# Historie III.

# Vývoj fyziky v rámci mechanického obrazu světa

Vladimír Štefl

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

# Vznik klasické mechaniky

1. Fyzika se odděluje od chemie, alchymie, biologie

2. Začínají se v ní prosazovat experimentální metody, spojené s měřením, s rozvíjením technické stránky přístrojů - dalekohled, mikroskop, tlakoměr, kyvadlové hodiny, teploměr

3. Jsou shromážděny poznatky, teorie, prosazuje se vědecké vysvětlování fyzikálních jevů

4. Vedle indukce se začíná prosazovat dedukce

5. Je využívána matematika, kartézská soustava souřadnic, trigonometrické funkce, logaritmus, diferenciální a integrální počet…

6. Roste význam vědy, **fyzika** se stává **vědeckou disciplínou**

# Galileo Galilei 1564 - 1642

## *Fyzika sestoupila z oblohy po nakloněné rovině*

***životopis***

zakladatel experimentální fyziky, r. 1589 jmenován profesorem na univerzitě v Pise r. 1590 ***O pohybu,*** dialog Alexandera a Dominika, odmítnutí Aristotelových představ o pohybu, o *tělesech těžkých a lehkých*, o tom, že *rychlost padajících těles je závislá na jejich tíze*, experimenty na šikmé věží v Pise - ***rychlost padajících těles je stejná pro všechna tělesa***

r. 1592 profesor matematiky na univerzitě v Padově, přednášky vycházely z Elementů Euklida, Almagestu Ptolemaia + výsledky vlastních experimentů

# Galileo Galilei - mechanika, astronomie

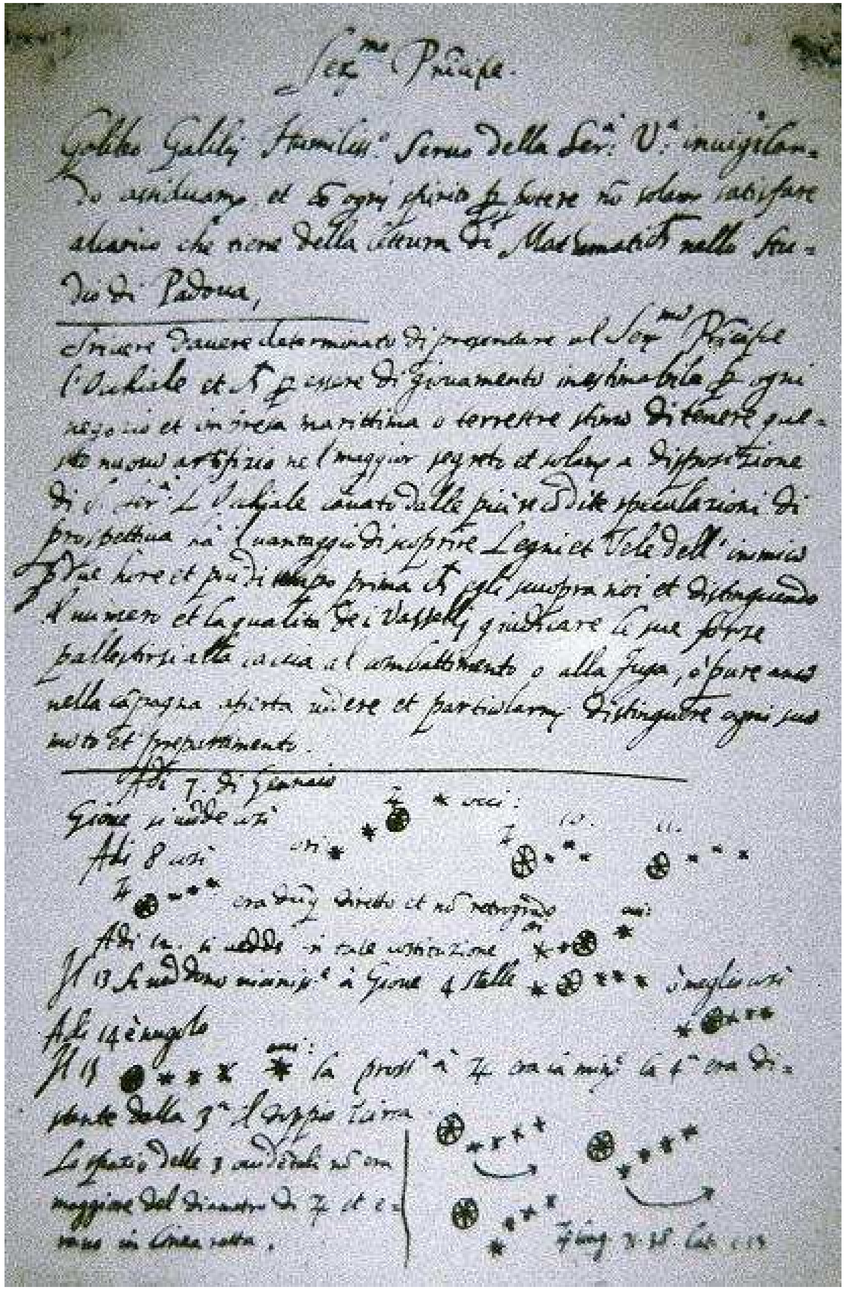
*O mechanice a výhodách získávaných z mechanických zařízení r. 1600*

zkoumána **páka, klín, šroub, nakloněná rovina, Galileův padostroj** (nakloněná rovina se změnou sklonu), studium rovnoměrně zrychleného pohybu

jako experimentátor sestrojil **dalekohled**, postupně zlepšoval technickou stránku, použil ho od konce roku 1609 k **systematickému pozorování** kosmických těles, hory na Měsíci, u Jupitera medicejské hvězdy - měsíce Io, Europa, Ganymedes a Kallisto, hvězdy v Mléčné dráze, **interpretace pozorování,** výsledky publikoval v březnu **r. 1610** ve spisku

***Sidereus Nuncius - Hvězdný posel***

# Sidereus Nuncius - Hvězdný posel r. 1610



SIDEREVS
NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, præsertim verò
PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in LVNÆ FACIE, FIXIS IN-
NVMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,
Apprime verò in
QVATVOR PLANETIS
Circa IOVIS Stellam disparibus interuallis, atque periodis, celeri-
tate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque
diem cognitos, nouissimè Author depre-
hendit primus; atque
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.

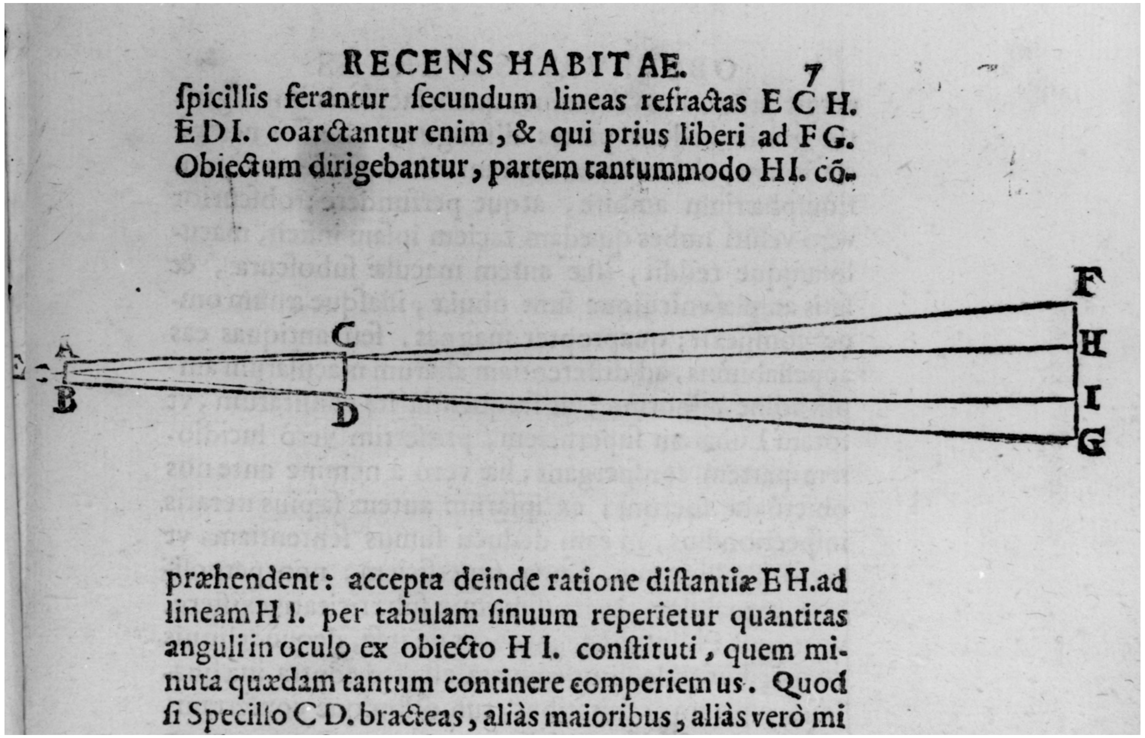
VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X.
Superiorum Permissu, & Priuilegio.

# Galileův dalekohled - refraktor

**Hans Lipperschey 1608**

**pozorování Galilea 1609**

**schema dalekohledu**


RECENS HABITAE. 7

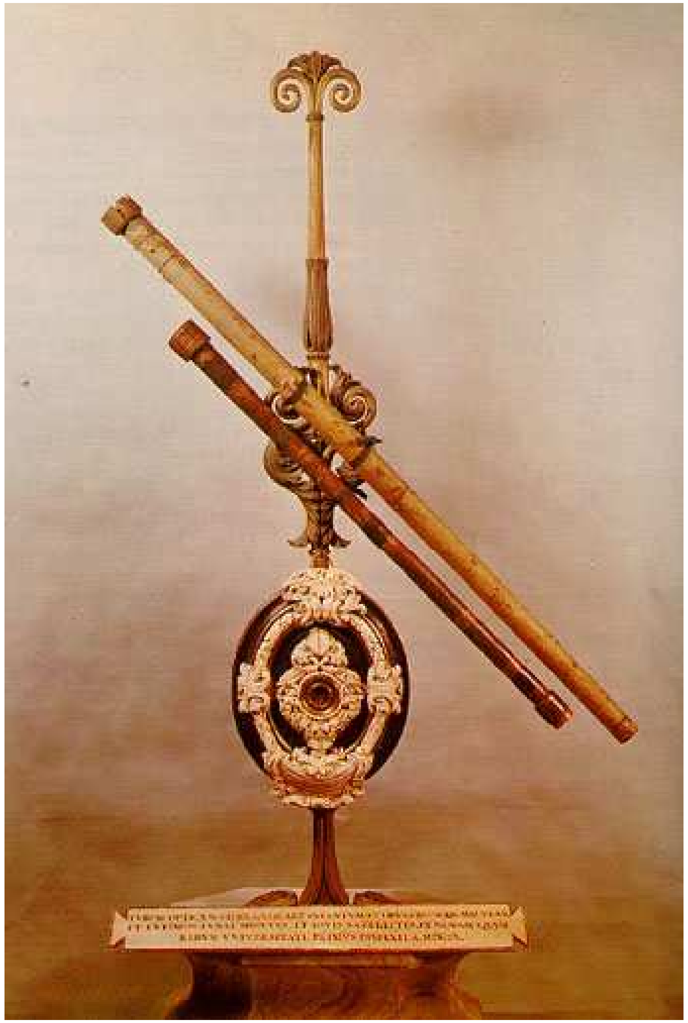
ſpicillis ferantur ſecundum lineas refractas E C H. E D I. coarctantur enim, & qui prius liberi ad F G. Obiectum dirigebantur, partem tantummodo H I. cõ-



præhendent: accepta deinde ratione diſtantiæ E H. ad lineam H I. per tabulam ſinuum reperietur quantitas anguli in oculo ex obiecto H I. conſtituti, quem minuta quædam tantum continere comperiemus. Quod ſi Specillo C D. bracteas, aliàs maioribus, aliàs verò mi

**objektiv spojka, okulár rozptylka**

**Z ≈ 10 - 30**

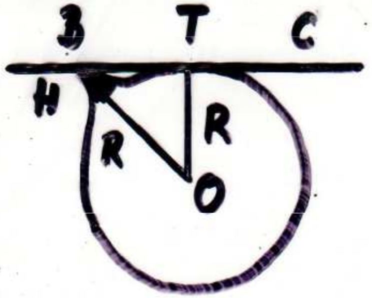


# Galileův dalekohled

Objev dalekohledu zásadním způsobem změnil astronomii. Pozorování s ním umožnilo získat zcela nové poznatky o nebeských tělesech a jevech s nimi spojených. Přístroj měl rovněž pomoci řešit výše zmiňovaný spor o podstatě a poloze komet. Konstrukce dalekohledu byla poprvé popsána ve spisku *Hvězdný posel* (*Sidereus Nuncius*, 1610), který vyšel v březnu. Obsahově pojednával o novém revolučním přístroji – dalekohledu a prvních pozorováních objektů na obloze s ním konaných. Souběžně s Galileem provádělo pozorování s dalekohledem více astronomů, např. Thomas Harriot (1560–1621), Simon Marius (1573–1624), Christoph Scheiner (1573–1650), jak přehledně popsal J. North.[135] Italský astronom však byl první, který svá systematická pozorování publikoval. Mezi roky 1609–1611 byl přístroj nazýván *perspicillum*. Za autora termínu *telescopium*, který se objevil již kolem roku 1611, bývá považován Frederico Cesi (1585–1630).

posloupnost pozorování Měsíce, hvězdy, Jupiterovy měsíce, fáze Venuše, Saturn, sluneční skvrny

# Galileovo určování výšky hor na Měsíci




vrchol hory ozářen slunečními paprsky CB

O ... střed Měsíce
B ... vrchol hory
H ... výška hory
T ... poloha terminátoru, bodu dotyku sl. paprsku s měsíčním povrchem

z R-Δ BTO:

$BO^2 = BT^2 + TO^2$

$BO = H + R$

$BT = l$ ... lin. vzdále[nost] vrcholu od terminá[toru]

Platí: $H^2 + 2HR + R^2 = l^2 + R^2$

za předpokladu $H^2 << R$ dostáváme

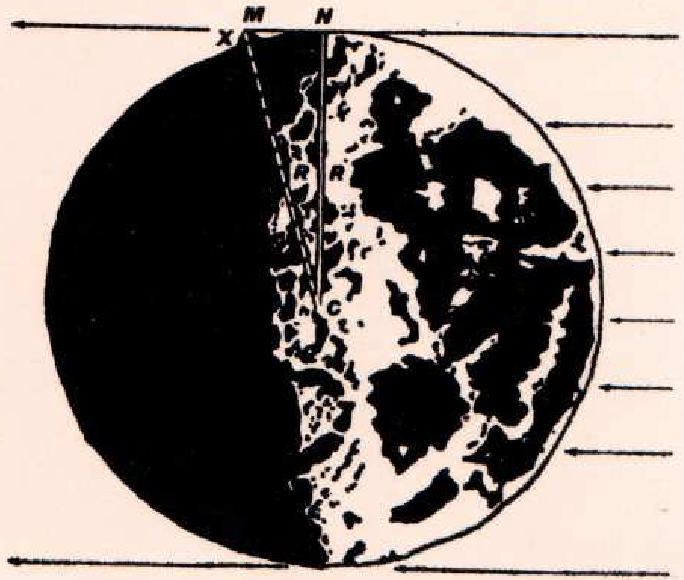
$$2HR = l^2$$

$$H \doteq \frac{l^2}{2R}$$

v bodě T nesmí být hory, vyvýšeniny

**Galileovo měření výšky hor na Měsíci** — Galileo pozoroval rozhraní stínu a světla (terminátor) na okraji měsíčního kotouče a měřil, které špičky hor se objeví ozářené Sluncem jako jasné body v oblasti stínu. Potom spočetl výšku x hory podle obrázku pomocí Pythagorovy věty (R je poloměr Měsíce, který Galileo znal vzhledem k poloměru Země) z rovnice $(R + x)^2 = R^2 + MN^2$.

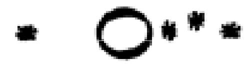
**výška hor na Měsíci**
**x = 2 km**



# Galileova pozorování

Jupiterovy měsíce 7. ledna 1610

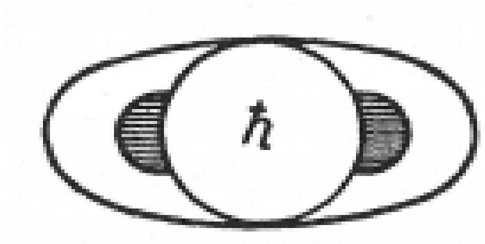

medicejské hvězdy 13. ledna 1610



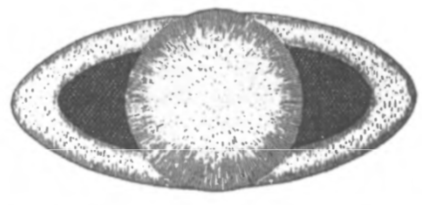
Celkem Galileo v *Hvězdném poslu* popsal šedesát čtyři pozorování měsíců provedených do 2. března 1610. Zpětný výpočet poloh konkrétních měsíců ukázal menší spolehlivost jeho pozorování, která nicméně zachycovala vzájemnou polohu měsíců vesměs dobře. Galileo se pokoušel určit úhlové vzdálenosti měsíců od planet, jakož i parametry jejich oběžných drah. Pro nejvzdálenější měsíc od planety uvedl oběžnou dobu přibližně půl měsíce. V následujícím období se pokusil vyjádřit zákonitosti pohybu měsíců. Měly sloužit k určování zeměpisné délky, neboť jejich zákryty Jupiterem nastávaly nezávisle na místě pozorování na Zemi. Mohly tak poskytovat stejný časový okamžik, shodně seřízené hodiny. Rozdíl délek následně bylo možné stanovit z průchodu hvězdy poledníkem. V Galileově době, před vynálezem kyvadlových hodin, však stanovení okamžiků nástupů zákrytů nebylo nejpřesnější. K praktickému využití myšlenky tak nedošlo.

Italskému astronomu patřila publikační priorita objevu Jupiterových měsíců. Německý astronom Simon Marius však byl důkladnějším a přesnějším pozorovatelem. Provedl identifikaci jednotlivých měsíců a ze stanovení maximální elongace určil jejich oběžné doby.

# Galileova pozorování




v létě 1610 pozoroval krajní planetu - Saturn jako trojitou, de facto sledoval prstenec, závěr neučinil

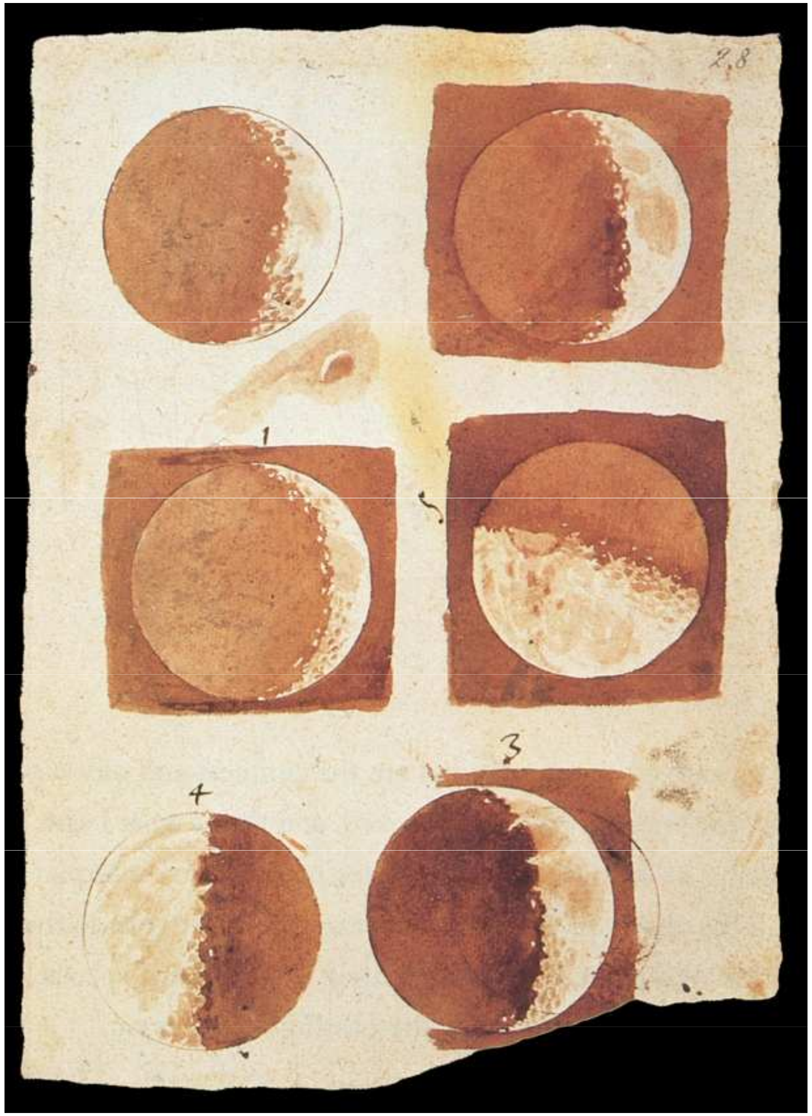


začal pozorovat sluneční skvrny, zakresloval jejich podobu, změny tvaru, jejich vznik a zánik, postup od východního okraje disku k západnímu, **pohybovaly se nerovnoměrně** přes sluneční disk, pochopil jejich souvislost s povrchem Slunce, *„látka skvrn se nesbíhá ke Slunci, ale naopak z něj vychází...“*, shrnutí ve třech dopisech M. Welserovi, ***Historie a demonstrace slunečních skvrn 1613***

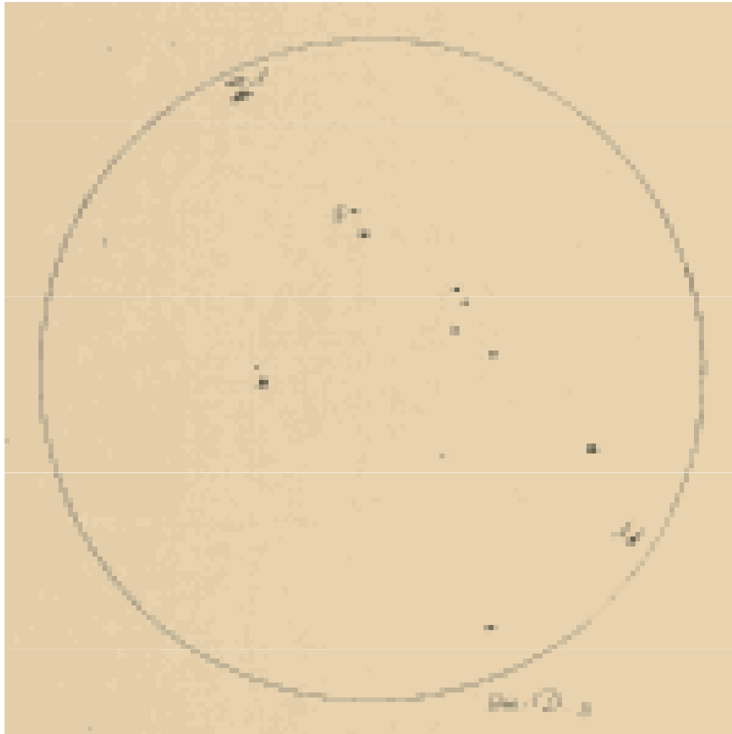
skvrny - J. Fabricius 1587-1615, Ch. Scheiner 1575-1650

# Galileova pozorování

**fáze Měsíce**

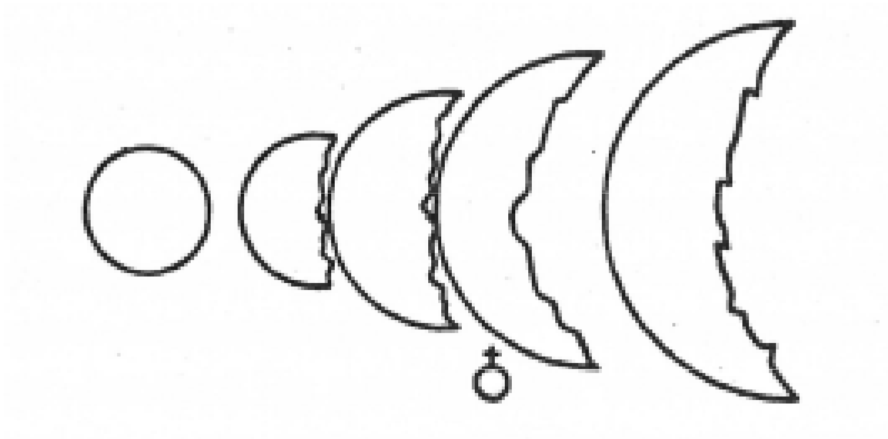


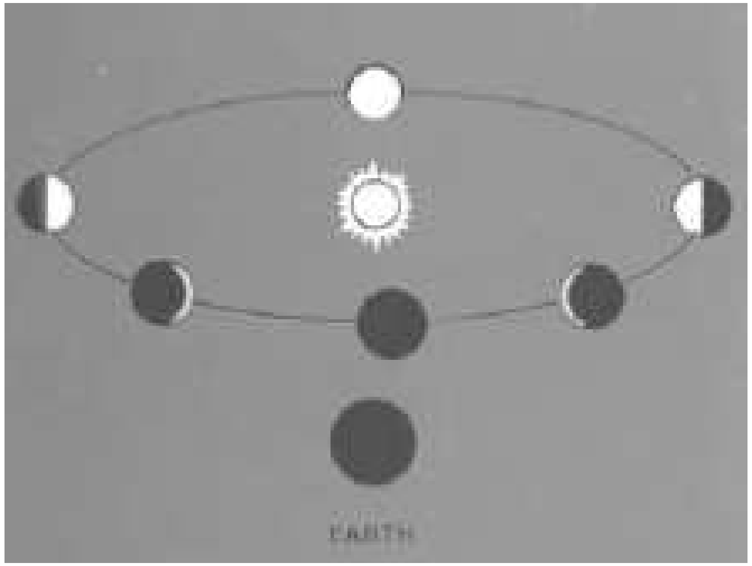
**sluneční skvrny**

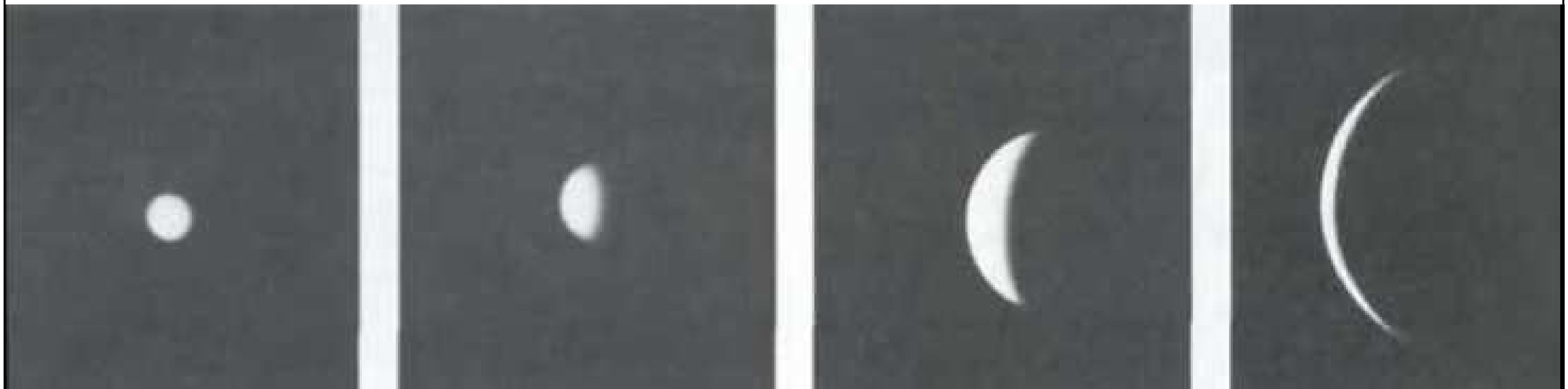


# Pozorování fází Venuše

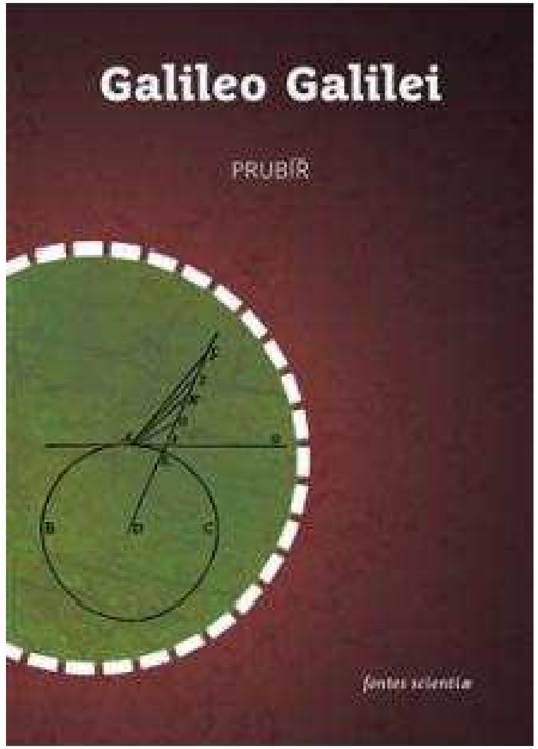
**změna jasností, velikostí a úplný cyklus fází Venuše - důkaz heliocentrismu**





# Komety

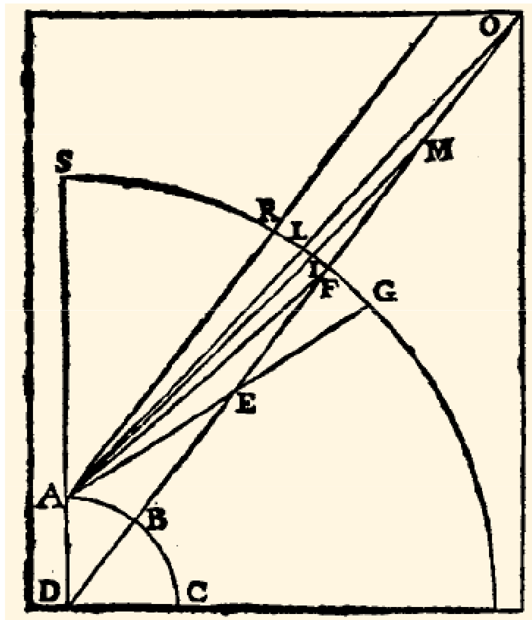



r. 1623 ***Prubíř***

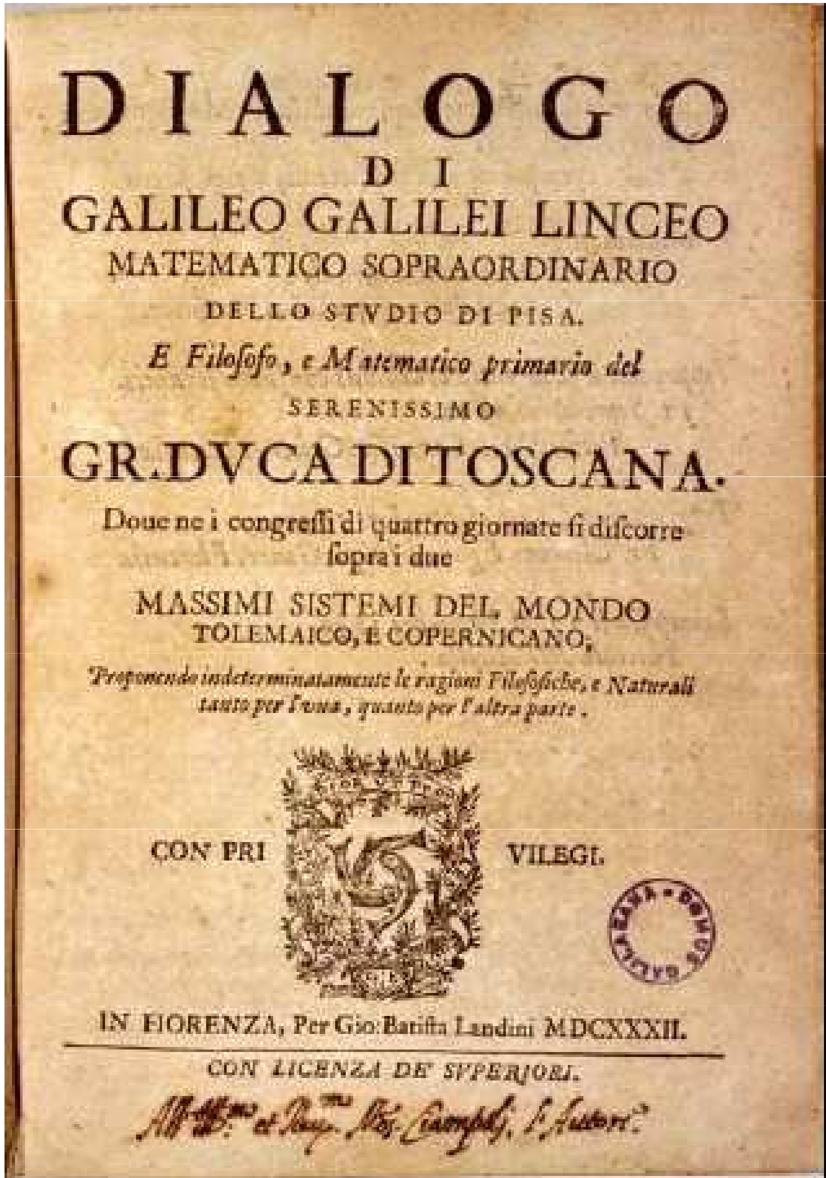
***obsahuje Galileovu optickou teorii komet***

komety - stoupající výpary a exhalace v zemské atmosféře, úhlové zpomalení výstupu přímková dráha komet směrem k zenitu, nepozorováno…

oponent **Grassi Orazio1583-1654** ve spisu ***Váha*** uvedl, že těleso komety a ohon nejsou zdrojem světla, nýbrž lámou a odrážejí sluneční světlo, ohon (plazmový) míří vždy od Slunce, kometa se nachází v nadměsíčním světě



# *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo p- Dialog o dvou hlavních soustavách r.1632*


DIALOGO
DI
GALILEO GALILEI LINCEO
MATEMATICO SOPRAORDINARIO
DELLO STVDIO DI PISA.
*E Filosofo, e Matematico primario del*
SERENISSIMO
GR.DVCA DI TOSCANA.
Doue ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due
MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;
*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali tanto per l'vna, quanto per l'altra parte.*
CON PRI VILEGI.
IN FIORENZA, Per Gio:Batista Landini MDCXXXII.
CON LICENZA DE' SVPERIORI.

# Dialog

Dialog tří osob ve čtyřech dnech, **Salviati** (Galileo), **Simplicio** (Aristoteles), **Sagredo** (rozhodčí) posuzující kdo má pravdu

**První den** - důkazy o proměnnosti nebeských těles (sluneční skvrny, nové hvězdy), vyvracení názorů Aristotela

**Druhý den** - zkoumán pohyb Země, důkazy rotace, formulován **princip setrvačnosti** (kruhový pohyb) a **princip skládání rychlostí, nezávislost doby kyvu kyvadla na hmotnosti**

**Třetí den** - diskuse o nově z. r. 1604, fáze Venuše, měsíce Jupiteru, důkazy heliocentrického uspořádání Sluneční soustavy, jak geometrické, tak i dynamické, zdůvodnění Koperníkovy soustavy

# Dialog

**Třetí den**, ukázka:

Simplicio: „*Z čeho usuzujete, že místo uprostřed oběhu planet náleží Slunci, a ne Zemi?“*

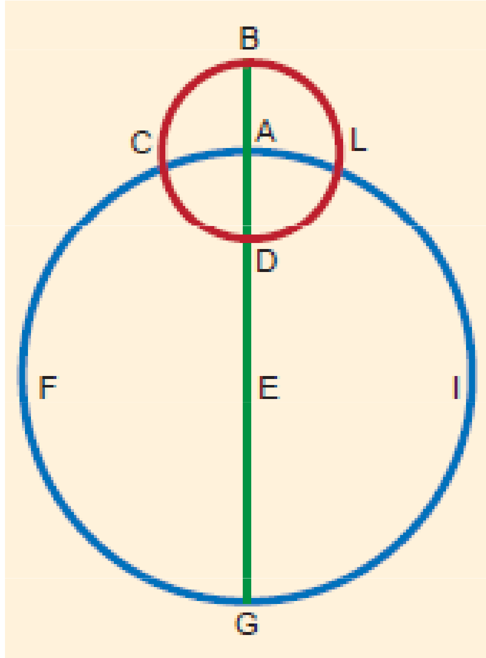
Salviati: ,,*Docházím k tomu ze zcela očividných, tedy naprosto přesvědčivých pozorování“...,,všechny planety jsou jednou Zemi blíž, podruhé zase dál a rozdíly těchto vzdáleností jsou značné.“*

Simplicio: „ *Ale čím budete dokládat, že se planety pohybují kolem Slunce?“*

Salviati: ,,*Pokud jde o tři svrchní planety, Mars, Jupiter a Saturn, jsou Zemi nejblíž, když jsou v opozici, a naopak nejdále, když  se dostávají do konjunkce se Sluncem.“*

# Dialog

**Čtvrtý den** - diskuse o mořských přílivech a odlivech, Galileova chybná představa o skládání rychlostí, příliv a odliv jako důsledek rotace Země a jejího oběhu kolem Slunce, přestože znal názory Keplera o tom, že slapy jsou vyvolávány přitažlivostí Měsíce a Slunce




***Discorso del flusso e reflusso del mare r.1616***
***Rozprava o příčinách přílivu a odlivu*** -
dopis kardinálu Alessandru Orsinimu 1592 - 1626

***Galileo***: *„Srážkové pohyby závisí na rozdílných polohách a délkách vzájemně propojených moří a jejich odlišných hloubkách, umožňují vzestup těmto nepravidelným poruchám vody, které způsobují starosti ustrašeným námořníkům ...“*

# Galileova představa o přílivech a odlivech

***Dialog o dvou hlavních světových soustavách***

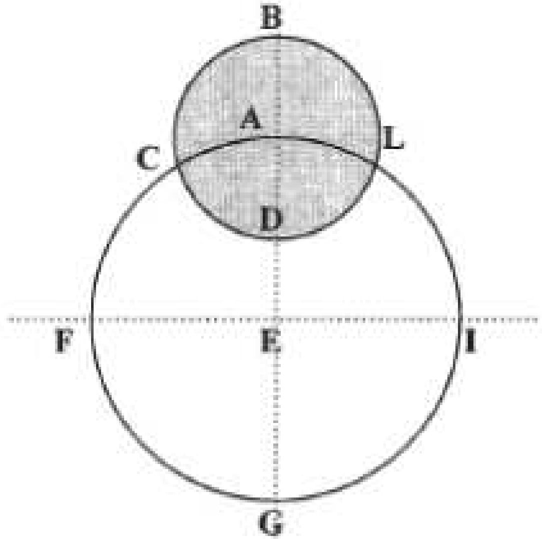
hlubší úvahy o povaze přílivu a odlivu, spíše hledaný **důkaz o pohybu Země kolem Slunce**

**Čtvrtý den** v ***Dialogu Salviati**** (***Galileo)*** uvádí: *„My jsme už dávno prozkoumali a dokázali, že všechny pozemské jevy dokazující nehynost Země a pohyblivost Slunce a nebeské klenby se nám musí jevit podobně i při pohyblivosti Země a nepohyblivosti Slunce a nebeské klenby;* ***jedině prvek vody jako prvek nejrozšířenější, který není spojen a spjat se zeměkoulí tak těsně jako jiné její pevné částice, tento prvek dík své tekutosti zůstává částečně sui iuris a volným …“***

# Galileova představa o přílivech a odlivech

**k dokázání pohybu Země Galileo navrhuje částice vody**, na nich by se měla nerovnoměrnost pohybu Země,  neinerciální soustava → proto by bylo možné prokázat její pohyb

nerovnoměrnost Galileo vidí v rozdílu rychlostí přivrácené a odvrácené části Země




podrobnější analýza viz


J, Novotný.: Galileo Galilei a mořská dmutí. Čs. čas. fyz. **44** (1994), s. 58.

V. Štefl.: Historie výkladu statické teorie slapů na Zemi. Čs. čas. fyz. **61** (2011), s. 39.

# Galileova představa o přílivech a odlivech

***Salviati:*** *„ Dokážu* ***svůj paradox****, pane Simplicio, ponechám úlohu obhajovat proti němu axiom anebo je dám do souladu. Můj důkaz bude krátký a lehký, neboť závisí od věcí, které jsem tak dlouho projednávali… Říkali jsme, že existují* ***dva pohyby*** *připisované zeměkouli:* ***první - roční****, vykonávaný jejím středem a probíhající po kružnici velké dráhy, pod ekliptikou podle pořadí zvířetníkových znaků, tj. od západu na východ;* ***druhý – vykonávaný samotnou zeměkoulí otáčející se*** *kolem vlastního středu za 24 hodin a stejně tak od západu na východ, ale okolo osy trochu skloněné neparalelně s osou ročního pohybu. Ze* ***složení těchto dvou pohybů, z nich každý sám o osobě je rovnoměrný…“***

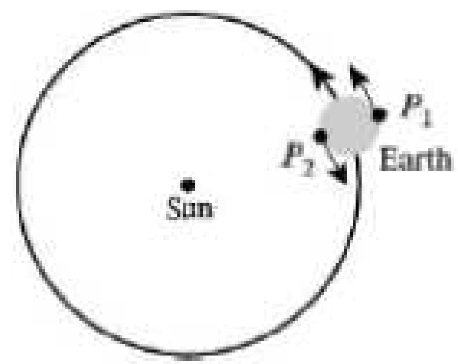
# Galileova představa o přílivech a odlivech

***Salviati:*** *„ A tak páni moji, co činí člun vzhledem k vodě v něm se nacházející…, úplně to samé dělá i nádrž Středozemního moře…Pohyb celé zeměkoule a každé její části by byl rovnoměrný a stejný, kdyby se její části pohybovaly jen jedním pohybem, buď jednoduchým ročním, anebo jen denním. Potom je tak jistě nevyhnutelné, aby* ***ze složení těchto dvou pohybů vyplývaly pro části zeměkoule nerovnoměrné pohyby****, někde zrychlené a jinde zpomalené, podle toho, zda se denní otáčení připočítává k ročnímu pohybu, nebo se od něho odečítá.“*

# Galileova představa o přílivech a odlivech

Pohyb částice na povrchu Země – dvě složky první reprezentuje **denní rotační pohyb Země** druhá složka zachycuje **roční pohyb Země kolem Slunce** rychlost částice vody v místě $P_1$ - součet rychlosti pohybu Země kolem Slunce a rychlosti bodu na povrchu Země v důsledku rotace Země v místě $P_2$ přivráceném k Slunci je rychlost rovna rozdílu oběžné rychlosti Země kolem Slunce a rychlosti bodu na povrchu Země vyvolaném rotací.

poměr rychlostí ročního a denního pohybu částice na povrchu Země 3 : 1, (1208/365), vzdálenost Země - Slunce 1 208 $R_Z$ skutečný poměr 64 : 1



# Galileova představa o přílivech a odlivech

**Galileův výklad není úplný, explicitní formulace problému chybí → interpretační diskuse, intuitivně chápal, že pohyb Země je zrychlován**

využil **princip skládání rychlostí**, Galileo nepřijal eliptické dráhy, analogie kruhového pohybu deferent, epicykl

slapy - relativní pohyb částic vody na Zemi → fyzikální důkaz pohybu Země

**geo-kinetická teorie slapů, potvrzení pravdivosti heliocentrického uspořádání,** obdobně jako pohyb slunečních skvrn třetí den Dialogu…

# Galileova představa o přílivech a odlivech

závěry o změně výšek mořské hladiny Galileo **nesrovnával s naměřenými údaji,** výška přílivu v Benátkách (5 – 6) stop - (1,5 – 2) m

vliv Měsíce a Slunce na slapy Galileo připouští, jejich gravitační působení nikoliv (neznal gravitační zákon), *qualitas occulta* - skryté vlastnosti odmítal, přitažlivá síla působí pouze u povrchu Země,
**úloha Měsíce při interpretaci slapů nezabudována**

# Besedy

***Besedy a matematické důkazy o dvou nových odvětvích vědy, vztahujících se k mechanice a místnímu pohybu r. 1638***

stejná forma i účastníci jako v Dialogu

První den - diskuse o hodnotě rychlosti

Sagredo: „ *Ale jakého typu a jakého stupně rychlosti musí být pohyb světla? Můžeme ho považovat za okamžitý nebo probíhající v čase jako druhé pohyby?“*

Simplicio: „*…světlo od plamene výstřelu bez jakékoliv ztráty času dopadá do našeho oka opačně než zvuk, který dopadá do ucha za značný časový okamžik.“*

Sagredo: „*…to však neznamená, že šíření světla probíhá okamžitě a nepotřebuje známý, ačkoliv malý časový okamžik.“*

# Besedy

Druhý den - zákon rovnoměrně zrychleného pohybu těles po nakloněné rovině. Dále jsou diskutovány materiály těles a jejich tvrdost.

Třetí a čtvrtý den - nejprve zkoumán rovnoměrný pohyb, následně zrychlený pohyb. Historie pokusů s volným pádem, zákon závislosti rychlosti padajícího tělesa na čase. Galileo dospěl k závěru, že rychlost padajícího tělesa je úměrná době pádu. O přirozeně zrychleném pohybu uvedl:

Galileo:„...*dráha uražená při zrychleném pohybu je rovna dráze, kterou by za stejný čas urazilo těleso, jestliže by se pohybovalo rovnoměrně s rychlostí rovnou střední hodnotě mezi počáteční a konečnou rychlostí.“* – důkaz geometricky

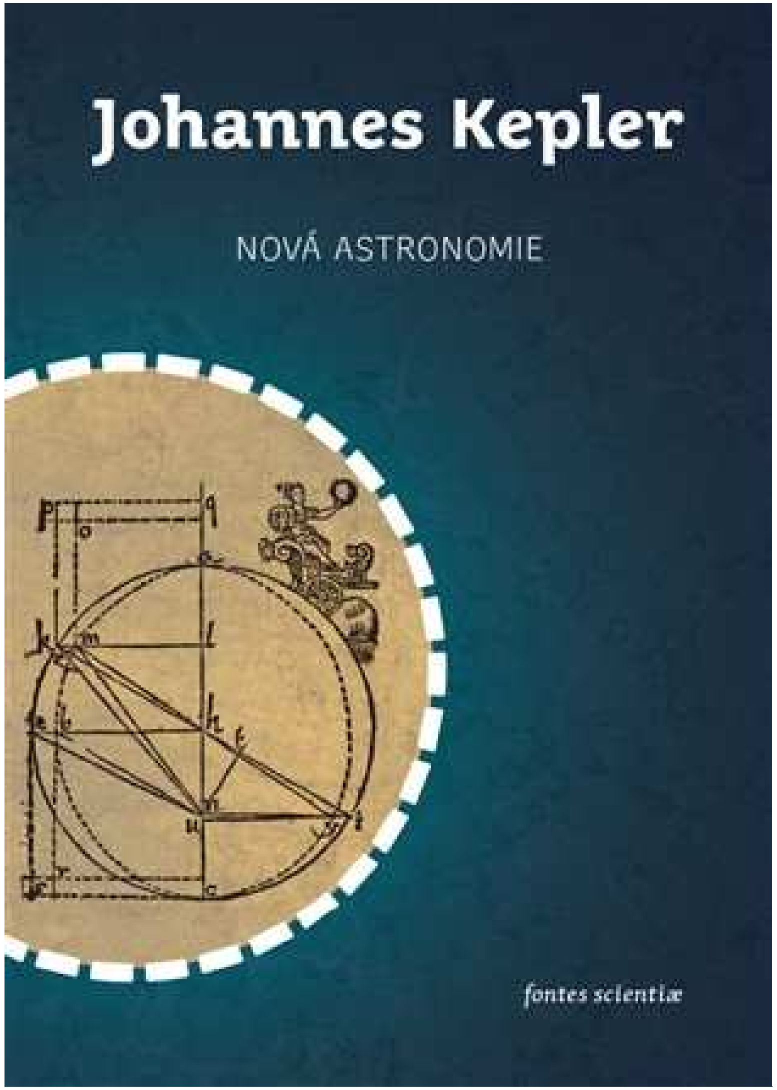
# Galileo - význam

důsledně vycházel z experimentu a jeho pečlivého pozorování
zakladatel mechaniky – zákony volného pádu, pohybu po nakloněné rovině, matematické zpracování, skládání rychlostí, Galileova transformace, zákon setrvačnosti pro kruhové pohyby

**Dialog** i **Besedy -** nejen díla fyzikální, astronomická, ale především filozofickou obhajobou heliocentrické Koperníkovy soustavy

autor pronásledován katolickou církví zakázán, r. 1633 Galileo odsouzen..., Besedy v protestanském Leydenu, 1822 Pius VII. povolil knihy s heliocentrismem, Jan Pavel II, 1992 ***…vzájemná nedorozumění***

# Johannes Kepler 1571 - 1630



# Johannes Kepler (1571 - 1630)

## *r. 1612, obraz - dvorní malíř Rudolfa II.*

## *Hans von Aachen (1552-1615)*

### *Orlická galerie, Rychnov nad Kněžnou*

*Kepler přijel do Čech 3.února 1600, setkání s Tychonem Brahe*

*v Praze nejplodnější období života*

*K pevnějším základům astrologie 1601*

*Optická část astronomie 1604*

*O nové hvězdě 1604*

***Nová astronomie 1609***

*Rozprava s Hvězdným poslem 1610*

*Dioptrika 1611*

***1611 - † syn Friedrich***

***1612 - † manželka Barbara, Rudolf II., Martin Bacháček***

**Kunštát,** rentmistr *Steffan Schmidt von Freyhofen*, **1606, 1612**

# Johannes Kepler

**životopis, Tübingen Mästlin, 1600-1612 Praha…**

***Kosmografické mystérium 1596***

***Optika - doplňky k Vitellovi, v nichž je podána optická část astronomie 1604***

***Nová astronomie 1609 - I. II. Keplerův zákon***

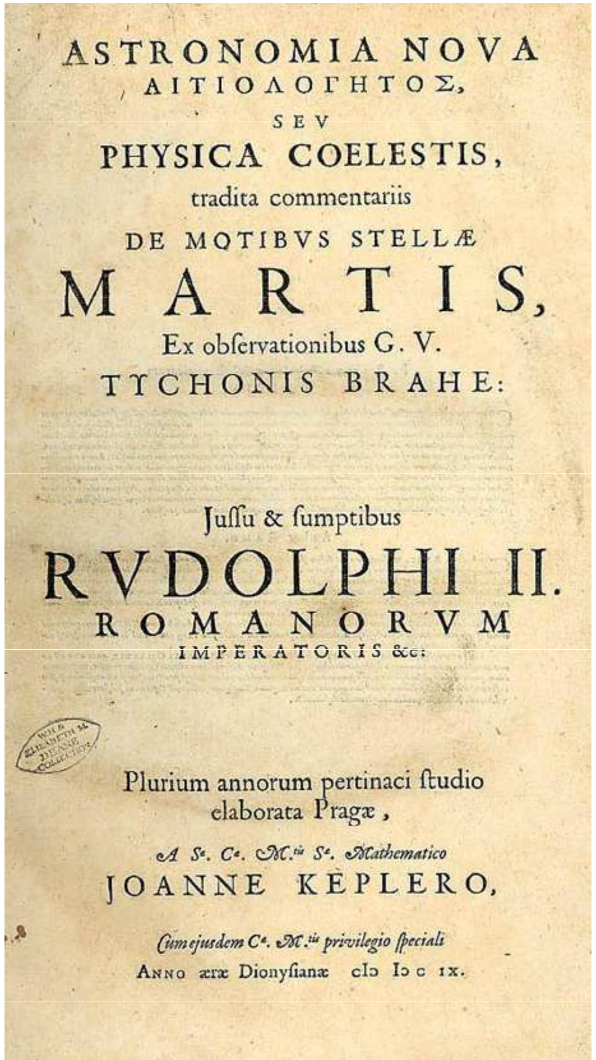
***Dioptrika 1611***

***Souhrn koperníkovské astronomie 1618 - 1621***

***Harmonie světa 1619 - III. Keplerův zákon***

***Rudolfinské tabulky 1627***

# *Nová astronomie*


ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,
A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,

Cum ejusdem C. M.tis privilegio ſpeciali
ANNO æræ Dionyſianæ clↃ Iↄ c ix.

**r. 1609**

*Astronomia nova seu Physica cœlestis, tradita commentariis De motibus stellæ Martis, ex observationibus G. V. Tychonis Brahe, Jussu&sumptibus Rudolphi II. Romanorum Imperatoris … **Nová astronomie, založená na studiu příčin, čili nebeská fyzika**, podávaná v komentářích o pohybu hvězdy* [planety] *Marsu, kterou na základě pozorování urozeného pana **Tychona Brahe**, z rozkazu a na náklad **Rudolfa II.**, císaře římského…*

# *Nová astronomie**

spis - 70 kapitol, 337 stran, 5 částí

- ***O srovnání hypotéz***
- ***O první nerovnosti Marsu podle učení starých astronomů***
- ***Zkoumání druhé nerovnosti, tj. pohybů Slunce nebo Země, neboli klíč do hloubi astronomie, kde je mnohé o fyzikálních příčinách pohybů***
- ***Zkoumání správné velikosti první nerovnosti podle fyzikálních příčin a vlastního názoru***
- ***O šířce***

***Úvod, klíčové kap. 57 - 60***

***zlatá koruna NA - kap. 59 : 15 proteorémů***

*J. Kepler: *Gesammelte Werke. Band III. Astronomia Nova*. C. H. Beck´sche Verlagsbuchhandlung, München MCMLI.

# *Nová astronomie - pojem dráha*

- interpretace pojmů ***orbes*** a ***orbita,*** postupný posun významu, přeměna ***orbes → orbita,***
- Galileo Galilei - pojem *orbes,* ve smyslu sfér, na nichž planety přichyceny, nejmenší a největší vzdálenost planet od Slunce
- podobně Kepler v ***Tajemství vesmíru*** ** z r. 1596, termín *orbes* pro planetární sférické vrstvy, materiální i geometrické objekty
- *NA* v úvodu pojmy *via* („cesta“)*, iter* („stezka“)*, circuitus* („oběh“) a *ambitus* („obcházení“) *orbita ,* k zachycení excentrické dráhy
- čtvrtá část *NA,* dráha nejen pouze geometrické, ale již i fyzikální povahy, použil pojem ***orbita*** - myšlená křivka
- ***Souhrn koperníkovské astronomie*** *** - ***eliptická křivka s ohnisky***

**J. Kepler:*Gesammelte Werke. Band VIII. Mysterium cosmographicum*. C. H. Beck´sche Verlagsbuchhandlung, München MCMLXIII.
*** J. Kepler: *Gesammelte Werke. Band VII. Epitome Astronomiae copernicanæ*, C. H. Beck´sche Verlagsbuchhandlung, München MCMXXXX.

# Volba Marsu

Kepler zvolil ***Mars,*** pohyb ve větších výškách, s větší ***excentricitou*** dráhy → proniknout do tajů pohybů planet
v pohybu Marsu dvě ***nerovnosti*** (odchylky od rovnoměrného pohybu - ***nerovnoměrnosti***)

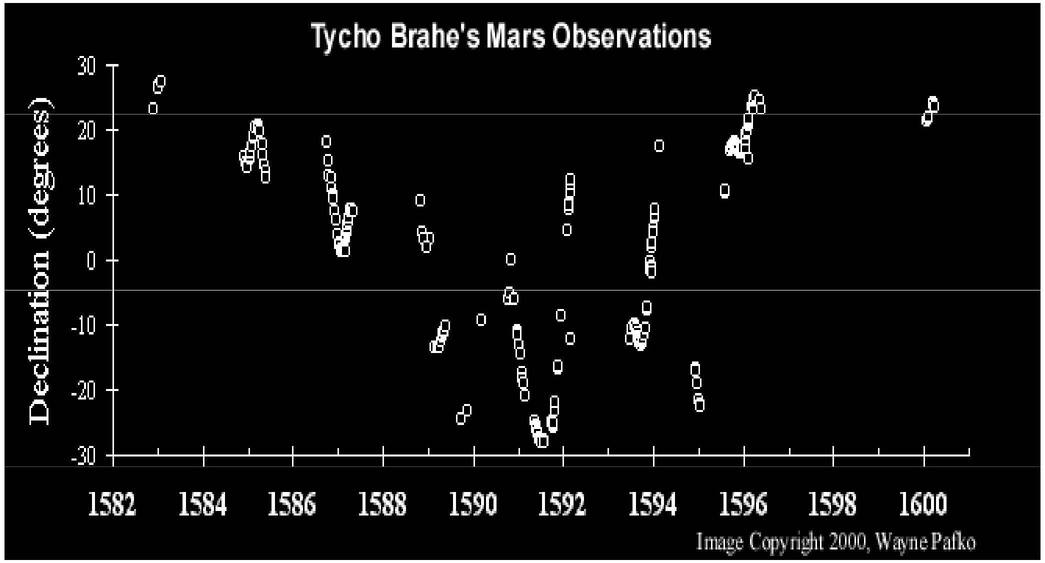
- ***první nerovnost***, pravidelná změna oběžné a úhlové rychlosti s periodou odpovídající jeho siderické oběžné době - 687 dnům, eliptickým tvarem dráhy planety
- ***druhá nerovnost*** vyjadřovala nestálost směru pohybu, zastavování či zpětné pohyby, způsobené rozdílnou oběžnou rychlostí planet a Země při oběhu kolem Slunce

první nerovnost - rychlejší pohyb Marsu v souhvězdí Kozoroha než na opačné straně zvěrokruhu v souhvězdí Raka, → závislost na poloze planety podél ekliptiky
***interpretace první nerovnosti*** → klíč k nalezení I. a II. Keplerova zákona

# *Problém Marsu*

**Otázky:**

- ***Jak a proč se mění vzdálenost Marsu od Slunce?***
- ***Co Marsem pohybuje tak, že obíhá kolem Slunce?***



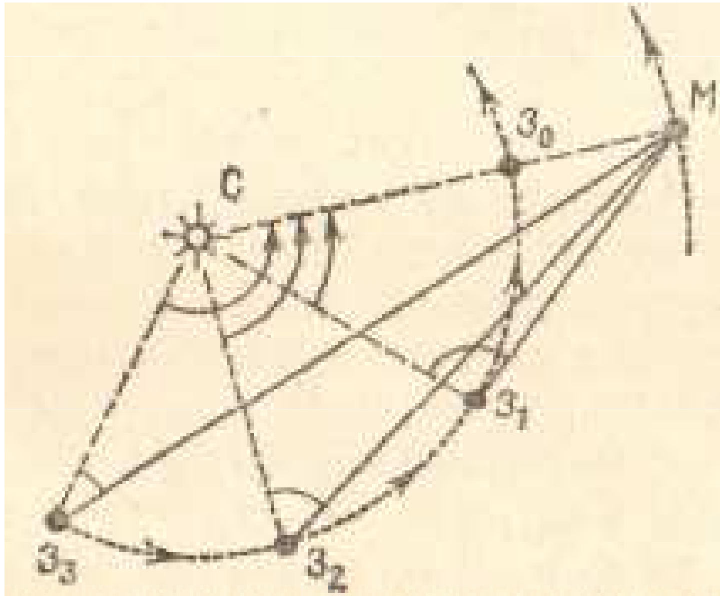

**Měl k dispozici:**

- ***Přesná pozorování Marsu Tychona Brahe***
- ***Vhodný geometrický model dráhy***
- ***Fyzikální magnetickou hypotézu.***

# Upřesnění dráhy Země

- nezbytnost upřesnění její dráhy, neboť pozorovatel se se Zemí v heliocentrickém modelu pohybuje

- metoda ***opozice Marsu*** a následně jejich pozorování každou siderickou oběžnou dobu - 687 dnů, planeta vzhledem k vzdáleným hvězdám na pozadí ve stejném místě, Mars ***fiktivní lucernou*** - Einstein

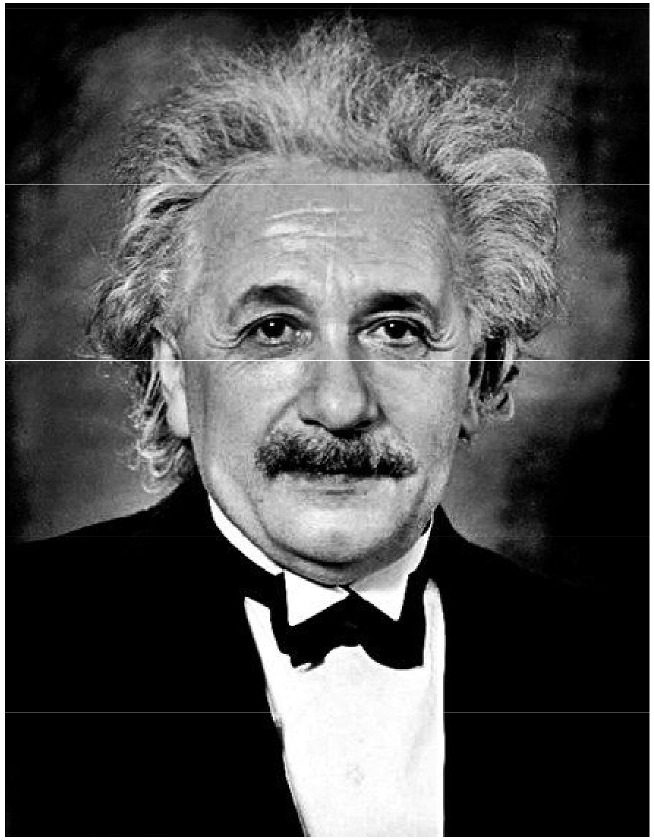



- Zemi $Z_1$ scházelo ve stejném čase k uskutečnění dvou siderických oběhů ještě urazit oblouk o úhlu 43°

- Kepler pozoroval Mars ze Země pod jiným úhlem, na pozadí odlišných hvězd oblohy, z obou uvedených směrů pozorování planety triangulací stanovil novou polohu Země, kap. 24 *NA*

# Upřesnění dráhy Země

- za další a další siderické oběžné doby Marsu postupně nalezl následné polohy Země, z jejich množiny → určil dráhu, téměř shodnou s kružnicí, ***Slunce posunuto mimo střed***

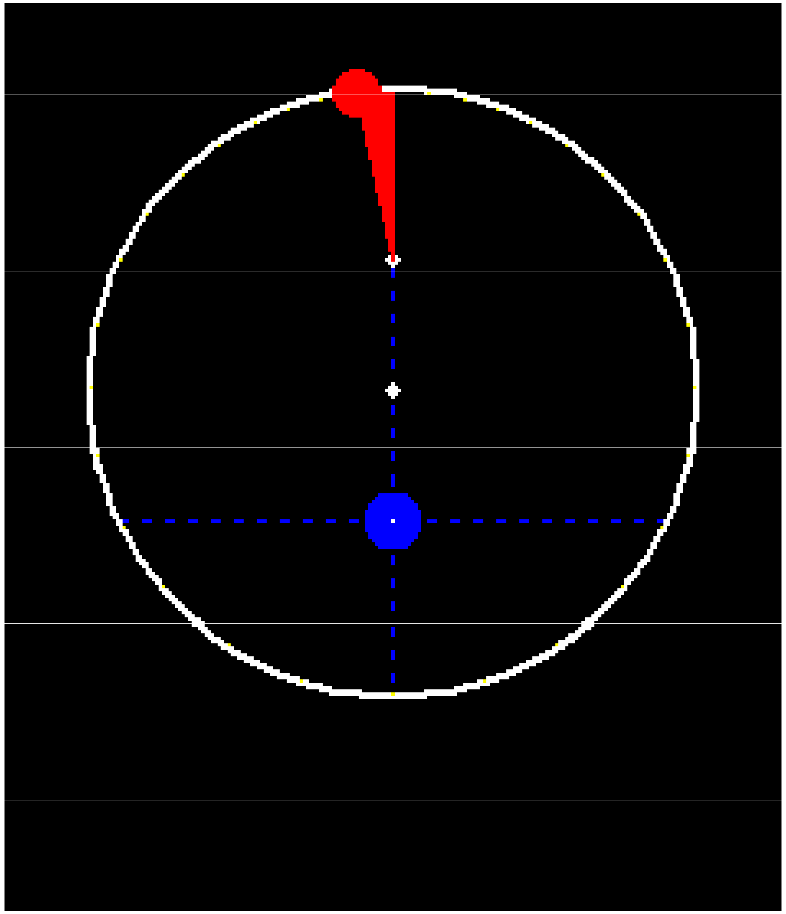


- Keplerovu důvtipnou metodu při příležitosti 300 letého výročí jeho smrti ocenil Albert Einstein (1879 - 1955) * obdiv vyjádřil slovy:
„*Takto objevil Kepler skutečný tvar zemské dráhy, jakož i to, jak ji Země opisuje. My později narození Evropané, Němci nebo dokonce Švábové ho za to nemůžeme dost obdivovat a velebit.*“

*A. Einstein: Albert Einstein űber Kepler. Frankfurter Zeitung 9. listopadu 1930. Překlad do českého jazyka H. Karlach.

# Keplerův model - vicarious hypothesis

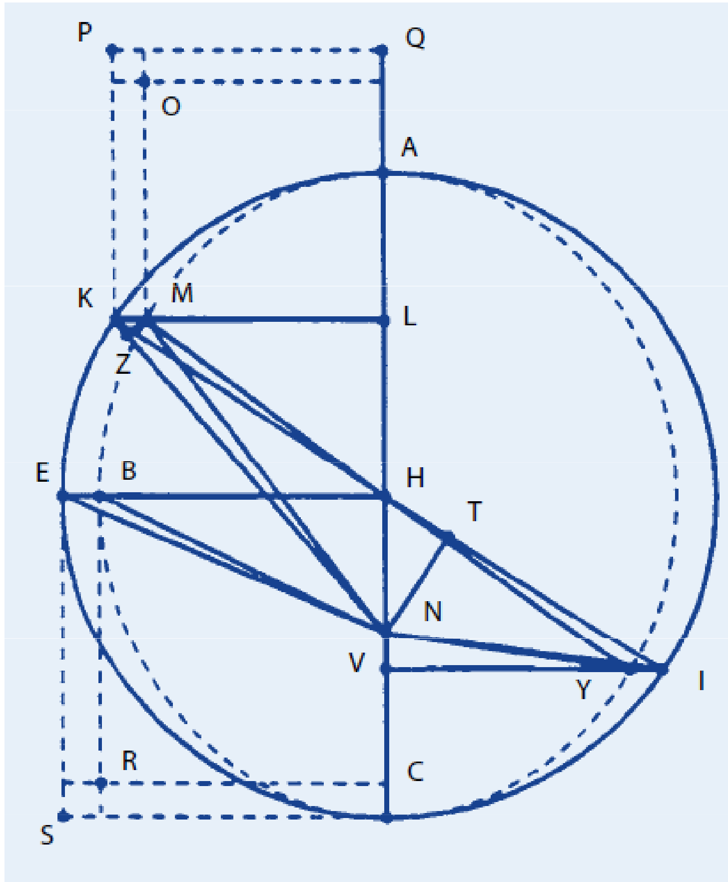
**hledání dráhy Marsu**
na přímce apsid - střed dráhy
Slunce excentricky položené
souměrně ke středu bod
*„**punctum equans**“* **-** ***ekvant**,*
bod v konstantní vzdálenosti od středu,
kolem kterého probíhal rovnoměrný
úhlový pohyb planet
**Země modrý bod**
u Keplera v heliocentrickém
modelu, podle *NA:*



*„circa „quod punctum aequalibus temporibus
Mars aequales angulos conficiat.“* -
*„Mars opisuje stejné úhly v stejném čase“.*

# Matematický model - přechod k elipse

v *NA*, **kap. 59** přechod k eliptické dráze, *lineární transformace všech souřadnic pomocné excentrické kružnice v poměru velikostí malé a velké poloosy elipsy b : a*, jestliže *HB = b, NB = a*, vepsal ji do zmiňované kružnice, z jejího obvodu spustil kolmice *KL*, *EH* na přímku apsid *AC*, které protínaly v bodech *M* a *B* obvod elipsy, poměr v původním textu v *NA* zapsal ***BH : HE = ML : KL*** poměr velikostí ploch elipsy *ABC* a kruhu *AEC*, který byl úměrný poměru velikostí kolmic z elipsy a z kružnice, v poměru malé a velké poloosy, platilo ***ABC : AEC = BH : EH*** Kepler zaměnil plochy sektorů elipsy a kruhu, vztahem ***ANM : ANK = ML : KL = b : a***

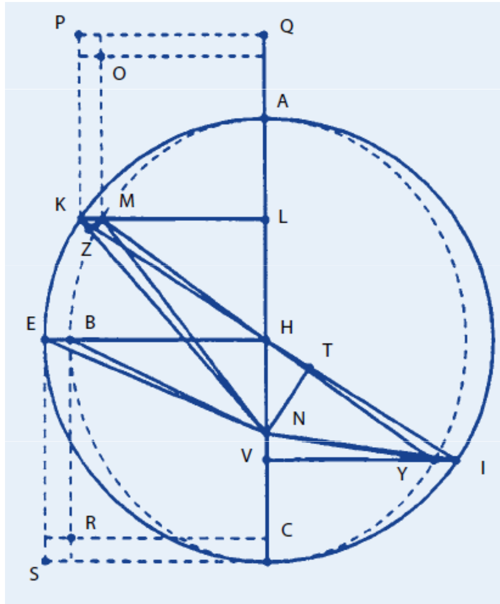


# Matematický model pohybu Marsu

- ***stanovení plochy sektoru elipsy*** → záměnou za k ní přidruženou plochu kruhového sektoru, obě vyjádřeny pomocí geometrických veličin.

-pro poměr obsahu ploch trojúhelníků platí ***MNL : KNL = b : a*** → plocha elip. sektoru ***ANM = b/a x*** plocha kruh. sektoru ***AKN***
bod *M* reprezentuje Mars, přidružené plochy kruhového sektoru
***AKN = AHK*** a ***Δ HNK***

-k ***poměřování součtu vzdáleností*** mezi po eliptické dráze se pohybující planetou a Sluncem použil ***kruhovou plochu***
- ***čas***, který Mars (*M*)
potřebuje k přemístění podél oblouku eliptické dráhy *AM*, ***lze určit pomocí obsahu plochy kruhové výseče AKN***,
kde *N* je poloha Slunce




- *NA*: ***„Arcum ellipseos, cujus moras metitur area AKN“*** -
***„Oblouk elipsy AM, jehož čas je poměřován plochou AKN“***

# Eliptický zákon

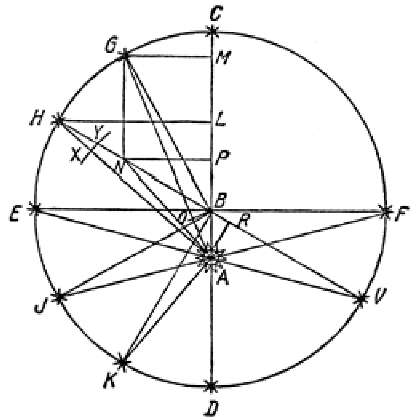
- **5. 3. 1605** dopis Mästlinovi* → **Velikonoce - eliptický tvar dráhy**
- analýza propočítaných vzdáleností Slunce - Mars, různé modely dráhy, nesoulad výpočtů a pozorovacích údajů, magnetická hypotéza, úprava librační metody, vzdáleností odpovídaly eliptické dráze, kap. 58
- kap. 58 …dráha z kap. 43 je příliš velká a z kap. 45 příliš malá → pouze elipsa, je vystižením dráhy
- v **Nové astronomii** předposledním odstavci kap. 58 uvedl: *„Quod si iter Planetae esset ellipsis…”*…*„Kdyby byla* ***dráha planet elipsou****…“* a v posledním odstavci…*„nullam Planetae relinqui figuram Orbitae praeterquam perfecte ellipticam”*…*„žádný tvar planetárních drah není ponechán,* ***kromě dokonalé elipsy…”***

→ kap. 59 geometrické vlastnosti elipsy, existence ***punctum eccentricum –*** excentric. bod, *Vlašská kaple*

*J. Kepler: *Gesammelte Werke. Band XV. Briefe 1604-1607.* C. H. Beck´sche Verlagsbuchhandlung, München 1951.

# Zákon ploch

- **Nová astronomie***, kap. 40 → …„*Itaque* ***CGA area fiet mensura temporis seu anomaliae mediae***“…




- …„ *Tak* ***plocha CGA se stává mírou času nebo střední anomálií****, odpovídající oblouku excentru CG, protože* ***střední anomálie poměřuje čas rovnoměrně narůstající.***“
- *střední anomálie* poměřována plochou kruhového sektoru ***CAG,*** určována od afélia dráhy, až Euler změnil počátek odečtu od perihélia
- **Epitome****, 5. kniha, 1. část, 4. kap.:
- ***…„area pro mensura temporis constituitur“ - „plocha je mírou času.“***

*J. Kepler: *Gesammelte Werke. Band III. Astronomia Nova*. Zweite Unveränderte Auflage. C. H. Beck´sche Verlagsbuchhandlung, München 1990.

**J. Kepler: *Gesammelte Werke. Band VII. Epitome Astronomiae copernicanæ*. Herausgegeben von Max Caspar. Zweite Unveränderte Auflage. C. H. Beck´sche Verlagsbuchhandlung, München 1991.

# Fyzikální magnetický výklad pohybu Marsu

k eliptické dráze ***nedospěl Kepler pouhým fitováním*** pozorovacích údajů poloh Marsu

podstatná úloha ***fyzikálních úvah → hledání příčin pohybu Marsu - magnetická hypotéza***

Kepler v kap. 58: *„Quod toto hoc opere spectavi, ut Physicam invenirem hypothesin, quae non tantum distantias efficeret observatis consentaneas sed etiam aequationes itidem probas“*...

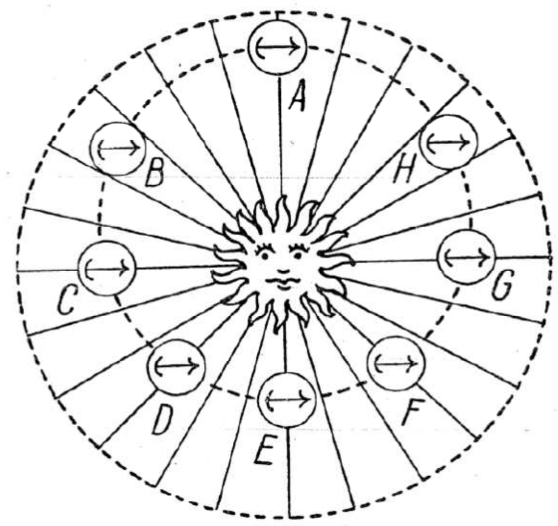
*„ Celým tímto dílem jsem zamýšlel ověřit fyzikální hypotézu, jejímž výsledkem by byly vzdálenosti shodné s pozorováním, ale zároveň také platné rovnice”* * ...

* ***rovnice - vyrovnání***, opravy rovnoměrného pohybu na nerovnoměrný a s nimi spojený přepočet úhlů

# *Magnetický model pohybu planet*

- model pohybu planety kolem Slunce - **Epitome***4. kniha, 2.část spojení působení magnetických sil + pohyb planety

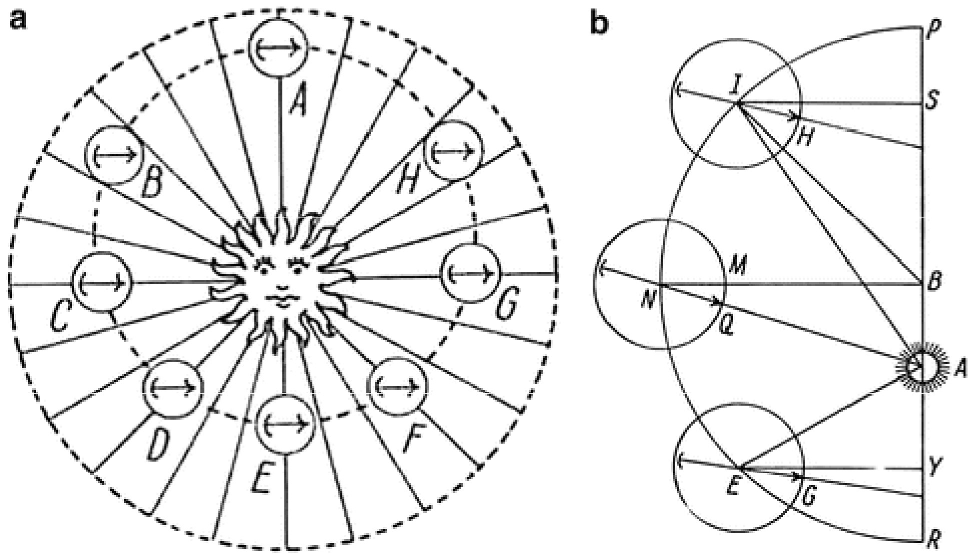
- v nitru planety magnet, pól označený špičkou šipky → směr přitažlivé síly Slunce. Planeta se pohybuje po dráze ve směru hodinových ručiček. V aféliu A oba póly ve stejné vzdálenosti od Slunce, následně mezi A a B přitahovaný pól planety se začíná natáčet stranou směrem k Slunci. Postupně planeta prochází z B do C a do D. Následně projde perihéliem E, póly opět ve stejné vzdálenosti od Slunce. Od tohoto bodu nastává odpuzování pólu strany od Slunce, planeta se pohybuje od Slunce přes body F, G a H, až do afélia v A.




-*J. Kepler: *Gesammelte Werke. Band VII. Epitome Astronomiae copernicanæ.* Herausgegeben von Max Caspar. Zweite Unveränderte Auflage. C. H. Beck´sche Verlagsbuchhandlung, München 1991.

# Magnetický model pohybu Marsu

- popis fyzikálního děje → stanovení pravidla pro vzdálenosti planety
- ***excentricita elipsy regulovala intenzitu interakce*** magnetických vláken Marsu se Sluncem, přibližování a vzdalování planety od Slunce záviselo na velikosti vzájemného magnetického působení obou těles.




- podobně jako u magnetu Kepler předpokládal pokles působící síly s rostoucí vzdáleností

- ***o správnosti fyzikální magnetické hypotézy Kepler nepochyboval***, v *NA*: *„Pokud by* ***fyzikální příčiny****, které jsem na počátku přijal jako principy, nebyly platné, nikdy by nemohly obstát v tak důkladném zkoumání.“*

# Zákon ploch

II. Keplerův zákon objeven v **roce 1602**, po analýze nerovnoměrného pohybu Marsu, z hledání změn úhlové rychlosti planety

v perihéliu opsal za dva měsíce oblouk o úhlu $37{,}0^{o}$, v aféliu za stejnou dobu pouze úhel $25{,}8^{o}$

v *NA* kap. 39 → rychlost Marsu je nepřímo úměrná vzdálenosti od Slunce

**hybná síla** uvádějící do pohybu Mars podle Keplera **vychází ze Slunce,** ovlivňuje pohyb planet, působí intenzivněji v jeho blízkosti, proto se zde planeta pohybuje s větší rychlostí, pomaleji ve větší vzdálenosti zobecněno ***v závislosti na vzdálenosti od Slunce***

**zákon ploch** vyslovil Kepler v *NA* ve dvou zněních:

1. *Rychlost planety se mění nepřímo úměrně se vzdáleností od Slunce*, kap. 39.
2. *Rychlost planety se mění tak, že průvodič spojující planetu se Sluncem opisuje stejné plochy za stejné časy*, kap. 40.

# Zákon ploch

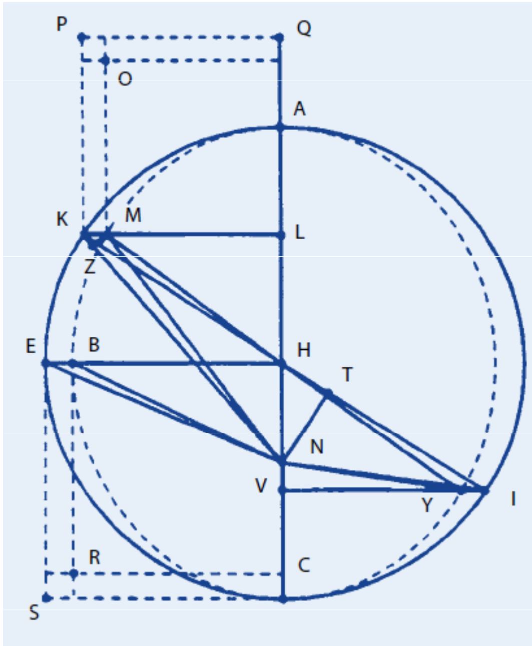
- ***první*** z nich - *tzv. zákon vzdáleností,* byl ve své době chápán jako fyzikální zákon
- první znění *zákona ploch* správné pouze pokud uvažujeme jenom tečnou složku rychlosti.
- ***druhé*** znění → současná formulace zákona ploch, geometrickým vyjádřením, interpretací astronomické problematiky, konstantní plošná rychlost vyjadřuje zachování momentu hybnosti, důsledek centrálnosti gravitační síly
- později si Kepler vyjasnil, že **přesným vyjádřením** *zákona ploch* je **druhá formulace**, zatímco první *tzv. zákon vzdáleností* platí spolehlivě pouze pro apsidy
- objev závislosti mezi rychlostí a vzdáleností od středu oběžného pohybu hrál zásadní roli při odvození zákona ploch. Nevýstižný *zákon vzdáleností* vedl k formulaci přesného zákona ploch u eliptické dráhy

# Eliptický zákon

- za matematické vyjádření eliptického zákona lze v *NA* považovat vztah pro vzdálenost Slunce - Mars, Davis* - moderní matematickou symbolikou:

označení ohniskové vzdálenosti $NH = ae$, $NB = a$, $HB = b$, v $\Delta\ NBH$ platí $b^2 = a^2 - a^2e^2$, podle $ML : KL = b : a$, v $\Delta\ HKL$ vyjádříme

$KL = a \sin\beta$, $ML = b \sin\beta$, $\beta = \sphericalangle KHA$




- pravá anomálii $\sphericalangle ANM$, v $\Delta\ MNL$

$ML = b \sin\beta$, $NL = (\cos\beta + e)$

dosadíme do $r^2 = NM^2 = ML^2 + NL^2$

$\rightarrow r^2 = b^2 \sin^2\beta + a^2(\cos\beta + e)^2$

- po úpravách $r^2 = a^2 (1 + 2e \cos\beta + e^2\cos^2\beta)$,

$\boldsymbol{r = a\,(1 + e \cos\beta)}$

***průvodič (rádiusvektor) r excentrické anomálie β***

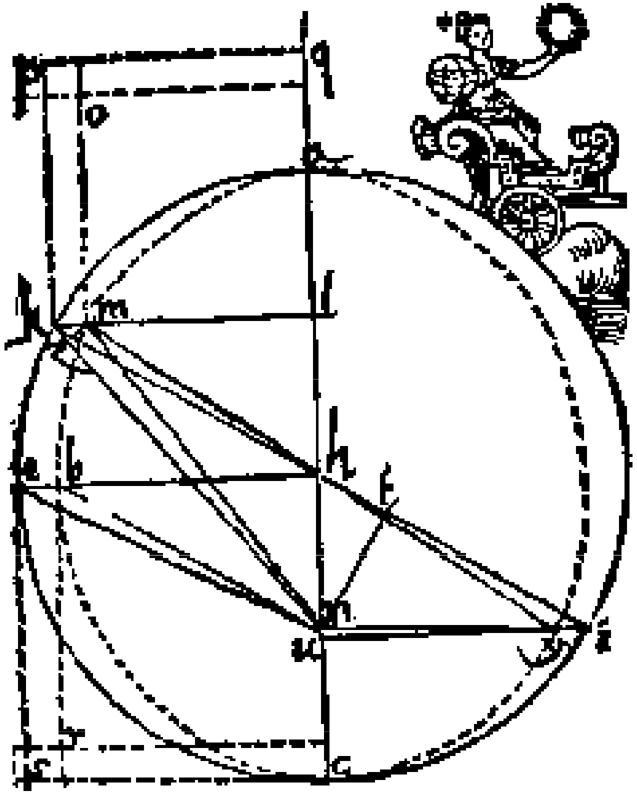
*A. E. L. Davies: „Kepler´s Astronomia nova: a geometrical success story“. *Kepler´s Heritage in the Space Age*. Ed. A. Hadravová, T. J. Mahoney, P. Hadrava, Národní technické museum, Praha 2010, s. 17.

# Paradoxy Keplerova postupu

- ***k formulacím prvních dvou zákonů pohybu Marsu dospěl na základě nepřesných, místy i mylných předpokladů***
- zákona ploch vycházel z původně chybného předpokladu - kruhové dráhy Marsu
- aplikoval zákona vzdáleností, který neplatil obecně
- v modelech drah hledal vztahy pro úhly kolem imaginárního bodu - *ekvantu*, bez fyzikálního podklad
- *Slunce v jednom z ohnisek elipsy* není explicitně zmiňováno v *NA*, autor psal o *punctum eccentricum* - excentrickém bodě
- podpora matematického modelu dráhy výkladem interakce Slunce - planeta ***nepravdivou fyzikální magnetickou hypotézou***
- chybně Kepler předpokládal, že Slunce uvádí do pohybu planety, magnetická hypotéza předpokládala, že je planeta poháněna podél své dráhy nehmotnými paprsky vysílanými Sluncem a rotujícími v rovině

***závěr chybných kroků → správný zákon ploch i eliptický zákon***

# Odvození a význam Keplerových zákonů



*maximální souhlas přesných pozorování s teorií*

*objev učiněn syntetickou geometrií*, podpořen nesprávnou magnetickou hypotézou*

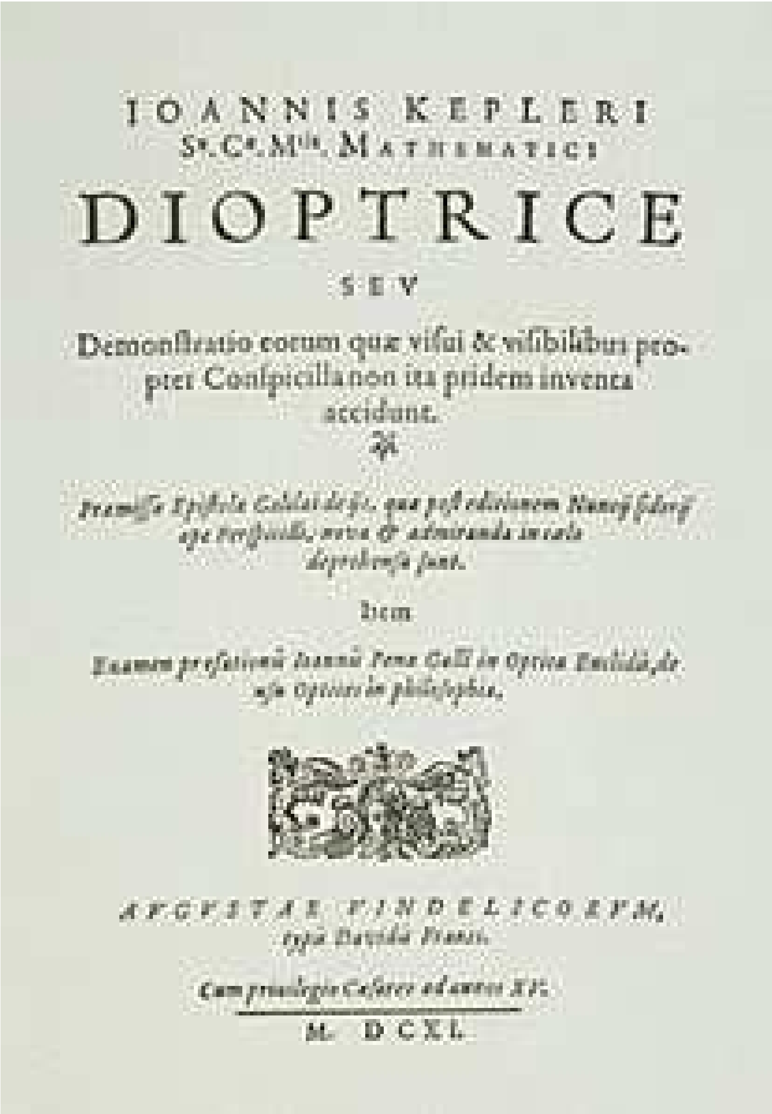
*Keplerovy zákony vyjadřovány slovně na podkladě matematických odvození*

*Keplerovy zákony - spojovací most z geometrie do astronomie, z kinematiky k dynamice*

**odvození K. z.: I. Newton, W. R. Hamilton, J. C. Maxwell, R. P. Feynman*

*V. Štefl: Keplerovy zákony v historii a v soudobých učebnicích. Čes. čas. fyz. **70** (2020), s. 190.

# *Dioptrices – Dioptrika, r. 1611*


IOANNIS KEPLERI
S^æ. C^æ. M^tis. MATHEMATICI
DIOPTRICE
SEV
Demonstratio eorum quæ visui & visibilibus propter Conspicilla non ita pridem inventa accidunt.

*Præmissæ Epistolæ Galilæi de iis, quæ post editionem Nuncij siderij ope Perspicilli, nova & admiranda in cælo deprehensa sunt.*

Item

*Examen præfationis Ioannis Penæ Galli in Optica Euclidis, de usu Optices in philosophia.*

*AVGVSTAE VINDELICORVM,*
*typis Davidis Franci.*

*Cum privilegio Cæsareo ad annos XV.*

M. DCXI.

***„Dalekohled, ten mnohovědoucí přístroj, vzácnější než kterékoliv žezlo! Zdaž ten, kdo jej drží v pravici, není postaven na roveň králi či vladaři nad dílem Božím?“***

**Keplerův dalekohled – dvě spojky**

# *Harmonie světa* - harmonický zákon

- Kepler - ***souvislost vzdáleností planet*** od Slunce a ***jejich oběžných dob,*** vztah mezi úhlovými rychlostmi planet a vzdálenostmi od Slunce, v dnešní podobě $r^3\omega^2 = konst.$
- autor hledal ***řád uspořádání a pohybu planet***, popis proporcí pro planety
- r. 1619, kniha pátá, **Harmonie světa*:** *„Ale je to věc zcela jasná a přesná - poměr, kterými je mezi oběžnými dobami kterýchkoliv dvou planet je přesně půldruhanásobkem poměru středních vzdáleností, tedy samotných drah, ovšem je třeba dbát na to, že aritmetický průměr obou průměrů eliptické dráhy je poněkud menší než větší průměr* **… III. Keplerův zákon**

*J. Kepler: *Gesammelte Werke. Band VI. Harmonice mundi*. C. H. Beck´sche Verlagsbuchhandlung, München MCMXXXX.

# Harmonický zákon

• v latinském jazyce 17. století půldruha násobek poměru → první veličiny, tj. oběžné doby bereme v druhé mocnině střední vzdálenosti v mocnině třetí

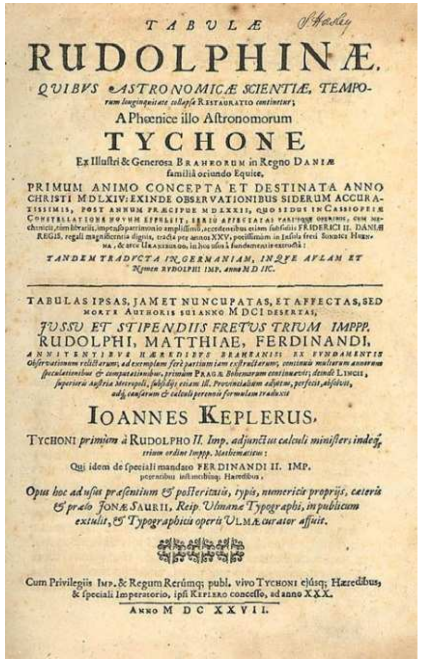
• průměry eliptické dráhy Kepler rozuměl velkou a malou poloosu elipsy, střední vzdáleností aritmetický průměr z minimální a maximální vzdálenosti planety od Slunce


Ioannis Keppleri
HARMONICES
MVNDI
LIBRI V. QVORVM
[illegible]
Lincii Austriæ,
Anno M. DC. XIX.

# *Rudolfinské tabulky*

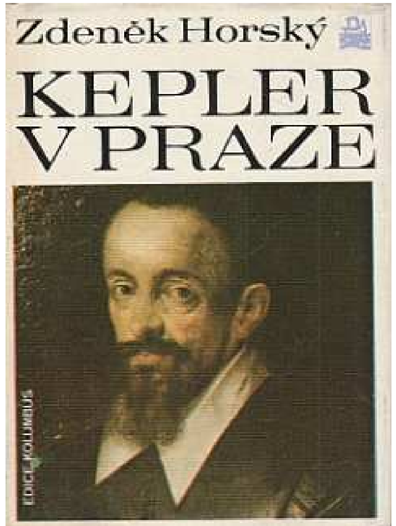
***(Tabulae Rudolphinae**, **r. 1627)**,* po 25 letech práce!, poděkování

realizoval Kepler opačný postup,
nalezl *M*, jestliže znal *E*
nejprve vytvořil podle rovnice
$\boldsymbol{M = E + e \sin E}$ tabulku hodnot
užil ji zpětně


TABULÆ
RUDOLPHINÆ.
QUIBUS ASTRONOMICÆ SCIENTIÆ, TEMPOrum longinquitate collapsæ RESTAURATIO continetur;
A Phœnice illo Astronomorum
TYCHONE
Ex Illustri & Generosa BRAHEORUM in Regno DANIÆ familiâ oriundo Equite,
PRIMUM ANIMO CONCEPTA ET DESTINATA ANNO CHRISTI MDLXIV: EXINDE OBSERVATIONIBUS SIDERUM ACCURATISSIMIS, POST ANNUM PRÆCIPUE MDLXXII, QUO SIDUS IN CASSIOPEIÆ CONSTELLATIONE NOVUM EFFULSIT, SERIO AFFECTATAS VARIISQUE OPERIBUS, CUM MEchanicis, tum librariis, impenso patrimonio amplissimo, accedentibus etiam subsidiis FRIDERICI II. DANIÆ REGIS, regali magnificentia dignis, tracta per annos XXV, potissimum in Insula freti Sundici Huenna, & arce Uraniburgo, in hos usus à fundamentis extructâ:
TANDEM TRADUCTA IN GERMANIAM, INQUE AULAM ET Nomen RUDOLPHI IMP. anno MDIIC.
TABULAS IPSAS, JAM ET NUNCUPATAS, ET AFFECTAS, SED MORTE AUTHORIS SUI ANNO MDCI DESERTAS,
JUSSU ET STIPENDIIS FRETUS TRIUM IMPPP.
RUDOLPHI, MATTHIAE, FERDINANDI,
ANNITENTIBUS HÆREDIBUS BRAHEANIS; EX FUNDAMENTIS Observationum relictarum; ad exemplum ferè partium jam exstructarum; continuis multorum annorum speculationibus & computationibus, primum PRAGÆ Bohemorum continuavit; deinde LINCII, superioris Austriæ Metropoli, subsidiis etiam Ill. Provincialium adjutus, perfecit, absolvit, adq; causarum & calculi perennis formulam traduxit
IOANNES KEPLERUS,
TYCHONI primùm à RUDOLPHO II. Imp. adjunctus calculi minister; indeq; trium ordine Imppp. Mathematicus:
Qui idem de speciali mandato FERDINANDI II. IMP. petentibus instantibusq; Hæredibus,
Opus hoc ad usus præsentium & posteritatis, typis, numericis propriis, cæteris & prælo JONÆ SAURII, Reip. Ulmanæ Typographi, in publicum extulit, & Typographicis operis ULMÆ curator affuit.
Cum Privilegiis IMP. & Regum Rerúmq; publ. vivo TYCHONI ejúsq; Hæredibus, & speciali Imperatorio, ipsi KEPLERO concesso, ad anno XXX.
ANNO M DC XXVII.

hustá síť středních anomálií *M*
určení excentrických anomálií ***E***

$\boldsymbol{M \rightarrow E}$




•* *„*auctor damnatus, hoc opus tamen admittitur*“…
„ *autor je odsouzen, ale toto dílo se připouští*“,

• * * jezuitská knihovna UP Olomouc ~ r. 1650
Z. Horský: Kepler v Praze. Mladá fronta, Praha 1980.

# Nová astronomie

Johannes Kepler

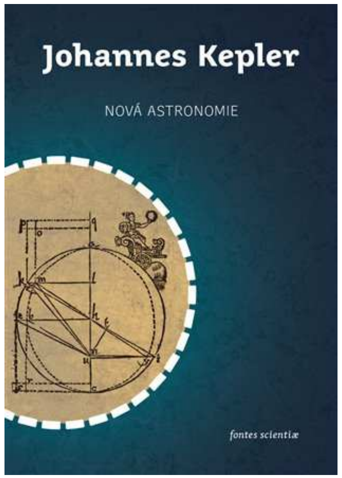
*Nová astronomie*

(výbor z díla)

Z latiny přeložila:
Katarina Petrovićová

Odborná spolupráce a komentáře:
Vladimír Štefl a Daniel Špelda

Odborní recenzenti:
PhDr. Alena Hadravová, CSc., DSc.
doc. RNDr. Petr Hadrava, DrSc.




**Keplerova cesta k elipse**

Historický úvod
Zpracování pozorování
Dráha Marsu v prostoru
Model náhradní hypotézy
Druhý Keplerův zákon
Model oválu
Zpřesnění vzdáleností
Hypotéza planetární mysli
Fyzikální magnetická hypotéza
První Keplerův zákon
Keplerova rovnice
Význam Nové astronomie

**Togga, Praha 2020, 270 str**.

# Určování vzdálenosti Země - Slunce

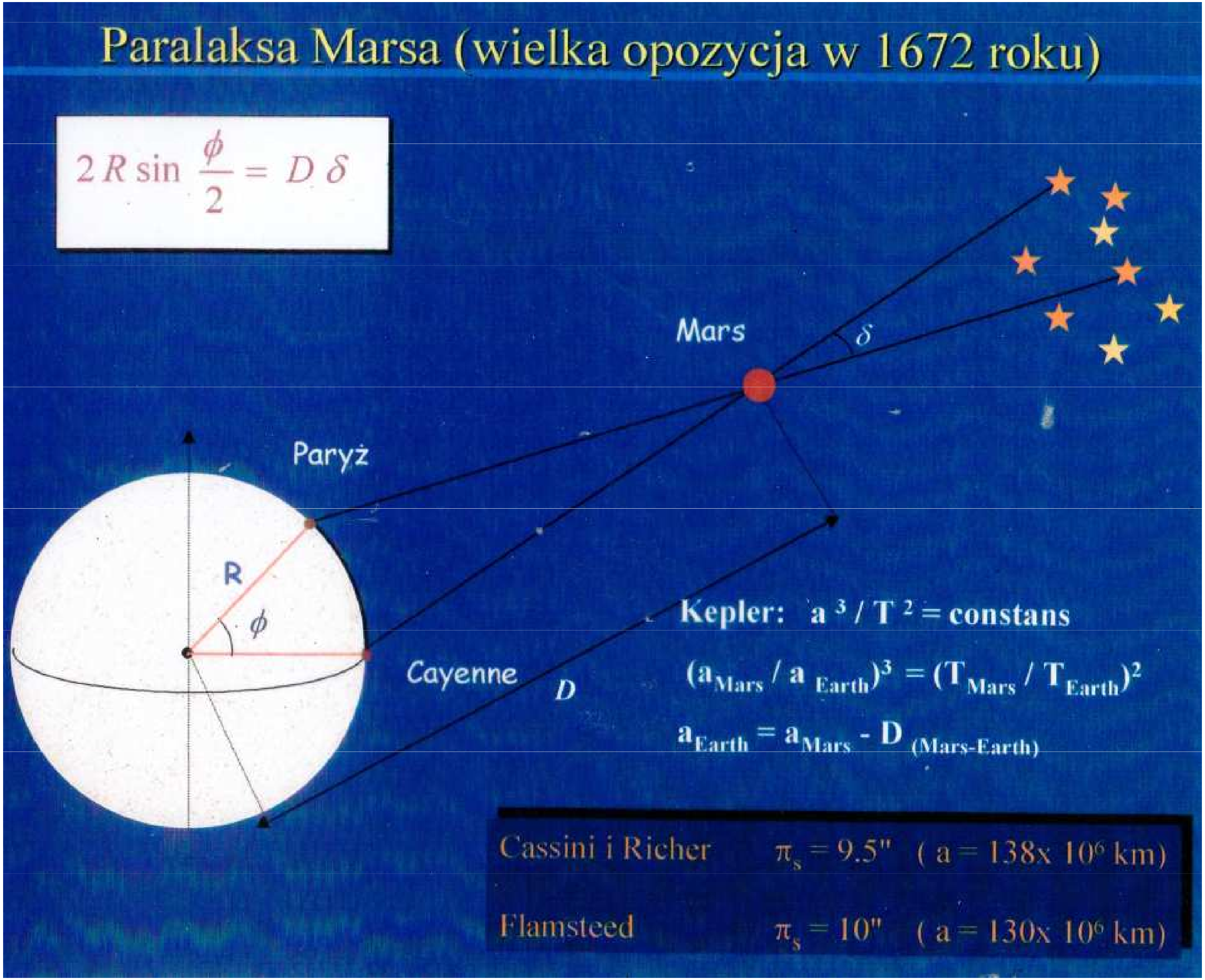
č. 4 Čs. čas. fyz. 66 (2016) 231

# Kdy byla poprvé určena vzdálenost Země – Slunce?

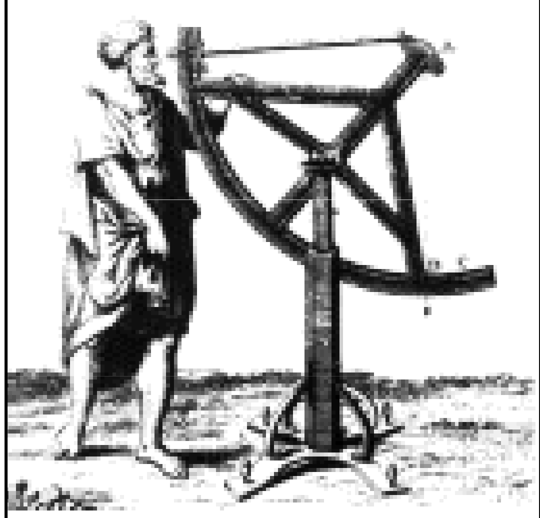
**Vladimír Štefl**

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno; stefl@physics.muni.cz

# Určování vzdálenosti Země - Slunce



# Určování vzdálenosti Země - Slunce



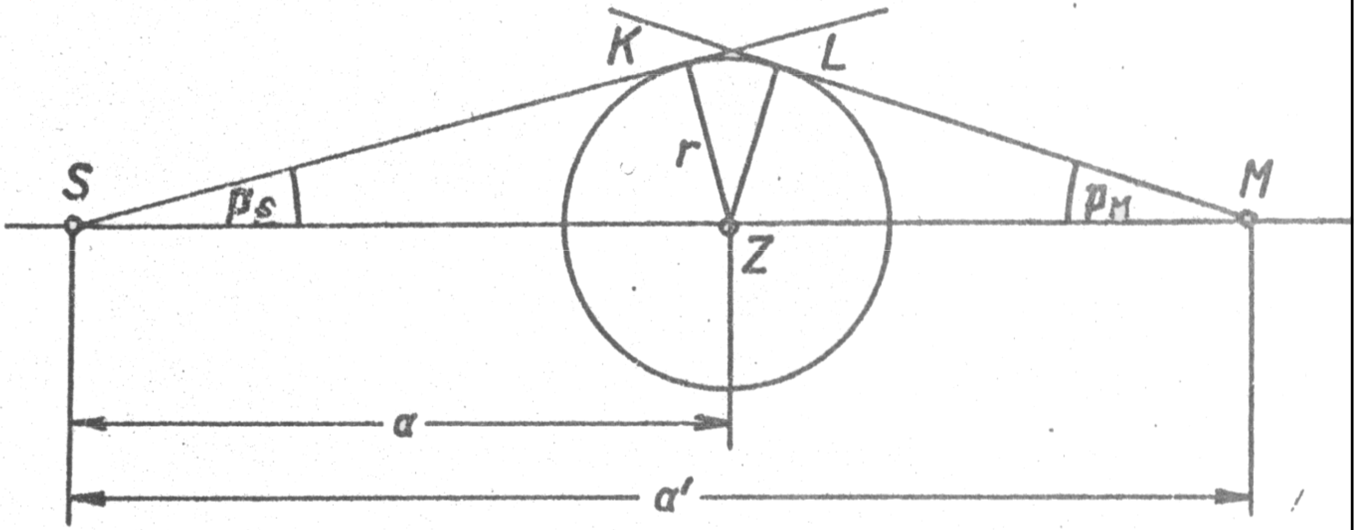
Picard´s Winkelquadrant

Giovanni Domenico Cassini 1625 - 1712
Jean Richer 1630 - 1696

**sluneční paralaxa**

**září - 1672**

**stanovení AU – 138,5 mil. km!**



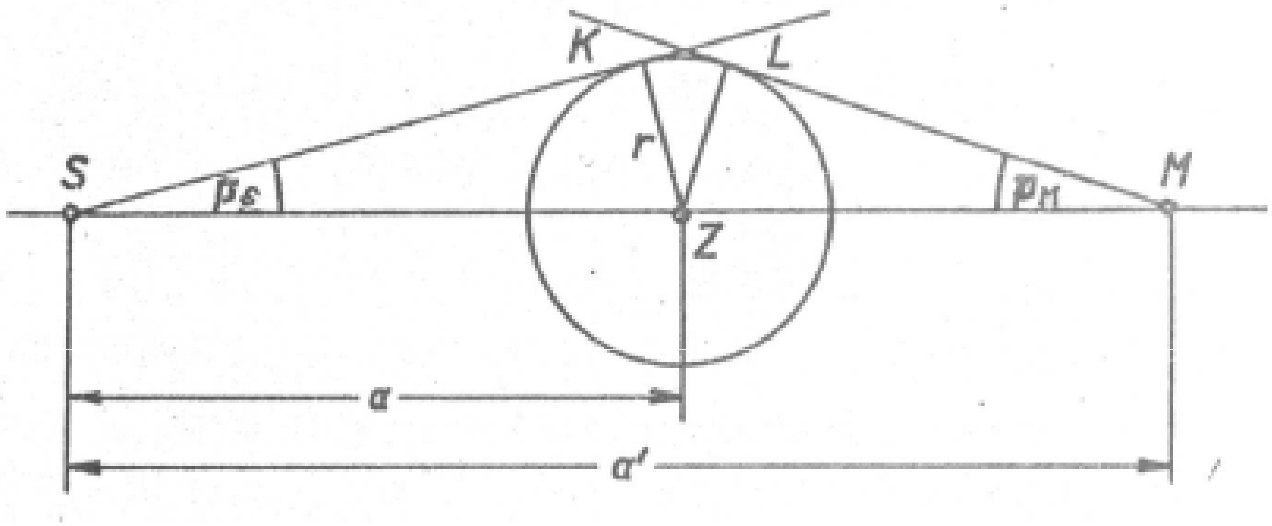

$p_M$ 25“…0,38 au

$p_S$ 10“… 1 au

$p_M$ 2,5krát větší $p_S$

# Určování vzdálenosti Země - Slunce

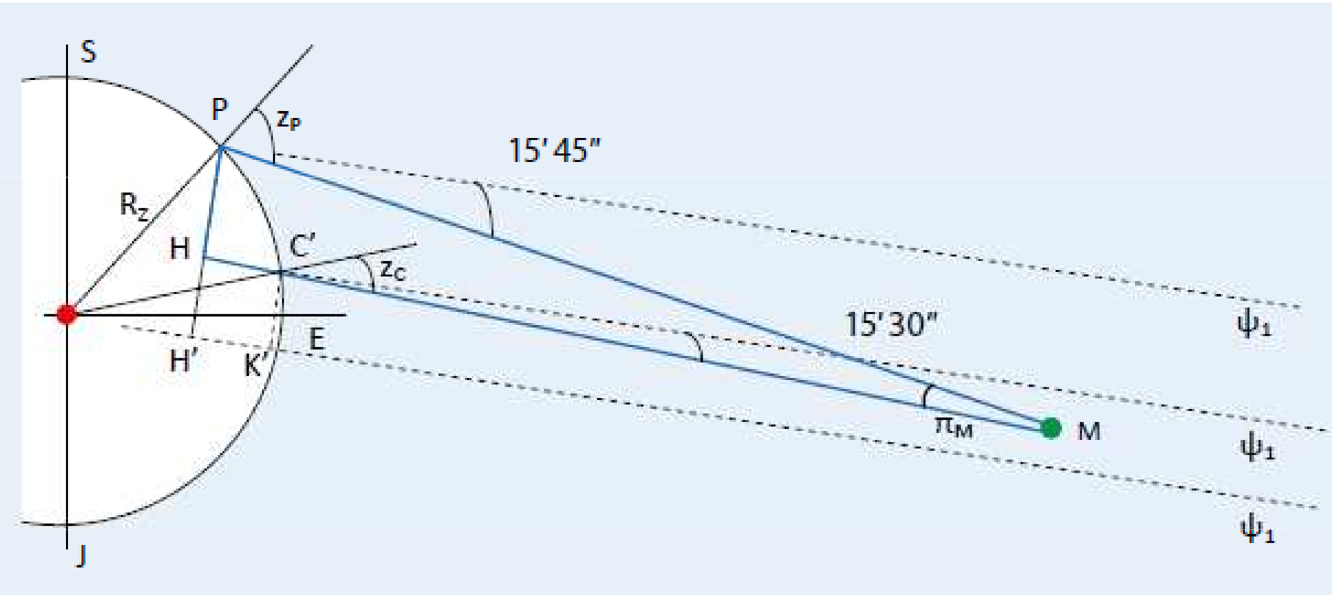
Proměření délky poledníku a následné upřesnění zemského poloměru francouzským astronomem a matematikem **Jeanem Picardem (1620 – 1682)** v roce 1671 umožnilo využít v září 1672 velkou opozici Marsu ke stanovení vzdálenosti Země – Slunce. Ze dvou míst na Zemi, z Cayenne ve Francouzské Guayaně francouzský matematik a astronom **Jean Richer (1630 – 1696)** a z Paříže francouzský astronom italského původu **Giovanni Domenico Cassini (1625 – 1712)** astrometricky proměřili polohu Marsu na hvězdném pozadí. Úhlová odchylka mezi zornými přímkami k Marsu z obou míst činila 19″ (viz obr. 12).

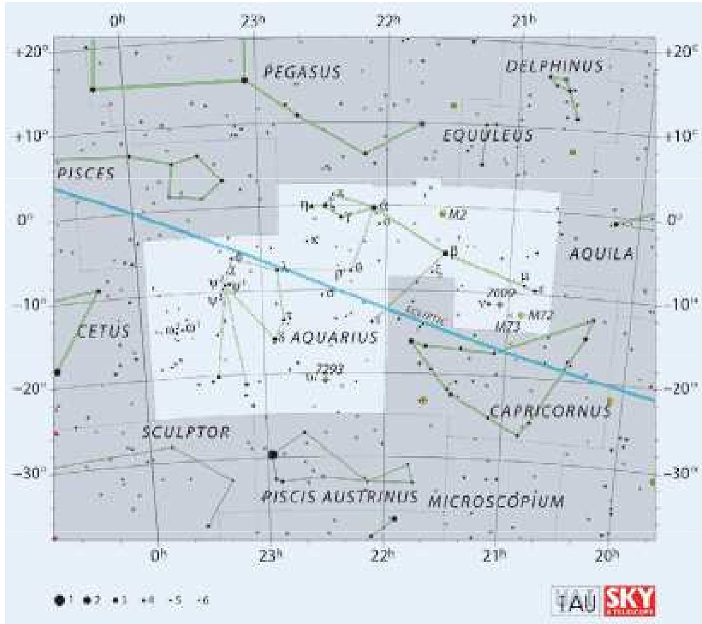



**Obr. 12**: Určení hodnoty astronomické jednotky pomocí opozice Marsu

V pravoúhlých trojúhelnících platí vztahy $\sin p_S = \frac{r}{a}$ a $\sin p_M = \frac{r}{a'-a}$. Porovnáním a úpravou obdržíme $\sin p_S = \left(\frac{a'}{a} - 1\right) \sin p_M$. Paralaxy Slunce a Marsu jsou velmi malé, jejich siny můžeme nahradit přímo úhly v radiánech $p_S = \left(\frac{a'}{a} - 1\right) p_M$. Při znalosti relativních hodnot $a'$ a $a$ pomocí III. Keplerova zákona byla z naměřených hodnot propočítaného úhlu $p_M$ stanovena sluneční paralaxa na 9,5″ a odtud vypočtena hodnota astronomické jednotky na zhruba $1,38 \cdot 10^{11}$ m. Skutečná hodnota astronomické jednotky je $1,496 \cdot 10^{11}$ m.

# Určování vzdálenosti Země - Slunce




**Obr. 6** Schéma souběžného pozorování Marsu z Paříže a Cayenne podle Toulmonda.

Po dosazení do $PH = R_Z \Delta \sin z = r_{ZM}\pi_M$ obdržel skutečnou paralaxu Marsu

$$\varpi_M = \frac{\pi_M}{\Delta \sin z} = \frac{15''}{0{,}5904} = 25{,}4''.$$

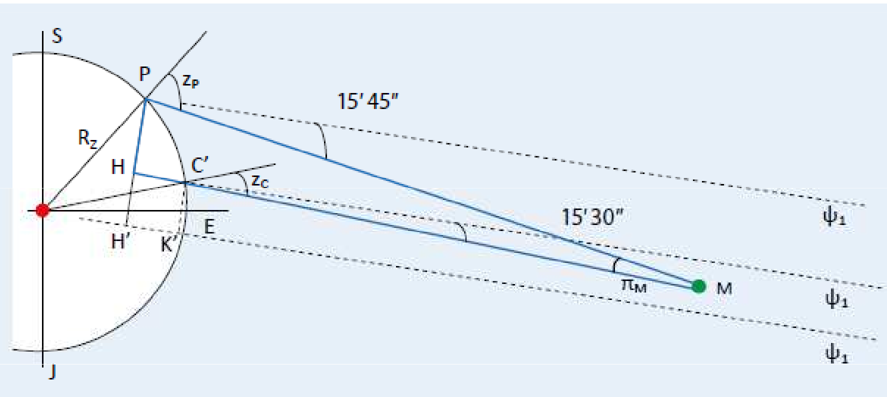
Úhlový průměr kotoučku Marsu byl 24″, denní pohyb planety podle [14] zhruba 16′. Každou hodinu se Mars posunul po obloze o 40″, přibližně dvojnásobek hodnoty paralaktického posuvu. Proto byla nezbytně nutná synchronizace kyvadlových hodin, v Cayenne se vzhledem k pařížským zpožďovaly o 2 minuty 28 sekund za jeden den.

# Určování vzdálenosti Země - Slunce

Princip Cassiniho poledníkové metody zpracování měření popsal Toulmonde v [13], vycházel z obr. 6. Astronomové při pozorování určili úhlové rozdíly – zenitové vzdálenosti mezi Marsem ($M$) a hvězdou $\psi^1$ ze souhvězdí Vodnáře, které činily v Paříži ($P$) 15′ 45″ a v místě $C'$ Guinejského zálivu ležícím na stejné zeměpisné délce jako Paříž a šířce jako Cayenne 15′ 30″. Deklinace Marsu k danému datu byla stejná, obdobně jako jeho kulminační výška. Rozdíl zenitových vzdáleností $\sphericalangle PMC'$ byl průběžnou paralaxou Marsu $\pi_M$ = 15″. Je to úhel, pod kterým by byla pozorována z Marsu úsečka $PH = PH' - C'K'$. Její vyjádření je $PH = R_Z \sin z_p - R_Z \sin z_C = R_Z \Delta \sin z$, kde $z_p$, $z_C$ jsou zenitové vzdálenosti Marsu na poledníku $P - C'$, $z_p \approx 60°$ a $z_C \approx 16°$.

Vzdálenost $r_{ZM}$ Marsu od Země Cassini nalezl ze vztahu

$$\varpi_M = \frac{R_Z}{r_{ZM}} .$$




Obr. 6 Schéma souběžného pozorování Marsu z Paříže a Cayenne podle Toulmonda.

*V. Štefl: Kdy byla poprvé určena vzdálenost Země – Slunce? Čes. čas. fyz. **66** (2016), s. 231.

# Přechod Venuše přes sluneční disk

## EDMOND HALLEY'S FAMOUS ADMONITION of 1716

**PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS VOL. XXIX (1716) A new Method of determining the Parallax of the Sun, or his Distance from the Earth; by Dr. Halley, Sec. R. S. N0 348, p.454. Translated from the Latin.**

---

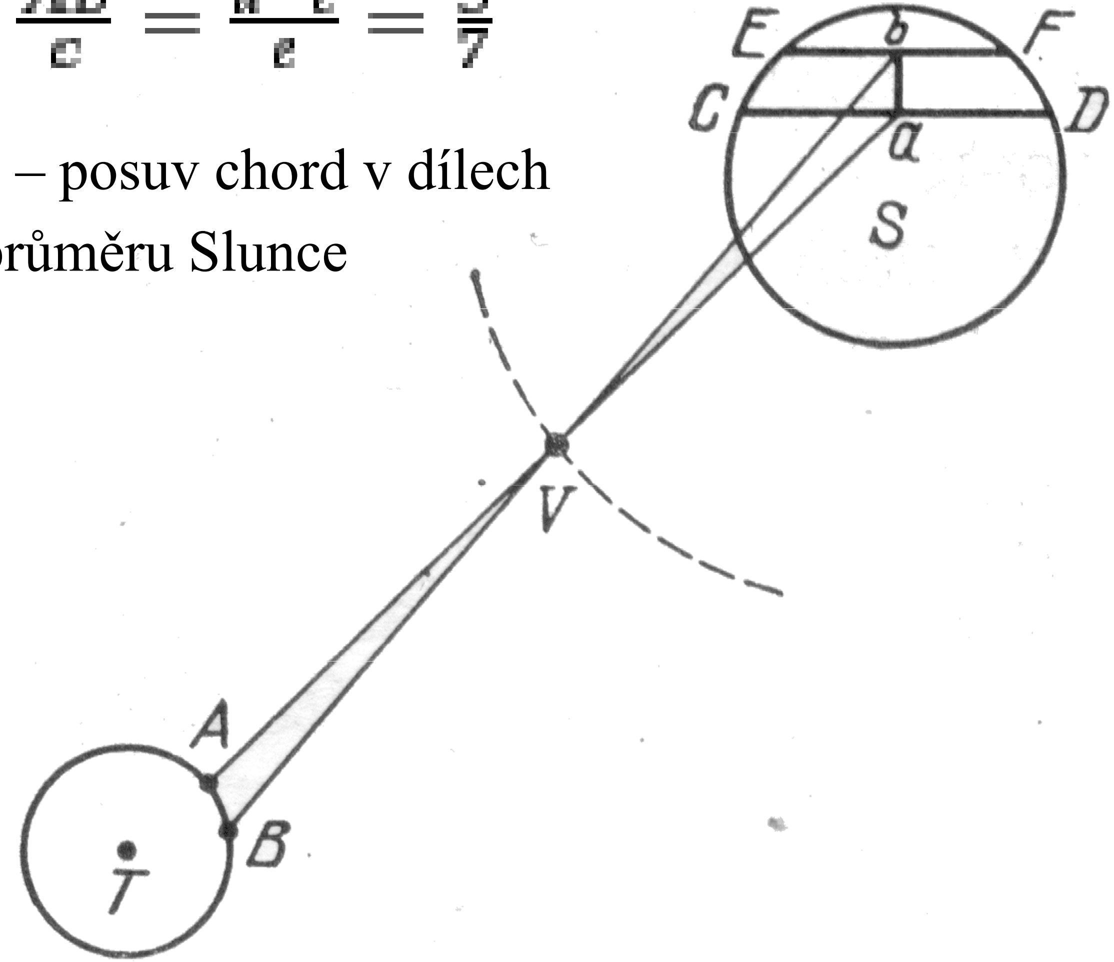
It is well known that this distance of the sun from the earth, is supposed different by different astronomers. Ptolemy and his followers, as also Coper-nicus and Tycho Brahe, have computed it at 1200 semi-diameters of the earth, and Kepler at almost 3500; Riccioli doubles this last distance, and Hevelius makes it only half as much. But at length it was found, on observing by the telescope, Venus and Mercury on the sun's disk, divested of their borrowed light, that the apparent diameters of the planets were much less than hitherto they had been supposed to be; and in particular, that Venus's semi-diameter, seen from the sun, only subtends the fourth part of a minute, or 15 seconds; and that Mercury's sem-diameter, at his mean distance from the sun, is seen under an angle of 10 seconds only, and Saturn's semi-diameter under the same angle; and that the semi-diameter of Jupiter, the largest of all the planets, subtends no more than the third part of a minute at the sun. Whence, by analogy, some modern astronomers conclude that the earth's semi-diameter, seen from the sun, subtends a mean angle, between the greater of Jupiter and the less of Saturn and Mercury, and equal to that of Venus, viz. one of 15 seconds; and consequently, that the distance of the sun from the earth is almost 14,000 semi-diameters of the latter. Another consideration has made these authors enlarge this distance a little more: for since the moon's diameter is rather more than a quarter of the earth's diameter, if the sun's parallax be supposed 15 seconds, the body of the moon would be larger than that of Mercury, viz. a secondary planet larger than a primary one, which seems repugnant to the regular proportion and symmetry

# Halleyova metoda stanovení sluneční paralaxy

**Edmond Halley 1656 - 1742**

$$\frac{AB}{c} = \frac{d-e}{e} = \frac{3}{7}$$

c – posuv chord v dílech průměru Slunce



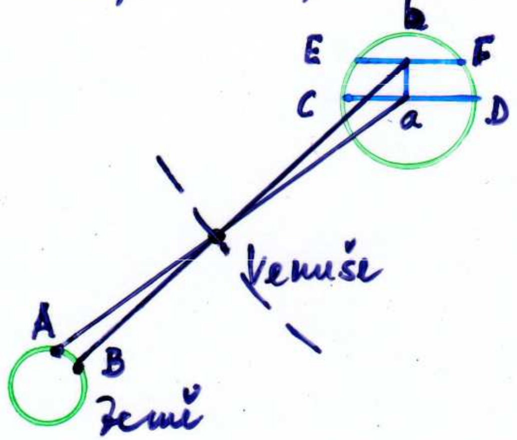

**vzdálenost ZS…d**
**vzdálenost VS…e posuv chord v dílech slunečního průměru, při znalosti úhlových rozměrů Slunce nalezneme d**

# Určování vzdálenosti Země - Slunce

Edmund Halley (1656 – 1742)

navrhl k určení sl. paralaxy přechod Venuše přes disk Slunce k datu 26. 5. 1761 respektive 3. 6. 176

co nejpřesnější stanovení okamžiků dotyků disků Slunce a planety; navrhl dává časovou délku až 7 hodin, jestliže Venuše prochází přes střed disku.




c ... posuv chor
v dílech prů
ZS ... d
VS ... e

$$\frac{AB}{c} = \frac{d-e}{e} = \frac{3}{7}$$

A, B ... různé zeměpisné šířky, pro pozorovatele v bodě A Venuše projde po chordě CD, pro pozorovatele v bodě B po EF. $\sphericalangle aVb = \sphericalangle AVB$, při známé vzdálenosti AB lze určit vzdálenosti ZV a ZS

Venuše vhodnější než Merkur!

# Přechod Venuše přes Slunce



# Bogini po przejściach

**Jednym z ciekawszych zjawisk astronomicznych w 2004 roku było czerwcowe przejście Wenus przed tarczą Słońca. Nasz artykuł przedstawia astronomiczne aspekty zjawiska i jego znaczenie historyczne, bowiem pozwoliło ono wyznaczyć absolutną odległość Ziemia–Słońce, czyli jednostkę astronomiczną (AU).**

VLADIMÍR ŠTEFL, BRNO
JULIUSZ DOMAŃSKI, TORUŃ

Przejście Wenus przed tarczą Słońca jest dość rzadkim zjawiskiem (tabela 1), na przykład w ubiegłym wieku nie wystąpiło ani razu!

TABELA 1

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7 XII 1631 r. | +0,96 | 8 XII 2125 r. | −0,76 |
| 4 XII 1639 r. | −0,54 | 11 VI 2243 r. | −0,73 |
| 6 VI 1761 r. | −0,60 | 9 VI 2255 r. | +0,52 |
| 3 VI 1769 r. | +0,64 | 13 XII 2360 r. | +0,64 |
| 9 XII 1874 r. | +0,85 | 10 XII 2364 r. | −0,86 |
| 6 XII 1882 r. | −0,65 | 12 VI 2490 r. | −0,78 |
| 8 VI 2004 r. | −0,66 | 10 VI 2498 r. | +0,47 |
| 6 VI 2012 r. | +0,59 | 16 XII 2603 r. | +0,53 |
| 11 XII 2117 r. | +0,74 | 13 XII 2611 r. | −0,96 |

Liczby w drugiej i czwartej kolumnie podają najmniejszą odległość między trasą Wenus a centrum Słońca w ułamkach promienia jego tarczy (+ przejście na północnej, – na południowej stronie tarczy). Analizując tabelkę, można zauważyć interwały wynoszące 8, 105,5, 8, 121,5 lat. Rzadkość zjawiska wynika z faktu, że płaszczyzna orbity Wenus jest nachylona do płaszczyzny ekliptyki pod kątem 3,39° i zjawisko może wystąpić tylko wtedy, gdy Wenus w dolnej koniunkcji znajduje się w pobliżu węzła orbity. A ponieważ węzeł przemieszcza się powoli względem punktu równonocy, obserwujemy zauważoną okresowość zjawiska. Ponadto zjawisko nie jest widoczne z całej powierzchni Ziemi.

Jako pierwszy przejście Wenus przed tarczą Słońca przepowiedział na dzień 7 grudnia 1631 r. Johannes Kepler (1571–1630). Jak widać, nie dane mu było sprawdzenie przeprowadzonych obliczeń.

Względne odległości w Układzie Słonecznym znane były od dawna. Wyznaczał je również Mikołaj Kopernik, oczywiście w oparciu o swój model Układu Słonecznego – ramka 1. W tabeli 2 przedstawiamy wyniki uzyskane przez Kopernika w porównaniu z pomiarami współczesnymi.

TABELA 2

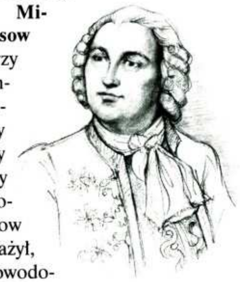
| Planeta | Kopernik | Dane współczesne |
|---|---|---|
| Merkury | 0,3959 | 0,3871 |
| Wenus | 0,7193 | 0,7233 |
| Ziemia | 1 | 1 |
| Mars | 1,5198 | 1,5238 |
| Jowisz | 5,5292 | 5,2028 |
| Saturn | 9,3213 | 9,5389 |





dróg przejścia. Ponad stu astronomów w wielu miejscach obserwowało zjawisko, m.in. w Indiach, Południowej Afryce, Wyspie Św. Heleny i na Syberii. Podstawowym zadaniem astronomów było możliwie dokładne uchwycenie momentów dotyku – wewnętrznych i zewnętrznych kontaktów dysków Słońca i Wenus. Dało to możliwość wyznaczenia czasu przejścia Wenus na tle tarczy słonecznej. Czas ten może wynosić nawet 7 godzin, jeśli Wenus przechodzi blisko średnicy Słońca.

W oparciu o obserwacje z 1761 r. paralaksę Słońca określono jako zawartą w przedziale 8″–10″, natomiast w 1769 r. zawężono do 8″–9″. Późniejsze dokładniejsze opracowanie wyników przez J. Enckego prowadziło do wyniku $\pi = 8{,}57''$ i 1 AU = 153,5 mln km.



W Rosji obserwacje zorganizował **Michał Łomonosow** (rys. obok). Przy pierwszym kontakcie zauważył, że ciemny krążek planety jest otoczony świetlną aureolą. Łomonosow słusznie zauważył, że jest on spowodowany istnieniem atmosfery Wenus, refrakcją w jej górnych warstwach. Trzydzieści lat później istnienie atmosfery Wenus potwierdził Wiliam Herschel.

Przejście Wenus na tle tarczy słonecznej ma też duże znaczenia dla nauczania w szkołach. Wykształcenie odpowiedniego wyobrażenia o odległościach w Układzie Słonecznym (i nie tylko) i sposobach ich wyznaczania jest przecież jednym z głównych celów nauczania fizyki z astronomią.

Pokażmy jedną z metod przedstawienia tego uczniom. Za czasów Halleya było już znane III prawo Keplera $\frac{a^3}{T^2}$ = const, z którego, znając okresy obiegu Wenus $T_W = 225$ dni i Ziemi $T_Z = 365$ dni, znajdziemy $\frac{a_W}{a_Z} = 0{,}7$. Mamy wówczas $\frac{a_W}{a_Z - a_W} = \frac{7}{3}$.

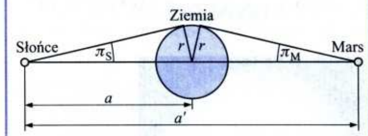
**Ramka 2**

Powtórz obliczenia Cassiniego i wyznacz paralaksę Słońca.

*Rozwiązanie:*
Zgodnie z rysunkiem 3:

$\sin\pi_S = \frac{r}{a}$ oraz $\sin\pi_M = \frac{r}{a' - a}$,

skąd $\sin\pi_S = \left(\frac{a'}{a} - 1\right)\sin\pi_M$.

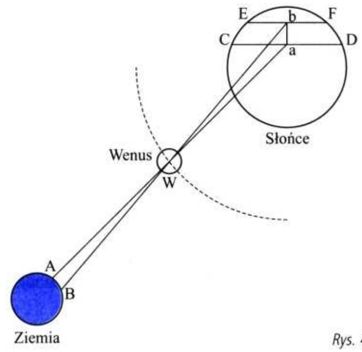



*Rys. 3*

Ponieważ paralaksy Słońca i Marsa są bardzo małe, możemy ich sinusy zastąpić wartościami kątów w mierze łukowej, zatem

$$\pi_S = \left(\frac{a'}{a} - 1\right)\pi_M.$$

Względne odległości planet były znane, więc pomiary Cassiniego i Picarda sprowadzały się do wyznaczenia paralaksy Marsa. Otrzymano $\pi_M = 6{,}25''$ i $\pi_S = 9{,}5''$, skąd odległość Ziemia–Słońce $D$ = 138 mln km.



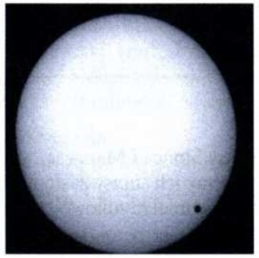

*Rys. 4*

Weźmy dwie miejscowości A i B na Ziemi odległe o 3000 km (rys. 4). Na tarczy Słońca zobaczymy Wenus (widoki z obu miast) na liniach CD i EF, odległych od siebie o

$$3000 \cdot \frac{7}{3} \approx 7000 \text{ km.}$$

Oczywiście $\angle AWB = \angle aWb$. Oszacujmy wielkość tego kąta. Przy odległości Ziemia–Słońce równej ok. 150 mln km:

$$\angle aWb = \frac{7000}{150000000} = 0{,}000047 \approx 10''.$$



*Rys. 5. Fot. Tomasz Mrozek http://www.astro.uni.wroc.pl/vt-2004.html*

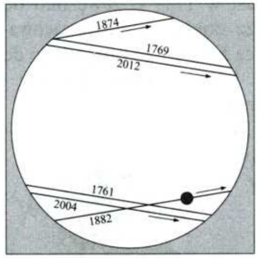
Jest to bardzo mały kąt (równy w przybliżeniu 1/6 średnicy kątowej Wenus), trudny do zmierzenia ale mierzalny. A znajomość tego kąta, jak widać z rysunku, pozwala na obliczenie odległości Ziemia–Wenus i Wenus–Słońce a tym samym odległości Ziemia–Słońce. Ponieważ przy pomiarach tak małych kątów popełniamy dość znaczny błąd, w praktyce postępuje się nieco inaczej. Wartość tego kąta wylicza się z czasów przejścia Wenus przed tarczą Słońca (metoda Halleya) lub czasów tego samego kontaktu (metoda Delisle'a). W obu przypadkach czasy muszą być zmierzone z dwóch (przynajmniej) punktów na Ziemi.

Dziś mamy też znacznie dokładniejsze metody wyznaczania odległości w Układzie Słonecznym (metody radarowe i laserowe). Dały one odległość Ziemia–Słońce równą 1 AU = 149 597 870,691 km.

Zdjęcie Wenus na tle tarczy Słońca zrobione 8 czerwca 2004 r. przedstawia rysunek 5.

Rysunek 6 pokazuje ostatnie przejścia Wenus na tle tarczy Słońca.

Dla tych, którym dopisała pogoda obserwacje były, mamy nadzieję, niezapomnianym przeżyciem. A jeśli je przegapiliśmy (lub nie dopisała pogoda) mamy jeszcze ostatnią szansę na wykonanie obserwacji w 2012 r. Niestety tylko obserwacji Wenus na tle tarczy Słońca, bowiem z terenu Polski możliwe będzie obserwowanie jedynie końcówki zjawiska (a więc niemożliwe będzie wyznaczenie czasu przejścia a tym samym samodzielne




*Rys. 6*

wyznaczenie odległości Ziemia–Słońce). Pełne przejście będą mogły obserwować nasze praprawnuki w 2247 r.! ☐

Portrety rysowała Paulina Sroczyńska

## LITERATURA


- [1] T. Jarzębowski, *Po 122 latach Wenus ponownie na tarczy Słońca*, „Urania–Postępy Astronomii" nr 2/2004.
- [2] J. Domański, V. Štefl, *Astronomia w dziełach Juliusza Verne'a*, „Urania–Postępy Astronomii" nr 3/2003.
- [3] E. Halley, *A New Method of Determining the Parallax of the Sun, or his Distance from the Earth*, „Philosophical Transactions" vol. XXIX, 1716.
- [4] J. Bouška, V. Vanýsek, *Zatmění a zákryty nebeských těles*, NČAV, Praha 1963.
- [5] http://www.vt-2004.org/
- [6] http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/transit/venus0412.html
- [7] http://didaktik.physik.uni-essen.de/~backhaus/VenusProject.htm




A, B na Zemi 3 000 km

na disku Slunce polohy a, b vzdálené 3 000 x 7/3 = 7 000 km

úhel AVB = úhel aVb

Velikost hledaného úhlu?

úhel aVb = 7 000/108 000 000 = 0,000 07 rad = 14“ , tedy ¼ velikosti kotoučku Venuše na disku Slunce, neboť kotouček Venuše na disku Slunce má při úhlovém průměru Venuše 12 000 /45 000 000 = 0,000 27 rad = 56“

**měření obtížné ale realizovatelné**

# První určení konečné hodnoty rychlosti světla

# O. Ch. Römer 1644-1710

Dánský astronom **Christensen Ole Römer (1644 – 1710)** koncem šedesátých roků sedmnáctého století prováděl dlouhodobá pozorování zákrytů v jeho tehdejší terminologii *prvního měsíce Jupitera* Io. Zjistil zpožďování nástupů zatmění měsíce při vzdalování Země od Jupitera. K zpřesnění údajů se v roce 1671 vypravil Römer na Hven, kde osm měsíců studoval zákryty měsíce Io. Během 2/3 roku získal údaje o více než 100 zákrytech. Připomínáme, že oběžná doba měsíce Io je zhruba 42 hodin. Römer objevil, že časový interval mezi jednotlivými zákryty je proměnný, závisící na poloze Země na oběžné dráze kolem Slunce. Byl kratší, jestliže se Země přibližovala k Jupiteru a delší při vzdalování. Na základě analýzy výsledků Römer po návratu do Paříže předpověděl další zákryt měsíce Io na 9. listopadu 1676 v 5 hod 35 minut 45 sekund večer. Pozorovaný jev však proběhl o 10 minut později oproti předpovědi. Výklad zpoždění Römer podal v publikaci *Démonstration touchant le mouvement de la lumière trouvé par M. Römer* česky *Vysvětlení týkající se objevené rychlosti světla podle Römera.*

# První určení konečné hodnoty rychlosti světla

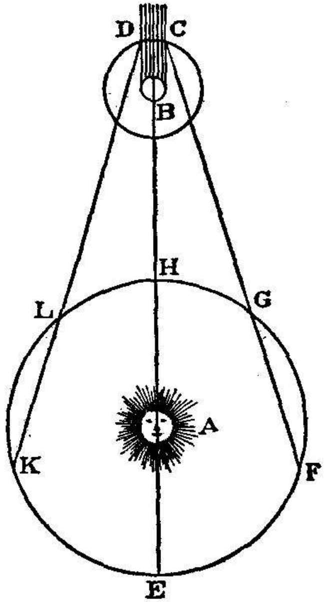


Fig. 70.

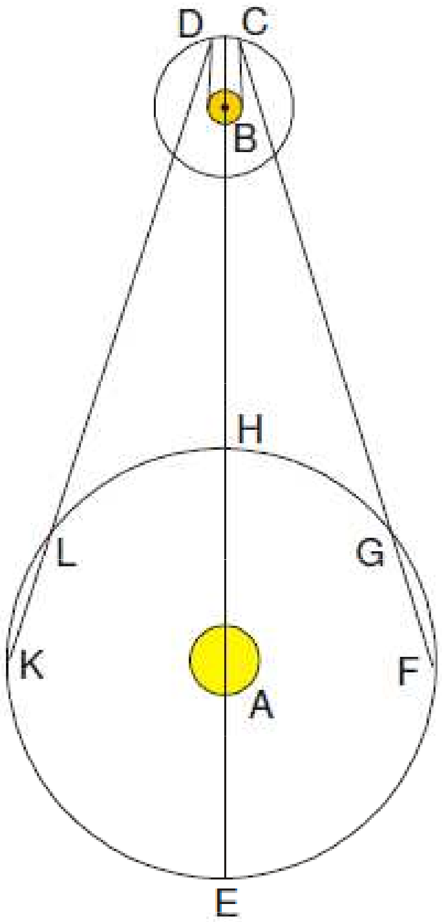
*Römerův text*

Text uvádí: *Je to již dávno, co se filozofové odhodlali provést několik pokusů, zda světlo dorazí do určité vzdálenosti okamžitě, či zda k tomu potřebuje čas. Pan Römer z Královské akademie přišel na způsob využití pozorování prvního měsíce Jupitera, jímž dokazuje, že k překonání vzdálenosti asi 3 000 mil, což je asi velikost průměru Země, světlo nepotřebuje více než sekundu.*

*A jako Slunce, B jako Jupiter, C jako stín prvního měsíce Jupitera, který vstupuje do jeho stínu, aby ho opustil v bodě D a EFGHKL jako Země v různé vzdálenosti od Jupitera. Tedy předpokládejme, že Země se nachází v bodě L proti druhé kvadratuře Jupitera, pak je vidět měsíc během vynořování ze stínu Jupitera v bodě D.*

*Po asi 42 a půl hodinách po jednom oběhu tohoto měsíce víme, že Země se nachází v bodě K se stálým výhledem na bod D. To ukazuje, že jestliže světlo potřebuje čas k překonání vzdálenosti*

# Römera metoda určení konečné hodnoty rychlosti světla




Pohled na obrázek je ze severního pólu sluneční soustavy, proto je směr pohybu Země a Io proti směru hodinových ručiček. Zákryty, přesněji vstupy či výstupy, Io ze stínu Jupitera nastávají periodicky. Během období, kdy se Země k Jupiteru přibližuje, jsou pozorovatelné pouze vstupy. Výstupy Io ze stínu jsou zakryty kotoučem Jupitera. V případě, že se Země od Jupitera vzdaluje, jsou pozorovatelné pouze výstupy[4].

Když se Země pohybuje směrem k opozici (bod H), vstupy nastávají s předstihem, než je oběžná doba Io, směrem ke konjunkci (bod E) se výstupy zpožďují. Správné vysvětlení je, že světlo buď Zemi dohání, nebo Země světlu předchází.

To je zřejmé u bodů L a K. Když v bodě L naměříme přesný čas výstupu Io a to samé provedeme v bodě K, kam Země za nějaký čas dorazí, měli bychom z rozdílu těchto časů získat hodnotu, která je násobkem synodické periody Io. Zjistíme ale, že získaný rozdíl je o něco delší. Přebytek by měl být roven času, který světlo potřebuje, aby urazilo vzdálenost mezi body L a K. Pro určení odchylky je tedy nezbytné znát přesnou synodickou periodu měsíce.

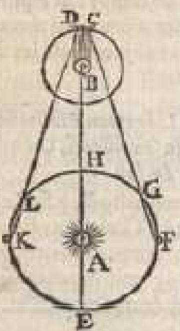
# První určování rychlosti světla

"Démonstration touchant le mouvement de la lumière trouvé par M. Roemer de l'Académie des sciences", *Journal des Sçavans* du lundi 7 décembre 1676, pp. 276-279.



*Demonstration touchant le mouvement de la lumiere trouvé par M. Römer de l'Academie Royale des Sciences.*

IL y a long-temps que les Philosophes sont en peine de decider par quelque experience, si l'action de la lumiere se porte dans un instant à quelque distance que ce soit, ou si elle demande du temps. Mr. Römer de l'Academie Royale des Sciences s'est avisé d'un moyen tiré des observations du premier satellite de Jupiter, par lequel il démontre que pour une distance d'environ 3000 lieuës, telle qu'est à peu prés la grandeur du diametre de la terre, la lumiere n'a pas besoin d'une seconde de temps.




Soit A le Soleil, B Jupiter, C le premier Satellite qui entre dans l'ombre de Jupiter pour en sortir en D, & soit E F G H K L la Terre placée à diverses distances de Jupiter.

Or supposé que la terre estant en L vers la seconde Quadrature de Jupiter, ait veu le premier Satellite, lors de son émersion ou sortie de l'ombre en D; & qu'en suite environ 42. heures & demie aprés, sçavoir aprés une revolution de ce Satellite, la terre se trouvant

en



en K, le voye de retour en D: Il est manifeste que si la lumiere demande du temps pour traverser l'intervalle L K, le Satellite sera veu plus tard de retour en D, qu'il n'auroit esté si la terre estoit demeurée en K, de sorte que la revolution de ce Satellite, ainsi observée par les Emersions, sera retardée d'autant de temps que la lumiere en aura employé à passer de L en K, & qu'au contraire dans l'autre Quadrature FG où la terre en s'approchant, va au devant de la lumiere, les revolutions des Immersions paroistront autant accourcies, que celles des Emersions avoient paru alongées. Et parce qu'en 42 heures & demy, que le Satellite employe à peu prés à faire chaque revolution, la distance entre la Terre & Jupiter dans l'un & l'autre Quadrature varie tout au moins de 210 diametres de la Terre, il s'ensuit que si pour la valeur de chaque diametre de la Terre, il faloit une seconde de temps, la lumiere employeroit $3\frac{1}{2}$ min. pour chacun des intervalles GF, KL, ce qui causeroit une difference de prés d'un demy quart d'heure entre deux revolutions du premier Satellite, dont l'une auroit esté observée en FG, & l'autre en KL, au lieu qu'on n'y remarque aucune difference sensible.

Il ne s'ensuit pas pourtant que la lumiere ne demande aucun temps: car aprés avoir examiné la chose de plus prés, il a trouvé que ce qui n'étoit pas sensible en deux revolutions, devenoit tres considerable à l'égard



de



de plusieurs prises ensemble, & que par exemple 40 revolutions observées du costé F, estoient sensiblement plus courtes, que 40 autres observées de l'autre côté en quelque endroit du Zodiaque que Jupiter se soit rencontré; & ce à raison de 22 pour tout l'intervalle H E, qui est le double de celuy qu'il y a d'icy au soleil.

La necessité de cette nouvelle Equation du retardement de la lumiere, est établie par toutes les observations qui ont esté faites à l'Academie Royale, & à l'Observatoire depuis 8 ans, & nouvellement elle a esté confirmée par l'Emersion du premier Satellite observée à Paris le 9 Novembre dernier à 5 h. 35'. 45". du soir, 10 minutes plus tard qu'on ne l'eût deû attendre, en la déduisant de celles qui avoient esté observées au mois d'Aoust, lors que la terre estoit beaucou plus proché de Jupiter; ce que Mr. Römer avoit predit à l'Academie dés le commencement de Septembre.

Mais pour oster tout lieu de douter que cette inégalité soit causée par le retardement de la lumiere, il demontre qu'elle ne peut venir d'aucune excentricité, ou autre cause de celles qu'on apporte ordinairement, pour expliquer les irregularitez de la Lune & des autres Planetes: bien que neanmoins il se soit apperceu que le premier Satellite de Jupiter estoit excentrique, & que dailleurs ses revolutions estoient avancées ou retardées à mesure

sure



sure que Jupiter s'approchoit ou s'éloignoit du soleil, & même que les revolutions du premier Mobile estoient inégales: sans toutesfois que ces trois dernieres causes d'inégalité empêchent que la premiere ne soit manifeste.

*Pharmacopée Royale Galenique & Chymique par Moyse Charas Apoticaire Artiste du Roy en son Jardin Royal des Plantes. In 4.* A Paris chez l'Autheur, ruë des Boucheries, Faux-bourg S. Germain, aux Viperes d'or.

L'Abondance & la bonté des remedes dont cet auteur a rempli son livre peut rendre aux étrangers avec usure ce que nous avions emprunté de leurs ouvrages, n'en ayant point eu jusqu'à present en France sur cette matiere d'une aussi grande étenduë que celuy-cy. Il comprend l'une & l'autre Pharmacie dont l'union est si necessaire pour le choix, la preparation, l'usage & la mixtion des medicamens tant suivant le sentiment des anciens, ce que la Pharmacie Galenique enseigne, que suivant ce que les Modernes nous ont appris par leurs nouvelles découvertes dans la Chymie.

Comme l'une & l'autre de ces Pharmacies reconnoit les vegetaux, les animaux, & les mineraux pour la matiere sur laquelle elle doit fonder ses operations, & dont chacune prepare des remedes propres pour le

sou-

# První určování rychlosti světla

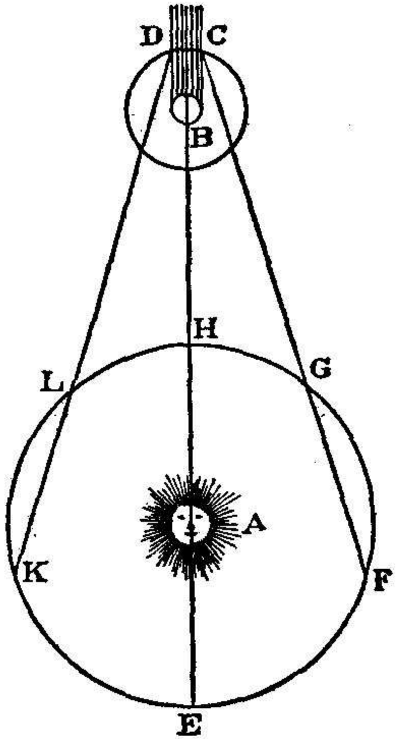



FIG. 70.

Z časových údajů Römera byla později stanovena hodnota rychlosti světla
215 000 km.s$^{-1}$
diskuse nepřesností …

Správný výklad lze podat následovně:

V poloze K při vzdalování Země od Jupitera je doba $T'$ mezi dvěma po sobě následujícími zatměními měsíce Io větší než skutečná oběžná doba $T_0$, $T' = T_0 + \Delta t$, kde $\Delta t$ je doba, kterou potřebuje světlo na uražení dráhy proběhnuté Zemí při jejím oběhu za dobu $T_0$. Platí $\Delta t = T_0 \frac{v}{c}$ a tedy $T' = T_0 + \frac{v}{c} T_0$.

V poloze F se Země přibližuje k Jupiteru, doba mezi dvěma zatměními $T''$ je menší než skutečná doba $T_0$, obdržíme $T'' = T_0 - \frac{v}{c} T_0$. Z rovnic pro $T'$ a $T''$ po úpravě dostaneme $c = \frac{T' + T''}{T' - T''} v$. Při znalosti doby mezi zatměními $T'$ a $T''$ a z rychlosti pohybu Země kolem Slunce $v$ lze stanovit rychlost světla $c$.

# První určování rychlosti světla

## *Römerovy záznamy pozorování*