

Galileův Prubíř

aneb diskuse o podstatě a poloze komet

Vladimír Štefl

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 602 00 Brno

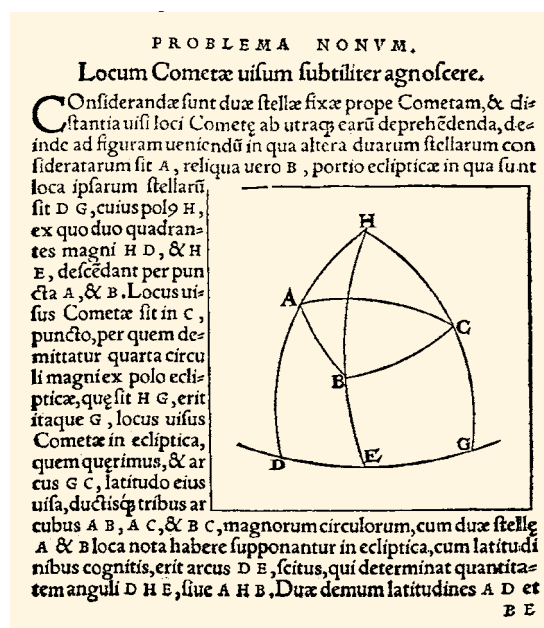
V roce 2018 uplyne 400 roků od objevení se komety v astronomické identifikaci C/1618 W1. Byla toho roku třetí, největší a nejvýraznější, odtud její uživanější název tzv. *velká kometa r. 1618*. Vyznačovala se dlouhým ohonem a načervenalým zabarvením. Na obloze byla pozorovatelná přes sedm týdnů, poprvé v historii i pomocí dalekohledu.

Vyvolala proto velký zájem, což se projevilo nejen početností pozorování po celé Evropě, ale i následně značným počtem publikací o ní. V mnoha z nich se interpretace původu komet opírala o dobové astrologické představy spojující ji s historickými událostmi. Vždyť se zjevila v roce, kdy začala v Evropě třicetiletá válka a byl objeven III. Keplerův zákon. Tím se vrátíme k astronomii.

Pozorování komet v 16. století se omezovalo na určování jejich polohy, sledování jasnosti či barvy. Významnější se situace po vynálezu dalekohledu a rozšíření jeho používání v roce 1618 ještě příliš nezměnila. Přesto velká kometa měla v historii astronomie výrazné místo, neboť diskuse nad otázkami podstaty komet a jejich polohy ve sluneční soustavě hrály zásadní úlohu v nastupující moderní vědě, potažmo v potvrzení heliocentrického názoru. Jejich role v novověku tak přesahovala rámec samotné astronomie, měla značné světónázorové aspekty.

Podívejme se podrobněji na historický rozvoj kometární astronomie v novověku. V něm první systematictější pozorování prováděl italský astronom a kartograf Paolo Toscanelli (1397–1482). V průběhu let 1433–1472 sledoval šest komet, mezi nimiž byla, jak se ukázalo později, Halleyova kometa, zachyceno v přehledu [1]. Realizoval sérii jejich pozičních měření v období 8. června až 8. července 1456. Měřil nejenom polohy komety vzhledem k okolním hvězdám, ale zjišťoval i její ekliptikální souřadnice. S velkou pravděpodobností se jednalo o první exaktní sledování této komety v Evropě. Toscanelli provedl matematickou rekonstrukci křivky, kterou na obloze opisovala. Výsledky zachytil do map oblohy s hvězdným pozadím. Halleyovu kometu pozoroval také rakouský astronom a matematik Georg Peuerbach (1423–1461). Ke dni 10. června 1456 stanovil velikost ohonu na 10° . Pokusil se o měření paralaxy prostřednictvím tehdy používané Jakubovy hole, a tím určení vzdálenosti komety. Nebylo přesné, z mála rozlišitelných paralax stanovil dolní mez vzdálenosti na 1 000 německých mil (1 n. m. = 5,522 km).

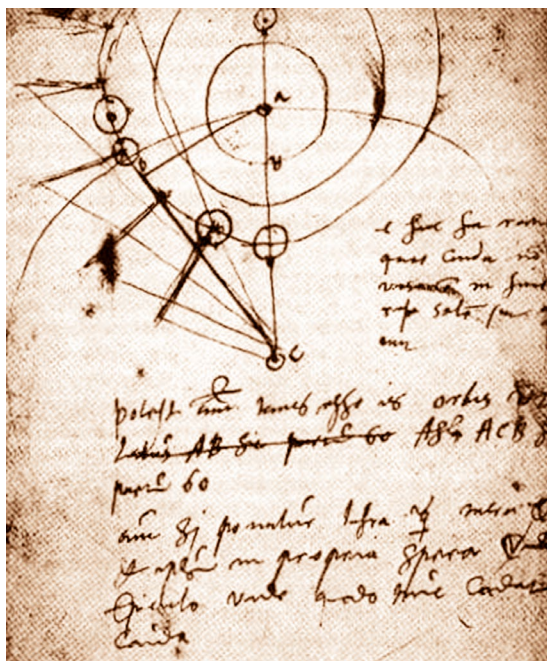
Podstatnějšího pokroku při výzkumu komet dosáhl jeho žák, německý astronom a matematik Johann



Obr. 1 Regiomontanova metoda určování polohy komety.

Müller-Regiomontanus (1436–1476), který je studoval celý život. Jeho poznatky o kometách byly uspořádány a vydány později, z dnešního pohledu v manuálu o kometách německého astronoma, matematika a kartografa Johanna Schönera (1477–1547) z roku 1531 [2], respektive později ve spisu *De triangulis omnimodis libri quinque*, česky Pět knih o rozmanitých trojúhelnících z roku 1544 [3]. Následující ukázka popisuje důležitou problematiku jednoduchého určování pozorované polohy komety vzhledem ke dvěma blízkým hvězdám. Je klíčovým postupem v novověku velmi používané Regiomontanovy metody stanovení polohy komet. Popíšme její jednotlivé kroky vycházející z obr. 1. Vyjdeme z anglického překladu v [4] a komentáře v [5].

Nechť dvě hvězdy se nacházejí na obloze v blízkosti komety, pozorováním jsou určeny jejich úhlové vzdálenosti od ní. Na obrázku je zachycena první hvězda v bodě A, druhá v B a kometa v C. Úsek na ekliptice, ve kterém leží obě hvězdy a kometa, je DG, H nechť je pól ekliptiky. Velké kruhy kvadrantů procházející body A, B od pólů k ekliptice jsou HD, HE. Kometou v C prochází velký kruh kvadrantu HG. Úkolem je nalézt souřadnici na ekliptice G, odpovídající poloze komety v C, jakož i ekliptikální šířku GC. Narýsujeme tři velké kruhy oblouků AB, AC a BC. U obou hvězd A a B známe jejich polohy na ekliptice, jakož i šířky, stejně jako oblouky DE



Obr. 2 Náčrtek komety r. 1577 z Tychonova pozorovacího deníku.

stanovující velikost $\angle DHE$ a $\angle AHB$. Zadány jsou dvě šířky AD a BE , jejich doplňky AH a HB , rovněž i AHB se dvěma stranami AH , HB a $\angle AHB$. Dále určíme stranu AB , vzdálenost mezi dvěma hvězdami a $\angle BAH$. Poněvadž dva oblouky AC a BC jsou stanoveny z pozorování a AB odvozením, máme tak všechny tři strany ABC , lze nalézt BAC . Jestliže od něj odečteme $\angle BAH$, obdržíme zbylý $\angle HAC$. Známe-li v HAC strany AH a AC , jakož i $\angle HAC$, máme $\angle AHC$ a oblouk HC . Velikost oblouku DG určuje $\angle AHC$. Při znalosti bodu D získáme bod G . Nalezli jsme ekliptikální délku pozorované komety. Navíc byl stanoven oblouk CG , šířka komety, neboť doplňek HC je znám. Obdrželi jsme pozorovanou polohu komety, což bylo cílem. Jak připomíná Regiomontanus, bylo možné i odlišné využití trigonometrie, ale výsledek by se příliš nelišil.

Popsaná Regiomontanova metoda umožnila stanovit úhlovou vzdálenost komety od dvou blízkých vztažných hvězd a nalézt pozorovanou polohu trigonometrickými postupy. Eliminována refrakční problémy a minimalizována chyby přístrojové, jakož i v polohách hvězd. Byla důležitou součástí několika způsobů stanovení paralaxy komety, její význam vyzdvihl v úvodu šesté kapitoly spisu *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus*, česky Druhá kniha o nedávných jevech v éterickém světě [6], dánský astronom Tycho Brahe (1546–1601), jedna z klíčových osobností pro posouzení principiální otázky postavení komet ve vesmíru. V období měsíců listopad roku 1577 až leden 1578 prováděl přesná poziční měření komety C/1577 V1, viz obr. 2 z jeho pozorovacího deníku. Zjistil příkladně její každodenní změny polohy, v polovině listopadu činila průměrně 3° , později poklesla na $1\frac{1}{2}^\circ$. K 14. listopadu měl ohon při šířce $2\frac{1}{2}^\circ$ délku 22° . Tycho rovněž provedl srovnání dosažitelných pozorování i z jiných míst v Evropě, výsledkem bylo stanovení paralaxy, nebyla větší než $15'$ [6]. Na základě porovnání naměřených paralax různými způsoby dospěl k závěru, že se nachází ve větší vzdálenosti od Země než Měsíc.

V Tychonem vytvořeném geoheliocentrickém modelu, viz obr. 3, byl Měsíc nejvíce vzdálen od Země –

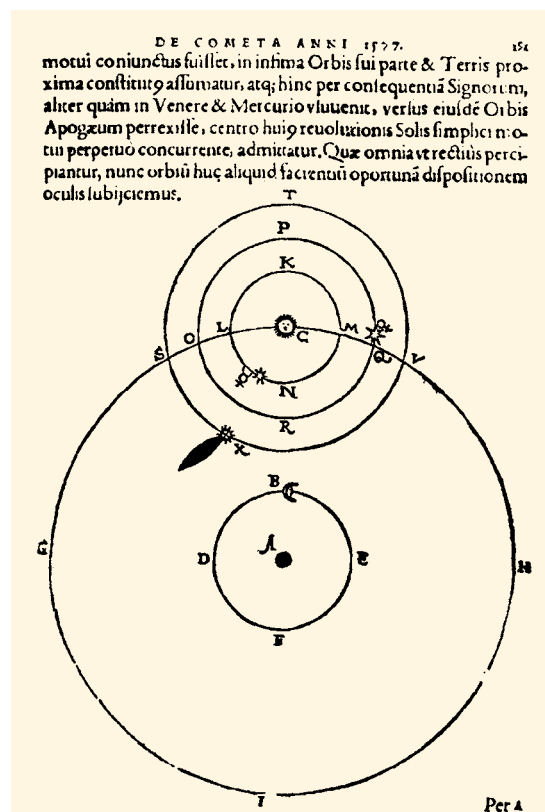
$68 R_Z$. Z jeho numerických výpočtů polohy komety r. 1577, shrnutých v současnosti například v [7], vyplývala její minimální vzdálenost $230 R_Z$, 197 800 n. m., tudíž ji umístil do nejméně trojnásobné vzdálenosti než Měsíc. Pozorovaný průměr komety činil $8'$, což odpovídalo 465 n. m. Jinými slovy, průměr komety byl odhadován přibližně na čtvrtinu průměru Země – podle Tychona 1 720 n. m. Maximální velikost ohonu komety při úhlové velikosti 22° a uvedené průměrné vzdálenosti činila $88,4 R_Z$, zhruba 76 000 n. m. Stanovená šířka ohonu dosahovala $2\frac{1}{2}^\circ$, tudíž její velikost byla $5,8 R_Z$ – 5 000 n. m.

Měření velikosti a vzdálenosti komety Tychonem nebylo pouhou korekcí hodnot získaných předcházejícími astronomy. Výrazně zvětšil rozměry komety a jejího ohonu. Podstatné až řádové zvýšení přesnosti jeho pozorování vyvolalo radikální změny v prostorových představách o sluneční soustavě, v tehdejšímu chápání astronomického obrazu celého vesmíru.

Komety se v Tychonově modelu vyznačovaly podobnými pohyby jako planety, vyjma retrográdních. Nebyly tak dokonalými kosmickými tělesy jako planety, které vykonávaly podle tehdejších představ pouze rovnoměrný kruhový pohyb. Došlo tak k narušení antické kosmologie Aristotela.

Také český astronom, lékař a přírodovědec Tadeáš Hájek z Hájku (1525–1600) pozoroval kometu r. 1577, použil metodu stanovení výšky objektu nad obzorem několikrát během noci. Podle [8] u objektu bližšího než Měsíc by se musela výrazně projevit odchylka způsobená změnou polohy pozorovatele v důsledku rotace Země. Podrobně vše Hájek popsal ve spisu *Apodixis Physica et mathematica de cometis*, česky Fyzikální a matematické důkazy o kometách [9].

Jak jsme již zmínili, na podzim roku 1618 se objevily tři komety. Údaje velké komety r. 1618 zpětně propočítané podle [10] byly následující: průchod periheliem



Obr. 3 Schéma geoheliocentrické soustavy Tychona Brahe.



Obr. 4 Velká kometa r. 1618 nad Augsburgem.

16. listopadu 1618, periheliová vzdálenost 0,3895 au, Zemi byla nejbližší 6. prosince téhož roku při minimální vzdálenosti 0,36 au, výstřednost dráhy činila $e = 1,0$, pohybovala se po parabolické dráze s dráhovým sklonem $i = 37,2^\circ$. Její maximální jasnost dosáhla přibližně 0 mag. Při pozorování se nacházela v souhvězdí Vah, v severovýchodní části ranní oblohy. Na obr. 4 je velká kometa vyobrazena nad Augsburgem.

Jednou z nejvýraznějších postav první poloviny 17. století byl německý astronom a matematik, přesvědčený heliocentrik Michael Mästlin (1550–1631). Na základě provedených pozorování velké komety r. 1618 vypočítal její polohy vzhledem k vybraným vztažným hvězdám, jejichž souřadnice znal. Při modelování dráhy obdobně jako Tycho Brahe vycházel z předpokladu kruhových drah. Mästlin studoval pohyb zmiňované komety již moderním způsobem založeným na pozorování a matematické astronomii [11]. Získané výsledky pečlivě analyzoval a korigoval. Dospěl přitom k závěru, že kometa se pohybovala uvnitř dráhy Venuše. Problematiku výzkumu komet shrnul Mästlin po roce 1577, podrobněji popsáno v [7].

Základní úlohou astronomů při pozorování komet v 16. a 17. století byla realizace co nejpřesnějších měření jejich poloh. Ty byly určovány vzhledem ke vztažným hvězdám se známými souřadnicemi. Následoval výpočet drah komet – byl oproti navykým postupům používaným u planet mnohem obtížnější, neboť jejich pohyb byl rozdílný ve třech směrech. Pohybovaly se rychleji, neperiodicky a v dráhových rovinách s většími sklony k ekliptice, viz obr. 5 podle [7].

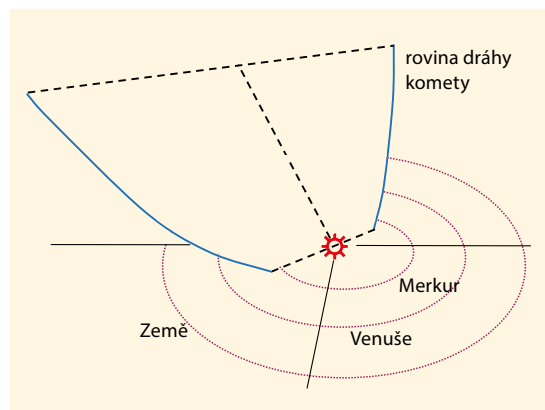
Samotný pohyb komet byl sledován na obloze v projekci skutečných drah na pozadí hvězd z pohyblivé Země, viz obr. 6, podle [7]. Jakékoliv změny v její poloze ovlivňovaly pozorované dráhy komet, z těchto důvodů nebyl možný jejich přímý výpočet. Připomínáme, že v uvedeném období nebyl ještě uvažován vliv atmosférické refrakce a změny rychlosti dráhy Země. Dalším problémem bylo, že sledování zachycovalo pouze malý úsek projekce skutečných drah na světovou sféru. Proto se pozorované a reálné dráhy v prostoru lišily.

Výpočty drah komet počátkem 17. století u řady astronomů (Mästlina, Keplera) již vycházely z heliocentrického uspořádání kosmických těles ve sluneční soustavě, což umožňovalo adekvátnější výpočty. Úspěšnost prokládání drah byla podmíněna rozvojem trigonometrických metod používaných při určová-

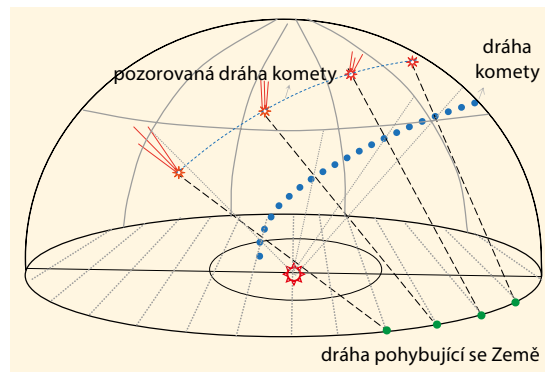
ní vzdáleností. Stanovení paralaxy komet nebylo ještě dostatečně přesné, překračovalo možnosti astronomických přístrojů a techniky ve zmiňovaném období. Propočítané dráhy tak nedávaly reálnější představy o změnách vzdáleností od Slunce. Interpretace a následná aproximace skutečných drah komet tak nebyla odpovídající. Hlavně však proto, že bez znalosti zákona všeobecné gravitace nemohla být uvažována gravitační interakce komet s ostatními kosmickými tělesy.

Švýcarský astronom a jezuita Johann Baptista Cysat (1587–1657) rovněž pozoroval velkou kometu r. 1618, výsledky zaznamenával – viz [12]. Stanovil délku ohonu k 9. prosinci 1618 na 70° . Při lednových pozorováních komety v roce 1619 již používal dalekohled. Předpokládal, že kometa se pohybuje po přímce nebo kolem Slunce po oběžné dráze mezi Venuší a Marsem. Správně soudil, že nezáří vlastním světlem, nýbrž odraženým od Slunce.

Orazio Grassi (1583–1654), italský astronom, matematik a jezuita, se zabýval kometami ve spisu *De tribus cometis anni MDCXVIII disputatio astronomica*, česky Astronomická debata o třech kometách [13], z roku 1618. Po kratším úvodu popsal polohu a pohyb komet, které pozoroval v období srpna až prosince roku 1618. Soustředil se zejména na poslední nejjasnější a nejvýraznější kometu, u které uvedl a zpracoval větší počet pozorovacích dat z celé Evropy. Podstatnou částí textu je interpretace paralaktických výpočtů a popisu vlastností komety. Příkladně Grassi v [13] porovnal dvě série pozorování, první z nich osobně provedl v Římě – C, druhou obdržel z Antverp – A v Belgii. Podle [7] na obr. 7 je paralaktický úhel pro kometu v bodě E minimální, jestliže je v místě A pozorována na horizontu. AE zachycuje horizont v Antverpách, $\angle ABC = 12^\circ 48'$, $AC = 798$ i. m., $\angle EAC = 6^\circ 24'$, $\angle BAC = \angle BCA = 83^\circ 36'$, $BA = BC = 3579 \frac{6}{11}$ i. m. Zde

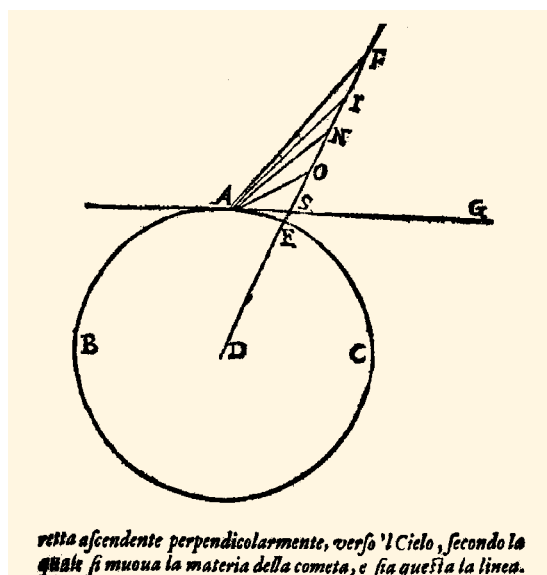


Obr. 5 Dráha komety s velkým sklonem.



Obr. 6 Pozorovaná a skutečná dráha komety v prostoru.

» Při modelování dráhy vycházel z předpokladu kruhových drah. «



Obr. 9 Výstup výparů a exhalací v atmosféře Země podle Rozpravy o kometě.

Kometární optická teorie byla Guiduccim interpretována prostřednictvím klíčového obr. 9 z [14], který částečně doplněný byl použit a rozebírán i ve spisech [16], [17]. Následující výklad vychází z textu v [14]. Necht' BAC je povrch zeměkoule, E je místo, odkud se zdvihaří výpary a exhalace, s nimiž spojené optické jevy vytvářejí kometární zjev. A je místo pozorovatele, který z počátku „vidí“ kometu v místě S, jejíž poloha se promítá na oblohu do G. Výpary a exhalace se pohybující rovnoměrně podél přímkou DF, jednotlivé úseky v horních vrstvách atmosféry SO, ON, NI a IF odpovídají stejným časům. Pozorovatel v A sleduje kometu pod postupně zmenšujícími se úhly. Tudíž se mu jevila neustále menší a v pohybu pomalejší, zatímco ve skutečnosti se přemísťovala rovnoměrně po přímočaré dráze. Později Galileo v Prubíři [17] studoval, v jakém poměru probíhá zmiňované úhlové zpomalení. V analogickém obr. 10 z [17] ABC označuje povrch zeměkoule. Galileo našel, že jestliže kometa prolétá postupně úseky EF, FM a MO, jeví se pozorována v bodech F, I a L, její pohyb se výrazně zpomaluje, neboť oblouk FI tvoří polovinu oblouku GF, oblouk IL polovinu oblouku FI atd. Pozorovaný pohyb komety se musí zmenšovat stejnou měrou.

Vraťme se k obr. 9, ve kterém se Slunce nachází pod pozorovatelným horizontem vymezeným přímkou AG. Podle Galilea výpary a exhalace v bodě O odrážejí sluneční paprsky do místa pozorování komety A. Odražené paprsky procházejí zemskou atmosférou, která není čistá a tvořená pouze vzduchem, ale i nečistotami. Poněvadž zemská atmosféra je do určité výšky směsí výparů a exhalací, je hustší v nižších vrstvách a řidší ve větších výškách. Dochází tak k lomu odražených paprsků. Jestliže je pozorovatel v bodě A, bod dopadu a lom paprsků leží ve stejné rovině procházející délkou komety, ohon tak vidíme přímý – rovný. A naopak, pokud je oko pozorovatele mimo tuto rovinu, vidíme ohon zakřivený. V popsané teorii se Galileo pokusil vyložit pozorované úkazy u komet aplikací geometrických a optických úvah. Žádné detailní kvantitativní údaje o velikostech komet, jejich minimálních a maximálních vzdálenostech od Země, jakož i objemech a tvarech výparů a exhalací odpovědných za kometární jevy nepodal. Teorie tak byla spíše kva-

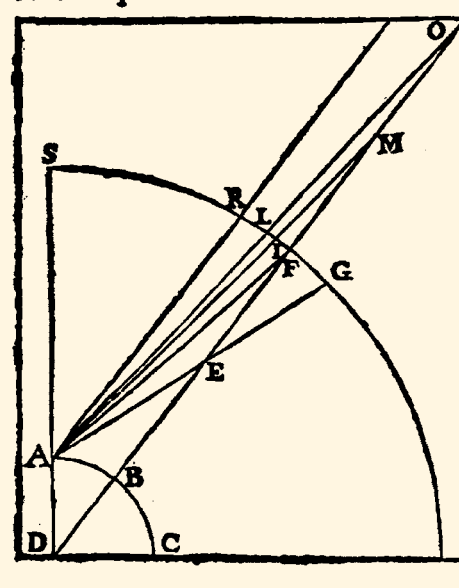
litativním popisem. Přestože autor žil v době úspěšného zdokonalování pozorování prostřednictvím dalekohledu, vyvíjení nových matematických metod, ve svých výzkumech je však zanedbával, respektive nepoužíval vůbec.

Výše zmiňované teoretické úvahy Galileo doplnil poznatky z pozorování, která prováděli jeho přátelé a žáci, neboť na podzim roku 1618 byl nemocí upoután na lůžko. Z analýzy pozorovacích údajů zjistil, že sledovaný pohyb komety se nezpomaloval v ukázaném poměru. V prvních dnech bylo zpomalení tak malé, že bylo obtížné pozorovatelné. Kometa se přemísťovala denně přibližně o 3° a v průběhu 20 dnů pokles rychlosti pozorovaného přesunu nebyl podstatný.

Podle Galileovy optické teorie se komety měly pohybovat po přímé dráze směrem k zenitu, čehož však mohly dosáhnout pouze u pozorovatelů, kteří se nacházeli přímo nad místem vzniku vznášejících se výparů a exhalací. Dalším důsledkem nutně byla rozdílná rychlost jejich výstupu pro pozorovatele na odlišných místech v Evropě, což Galileo předpokládal. Ze srovnání záznamů pozorování však vyplynulo, že velká kometa r. 1618 se pohybovala severním směrem. Uvedené rozporů potvrzovaly nedostatky Galileovy teorie.

Následovala reakce Grassiho ve spisu *Libra astronomica ac philosophica qva Galilaei Galilaei*, česky *Astronomické a filozofické váhy* [16], titulní list obr. 11. Název byl zvolen symbolicky podle souhvězdí Vah, ve kterém byla velká kometa r. 1618 sledována. Ve spisu Lothario Sarsi, fiktivní žák Horatia Grassiho, přezkoumával správnost Galileových představ o kometách, zachycených Mariem Guiduccim prostřednictvím třech témat – vážení. V prvním byly porovnávány výpočty Galilea a Sarsiho. Do druhého vážení byla zařazena podstata a pohyb komet. Detailněji byla probírána problematika komet jako optických jevů a posouzení, zda zářící a hořící objekty mohou být průhledné a pozorovatelné. Rozprava dále zkoumala výklad komety přímým a svislým pohybem vzhůru vzhledem k Zemi, zakřivení ohonu komety jako důsledek refrakce. Do třetího vážení byla zařazena souvislost vzduchu, výparů, exhalací a je-

terea excogitare, quod proferre, vel neccit tantum quo ultra nostrum verticem; seu z



Obr. 10 Výstup výparů a exhalací v atmosféře Země podle Prubíře.

» Uvedené rozporů potvrzovaly nedostatky Galileovy teorie. «



Obr. 11 Titulní strana Astronomických a filozofických vah.

jich pohybu na obloze, záření svítících těles vnímaných okem, a nikoliv neozářeným vzduchem. Sarsi namítal, že kometa nemůže být optickou iluzí zraku, jak předpokládal výše Galileo. Shrnutí, jak jsme již uvedli, obhajoval model Tychona Braha, ve kterém se komety vyznačovaly obdobnými pohyby jako planety, vyjma retrogradních pohybů. Proto pozorované návraty planet na obloze tak neměly být vyvolány změnou stano-
viště pozorovatele na pohybující se Zemi, ale pohybem náležejícím planetám. Protože totéž nebylo sledováno u komet, vyplýval z toho důkaz nehybnosti Země.

V říjnu 1623 jako odpověď Grassimu vyšel v Římě spis *Il Saggiatore*, česky Prubíř [17], titulní list obr. 12. Pro porozumění názvu uvedeme úplný v českém překladu: *Prubíř, ve kterém za pomoci zvlášť citlivých a přesných vah budou uvedeny důvody obsažené v astronomických a filozofických vahách Lothara Sarsiho*. Galileo stavěl proti „váze“ svůj „prubíř“. Zdůraznil, že k měření věcí přírodních je zapotřebí té největší přesnosti, při vážení slov nelze používat hrubou decimálku, nýbrž přesnou váhu zlatníků. Zlato pravdy se váží jemnými váhami.

Prubíř byl věnován papeži Urbanu VIII (1568–1644), získal imprimaturu začátkem roku 1623 po několika diskusích mezi Galileem a tehdy ještě kardinálem Maffeeem Barberinim, od srpna 1623 papežem Urbanem VIII. Lze usuzovat, že ke kladnému souhlasu k vydání přispělo nezařazení problematiky pohybu Země a Slunce. Spis byl sepsán v průběhu tří let s rozčleněním do šedesáti tří kapitol. Galileo i jeho opo-
nent Grassi ústy Sarsiho hovořili různými jazyky nejen v doslovném, ale i v přeneseném smyslu. Zatímco Galileo dal přednost výkladu v živém, všem dostupném italském jazyce, oponenti se vyjadřovali v oficiálním vědeckém jazyce té doby – latinsky. Obsahově Prubíř završoval polemickou diskusi o kometách z podzimu 1618, která byla určena spíše k ponížení protivníků, než

k demonstrování nových skutečností. Po roce 1616 byl Galileo obezřetnější, přesto se všemi prostředky snažil přesvědčit čtenáře o své pravdě. Proto byl Prubíř snad nejvíce rétoricky charakteristickým pro Galilea, viz obr. 13. V Prubíři nalezneme desítky provokativních a ironických výpadů proti jezuitům, kteří se ho při jednáních prvního procesu v roce 1616 nezastali, podrobnější rozbor v [18], [19]. Galileo považoval Grassiho za učitele a Sarsiho za žáka, k němuž se vyslovoval ve svých výtkách příkřeji, což lze doložit textem: „*Jsem přesvědčen, že vzpomínaný otec [Grassi] by nikdy nevy-myslel a nesouhlasil by s fantastickými výmysly, o kterých píše Sarsi...*“ V textu Prubíře se Galileo střídavě obracel jak ke Grassimu, tak i k Sarsimu, což budeme v článku také používat.

Na jednotlivá vážení v [16] Galileo odpověděl v Prubíři jejich kritickou analýzou, kterou stručně charakterizujeme. V prvním vážení posoudil výpočty týkající se například stanovení vzdálenosti komety Tychonovou metodou. Do druhého vložil Galileo tematiku látky komet a jejich pohybů, vysvětlení podstaty zdánlivých obrazů. Ve třetím zkoumal vybrané jednotlivé problémy, například skutečnost, že vzduch, výpary a exhalace se nemohou přenášet pohybem oblohy, nebo zda záře kolem svítících těles je počitek zraku, a nikoliv osvětlený vzduch, který nemůže být osvětlen. Čtvrté vážení se zabývalo tvrzením, že nic svítícího není průzračné, plamen nedovoluje pozorovat předměty, které se nacházejí v jeho pozadí.

S ohledem na astronomické zaměření článku budeme rozebírat problematiku spojenou se zvětšením dalekohledu, se vzdáleností a polohou komet, s jejich složením a optickými jevy interpretujícími teorii komet z Prubíře [17]. Z něho pocházejí níže citované ukázky Galileových komentářů a námitek, jsou reakcí na rovněž citované názory Grassiho a Sarsiho v [16].

Začneme analýzou činnosti dalekohledu a optickými jevy spojenými s pozorováním různě vzdálených odlišných objektů především s ohledem na úhlo-



Obr. 12 Titulní strana Prubíře.



Obr. 13 Galileo Galilei (1564–1642)

vé zvětšení dalekohledu. Galileo podroboval výtkám Grassiho i Sarsiho za nepochopení optických vlastností dalekohledu, neboť podle nich komety podobně jako hvězdy nejsou zvětšovány dalekohledem, tudíž není účinný na vzdálené objekty. K tomu uvedl: „Pokud pozorujeme povrch koule dalekohledem ze vzdálenosti poloviny míle narůstající 1 000krát, pak také měsíční disk bude zvětšený tisíckrát, a ne méně. To se týká Jupitera, jakož i hvězd.“

Dále Galileo rozvíjel: „Nikdo a nikdy netvrdil, že zvětšení nehybných hvězd je nekonečně velké. Naopak otec Grassi napsal, že je nulové. Siňor Mario [Guiducci] podotkl, že to není pravda, protože velmi mnoho skutečně neviditelných hvězd se stane viditelnými [v dalekohledu], a dodal, že takové zvětšení by bylo lépe nazvat nekonečným než žádným.“

Následně vysvětlil: „Jinak řečeno, zobrazení neviditelných hvězd není menší než zobrazení viditelných hvězd rozložených ve vesmíru.“

Správně Galileo předpokládal, že velmi vzdálené hvězdy pozorujeme v zorném poli malého dalekohledu stále jako pouhé body. Jeho přístroj složený z objektivu čočky a okuláru rozptýlky v nejlepší technické provedení dosahoval zvětšení přibližně až 30násobné. Poskytoval tak relativně malé zvětšení úhlu, pod kterým byly objekty pozorovány. Podle Galilea dalekohled činí hvězdy viditelnými, zvětšuje jejich zobrazení a jasnost. Řečeno současnou optikou, zvětšuje pozorovací úhel, jakož i jasnost objektu, což je vyvoláno nárůstem počtu fotonů. Lze shrnout, že Galileo v polemice důsledně hájil jím používaný optický přístroj – dalekohled.

Vzhledem k tomu, že souběžně v první polovině 17. století se používaly oba způsoby pozorování, jak lidským okem, tak i dalekohledem, bylo v Prubíři diskutováno jejich vzájemné porovnání. Za chybný považoval Galileo názor Grassiho, podrobujícího lidské oko a dalekohled stejné analýze.

K pozorování hvězd Grassimu namítal: „... uvádíš, že jako by zářivé paprsky kolem hvězdy musely procházet dalekohledem, v důsledku čehož nelze odstranit to malé zvětšení, které vyvolávají. Jednoduše souhla-

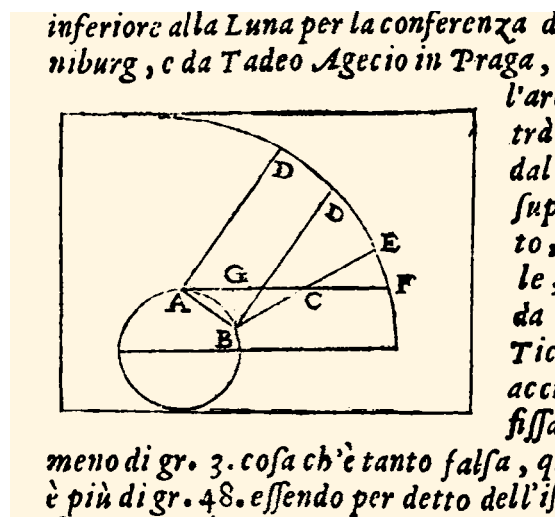
síš s tím, že jsou ztracené, přestože tomu tak není.“... „A tvoje chyba, která se již nejednou opakovala, spočívá v tom, že srovnáváš hvězdu současně s jejím okolním zářením, pozorovaným lidským okem, s tělesem hvězdy, pozorovaným v dalekohledu a odděleným od zářivého okolí...“

Galileo předpokládal, že vzdálené hvězdy se v dalekohledu jeví méně zvětšené proto, že vnější paprsky jejich záření jsou odstraňovány, zatímco lidským okem je vidíme. U bodových zdrojů světla – hvězd – je zřejmá závislost na jasnosti, větší plocha objektivu dalekohledu umožňuje vyšší rozlišovací schopnost, a tak se jeví menší, zatímco zdroje konečné velikosti jako planety mohou být zvětšeny okulárem.

Optické funkci dalekohledu byla věnována zvýšená pozornost, neboť správné pochopení jeho vlastností mělo pomoci při hledání odpovědi na otázku: proč se komety příliš nezvětšují při pozorování dalekohledem? Jednalo se v první čtvrtině 17. století o klíčový problém kometární astronomie. Věcně souvisel s jejich vzdáleností od Země a polohou ve sluneční soustavě. Oprávněnou námitku proti Galileovým představám pozemského původu komet podal Sarsi: „V našem výkladu jsme tvrdili, že použití dalekohledu nevede ke zvětšení velikosti komety, na základě toho jsme učinili závěr, že kometa je vzdálena od nás na velmi velkou vzdálenost.“ Aplikace optických poznatků ho vedla k dalšímu závěru: „... komety musejí být mnohem více vzdálené než Měsíc, který se jeví velmi zvětšený v dalekohledu.“...“ Odtud nutně vyplývalo umístění komet za drahou Měsíce, v pohybu jako planety či Slunce.

Naopak Galileo nesouhlasil se Sarsim, že z téměř tožného vzhledu komet a hvězd v dalekohledu lze usuzovat na jejich vzdálenost. Dodal, že komety i hvězdy jsou velmi vzdálené, nelze tudíž posoudit, zda oba objekty jsou nezníčitelné, září vlastním světlem a mihotají se. Galileo logicky vyvodil, že z podobnosti vzhledu či projevu u objektů na obloze nelze dovozovat také shodnost jejich vlastností.

Na podporu své optické teorie komet se Galileo snažil odhalovat chyby v úvahách Tychona Brahe o supralunární poloze komety r. 1577. Konkrétně kritizoval metodu stanovení její vzdálenosti prostřednictvím pozorování ze dvou stanovišť na Zemi – z Hvenu a Prahy, viz obr. 14. Zjednodušeně řečeno, Galileo nesprávně namítal, že k oběma přímkám AD a BD současně ne-



Obr. 14 Galileův náčrtek z Prubíře pozorování Tychona Brahe ze dvou míst na Zemi.

» Galileo v polemice důsledně hájil jím používaný optický přístroj – dalekohled. «

» Galileo si udržoval hluboké přesvědčení o správnosti optické teorie komet. «

může být AB kolmé. Země je velmi malá, $AB \ll AD$, respektive BD. Galileo chápal, že při paralaktickém pozorování není tak důležitá velikost Země jako vzdálenost hvězd. V aplikaci na planety v Prubíři vyvozuje: „... více od nás vzdálené planety se podrobují menším změnám než blízké...“ Jak víme, paralaktický úhel určený z trigonometrických relací klesá, jestliže vzdálenost od objektu narůstá.

K matematickým úvahám, které Sarsi převzal od Tychona, Galileo ironicky dodal: „*Předcházející důkazy Sarsioho zahrnily u mne naději, že v krajním případě držel v rukách a možná i pochopil první knihu Základů [Euklida], ale to, co zde píše, rodí u mne těžké pochybnosti o tom, co z matematiky zná.*“ V zájmu objektivitě doplníme Galileovu zmínku o tom, že nikoho nekritizuje za přivržení k názorům Tychona Braha.

Shrnuto, Galileo si udržoval hluboké přesvědčení o správnosti optické teorie komet, jejich pozemském původu a sublunární poloze. Myšlenku stoupajících výparů a exhalací příkladně použil také na výklad zdánlivého zvětšování Slunce a Měsíce u horizontu: „... Slunce a Měsíc se jeví u horizontu větší než ve výšce, jejich zobrazení se zvětšuje při lomech na dalekém povrchu výparových oblastí.“ Vysvětlujeme, že oblohu vnímáme jako zploštělou klenbu, objekty u horizontu se jeví větší. Jde spíše o psychologický problém, lidské oko porovnává na obzoru předměty pozemské s mimozemskými.

Sarsi chybně považoval komety „skoro za dočasné planety“, odvolával se na jejich kruhové dráhy podle Tychonových představ. Galileo k tomu posměšně dodal: „*Pokud pokládá svá tvrzení a jejich důkazy za přesné a důležité, musím posuzovat jeho stav jako žalostný a radím mu znovu se stát žákem u svého učitele.*“ Vedle toho však Sarsi zmínil předvídatelnou hypotézu o možných tvarech drah komet: „*A co, jestliže její pohyb [komety] není kruhový, nýbrž eliptický, stlačený shora a zdola, roztahený do každé strany. A co, jestliže není eliptický, ale skutečně nepravidelný.*“ Připomínáme, že tato hypotéza našla své zúročení v Newtonově teorii kužellosečkových drah komet.

Odlišnost komety od hala, duhy či jiných atmosférických jevů si Galileo uvědomoval, Sarsi k tomu dodal: „*Zrakové klamy – duha, halo, falešné Slunce a záblesky na povrchu moří – ve svém pohybu následují Slunce, vždy se přemísťují ve stejném směru jako Slunce.*“ „... Co se týče komety, pohybuje se jinak. Tudíž kometa nemůže být zrakovou iluzí.“

Zakřivení ohonu komet Galileo objasňoval lomem podle optické teorie slovy: „*Cestou přesných pozorování bylo zjištěno, že konec ohonu, hlava komety a střed slunečního disku vždy pozorujeme v jedné přímce, z čehož*



byl učiněn velmi pravděpodobný předpoklad, že ohon není nic jiného než lom slunečního světla rozprostírající se do strany opačné Slunci.“

Grassi vyložil, že ohon komet míří vždy od Slunce, a zdůraznil, že těleso komety a ohon nemají vlastní světlo, nýbrž pouze lámou a odrážejí sluneční světlo.

Základní myšlenky Galileovy optické teorie komet – výparů a exhalací ležících na přímé dráze v horních vrstvách atmosféry Země – byly již probrány při rozboru spisu [14]. Jejich klesající rychlost pohybu v atmosféře podél přímky vzhůru komentoval později Galileo v Prubíři slovy: „*Analogickým způsobem pozorovaný pohyb se zpomaluje odlišně pro pozorovatele nacházejícího se v blízkosti počátku přímky, po které probíhá pohyb, a v dálce od něho.*“

Volba přímkové dráhy komet byla u Galilea zřejmě inspirována Keplerem, který ve spisu *Astronomiae pars optica*, česky Optická část astronomie [20], z roku 1604, tento typ dráhy předpokládal, i když rovnoběžný se Zemí, nikoliv k ní kolmý. Při malém počtu pozorování v krátkém časovém intervalu se to mohlo jevit adekvátní. Později však Kepler svůj pohled upřesnil v dalším spisu *De cometis libelli tres*, česky Tři knihy o kometách [21], vydaném v roce 1619 – o velké kometě r. 1618 napsal: „...*pozorována něco více než dva měsíce krátce po průchodu perihéliem, ustupujíc od Slunce podél téměř parabolické dráhy, málo se lišící od přímkové.*“

V Prubíři Galileo rovněž vyjádřil svůj názor na látku, ze které je kometa složena: „*Nabízí představu, že je stejná jako ta, ze které je složen vítr, nebo i jiná. Pokud je odlišná, potom dle jejího složení nemůžeme usuzovat na množství druhů.*“

Hlavně však formuloval nový přístup ke zkoumání přírody. Galileo představil manifest nové vědy, podložený důkazy založenými na pozorováních, zkušenostech a přesných matematických výpočtech. Vyzdvihl vědecký přístup, otevření knihy přírody je podle něj dostupné pouze těm, kteří znají jazyk matematiky. Nastínil tak jasný plán zaměření přírodní filozofie – *philosophia naturalis*, jak se nazývala později.

Čtení knihy přírody podle Galilea nutně vyžaduje přesnou formulaci myšlenek. Proto v Prubíři vymezil vědecké zásady a význam matematiky, respektive geometrie známými slovy: „*Vy, může být, se domníváte, [k Sarsimu], že filozofie je kniha, patřící obrazotvornosti, představivosti jednoho člověka, jako Ilias nebo Zúřivý Roland, knihy, v nichž je nejméně důležité to, zda je pravdivé, co je v nich napsáno. Nikoliv, siñore Sarsi, takto to není. Filozofie je napsána v té majestátní knize, která stále leží otevřena před námi, ale kterou nelze pochopit, pokud se předtím nenaučíme jejímu jazyku a poznání písmen, kterými je napsána. Jejím jazykem je matematika, jádro písmen tvoří trojúhelníky a druhé pouze geometrické obrazce, bez pomoci kterých není možné pochopit lidsky ani jedno slovo; bez nich můžeme kroužit zbytečně v temném labyrintu.*“

Tématem Prubíře nebyla pouze problematika podstaty komet, jejich vzdáleností a drah. V pozadí byl mnohem hlubší, již zmiňovaný spor mezi heliocentrickým modelem sluneční soustavy obhajovaným Galileim a geoheliocentrickým modelem Tychona Braha, prezentovaným Grassim–Sarsim. Přestože Galileo pečlivě prostudoval získaná pozorování a nápaditým způsobem při jejich interpretaci aplikoval fyzikální poznatky, jeho optická teorie komet byla věcně nesprávná, v rozporu s tehdy již známými a ověřenými údaji

o prostorových vzdálenostech komet od Země. Je však třeba ocenit obecnou předvídavost jeho myšlenek zachycených v Prubíři. Autor neaspiroval na přesné představy o tvorbě komet, protože podle něj mohou vznikat způsobem, který je velmi vzdálen od všeho, co si můžeme představit.

Při hodnocení významu velké komety r. 1618 v historii astronomie lze vyzdvihnout nejen její rozsáhlé pozorování, ale především skutečnost, že byla novým impulzem k otevření starého sporu o podstatě a poloze komet. Vyvolala názorový střet, stala se námětem věcných polemik i osobních útoků řady osobností. Protagonistou prvního směru názorů byl Grassi, který vycházel z geoheliocentrického modelu, v němž se komety pohybovaly v prostoru nad Měsícem. Představovaly velké hořící oblasti plynu v meziplanetárním prostoru. Druhý směr v určité návaznosti na antické ideje především Pythagora vypracoval Guiducci – Galileo. Podle jeho teorie komety představovaly optické jevy doprovázející stoupající výpary a exhalace po přímé dráze vzhůru v horních vrstvách atmosféry Země. Polemika kolem velké komety r. 1618 pomohla ujasnit názory na komety – objekty měnící svůj vzhled na obloze, které se vyvíjejí. Umožnila pozdější zavedení nové kategorie kosmických těles ve sluneční soustavě – komet.

Zmiňování protivníci vedli širokou rozpravu v mnoha spisech i dopisech. Vzájemná diskuse byla rodištěm nových zajímavých a plodných myšlenek nehledě na to, kdo byl jejich autorem. Galileo hájil právo na svobodnou diskusi, ale sám byl neústupný k hlavním argumentům oponentů, pro důsledného heliocentrika byly jejich názory nepřijatelné. K pochopení poloh komet ve sluneční soustavě mu chyběla důvěra k paralaktickým metodám a jejich použitelnosti pro tyto objekty.

V článku rozebírané spisy Grassiho [13], [16], Guiducciho [14] a Galilea [17] byly přeloženy do anglického jazyka Drakem a O'Malleyem v kompletním souboru [22] doplněném úvodem a stručnými poznámkami.

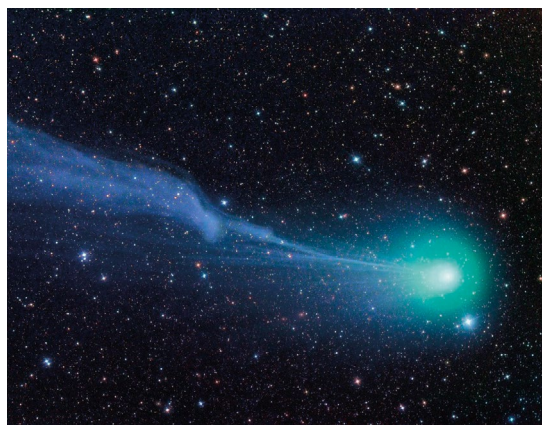
V historii první reálné představy o kometách pocházejí od Newtona (1643–1727), který ve třetí knize spisu *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, česky *Matematické základy přírodní filozofie* [23], ve větě 41 uváděl: „... tělesa komet jsou hustá, kompaktní, pevná a odolná, podobná planetárním tělesům, neboť pokud by byla něčím jiným, jako parami nebo výměšky Země, Slunce a planet, pak při průchodu v blízkosti Slunce by se musela okamžitě rozplynout...“

Podstatným krokem v aplikaci Newtonova zákona všeobecné gravitace byl spis *Astronomiæ Cometiciæ Synopsis*, česky *Přehled kometární astronomie* [24], Edmunda Halleyho (1656–1742), obsahující i novou myšlenku periodičnosti komet a konkrétní propočty jejich drah.

Poděkování: Článek vznikl díky podpoře projektu „Prameny novověké vědy“ MUNI/G/0835/2016 MU Brno.

Literatura

- [1] R. Stoyan: *Atlas of Great Comets*. Cambridge University Press, Cambridge 2015.
- [2] J. Schöner: *De cometæ magnitudine longitudineque ac de loco ejus vera problemata* XVI. F. Peypus, Nürnberg 1531.
- [3] J. Schöner: *De triangulis omnimodis libri quinque*. J. Petreus, Nürnberg 1544.



- [4] J. L. Jervis: *Cometary Theory in Fifteenth-Century Europe*. Studia Copernicana XXVI. PAN, Ossolineum, Wrocław 1985.
- [5] M. A. Granada, A. Mosley, N. Jardine: *Christoph Rothmann's Discourse on the Comet of 1585*. Brill, Leiden, Boston 2014.
- [6] T. Brahe: *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis*. Uraniborg 1588.
- [7] T. Heidarzadeh: *A History of Physical Theories of Comets, From Aristotles to Whipple*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 2008.
- [8] M. Šolc: „Astronomie v díle Tadeáše Hájka z Hájku“, in: *Práce z dějin techniky a přírodních věd*. Sv. 1, 2000, s. 35.
- [9] T. Hájek: *Apodixis Physica et mathematica de cometis*. Gorlicii 1581.
- [10] https://ssd.jpl.nasa.gov/?great_comets
- [11] M. A. Granada: *Michael Maestlin and the Comet of 1618*. In *Unifying Heaven and Earth*. Universitat de Barcelona 2016, p. 239.
- [12] J. Cysat: *Mathemata astronomica de loco, motu, magnitudine, et causis cometæ qui sub finem anni 1618:et initium anni 1619*. Ingolstadt.
- [13] O. Grassi: *De tribus cometis anni MDCXVIII disputatio astronomica publice habita in Collegio Romano Societatis Iesu*. Romæ 1619.
- [14] M. Guiducci: *Discorso delle comete*. Firenze, nella stamperia di Pietro Cecconcelli, Firenze 1619.
- [15] P. Barker: „The optical theory of comets from Apian to Kepler“, *Physis* 30, 1 (1993).
- [16] H. Grassi: *Libra astronomica ac philosophica qva Galilæi Galilæi*. Opiniones de Cometis a Mario Guiducio in Florentina. Perusiae 1619.
- [17] G. Galileo: *Il Saggiatore*. Roma 1623.
- [18] B. McClupha: *Some Aspects of the Intellectual Relations between Galileo and the Jesuits*. Doctor dissertation. University of Leeds 1984.
- [19] M. Ledvoňová: „Jedovatý astronomický štír: vybrané aspekty konfliktu Galilea Galileiho s jezuitou Oraziem Grassim“, *Pro-Fil* 16, 2 (2015).
- [20] J. Kepler: *Astronomiæ pars optica*. Apud Claudium Marnium & Hæredes Ioannis Aubrii, Francofurti 1604.
- [21] J. Kepler: *De cometis libelli tres*. Avgvstæ Vindelicorum, A. Aperi, Augsburg 1619.
- [22] S. Drake, C. D. O'Malley: *The controversy on the comets of 1618. Galileo Galilei Horatio Grassi Mario Guiducci Johann Kepler*. University of Pennsylvania Press, Philadelphia 1960.
- [23] I. Newton: *The Principia – Mathematical Principles of Natural Philosophy*. University of California Press, Berkeley-Los Angeles-London. Anglický překlad.
- [24] E. Halley: „Astronomiæ Cometiciæ Synopsis“, *Phil. Trans. Roy. Soc. London* 24, 1882 (1705).