunci. Jeho vesmír byl ještě konečný. Giordano Bruno, jeho nejohnivější stoupenec (nar. 1547), který neváhal za své přesvědčení podstoupit v r. 1600 smrt na hranici jako kacíř, pochopil hlubší smysl Koperníkova zásahu. Na vyšší úrovni opakoval ten obrat, který uskutečnil již jeho mistr. Není-li Země ve vesmíru výjimečná a je-li jen jednou z planet, proč má být výjimečné Slunce? Proč by nemohlo být Slunce jednou z hvězd a každá hvězda sluncem? A proč by nemohly kolem ostatních sluncí kroužit planety právě tak jako naše planety krouží kolem našeho Slunce? Podle Giordana Bruna není žádného středu vesmíru a vesmír je nekonečný. Je zaplněn planetárními soustavami.

Týž názor zastával po Brunovi i přední francouzský filsof René Descartes. Schéma jeho vesmíru ukazuje obrázek. Vesmír je složen jakoby z nekonečného počtu obrovských buněk. V každé je uprostřed slunce a kolem něho krouží planety. Komety jako mimořádně rychlá tělesa prorážejí hranice mezi jednotlivými "bunčkami" a přecházejí z jedné soustavy do druhé.

Na tomto směru myšlení není ani tak závažné to, jak si kdo představoval stavbu vesmíru, ale především jeho základní princip: osvobození od představy, že člověk a to, co je s ním spojeno, má ve vesmíru tak či onak ústřední a výjimečné postavení. Teprve na tomto základním pokroku v představách o přírodě, k němuž Koperníkovo dílo dalo přímý podnět, byl možný novodobý rozvoj přírodovědeckého poznání světa.

Obraz 43 - Soustava Braheova

Bylo jasné, že pohyb Země se musí projevit pohybem blízkých hvězd oproti pozadí neboli vzdáleným hvězdám. Tento paralaktický posun byl objeven v 19.století a je velmi malý. Tycho Brahe jej v žádném případě nemohl svými přístroji změřit. Protože tedy nezjistil důsledky pohybu - nevěřil v něj. V jeho soustavě obíhají planety kolem Slunce, ale Slunce kolem Země. Nehybná Země trčí uprostřed vesmíru.

Podobných soustav byla vytvořena řada. V době před objevením Keplerových zákonů lze jejich tvůrce pochopit. Poté je ale tvorba takovýchto hypotetických soustav neomluvitelná.

Tycho Brahe byl, jak plyne z jeho rukopisných poznámek v jednom exempláři basilejského vydání knihy "O pohybech", zprvu nakloněn Koperníkově teorii. Vlastní soustavu vytvořil až na sklonku svého života.

Obraz 44 - Letohrádek Belvedere v Praze

Praha je místo se slavnou astronomickou tradicí. Astronomie zde byla pěstována téměř od založení university. Příznivé politické klima na sklonku 16.století způsobilo, že v Praze našli útočiště Tycho Brahe a Johannes Kepler. Tato šťastná okolnost způsobila, že vynikající pozorování poloh planety Mars se dostala do rukou Keplerovi. Z nich odvodil první dva zákony o pohybu planet.

Jedním z míst, kde Brahe a Kepler pracovali, byl Letohrádek královny Anny (Belvedere) na pražském Hradě. Snímek slavného Habermelova sextantu, který byl pro Tycho Brahe vyroben v Praze roku 1600, prochází z velké výstavy, kterou v roce 1971 na počest 400.výročí narození Johanna Keplera uspořádal v Belvederu Štefánikova hvězdárna hl.m. Prahy.

Obraz 45 - Představa velmi malých úhlů

Zvyšování přesnosti úhlového měření mělo zásadní význam pro vývoj našich představ o vesmíru. Jedině přesné měření poloh nebeských těles mohlo rozhodnout mezi geocentrickým a heliocentrickým systémem.

Obrázek nám pomůže k názorné představě o tom, jak nesmírně obtížné bylo dosáhnout potřebné přesnosti. Kotouček desetihaléře, pozorovaný ze vzdálenosti 2,5 m, se jeví pod úhlem $0,5^\circ$, což odpovídá zdánlivému průměru Slunce nebo Měsíce na obloze. To byla asi nejmenší úhlová hodnota, s jakou bylo možno měřit starými astroláby. Koperník mohl se dřevěnými přístroji měřit s přesností asi 10', což odpovídá úhlovému průměru desetihaléře, vzdáleného 7,6 metru.

Tycho Brahe zdokonalil měřicí techniku natolik, že dospěl k přesnosti až 1'; je to úctyhodný výkon, představíme-li si, že takto nepatrný je kotouček desetihaléře, vzdáleného 76 metrů. Tato přesnost už stačila Keplerovi, aby mohl definitivně zavrhnout vžitě představy o rovnoměrných kruhových pohybech planet a dojít k objevu zákonů o pohybech planet v elipse.

Avšak k objevu hvězdných paralax, odkud se očekávalo definitivní rozhodnutí o správnosti Koperníkova učení, bylo třeba dosáhnout přesnosti lepší než 1". Tak malý bude úhlový průměr desetníku vzdáleného 4,5 km! K tak vysoké přesnosti se ovšem dospělo až po zdokonalení dalekohledu s přesným mikrometrem.

Dnešní astronomické přístroje umožňují měřit relativní posuny hvězd asi do $0,01''$. V našem přirovnání by to teoreticky odpovídalo úhlovému průměru desetihaléře na vzdálenost asi 450 km.

Obraz 46 - Astronomia Nova

První dva zákony o pohybu planet objevil

Johannes Kepler za svého pobytu v Praze a uveřejnil je v knize "Astronomia Nova" v roce 1609. Spolu s Koperníkovou knihou "O pohybech" je jednou z nejvýznačnějších děl v dějinách astronomie.

Vyobrazený exemplář je z prvního vydání (pražského) a je uložen v Praze na Strahově.

Obraz 47 - Kráter Copernicus

Mnohým významným osobnostem byly postaveny pomníky. Věčným pomníkem Koperníkovým je jeho dílo. Má ovšem i řadu krásných pomníků v Polsku a v jiných zemích, ale má i jeden pomník ryze astronomický, ve vzdálenosti 400 000 km od Země. Je to kráter Copernicus na Měsíci (viz obr.47).

Pojmenovávání měsíčních kráterů po vynikajících vědcích a především astronomech zavedl v r. 1651 italský astronom Riccioli. Postupem času tak vznikl na Měsíci jedinečný pantheon. Riccioli byl sám rozhodným odpůrcem Koperníkova učení a stoupenec Tychonovy světové soustavy; proto také název Tycho přidělil nejvýznačnějšímu kráteru na jižní polokouli Měsíce. Přesto i Riccioli obdivoval osobnost Koperníkovu a nazval jeho jménem jeden z nejkrásnějších kráterů; toto pojmenování se zachovalo dodnes.

Kráter Copernicus má průměr 93 km a je hluboký 3760 m. Kráter je centrem jasných paprsků a je vidět i třídrem.

Jméno Copernicus nese i družicová astronomická observatoř, vyslaná na oběžnou dráhu kolem Země několik měsíců před 500. výročím narození velkého vědce. I to je symbolické, protože obser-

vatoře nad zemskou atmosférou otevírají astronomii nové obzory podobně jako kdysi Koperníkovo učení, které bylo klíčem k poznávání vesmíru.

Obraz 48 - Houf galaxií ve Lvu

Koperníkem a Keplerem definitivně končí starověká astronomie. Oni a jejich následovníci pro nás objevili Sluneční soustavu a umožnili i lety do kosmického prostoru.

A co víc: To, že pohybující se Země byla odstraněna ze středu světa, mělo za následek i výzkum těles na "sféře" hvězd. Hon za objevením paralaxy hvězd přinesl spoustu poznatků o hvězdách a jejich prostorovém rozložení.

V našem století byla popsána soustava Mléčné dráhy - naší Galaxie a objeveny nejen galaxie jiné, ale i celé soustavy galaxií. Před současnou astronomií a astrofyzikou stojí obrovský úkol: určit vlastnosti obrovského prostoru a hmoty v něm a tak opět posunout lidské vědění k přesnému poznání materiální podstaty světa.
