

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Zdeněk Horský

O Koperníkově heliocentrismu

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 18 (1973), No. 1, 3--8

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138292>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1973

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

O Koperníkově heliocentrismu

K pětistému výročí narození vynikajícího polského vědce

(nar. 19. 2. 1473 v Toruni, zemř. 24. května 1543 ve Fromborku).

Zdeněk Horský, Praha

Některé objevy se stanou tak notoricky známými, že se nakonec ani neví, v čem je jejich podstata a proč je jméno jejich autora tak slavné. Není to vděčné ani vůči objevu, ani vůči autorovi. Stejně nevděčná je úloha historika vědy, má-li vstoupit do této situace a pokoušet se vnést do otázky své, jak věří, věcné a správné hledisko. Otázky kolem Mikuláše Koperníka a jeho systému jsou jedním z právě takových případů.

Všeobecně se ví, že Koperník je autorem heliocentrického systému. „Zastavil Slunce a nebe a uvedl Zemi v pohyb“ – to je běžná nejobecnější charakteristika Koperníkova díla, sice metaforická, ale věcně přesná a výstižná. Přece však je ve své obecnosti nedostačující, neboť neříká, zda tento čin byl snadný či obtížný, převratný či nepůvodní, běžný či spojený s rizikem a vyžadující odvahu a statečnost.

Při citaci Koperníkova jména máme snad všichni maně před očima obrázek sluncestředného systému, převzatý z rukopisu jeho hlavního díla *De revolutionibus orbium coelestium*, který reprodukuje nejen kdejaké dějiny astronomie, ale i četné populární knihy o astronomii. Tento obrázek vyšel poprvé tiskem v r. 1543 (mimočodem v poněkud pozmeněné podobě vůči rukopisu). Je to však – jedno či druhé – skutečná podoba Koperníkova heliocentrického systému?

Vedle údaje o tom, že Koperníkův heliocentrický systém byl zveřejněn r. 1543, postavme nyní – jako základ naší úvahy – dvě fakta: Za prvé: Heliocentrický systém byl vytvořen již v antice. Jeho autorem je ARISTARCHOS ZE SAMU, který vypracoval základy heliocentrické teorie v 3. stol. př. n. l. Bývá po právu nazýván Koperníkem starověku; Koperník sám, který se pídil po všech negeocentrických názorech minulosti,



tohoto svého předchůdce znal. Dosvědčuje to přímá citace v Koperníkově rukopisu, později škrtnutá, takže se do publikovaného díla nedostala. Za druhé: Až r. 1609 dal v Praze JOHANNES KEPLER publikovat dva zákony pohybu planet, deset let po tom publikoval zákon třetí. Kepler (nar. 1571) byl vlastně o celé století mladší než Koperník. Protože je známo, že Koperník dlouho otálel s publikací svého díla, je třeba předpokládat, že mezi vznikem Koperníkova systému a Keplerových zákonů je interval asi osmi desetiletí. Nač bylo třeba této relativně dlouhé doby?

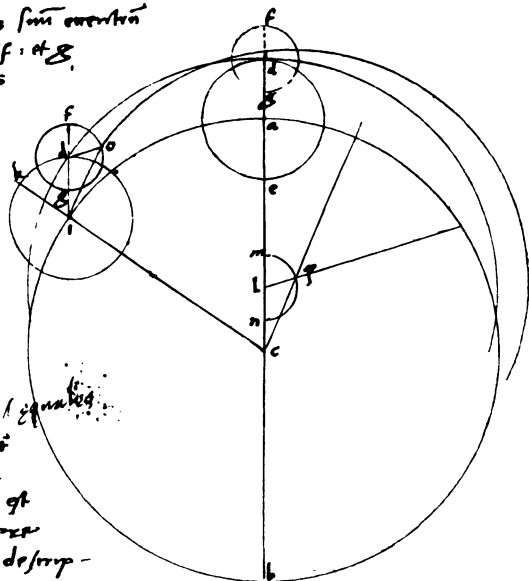
Navíc je možno uvést, že to, co Koperník znal o Aristarchovi, jsa vyzbrojen důkladnou humanistickou znalostí antiky, sice nebylo běžně známé ve středověku, avšak u nejvyšší autority středověké vědy, u ARISTOTELA, si každý mohl přeočist, že v antice existovaly negeocentrické názory, které uvažovaly nejen o otáčivém, ale i o postupném pohybu Země. I když je Aristoteles odmítal a vyvracel, byly tu přece stále před očima jako dráždivé zakázané ovoce. O možné pravdivosti těchto názorů uvažovali ve středověku někteří již před Koperníkem, především dva, kteří s ním shodou okolností měli stejné křestní jméno: MIKULÁŠ ORESMUS v 14. a MIKULÁŠ KUSÁNSKÝ v 15. století.

Uprostřed těchto souvislostí by se snad Koperníkovo dílo mohlo náhle zdát něčím jen podružným, jen jakýmsi přechodným mezistupněm. Není tomu tak. Avšak chceme-li vidět skutečné Koperníkovy zásluhy, je třeba se poohlédnout nejen po tom, co pozitivního či nového jeho systém přinášel, ale také po tom, jaké myšlenkové zábrany překračoval a od jakých metodických předsudků osvobozoval. Neslouží zpravidla správnému postizení Koperníkova významu, jestliže někteří autoři se snaží líčit teorie, které překonával, jako zcela nedostačující a očividně chybné. Nesporné je pravda, že PTOLEMAIŮV geocentrický systém, vytvořený v 2. stol. n. l., jak jej známe z *Almagestu*, se v Koperníkově době již v mnohém zřetelně rozešel s průběhem dějů na obloze. Avšak bylo to skutečně jen důsledkem výchozích předpokladů Ptolemaiova systému? Dejme odpovědět Koperníkovi, který vůči svému vědeckému odpůrci – a příznějme, že i vzoru – byl svrchovaně spravedlivý: „Neboť ačkoli alexandrijský Klaudios Ptolemaios, který podivuhodnou zběhlostí a pílí daleko předčí ostatní, přivedl po více než čtyřicetiletém pozorování tuto vědu téměř k nejvyšší dokonalosti, že se zdálo, že již nic nechybí, čím by se nebyl zabýval, přece vidíme, že mnohé se neshoduje s tím, jak by to mělo být podle jeho podání, neboť byly objeveny ještě některé jiné pohyby, které on neznal.“*) V tomto smyslu Koperník v podstatě správně neupíral Ptolemaiově soustavě možnost doplnění a restituace jejích původních schopností. Vždyť vzhledem k přesnosti pozorování v době vzniku měla tato teorie pozoruhodné vlastnosti, především schopnost prognózy pohybu planet s přesností, která v podstatě nepřerůstala pozorovací chyby. O její restituci se ostatně v době bezprostředně před Koperníkem pokusili dva významní astronomové, PURBACH a REGIOMONTANUS. Je třeba rovněž uvést, že výpočty poloh planet podle opravené Ptolemaiovy teorie byly v podstatě tak dobré jako výpočty na základě Koperníkových předpokladů. To je skutečnost, která se poměrně málokdy uvádí. Pravda: běh některých planet (je k nim ovšem v ptolemaiovském duchu v tuto chvíli třeba připočítat Slunce a Měsíc) vycházel lépe podle Koperníka, jiných zas podle Ptolemaia. Avšak celek byl v prvním i v druhém případě v zásadě na stejné úrovni.

*) Úvod k 1. knize *De revolutionibus*.

Značnou vinu mají běžné populární práce, které tehdy, když horlivě hlásají, že Koperník rozhodně skoncoval s Ptolemaiovými deferenty a epicykly, jaksi již zapomenou poctivě dodat, že tento stavební materiál Koperník sice dveřmi vyházal, ale on se mu okny vrátil. Z mnoha důvodů byla historická chvíle, kdy Koperník zahájil útok na východní teze planetární soustavy, mimořádně příznivá pro takový počín. Důkladné astronomické znalosti vyžadovala mořeplavba, bylo třeba kalendářní reformy, nelze pominout ani požadavky, které na dostatečnou znalost pohybu planet kladla astrologie, tehdy prožívající velký rozkvět. Vývoj filosofie otvíral mnohé možnosti. Avšak zcela určitě tu chyběly důvody přesnosti astronomického pozorování. Přesnost nebyla ani nedostačující, ani dostačující. Připusťme, že kdyby byla sdostatek nedostačující, měl by

*que ipi d. fuerit equalis . f. quop. sūm ecentrū
 sātū dīstāntīā cūm equalē ipi . d. f. et g.
 sūm dīstāntīā sātū g. et c. n. dīstāntīās
 equalēs . Intēra sī ecentrū sērvā
 iam ecentrū fuerit utrumque
 f. o. nīrīnīferentīā sātū ar sūi
 epicyclī . iam ipi o. nō dēscrībī
 ecentrū q. cū ecentrū in a. c.
 līnēā cōntīngat . sēd in ea quē
 ipi d. o. pārrāllēlū fuerit . qualis
 est l. p. Quod sī etiā cōntīngat
 o. i. et c. p. erūt et ipi equalēs
 mīnorēs autē ipi . f. et c. in et
 angulū d. o. angulū d. c. p. v. v. l. equalēs .
 p. mī Eūclīd . et p. tātū vīdētī
 Sōlī apogēū in c. p. līnēā p. dēsc.
 ipi a. Hīc etiā mānīfēstūm ē
 p. ecentrū epicyclī idē cōntīngēt
 sōlī . Quonīā in p. p. sātū ecentrū q. dēscrībī
 sērvī d. epicyclī cīrā l. ecentrū . ecentrū sērvā
 volūtāt in f. o. nīrīnīferentīā p. d. līnēā rōdātōnībūs . hōc est*



Koperník právo pro tehdy známé planety nahradit skutečné keplerovské elipsy v prvním přiblížení pouhými koncentrickými kruhovými drahami, v jejichž středu je Slunce, přesně tak, jak je to zachyceno na onom známém schematickém obrázku z 1. knihy *De revolutionibus*. Právo na tuto svobodu z neznalosti měl snad ještě právě Aristarchos před HIPPARCHEM a Ptolemaiem, ale po jejich působení tato výsada definitivně odumřela. Jestliže Ptolemaios zvláštním seřazením excentricky umístěné Země, deferentu, ekvantu a epicyklu dokázal dokonce aproximovat nerovnoměrný pohyb planety v keplerovské elipse, o níž ovšem neměl ani tušení, Koperníkovi nezbývalo, než aby odpověděl přinejmenším na stejné úrovni. V tom je obrovský historický rozdíl mezi Aristarchem a Koperníkem, neboť táž úloha – kdybychom se takto směli omezit na úvahy čistě geometrické, což však nesmíme – pro každého z nich byla nesrovnatelně různě obtížná. Koperník byl doveden některými důvody k tomu, aby vzal za axióm rovnoměrný pohyb planet po výlučně kruhových drahách. Byla to především úcta k antické tradici

a v jejím duchu víra v dokonalost vesmíru, která jej k tomu vedla, ale jaksí v druhém plánu a otevřeně nepřiznaný mohl být i druhý a neméně podstatný důvod – snazší výpočet při zachování těchto předpokladů. Avšak chtěl-li se v rámci těchto předpokladů přiblížit pozorovanému pohybu planet, bylo třeba kruhové pohyby skládat a různě pozorovat středy kruhových pohybů. Proto Koperníkovy planety mají kromě hlavního kruhu třeba i dva epicykly, aby jimi mohl být vysvětlen pohyb planety v délce. Pro výklad pohybu v ekliptikální šířce musel přistoupit ještě mnohem složitější mechanismus.

Abychom charakterizovali i druhý pól, uveďme, že pro J. Keplera to byl v poslední fázi jeho úsilí o poznání podoby dráhy Marsu průměrný rozdíl dvou obloukových minut a maximální rozdíl osmi obloukových minut mezi teoretickými a pozorovanými polohami, aby odvrhl dosavadní výsledky a aby konečně připadl na eliptickou dráhu. K úspěchu ovšem bylo třeba nejen spolehlivých pozorovacích dat, které získal TYCHO BRAHE, ale také Keplerova ingénia a vytrvalosti. Právě přesnost astronomického pozorování zaznamenala veliký skok v průběhu 2. pol. 16. stol., a to také v důsledku sporů o správnost Koperníkova systému.

Pro srovnání uveďme aspoň toto: Koperník sice běžně v *De revolutionibus* teoreticky počítá na jednotlivé obloukové minuty a jejich zlomky, avšak jeho katalog stálic postupuje v údajích pro ekliptikální délky a šířky buď po 1/4 nebo po 1/6 stupně. Pokud by tedy někdo snad v Koperníkově době chtěl uvažovat o eliptických drahách planet – a je pozoruhodné, že to přece jen byl právě Koperník, který aspoň chvíli zauvažoval, a Keplera pak toto místo v *De revolutionibus* mnoho vzrušovalo – čekala by ho nejen ta nesnáze, že bude muset postupovat proti antické tradici, která mu byla současně oporou, ale že by narážel na nespolehlivost a neprůkaznost pozorovacích dat.

Již v tom se ukazuje Koperníkova velikost, že dokázal sáhnout po tak kardinálním problému v podmínkách z hlediska pozorovacích dat ne právě nejpříznivějších. Vyplývá z toho i něco jiného: I když Koperníkovi vždy šlo o dosažení optimální shody mezi teorií a pozorováním,*) vlastní pohnutky pro jeho radikální postup byly hlubší a postihovaly základní koncepční otázky. Svým předchůdcům, s kterými nesouhlasil, vytýkal především nedůslednost a nahodilost ve stanovení výchozích principů a v důsledku toho komplikovanost, nepravděpodobnost, připusťme i výraz „slepenost“ jejich planetárních teorií. „Nemohli určit ani vyvodit ze svých postupů základní věc, to jest tvar světa a určitou symetrii jeho částí. Naopak se jim stalo právě to, jako by někdo posbíral z různých míst ruce, nohy, hlavu a jiné údy, vymalované sice velmi dobře, ale ne v proporcích jediného těla a žádným způsobem si navzájem neodpovídající, takže by se z nich dala složit spíše obluda než člověk“.**) To, oč jemu jde a co podle jeho správného odhadu Ptolemaiovi uniklo, je postižení skutečné struktury vesmíru. To je úkol jaksí vyšší, než jen uvést v soulad pozorování a teorii.

Jestliže nahlíží svůj systém, kde uprostřed drah planet je Slunce, nehybné uprostřed

*) V tomto ohledu Koperníkovi šlo zejména o krajně přesné určení délky tropického roku. Její znalost byla nezbytná pro reformu kalendáře, tehdy již delší čas připravovanou. Koperník byl v době lateránského koncilu přímo vyzván k účasti na této práci. Reforma byla uskutečněna až r. 1582 a vzala v úvahu Koperníkovy výsledky.

**) Mikuláš Koperník, *De revolutionibus*, věnovací dopis papeži Pavlovi III., z r. 1542.

nehybné sféry stálic, pak zatím neshledává víc argumentů ve svůj prospěch než tyto tři: princip optické relativity pohybu, podle něhož dojem klidu není důkazem klidu, neboť „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,“*) dále požadavek, že je mnohem pravděpodobnější, aby se pohybovala část (tedy Země) než celek vesmíru**) a konečně argument nejsilnější, argument uspořádanosti a řádu: „Shledáváme tedy v tomto uspořádání podivuhodnou symetrii světa a pravé harmonické spojení pohybu sfér s jejich velikostí, jaké žádným jiným způsobem nemůže být nalezeno“.***) To je hlavní Koperníkův důkaz, hlavní opora jeho přesvědčení o správnosti heliocentrického systému. Ví, že v tomto bodě splnil jako nikdo před ním základní pravidlo†) veškeré astronomie, postulované, ale nikdy nesplněné kýmkoli z jeho předchůdců včetně takových veličin, jako byli Hipparchos a Ptolemaios.

Sám však, protože, jak jsme uvedli, bezvýhradně věřil na rovnoměrný pohyb v kruhových drahách, neboli historicky přesněji řečeno na rovnoměrné otáčení sfér††), stačil uskutečnit tento základní požadavek jen pro velké sféry, v nichž obíhají planety a které obklopují Slunce. V tomto případě mu skutečně jako prvému zcela přirozeně vyplynula oběžná doba závislá na velikosti sféry, aniž by však ji mohl určit nějakým přesným matematickým vztahem. Tento úkol čekal na Keplera. Epicykly, které byly připojeny, aby vyrovnávaly drobnější odchylky, však již tomuto základnímu pravidlu nepodléhaly, a tedy i Koperníkovi zůstala jakási „slepenost“ jeho systému.

Až po tento bod našich úvah jsme sledovali pouze geometrickou stránku problému. Upozornili jsme již dříve, že si toto omezení nesmíme dovolit. Koperníkova teorie, třebaže zdánlivě omezená jen na úzké pole astronomie, ve skutečnosti zasáhla mnohem širěji. Pokusme se aspoň vkrátkosti upozornit na výčet důsledků, které musela nevyhnutelně vyvolat.

Především – a ještě tento bod zůstává čistě geometrický – byla otázka, zda je možno nějakým způsobem nalézt obraz oběhu Země kolem Slunce. Koperník sám musel postulovat, že celý průměr zemské dráhy je zanedbatelný vůči průměru sféry stálic. To byl nemalý útok na tehdejší představy o vesmíru. Předpokládalo se totiž, v duchu ptolemaiovské tradice, že pouze průměr Země musí být vzhledem k sféře stálic zanedbatelný. Znamenalo to, že ve shodě s Koperníkem představa velikosti sféry stálic musela vzrůst tolikrát, kolikrát je průměr zemské dráhy větší než průměr Země. I když Koperník průměr zemské dráhy neznal v absolutní velikosti, pouze poměrně

*) *De revolutionibus*, 1. kniha, 5. kapitola.

**) „Vždyť mnohem více bychom se podívovali, kdyby spíše se otáčela za dobu 24 hodin tak obrovská rozlehlost světa, než jeho maličká část, jako je Země“. *De revolutionibus*, 1. kniha, 6. kapitola.

***) *De revolutionibus*, 1. kniha, 10. kapitola.

†) „... základní pravidlo. Nikdo totiž neuvede vhodnější nad to, že délka oběhu vymezuje velikost sfér.“. *De revolutionibus*, 1. kniha, 10. kapitola.

††) „... není možné, aby se jednoduché nebeské těleso na jediné sféře pohybovalo nerovnoměrným pohybem. K tomu by totiž mohlo dojít buď pro nestálost pohybující síly, způsobenou buď zvnějšku, či pro její vnitřní povahu, anebo pro proměnnost tělesa uváděného v oběh. Náš intelekt se však obojího děsí a je nedůstojné myslet si něco takového o tom, co je sestrojeno v nejlepším uspořádání...“ *De revolutionibus*, 1. kniha, 4. kapitola.

vzhledem k velikosti ostatních drah planet, a jeho odhad zůstal hluboko pod skutečností, byl tento skok v představách o velikosti vesmíru obrovský.

Dále nutně vyvstala otázka fyzikální ušnosnosti heliocentrické teorie. Podle ní se má Země pohybovat, kdežto podle tehdy běžně platné aristotelské teorie pohybu však musela nezbytně setrvávat v klidu uprostřed vesmíru. Heliocentrismus tedy implikoval nutnost změny základních fyzikálních představ. Koperník však zasáhl ještě mnohem hlouběji do struktury lidského poznání. Nevyhnutelně se vynořily gnoseologické problémy, jaká má být v poměru přiznána váha smyslovému a racionálnímu poznání, nakolik má člověk právo považovat se za střed přírody a nakolik zbytečně připodobňuje obraz přírody sobě samému. Vznikl i problém, nejžhavější a nejdrastičtější řešený z problémů zatím uvedených, komu přísluší právo rozhodovat o vědecké pravdě, zda vědě samé, nebo církevní instituci, vyžadující bezvýhradnou víru.

Proto měl Koperník tolik pokračovatelů a proto jeho pokračovatelé zdaleka nebyli pouze astronomové. A i pro astronomy se otvíraly zcela rozdílné cesty z tohoto klubka problémů. Tycho Brahe byl rozhodnut přezkoumat správnost heliocentrismu podle toho, zda stálice vykazují roční paralaxu, a tím zdokonalil nebývalým způsobem astronomické pozorování. Johannes Kepler naopak tase pokračoval tam, kde Koperník přestal v precizování základních principů sluneční soustavy. Přečteme-li znovu pozorně zde uvedené Koperníkovy výroky o řádu vesmíru, symetrii, harmonii, vztahu velikosti drah a oběžných dob, bude ihned zřejmé, kolik přímých impulsů přinášelo Koperníkovu dílo pro Keplera. Avšak po svém na Koperníka navazovali i GALILEO GALILEI, GIOR-DANO BRUNO i TOMASO CAMPANELLA.*) Proto je Koperníkův heliocentrický systém po právu považován za závažný předěl nejen ve vývoji přírodních věd, ale lidské kultury vůbec.

*) Není ve schopnostech jednoho článku podrobněji probrat celý tento komplex problémů; bude-li příležitost, budou postupně tyto problémy probírány na jiném místě.

Uprostřed všech [planet] spočívá Slunce. Vždyť kdo by v tomto překrásném chrámu vložil tuto svítílnu do jiného či lepšího místa, než odkud by všechno zároveň mohla osvětlovat? Vždyť jistě nikoli nevhodně někteří nazývají Slunce lucernou světa, jiní jeho myslí, jiní jeho vládcem. Hermes Trismegistos je nazývá viditelným bohem, Sofoklova Elektra o něm mluví jako o vševidoucím. Tak vskutku Slunce spočívající jakoby na královském stolci vládne kolem kroužící rodině planet. A také Země není ochuzena o služebné postavení Měsíce, ale, jak praví Aristoteles ve spise o živočiších, Měsíc má k Zemi blízkou příbuznost. Mezitím Země od Slunce počíná a otěhotňuje, rodíc každoročně. Shledáváme tedy v tomto uspořádání podivuhodnou symetrii světa a pravé harmonické spojení pohybu sfér s jejich velikostí, jaké žádným jiným způsobem nemůže být nalezeno.

MIKULÁŠ KOPERNÍK, De revolutionibus, 1. kniha, 10. kapitola.
