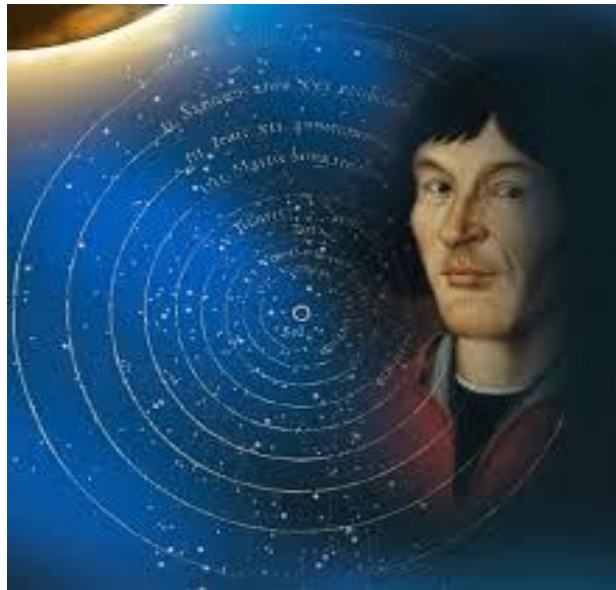


VESMÍR I. – MODEL Y VESMÍRU V 16. AŽ 17. STOROČÍ

1. Koperníkov vesmír: V tomto texte budem citovať najmä pasáže z článku Ľ. Klocka s názvom Heliocentrická sústava: „Za revolúciu v astronómii môžeme jednoznačne označiť formuláciu **heliocentrického obrazu sveta Mikulášom Koperníkom**, ktorý raz a navždy vyvrátil Ptolemaiovu geocentrickú koncepciu sveta. Písal sa rok **1533**, keď na svetlo sveta vyšla jeho revolučná kniha De revolutionibus orbium coelestium libri VI (O pohyboch nebeských sfér). Kniha sa zaoberá pohybom planét na oblohe, striedaním mesačných a slnečných zatmení. Kniha vyšla v roku **1543**, až 10 rokov po tom ako ju Koperník napísal. Koperník sa obával prenasledovania cirkvou, a preto s publikáciou radšej počkal. Koperník však týmto svojim systémom sveta vôbec **nič nezjednodušil**, pretože bol verný aristotelovskej fyzike **a veril v dokonalé kruhové dráhy**. Podobne ako Ptolemaios, aj Koperník si myslel že pohyb planét na oblohe je možné vyjadriť radom kruhových pohybov, čiže zavádzaním epicyklov. Jeho systém nebol schopný vysvetliť neusporiadaný pohyb planét na oblohe.“ Ako ďalej pokračuje Ľ. Klocko (s. 8-9): „Koperníka vďaka správne mu výkladu vzhľadom na Slnečnej sústavy **považujeme za jej objaviteľa**. Veľmi presne určil aj pomerné vzdialenosti planét, pričom za jednotku vzdialenosti určil vzdialenosť medzi Slnkom a Zemou. Na zladenie **nerovnomerného** pohybu planét so svojou teóriou musel do heliocentrickej sústavy zaviesť **až 48 epicyklov**. Chyba nebola v podstate jeho heliocentrickej sústavy, ale v tom, že v otázke **tvaru obežných dráh** ostal Koperník verný Aristotelovi. Dráhy planét považoval za kružnice. Až 65 rokov po jeho smrti dokázal **Johanes Kepler**, že obežné dráhy planét **nie sú kružnice**. Dôležité však bolo, že Koperníkov heliocentrický systém vyvolal ostré diskusie vtedajšieho sveta. Koperník svojou teóriou nabúral všetky dovtedajšie filozofické a náboženské predstavy o usporiadaní sveta. **Najväčší odpor voči jeho dielu** vyšiel práve z **náboženských kruhov**. Ostro voči nemu vystupoval Martin Luther. Až šesťdesiatpäť rokov po Koperníkovej smrti Kepler dokázal, že planéty **sa nepohybujú po kruhových dráhach**. Koperníkov heliocentrický systém vyvolal na dlhý čas ostré kontroverzie, ba i represálie a popravy. Príčina odmietavého prístupu spočívala jednak vo vtedajších filozofických a náboženských predstavách o svete, jednak v úrovni vtedajšej fyziky, ba i v

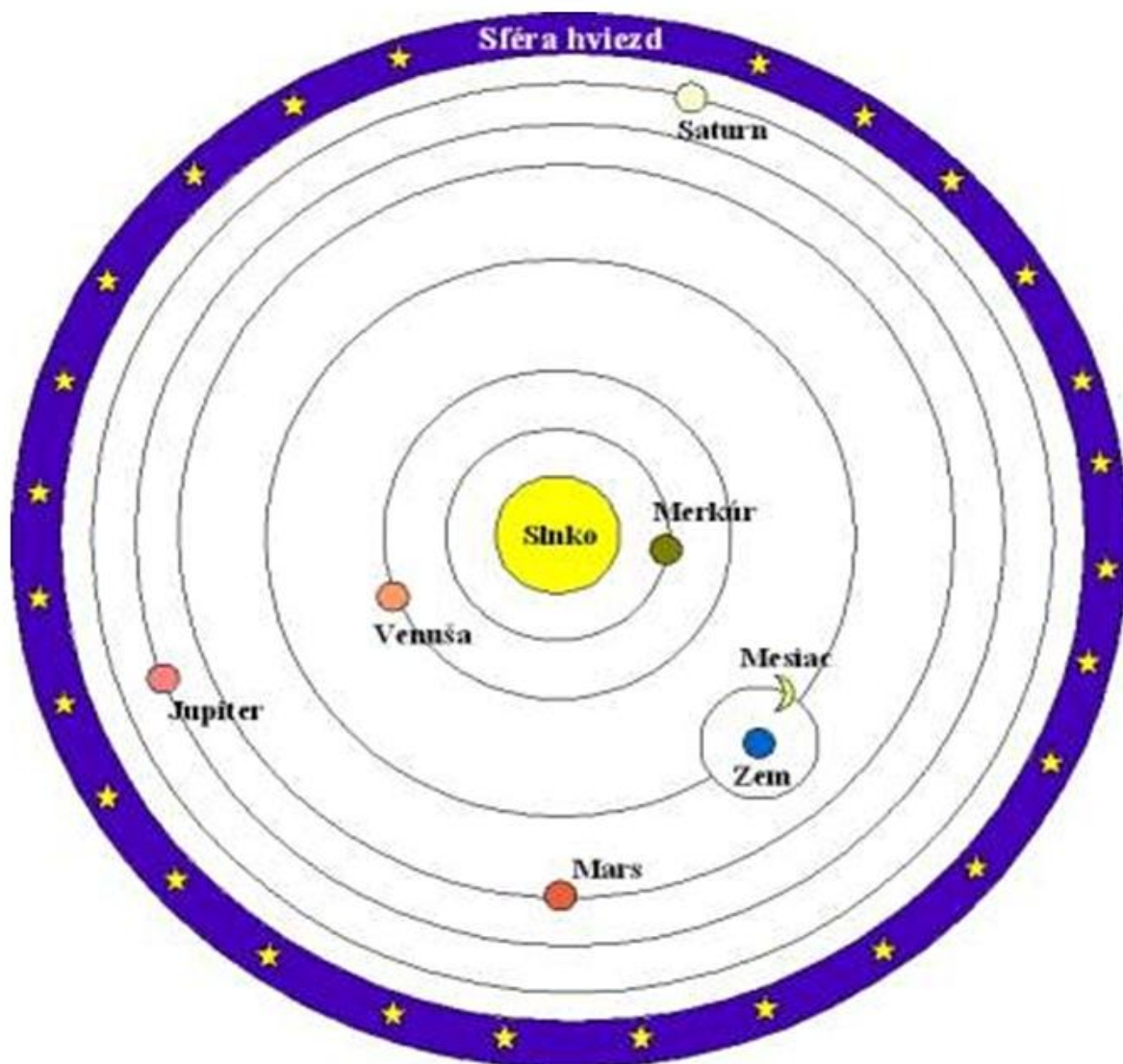
samej pozorovateľskej astronómii. Z filozofického a náboženského hľadiska Koperník **vyvracal vžitý antropocentrický pohľad na svet** sa Zemou a človekom ako **centrom** celého vesmíru; spochybňoval dovedy neotrasiteľnú Aristotelovu autoritu, ba **aj spoľahlivosť biblie**, ktorá sa považovala za bezvýhradný a neomylný prameň všetkého poznania. Najväštnivejší odpor proti Koperníkovmu dielu vyšiel preto z filozofických a náboženských kruhov. Všetky diela, ktoré obsahovali Koperníkovu náuku, dostali sa roku **1616** na cirkevný index zakázaných kníh a zostali na ňom **až do roku 1833**. A teraz si pozrime niekoľko štýlových obrázkov významného astronóma:





Pokiaľ ide o samotný heliocentrický systém (či model vesmíru), Ľ. Klocko (tamže, s. 2-3) ho charakterizuje nasledovne: „Celkom nový pohľad na vesmír, ktorý sa definitívne rozchádzal s Ptolemaiovým geocentrickým systémom, uverejnil roku 1543 poľský astronóm Mikuláš Koperník, (1473-1543) v diele „De revolutionibus orbium coelestium libri VI“ (O pohyboch nebeských sfér). Koperníkov heliocentrický systém (po gr. helios - Slnko) možno zhrnúť do nasledujúcich téz:

1. Zem vykonáva denný pohyb okolo svojej osi od západu na východ, čomu zodpovedá zdanlivý pohyb nebeskej sféry od východu na západ;
2. Zem vykonáva ročný pohyb okolo Slnka v smere od západu na východ, čomu zodpovedá zdanlivý pohyb Slnka medzi hviezdami v priebehu roka;
3. zemská os vykonáva kónický posun okolo kolmice k ekliptike v smere od východu na západ, čomu zodpovedá pozorovaný precesný pohyb;
4. všetky planéty sa pohybujú okolo Slnka tým istým smerom, zhodným so smerom pohybu Zeme okolo Slnka;
5. všetky planéty sa pohybujú celkom rovnomerne po kružniciach, ktorých stredy sú mierne excentricky položené vzhľadom na stred Slnka;
6. stredy excentrických kruhových dráh planét vykonávajú okolo stredu Slnka epicyklické pohyby. (Tento predpoklad musel Koperník zaviesť, ak chcel vysvetliť pozorovaný nerovnomerný pohyb planét pri zachovaní predstavy rovnomerného pohybu planét po kruhových dráhach. Tým ukázal, ktoré zdanlivé pohyby planét sú reálne a ktoré sú dôsledkom pohybu pozorovateľa.)“ Zostáva mi už len dodať, že Koperník (tamže, s. 3) nielenže podal v zásade správnu schému Slnčnej sústavy, ale: „Veľmi presne určil aj pomerné vzdialenosti planét, pričom si zvolil za jednotku vzdialenosti dnešnú astronomickú jednotku (stredná vzdialenosť Zeme od Slnka).“

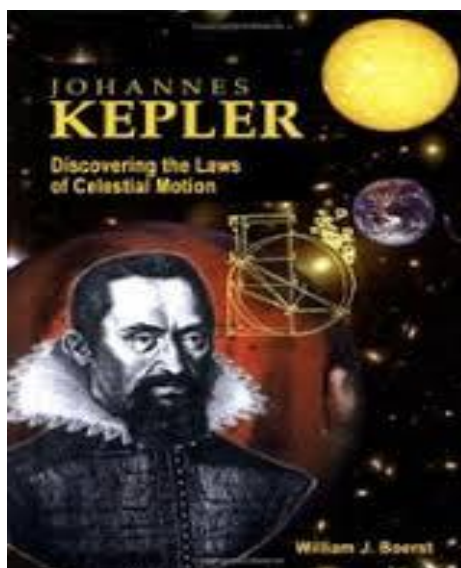


Koperníková heliocentrická predstava vesmíru

- 2. Keplerov model Slnčnej sústavy:** Najprv informácie o Keplerovi z internetovej stránky zones.sk: „Žil v rokoch 1571-1630. Bol nemecký astronóm, objaviteľ zákonov pohybu planét. Narodil sa 27. decembra 1571 v Mahstatte, würtemburskej dedine neďaleko mesta Weil der Stadt. Študoval v kláštornej škole v Maulbrone, kde v roku 1588 získal nižšiu akademickú hodnosť bakalára a o tri roky neskôr na univerzite v Tubingene vyššiu hodnosť majstra slobodných umení. Väčšina vtedajších vedcov odmietala prijať Kopernikovu heliocentrickú teóriu, ale Kepler si ju v Tubingene nechal inteligentne objasniť **a čoskoro jej uveril**. Po odchode z Tubingena bol niekoľko rokov profesorom na akadémii v Štajerskom Hradci (Graz). Tam napísal v roku 1596 svoju prvú vedeckú prácu, knihu o astronómii *Mysterium cosmographicum*. Napriek tomu, že teória, ktorú v tejto knihe

predložil bola nesprávna, jasne naznačovala jeho matematické schopnosti a pôvodnosť myšlienok, takže ho vychýrený hvezdár Tycho Brahe pozval, aby mu robil asistenta **v jeho observatóriu v Prahe**. Kepler ponuku prijal a v januári 1600 začal s Brahem spolupracovať. Hneď po roku Brahe zomrel, avšak Kepler urobil taký priaznivý dojem, že ho cisár Rudolf II. ihneď menoval Braheho nástupcom na mieste ríšskeho matematika. Toto miesto si Kepler udržal až do konca života. Ako Braheho nástupca zdedil **obsiahle** záznamy starostlivých pozorovaní planét, ktoré Brahe robil počas mnohých rokov. Pretože bol Brahe posledným veľkým hvezdárom pred vynájdením ďalekohľadu a najstarostlivejším a najpresnejším pozorovateľom, aký vtedy na svete žil, boli tieto záznamy neoceniteľné. Kepler veril, že mu starostlivý matematický rozbor Braheho záznamov umožní nezvratne určiť, **ktorá teória pohybu planét je správna: či Kopernikova heliocentrická, staršia Ptolemaiova geocentrická, alebo snáď tretia teória, podaná Tycho de Brahem**. Po rokoch úmorných výpočtov však Kepler nakoniec prišiel na to, že sa Braheho pozorovania nezhoduje ani s jednou z týchto teórii.“ A teraz niekoľko štýlových obrázkov tohto veľkého astronóma a matematika:

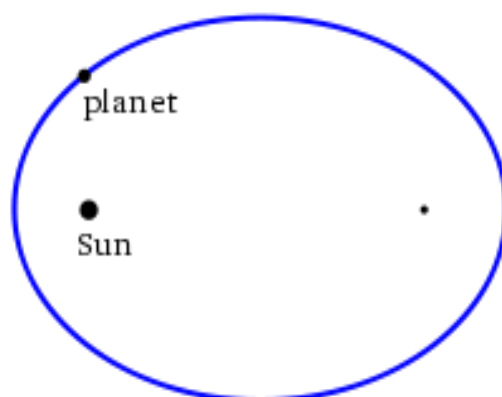




Kepler preto musel prísť s vlastnou teóriou o pohybe planét v rámci Slnčnej sústavy a súčasne ju podporiť matematickým aparátom, aby ju bolo možné overiť. Po predložení jeho troch zákonov pohybu planét sa mu to nielen podarilo, ale súčasne aj definitívne naklonil misky pomyselných váh na stranu heliocentrickej teórie. Ako uvádza Wikipédia: „Keplerove zákony sú tri pravidlá týkajúce sa pohybov telies v Slnčnej sústave, ktoré na základe astronomických pozorovaní formuloval Johannes Kepler. Rovnako ako pre planéty v Slnčnej sústave ich môžeme použiť aj pre ľubovoľne iné sústavy obiehajúcich telies (napr. pre mesiace Jupitera). Tieto zákony boli dôležitým východiskom pre Isaaca Newtona pri jeho formulovaní zákonov gravitácie a z Newtonovho gravitačného zákona je možné všetky tri Keplerove zákony odvodiť pomocou diferenciálneho počtu. Prvé dva zákony publikoval Kepler v roku 1609 v diele *Astronomia Nova* (Nová astronómia), tretí zákon pridal v roku 1619 v diele *Harmonices Mundi* (Harmónia svetov).“

Podľa 1. Keplerovho zákona: **Planéty obiehajú okolo Slnka po eliptických trajektóriách s malou výstrednosťou a spoločným ohniskom, ktorým je Slnko.**

K tomu Wikipédia dodáva: „Od dôb gréckych filozofov bola kružnica považovaná za **dokonalý útvar**, preto vystupovala vo všetkých modeloch Slnčnej sústavy, najmä v tých, ktoré mali v strede Zem (najznámejším je Ptolemaiov model), **ale aj v Kopernikovom heliocentrickom systéme.** Predpoklad o eliptických dráhach je preto veľkou zmenou v astronomickom svetonázore.“ Schematicky je Keplerov 1. zákon možné zobrazit' takto:

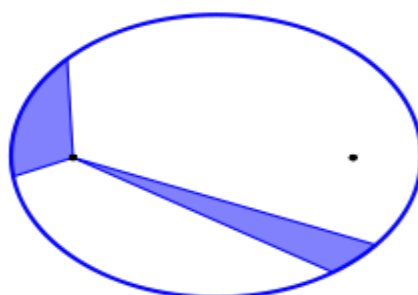
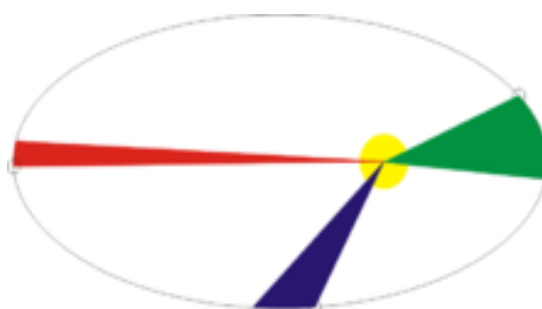


Podľa 2. Keplerovho zákona: **Sprievodič (spojnica Slnka a planéty) opíše za rovnaký čas vždy rovnakú plochu.**

„Použitím tohto zákona môžeme zistiť, že rýchlosť planét **blízko Slnka** (kedy je sprievodič kratší) **je väčšia**, ako keď je planéta **d'aleko od Slnka**. Druhý Keplerov zákon je priamym dôsledkom zákona zachovania momentu hybnosti planéty. Moment hybnosti sa počíta podľa vzťahu

$$L = mrv_k,$$

kde m je hmotnosť planéty, r je momentálna vzdialenosť od Slnka a v_k je zložka rýchlosti kolmá na spojnicu Slnko-planéta. Obsah vykreslený za jednotku času sprievodičom planéty je pritom rovný $rv_k/2$, je teda priamo úmerný momentu hybnosti. Preto keďže tento ostáva konštantný, aj obsah opísaný sprievodičom za jednotku času je konštantný.“ Na obrázku:

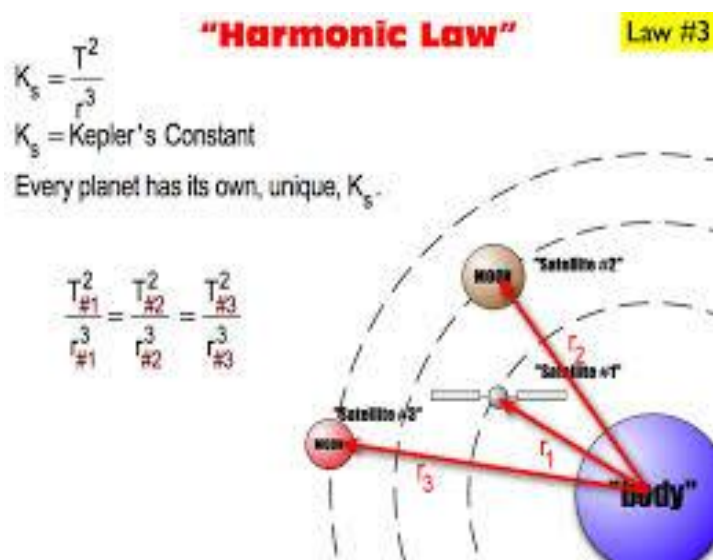


Podľa 3. Keplerovho zákona: **Pomer druhej mocniny obežnej doby planéty a tretej mocniny jej strednej vzdialenosti od Slnka má pre všetky planéty rovnakú hodnotu.**

„V skutočnosti platí tento Keplerov zákon iba približne a to vďaka tomu, že hmotnosť Slnka je omnoho väčšia než hmotnosť planét. Presný vzťah pre dobu obehu telesa s hmotnosťou m_2 okolo telesa s hmotnosťou m_1 má tvar

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{\kappa(m_1 + m_2)}$$

Keď je napríklad hmotnosť m_2 zanedbateľná, pomer T^2/a^3 závisí iba od gravitačnej konštanty κ a hmotnosti centrálného telesa m_1 . Preto keď okolo neho obieha viacero telies s malou hmotnosťou, podiel T^2/a^3 je pre všetky telesá prakticky rovnaký.“ Schematicky to možno zobrazit takto:



3. Ďalšie veľmi dôležité informácie o pohybe telies v našej slnečnej sústave: Nájdem v článku D. Chochola (2009, s. 4 a n.). Podľa neho: „Všetky planéty rotujú okolo svojej osi, šesť z nich v smere svojho obehu (prográdnym smerom), jedna (Venuša) v protismere obehu (retrográdnym smerom) a jedna (Urán) sa v podstate valí po dráhe pri sklone rotačnej osi 98° . Okolo niektorých planét obiehajú menšie telesá guľovitého alebo nepravidelného tvaru, ktoré sa nazývajú mesiace. Najväčšie mesiace môžu dosiahnuť **veľkosti malých planét** (napr. najväčší Jupiterov mesiac Ganymedes je väčší ako najmenšia planéta slnečnej sústavy Merkúr). Mnohé mesiace sú však veľmi malé a dosahujú priemer iba niekoľko kilometrov.

Väčšie a bližšie mesiace väčšinou obiehajú okolo svojej planéty prográdnym smerom, vzdialenejšie a menšie mesiace často obiehajú opačným, retrográdnym smerom. Výnimkou medzi väčšími mesiacmi je Neptúnov mesiac Triton. Okolo Neptúnu obieha po takmer kruhovej dráhe vo vzdialenosti 354 800 km od stredu planéty. Ide o relatívne nízku dráhu, kvôli ktorej je mesiac vystavený pôsobeniu slapových síl planéty. Tie v ňom vytvárajú teplo potrebné pre vulkanizmus. Triton sa po špirále pomaly blíži k planéte, do ktorej narazí podľa výpočtov v priebehu nasledujúcich 100 miliónov rokov. Neobyčajný retrográdný pohyb mesiaca nasvedčuje tomu, že Triton nevznikol na obežnej dráhe Neptúna, ale bol planétou zachytený. Svedčí o tom aj sklon dráhy Tritona k rovine Neptúnovho rovníka, ktorý je $157,35^\circ$. Triton má viazanú rotáciu, čiže sa otočí okolo svojej osi za rovnakú dobu ako obehne okolo planéty, čo je necelých 6 dní.“

Veľmi výstižný je aj jeho opis pohybu mesiacov v Slnčnej sústave: „Mesiace ani prstence nemôžu obiehať okolo planéty v ľubovoľnej vzdialenosti, ale len vo vnútri tzv. Hillovej sféry čo je maximálna vzdialenosť, v ktorej si planéta svojou gravitáciou ešte dokáže obežnicu udržať. Nijaké teleso neobieha okolo stredu planéty, ale okolo spoločného ťažiska vo vnútri planéty. Umiestnenie ťažiska závisí na pomere hmotností planéty a mesiaca a tiež na vzdialenosti, v ktorej mesiac obieha. Zem má najhmotnejší mesiac v pomere k planéte, ťažisko ich vzájomného obehu je pomerne vzdialené od stredu Zeme a preto spôsobuje rytmické „kývanie sa“ Zeme na jej obežnej dráhe okolo Slnka. Pohyb Mesiaca okolo Zeme sa riadi 3 zákonmi, ktoré v roku 1693 sformuloval astronóm Cassini:

1) Dráhová rezonancia Mesiaca je 1:1. To znamená, že rotačná doba Mesiaca okolo vlastnej osi a obežná doba okolo Zeme sú rovnaké. To zapríčiňuje, že stále vidíme len jednu stranu Mesiaca.

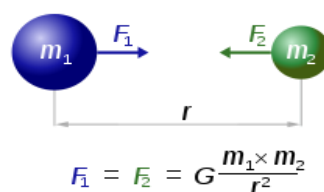
2) Os rotácie Mesiaca zvierá s rovinou ekliptiky stále rovnaký uhol (približne $88^\circ 28'$).

3) Rovina vytvorená normálou na ekliptiku a normálou na obežnú rovinu Mesiaca obsahuje os rotácie Mesiaca.“ Podľa Chochola: „Okolo jovialných planét (Jupiter a i.) obieha v rovine rovníka aj veľké množstvo častíc veľkosti od jedného mikrometra až po niekoľko metrov vytvárajúcich prstence. Najrozsiahlejší prstenec má planéta Saturn. Každá častica obieha okolo planéty samostatne a pri obehu sa riadi Keplerovými zákonmi. Znamená to, že najbližšie častice obiehajú okolo Saturna najrýchlejšie (raz za 4,9 hodiny) a najvzdialenejšie najpomalšie (raz za 2dni).“

4. Newtonov gravitačný zákon a jeho model vesmíru: Treba znova zdôrazniť, že medzi Keplerovými zákonmi pohybu planét a Newtonovým gravitačným zákonom **je súvis**, keďže Newtonov gravitačný zákon je z nich možné vyvodiť s pomocou diferenciálneho počtu. Ako napríklad uvádza D. Chochol (2009, s. 5): „Na základe analýzy pohybu Mesiaca okolo Zeme, planét okolo Slnka a na základe znalosti Keplerových zákonov sformuloval Newton gravitačnú teóriu, ktorú vyjadril svojím gravitačným zákonom: **Každé dve telesá o hmotnostiach m_1 a m_2 , ktoré môžeme dostatočne presne aproximovať bodmi, alebo sú s dostatočnou presnosťou nahraditeľné guľou, pôsobia na seba gravitačnou silou priamo úmernou hmotnostiam telies a nepriamo úmernou štvorcu ich vzdialenosti.**

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

kde G je gravitačná konštanta s hodnotou $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$, m_1 je hmotnosť prvého hmotného bodu, m_2 je hmotnosť druhého hmotného bodu a r je vzájomná vzdialenosť oboch bodov. Gravitačný zákon sformuloval Isaac Newton v roku 1687 vo svojom známom diele **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica**. Je dôležité si uvedomiť, že tento vzťah hovorí o priťahovaní sa telies zanedbateľných rozmerov (v porovnaní s ich vzájomnou vzdialenosťou), tzv. hmotných bodov. Našťastie sa však dá ukázať, že platí pre telesá so sféricky rozloženou hmotnosťou (teda napríklad homogénne gule, ale aj pre gule, ktorých hustota závisí iba od vzdialenosti od ich stredu). Pre všetky ostatné telesá (napr. Zem je podľa presných meraní tzv. rotačný elipsoid) dostaneme výsledok, ktorý sa od skutočnosti bude líšiť tým viac, čím je teleso menej sférické a čím sme k nemu bližšie.“ Trochu inú formuláciu Newtonovho gravitačného zákona nájdeme vo Wikipédii: „**Dve ľubovoľné častice (hmotné body) sa vo vesmíre navzájom priťahujú dvoma rovnako veľkými silami opačného smeru pôsobiacimi pozdĺž ich spojnice, pričom tieto sily sú priamo úmerné súčinu hmotností týchto častíc a nepriamo úmerné druhej mocnine vzdialenosti týchto častíc.**“ Schematicky vyjadrenú takto:



Newtonov model fyzikálneho vesmíru: Z kozmologického hľadiska je však pre nás ešte dôležitejší Newtonov model vesmíru, ktorý v sebe nesie tak pokrokové, ako aj zastaralé prvky. Ako uvádza vo svojej dnes už klasickej knihe o 4-och revolúciách v astronómii a fyzike G. M. Iddis, v Newtonovom vesmíre je:

1. Každé teleso ekvivalentné voľnému materiálnemu bodu a nachádza sa väčšinou vo svojom prirodzenom (alebo prírodnom) pokojnom stave, t. j. v stave neohraničeného priamočiareho rovnomerného pohybu.
2. Každé teleso sa tiež nachádza v rovnako nekonečnom, neohraničenom, rovnorodom a izotropnom vesmíre, absolútne nemennom a nehybnom ako celok, s absolútnym, od ničoho nezávisiacim, všade sa rovnako rozprestierajúcim, vždy jedným a tým istým (euklidovským) priestorom, a s absolútnym, od ničoho nezávisiacim, jediným a rovnomerne plynúcim časom.
3. V takomto vesmíre (a svete) má potom akákoľvek zmena prirodzeného stavu pokoja alebo rovnomerného priamočiareho pohybu daného telesa (znamenajúca zmenu vo veľkosti alebo smere jeho pohybu, t. j. zrýchlenie) násilný charakter a prichádza zvonka. Preto musí byť a je len vonkajšková alebo náhodná.
4. Vďaka zákonu akcie a reakcie sa v ňom zároveň všetky vzájomné pôsobenia telies navzájom kompenzujú, v dôsledku čoho každý takýto úplný systém zostáva navždy v stave pokoja alebo rovnomerného priamočiareho pohybu.

Rovnako však treba zdôrazniť, že Newton už nepozná (resp. neuznáva) večné, kruhové orbitálne dráhy planét, ale len eliptické a nerovnomerné, pričom pohyby týchto aj ďalších telies sa už u neho chápu ako vynútené alebo zapríčinené univerzálnou silou všeobecnej príťažlivosti (gravitáciou), veľkosť ktorej je priamo úmerná hmotnostiam alebo miere inercie vzájomne pôsobiacich telies a nepriamo úmerná štvorcu vzdialenosti medzi nimi. Pripomenúť tiež musíme, že u Newtona môžu telesá voľne padať, pretože padajú v pustote, v prázdne, ako aj to, čo sa často zdôrazňuje v knihách či učebniciach – že priestor a čas sú u neho absolútne a nekonečné (čo údajne vyplýva z gravitačného zákona), ale aj homogénne a izotropné; že v jeho vesmíre existuje okamžité pôsobenie všetkých síl a telies, t. j. aj pôsobenie, ktoré sa uskutočňuje nadsvetelnou rýchlosťou; že v ňom platí klasická, mechanická príčinnosť a teda aj jednoznačný alebo absolútny determinizmus; a predpokladá sa (či počíta) s existenciou privilegovanej vzťažnej sústavy.

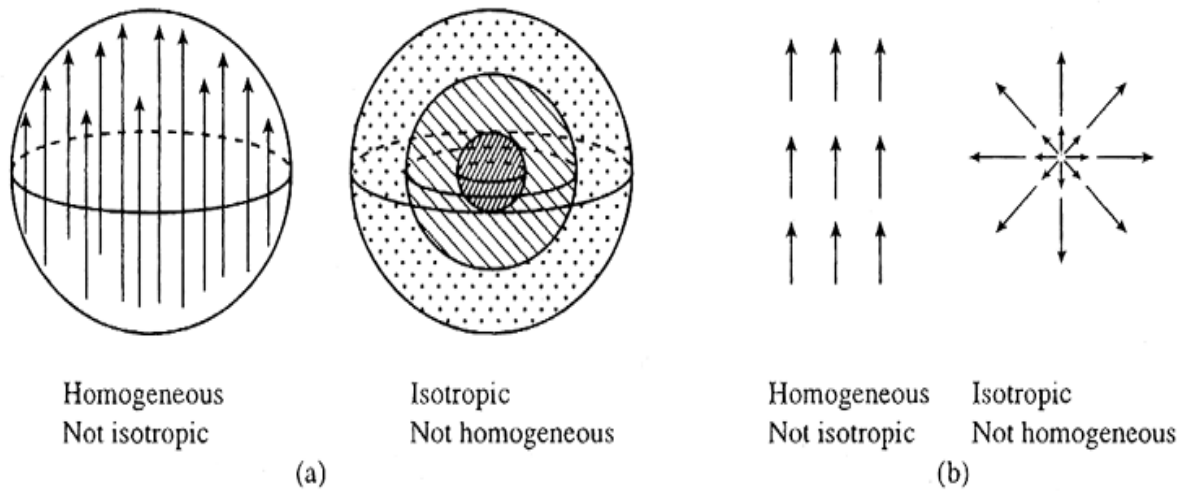
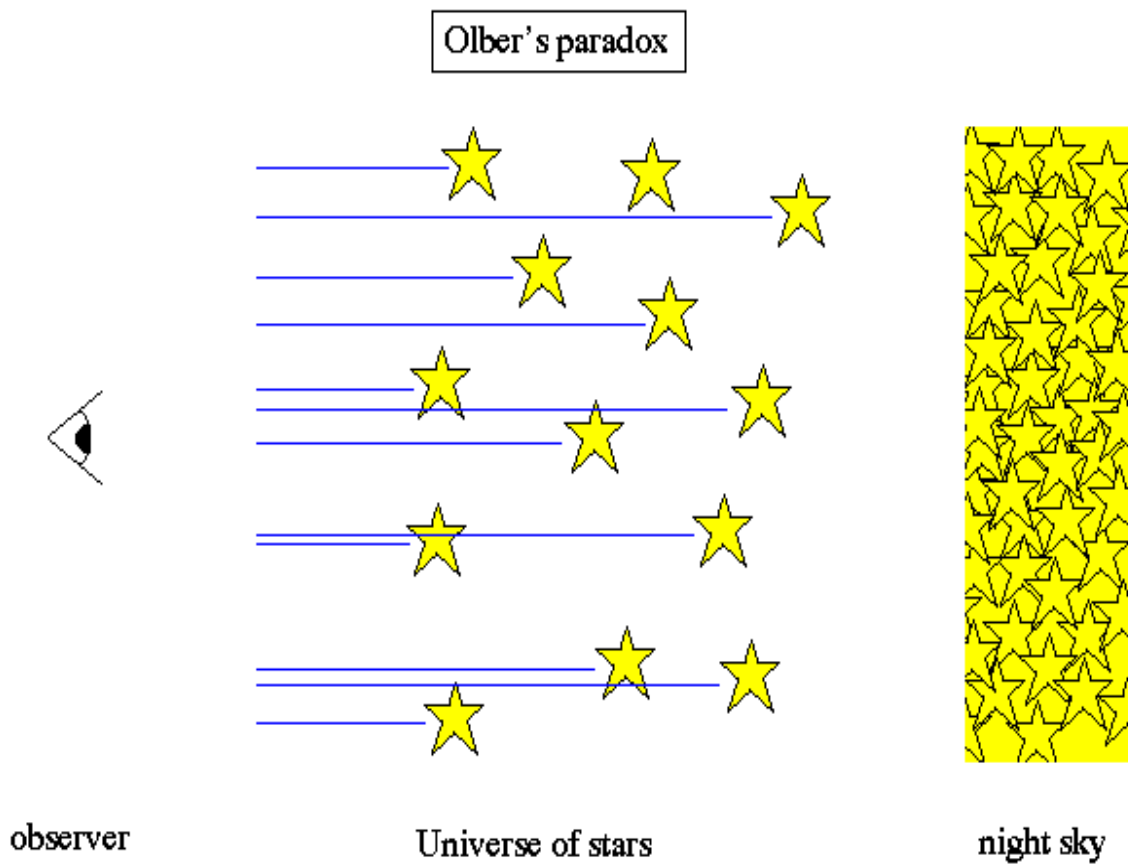


Figure 1.5 Illustrations of how homogeneity and isotropy are not equivalent in (a) three dimensions and (b) two dimensions. In the first example of each, a unique direction is picked out but translation invariance is maintained. In the second example of each, all directions are the same (rotation invariance) but a radial gradient exists.



Cosmological Principle

