

KAPITOLY Z DĚJIN VĚDY

Horský, Z. *Koperník a české země*, eds. V. Hladký, T. Hermann, I. Lelková, Pavel Mervart, Červený Kostelec 2011.

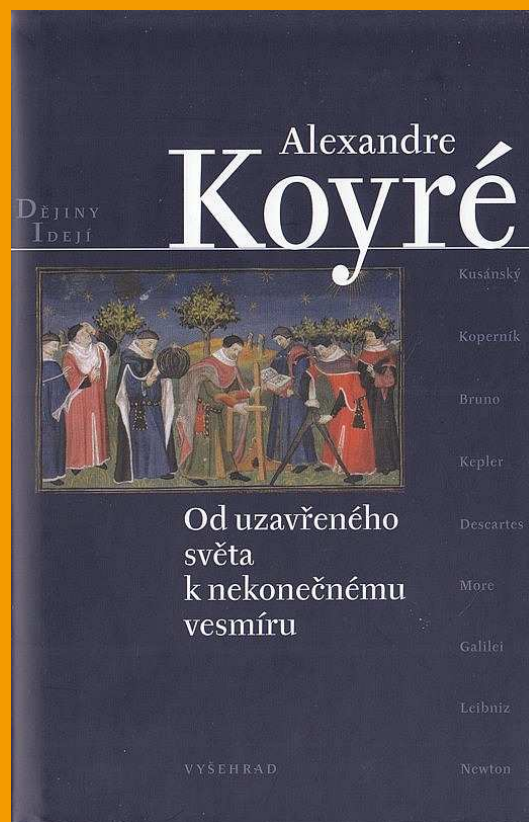
Horský, Z., *Kepler v Praze*, Praha 1980.

Koyré, A., *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*, Praha 2004.

Daston, L. – Park, K., *The Cambridge History of Science. Vol. 3. Early Modern Science*, Cambridge 2006.

The Cambridge Companion to Newton

The Cambridge Companion to Galileo



I. Úvod

- Klasifikace oborů zabývajících se přírodou před 19. stoletím

Scientia

Philosophia naturalis (physica, scientia naturalis)

Historia naturalis

Scientiae mediae / scientiae mixtae (astronomie, optika)

Mathematica (arithmetica, geometria)

Isaac Newton: *Principia mathematica philosophiae naturalis* (1687)

II. Aristotelská fyzika

- Čtyři druhy změn: kvalitativní, kvantitativní, změna místa, substanciální
- Místní pohyb: přirozený x násilný

1. Teorie přirozených pohybů

- přirozenost nutí každý prvek, aby se vrátil na své přirozené místo a tam setrval v klidu (viz *Phys.* VIII,4; *De caelo* I,2-3 a I,8).
- místa mají „sílu“, „působnost“, *dynamis* (*Phys.* IV,1,208b11).
- živly: lehké (oheň, vzduch) a těžké (země, voda)
- přirozený pohyb není „nahoru“ a „dolů“, ale „od středu“ a „ke středu“
- Těžkým se nazývá to, co se přirozeně snáší ke středu, a lehkým to, co se od něj vzdaluje (*De caelo* I,2,268b21-22; I,3,269b23-24).
- Přirozený pohyb a) přímočarý, b) konečný
- „Vidíme totiž, že se táž tíže a totéž těleso rychleji pohybuje v prostoru ze dvou příčin, buď proto, že to, skrze co se pohybuje (*sc.* prostředí – pozn. překl.), je rozdílné, jako například skrze vodu nebo zemi nebo vzduch, anebo proto, že pohybované samo je rozdílné pro nadbytek tíže nebo lehkosti, kdežto všechno ostatní zůstává totéž“ (*Phys.* IV,8,215a25-28; obdobně 216a12-16).
- Ve spise *O nebi* se říká, že těleso s větší tíží urazí svou dráhu rychleji, než těleso s menší tíží. Těleso s dvojnásobnou tíží urazí stejnou dráhu v polovině času. (*De caelo* I,6,273b30-274a20; srov. 308a29-34, 311a20-22).
- $v = H/R$; $T = 1/H$: T – čas, R – odpor prostředí, H – hmotnost (tíže/lehkost)

- pohyb je možná zrychlený: Aristotelés však ve spisu *De caelo* překvapivě tvrdí, země se pohybuje tím rychleji, čím blíže je ke středu, zatímco oheň se pohybuje tím rychleji, čím blíže se nachází okraji kosmu (*De caelo* I,8,277a28-30).
- klíčová zásada celé aristotelské fyziky: „Všechno pohybované je nutně pohybované něčím. Neboť nemá-li v sobě počátek pohybu, je zřejmé, že jest pohybováno něčím jiným; jiné totiž bude pohybujiícím činitelem“ (*Phys.* VII,1,241b24-27; srov. výklad v *Phys.* IV,4). – *Omne quod movetur, ab alio movetur*

2. Teorie násilných pohybů

- pohyby projektilů
- 1. pravidlo: čím větší síla, tím větší rychlost
- 2. pravidlo: čím hustší prostředí, tím větší odpor
- $v = F/R$

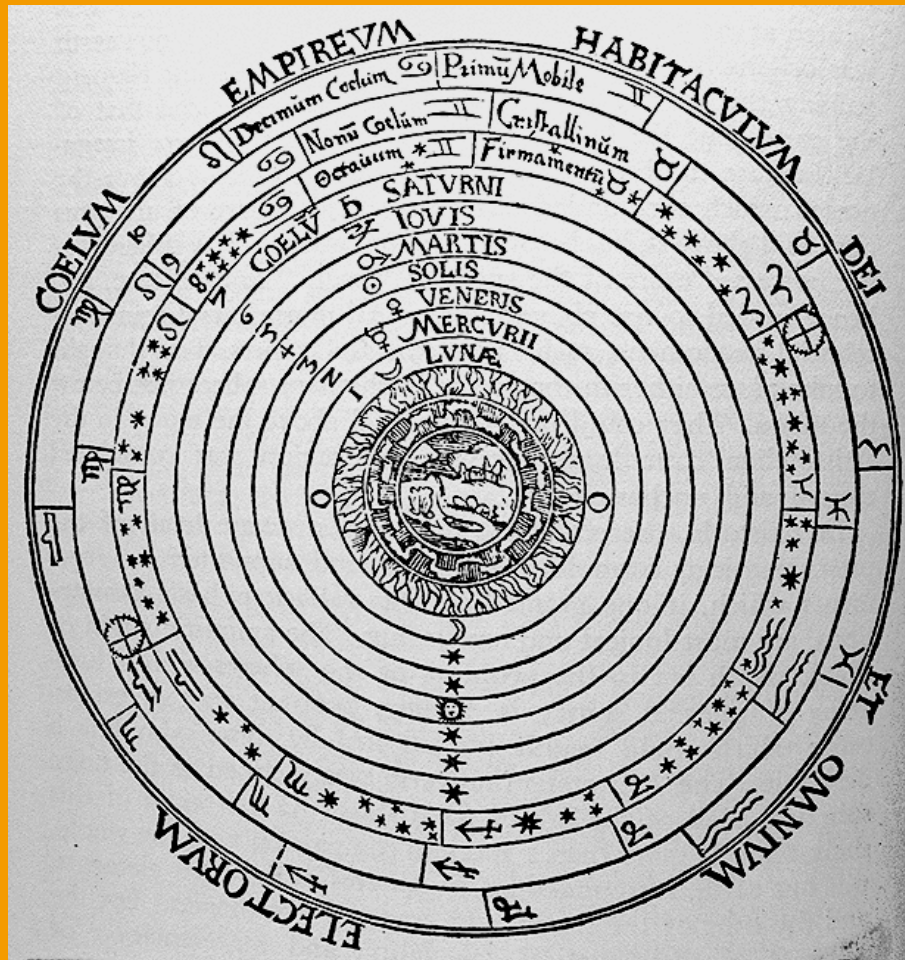
3. Aristotelské „zákony“ pohybu

- *První zákon*: Každé sublunární těleso, které se nenachází na svém přirozeném místě, se pohybuje podle své přirozenosti podél poloměru univerza ke svému přirozenému místu a tam setrvává v klidu, pokud nebude vypuzeno nějakým vnějším působením. Pád nebo stoupání tělesa se bude odehrávat podle vztahů $v = H/R$ a $T = 1/H$.
- *Druhý zákon*: Sublunární těleso se pohybuje násilně tehdy, když na něj působí vnější kontaktní síla podle vztahu $v = F/R$. Přitom musí být působící síla dostatečně veliká, aby překonala odpor prostředí a uvedla těleso do pohybu, tj. F musí být větší než R .
- *Třetí zákon*: Tělesa v supralunární sféře, tj. nebeská tělesa, se pohybují přirozeně rovnoměrným kruhovým pohybem kolem středu kosmu.

- 1. zásada: jednoduché těleso (tj. složené z jednoho živlu) má pouze jeden pohyb (u smíšených se pohyby děje podle převažující složky – láhev s vodou se chová jako voda).
- 2. zásada: pohyby se neskládají - projektil *horizontálně* vržený z věže nebude opisovat dráhu složenou z horizontální násilné složky a přirozené „gravitační“ složky. Nejprve se pohybuje násilně horizontálně, a teprve po ukončení násilného pohybu, začne padat volným pádem dolů.

II. Antická astronomie

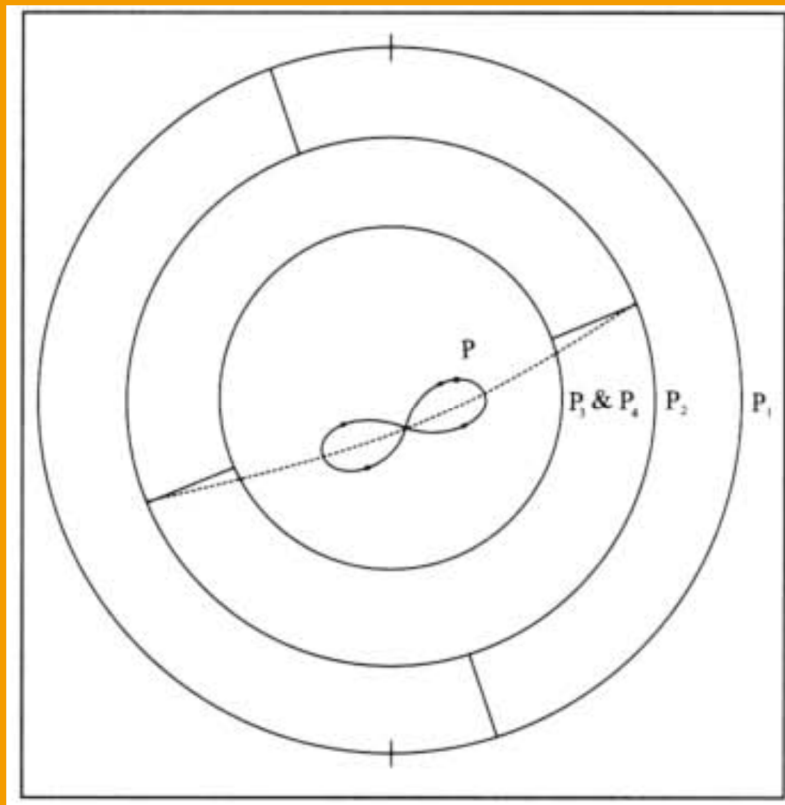
1. Aristoteléská kosmologie



<http://www.luminarium.org/encyclopedia/medievalcosmology.htm>

- První hybatel: První hybatel musí být však nehybný, a proto nemůže být tělesný. Jestliže v hybateli není látka, pak v něm není ani žádná možnost, a proto je charakterizován jako plná skutečnost (*Met. XII,7,1072a20nn.*).
- Hybatel je věčný a pohyb, který vyvolává, je také věčný (*Phys. VIII,6; srov. Met. XII,6,1071b5-22*).
- Jestliže je rozumem, je také živý, neboť „skutečnost rozumu je životem a on je onou skutečností“. Proto hybatel žije nejlepší a věčný život a lze ho chápat jako boha (*Met. XII,7,1072b22-30*).
- Jeho aktivita proto spočívá výlučně v myšlení sebe sama neboli „jeho myšlení jest myšlením myšlení“ (*noésis noéseós noésis; Met. XII,9,1074b34*).
- hybatel „pohybuje jako milované a tím, co je tak pohybováno (tj. sférou stálic), pohybuje pak ostatním“ (*Met. XII,7, 1072b3-4*). Nehybný hybatel uvádí sféru stálic do pohybu již svou existencí: jako předmět neopětované lásky.

Eudoxos z Knidu (4. století př.n.l.)



<https://www.youtube.com/watch?v=hhikvgDVcGY>

„Mají-li však uspořádání všech sfér dostatečně vysvětlit pozorované jevy, musí, a to o jednu méně, být v každé planetě ještě jiné sféry, které první sféru planety, jež je hned pod nimi, obračejí a uvádějí zpět vždy do téže polohy (jako je první sféra všech ostatních planet – pozn. překl.). Neboť jenom tak je pro všechny možné provést oběhy planet“ (*Met.* XII,8,1073b29-1074a6; srov. Simplicios, *In Arist. De caelo*, ed. Heiberg, s. 498.2-499.16).

- Jestliže tedy u Saturna máme sféry S1, S2, S3 a S4, tak mezi sférou Saturnu a Jupitera se nachází sféry, které se otáčejí stejnou rychlostí a kolem téže osy, ale v opačném směru: tedy jakési sféry S-4, S-3, S-2.

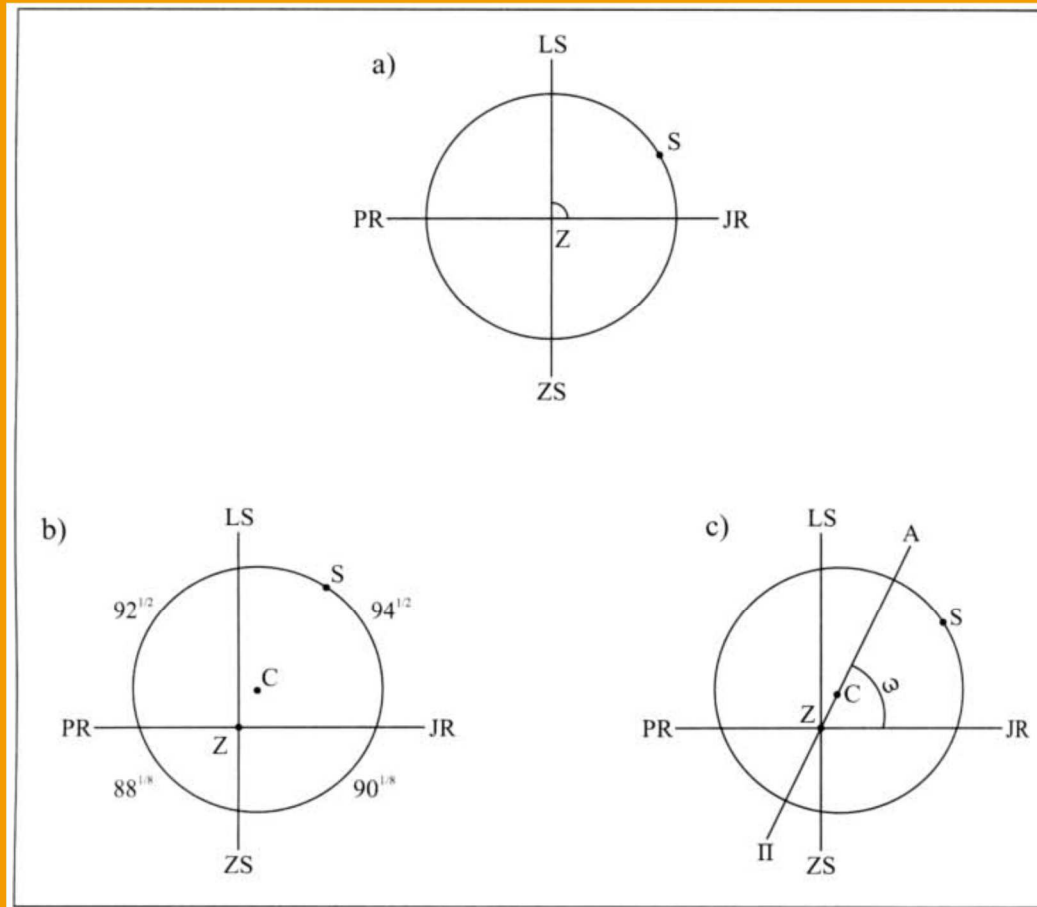
	<i>Eudoxos</i>	<i>Aristotelés</i>
Saturn	4	4+3
Jupiter	4	4+3
Mars	4	5+4
Venuše	4	5+4
Merkur	4	5+4
Slunce	3	5+4
Měsíc	3	5
<i>celkem</i>	26	55

2. Antická kinematická astronomie

- Platónský postulát: Jedná se o svědectví dochované u Simplicia, podle nějž měl Platón uložit astronomům, aby „zachránili jevy“ (*sozein ta fainomena*) pomocí rovnoměrných kruhových pohybů. Výrazem „zachránit jevy“ se v antice myslelo, že astronom má vytvořit kinematické modely nebeských jevů
- Kinematické modely: excentry a epickly
- Kinematika (podle wikipedie): kinematika se zabývá klasifikací a popisem různých druhů pohybu, ale nezabývá se jeho příčinami. Naproti tomu dynamika zkoumá pohyb z hlediska působení sil. Kinematika se tedy zaměřuje na sledování polohy, rychlosti apod.

Excentr

První anomálie a excentr

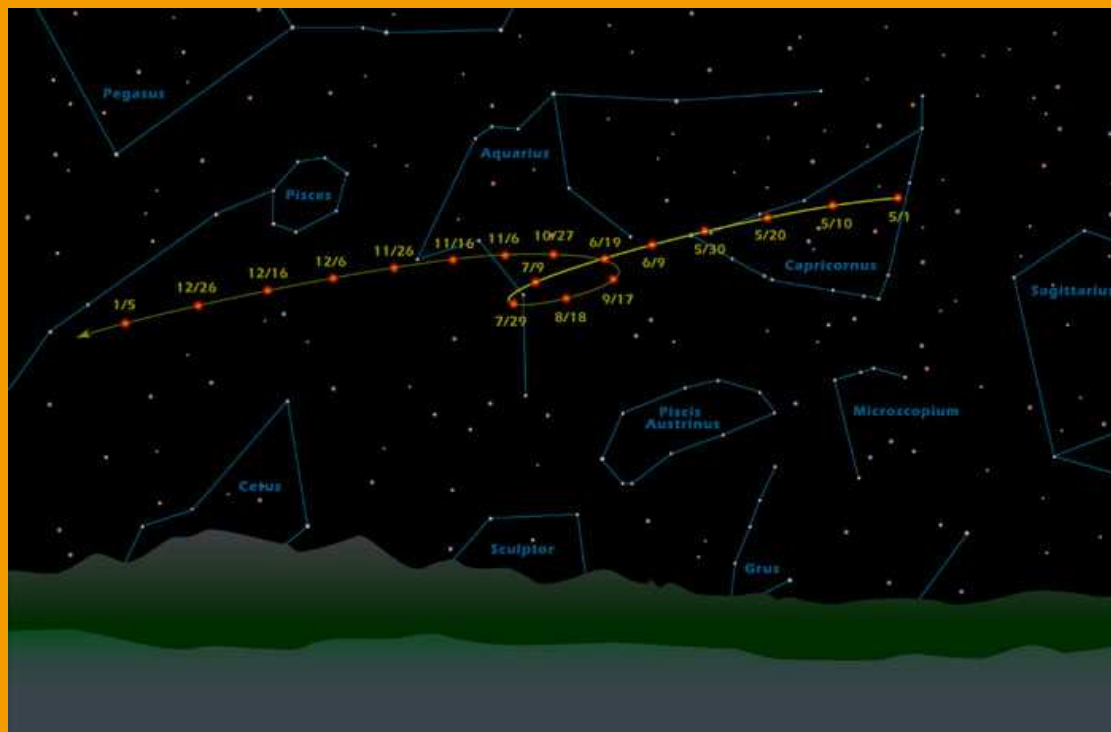


Hipparchos z Bithýnie (2. stol. př.n.l.)

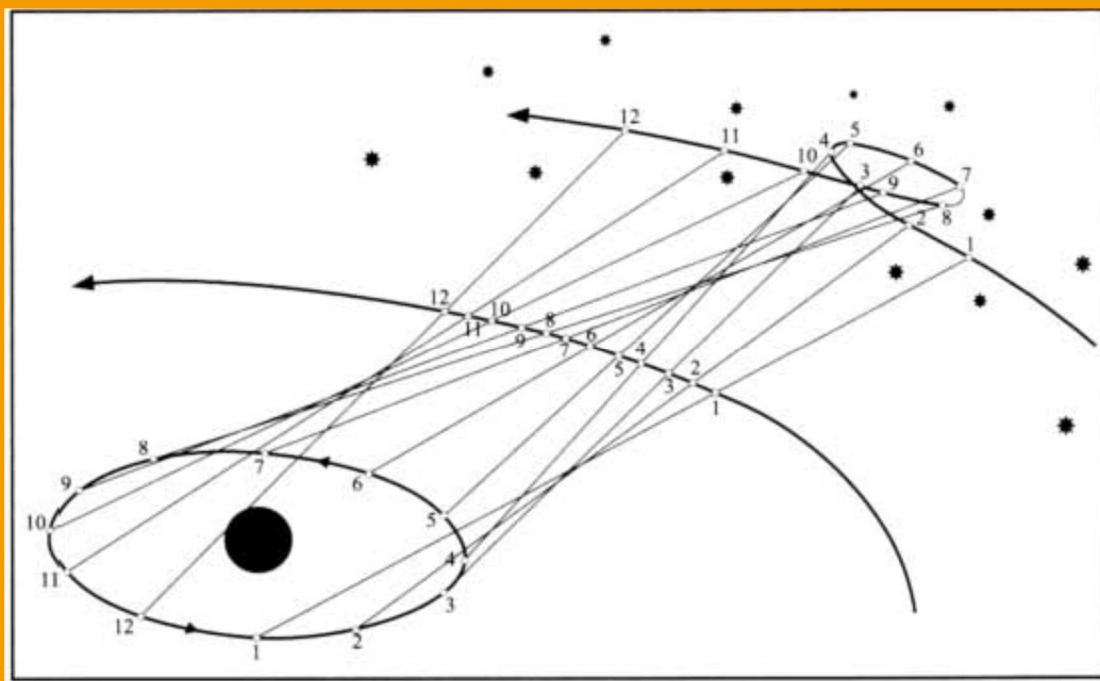
Hlavní parametry pro konstrukci excentru:

- 1) co nejpřesnější délka tropického roku, který udává rychlost pohybu Slunce po excentru;
- 2) poloha apogea (na ekliptice, tj. jeho ekliptikální délka), tj. úhel ω na obrázku c. Tento úhel určuje směr, ve kterém bude umístěn střed excentru C při pohledu ze Země. Hipparchos stanovil hodnotu tohoto úhlu na $65 \frac{1}{2}$;
- 3) excentricita deferentu, tj. poměr ZC k poloměru celého kruhu. Tato hodnota stanovuje míru, v jaké bude střed excentru C vzdálen od Země, a Hipparchos ji podle Ptolemaia stanovil na $\frac{1}{24}$ (*Almagest*. III,3).

Druhá anomálie



Druhá anomálie – její heliocentrické vysvětlení

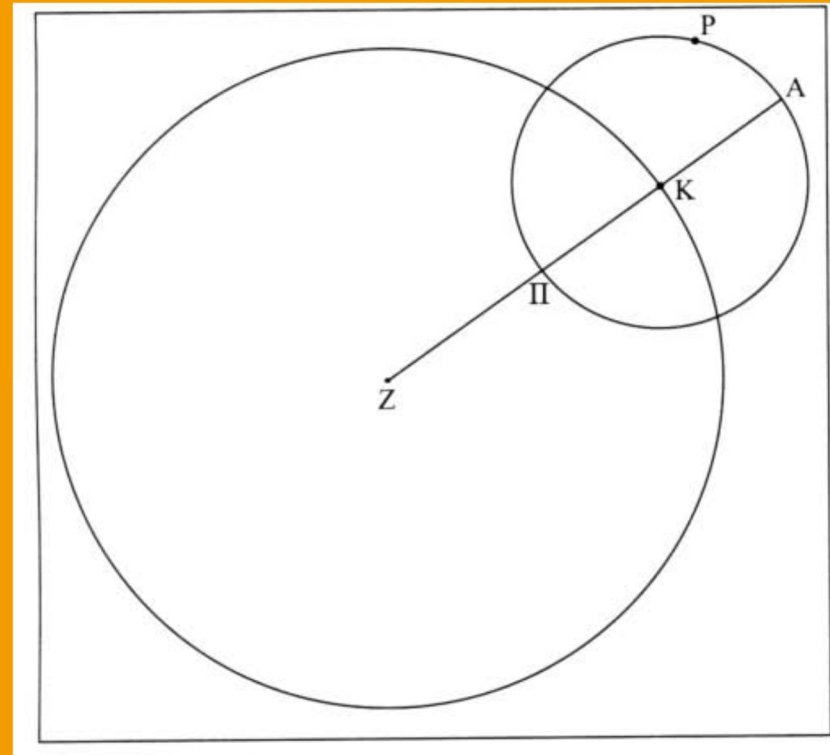
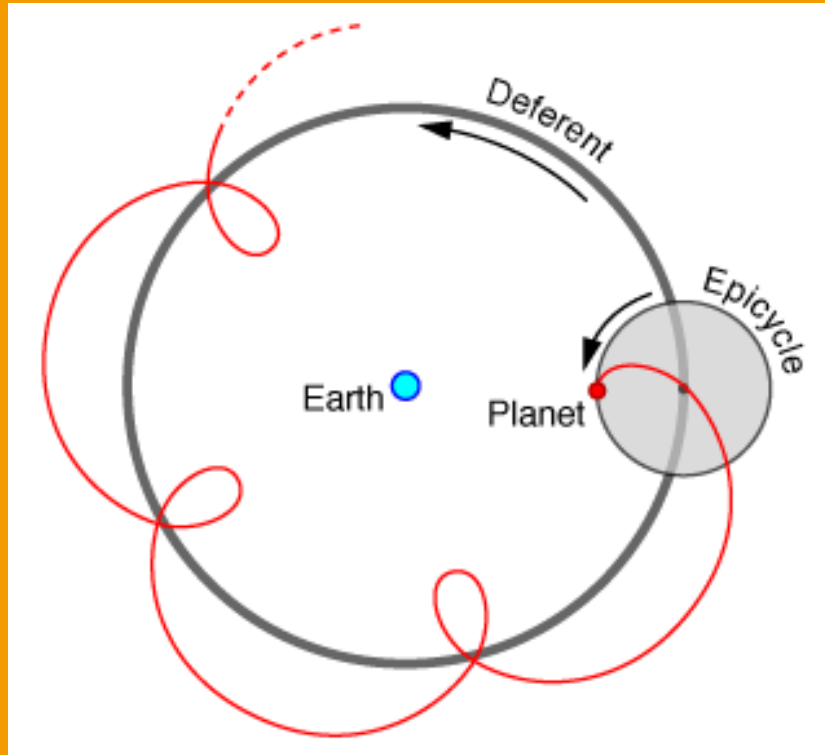


Druhá anomálie ještě v animacích

<http://homework.uoregon.edu/pub/emj/121/lectures/aristotle.html>

Epicykl

Řešení druhé anomálie: epicykl



<https://www.youtube.com/watch?v=hhikvgDVcGY>

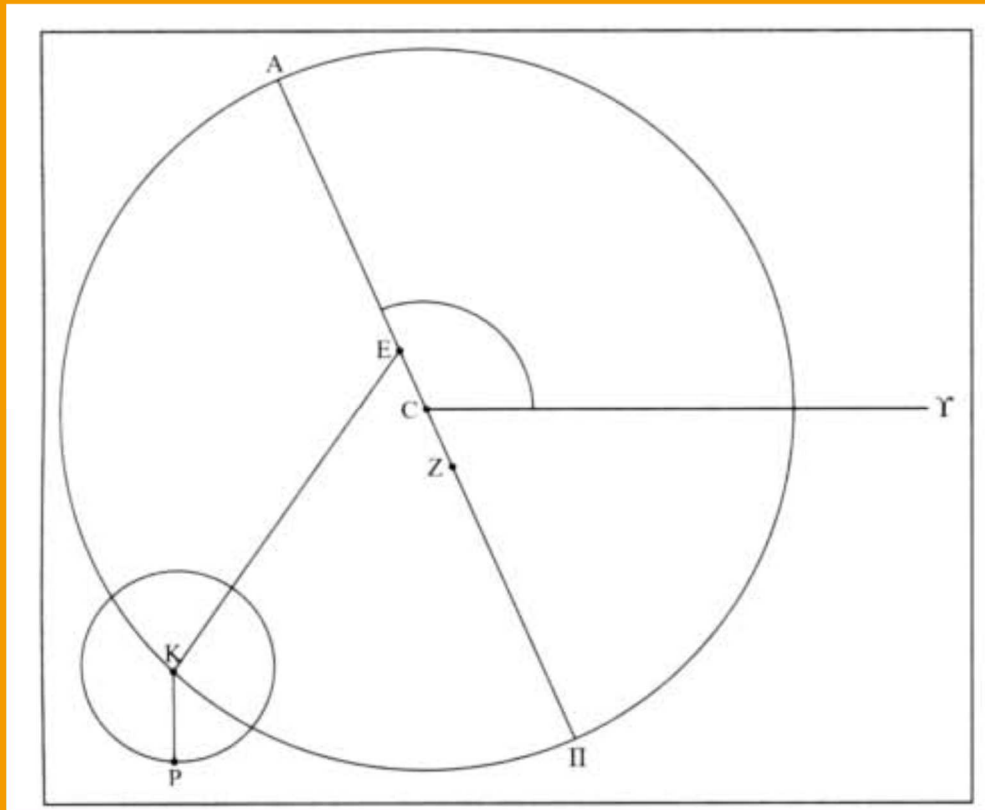
Hlavní parametry pro konstrukci epicyklu:

- a) doba oběhu středu epicyklu po deferentu,
- b) doba oběhu planety po epicyklu;
- c) poměr poloměrů deferentu a epicyklu (tj. nikoli absolutní velikosti, ty nejsou potřebné);
- d) poloha apogea (jeho ekliptikální délka).

Ekvant

- Klaudios Ptolemaios (100-170 n. l.), Alexandrie
- *Mathematiké syntaxeos biblia* - *Mathematiké syntaxis* (od 3. stol. *megalé* (velká) a později dokonce *megisté* (největší). Do arabštiny přeložen výrazem *al-majisti* a pak do latiny jako *almagesti* nebo *almagestum* – odtud *Almagest*

Ekvant: <http://astro.unl.edu/naap/ssm/animations/ptolemaic.swf>



- E – „vyrovnávající bod“, *punctum equans*
<https://people.sc.fsu.edu/~dduke/nmars.html>

Hlavní parametry pro konstrukci ekvantu:

- a) poměr poloměru epicyklu vůči poloměru excentru;
- b) míra excentricity deferentu, neboli poměr ZC k poloměru deferentu ;
- c) úhlová rychlost planety P na epicyklu a úhlová rychlost středu epicyklu K na excentru, tj. hodnota změny ekliptikální délky za určitý čas
- d) poloha apogea (tento úhel určuje směr, ve kterém bude umístěn střed excentru při pohledu ze Země)

Sozein ta fainomena, salvare apparentias

- zachránit jevy: instrumentalistická metodologie. Astronomie pouze poskytuje predikce, aniž by odpovídala fyzikální skutečnosti. Je jí odmítnuta „realistický“ nárok; astronomie není skutečné teoretické poznání (neposkytuje příčiny ani „pravdu“), ale pouze pomocnou technickou disciplínou pro kalendář a astrologii.

Ptolemaiova kosmologie

- v první knize *Almagestu* Ptolemaios důvtipnými metafyzickými, fyzikálními a astronomickými argumenty obhajuje geocentrismus a odmítá heliocentrismus – ten byl představen již ve 3. stol. př.n.l. – Aristarchos ze Samu
- Země nemá privilegované postavení: hodnotná je periferie – místo bohů, země je odpad světa, kloaka, smetiště
- Velikosti a vzdálenosti kosmu
 - odhadovaná velikost obvodu země – kolem 39 000 km (skutečná je 40 074 km)
 - poloměr (rt) asi 6200 km (skut. 6378 km)
 - Ptolemaios: *Hypotheses planetarum* – *Planetární hypotézy* obsahuje velikosti a vzdálenosti

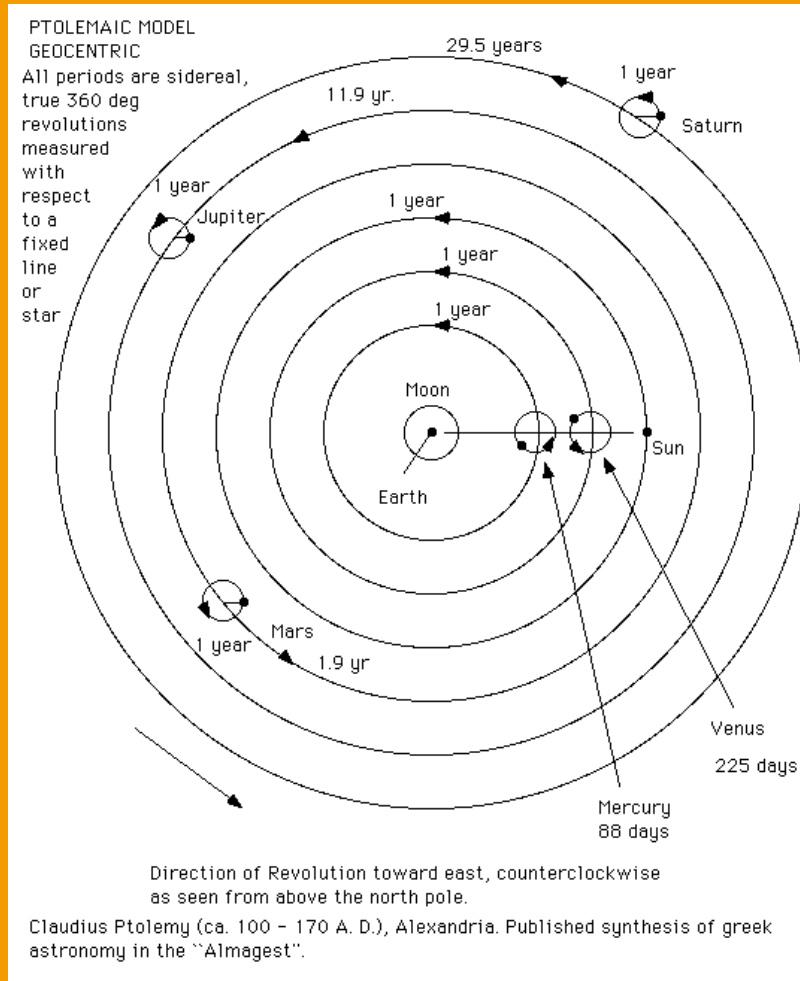
Velikosti a vzdálenosti těles u Ptolemaia (podle Neugebauer, *History of the Ancient Mathematical Astronomy*, II, 922)

Table 26

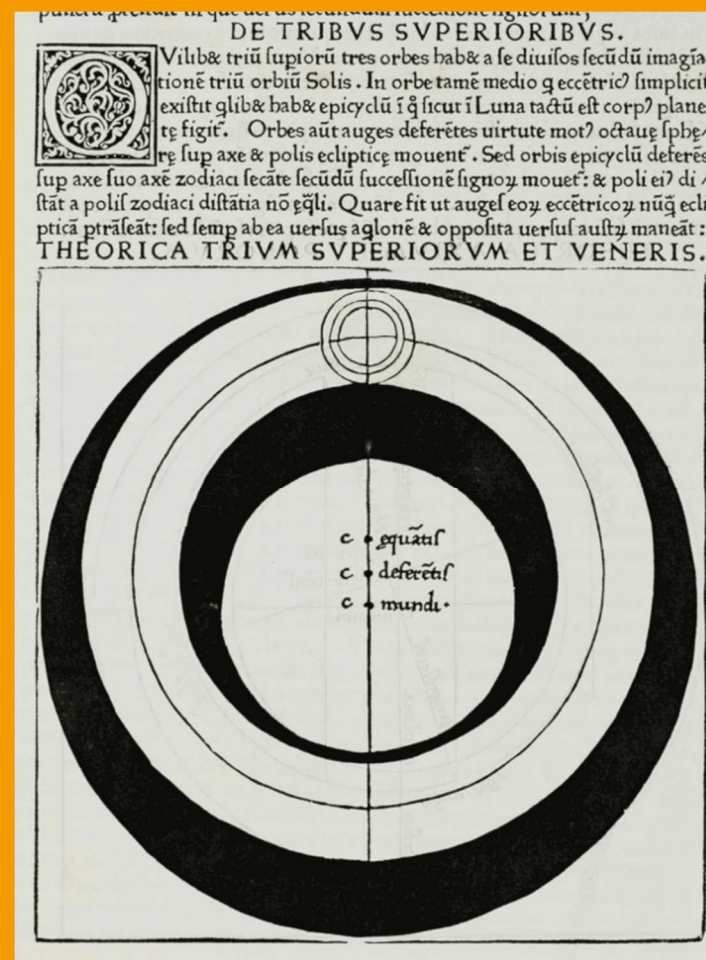
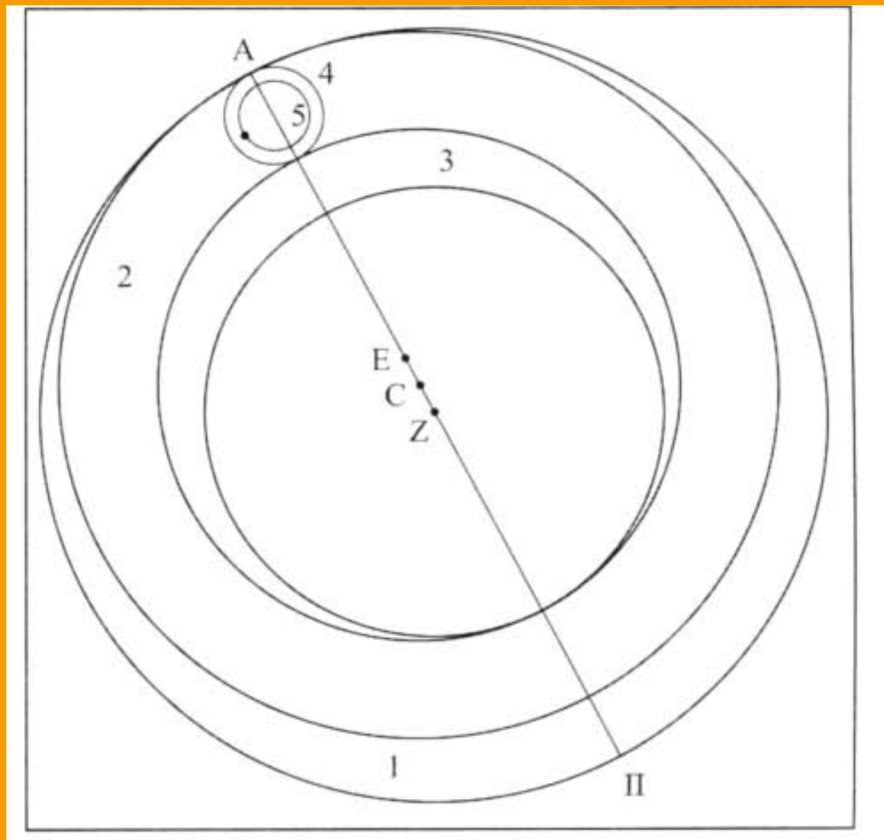
	1	2		3	4a	4b	5	6	7
	appar. diam. d	distance ($r_e = 1$)		mean dist. ($r_e = 1$) μ	$\mu \cdot d$	diameter $r_e = 1/2$	order of size	actual	
		m	M					radius ($r_e = 1$)	order
Earth							5	1	4
Moon	4/3	33	64	48	64	$1/4 + 1/24 = 0;17,30$	7	0;16,22	8
Mercury	1/15		166	115	8	$1/27 = 0;2,13,20$	8	0;23,29	7
Venus	1/10		1079	622 1/2	62	$1/4 + 1/20 = 0;18$	6	0;58,20	5
Sun	1	1160	1260	1210	1210	$5 1/2 = 5;30$	1	109;5	1
Mars	1/20		8820	5040	252	$1 1/7 = 1;8,34, \dots$	4	0;31,59	6
Jupiter	1/12		14187	11504	959	$4 1/3 + 1/40 = 4;21,30$	2	10;57	2
Saturn	1/18		19865	17026	946	$4 1/4 + 1/20 = 4;18$	3	8;59	3
Fixed Stars	1/20 1/30			≈ 20000	1000	$4 1/2 + 1/20 = 4;33$			

Ptolemaiovská kosmologie

- údajně to mělo vypadat takto (není to správně – velikost epicyklů a deferentů byla arbitrární, důležitý byl jejich poměr)



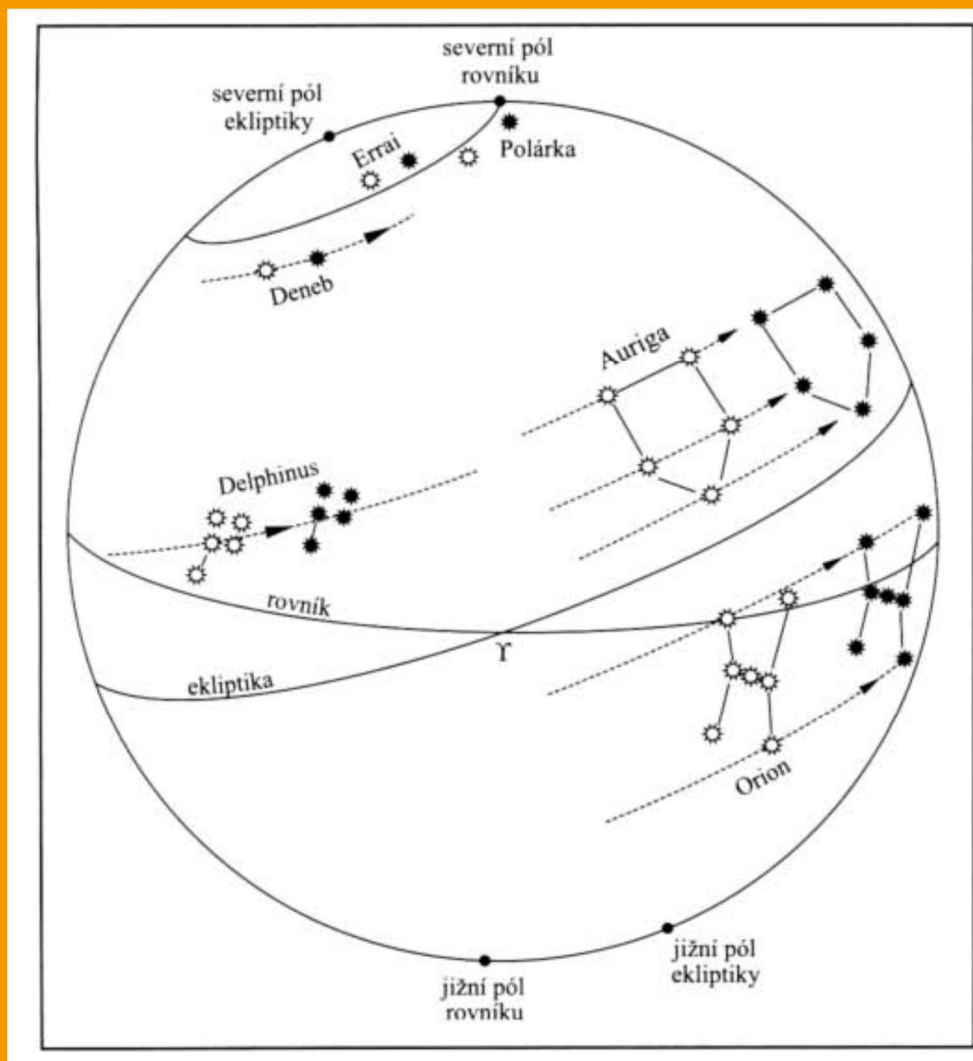
Skutečná podoba Ptolemaiovy kosmologie (druhý obrázek je z Peurbach, *Theorica planetarum* (1482):



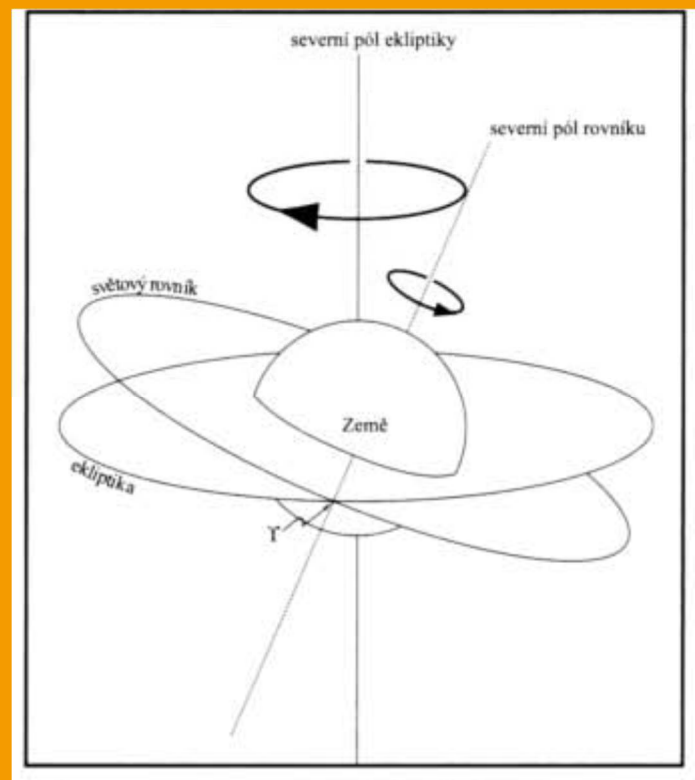
<https://people.sc.fsu.edu/~dduke/nptolemy.html>

6. Středověká scholastická kosmologie

- tzv. třísférový kompromis (viz předchozí obrázky); pro výukové účely – nevěřili v reálnost: vnější povrch sféry 1 a vnitřní sféry 3 jsou homocentrické a vymezují *orbis totalis* – „celkovou sféru“
- precese rovníkosti: z hlediska geocentrické astronomie velmi pomalé otáčení hvězdné sféry od západu k východu kolem pólů ekliptiky

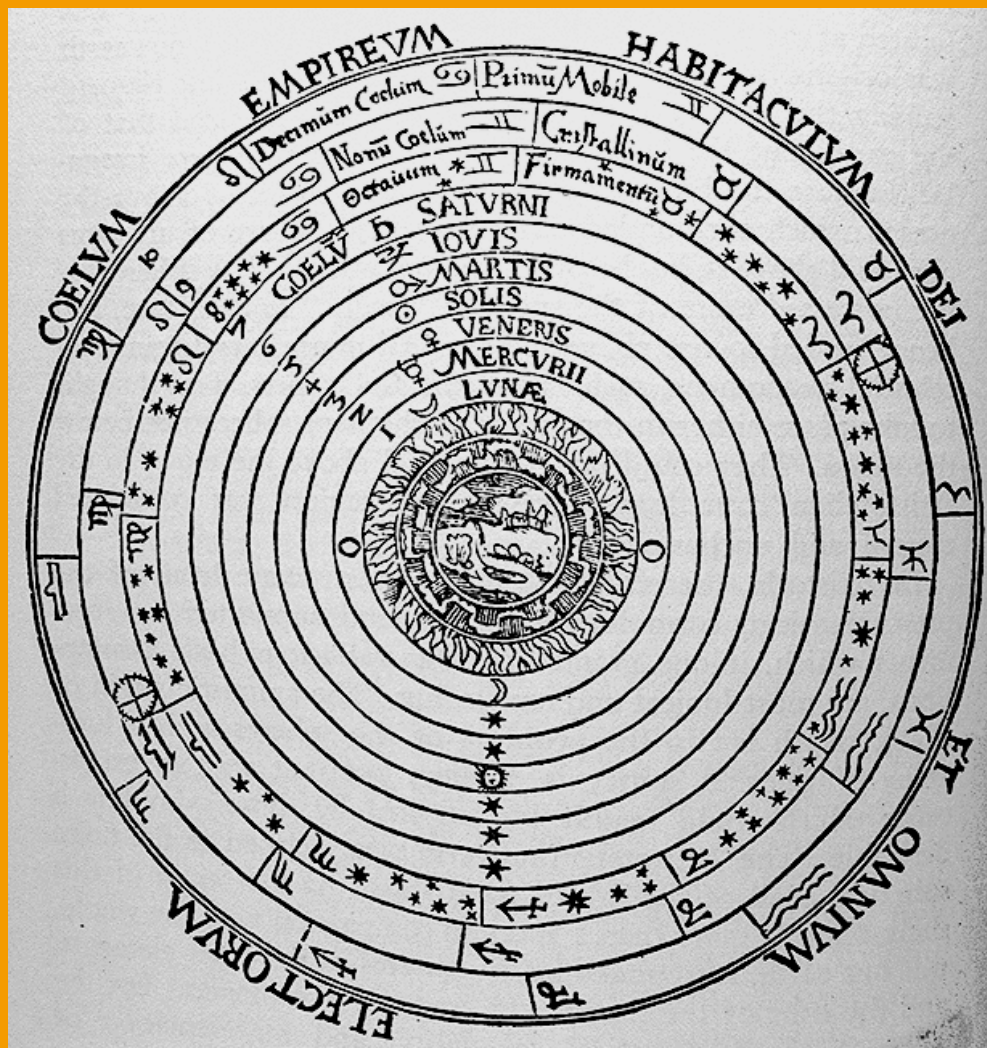


Precese z heliocentrického hlediska



- třísférový kompromis: *sphaera/orbis totalis* – *orbis partiales*; počet celkových sfér kolísal mezi 8 až 11
- sedm celkových sfér = 5 planet + Slunce a Měsíc
- osmá sféra – sféra stálic: měla by mít tři pohyby: 1)) otáčení v periodě jednoho dne od východu k západu; 2) precesní pohyb s Ptolemaiovou hodnotou precesní změny 1° za sto let, díky němuž se sféra úplně otočí za 36 000 let; 3) Tzv. trepidace neboli posun hvězd po krátkém oblouku tam a zpět (tzv. *motus accessionis et recessionis*): takové kolísání poloh hvězd po malém oblouku v periodách stovek let (I když měla trepidace původně nahradit Ptolemaiovu koncepci precese, patrně pod vlivem *Alfonsinských tabulek* přejali někteří scholastičtí filosofové myšlenku astronomů, že hvězdám přísluší oba pohyby: precese i trepidace.).
- Podle Aristotela může mít těleso vždy jen jeden přirozený pohyb, a proto bylo pro každý pohyb nutné zavést jednu sféru: 8. sféra nesla stálice – pohyb trepidace nebo precese, 9. sféra průhledná a bez těles – precese nebo trepidace, 10. sféra – první hybatel: otáčení od východu k západu za 24 hod

- Pořadí sfér v kosmu ve středověku a v renesanci, Petrus Apianus, *Cosmographia* (16. stol.)

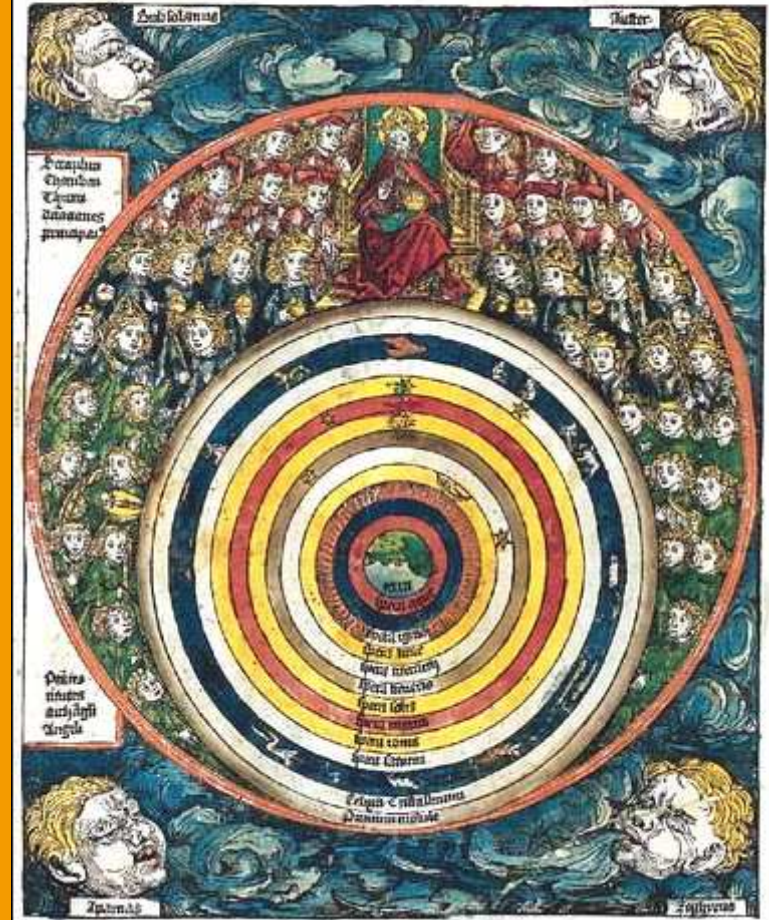


- Pořadí sfér v kosmu podle teologů : „I řekl Bůh: ‚Bud’ klenba (*firmamentum*) uprostřed vod a odděluj vody od vod!‘ Učinil klenbu a oddělil vody pod klenbou od vod nad klenbou. A stalo se tak. Klenbu nazval Bůh nebem (*caelum*)“ (*Gn 1,6-8*).
- filosofický popis sfér na okraji kosmu měl odpovídat biblickým zmínkám o dvou nebích a přítomnosti vod. Proto – *firmamentum* = sféra stálic = 8. sféra; *caelum* – křišťálová sféra – 9. sféra; první hybatel – 10. sféra (není to bůh ale sféra bez objektů) – má nejjednodušší pohyb: pouze ona rotuje jen v periodě 24 hodin (ostatní sdílí denní rotaci + mají vlastní periodu otáčení)
- *empyreum* – teologické nebe sídlo andělů, Boha a blažených – mimosvětská oblast mimo prostor a čas; nebylo empiricky vnímatelné – už od Tomáše Akvinského se na jeho existenci trvá na základě autority (*per auctoritatem est habitum*).¹

¹ Tomáš Akvinský, *Super II Sententiarum*, lib. II, dist. 2, qu. 2, a. 1.

Wonbeyleigung des sibenden tags

Als wir die welt durch das gepew gēlicher wēßheit der sechs tag volbrēt vñ hand vñ edē beschaffē geordnet geweret vñ zu letzt volbracht worden sūnd. do hat der glos würdig got sein werck erfüllt vñ am sibendē tag von den wercken seiner handt geruet. nach dē er die ganzz welt vñ alle ding die dar in sūnd beschaffet hat do hat er auffgehōt. mit als zewörderen maede. sūnder zemachen an newer creatur d̄ materi oder gleichnus mit vergangē werck dā er hoit mit auff zewörderen das werck der gepewungen. vñ der herr hat den sibē tag geboē nēd eyer vñ gēheiliget vñ ige geheylt sabbathū. das nach hebreischer zūge ein rēdē bedēutet darumb das er an dē selben tag mit vñ allem werck des er gemacht hat. do vñ auch die wden an dem tag vñ agner arbat zefaren er lant werde. Di sibē tag habe auch erlich handempfe vōller vor dem gesen furlich gehalten. vñ also sein wie zu end der gētrichen werck komē darumb so sollen wir dē in den alle sēchliche vñ vrsichliche ding sind zēchten behoben vñ een vñ von dem heren des handels. von dem heren aller gūter. dem gewalt gegebē sūnd erhandl vñ arden. die gegenwärtigen gūter. souer die gut sind. vñ auch die waren sūlgart des ewigen lebens sūden.



III. Kopernikánská reforma astronomie

1. Mikuláš Koperník – život a dílo

- Mikuláš Koperník (1473-1543), Toruň na severu Polska, kanovník ve Fromborku-Frauenbergu
- 1496-1503 pobyty v Itálii: Řím, Bologna, Ferrara; studium práv a medicíny
- 1515: *Commentariolus*
- 1533: čtení *Commentariolu* u papeže v Římě, příznivé přijetí a zájem
- 1536 : kardinál Schönberg žádá Koperníka o rukopis jeho díla (záruka pozitivního přijetí)
- církev sledovala tradiční metodologii „zachránit jevy“ a řešila problémy s kalendářem: nesoulad nebeských jevů s kalendářními daty: rovnodennost předcházela kalendář v 16. století již o deset dnů; gregoriánská reforma kalendáře z roku 1582: ze 4. října se skočilo na 15. října
- 1539: do Fromborku přijíždí Georg Joachim von Lauchen – Rheticus (1514-1576)
- 1540: Rheticus vydává *Narratio prima*
- 1543: publikace Koperníkova hlavního díla *De revolutionibus orbium coelestium (Oběhy nebeských sfér)* v (protestantském) Norimberku; dílo vychází 21. března, Koperník umírá 23. března
- Struktura *De revolutionibus* : Almagest měl 13 knih, *De rev.* má 6 knih, které ale strukturálně kopírují uspořádání Almagestu; filosoficky je zajímavá I. kniha, kde Koperník formuluje základy nové kosmologie, zbytek knihy je matematická astronomie. Uvozující texty:
 1. Oslanderova anonymní předmluva *Ad lectorem* v duchu metodologie „zachránit jevy“ – celé dílo je jen hypotéza
 2. Dopis Koperníka papeži Pavlu III. – dedikační dopis, kde Koperník vysvětluje své záměry a cíle
 3. Dopis kardinála Schönberga

2. Heliocentrický systém

- Středem kosmu není Země, ale Slunce, největší těleso ve kosmu. Kolem Slunce obíhají všechna nebeská tělesa včetně Země (jen Měsíc obíhá kolem Země a s ní kolem Slunce). Kosmos je konečný a obepíná ho sféra stálic, na níž jsou připevněny hvězdy.

- tři pohyby Země:

- 1) Země obíhá kolem Slunce v periodě jednoho roku; 2) Země rotuje kolem vlastní osy v periodě 24 hodiny; 3) zemská osa vykonává tzv. precesní pohyb.

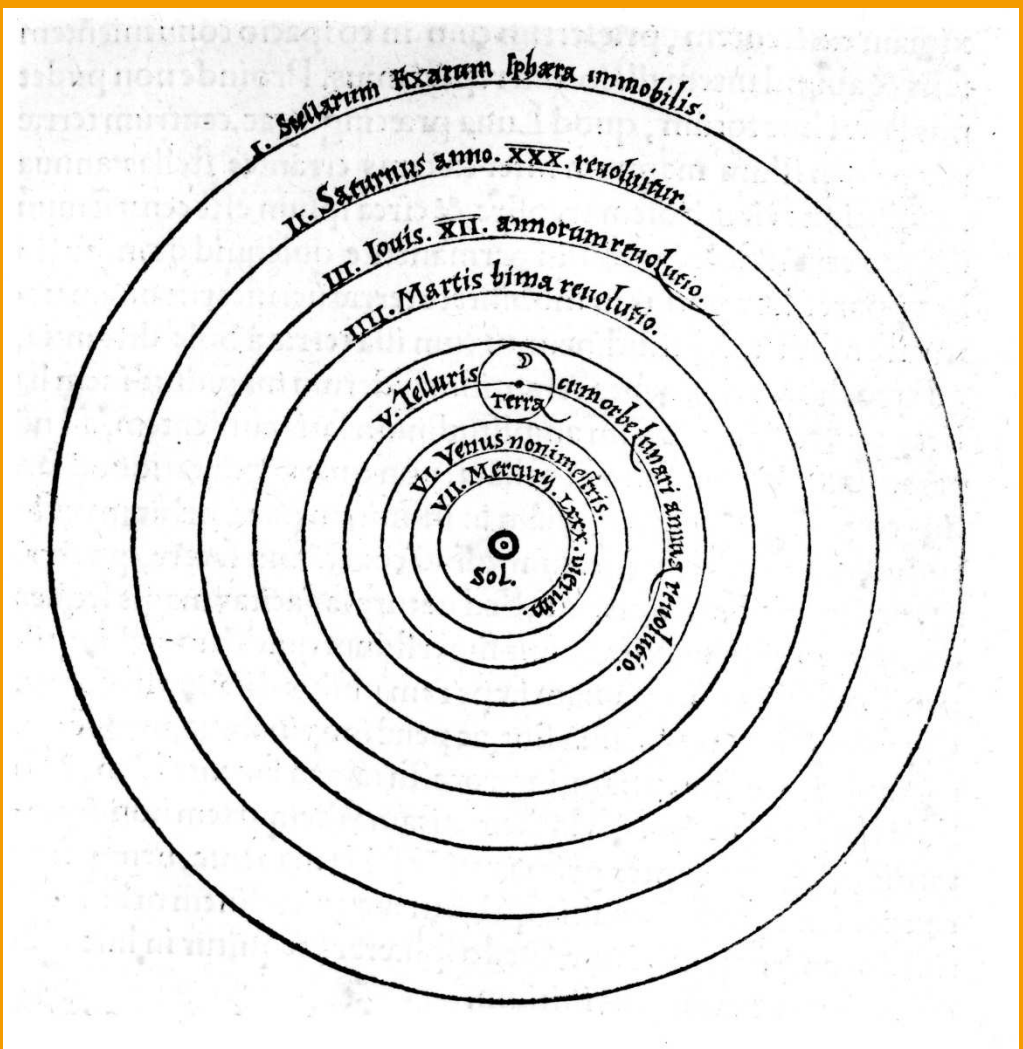
- scholastika měla pro každý z těchto jevů jednu sféru: 1) Slunce se na své sféře otáčí kolem Země jednou za rok; 2) celé nebe se otáčí kolem Země jednou za 24 hodin; 3) kvůli precesi se zaváděla osmá nebo devátá sféra

- teoretická ekonomie kopernikánského systému: tři velké kosmické pohyby se vysvětlují „ekonomičtěji“, tj. třemi pohyby, které náleží jednomu tělesu; kromě toho: „zpětné smyčky“ – retrográdní pohyby jsou vyvolané pohybem Země – planety mají ve skutečnosti kruhové dráhy.

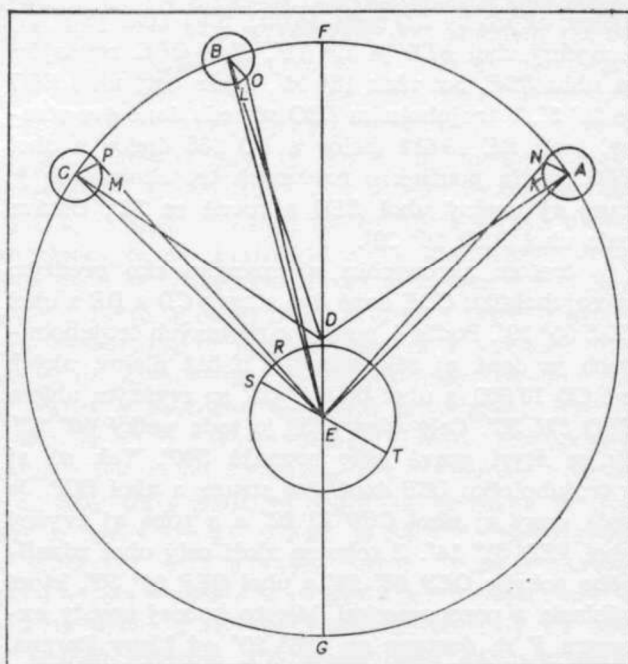
(*Praefatio ad lib. VI*, slov. překl. 461).

od kruhu ekliptiky. A tak teda čo sa tu starí matematici pokúsili dokázať na základe nehybnosti Zeme, hodláme urobiť my, predpokladajúc jej pohyblivosť, azda kratšie a výstižnejšie.

- mnoho astronomických nepravidelností jsou podle Koperníka *iluze vyvolané pohybem pozorovacího stanoviště*. Pohyby Země tak představovaly jednotné východisko celé astronomie – nebylo nutné přidávat ad hoc konstrukce a sféry. Naopak, heliocentrický kosmos je na první pohled elegantní, jednoduchý a symetrický. Tento dojem se snažil vyvolat sám Koperník obrázkem, který vložil do první knihy:



- tento obrázek je iluze nebo „propaganda“; ve skutečnosti je Koperníkova astronomie velmi obtížná; při detailním matematickém vysvětlování pohybů planet působí Koperníkova astronomie působí spleně a nejistě, ba dokonce až nedůvěryhodně.



opozíciu Zeme a planéty. Zisťujeme teda, že v hodine tohto pozorovania v 20. roku Hadriánovej vlády, t.j. 136. roku po Kristu 18. júla o 11. hodine po polnoci bola anomália Saturna od hornej apsidy jeho excentra $56 \frac{1}{2}^\circ$ a stredný komutačný pohyb bol $174^\circ 44'$. Bolo dôležité zistiť to pre ďalší výklad.

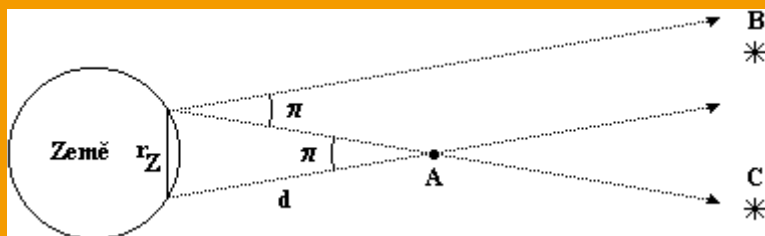
3. Kosmologické důsledky kopernikánského heliocentrismu

1) *Zrušení dělení na supralunární a sublunární sféru.* Homogenizace univerza; povýšení Země mezi nebeská tělesa – stelarizace Země: tomu analogicky odpovídá i telurizace hvězd; z metodologického hlediska odtud pochází také možnost kvantitativního zkoumání průběhu pozemských procesů (matematické poznání bylo dosud vyhrazeno jen astronomii)

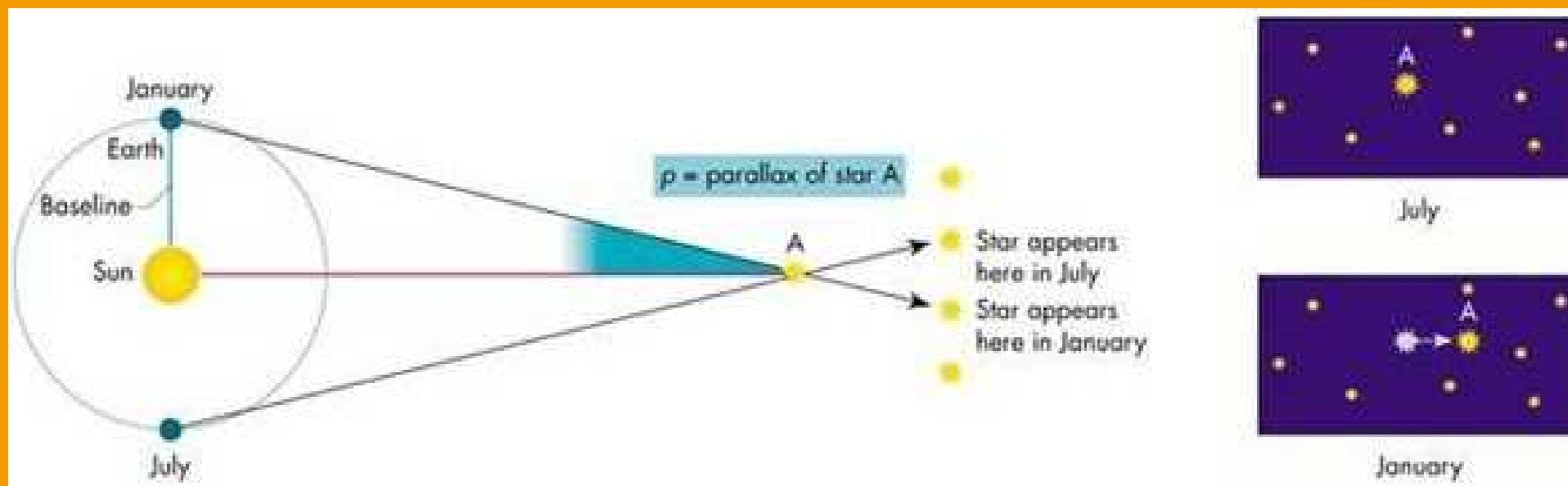
2) *Nutnost nové fyziky.* Aristotelský kosmos je fyzikálně dostředivý: pohyb směřuje od periferie do středu. U Koperníka jsou pohyby vyvolávány v blízkosti pozorovatele – na samotné Zemi. Koperník jen naznačuje, že příčina pohybu nebeských těles spočívá v jejich kulatosti: koule přirozeně inklinuje rotaci a oběhu. Koperník je geometr – pohyb je pro něj korelátem tvaru. Bylo nutné rozvinout novou fyziku pohybu nebeských i pozemských objektů.

3) *Absence měřitelné paralaxy – zvětšení kosmu.*

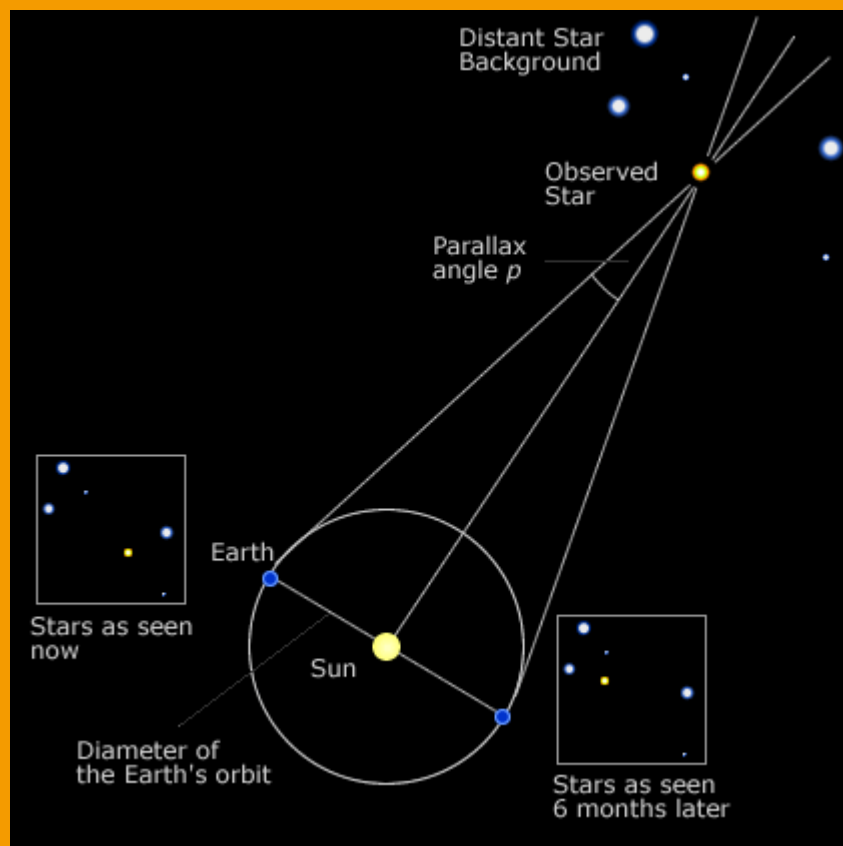
Denní paralaxa



Roční paralaxa 1. obr.



Roční paralaxa 2. obr.



Úhly na obou obrázcích jsou extrémně nadsazené – ve skutečnosti jsou nepatrné! Nejbližší hvězda má paralaxu jen 0,772“
Ve skutečnosti byla změřena až r. 1838 (F. W. Bessel).

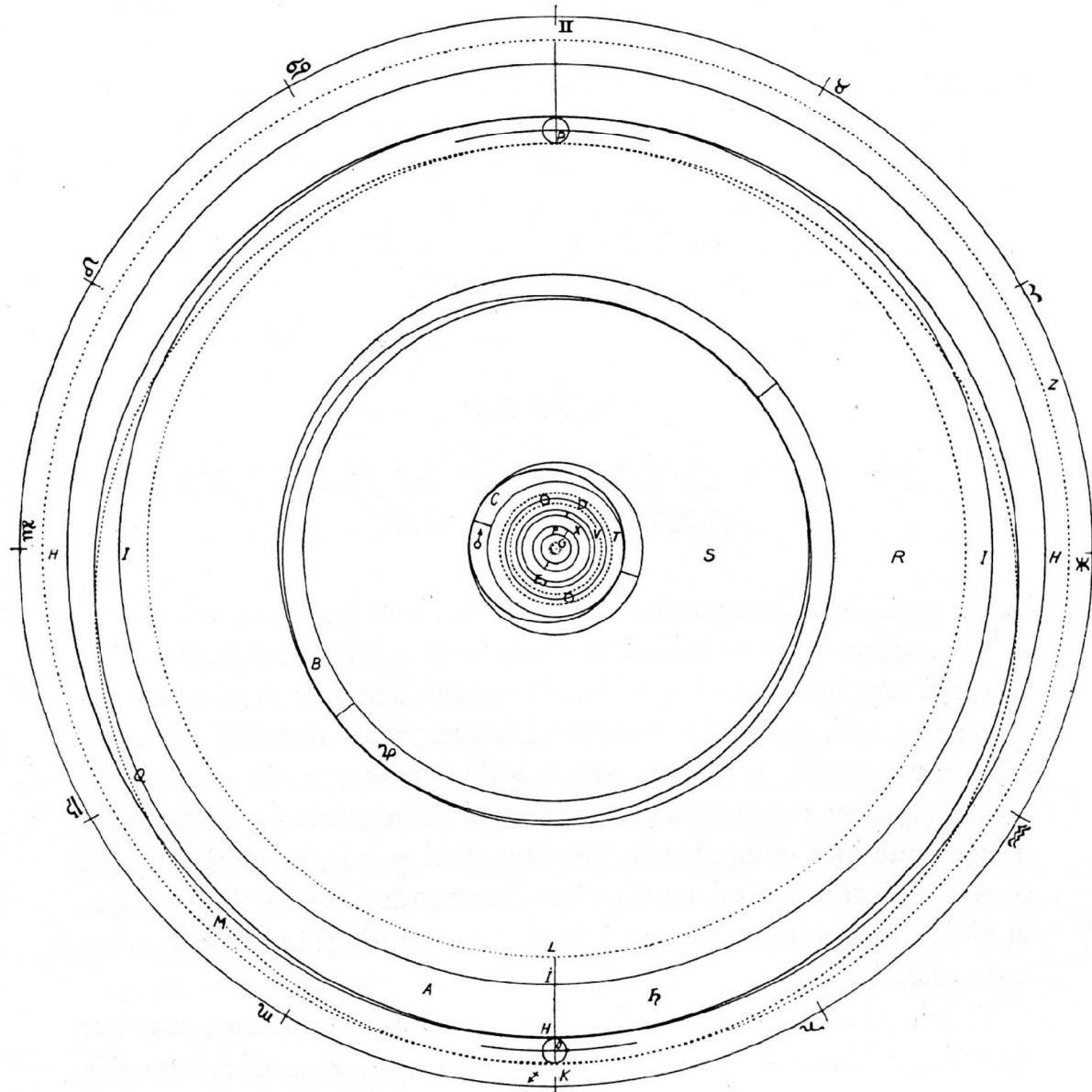
Podle Koperníka je dráha Země ve vztahu ke vzdálenosti hvězd zanedbatelná – jako bod. Vzdálenost Země-Slunce (tedy základnu paralaktického trojúhelníka) odhadoval Koperník na 1000 poloměrů Země. Pro Ptolema byl poloměr Země zanedbatelný, pro Koperníka je zanedbatelná celá dráha Země, tj. jeho kosmos musí být minimálně 1000x větší. Proto podle kopernikánců mezi sférou Saturnu a hvězdami leží obrovský prázdňý prostor – *immensitas : apparet immensus esse coelum.*

4) *Měsíc jako anomálie.* V Koperníkově systému přestal být Měsíc být planetou, která spolu s ostatními obíhá kolem Země – stal se tělesem úplně jiného typu

5) *Prázdno mezi sférami.* V ptolemaiovsko-scholastické tradici k sobě sféry těsně přiléhaly, nebylo mezi nimi prázdno (viz Dukeovu animaci ptolemaiovského systému). U Koperníka se mezi sférami nachází prázdno: Například mezi Sluncem a sférou Merkura se nachází prázdny prostor o velikosti 300rt, pak následuje sféra Merkuru tlustá 216rt, po ní je prázdno 285rt až ke sféře Venuše, která je tlustá 40 rt (tj. mezi vzdálenost mezi aféliem a perihéliem). Mezi sférou Saturnu a Jupitera je pak prázdno o velikosti 3648. Proto také uspořádání sfér v Koperníkově kosmu lépe vystihuje Keplerova ilustrace z *Mysterium cosmographicum* (1596). Je to jeden z mála pokusů o proporčně adekvání znázornění Koperníkova kosmu (viz str. 38).

6) *Zmenšení sluneční soustavy.* Koperník pracoval i s jinými hodnotami vzdáleností planet, především Saturnu : U Ptolemaia a středověkých astronomů byl Saturn, tedy poslední planeta, vzdálen kolem 20 000rt. Koperník ho dává na vzdálenost 11 000rt

TABELLA III. Ostendens veram amplitudinem orbium coelestium, et interstitiorum, secundum numeros et sententiam Copernici.



Ad Cap. 14.
Pag. 49.

4. Koperníkovy důvody pro zavedení heliocentrismu

- v literatuře se objevují zdůvodnění internalistická a externalistická: a) externalistická zdůvodnění – důvod se nachází mimo astronomii – například v renesančním platonismu a jeho světelné metafyzice (T. Kuhn, *The Copernican Revolution*, F. Yatesová, M. Vesel), b) internalistická: Koperník se snažil vyřešit problémy samotné astronomie

- V čem spočívaly problémy astronomie? Nebyla to krize ve výpočtech predikcí: přesnost predikcí prekopernikánských a predikcí dělaných těsně po Koperníkovi a podle jeho astronomie byla zhruba stejná. Neexistovala ani nějaká nová pozorování, tj. v kuhnovských termínech nějaké nové empirické anomálie, které by Koperník zpozoroval a kvůli nim odmítnul staré paradigma – ve skutečnosti byl Koperník mizerný pozorovatel, jeho systém není výsledkem empirie – on byl bytostný teoretik a matematik

- problém byl v instrumentalistickém postavení astronomie.

Osiander – předmluva *Ad lectorem* (s. 51 slov. překl.)

by si zaslúžilo výčitku. Astronóm má totiž usilovným a dokonalým pozorovaním zachycovať priebeh nebeských pohybov a potom tvoriť a vymýšľať ľubovoľné príčiny čiže hypotézy (keďže skutočných príčin sa nijako nemožno dopátrať), aby bolo možné – ak sa predpokladajú tieto príčiny – spomínané pohyby podľa geometrických princípov správne vyrátať tak do budúcnosti, ako aj do minulosti. A práve tieto veci splnil autor vynikajúcim spôsobom. Nie je vôbec potrebné, aby tieto hypotézy boli pravdivé, alebo aspoň pravdepodobné. Postačí celkom to jediné, že dávajú výpočet zhodný s pozorovaním,

- Koperník byl nespokojen s tehdejší matematickou astronomií (dedikační dopis, s. 47 slov. překl.)

tými dokonale neriešia úlohy. Lebo aj keď tí, čo vyšli zo sústredných kruhov, dokázali, že z nich možno zložiť rozličné pohyby, nemohli z toho vyvodit' nič isté, čo by bolo v úplnom súhlase s javmi. Tí zasa, čo vymýšľali excentre, aj keď z veľkej časti zvládli javiace sa pohyby primeranými výpočtami, v skutočnosti pripustili veľa vecí, ktoré zjavne odporujú východiskovým princípom o rovnomernosti pohybu. A nemohli určiť ani odvodiť zo svojich postupov základnú vec, totiž tvar sveta a istú symetriu jeho častí. Naopak, skončili tak, ako keby niekto pozbieral z rozličných miest ruky, nohy, hlavu a iné údy, nakreslené síce veľmi dobre, ale nie v proporciách jedného tela a nijako k sebe nepatriace, takže by sa z nich dala zložiť skôr obluda ako človek. A tak

- „Nacházíme tedy v tomto uspořádání obdivuhodnou symetrii světa a pravé harmonické spojení sfér s jejich velikostí, jaké žádným jiným způsobem nelze najít.“²

- Koperník nebyl revolucionář, jeho důvody byly konzervativní – chtěl se vrátit k dodržování původního řeckého postulátu rovnoměrných pohybů. Jako nejlepší řešení se mu jevil heliocentrismus. Koperníkovi šlo o metodologickou reformu astronomie, heliocentrismus byl v podstatě vedlejší produkt – přesněji řečeno, byla to jen cesta, jak napravit astronomii. Koperníkovi nešlo nešlo o prosazení heliocentrické kosmologie, ale o *reformu astronomie*.

- Smyslem celé reformy totiž bylo vrátit astronomii status opravdového vědění – astronomie už neměla být hypotetická, ale měla poskytovat pravdivé vědění.

- astronomii byl upírán status opravdového poznání, protože používala nevěrohodné kinematické modely – a ty používala proto, že nebe je obtížně zkoumatelný předmět

- Jak tedy Koperník pro astronomii zdůvodňoval možnost poznání struktury kosmu? „...je nemožné získat přesnější vysvětlení pohybů světového stroje, který pro nás (*propter nos*) vytvořil ze všech nejlepší a zákony nejvíce respektující tvůrce.“³ Svět je v souladu s lidským rozumem, protože Bůh není faktor nejistoty, ale platónský Bůh, které respektuje pravidla matematiky. Lidský poznávací a božský stvořitelství intelekt se protínají v matematice. Kosmos je tedy v souladu s kritérii racionalisty: je jednoduchý, harmonický a symetrický.

² Obehy, s. 80. De revolutionibus I, 10, s. 21. *Invenimus igitur sub hac ordinatione admirandam mundi symmetriam ac certum harmoniae nexum motus et magnitudinis orbium, qualis alio modo reperiri non potest.*

³ Kopernik, M.: *Obehy nebeských sfér*. Přel. Z. Horský et al. Bratislava 1974, s. 47. Nicolai Copernici De Revolutionibus libri sex. Ed. R. Gansiniec. In: *Nicolai Copernici opera omnia*. Sv. II, Varsaviae – Cracoviae 1975; Epistola dedicatoria, s. 4. ...*quod nulla certior ratio motuum machinae mundi, qui propter nos ab optimo et regularissimo omnium opifice conditus esset...*

IV. Astronomie přelomu 16. a. 17. století

1. Prvotní recepce Koperníka tři skupiny

a) *Kompromisní pragmatici*. Vážili si Koperníka jako matematika a astronoma, který očistil astronomii od ekvantů – ale neuznávali heliocentrismus jako pravdivý obraz světa. Chápali Koperníkovu matematickou astronomii instrumentalisticky jako hypotézu, která funguje jako dobrý nástroj pro kalkulace: počítali podle kopernikánských modelů a parametrů tabulky pro předpovědi poloh nebeských těles.

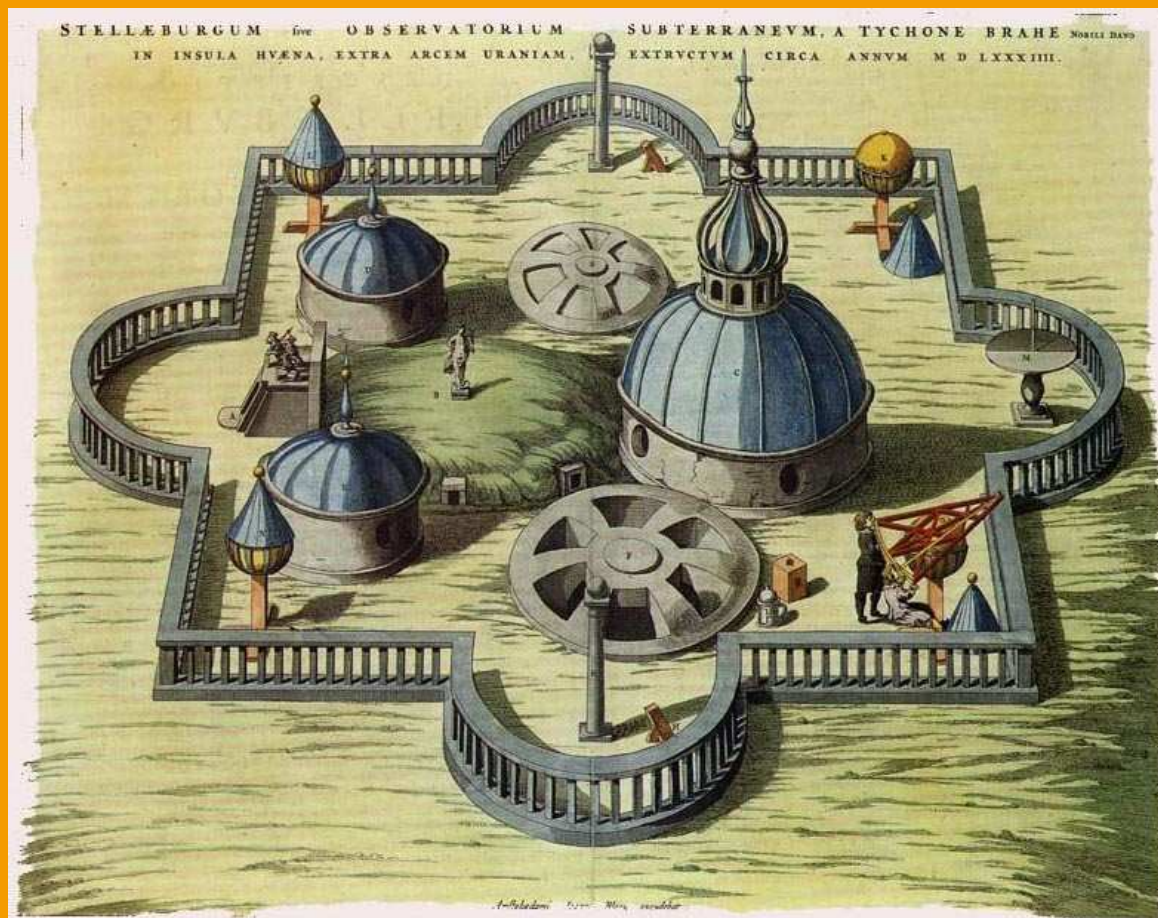
b) *Polokopernikánci*. V mnoha ohledech souhlasili s Koperníkem, provedli některé změny v kosmologii, ale nestali se zastánci heliocentrismu (např. Tycho Brahe)

c) *Kopernikánci*. Mezi lety 1543 – 1616 celkem 9 lidí: mezi jinými Rheticus, Giordano Bruno, Johannes Kepler a pár astronomů v Německu, Anglii a Francii.

Církev až do roku 1616 nejevila o heliocentrismus zájem. K odsouzení heliocentrismu jako hereze došlo až v roce 1616 poté, co se Galileo pokoušel interpretovat bibli v duchu heliocentrismu.

2. Tycho Brahe (1556-1601)

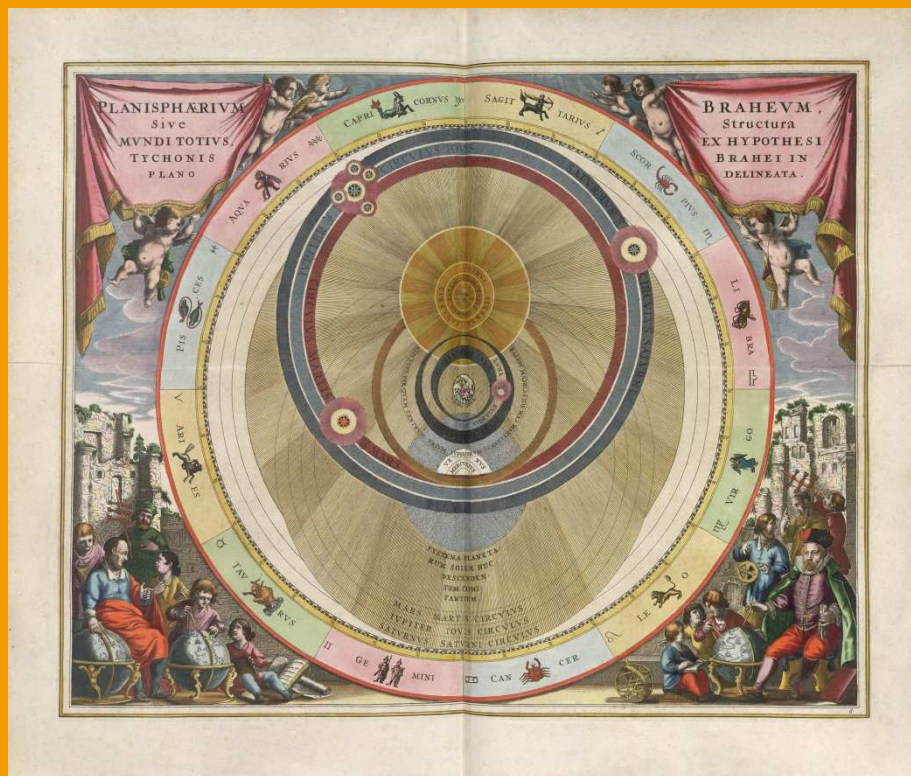
- dánský šlechtic
- vědecká observatoř na ostrůvku Hven (1575-1597): Uraniborg



- červen 1599: Tycho přijíždí do Prahy
- zemřel v říjnu 1601
- nebyl originální teoretický astronom, ale především pozorovatel s trpělivostí a vynikajícími přístroji



- 1) Supernova z roku 1572 v souhvězdí Kassiopeje. Podle aristoteliků to byl atmosférický úkaz. Tycho nedokázal změřit paralaxu objektu (ve spolupráci s jinými astronomy), proto se muselo jednat o vzdálený kosmický objekt. Pokud na nebi dochází ke vzniku a zániku, pak neexistuje hranice mezi neměnným supralunárním světem a proměnlivým sublunárním světem
- 2) Kometa z roku 1577. Podle aristoteliků jsou komety tělesa v atmosféře. Na základě měření paralaxy zjistili, že se musí jednat o objekt v kosmu – ale jestliže kometa volně prochází nebe, pak nemohou existovat žádné pevné sféry. Ujala se představa, že kosmos je vyplněn fluidní hmotou, které se ze setrvačnosti dál říkalo éter.
- Tychonský systém – geoheliocentrický systém. <https://people.sc.fsu.edu/~dduke/ntycho.html>



3. Johannes Kepler (1571–1630)

- v 90. letech učitel matematiky v Grazu
- počátkem roku 1600 přesídlil do Prahy a stal se členem týmu Tychona Brahe a později spolupracovníkem
- po Tychonově smrti byl jmenován císařským matematikem a v Praze pobýval až do roku 1612
- zemřel v Regensburgu 1630 na zápal plic
- v Praze vydal svá nejvýznamnější díla: *Optická část astronomie/Astronomiae Pars Optica* (1604), *Nová astronomie/ Astronomia nova* (1609) a *Dioptrika/Dioptrice* (1611)
 - další práce *Mysterium cosmographicum* (1596), *Harmonices mundi* (1621-1625), *Rudolfínské tabulky* (1627)
 - dnes – enormní badatelský zájem (u nás Horský, *Kepler v Praze*, 1980; Michalík, *Robert Fludd a Johannes Kepler* (2015) – disertace Olomouc: filosofický rozbor).
 - systematicky navazoval na Koperníka a rozvíjel ho – a to na základě teologicko-metafyzických důvodů: Kepler se domníval, že kopernikanismus odkrývá matematický Boží plán stvoření

Mysterium cosmographicum

- hlavní téma : objasnění Božího plánu
- Keplerova epistemologie: založená na poměrně silném antropocentrismu – přesněji řečeno antropofinalismus – cílem a smyslem stvoření je člověk. Kepler v *Mystériu* trvá na tom, že účelem stvoření je člověk a že Bůh při tvoření světa stále myslel na jeho příštího obyvatele.⁴ Epistemologická zvýhodněnost člověka.
- exemplaristický výklad stvoření podobně jako v *Timaiovi*: Svět byl stvořen dokonalý podle idejí, jež Kepler nazývá archetypy a jež podle něj náleží k boží podstatě.⁵ Tyto ideje mají geometrickou povahu, jsou se stvořitelem souvěčné a tvoří základ pro tvoření světa: *geometriae rationes Deo coaeternae sunt*.⁶

⁴ J. Kepler, *Mysterium cosmographicum*, in Johannes Kepler *Gesammelte Werke*, ed. W. von Dyck, M. Caspar et al., 21 sv., München 1938–1999 (dále jen jako KGW), sv. I, s. 30: „... nemo negabit, in domicilio mundi exornando Deum ad incolam futurum identidem respexisse. Finis enim et mundi omnis creationis Homo est.“

• Kepler říká, že dokonalý stvořitel musel nutně stvořit dílo nejvyšší krásy – svět je nejlepší a nejkrásnější (*optimus atque pulcherrimus*).⁷ Harmonie, krása a rozumnost světa tkví především v tom, že je uskutečněnou geometrií. Keplerův stvořitel věčně provozuje geometrii: „*Non aberat... ab archetypo suo Creator, Geometriae fons ipissimus, et, ut Plato scripsit, aeternam exercens geometriam.*“⁸

• lidská mysl je uzpůsobena k tomu, aby nahlížela geometrickou povahu stvoření: „Bůh, který všechno ve světě založil podle kvantitativních norem, propůjčil člověku ducha, který může tyto normy pochopit (...) Duch člověka je stvořen nikoli pro poznávání nějakých libovolných věcí, ale pro poznávání velikostí; chápe věc tím správněji, čím víc se tato věc blíží čistým velikostem, jež jsou jejím původem.“⁹

• Metafyzickou zárukou pro možnost lidské mysli pochopit strukturu skutečnosti je u Keplera především teologické učení, podle něž je člověk stvořen k obrazu božimu – *imago Dei*. „Svět je tělesným obrazem Boha, duše je netělesným, stvořeným obrazem Boha.“¹⁰ „Geometrie je jedinečná a věčná a září v mysli Boha. To, že spoluúčast na ní byla udělena lidem, je jednou z příčin, proč je člověk obrazem božím.“¹¹

• „Bůh chtěl, abychom je poznali, když nás stvořil podle svého obrazu, a tím jsme obdrželi podíl na jeho vlastních myšlenkách.“¹² Podle Keplera je naše kvantitativní poznání, „pokud to zbožnost dovoluje říci, stejného

⁵ J. Kepler, *Harmonices mundi*, KGW VI, 360: „... *ex archetypo mundi, qui est ipsa essentia divina...*“; srov. *Mysterium*, KGW I, 24: „*Cum igitur Idaeam mundi Conditor animo praeconceperit... atque Idaea sit rei prioris, sit vero... rei optima, ut forma futuri operis et ipsa fiat optima: Patet quod his legibus, quas Deus ipse sua bonitate sibi praescribit, nullius rei Idaeam pro constituendo mundo suscipere potuerit, quam suae ipsius essentiae.*“

⁶ J. Kepler, *Epitome astronomiae copernicanae*, KGW VII, 267, srov. KGW VI, 104.

⁷ J. Kepler, *Mysterium*, KGW I, 24.

⁸ J. Kepler, *Harmonices mundi*, KGW VI, 299:

⁹ J. Kepler, dopis Mästlinovi, 19. duben 1597, Nr. 64, KGW XIII, 113: „*Cum Deus omnia ad quantitatis normas condiderit in toto mundo: mentem etiam homini datam, quae talia comprehendat (...) mens hominis non ad quaevis, sed ad quanta intelligenda condita est, remque quamlibet tanto rectius percipit, quanto illa propior est nudis quantitibus, ceu suae origini.*“

¹⁰ J. Kepler, dopis Hervartowi, 9. duben 1599, Nr. 117, KGW XIII, 312: „*Nam mundus est imago dei corporea, animus est imago dei incorporea et tamen creata...*“

¹¹ J. Kepler, *Dissertatio*, KGW IV, 308, cit. dle *Rozprava s hvězdným poslem*, s. 169.

¹² Tamtéž, s. 309: „*Haec sunt intra captum iudicii humani, haec nos scire deus voluit, dum ad suam nos imaginem condidit, ut in consortium earundem secum ratiocinationum veniremus.*“ Srov. KGW VIII, 30.

druhu jako boží“.¹³ Poznáváme-li svět pomocí čísel a geometrie, poznáváme svět stejně jako Bůh, neboť naše schopnosti geometricky myslet jsou stejné.

- Pochopením geometrické struktury vesmíru napodobujeme stvořitelské dílo Boha jako jeho obrazy a završujeme práci, která započala stvořením.¹⁴

- Kvantitativní poznání představuje hranici, za niž člověk nemůže. Jen čísla a velikosti chápe člověk správným způsobem: ale to neznamená, že se stává božským, samotná vůle Boha je člověku nepřístupná. „Jen blázen by se bál, že tím člověka činíme Bohem; neboť rozhodnutí Boha jsou nezbadatelná, nikoli ovšem jeho tělesná díla.“¹⁵

- dokonalá platónská tělesa:

-

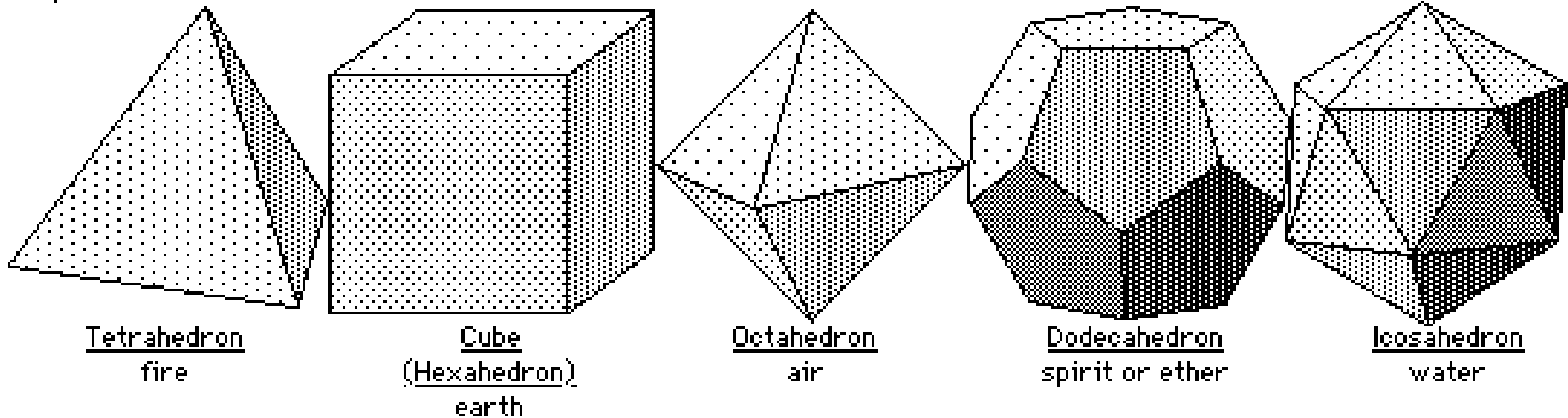
¹³ J. Kepler, dopis Herwartovi, 9. duben 1599, Nr. 117, KGW XIII, 309: „*Quid quidem est in mente hominis praeter numeros et quantitates? Haec sola recte percipiemus, et, si pie dici potest, eodem cognitionis genere cum deo...*“

¹⁴ J. Kepler, dopis Heydonovi, léto 1605, Nr. 357, KGW XV, 235.

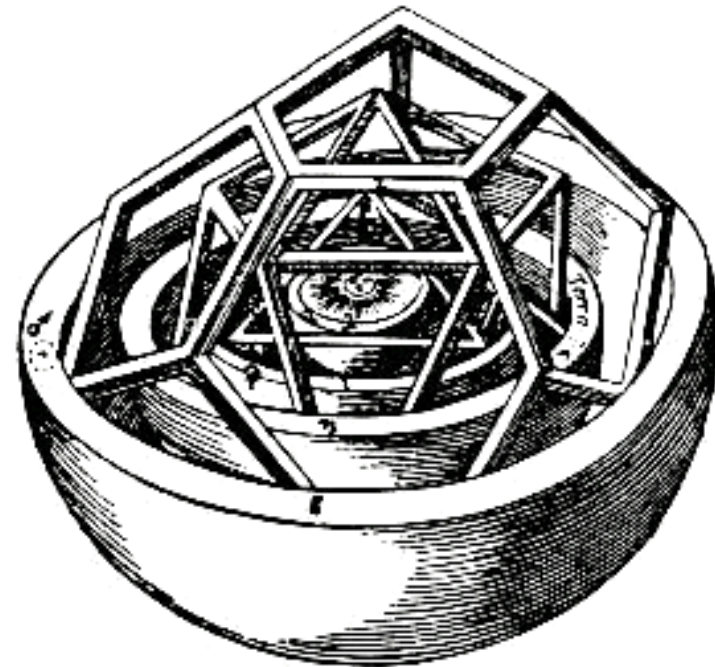
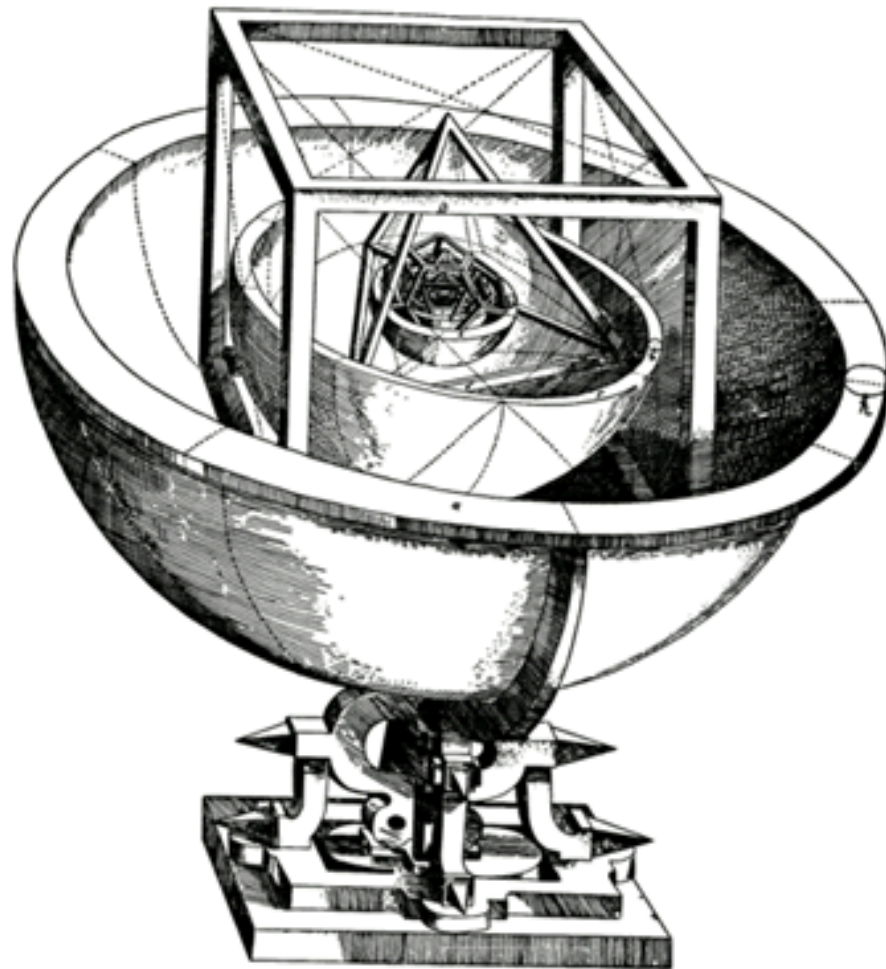
¹⁵ J. Kepler, dopis Herwartovi, 9. duben 1599; Nr. 117, KGW XIII, 312.

The 5 Platonic Solids

Each of these solids are composed of identical regular polygons. The elements Plato ascribed to each of these are listed underneath the name of each solid. Hedron means surface (or in this context, polygon, and tetra means 4, hexa means 6, octa means 8, dodeca means 12 and icosahedron means 20; so these are 4, 6, 8, 12 and 20 polygon-sided objects, respectively. The cube and octahedron are duals, meaning that one can be created from the other by connecting the midpoints of all of the faces. The dodecahedron and icosahedron are also duals. The tetrahedron is a dual to itself.



Kepler's Platonic solid model of the solar system from *Mysterium Cosmographicum* (1596)

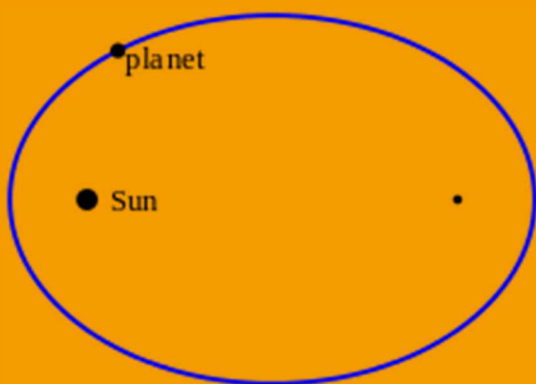


Detailed view of the inner sphere

- tento model se označuje jako „mnohostěnný archetypus“ – je to vzor světa v Boží mysli:
- nebeských těles nemůže být 7 jako v aristotelismu, protože mezi 7 planet se nedá vložit 5 geometrických útvarů – a proto je pravdivý heliocentrismus
- ústřední fyzikální úloha Slunce: u Koperníka nemělo žádnou zvláštní funkci. U Keplera je Slunce duchovní i fyzikální centrum vesmíru, protože právě ze Slunce vyzařuje síla, která udržuje planety na jejich drahách. Svým neustálým působením Slunce zachovává řád světa – podobně jako Bůh.
- alegorizace Trojice: Slunce je podle Keplera Bůh otec, sféra stálic Bůh Syn. Duch svatý je meziplanetární fluidní médium, jímž je přenášena síla Slunce na planety.
- nebeskými tělesy nepohybují ani andělé, ani první hybatel, ale síla pramenící ve slunci.
- Kepler překročil hranice popisné matematické astronomie a pokusil se o fyzikální vysvětlení pohybu planet

2. Astronomia nova a další spisy

- Tycho pověřil Keplera zkoumáním pohybu Marsu
- obtížné výpočty: <http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/lectures/kepler.htm>
- Kepler chtěl zjistit příčiny pohybů a popsat působení fyzikálních sil při oběhu Marsu a dalších planet – víra v jednoduché matematické řešení.
- 1. Keplerův zákon: “Planety se pohybují po elipsách, v jejichž společném ohnisku je Slunce”



- 2. Keplerův zákon: “Plochy opsané průvodičem za stejný čas, mají stejný obsah” (Průvodič planety je spojnice středu planety se středem Slunce.) Tento zákon říká, že v přísluní se planeta pohybuje nejrychleji, v aféliu zase nejpomaleji – to také znamená, že čím je těleso vzdálenější na své dráze od Slunce, tím pomaleji se pohybuje. Keplerův 2. zákon byl později uplatněn i na komety – a platí pochopitelně i pro Zemi: zimní půlrok trvá 179 dní, letní půlrok 186 dní



- dosavadní astronomie spojovala geometrii (tj. kružnice) s jedním druhem pohybu (tj. rovnoměrným, tj. pohybem s konstantní úhlovou rychlostí). U Keplera má příroda matematickou povahu, v níž se vyjadřuje více vztahů než jen rovnoměrnost a kruhovost.
 - William Gilbert, *De magnete* (1600)
 - Kepler: síla, která vychází ze Slunce a udržuje planety v pohybu je síla magnetická. Magnetická struktura každé planety je z magneticky měkkého železa (látky, které se v magnetické poli chovají jako magnety, ale po vyjmutí z magnetického pole své magnetické vlastnosti rychle ztrácejí). Proti tomu Slunce je z magneticky tvrdé látky, tj. je to trvalý magnet, který vlastně aktivuje magnetické vlastnosti planet.

- planety již neobíhají kolem myšlených/geometrických bodů, ale kolem těles
- dynamické pojetí heliocentrismu: Koperník vymyslel *heliostatický* systém, Kepler jej přeměnil ve skutečně *heliocentrický* systém. Centralita Slunce je teprve u Keplera motivována fyzikálně.
- i po objevu zákonů dál obhajoval „mnohostěnný archetypus“
- *Harmonices mundi* (1621) – 3. Keplerův zákon: „Dvojmoci oběžných dob planet (T) jsou v témže poměru jako trojmoci velkých poloos jejich drah (a)“ –

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Z tohoto zákona vyplývá, že čím vzdálenější planety jsou od Slunce, tím více let jim trvá oběh a tím pomaleji se pohybují na svých drahách. Zákon vyjadřuje jednoduchý matematický vztah, který panuje mezi vzdálenostmi planet a jejich rychlostmi.

- harmonie světa: hudba sfér:

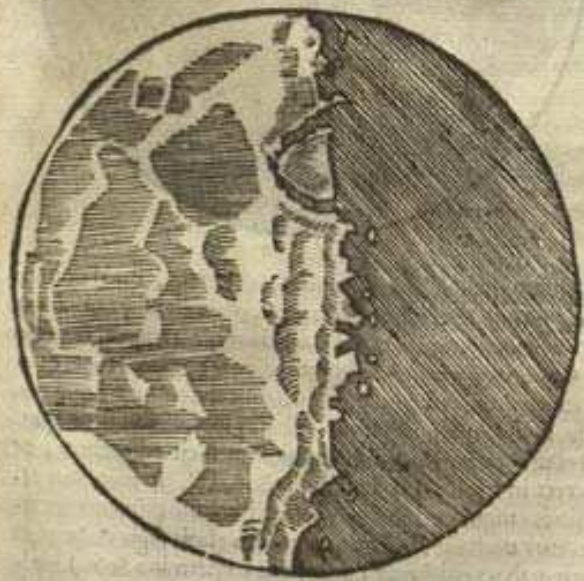
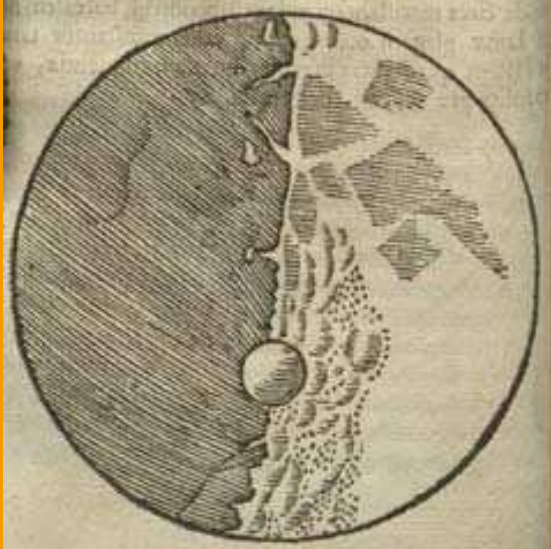


- Pohyb planet se řídí podle hudebních intervalů a tónin. Planety vydávají čtyři typy hlasů: soprán, alt, tenor a bas. Každé planetě jsou v jejích různých polohách přisouzeny různé tóny
- Nechtěl vyvrátit Ptolemaia – vstřícný vztah k tradici, chtěl ji završit.
- Kepler nevytvářel moderní sekulární vědu, byl motivován silně nábožensky.
- Člověk nemá tento svět ovládnout, ale má vplout do vznešeného řádu harmonie univerza – má pokorně splynout s tímto řádem, který je vyjádřením Boha

4. Galileo Galilei (1564-1642) jako astronom

- 1580's – univerzita v Pise, 1590-1610 – Univerzita v Padově, potom matematik a filosof velkovévody toskánského.
- 1616 Galileo se pokouší interpretovat bibli ve prospěch heliocentrismu; papežským dekretem byl heliocentrismus zakázán jako heretické učení
- 1632 – *Dialog o dvou největších systémech světa*
- 1633 – proces – doživotní domácí vězení
- 1609 – konstrukce dalekohledu
- 1610 – *Sidereus nuncius*
- 1) Měsíc. Nemá povrch jako kulečnicková koule.

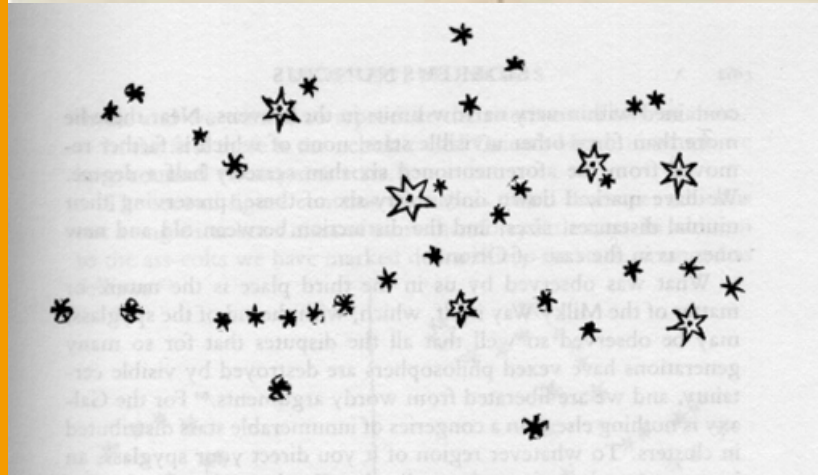
Hæc eadem macula ante secundam quadraturam nigrioribus quibusdam terminis circumvallata conspicitur, qui tanquam altissima montium juga ex parte Solis averfa obscuriores apparent, qua vero Solem respiciunt, lucidiores existant; cus oppositum in cavitibus accidit, quarum pars Soli averfa splendens apparet, obscura vero ac umbrosa quæ ex parte Solis sita est. Imminuta deinde luminosa superficie, cum primum tota ferme dicta macula tenebris est obducta, clariora montium dorfa eminenter tenebras scandunt. Hanc duplicem apparentiam sequentes figure demonstrant.



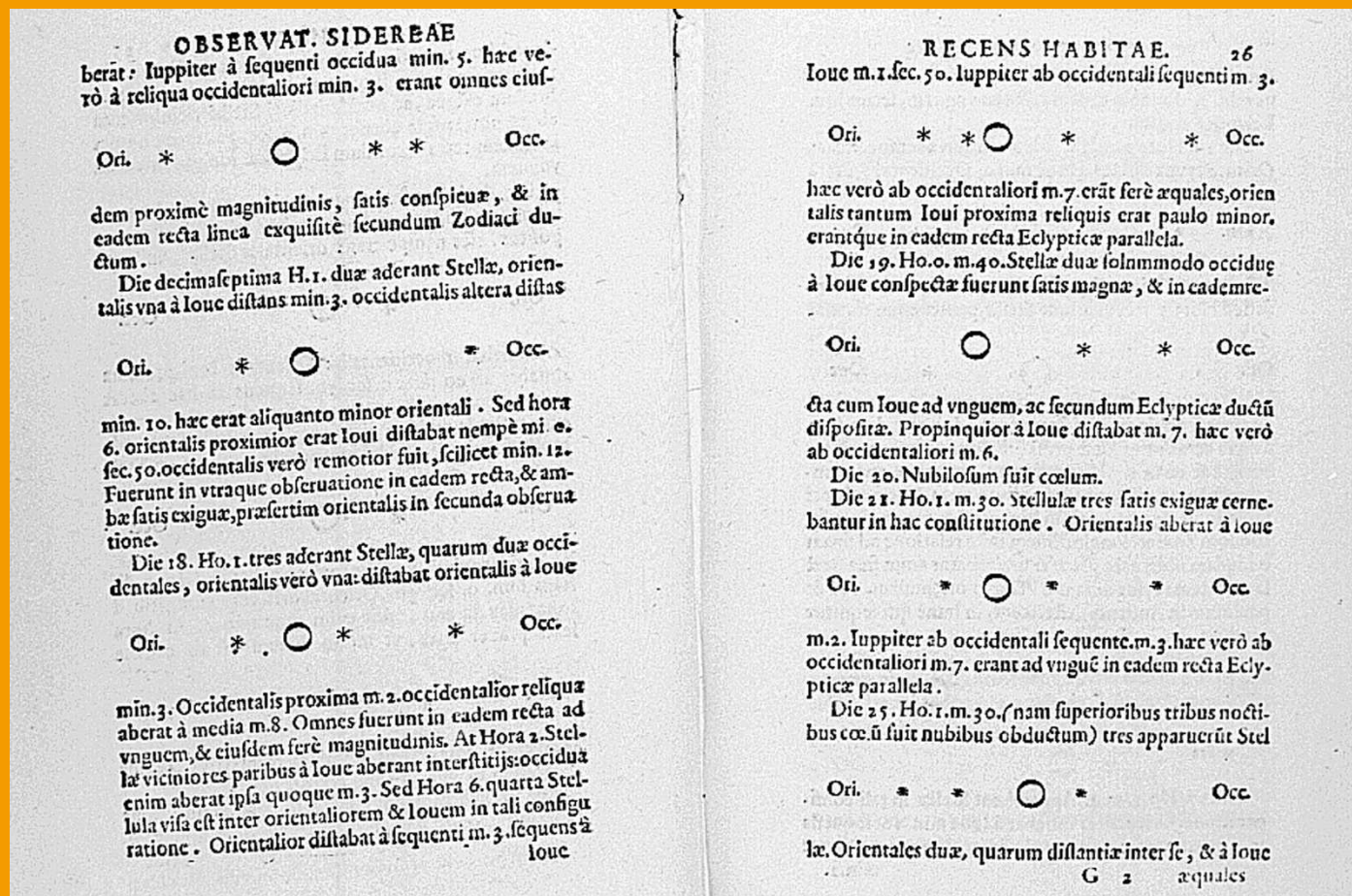
B 2

Unum

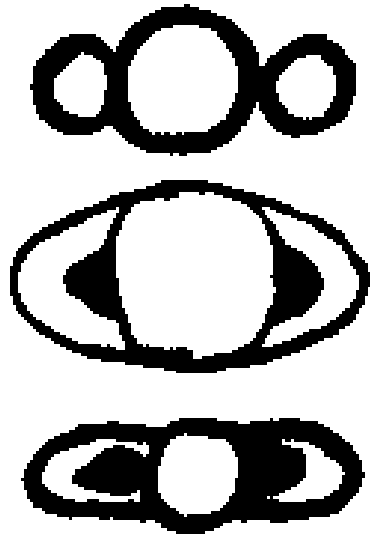
- 2) Hvězdy – „nepředstavitelné množství nových hvězd“!!



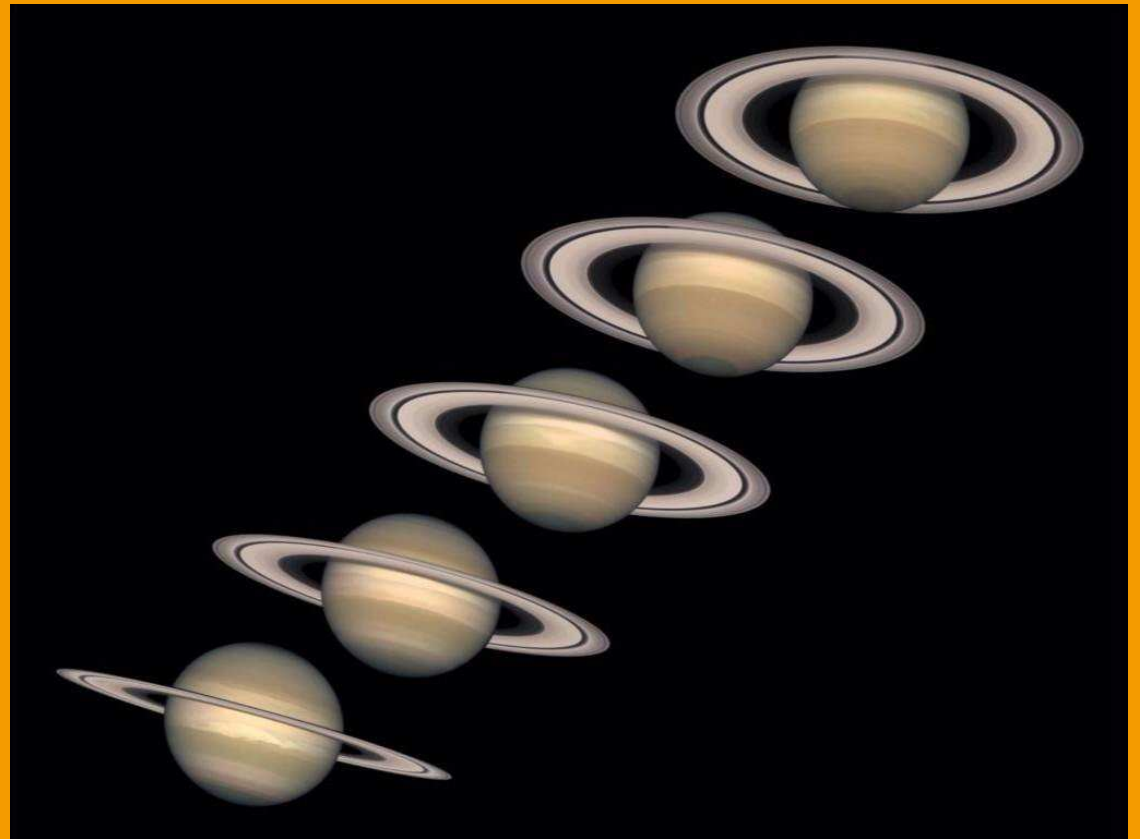
- 3) Medicejské planety – čtyři Jupiterovy měsíce (Io, Europa, Ganymed a Kallisto)
- <https://www.youtube.com/watch?v=zqZEgoJasPQ>



4) Saturnovy „uši“.



These are sketches of three drawings Galileo made of Saturn through his primitive telescope. ("New Worlds," Couper & Henbest, p.86.)

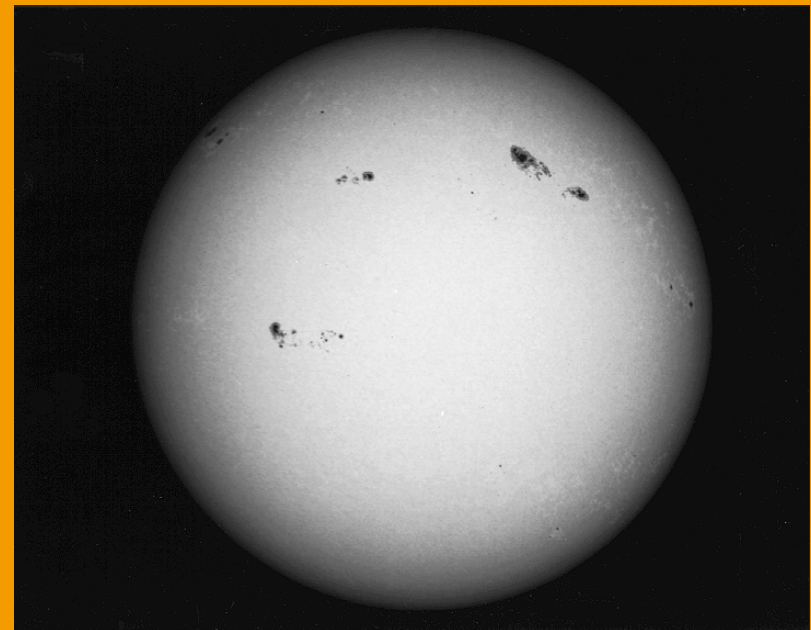


5) Sluneční skvrny.

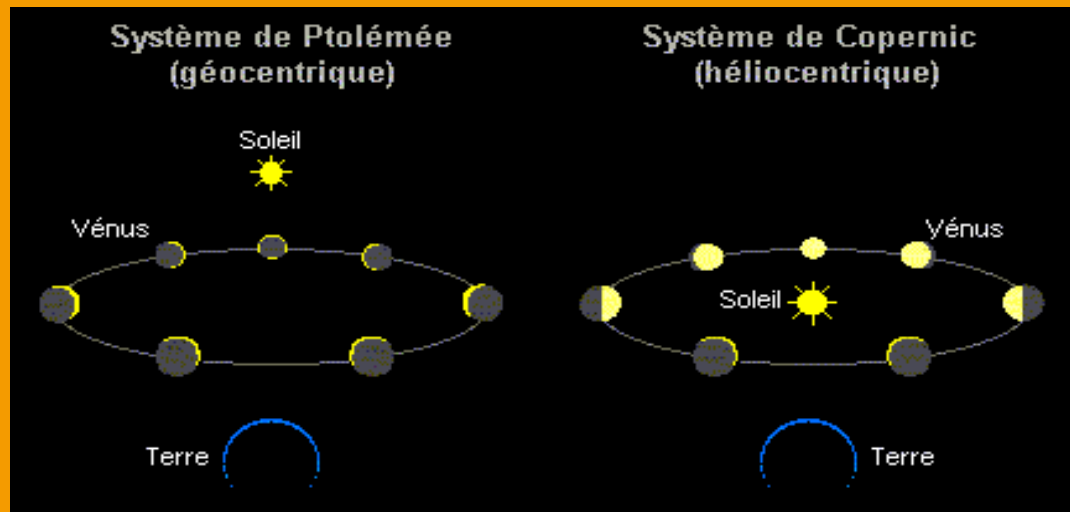
Sunspots drawn by Galileo, June 1612



Sluneční skvrna je oblast na povrchu **Slunce** (ve fotosféře), které magnetické pole zabraňuje v proudění, a tak se vytvářejí oblasti s menší povrchovou teplotou než má okolí. (Wikipedia-CZ)



6) Fáze Venuše



Galileo a komety: Jezuité z absence měřitelné paralaxy vyvodili, že komety musí existovat na nebi. Galileo to popíral.

V. Hlavní argumenty ve sporu o heliocentrismus

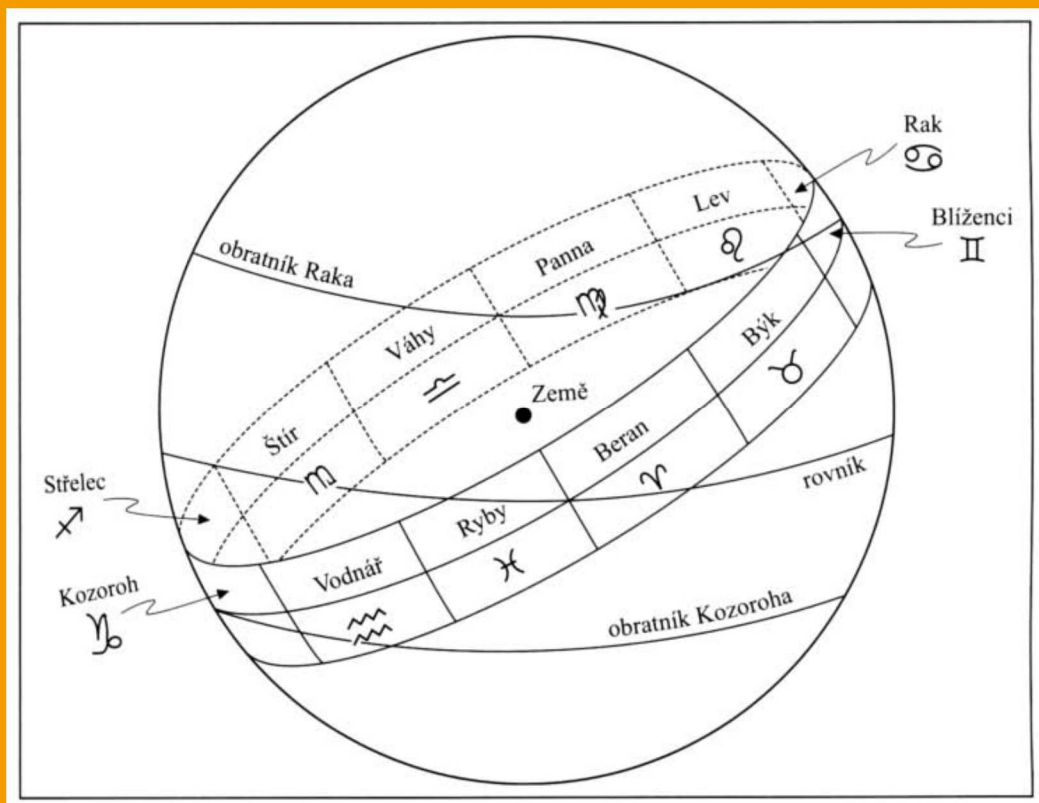
- Giovanni Battista Riccioli, *Almagestum novum*, 1651



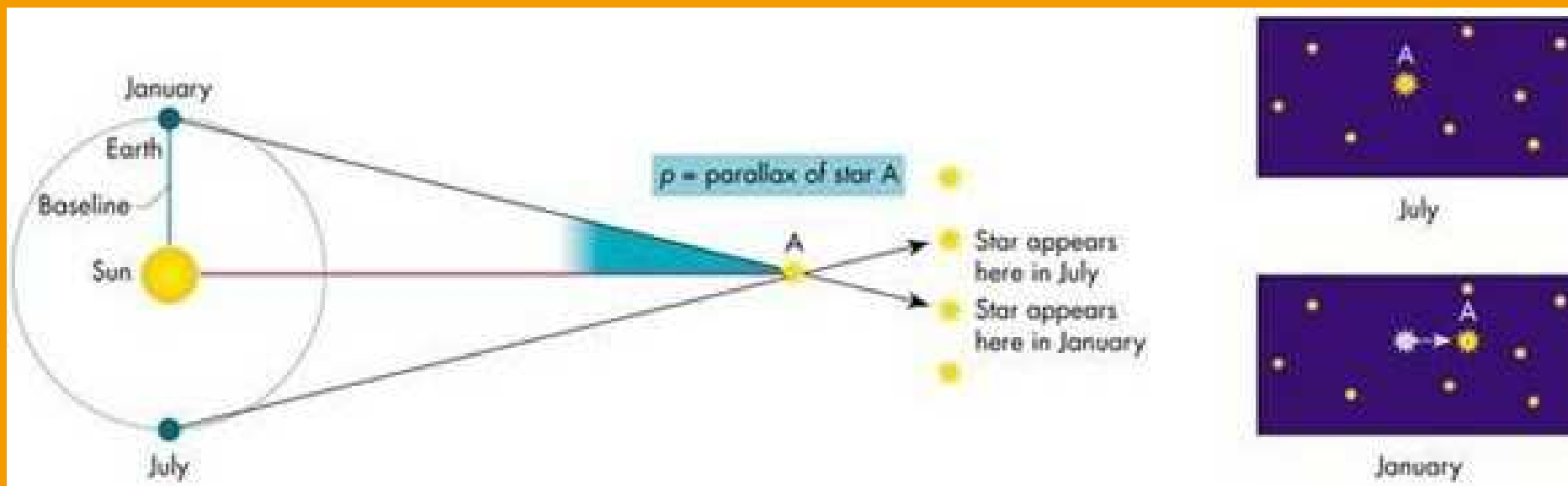
- Riccioliho souhrn všech argumentů ve prospěch heliocentrismu i proti němu, celkem 126, 49 pro Koperníka, 77 proti. Mnoho z nich prohlašuje Riccioli za hloupé.
- spor mezi třemi systémy: geocentrickým, heliocentrickým, geo-heliocentrickým
- argumenty se dělily do čtyř skupin: a) astronomické; b) „fyzikální“; c) metafyzické; d) teologické/biblické

1. Argumenty astronomické

1) *Polovina vesmíru*. Aristarchos ze Samu (3. stol. př. n.), Ptolemaiovy kontraargumenty



2) *Zvětšení vesmíru.* Vzdálenost Slunce od Země se odhadovala na přelomu 16. a 17. století na 1500-2300 rt. V protilehlých polohách zemské dráhy by tedy základna paralaktického trojúhelníku měla tři až čtyři a půl tisíce rt. Geocentričtí astronomové byli přesvědčeni, že tak obrovská základna by musela dát už nějakou zjistitelnou paralaxu. Ve skutečnosti byla paralaxa poprvé změřena C. F. Bessellem až v roce 1838. Podle kopernikánců nejen Země, ale celá dráha Země kolem Slunce je vůči hvězdám jako bod. To ale znamenalo enormní zvětšení vesmíru:



Velikosti a vzdálenosti:

Ptolemaios: vzdálenost sféry Saturnu 19865rt, stálice 20 000rt

Tycho Brahe: vzdálenost sféry Saturnu 13000, stálice – sféra tlustá 100000rt, poloměr kosmu 14 000000rt, paralaxa 2' až 3'

Riccioli: vzdálenost hvězd: 210 000000rt

Galileo: vzdálenost hvězd 13 000 000 rt, odhadovaná paralaxa 30"

Kepler: vzdálenost hvězd 60 000 000 rt, odhadovaná paralaxa 30"

Riccioliho přepočítání kopernikánských parametrů, kdyby paralaxa byla 10": hodnoty velikosti vesmíru mezi 50 000 000 až 600 000 000000rt.

Podle dnešní vědy: Proxima Centauri má paralaxu 0,77233" a je vzdálená asi 6,3 miliardy rt.

Newton kolem roku 1710: vzdálenost hvězd – kolem 20 miliard rt.

představy o velikosti vesmíru se za jedno století (mezi Tychonem a Newtonem) zvětšily milionkrát

Kopernikánci na výtku o zvětšování světa reagovali tak, že si nemůžeme dovolit antropomorfně omezovat boží moc tím, co by pokládáme za veliké, harmonické a přiměřené.

DISTANTIA FIXARVM A TERRA
Ex nostro calculo, posito motu Terræ & Parallaxi
Fixarum maxima 10". & distantijs infrascriptis.

Auctores distantiarum ac Terræ	Dist. ☉ ac Terræ in se- mid.terræ	Dist. Fixarum in semidiam. terræ
<i>Copernicus</i>	1150	47,439,800
<i>Mœstlinus, Galilæus</i>	1208	49,832,416
<i>Keplerus</i>	3469	142,746,428
<i>Lansbergius</i>	1498½	61,616,122
<i>Bullialdus</i>	1460	60,227,920
<i>Herigonius</i>	1200	49,502,400
<i>Vendelinus</i>	14656	604,589,312

3) *Argument velikosti hvězd.* Riccioli ho považoval za přesvědčivý; původ u Tychona Brahe.

Tycho: hvězdy třetí magnitudy mají úhlovou velikost kolem $1'$; jejich velikost musí být minimálně průměr dráhy Země kolem Slunce, tj. $2 \cdot 284 \text{ rt.}$, vzdálené musí být $7 \cdot 850 \cdot 000 \text{ rt.}$ To je absurdní. A co teprve hvězdy 1. a 2. magnitudy? Podle Tychona je svět uspořádán v matematických poměrech a harmonických proporcích, nikoli v obudných disproporcích, jaké představuje kopernikánská vzdálenost a velikost hvězd (*TBOO II*, 435).

Riccioli: úhlová velikost hvězd v dalekohledu odhaluje jejich skutečnou velikost.



Dnes víme, že viditelné disky jsou optické iluze – ve skutečnosti jsou všechny hvězdy bezrozměrné body.

Riccioliho tabulka pro Sirius

(pro Siria uvádí úhlovou velikost 18"; poloměr dráhy Země/Slunce podle Riccioliho je 15 200rt).

a) Geocentrici

Tycho: vzdálenost hvězd 14 000rt, poloměr Siria 0,61 rt

Riccioli: vzdálenost hvězd 210 000rt, poloměr Siria 17,5 rt

b) Heliocentrici I - při hodnotách, které sami kopernikánci uvádějí pro vzdálenost hvězd na základě svých odhadů hodnoty paralaxy

Galileo: vzdálenost hvězd 13 000 000rt, poloměr Siria 1138 rt

Kepler: vzdálenost hvězd 60 000 000rt, poloměr Siria 5232 rt

c) Heliocentrici II –při vzdálenosti, kterou by kopernikánci museli předpokládat, kdyby se počítalo s paralaxou jen kolem 10" (ve skutečnosti je 0,785" pro nejbližší hvězdu)

Galileo: vzdálenost hvězd 49 832 000rt, poloměr Siria 4380rt

Kepler: vzdálenost hvězd 142 746 000rt, poloměr Siria 12 550rt

Wendelinus: vzdálenost hvězd 604 589 000rt, poloměr Siria 53 200rt

(Pro srovnání – skutečná velikost Siria je přibližně 380 rt)

Kopernikánská námitka: Christoph Rothmann v epistolární polemice s Tychonem: „Co je absurdního na myšlence, že hvězda třetí magnitudy je velká jako celá dráha Země? Čím se to protiví Boží vůli, v čem je to nemožné pro Boha? Pokud chceš o něčem mluvit jako o absurdním, musíš nejprve zodpovědět tyto otázky. Lidé často chápou jako absurdní věci, kterým nelze zase tak snad vytýkat absurditu, protože ve skutečnosti Boží moc a moudrost jsou mnohem větší než předpokládají. Předpokládej velikost univerza a velikost hvězd, jak velkou chceš – a stejně nebudou v žádném poměru vůči nekonečnému Stvořiteli. Je dobře známo, že čím větší panovník, tím

větší palác obývá – jak velký palác bys tedy považoval za hodný velikosti Boha?“ (dopis z 18. 4. 1590, *Epistularum astronomicarum libri duo*, 1601, s. 186).

Riccioliho kontraargument: teologická argumentace nepatří do astronomické argumentace založené na matematických datech a výpočtech

Obecně se ale dá říci, že kopernikánci užívali ideu absolutní moci boha ke zpochybnění víry ve svět teleologicky uzpůsobený člověku: proti antropomorfním kritériím rozumnosti, symetrie a proporcí

4) *Achilleův argument*. Riccioliho označení pro nejsilnější kopernikánský argument. Argument se týká pohybu stálic v geocentrickém vesmíru: Stálice se nacházejí na sféře, která je vzdálená kolem 20 000 rt od Země. Tato sféra stálic se otáčí tzv. denní pohybem, tj. 1 x za 24 hodin. To také znamená, že hvězdy na této sféře oběhnou kolem středové Země za jeden den. A to také znamená, že vzhledem ke své vzdálenosti mají hvězdy nesmírně rychlý pohyb – přesněji řečeno, sféra stálic se otáčí velmi rychle. Od konce 16. století se tato rychlost začala vypočítávat: Výpočet nebyl složitý z odhadované vzdálenosti hvězd v rt, tj. z poloměru sféry stálic, se vypočítal průměr sféry stálice, tj. obvodu kosmu. Z tohoto průměru se vypočítal obvod sféry stálic, ten se vydělil 24 a tak člověk získá vzdálenost, kterou hvězdy na rovníku sféry stálic urazí za 1 hodinu.

Clavius: rok 1593: při vzdálenosti hvězd 22 612 rt sféra stálic musí rotovat rychlostí 42 398 437 mil za hodinu; neboli než člověk odřiká Ave Maria hvězdy se posunou o 176 600 mil.¹⁶

Riccioli: rychlost hvězd na rovníku sféry stálic 549 500 rt za hodinu, 152 rt za sekundu, tedy 157 282 německých mil.¹⁷

Mästlin (Keplerův učitel): rychlost hvězd v geocentrickém univerzu – tisíc mil za „jeden úder srdce dítěte stíženého prudkou horečkou“

Kepler: vzdálenost hvězd 48 000 000 rt, rychlost 1 875 000 mil za sekundu.

¹⁶ Clavius, *In Sphaeram Sacrobosci Commentarius* 1610, cap. 1, s. 250.

¹⁷ Riccioli, *Almagestum novum*, 1651, I, 419b.

Podle kopernikánců úhlová rychlost rotace na povrchu Země na rovníku činí kolem $\frac{1}{4}$ míle za sekundu. Dnešní hodnota: obvodová rychlost bodu na rovníku je 465 metrů za sekundu (v Praze 289 m/s a na rovníku 0 m/s). Opakovaně proto zdůrazňovali, přírodně filosofický ekvivalent Occamovy břitvy: *natura semper agit per pauciora magis*.

dva motivy: a) geocentrici: na rotující Zemi hrozí, že objekty odstředivou silou odletí do vesmíru – při zvážení Achillova argumentu: nehrozí mnohem větší nebezpečí, že se roztrhne sféra stálic? b) geocentrici vytýkali kopernikáncům příliš velký kosmos: Ale co je 34 milionů rt proti 150 000 000 rt, které za den musí urazit hvězdy, ptá se Kepler (1606).

Kontraargumenty geocentristů pro Achilleovi:

a) éter je přirozeně disponován k rychlému phybu

b) rychlost rotace sféry stálic zcela přiměřená její velikosti

c) pro Boha není nic nemožné (stejně jako Rothmannův protiargument vůči 3))

2. Fyzikální argumenty

Většina argumentace se soustředila jen na rotaci Země, nikoli na oběh či precesi.

Struktura argumentů proti rotaci byla většinou obdobná: Geocentrici poukazovali na to, že kdyby Země rotovala, muselo by docházet na Zemi k určitým pozorovatelným procesům. Takové procesy nebyly pozorovány, ergo Země nerotuje (a heliocentrismus neplatí).

A. Primitivní argumentace

většinou se opírá o Ptolemaiovy argumenty z *Almagestu* proti Aristarchovi. Připomínám: Země se otáčí směrem od západu k východu.

1) Létající objekty by zaostávaly za rotací Země, a proto by se zdálo, že jsou unášeny k západu.

2) Kolmo vystřelený projektil by dopadl západně od místa vystřelení (Země by se mezitím posunula k východu)

Koperník tyto argumenty předjímal v I. knize *De revolutionibus*. – minimální fyzika rotujícího tělesa: teze které měly postačovat k vyvrácení protiargumentů. Kop., *De rev.* I, 7, slov. překl. s. 72

ad 1) *Sdílený pohyb*. Vše na Zemi sdílí její rotaci.

A čo by sme povedali o oblakoch a ostatných veciach vznášajúcich sa vo vzduchu a stojacich alebo stúpajúcich nahor? Nič iné, iba že sa to pohybuje nielen Zem s vodným živlom, ktorý je k nej pripojený, ale aj značná časť vzduchu a všetko, čo je súrodé so Zemou; deje sa to alebo preto, že primeraná časť vzduchu premiešaného hmotou zeme a vody bude mať rovnakú prirodzenosť ako Zem, alebo preto, že pohyb vzduchu je prevzatý a že ho vzduch preberá od Zeme bez odporu a pod vplyvom neprestajného otáčania. Na druhej strane zasa tvr-

ad 2) *Věcem náleží dva pohyby*. Podle Aristotela mají objekty vždy jen jeden pohyb. Podle Koperníka se tělesa současně snaží vrátit ke svému celku, tj. k zemi, a současně sdílejí rotační pohyb.

Musíme však uviesť, že pohyb padajúcich a stúpajúcich telies je v pomere k svetu dvojitý a celkove zložený z pohybu priameho a kruhového. Teliesá obsahujúce najväčšiu zložku zeme ťahá ich váha k Zemi; je teda nepochybné, že časti si zachovávajú rovnakú prirodzenosť ako ich celok. Neinak je to s tými, ktoré ohnivá sila vynáša do výšky. Veď aj zemský oheň sa živí predovšetkým zemskou hmotou a plameň nedefinujú ináč, len ako horiaci dym.

Koperníkovy protiargumenty byly ignorovány a stále dokola opakovali a variovali původní Ptolemaiovy argumenty: Kdyby země rotovala od západu k východu:

- mraky by byly unášeny od východu k západu;
- šípy by nepadaly zpět na stejné místo, ale západně od něj;
- ptáci by měli potíže při letu k východu;
- cítili bychom silný vír vanoucí od východu k západu etc.

Tychonův argument: když na lodi vyhodíme objekt do vzduchu nedopadne na stejné místo – čím větší rychlost lodi, tím dále objekt dopadne. To samé musí platit i pro Zemi: na Zemi otáčející se k východu, objekty dopadnou západně od místa vyhození.¹⁸

Galileův kontraargument: *Dialog o dvou největších systémech světa* (1632): V podpalubí lodě by se všechny objekty pohybovaly stejně. Nejsme schopni empiricky rozhodnout podle pohybů objektů v podpalubí, jestli se loď

¹⁸ TBOO VI, 220.

pohybuje, nebo ne, protože se vždy dá říci, že objekty sdílejí pohyb lodě. To samé platí i pro objekty na pohybující se Zemi. Podobně i objekty svržené ze stěžně budou padat kolmo dolů. V 30.-50. letech mnoho pokusů se stěžni a loděmi a kouli: často jim to kvůli kolébání a větru vyšlo *antikopernikánsky*, tj. koule nedopadla k patě stěžně.

Riccioli sám ovšem považoval primitivní argumentaci za nedostatečnou k vyvrácení heliocentrismu. Naopak kopernikánské protiargumenty považuje za přesvědčivé.

B. Sofistikované argumenty

Tyto argumenty vycházejí ze znalosti kopernikánských protiargumentů. Protiargumenty v zásadě rozvíjel jen Galileo – Descartes a Newton rozvíjeli už úplně jiný typ fyziky, který se zcela míjel s těmito argumenty založenými v zásadě stále ještě na víře v platnost zásad aristotelské fyziky.

1. *Argument přirozeného pohybu*. Přirozený pohyb živlů – přímočarý, pohyb éteru – kruhový. Země složená ze živlů nemůže mít kruhový pohyb. Kopernikánci měli jinou představu o povaze pohybu: ten podle nich souvisí s tvarem a sférická tělesa jsou náchylná ke kruhovému pohybu.

2. *Dráha pádu*. Tělesa při pádu sledují a) přímočarou dráhu; b) křivočarou dráhu, která se jen *jeví* jako přímočará. Kopernikánci nedůvěřují smyslům a zkušenosti celého lidstva (*opinio communis*).

3. *Střelba z kanónu*. Tycho: Koule vystřelená k západu pak bude mít větší účinky než koule vystřelená k východu, protože rotace Země ovlivňuje impakt koule: při střelbě na východ „terč“ kouli „utíká“, a proto je síla dopadu dvakrát menší než při střelbě na západ, kdy „terč“ jde kouli vstříc. Analogicky pro střelbu do dálky na východ a na západ. Při střelbě z kanónů: měla by se projevovat odchylka od dráhy v závislosti na zeměpisné šířce. Nic z toho není vidět ergo rotace Země je nesmysl.

3. Metafyzické argumenty

1. *Učel prázdného prostoru mezi Saturnem a hvězdami.* Ptolemaios: vzdálenost k Saturnu 19865 rt, ke hvězdám asi 20 000 rt. Kopernikánci: desítky tisíc až miliony rt mezi Saturnem a hvězdami. Mezera mezi Saturnem a hvězdami v kopernikánském systému neodpovídá kráse a harmonii božího díla.

kontra a) nemůžeme podřizovat Boha Stvořitele našim představám o účelnosti a souměrnosti. Bůh má své vlastní záměry, které mohou člověku zcela unikat.

kontra b) Philipp Lansbergen, 1629: sluneční soustava 1. nebe, hvězdy – 2. nebe; empyreum – 3. nebe. Obrovitost 2. nebe jen naznačuje rozlehlost 3. nebe.

2. *Princip jednoduchosti.* Zpravidla variace na Ockhamovu břitvu: Je zbytečné dělat mnoha věcmi něco, co se dá udělat málo věcmi. Kopernikánci: Je jednodušší pohybovat Zemí než celým nebem.

kontra) relativnost lidských kritérií jednoduchosti a ekonomie, která prostě nemusí platit pro Boha a pro nelidsky veliké objekty.

3. *Argument fyzikální vznešenosti.* Metafyzika: klid je vznešenější než pohyb. Kopernikánci: vznešená nebesa stojí, Země se točí.

kontra) pohyb nebe, který nesměřuje k přirozenému místu – ba naopak, který přenáší pohyb z periferie kosmu dovnitř, kde ho předává, je vznešenější než klid.

4. *Argument kosmologické vznešenosti.* Kopernikánci: střed je nejhodnotnější místo v kosmu, a proto se v něm musí nacházet vznešené těleso. Slunce je vznešenější než Země.

kontra) v nadpřirozeném řádu věcí, tedy z teologického hlediska, je nejvznešenější místo periferie kosmu, tedy empyreum – místo blažených a svatých, zatímco střed je vyhrazen pro zatracené.¹⁹

¹⁹ Riccioli, *Almagestum novum*, II, 469.

4. Teologické argumenty

Argumentace postavená na citování biblických pasáží:

1) *Žalmy* 104,5: „Zemi jsi založil na pilířích, aby se nehnula navěky a navždy.“

2) *Kazatel* 1,5-6: „Pokolení odchází, pokolení přichází, ale země stále trvá. Slunce vychází, slunce zapadá a dychtivě tíhne k místu, odkud opět vzejde.“

3) *Žalmy* 19, 5-7: „Bůh slunci na nebi postavil stan. Ono jak ženich z komnaty vyjde, vesele jako rek, když běží k cíli. Vychází na jednom okraji nebes, probíhá obloukem k druhému konci a nic se neskryje před jeho žářem.“

4) *Jozue* 10,12-13: „Tehdy mluvil Jozue k Hospodinu, v den, kdy Hospodin vydal Izraelcům Emorejce. Volal před očima Izraele: ‚Zmlkni, slunce, v Gibeónu, měsíci, v dolině Ajalónu‘. A slunce zmlklo a měsíc stál, dokud lid nevykonal pomstu nad svými nepřáteli. (...). Slunce stálo v polovině nebes a nepospíchalo k západu po celý den.“

- středověk – čtverý smysl Písma: a) přímý, doslovný; b) alegorický; c) morální; d) anagogický
- v 16. století – opuštění této středověké hermeneutiky
- protestanté: osobní zkušenost s Božím slovem, odmítání sofistických a spekulativních teologických interpretací – interpretační libovůle: ke každému hovoří Zjevení jinak (mnoho sekt)
 - katolíci: Tridentský koncil (1545-1563): bibli mohou interpretovat pouze představitelé církve, výslovný zákaz laických interpretací; příklon teologů k doslovnému významu. *Index librorum prohibitorum*.
 - až od poloviny 16. století se z geocentrismu stalo teologické téma – ba dokonce součást víry! Teprve od 16. století se rozvíjí cosi jako *ortodoxní kosmologie*.
- strategie kopernikánců:
 - a) odmítali, že by v bibli bylo něco výslovného proti heliocentrismu.
 - b) snažili se nacházet v bibli místa svědčící pro heliocentrismus – ale to se moc nedařilo.
 - c) *princip akomodace*.

Galileova hermeneutika bible

- 1615 dopis velkovévodkyni Kristině Lotrinské, volně šířený
- metodologie výkladu bible (hermeneutické principy)
 - 1) princip akomodace. Bible byla určena pro prosté lidi – pro pastevce a pro sedláky. Když tedy Bůh formuloval své poselství, přizpůsobil (*accomodare*) formu tohoto poselství chápání prostých lidí. Asi jen těžko by mohl někdo pasáčkům ovcí sdělovat, že během noci se Země otočila k východu, takže centrálně umístěné Slunce začalo ráno vystupovat nad horizont.
 - 2) princip relevance pro spásu. Bible má poskytovat vedení ve věcech morálky a víry, ale neslouží jako zdroj poučení o přírodě. Kardinál Baronius: „bible nás učí, jak se chodí nebe, nikoli jak to chodí na nebi.“ Údaje o přírodě jsou alegorie pro morální a věroučené pravdy.
 - 3) princip přehodnocení výkladu bible. Augustinus (*De genesi ad litteram*): pokud se objeví nějaký dokázaný vědecký poznatek a tento dokázaný poznatek bude v rozporu s dosavadním výkladem bible, pak je třeba biblický text vyložit znovu. Písmo má ovšem větší autoritu než hypotézy, které dosud nebyly potvrzeny. Galileo se domníval, že heliocentrismus dokazuje jeho teorie přílivu a odlivu. Podle této mylné teorie jsou slapové jevy vyvolávány rotací Země kolem osy a jejím ročním oběhem kolem Slunce.
 - Galileův oponent kardinál Roberto Bellarmin:
 - ad 1) nesouhlasil s principem akomodace a byl pro doslovné čtení. zastánce doslovného čtení a proti principu akomodace.
 - ad 2) Vše v bibli je pravda a vše je důležité pro spásu.
 - ad 3) Bellarmin souhlasil s principem, ale domníval se, že heliocentrická teorie ještě nebyla přesvědčivě dokázána. Bellarmin nebyl zaslepený fanatik: Církev podle něj nebude mít námitek, když bude heliocentrismus brán jako nepotvrzená hypotéz.
 - 1616: Galileovi Bellarmin nařídil, aby se do teologických věcí již nepletl a aby se přestal zabývat tématem pravdivosti heliocentrismus. Samotné učení pak bylo speciálním dekretem odsouzeno jako hereze.

VI. Galileova přírodní filosofie

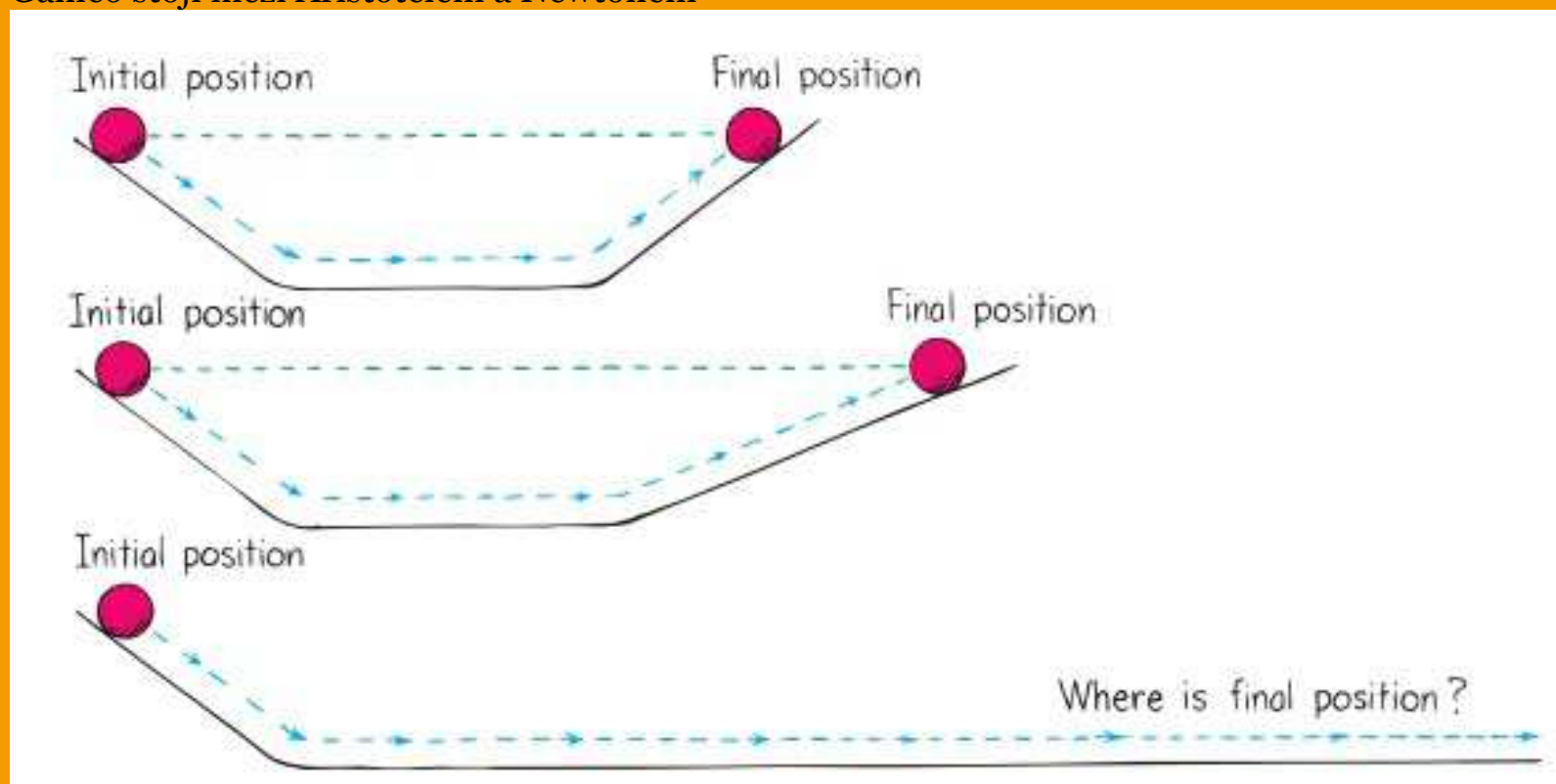
- Galileo Galilei (1564–1642), Florencie, Pisa – spis *De motu*,
- 1592 – 1610 Padova
- 1609 – vynález dalekohledu, březen 1610 *Sidereus Nuncius*
- 1610 „první matematik a filosof velkovévody toskánského“
- 1615 – dopisy o biblické hermeneutice
- 1616 – Koperník na indexu, Galileo od Bellarmina dostal zákaz
- 1622 – *Il Saggiatore*
- 1632 – *Dialog o dvou největších systémech světa*
- 1638 - *Rozpravy o dvou nových vědách*

1. Zákon volného pádu

- vyvrácení aristotelské fyziky
- dvě koule 5kg , 1kg padají z výšky 100 m – když pětikilová dosáhne Země, kilová urazí teprve 20 m, protože je 5x lehčí a urazí jen pětinu vzdálenosti
- Co by se stalo, kdyby k sobě koule byly přivázané drátem?
- Podle Galilea tělesa ze stejného materiálu padají stejně rychle bez ohledu na hmotnost.
<https://www.youtube.com/watch?v=cF3MjOWn3xA>
- experimenty – možná na věži v pise, ale především s nakloněnými rovinami
- <http://www.pbslearningmedia.org/resource/phy03.sci.phys.mfw.galileoplane/galileos-inclined-plane/>
- dráha se rovná druhé mocnině času: Jestliže kulička urazila 4 stopy za 2 sekundy, tak za tři sekundy urazila 9 stop, za čtyři sekundy 16 stop atd.
- $s = t^2$, $s = \frac{1}{2}gt^2$
 - animace experimentů: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/physics/galileo-experiments.html>

2. Princip setrvačnosti

- moderní formulace: *Těleso zůstává v klidu nebo pohybu rovnoměrném přímočarém, není-li nuceno vnějšími silami tento stav změnit.*
- Galileo stojí mezi Aristotelem a Newtonem



- „(...) pohyblivé těleso po odstranění všech vnějších a náhodných překážek se pohybuje po nakloněné rovině při zmenšování sklonu roviny stále pomaleji, takže nakonec se pomalost stává nekonečnou, když se úhel rovná nule a stává se vodorovnou rovinou (...) Ale pohyb po vodorovné čáře, která není ani nakloněná, ani zvednutá, je *kruhový pohyb okolo středu*; z toho vyplývá, že tento pohyb nedostaneme přirozenou cestou bez předcházejícího pohybu po přímce – ale pokud se ho jednou podaří dosáhnout, *bude probíhat věčně se stejnou rychlostí*.“²⁰

- není to moderní pojem setrvačnosti, protože pohyb po horizontále je ve skutečnosti podle Galilea pohybem kolem středu Země – tj. po zemském povrchu.

- za autora principu bývá považován Galileo i Descartes – podle toho, jak moc se zdůrazňuje aspekt přímočarosti

- Aristotelské pojetí pohybu – princip terminálnosti pohybu: Podle něj každý pozemský pohyb dříve či později ustane návratem na přirozené místo. Galileův princip setrvačnosti říká, že těleso na dokonale hladké pološe by se buď nepohybovalo vůbec, anebo by se pohybovalo neomezeně dlouho, pokud by bylo předtím uvedeno do pohybu. Zde se rodí moderní fyzika: *To, co si vyžaduje kauzální vysvětlení není pohyb, ale změny pohybu – tedy zrychlení, nebo zpomalení, která jsou výsledkem nějakého silového působení.*

- a) zrušení ontologického hiátu mezi sublunární a supralunární sférou v teorii pohybu
- b) aristotelská rezidua: rozlišování několika druhů pohybu - volný pád, šikmý vrh (objevil, že projektil má dráhu paraboly), rotační pohyb, setrvačný pohyb. Pro Descarta a Newtona o něco později už existuje jenom vlastně jenom jeden druh pohybu – totiž rovnoměrný přímočarý – všechno ostatní je výsledek silového působení.
- c) Princip setrvačnosti byl důležitý v kosmologické a fyzikální argumentaci ve prospěch heliocentrismu – vysvětloval chování projektilů na rotující zemi

3. Galileova matematizace přírody

- Matematika se před Galileem používala k výkladu přírodních jevů pouze v astronomii a v optice: tj. uplatňovala se na božské prvky, které nebyly součástí světa elementů – nebesa a světlo.

- za empirickými procesy se skrývá nějaká matematická idealita

²⁰ Galilei, *Dialóg*, s. 35.

- „Filosofie je napsána v této velké knize vesmíru, která je ustavičně otevřena našemu pohledu. Ale člověk nemůže této knize porozumět, pokud se nejprve nenaučí chápat její jazyk a číst písmena, jimiž je napsána. Je napsána jazykem matematiky a jejími písmeny jsou trojúhelníky, kružnice a další geometrické útvary, bez nichž je lidsky nemožné porozumět jejímu jedinému slovu.“ (*Il Saggiatore*, p. 158)

- zjednodušené situace, ve kterých se jev objeví v čisté podobě – když se odhalí jeho matematicky ideální podstata. Jedno z znázornění volného pádu:

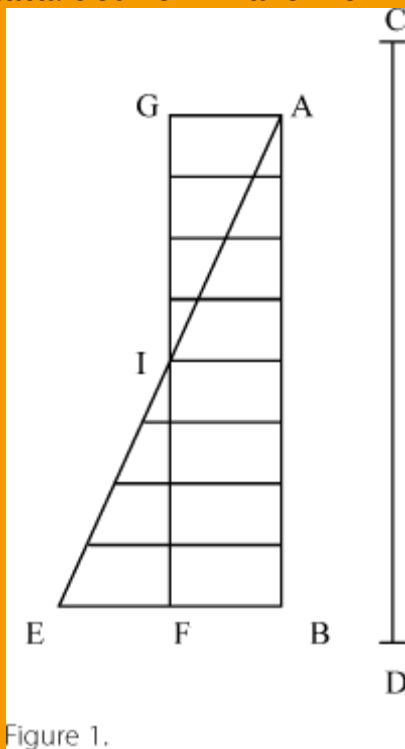


Figure 1.

- Galileovský experiment je založený na pochopení nějaké souvislosti, která umožní vytvořit umělou situaci (pohyb po nakloněné rovině), během níž se ukáže ideální matematická podstata zkoumaného jevu (volného pádu). Jejím matematickým vyjádřením vzniká empirický zákon.
- důležitá úloha měření: přeměna vjemů na čísla, smyslové kvality nahrazuje matematika

- Dochází k převádění smyslových kvalit na čísla, a tím se ze smyslových vjemů stávají fyzikální veličiny. Nová přírodní filosofie, nová galileovská věda, ale nematematizuje fenomény, ale obraz jevového světa – totiž obraz, který získává experimentováním a měřením.

- odmítnutí sekundárních kvalit: „Myslím, že chutě, vůně, barvy a tak dál jsou jen pouhými jmény, pokud jde o objekty, do kterých je umisťujeme, a že sídlí jen v našem vědomí. To znamená, že pokud by byly odstraněny živé bytosti, všechny tyto kvality by byly odstraněny a zničeny.“ (*Il Saggiatore*, p. 89).

- přírodní filosofie/fyzika opouští svět přirozené zkušenosti – tzv. vědecký obraz světa nebo přírody. Vědci vs. fenomenologové

- Galileiho matematická přírodní filosofie byla stále ještě z větší části kinematikou podobná prekeplerovské astronomické kinematice:

- a) Galileo se snažil zkonstruovat vždy kinematický model izolovaného jevu: volného pádu, letu projektilu, kývání kyvadla atp. Svět se mu tak rozpadá na partikulární a izolované modely různých jevů. Rozděluje přírodu na soubor izolovaných jevů, z nichž každý je popsán speciálním zákonem napsaným v jazyce matematiky (zákon volného pádu, parabolický zákon šikmého vrchu, zákon pohybu kyvadla, zákon setrvačnosti.) Schází koncepce interakce těles.

- b) Galileovým je matematicky popsat průběh nějakého jevu, aniž by se ptal na příčiny. Galileo je „šťastný pozitivista“: on popisuje, co se děje – on převypráví události fenomenálního světa jazykem matematiky. Galileo necítí potřebu vysvětlit, jak to, že je pohyb zrychlený: pro něj je to prostě fakt, který chce přesně popsat.

- c) Galileo se stále dívá na svět jako geometr. Řád světa je stále tvořen geometrickým uspořádáním: také u něj se planety, ale i pozemská tělesa pohybují po kružnicích. Je to harmonické, geometrické uspořádání těles, která na sebe nepůsobí – jen sledují své geometrické trajektorie.

- d) Galileo tedy nebudoval svou přírodní filosofii jako systém. Jeho fyzika nabízí partikulární zákonitosti, partikulární regularity, které se týkají izolovaných jevů. Newtonovy *Principy* začínají stanovením *axiomata sive leges motus*. Z nich se pak vyvozuje celá mechanika hmotné přírody. Tato teoretická ambice u Galilea ještě schází.

VII. Descartova přírodní filosofie

- moderní „epistemologické“ čtení Descarta – mimo *Meditací* a první knihy *Principů* je vše ostatní překonané a nezajímavé
- *Principy filosofie* (1644) – I. epistemologie + metafyzika; II. hmota a pohyb; III. vznik a uspořádání kosmu (teorie vírů); IV. Vznik Země a různé pozemské jevy
- medicínský výklad člověka ve spisu *O člověku* a ve *Vášních duše*
- matematika a optika - *Geometrie*, *Dioptrika* a *Meteory*

1. Východiska karteziánské fyziky

- tři substance: *Deus*, *substantia cogitans* a *substantia corporea (extensa)*
- tělesná substance – atribut rozlehlost – mody: tvar, pohyb, poloha, dělitelnost částí
- existují pouze primární kvality, sekundární jsou fantomy v našich smyslech
- Tělesná substance vyplňuje vše. Prostor = extensio
- První východisko: prostor je beze zbytku vyplněn tělesnou substancí neboli hmotou: prostor splývá s hmotou a hmota s prostorem
- Druhé východisko: vedle hmoty vyplňující prostor je ve tělesném světě ještě pohyb. Příroda tedy pro Descarta není ničím jiným než látkou a pohybem, který způsobuje rozmanitost jejích forem.
- Důsledky:
 - a) Homogenizace přírody
 - b) Nekonečnost prostoru: svět máme chápat jako svět bez hranic, jako neohraničený *interminatum*. Pozitivně pojatý atribut nekonečnosti náleží pouze Bohu. Země a sluneční soustava jsou banální součásti bezmezného kosmu.
 - c) Neexistují atomy jakožto nedělitelné části hmoty. Ale existují dělitelné korpuskule – ty jsou různě velké a úplně zaplňují prostor jako kuličky.
 - d) Prázdno neexistuje.

2. Prostor a pohyb

- 1) Vír. Ztotožnění hmoty s prostorem vede ke vzniku „kruhů“ pohybované hmoty: tělesa/korpuskule se vzdájemně vytlačují a vytvářejí větší či menší víry.
- 2) dva typy pohybu: a) pohyb ve vlastním/náležitým smyslu (*proprie*) a v b) běžném smyslu (*vulgare*).
- a) přemísťování jedné části hmoty, tj. jednoho tělesa, „*ze susedství těch těles, která se ho bezprostředně dotýkají a které chápeme jako by byla v klidu, do susedství jiných těles.*“
- pohyb jako princip individuace – vyděluje těleso z okolní homogenní materiální rozlehlosti. Podle Descarta jádro ořechu vzniká teprve v procesu, kdy se odděluje od skořápky. Loď se vyděluje z hmoty-řeky, když se začne pohybovat vůči řece.
- b) smyslově vnímatelný pohyb. Loď unášená proudem řeky je nehybná *ve vlastním smyslu* (splývá s hmotou řeky), v *běžném smyslu* se však pohybuje vzhledem ke břehům.
- relační chápání pohybu – v protikladu vůči pohybu v newtonovském absolutním prostoru: U Newtona se pohybují tělesa v prostoru jakoby v jakési obrovské nádobě, u Descarta se tělesa pohybují vůči sobě navzájem.
- Rozdíl mezi rychlostí tělesa a susedního prostředí je kritériem jeho existence. Dynamická koncepce univerzta. Neplatí již statický řád ani statická harmonie těles, která jsou buď v klidu, nebo se pohybují kolem svých neměnných středů.
- Tímto způsobem lze „*vysvětlit všechny jevy přírody*“.

3. Zákony přírody

- dvě příčiny pohybu:
- a) První je Bůh, *univerzální* a primární příčina všech pohybů ve světě. b) Druhou příčinou, která není *univerzální, ale zvláštní*, jsou zákony přírody, která dávají pohyb jednotlivým částem hmoty, tj. jednotlivým tělesům.
- a) Bůh – univerzální příčina: Podle Descarta Bůh na počátku stvořil hmotu spolu s fixním množstvím pohybu a klidu. V dalších okamžicích existence světa pak Bůh zachovává ve hmotě stejnou kvantitu pohybu, *kolik*

do ní na počátku vložil. Tomu se někdy říká první zákon zachování hybnosti – hybnost (velikost pohybu) celého vesmíru zůstává stále stejná. Teologické zdůvodnění: Bůh jako garant fyzikální konstantnosti univerza.

• b) Zvláštní příčiny – zákony pohybu:

1) Každá věc, která je jednoduchá a nedělitelná, pokud to závisí na ní, setrvává vždy v tom samém stavu a mění ho jen kvůli vnějším příčinám.

2) Každá část hmoty sama od sebe usiluje pohybovat se jen ve směru přímočarém, nikoli zakřiveném.

3) Při srážce se silnějším tělesem neztrácí těleso nic ze svého pohybu, při srážce se slabším tělesem ztrácí tolik pohybu, kolik ho odevzdává.

• první a druhý zákon vyjadřují princip setrvačnosti. Setrvačnost je charakteristika tělesa, které nepodléhá vnějšímu působení. Je přímočará – opuštění orbity kruhovým pohybem – ten se naopak stává problematickým: musí být vyvoláván silami.

• setrvačnost je negativním pojmem, protože označuje těleso, na něž nepůsobí jiná tělesa. Nevyžaduje si kauzální vysvětlení – to si vyžaduje změna rychlosti.

• Descartes však neměl pojem síly – vše se odehrává na základě kolizí korpusek.

• Descartes sice jako první konzistentně zformuloval princip setrvačnosti jej nikdy patřičně nevyužil – v jeho přírodě se nacházejí jen složité křivočaré nebo zrychlené pohyby. Setrvačný pohyb může být jen jejich složkou.

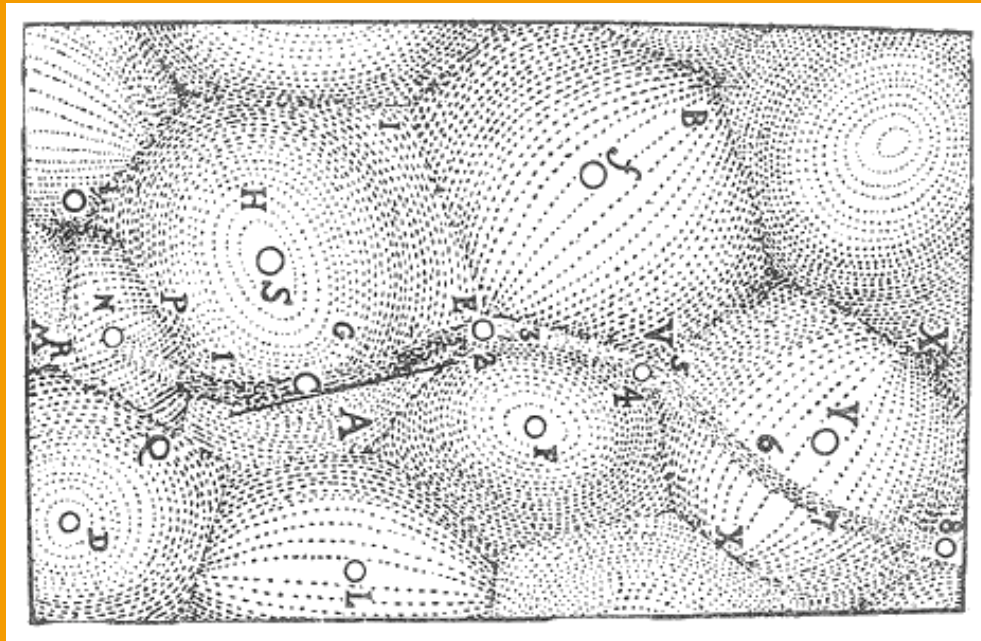
• Třetí zákon formuluje obecné pravidlo pro chování korpusek při srážce. Ve světě, kde materie vyplňuje celý prostor a prázdno neexistuje, musí mít každý pohyb za následek srážku. Teorie srážek je založená na sedmi pravidlech, která popisují různé situace při srážkách korpusek – zvláštní příčinou pohybu jsou narážející korpuse.

• Když Descartes redukoval veškeré působení na srážky korpusek, vylučoval tím pojem silového působení. Smyslem jeho přírodní filosofie – kromě jiného – bylo vyvrátit renesanční vitalistický kosmos, kde existovala různá působení na dálku: sympatie, astrologie, magie.

• Odmítnutí existence sil – odmítnutí působení na dálku.

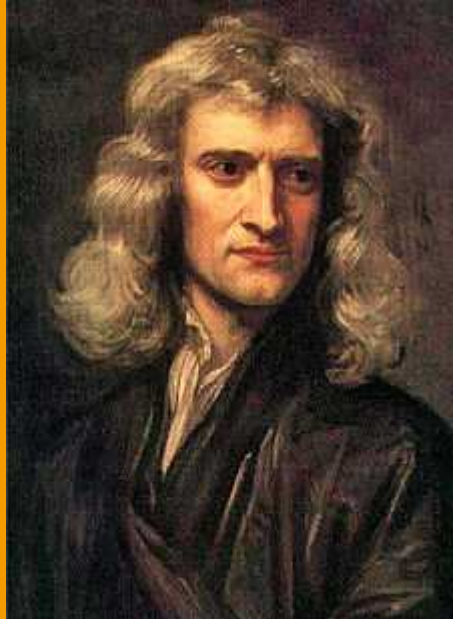
4. Kosmologie

- Descartova fyzika a kosmologie měly jako *celek, jako systém* nahradit aristotelsko-scholastickou fyziku a kosmologii.
- kosmologie je založena na ideji vířů hmoty
- většina astronomů 17. století souhlasila se, že vesmír je vyplněn fluidní hmotou/éterem
- s první kosmologií „vířů“ přišel Lucretius (*De rerum natura*) – nová filosofie se mohla vydávat za oživení starého atomismu.
- Sluneční soustava = vír, v jehož středu je slunce. Slunce – částice typu „první element“, malé a pohyblivé korpuskule; vesmírný prostor – částice „druhého elementu“; nebeská tělesa – částice „třetího elementu“. Existují tři druhy částic, protože existují tři způsoby vztahu ke světlu: světlo tělesa vytváření (1. element), přenášejí (2. element), odrážejí (3. element).



- inspirace v hydrostatice: „...musíme předpokládat, že celá nebeská hmota, ve které se planety nachází, se stále točí na způsob jakéhosi víru, v jehož středu je Slunce; části, které jsou bližší Slunci, se točí rychleji než vzdálenější a všechny planety (včetně Země) stále zůstávají mezi stejnými částmi nebeské hmoty.“ (III,30).
- odstředivé tendence planetárního pohybu reguluje vnější tlak ostatních vírů – proto je výsledná dráha planety kruhová (Descartes ignoroval Keplerovy zákony).
- Descartes vždy trval – kvůli Galileiho procesu, že popírá pohyb Země: Země je unášena vírem, proto se nepřemísťuje vzhledem k látce, která ji obklopuje, a proto jí nenáleží pohyb ve vlastním smyslu.
- explicitně hypotetická kosmologie - cílem nebyl prediktivní úspěch, ale explanační přesvědčivost. Záměr redukovat celou přírodu na interakce korpuskulí – a tak ji podřídít rozumu. Nejedná se tedy o matematickou, astronomickou teorii, ale filosofickou apriorní konstrukci vyvozenou z výchozích fyzikálních axiomů.

• VIII. Poslední mág



- narozen 4. ledna 1643/1642 jako pohrobek
- 1660 – Cambridge, Trinity College
- 1665 – morová rána, návrat na rodný statek 1665-1667 (1666 – *annus mirabilis*)
- 1669 – profesura matematiky na Trinity
- 1669-1693 – hlavně alchymie
- přerušení 1684-1686: práce na *Principiích*
- 1684 *De motu corporum*
- 1687 *Philosophiae naturalis principia mathematica*
- 1690 vstup do politiky

- 1692 hlavním zájmem se stává teologie – až do smrti
- 1696 správce mincovny v Londýně, honění penězokazů
- 1703 předseda Royal Society
- 1704 *Opticks: or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*
- 1705 pasován na „sir“
- mocenské hrátky a spory, Flamsteed o něm psal vždy jako o „S. I. N.“
- 1728 smrt, pochován ve Westminsteru
- obrovské množství nepublikovaných rukopisů: zejména alchymistické a teologické traktáty
- <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/prism.php?id=1>
- <http://webapp1.dlib.indiana.edu/newton/index.jsp>

1. „Temná strana Síly“ – Newtonova teologie

- antitrinitář na cambridgeské *College of the Holy and Undivided Trinity*
- 4. století : Arius – popírání Kristova božství; Athanasius – tvrzení Kristova božství, tři boží osoby
- Dějiny křesťanství jsou podle Newtona postiženy podvodem trinitářských zloduchů (*evil men*) ze čtvrtého a pátého století. Dějiny křesťanství jsou vlastně dějinami odpadlictví (*great Apostacy*) od skutečné antitrinitářské víry.
 - na rozdíl od kolegů nebyl Newton vysvěcen a odmítl – na rozdíl od Voltaira – poslední pomazání: od odpadlíků nelze přijmout svátost
 - mnoho dalších herezí (vizte článek dr. Saxla)

Newton se obával, aby jeho přírodní filosofie nebyla interpretována a) materialisticky a ateisticky; b) deisticky, proto trval na tom: že a) svět je výsledkem boží volby, božího rozhodnutí – nepovstal sám od sebe, na základě fungování přírodních zákonitostí – hmota se nemohla zorganizovat sama od sebe; b) svět v každém okamžiku závisí na Bohu.

- ad a) *Scholium Generale* v posledním vydání *Principů* (3. vyd. 1726): vesmír „nemohl vzniknout bez rozhodnutí a panství inteligentní a mocné bytosti.“²¹ Tato bytost vládne všemu, ale nikoli jako „duše světa“, ale jako „pán veškerenstva“ (*universorum dominus*). Bůh by měl být především nazýván „všemocným“ (*pantokrator*), protože moc je jeho hlavním atributem: „slovo Bůh označuje pána“. Bůh je sice věčná, nekonečná a absolutně dokonalá bytost, ale jakkoli dokonalá bytost bez panství není Bohem. Bůh postrádající moc a panství by byl jen osudem a přírodou (*fatum & natura*).²²

- představa kontingentního světa: neexistuje imanentní nutnost pro existenci a vznik světa. Newton píše, že „ze slepé metafyzické nutnosti, která je vždy a všude stejná, by nemohla povstat různorodost věcí, jež mohla vzejít pouze z myšlenek a vůle nutně existující bytosti“.²³

- exemplaristická filosoficko-teologická tradice: Bůh tvoří svět podle racionálních vzorů (idejí) nebo principů. Voluntaristická tradice: boží moc a vůle nesmí být ničím omezovány – žádnými koexistujícími vzory a principy. Svět závisí výlučně na boží vůli a moci: Univerzum je dekretem moci a faktem, který lze přijmout a popsat, nikoli racionálně pochopit či zdůvodnit.

- V dopise Bentleymu Newton vysvětluje: „Proč je zde v našem systému jedno těleso určeno, aby skýtalo světlo a teplo všem ostatním, toho neznám žádným důvod, než že autor systému to pokládal za vhodné.“²⁴

- kosmologická struktura světa i zákony přírody by byly mohly vypadat jinak, kdyby Bůh chtěl.

ad b) V polemice s Leibnizem Newton trval na tom, že Bůh nejenže stvořil věci a spojil je dohromady, ale je také „nepřetržitým uchovavatelem jejich původních sil“. K ničemu nedojde bez jeho „nepřetržitého řízení a dohledu“. Náзор, že svět je ohromný stroj (*great Machine*), který by se choval jako hodiny a běžel bez podpory hodináře, je podle Newtona/Clarka materialistický a z Boha činí pouhou „nadsvětskou inteligenci“, která nemá faktickou moc nad světem. Myšlenka, podle níž „běh světa může pokračovat, aniž by ho nepřetržitě řídil Bůh“,

²¹ I. Newton, *Principia...*, *Scholium Generale*, 527.

²² *Ibid.*, 528. „*Deus summus est ens aeternum, infinitum, absolute perfectum: sed ens utcunque perfectum sine dominio non est dominus deus.*“

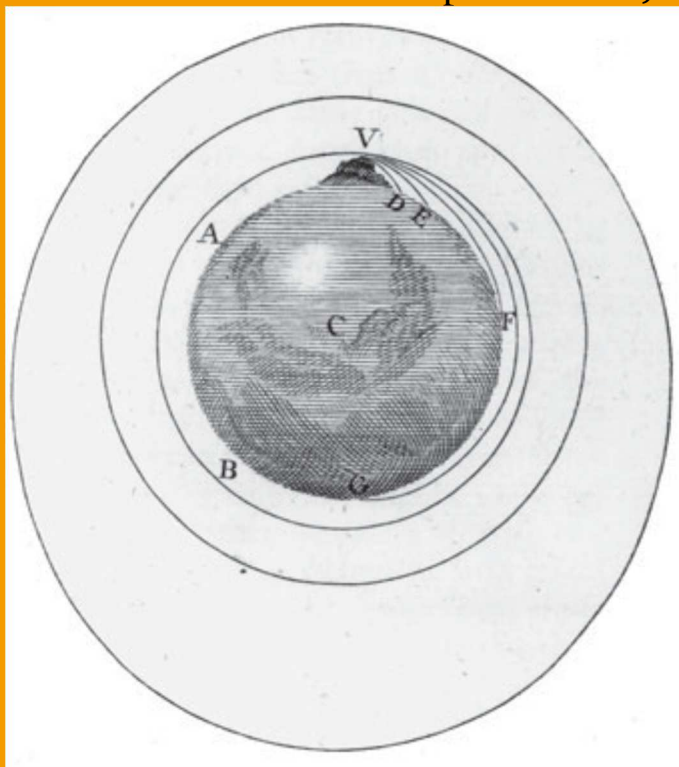
²³ *Ibid.*, 528.

²⁴ I. Newton, Dopis Bentleymu 10. prosince 1692 (in: Luboš Nový – Josef Smolka, *Isaac Newton*, Praha: Orbis 1969, 129).

vede podle Clarka k vyloučení Boha ze světa, tj. k ateismu.²⁵ K další existenci světa je třeba „nepřetržité a nepřerušované vykonávání Boží moci a vlády“.²⁶

2. „Světlá strana Síly“

- základním pojmem *Principií* je gravitace
- Newton vycházel ze dvou problémů, které po sobě zanechal Galileo: a) Proč pozemská tělesa, zejména projektily, neulétnou do kosmického prostoru? b) Jaké síly drží planety na jejich drahách?



²⁵ Cit. dle G. W. Leibniz, *Die philosophischen Schriften...* VII, 353-354.

²⁶ G. W. Leibniz, *Die philosophischen Schriften* VII, 361.

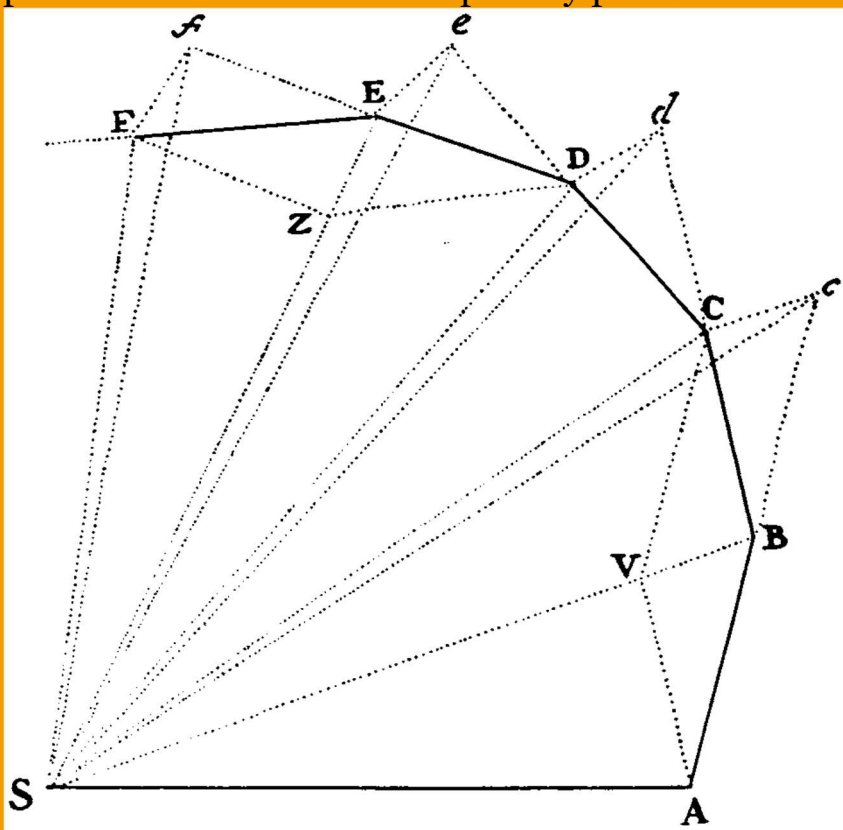
- Měsíc = projektil z kanónu – jeho pohyb je přesně vyvážen mezi „odstředivou“ (centrifugální) a „dostředivou“ (tj. centripetální) silou, tj. gravitací. Rovnováha je důsledkem toho, kromě jiného, že gravitace není kolem Země stále stejná, ale klesá se vzdáleností.
- Newtonovi předchůdci věřili, že planety se pohybují a) díky magnetické síly, b) díky vírům
- gravitace je univerzální vlastnost: každé těleso přitahuje jiné těleso – i jablko Zemi.
- gravitace souvisí s masou/hmotností
- gravitace klesá s druhou mocninou (čtvercem) vzdálenosti: gravitace 1, vzdálenost 1 dvou těles; gravitace $\frac{1}{4}$ při vzdálenosti 2; gravitace $\frac{1}{9}$ při vzdálenosti 3
- tady skončily Newtonovy úvahy kolem roku 1666 – legenda s jablkem
- 1684: Halley se ho zeptal: by přitažlivost mezi sluncem a planetami klesala se čtvercem vzdálenosti, jaká by byla výsledná dráha? Newton bez váhání odpověděl: „elipsa, já jsem to spočítal“. Všichni se shodovali, že je nutné vyvodit Keplerovy zákony z gravitačního působení – ale jen Newton to dokázal.
- Halleymu Newton poslal za 3 měsíce *De motu corporum* s příslušnými výpočty, pak tento spis rozšířil na *Principia*
 - *Matematické principy přírodní filosofie* mají 3 knihy
 - výklad more geometrico (bez diferenciálních rovnic)
 - I. kniha: pohyby těles pod vlivem sil, ale bez tření a odporu. Na počátku *Definitiones*, *Axiomata* pak výčet jejich důsledků
 - II. kniha je věnovaná pohybu těles, na které působí gravitační síla, v prostředí, které klade odpor, a rovnováze kapalin. Hlavní téma – vyvrácení teorie vírů
 - III. kniha – *Systema mundi* – matematická kosmologie. Aplikace pojmů a poznatků z I. a II. knihy na astronomická data.
 - Newtonovy pohybové zákony:
 - 1. Zákon setrvačnosti: Těleso zůstává v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu, není-li donuceno změnit tento stav silou, která na něj působí.

2. Zákon síly. Změna velikosti pohybu je úměrná vnější síle a děje se ve směru přímky, po níž ona síla působí. (Dnes se druhý zákon vymezuje takto: Zrychlení a , které nějaká síla F udělí tělesu, je tím větší, čím větší je tato síla, a tím menší čím větší je hmotnost m tělesa, tedy $a=F/m$.)

3. Zákon akce a reakce. Akce je vždy rovna reakci. Působení dvou těles jednoho na druhé jsou vždy rovné a v opačných směrech. Pokud tlačím na kámen prstem, působí kámen stejnou silou na můj prst.

Aplikace na pohyb planet:

- podle 1. zákona by planety měly po přímé dráze uletět do prostoru
- podle druhého zákona – na planety působí dostředivá/gravitační síla



- 3. zákon: Měsíc přitahuje Zemi, stejnou silou jakou Země přitahuje Slunce, stejné pro jablko i Zemi: v tomto případě síla způsobuje, že jablko mění svou polohu (při pádu). Ze slunce netryská síla gravitace je vzájemný vztah, který závisí na množství hmoty/mase. Výsledkem dynamického vzájemného působení je systém, kde se síly projevu v podobě zakřivených drah, tj. elips.

- vše následuje stejný zákon – zákon gravitace:

$$F_g = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

- kosmologické důsledky gravitačního zákona:
 - a) pohyb Saturnu – perturbace – problém tří těles – možnost teoretického vyvození existence tělesa
 - b) pohybu Měsíce a jeho perturbace – přesné matematické zachycení dráhy Měsíce a také Jupiterových satelitů
 - c) země je na pólech zploštělá – intenzita gravitačního pole je na rovníku větší než na pólu. Kvůli tomu je zemská osa skloněná – opisuje v prostoru plášť kužele – my to vidíme jako precesi rovníkosti – Newton ji dokázal vysvětlit jako důsledek gravitace
 - d) výklad slapových jevů : „Příliv a odliv moře jsou způsobeny působením slunce a měsíce.“
 - e) kometa z roku 1680



- Halley – 1682 další kometa, něco podobného se objevilo již v roce 1531,1607 – předpověď na 1758.
Objevení se Halleyovy komety – triumf osvícenství : rozum zvítězil nad pověrami