

GALILEO GALILEI  
HVĚZDNÝ  
POSEL

\*

JOHANNES KEPLER  
ROZPRAVA  
S HVĚZDNÝM POSLEM



*PISTORIUS & OLŠANSKÁ*

2015

**P**  
PISTORIUS



GALILEO GALILEI  
HVĚZDNÝ  
POSEL

\*

JOHANNES KEPLER  
ROZPRAVA  
S HVĚZDNÝM POSLEM

*Z latinských originálů přeložila*

*Alena Hadravová*

*za odborné spolupráce*

*Petra Hadravy*

PŘÍBRAM  
PISTORIUS & OLŠANSKÁ  
2016

## KATALOGIZACE V KNIZE – NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Hvězdný posel / Galileo Galilei. Rozprava s Hvězdným poslem / Johannes Kepler ; z latinských originálů přeložila Alena Hadravová za odborné spolupráce Petra Hadravy. – Vydání první. – Příbram : Pistorius & Olšanská, 2016. – 208 stran  
ISBN 978-80-87855-38-6

Galilei, Galileo, 1564–1642. Sidereus nuncius. Česky  
Kepler, Johannes, 1571–1630. Dissertatio cum Nuncio sidereo. Česky

52-051 \* 52(091) \* 520.2 \* 681.751.2 \* 520.8 \* 523 \* 524.8 \* (450) \* (430)

- Galilei, Galileo, 1564–1642. Sidereus nuncius
- Kepler, Johannes, 1571–1630. Dissertatio cum Nuncio sidereo
- astronomové – Itálie – 16.–17. století
- astronomové – Německo – 16.–17. století
- dějiny astronomie – 17. století
- astronomické dalekohledy – 17. století
- astronomická pozorování – 17. století
- sluneční soustava
- kosmologie – 17. století
- monografie
- kritická vydání

52 – Astronomie [6]

Práce vznikla s podporou grantu GA ČR 405/11/0034.

E-kniha byla připravena v rámci projektu Strategie AV21 (Formy a funkce komunikace).

Z latinských originálů přeložila Alena Hadravová

za odborné spolupráce Petra Hadravy

Úvod, poznámky, komentáře a rejstříky Alena a Petr Hadravovi

Typografii navrhl a písmem AdobeCaslon vysadil Pavel Cindr

Digitální fotografie a povolení k tisku laskavě poskytly Národní knihovna ČR v Praze,

Moravská zemská knihovna v Brně a Národní technické muzeum v Praze.

Ostatní ilustrace jsou z archivu autorů.

Odpovědná redaktorka Kristýna Hoblová

V roce 2016 vydalo nakladatelství

Pistorius & Olšanská, Balbínova 128, 261 01 Příbram

Vydání první. 207 stran

© Alena Hadravová, 2016

© Petr Hadrava, 2016

ISBN 978-80-87855-72-0 (PDF)

ISBN 978-80-87855-38-6 (papírová kniha)

[www.pistorius.cz](http://www.pistorius.cz)

# Úvod

## Galileiho Hvězdný posel

„Zrak podle mého soudu jest nám příčinou největšího prospěchu, protože z nynějších výkladů o všehomíru by nebylo mohlo býti proneseno nic, kdybychom nebyli viděli ani hvězd, ani Slunce, ani oblohy. Takto však vidíme den a noc, měsíce a kruhové dráhy roků, rovnodennosti i obraty Slunce: to jest příčinou čísla a dalo nám pojem času i podnět ke zkoumání přírody; z toho jsme získali přístup k filozofii, nad niž většího dobra nikdy nepřišlo ani nepřijde smrtelnému pokolení z rukou božích. Tvrdím tedy, že toto je největší dobrodiní, jež nám oči způsobují.“<sup>1</sup>

Zrakový vjem, zdůrazněný Platónem v *Tímaiovi*, je jistě velmi účinným, i když ne jediným prostředkem poznání. Pozorování nebeské sféry pouhým okem nebo s pomocí jednoduchých úhломěrných přístrojů sloužilo k orientaci v prostoru i čase. Dalekohled však umožnil proniknout zrakem hlouběji do vesmíru, a v důsledku proniknout i rozumem hlouběji do jeho zákonitostí. Proto rozšíření dalekohledu na počátku 17. století vzbudilo velký zájem, a to nejen odborné veřejnosti. Práce Galilea Galileiho *Hvězdný posel* či spíše *Poselství hvězd*<sup>2</sup> (*Sidereus nuncius*) a Johanna Keplera *Rozprava s Hvězdným poslem* (*Dissertatio cum Nuncio sidereo*), jejichž český překlad přinášíme, byly napsány velmi rychle, v několika málo dnech, téměř jako dnešní tiskové zprávy o aktuálních objevech. Odrážejí však široký kontext myšlenek svých autorů, jejich vzájemných vztahů i tehdejších poměrů. S odstupem doby umíme rozlišit, v čem spočíval přínos obou významných astronomů raně novověké vědy, i v čem se mýlili. Je zajímavé porovnat jejich autentická vyjádření a původní představy s výsledky, které z jejich díla prověřil čas, či přesněji řečeno následující generace vědců. Toto srovnání koneckonců vybízí i k nadhledu nad otázkami dnešní vědy.

Samotný vynález dalekohledu lze nejlépe připsat holandskému výrobcí brýlí z Middelburgu německého původu, Hansi Lipperheyovi (?–1619), jehož žádost o patentování

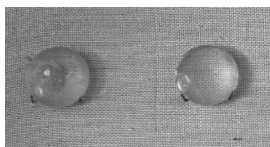
---

<sup>1</sup> Srov. Platón, *Tímaios* 47a–b (PLATÓN 1996, str. 44).

<sup>2</sup> Překládat Galileiovu práci *Sidereus nuncius* jako *Hvězdný posel* je zažitý a běžný úzus nejen u nás, ale i v jiných jazycích (srov. *Starry Messenger*, *Le messenger celeste*, *Zvezdni glasnik*). Některé studie o Galileim ovšem upozorňují právě na to, že Galilei sám měl na mysli pravděpodobně gramaticky rovněž přípustný význam *Hvězdné poselství* (*Poselství /z/ hvězd*); srov. GALILEI 2009: *Sidereal Message*. Johannes Kepler však ve své odpovědi Galileimu zjevně diskutuje s „poslem“, a nikoli se „zprávou“ či „poselstvím“. Abychom zdůraznili souvislost obou děl, Galileiho práce a Keplerovy odpovědi na ni, jejichž překlad zde vydáváme společně v jednom svazku, ponecháváme proto po zvážení v obou případech totéž tradiční označení *Hvězdný posel*. Podrobněji k tomu srov. též str. 51, pozn. 82.

dalekohledu ze září 1608 je nejstarším dochovaným záznamem dosvědčujícím existenci dalekohledu zkonstruovaného ze skleněných čoček. K vynálezu dalekohledu se hlásili i další Holanďané Jacob Metius z Alkmaaru a Zacharias Jansen z Middelburgu. Podle jiných badatelů<sup>3</sup> byl dalekohled objeven již kolem roku 1600 v Itálii, zpráva o tom se však nerozšířila.

V literatuře lze ovšem nalézt i mnohem starší zmínky o optických experimentech a možnostech zkonstruovat optický přístroj zobrazující vzdálené předměty jako blízké. Čočky broušené z křišťálu byly užívány jako lupy již v antice. Znamé jsou antické čočky z Kréty, ze Rhodu, z Pompejí.<sup>4</sup> Používaly se jako lupa ve zlatnictví, jako ozdoba štítů, od níž se odrážely sluneční paprsky, jako zápalná zrcadla ve vojenství.



Čočky vybroušené z horského křišťálu. Palaikastro, 1600–1500 př. n. l. Archeologické muzeum (vitrína 124), Iráklío, Kréta. Foto doc. Zdeněk Kratochvíl

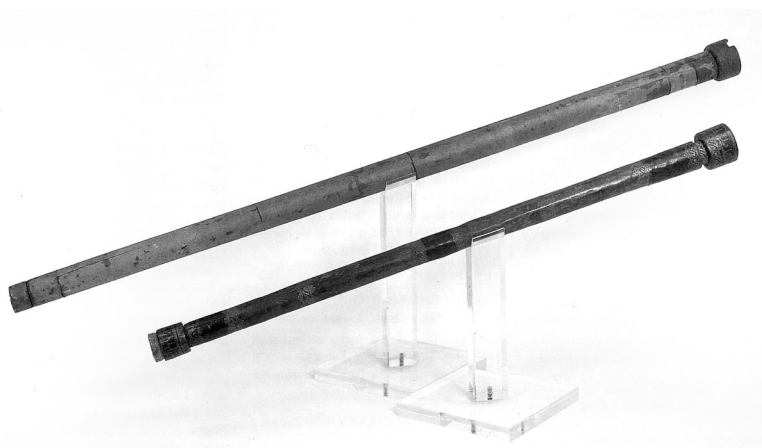
Teoretické základy optiky jsou popsány ve spisech Eukleida a Ptolemaia. Významný pokrok přinesla Alhazenova *Knihla o optice* (*Kitab al manazir*). Její autor, arabský učenec Abu Ali Ibn al-Haitham, narozený v irácké Basře kolem roku 965 a působící až do své smrti kolem roku 1040 v Káhiře, se zabýval studiem odrazu světla na nerovinných zrcadlech i zákonitostmi lomu světla, atmosférickou refrakcí a stavbou oka. V Evropě na Alhazena navazovali po teoretické stránce Robert Grosseteste (1175–1253), Roger Bacon (asi 1214–1292) a ve druhé polovině 13. století rovněž slezský učenec Vitelo, působící i v Praze ve službách Přemysla Otakara II. Vitelo napsal v roce 1270 spis *Perspektiva* (*Perspectiva*), ze kterého vycházel ve svých studiích optiky i Johannes Kepler (1571–1630). Z Alhazenových zkušeností čerpali od konce 13. století také evropští, především italská výrobci čoček a brýlí. Zmínky o zvětšeném zobrazování předmětů pomocí

<sup>3</sup> VAN HELDEN 1974c, str. 39.

<sup>4</sup> Čočky, zasazené v kovových objímkách, jsou vystavené např. v Archeologickém muzeu města Rhodu. Podle muzejního popisu jde o „ploskovypuklé lupy z horského křišťálu užívané k rytí jemných detailů na malých předmětech, jako jsou např. pečeti rytá v 7.–6. století př. n. l. Ohnisková vzdálenost čoček je vyznačena čísly na jejich bronzových obroučkách.“ Obdobné, ale ještě mnohem starší čočky jsou uloženy v Archeologickém muzeu v Iráklíu na Krétě. Jde také o čočky broušené z horského křišťálu; pocházejí z Palaikastro a datují se do let 1600–1500 př. n. l. Sloužily asi jako ozdoba štítů, i když by některé dobře fungovaly i opticky.

soustavy čoček se nacházejí v denících Leonarda da Vinciho (1452–1519) nebo ve spise *Homocentrica sive De stellis* (*Soustřednost sfér neboli O hvězdách*, 1538) veronského lékaře Girolama Fracastora (1478–1553). Kolem roku 1550 se zmínky o pozorovacích optických přístrojích vyskytují i u anglických učenců Roberta Recordea (1510–1558) a Leonarda Diggesa (c. 1520–1563). Giambattista Della Porta (1538–1615) z Neapole ve své práci *Magia naturalis* (*Přírodní magie*), prvně vydané roku 1558, popisuje dalekohled sestavený z konvexní a konkávní čočky z krystalu. Na rozdíl od těchto buď jen teoretických úvah, nebo improvizovaných pokusů považovaných jejich autory spíš za zajímavé hříčky si Hans Lipperhey uvědomil praktický dopad a význam svého vynálezu především pro námořníky, vojáky nebo lovce a systematicky se věnoval jeho výrobě a šíření.

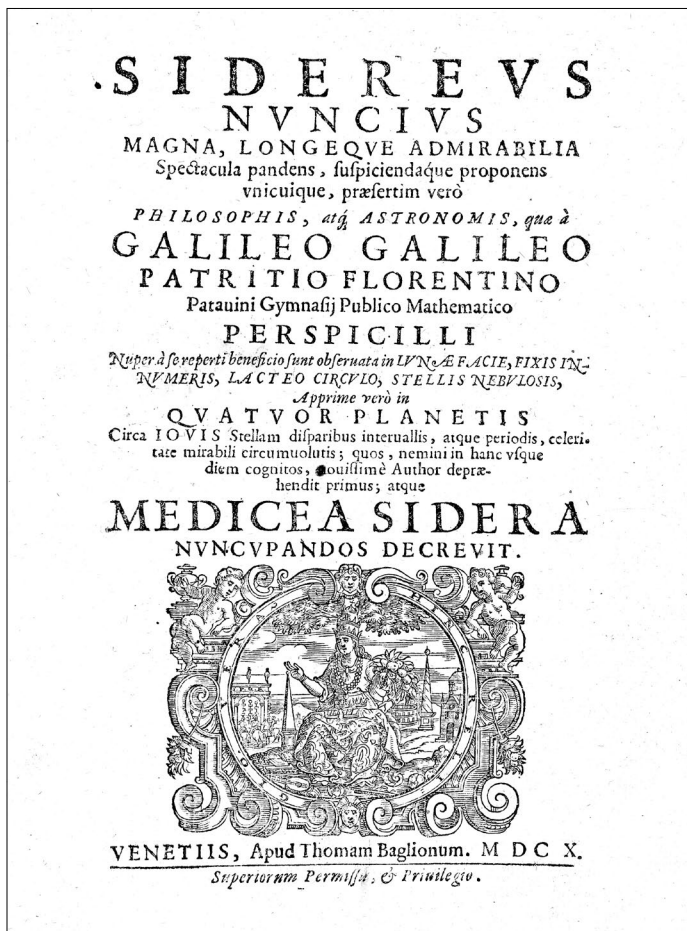
V létě 1609 se zprávy o dalekohledu dostaly i ke Galileu Galileimu (1564–1642) do Padovy. Okamžitě začal experimentovat s čočkami z kvalitního skla vyráběného v Muranu a v krátké době mohl poskytnout Benátské republice dalekohled kvalitnější, než jaký jí ve stejnou dobu nabízel Hans Lipperhey. Galileo postupně sestavil několik dalekohledů s rostoucím zvětšením a od podzimu roku 1609 je také používal ke svým pozorováním nebeských těles. Právě tato Galileiho pozorování, která popsal ve svém spise *Sidereus nuncius* (*Hvězdný posel*), vydaném již v březnu roku 1610, otevřela novou etapu v rozvoji astronomie.



*Dva Galileiho dalekohledy, uložené dnes v Museo Galileo ve Florencii. Jsou vyrobeny ze dřeva a potaženy papírem. První z nich je dlouhý 1,36 m, průměr vstupní pupily je 26 mm, zvětšuje čtrnáctkrát. Druhý má délku 0,92 m, průměr vstupní pupily je 16 mm, zvětšuje dvacetkrát<sup>5</sup>*

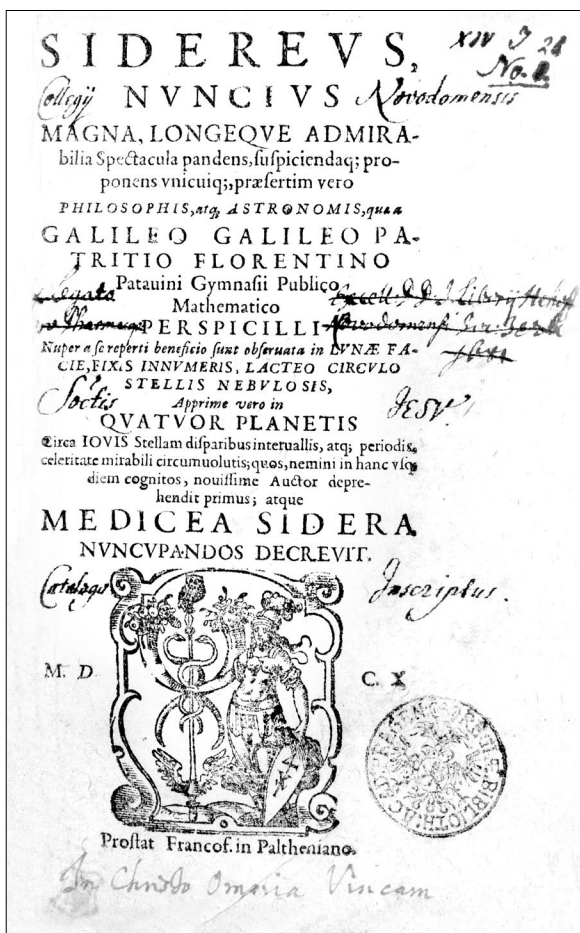
<sup>5</sup> Srov. MINIATI 1991, str. 72–73.





Galileo Galilei, *Sidereus nuncius* (*Hvězdný posel*). Benátky 1610, titulní list. Brno, Moravská zemská knihovna, sign. ST2-0968.892

Galileo Galilei však ve skutečnosti nebyl prvním pozorovatelem nebeských těles pomocí dalekohledu, jak se někdy zjednodušeně uvádí. Již v létě roku 1609 použil kartograf Thomas Harriot (1560–1621) v Anglii Lipperheyův dalekohled k pozorování Měsíce. Je autorem první kresby (mapy) Měsíce, kterou ovšem nezveřejnil. Podobně jako Galileo také Simon Marius (1573–1624) v Německu zkonstruoval podle zpráv o Lipperheyově dalekohledu svůj přístroj a své výsledky uveřejnil roku 1614 (srov. níže kap. Simon Marius). Myšlenka obrátit dalekohled k nebeským tělesům byla zjevně celkem přirozená. Podle Keplerova svědectví v *Rozpravě* také císař Rudolf II. pozoroval dalekohledem Měsíc, a to dříve, než se rozšířila zpráva



Galileo Galilei, *Sidereus nuncius* (Hvězdný posel). Frankfurt nad Mohanem 1610, titulní list. Praha, Národní knihovna ČR, sign. 14J25

o Galileiho objevech.<sup>6</sup> Galileo Galilei se však stal prvním, kdo svá pozorování objektů na nebi zveřejnil. Věhlas, který Galileo získal svými objevy, přitahoval ovšem i závis-  
 titve a pomlouvače, mezi nimi i českého studenta Martina Horkého, který ve svém  
 spise zpochybňoval použitelnost dalekohledu k pozorování nebeských těles (srov. níže  
 kap. Martin Horký).

Galilei sestavil hned několik dalekohledů (největší zvětšoval asi dvaatřicetkrát,  
 což je poměrně hodně, když uvážíme, že Měsíc se dnes amatérsky pozoruje i s jen

<sup>6</sup> Srov. SMOLKA 2005.

desetinásobným přiblížením) a bezprostředně je začal užívat k pozorování nebeských těles. Jeho dalekohledy jsou dnes uloženy ve Florencii v Museo Galileo, Palazzo Castellani, které do roku 2010 neslo název Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Galileo svou práci s dalekohledy od počátku popisoval a zpřesňoval i pozorovací deník. Rukopis deníku se stal základem spisu *Sidereus nuncius* (*Hvězdný posel*), vydaného roku 1610 v Benátkách, jehož český překlad zde přinášíme. Kniha je rozdělena do čtyř tematických celků.

První kapitola se zabývá popisem dalekohledu. Galilei věnoval velkou pozornost nejen jeho konstrukci, ale také kalibraci. Zajímavé jsou i partie o hledání odpovídajících latinských výrazů, jakými nový přístroj nejlépe pojmenovat.

Druhá kapitola je věnována pozorováním Měsíce: Galilei jasně rozeznal hory, údolí, prolákliny a další nerovnosti povrchu, které jasně svědčily o materiální podstatě Měsíce a vyvracely tradiční aristotelovský názor o dokonalém tvaru a éterové podstatě vesmíru. Pro českého čtenáře je jistě zajímavé, že Galilei přirovnal vzhled jedné části povrchu Měsíce (a to kráteru zvaného Albategnius) k území Čech, které je kolem dokola obkrouženo pohraničními zalesněnými horami. V roce 1988 byla Galileiova myšlenka podobnosti českých pohraničních hor a měsíčního kráteru znovu připomenuta v hypotéze, že česká kotlina je impaktního původu, a vznikla tedy po nárazu nějakého vesmírného tělesa. Vyobrazení Měsíce v *Hvězdném poslu* jsou zajímavým dokladem vývoje vědecké ilustrace v astronomických spisech. Galileiho kresby jsou do jisté míry realistické, současně však akcentují jevy, jež jejího autora zaujaly nejvíce. Příkladem takové výtvarné nadsázky je právě zvýraznění kráteru Albategnius na úkor jiných měsíčních útvarů. Galileiovu schopnost rozlišovat detaily objektů a plasticky vnímat stíny měsíčního reliéfu lze částečně připsat i na vrub autorovu malířskému školení v mládí.

Třetí kapitola pojednává o stálicích, mlhovinách a hvězdokupách. Galilei pozoroval Plejady v Býku, Jesličky v Raku, oblast kolem Oriona a zkoumal také Mléčnou dráhu, v níž objevil nesmírné množství drobných hvězd, které nelze spatřit prostým okem. Tato pozorování mluvila ve prospěch teorie Giordana Bruna o nekonečnosti vesmíru a existenci nesčetných světů. Brunově teorii ovšem nevěřil Johannes Kepler, což v *Rozpravě* dává jasně najevo. Naproti tomu Keplerův pražský přítel Jan Matouš Wacker z Wackenfelsu, se kterým se o tom Kepler často přel, byl přesvědčen o pravdivosti Brunovy teorie. Wacker též vlastnil svazek obsahující dvě Brunovy práce, spis *De monade* (*O monadě*) a *De innumerabilibus* (*O nezměrném a nespočetném*), 1591. Tento Wackerův exemplář je dnes uložen ve Vědecké knihovně v Olomouci.

Čtvrtá kapitola je pak věnována objevu čtyř Jupiterových měsíců Io, Europa, Ganymedes a Callisto (srov. níže kap. Matematické zpracování), jímž byl Galilei sám překvapen nejvíce. Publikování *Hvězdného posla* a dedikace měsíců rodu Medicejů Galileimu zajistila návrat z Padovy do rodné Florencie a vstup do medicejských služeb. Jupiterovy měsíce Galileo pozoroval poprvé 7. ledna 1610 a pokračoval v téměř

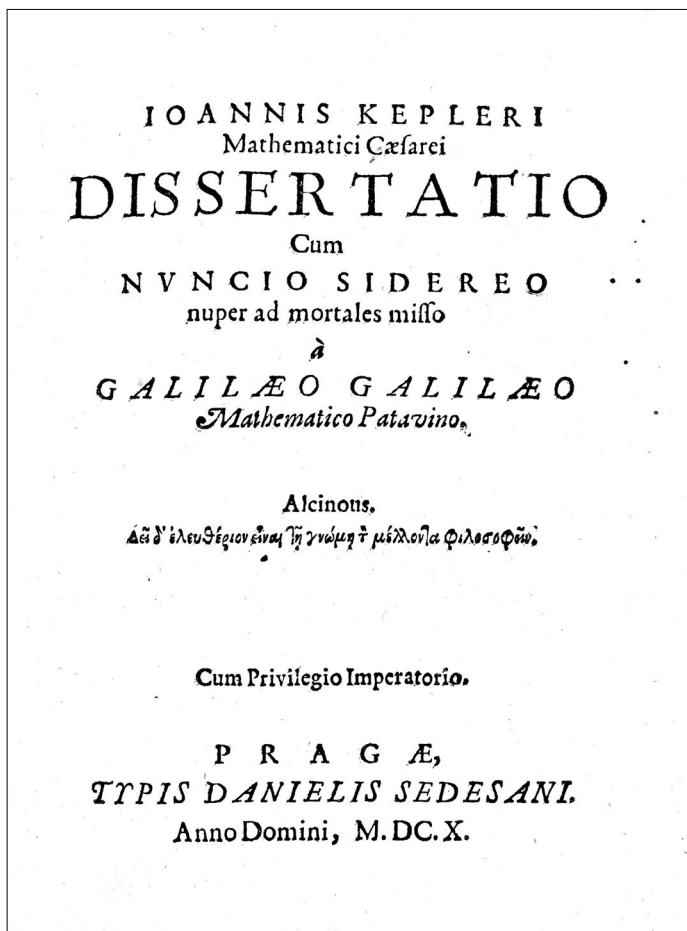
nepřetržité řadě systematických a stále zpřesňovaných pozorování (pokud byla jasná noc) až do 2. března toho roku. 12. března napsal ke svému pozorovacímu deníku předmluvu, narychlo odcestoval z univerzity v Padově do Benátek a do týdne (ještě v březnu 1610) tu publikoval výsledky svých zimních pozorování pod názvem *Sidereus nuncius* (*Hvězdný posel*).

## Keplerova Rozprava s Hvězdným poslem

Jak Johannes Kepler sám napsal, těšil se na odpočinek po vydání *Nové astronomie* (*Astronomia nova*), v níž formuloval první dva ze svých zákonů o pohybu planet – zákon o eliptickém tvaru drah planet a zákon o konstantní plošné rychlosti pohybu. Z odpočinku však byl vyrušen naléhavým přáním Galilea Galileiho, který mu na jaře roku 1610 poslal svého *Hvězdného posla* a žádal, aby mu Kepler sdělil svoje mínění.

Kepler se s Galileim nikdy osobně nesetkal, znali se jen z nepříliš hojné korespondence (sedm dopisů napsal Kepler Galileimu, tři dopisy Galilei Keplerovi). V Keplerových sebraných spisech (*Kepler's Gesammelte Werke*, KGW) je ovšem celkem šest svazků věnováno jeho korespondenci, která zahrnuje více než 1 100 dopisů. Keplerův písemný styk se soudobými špičkovými učiteli byl velmi hojný a rozsáhlý. Podíváme-li se na korespondenci jen z kvantitativního hlediska, uvidíme, že nejčetnější korespondenci vedl v době svého pobytu v Čechách, což souhlasí s hodnocením, že jeho pražské období bylo asi nejproduktivnější. Z korespondence vyplývá, že v metodách jeho práce nejsou patrné žádné podstatné rozdíly od našich současných metod: potřeba kontaktů, jejich vyhledávání, potřeba sdělovat a sdílet vzájemně výsledky studií se stejně naladěnými osobnostmi světové vědy byla tehdy již stejná jako dnes, jen prostředky a podmínky byly jiné. Korespondence posílaná kurýry byla samozřejmě pomalejší než dnešní elektronická pošta, na druhou stranu se někdy žhavé novinky publikovaly velmi rychle.

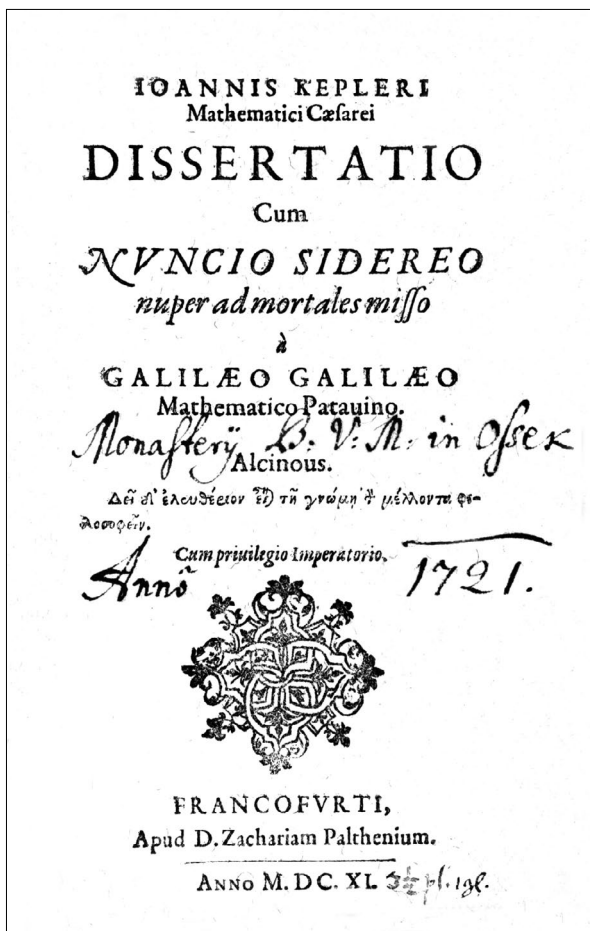
Dalekohled a jeho užití k pozorování pozemních cílů vyvolaly v tehdejší společnosti velký zájem. Mnozí učenci však považovali uplatnění teleskopu při astronomických pozorováních za zavádějící, a proto je zpochybňovali. Skepsi částečně zavinila špatná kvalita prvních čoček, která způsobovala zkreslení obrazu. Johannes Kepler však okamžitě pochopil, jaké dříve netušené možnosti nová technika nabízí, a Galileimu odpověděl dlouhým obdivným dopisem, který nedlouho poté zveřejnil pod názvem *Dissertatio cum Nuncio sidereo* (*Rozprava s Hvězdným poslem*). Kepler v odpovědi uplatnil své předchozí zkušenosti a teoretickou znalost optiky a potvrdil, že funkce dalekohledu je přirozená a pochopitelná. Otevřeně a upřímně připustil, že se mýlil, když ještě nedávno hlásal, že přesnost Tychonových pozorování nemůže být nikdy překonána, protože již dosáhla mezí lidských možností.



*Johannes Kepler, Dissertatio cum Nuncio sidereo (Rozpráva s Hvězdným poslem). Praha 1610, titulní list. Praha, Národní knihovna ČR, sign. 49 B 30, adl. 4*

Stejně inspirující jako technická stránka dalekohledu byly pro Keplera také Galileovy objevy. Pozorování Měsíce byla v souladu s Keplerovými úvahami o lunární astronomii, které téměř celoživotně sepisoval a vložil do *Snu neboli Měsíční astronomie (Somnium seu De astronomia Lunari)*. Spis však poskytl jen úzkému okruhu svých přátel a vydal jej až posmrtně jeho syn roku 1634.<sup>7</sup> V rozboru Galileových pozorování Měsíce se Kepler soustředil na jeho názory na barvu, a tudíž podstatu hor a údolí na Měsíci. Galilei zde navazuje na Plútarchovu myšlenku, k níž měl blízko již Pýthagorás a pak také Keplerův

<sup>7</sup> KEPLER 1634; KGW XI/2, 1993; KEPLER 2004b.



Johannes Kepler, *Dissertatio cum Nuncio sidereo* (*Rozprava s Hvězdným poslem*). Frankfurt nad Mohanem 1611, titulní list. Praha, Národní technické muzeum, sign. A 17648

učitel Michael Mästlin, že temné části měsíčního povrchu jsou vodní plochy a světlé pevniny. Johannes Kepler považoval temné části Měsíce nejprve za pevniny a světlé za vodstvo, názor změnil až pod vlivem Galileova *Hvězdného posla*.

Galileiho poznámku o nesmírném počtu slabých hvězd Kepler okamžitě zobecnil na kosmologický problém nekonečnosti vesmíru. Myšlenku nekonečnosti vesmíru zastával Giordano Bruno (podrobněji k tomu srov. níže kap. Paradox temného nebe). Kepler v *Rozpravě* i jiných svých pracích často a důrazně argumentuje proti Brunově představě, že hvězdy jsou stejné povahy jako Slunce a mají také své planetární soustavy, podobné Sluneční soustavě. Je zajímavé, že kosmická sonda, kterou v roce 2009 vypustila NASA

a jejímž úkolem je objevování exoplanet (tj. planetárních soustav kolem jiných hvězd), byla ironií osudu (či snad z neznalosti Keplerových názorů?) pojmenována Kepler.

Nejvíce však Keplera vzrušila zpráva o objevu „nových planet“, jak Jupiterovy měsíce tehdy popisovaly ústní zprávy a zvěsti, šířené ještě rychleji než oficiální tištěný Galileův *Hvězdný posel*. (První zpráva o pozorováních dorazila do Prahy již 15. března, Kepler dostal svůj výtisk Galileovy knihy již 8. dubna a 19. dubna odeslal Galileovi svou odpověď.) Galileova pozorování byla velkou výzvou pro Keplerovu teorii, publikovanou v díle *Mysterium cosmographicum* (*Tajemství vesmíru*). Kepler věřil, že základní přírodní zákony a z nich vyplývající stavba světa jsou harmonické, to znamená, že jsou ve své podstatě jednoduché. Principiální jednoduchost spíše než numerická přesnost – to byl aspekt, v němž kopernikanismus předčil tradiční geocentrický model Sluneční soustavy s jeho složitým systémem epicyklů. Ve spise *Mysterium cosmographicum* se Kepler pokusil nalézt hlubší harmonii Koperníkova modelu. Tato harmonie, založená na geometrických principech, měla určovat poměry poloměrů planetárních sfér. Kepler zjistil, že tyto poměry velmi dobře odpovídají poměrům poloměrů sfér vepsaných a opsaných symetrickým platónským tělesům: krychli v Saturnově sféře, čtyřřstěnu ve sféře Jupitera, dvanáctistěnu ve sféře Marsu, dvacetistěnu ve sféře Země a osmistěnu ve sféře Venuše; ten je opsán sféře Merkura (srov. pozn. 219 na str. 124 a obr. 4 na str. 180). Nadto se zdálo, že počet existujících platónských těles vysvětluje počet tehdy známých planet. Proto by objev nových planet Keplerovu teorii vyvrátil. Skutečnost, že Galileim pozorované objekty jsou měsíce Jupitera, dodala Keplerovi odvalu k nové hypotéze, že Mars by tedy měl mít dva měsíce a Saturn ještě o něco více (šest nebo osm) měsíců. Později se ukázalo, že tyto odhady byly – ovšem čistou náhodou – správné. Z hlediska našich dnešních znalostí – a již ve vztahu k newtonovské mechanice – byla ovšem Keplerova teorie chybná. Dnes si z ní můžeme vzít ponaučení, že souhlas teorie s omezeným objemem dat nezaručuje její správnost, a vždy je proto cenné teorii ověřit na dalších datech. Na druhou stranu víra v existenci harmonie sfér a následné rozpracování této myšlenky Keplera dovedla v pojednání *Harmonice mundi* (*Harmonie světa*), vydaném v roce 1619 v Linci, k objevu třetího zákona planetárního pohybu. Tento zákon o úměrnosti druhých mocnin oběžných period třetím mocninám poloměrů drah završil úplnost kinematického popisu pohybu planet.

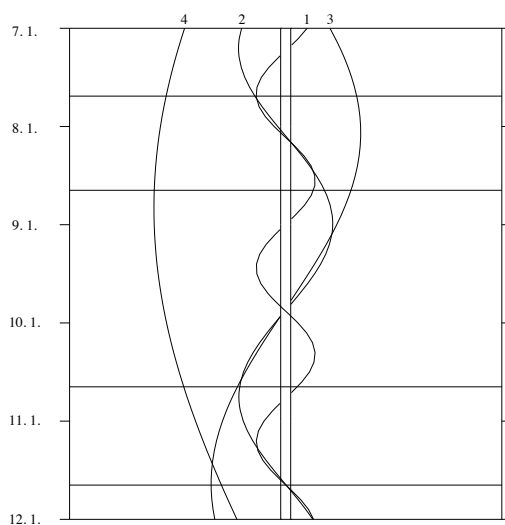
Na Keplerových spisech je sympatická otevřenost, s jakou odkrývá své myšlenky, citění a názory. V *Rozpravě* Johannes Kepler vyjadřuje svůj hluboký respekt a obdiv vůči Galileimu, současně však velmi pečlivě doplňuje i své vlastní výsledky toho kterého studovaného problému. Problémy optiky i astronomie se v tu dobu intenzívně zabýval a projevuje tak sebedůvěru stejně jako zájem být účasten na nových teleskopických pozorováních oblohy. Můžeme konstatovat, že vztahy mezi Johannem Keplerm a Galileem Galileim byly plně vzájemného respektu a sympatií, na druhé straně lze vycítit i jistou rezervovanost a opatrnost. Jejich pevnou společnou základnou a východiskem bylo

přesvědčení o platnosti Koperníkovy astronomie. Zajímali se navzájem o svou práci a názory, vzájemné informace však většinou získávali prostřednictvím třetí osoby. Jak Kepler, tak Galilei představovali ve své době vrcholy astronomického pokroku, což znamená, že byli současně jak hlavními soupeři, tak se vzájemně podporovali ve svých pozicích.

Galileiho i Keplerova práce současně dobře ukazují mezinárodní rozměr a charakter vědy a potřebu vědců sdílet a konzultovat objevy a závěry s nejlepšími odborníky na danou problematiku ve světě – potřebu, která byla v Galileiho a Keplerově době platná stejně jako dnes.

## Matematické zpracování Galileových pozorování Jupiterových měsíců

Galilei sám byl nejnadšenější ze svého objevu měsíců obíhajících kolem planety Jupiter. Poprvé si jich všiml při svém pozorování 7. ledna 1610 a zahájil okamžitě jejich sledování. Stále více si uvědomoval důležitost systematickosti pozorování, a proto postupně zlepšoval i přesnost jejich popisů. Byl si vědom i priority svého objevu, a dal proto přednost rychlému publikování observačních výsledků před jejich důkladným a déle trvajícím zpracováním.



*Vypočtené polohy galileovských měsíců mezi 7. a 12. lednem 1610*



Dnes známe parametry drah Jupiterových měsíců natolik přesně, že můžeme zpětně vypočítat polohy měsíců v době Galileiho objevu. Výsledky našich výpočtů jsou znázorněny na obr. „Vypočtené polohy“.<sup>8</sup>

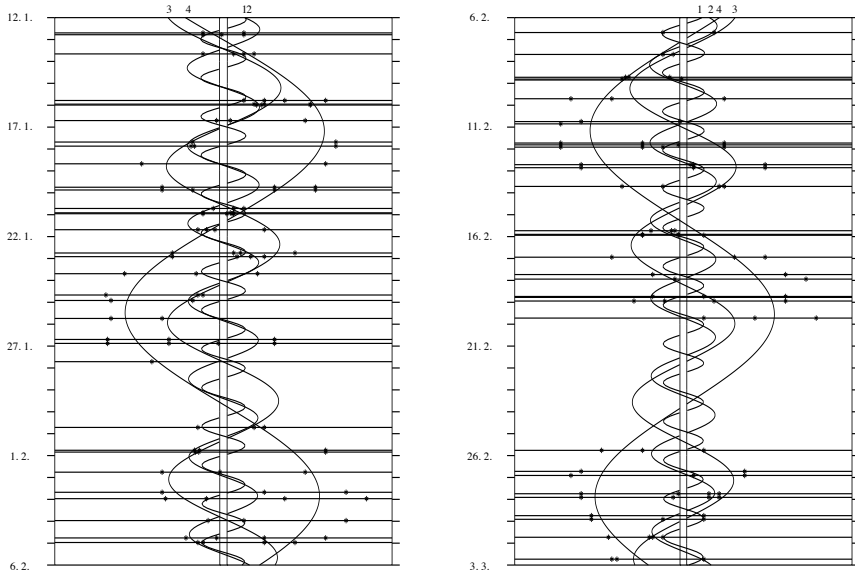
Na vodorovné ose jsou vyneseny polohy Jupiterových měsíců. Číslice 1 označuje měsíc Io, 2 Europu, 3 Ganymeda a 4 Callistu. Na rozdíl od podobných grafů, které se obvykle tisknou ve hvězdářských ročenkách, nezobrazujeme polohy měsíců v souladu s pohledem ve hvězdářském (Keplerově) dalekohledu, ale v přímém pohledu odpovídajícím Galileiho dalekohledu, takže vlevo od Jupitera je východ, vpravo od něj pak západ. Rozsah grafu je  $\pm 16,5'$ . Na svislé ose jsou vynesena data. Vodorovné čáry označují okamžiky prvních čtyř Galileiových pozorování. Porovnáním s obrázkem ve *Hvězdném poslu* na stranách 84–85 vidíme, že v okamžiku objevu byl vlevo (na východě) měsíc Callisto, následovaný směrem k Jupiteru měsíci Io a Europa, jež splývaly a jevily se jako jeden objekt. Z pravé (západní) strany Jupitera se nacházel Ganymedes. V noci z 8. na 9. ledna si Galilei nevšiml měsíce Callisto a zaznamenal pouze Io, Europu a Ganymeda na pravé (západní) straně Jupitera. V noci z 10. na 11. ledna byl měsíc Callisto stále vlevo (na východě) a na jeho stranu se přesunuly i měsíce Europa a Ganymedes, které byly v konjunkci, zatímco měsíc Io téměř splýval se západním okrajem Jupiterova disku, takže jej Galileo vůbec nerozlišil. V noci z 11. na 12. ledna byl vlevo (na východě) Ganymedes, ve směru k Jupiteru následovaný měsícem Callisto, zatímco Io a Europa přecházely přes Jupiterův disk.

Počínaje 12. lednem začal Galileo uvádět své odhady úhlových vzdáleností měsíců od Jupiteru, takže na obrázku „Teoretické a pozorované polohy“ můžeme porovnat vypočtené polohy (vyznačené kontinuálními liniemi) s Galileiovými pozorováními (vyznačenými hvězdičkami). Je patrné, že Galileiho odhady se příliš nepřekrývají s teoreticky spočtenými křivkami, a nebyly tedy příliš přesné; přibližně však vystihují vzájemné rozmístění měsíců. Je také zřejmé, že z těchto měření Galilei nemohl odvodit parametry drah, dala se odhadnout pouze přibližná hodnota periody nejbližšího měsíce Callisto (Galilei ji v závěru *Hvězdného posla* odhaduje na půl měsíce; siderická hodnota je ve skutečnosti 16,689 dne). Galilei ze zveřejněných pozorování nemohl přesněji určit ani periody oběhu a poloměry drah jednotlivých měsíců, takže Simon Marius, který v roce 1614 tyto hodnoty určil, nemohl v žádném případě vycházet z Galileiho pozorování. Galilei tedy Maria nařkl z plagiátorství neprávem (k tomu srov. níže kap. Simon Marius).

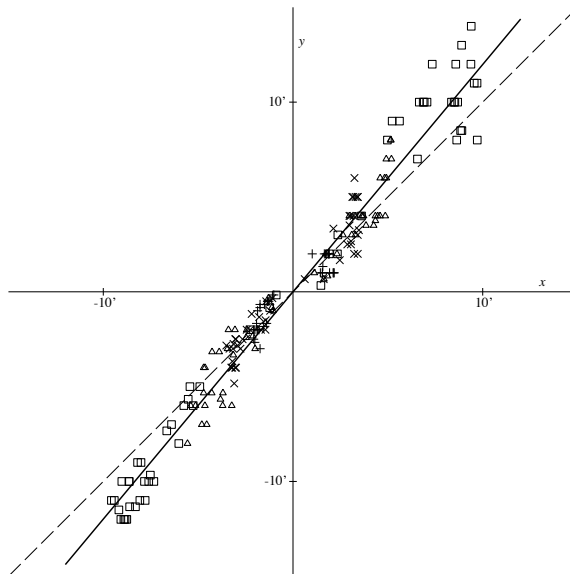
Přesnost Galileiho pozorování můžeme znázornit graficky na obrázku „Závislost...“, kde jsou na vodorovné ose vyneseny skutečné vzdálenosti měsíců od Jupiteru a na svislé ose Galileiho odhady těchto hodnot. Značka + ukazuje polohy měsíce Io, × polohy

<sup>8</sup> K výpočtům jsme použili programy dr. Jana Vondráka z Astronomického ústavu AV ČR, v. v. i. (srov. VONDRÁK 1981). – Tato kap. byla publikována jako součást anglicky psaného článku HADRAVOVÁ – HADRAVA 2010.

# ALENA A PETR HADRAVOVI: ÚVOD



*Teoretické a pozorované polohy Galileových měsíců mezi 12. lednem a 6. únorem (vlevo) a mezi 6. únorem a 3. březnem (vpravo)*



*Závislost Galileim napozorovaných hodnot ( $y$ ) na skutečných vzdálenostech ( $x$ ) měsíců od Jupitera*

měsíce Europa,  $\Delta$  Ganymeda a  $\square$  Callisto. Plná čára ukazuje přímkou proloženou všemi měřeními metodou nejmenších čtverců, čárkovaná čára ukazuje přímkou  $y = x$ , na níž by měla ležet dokonale přesná měření. Z výsledků je zřejmé, že Galilei poněkud podceňoval malé vzdálenosti a přeceňoval vzdálenosti velké.

měsíc	$k$	$\Delta$	$n$
Io	0,87	0,6'	34
Europa	1,09	0,9'	48
Ganymedes	1,16	1,1'	55
Callisto	1,23	1,4'	60
všechny měsíce	1,20	1,2'	197

*Výsledky statistické analýzy Galileiho pozorování;  $k$  je střední škálovací koeficient ( $y = kx$ ),  $\Delta$  je střední kvadratická chyba  $y$ ,  $n$  je počet měření*

## Paradox temného nebe

Galileiho popis velkého počtu slabých hvězd pozorovaných dalekohledem vyprovokoval Keplera ke kritice představy Giordana Bruna (1548–1600) o nekonečném počtu světů, to jest hvězd podobných Slunci, které mohou být obklopeny soustavami planet, stejně jako je tomu v naší Sluneční soustavě. Kepler v *Rozpravě* píše Galileimu: „Neváháš prohlásit, že je vidět více než deset tisíc hvězd. Čím jich je totiž víc a čím jsou nahuštěnější, tím správnějším se stává můj důkaz proti nekonečnosti vesmíru“ (širší kontext srov. níže na str. 157). Odvolává se přitom na svá slova, která formuloval již ve spise *Knížka... o nové hvězdě v patě Hadonoše (De stella nova in pede Serpentarii... libellus)*, vydaném roku 1606 v Praze a zabývající se novou hvězdou z roku 1604<sup>9</sup> a jejím srovnáním se staršími novami. V knížce mimo jiné polemizuje s představou, že nové hvězdy (novy) by mohly

<sup>9</sup> Dnes se jí říká Keplerova supernova. Objevil ji český pozorovatel Jan Brunovský na hvězdárně postavené v zahradě Václavovy koleje v Praze na Starém Městě, kde také po nějakou dobu svého pražského pobytu bydlel Johannes Kepler. Svědčí to o tom, že Kepler pokračoval v Braheově praxi spolupracovat s týmem pozorovatelů. Kepler tento jev, objev nové hvězdy, popsal nejprve v krátké německy psané publikaci v roce 1604 a poté ještě v další, latinské, v roce 1606. Snažil se také nalézt možné analogie objevu nové hvězdy, a proto začal hledat paralely v historických záznamech. Pro české dějiny je jistě zajímavé, že jeden záznam našel k roku 1283 v české kronice *O zlych časech po smrti krále Přemysla Otakara II. (Annales de rebus gestis post mortem Przemyslai Ottakari regis)* a kriticky rozebral předpověď politického vývoje, která z toho byla vyvozována. Ukazuje to na široký okruh Keplerových zájmů, jenž zahrnoval i dějiny (srov. HADRAVOVÁ – HADRÁVA 2009a).

být stálice, které se zjasnily v důsledku vychýlení z původní polohy. Poukazuje na to, že nebyl zaznamenán posun nov větší než 2', a dodává: „jak hloupá věc: hvězda sama zabrala svým průměrem několik minut“.<sup>10</sup> Pak se snaží dokázat, že sféra stálic nemá nekonečnou výšku nebo tloušťku, jak tvrdili Giordano Bruno a William Gilbert (1544–1603). Kepler však model nekonečného vesmíru nechápal a ve svém výkladu vycházel z tradičního pojetí pevné sféry stálic. Navíc předpokládal, že všechny hvězdy mají velké úhlové rozměry:

„Jako příklad si vezmeme tři hvězdy druhé magnitudy v Orionově pásu. Každá z nich je od sousední hvězdy vzdálena 81', kdežto ona sama má nejméně dvě minuty v průměru. Budeme-li předpokládat, že jsou umístěny na stejném sférickém povrchu, jehož středem jsme my, pak pozorovatel stojící na jedné z nich uvidí druhou hvězdu pod úhlem téměř  $2\frac{3}{4}^\circ$ . Tolik by u nás na Zemi nepokrylo ani pět Sluncí, kdyby byla uspořádána v řadě a navzájem se dotýkala. Avšak ze všech stálic si tyto hvězdy nejsou vzájemně nejbližší; mezi nimi je totiž rozptýleno nesčíslné množství menších hvězd. Kdyby tedy někdo stál na Orionově pásu a měl naše Slunce, střed světa, nad svou hlavou, viděl by nejprve jakési nekonečné moře hvězd, které by se zdánlivě vzájemně dotýkaly. Když by pak zvedl oči výše, viděl by menší hvězdy a ty by se vzájemně dotýkaly méně a postupně by byly stále více a více oddělené. Nad svou hlavou by viděl stejné hvězdy, jako vidíme my, byly by však dvakrát menší a ve stejném poměru blíž k sobě, než je vidíme my. Takto se však u nás nebe nejeví. My vidíme hvězdy všude, mají rozdílné velikosti, nebe však je jimi poseto povětšinou rovnoměrně: kolem Oriona spatřujeme Blížence, mnoho velkých a natěsnaných hvězd; oko Býka, Kozu, hlavy Blíženců, souhvězdí Psů, ramena, pás a nohu Oriona. Stejně tak na opačném konci nebe jsou stejně velké hvězdy: Lyra, Orel, srdce a čelo Štíra, Hadonoš, misky Vah; vepředu Arktur, Klas Panny, vzadu pak poslední hvězdy Vodnáře<sup>11</sup> a tak podobně.“<sup>12</sup>

<sup>10</sup> KGW I, 1938, str. 252: „o, rem stultam: stella ipsa sua diametro occupavit aliquot minuta“.

<sup>11</sup> Okem Býka (v souhvězdí Býka, *Taurus*) je jistě míněn Aldebaran ( $\alpha$  Tau); Koza (v souhvězdí Vozky, *Auriga*) je  $\alpha$  Aur (Capella, Capra); na hlavě Blíženců (v souhvězdí Blíženců, *Gemini*) jsou nejvýraznější hvězdy  $\alpha$  Gem (Castor) a  $\beta$  Gem (Pollux); na pravém rameni Oriona je nejjasnější  $\alpha$  Ori (Betelgeuze), na levém pak  $\gamma$  Ori (Bellatrix), na pásu Oriona jsou tři hvězdy,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$  Ori (Mintaka, Alnilam, Alnitak), ve středověku se jim říkalo „Tři králové“; na levé noze Oriona je jasná hvězda  $\beta$  Ori (Rigel); Lyra je  $\alpha$  Lyr (Vega) a Orel je  $\alpha$  Aql (Altair); srdce Štíra (v souhvězdí Štíra, *Scorpius*) je  $\alpha$  Sco (Antares), z hvězd na čele Štíra je nejjasnější  $\beta$  Sco (Dzube); na okraji jižní misky souhvězdí Vah (*Libra*) je jasná hvězda  $\alpha$  Lib (Zuben Elgenubi), na okraji severní misky je nejjasnější  $\beta$  Lib (Zuben Elschemali); Arktur je nejjasnější hvězda souhvězdí Pastýře, Boóta ( $\alpha$  Boo); Klas (Spica),  $\alpha$  Vir, je nejjasnější hvězdou souhvězdí Panny (*Virgo*); poslední hvězdou v souhvězdí Vodnáře (*Aquarius*) je jasná  $\alpha$  PsA (Fomalhaut), která již patří i do souhvězdí Jižní ryby (*Piscis austrinus*). Srov. edici a překlad as-Súfiho latinského katalogu hvězd (tj. ptolemaiovského katalogu s přepočtenou precesí) v HADRAVOVÁ – HADRAVA IV, 2013, str. 29–235.

<sup>12</sup> KGW I, 1938, str. 253–254: „Etenim sumamus exempli causa tres stellas secundae magnitudinis in cingulo Orionis, quarum quaelibet a vicina distat per minuta 81', cum ipsa habeat

Dále pak Kepler píše: „Je-li výška sféry stálic nekonečná, to znamená, že některé stálice jsou nekonečně vysoko, potom budou mít samy o sobě také nekonečný objem svých těles. Představ si nějakou hvězdu, která je vidět pod jistým úhlem, například čtyř minut. Velikost jejího tělesa je vždy tisícina její vzdálenosti, což je známo z geometrie. Je-li tedy její vzdálenost nekonečná, průměr hvězdy je tisícina nekonečna. Avšak všechny poměrné části nekonečna budou i samy nezbytně nekonečné. Taková hvězda bude tedy nekonečná. Zároveň je konečná, protože má tvar, a každý tvar je opsán nějakými konci, a je tedy konečný nebo končící.“<sup>13</sup>

Tato zavádějící argumentace opět vychází z přesvědčení, že všechny hvězdy mají úhlový průměr řádově minuty, ačkoli již v roce 1604 Kepler ve své *Optice* (což je zkrácený název díla *Ad Vitellionem paralipomena, quibus Astronomiae pars optica traditur appellari, Poznámky k Vitelovi, jimiž se vykládá Optická část astronomie*) velmi výstižně popsal příčiny nepřesnosti zraku, včetně zdánlivého zvětšení úhlových rozměrů jasných objektů.

V *Rozpravě* však Kepler svou argumentaci rozvinul ještě o něco dál: „Kdybychom vzali i jen tisíc stálic a žádná by nebyla větší než jedna minuta... a kdyby byly všechny shromážděny do jedné kruhové plochy, dosáhly by (a dokonce by i překročily) průměr Slunce.... Je-li to pravda a jsou-li tyto hvězdy slunci stejného rodu, jako je naše Slunce, proč všechna tato slunce nepřevyšují naše Slunce jasem?“ (srov. níže str. 158). Tato námitka je podložena fyzikálně správnou úvahou: hustota toku záření klesá nepřímo

---

in diametro minuta minimum duo. Itaque si ponantur in eadem superficie sphaerica, cuius nos sumus centrum: oculos in una illarum collocatus, videbit alteram, sub quantitate anguli graduum  $2\frac{3}{4}$  fere; quantum nobis in terra non occupaverint quinque Soles, ordine positi, seque tangentes invicem. Atqui nondum sunt hae omnium vicinissimae invicem fixae. Innumerabiles enim intersparsae sunt minores. Itaque si quis esset in illo Orionis cingulo constitutus, habens Solem nostrum et mundi centrum super suum verticem, videret ille primo perpetuum quoddam quasi mare ingentium stellarum sese mutuo contingentium ad visum; inde, quo magis oculos levaret sursum, hoc minores videret stellas hocque minus sese contingentes, sed iam paulatim magis atque magis sparsas; circa ipsum vero suum verticem easdem nobiscum videret; sed duplo minores tantoque invicem propiores, quam nos illas videmus. Non ea penes nos coeli facies; qui stellas undique cernimus, variae quidem magnitudinis, at et hoc undique aequaliter ut plurimum: circa Orionem quidem et Geminos, multas, magnas et confertas intuemur: oculum Tauri, Capellam, capita Geminorum, Canes, humeros, cingulum et pedem Orionis. At in opposita coeli parte sunt aequae magnae: Lyra, Aquila, cor et frons Scorpii, Ophiuchus, Librae lances; et antierius Arturus (*sic*), Spica Virginis; item posterius, ultima Aquarii et similes.“

<sup>13</sup> Ibidem, str. 256–257: „Si est infinita sphaerae fixarum altitudo, id est si fixae aliquae sunt infinite altae, erunt ipsae in seipsis infinita etiam mole corporum. Finge namque stellam aliquam, quae videtur certo sub angulo, puta minorum quatuor; huiusmodi corporis amplitudo semper est millesima distantiae, quod certissimum est ex geometria. Ergo si distantia est infinita, diameter igitur stellae est infiniti pars millesima. At omnes infiniti partes aliquotae infinitae et ipsae sunt necessario. Stella igitur huiusmodi erit infinita. At simul est finita, quia figurata, et omnis figura finibus quibusdam est circumscripta, hoc est finita vel finiens.“