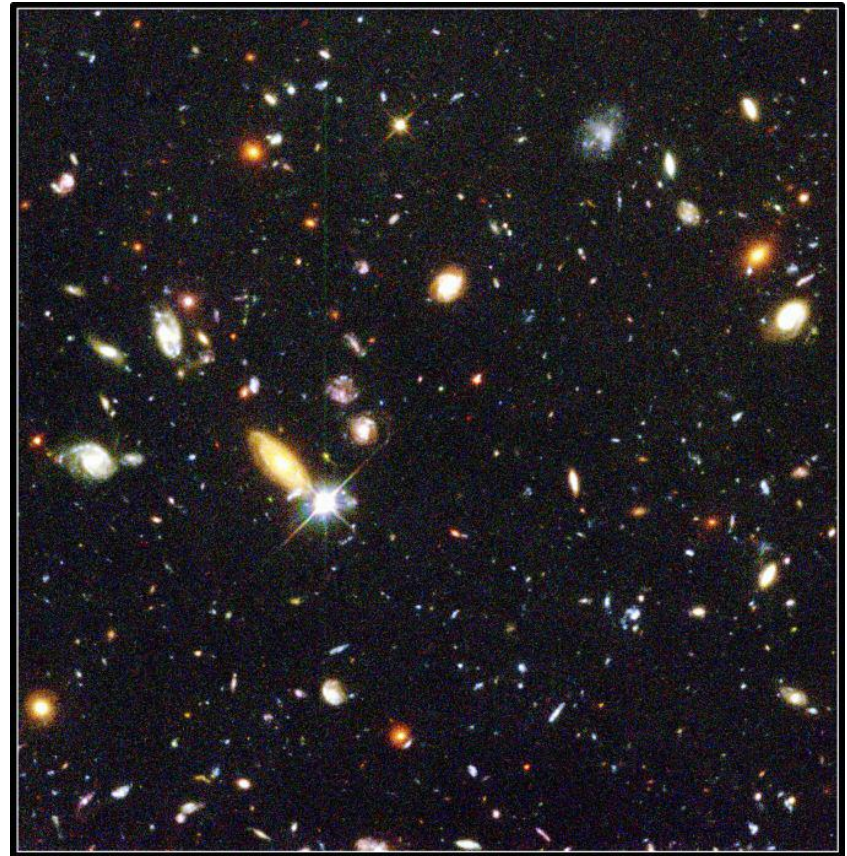
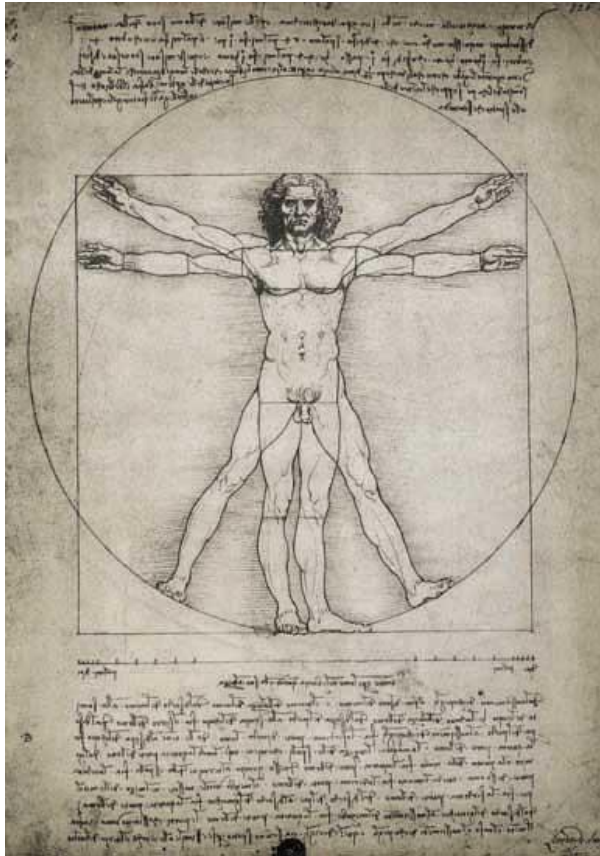


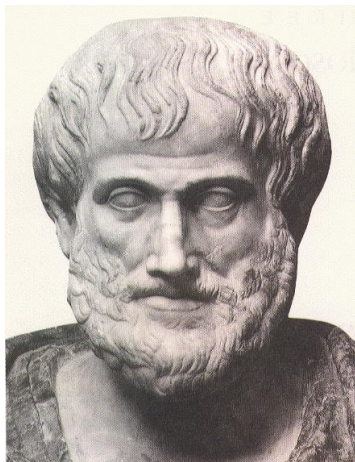
Prof. dr. Marko Uršič, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta

Položaj človeka v kozmosu



Licej „France Prešeren“, Trst, 5. aprila 2023

Antični in srednjeveški geocentrični sistem



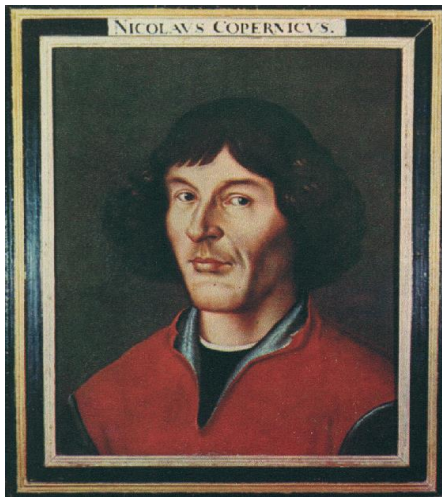
Aristotel (384-322) je filozofsko utemeljil, Klavdij **Ptolemaj** (100-170) pa astronomsko-matematično opisal geocentrični sistem, ki je prevladoval skozi celotno antiko in srednji vek, vse do Nikolaja Kopernika (1543).

Vesolje je sferični kozmos, v središču je Zemlja, okrog nje so "nebesne sfere", na katerih krožijo: Luna, Merkur, Venera, Sonce, Mars, Jupiter, Saturn in najvišje vidno Nebo, "sfera zvezd stalnic". Nepravilno gibanje planetov se pojasnjuje kot sestavljeno iz več kroženj (po namišljenih krogih: "deferentih" in "epiciklih").



Slika 1

Značilen predkopernikovski diagram univerzuma
(iz *Cosmographia* Petra Apiana, izdaja iz leta 1539)



Nikolaj
Kopernik
(1473-1543)

Kopernikov heliocentrizem: v središču vesolja je Sonce, ne več naša Zemlja! Za to takrat (in v nekem smislu še vedno) presenetljivo trditev je Kopernik navajal predvsem naslednja dva argumenta:

1. logično-matematični argument: naravo bolje razložimo z enostavnejšimi hipotezami (z manjšim številom epiciklov);
2. metafizično-teološki argument: kakor je Platonova Ideja Dobrega osrednja med vsem idejami, tako je Sonce osrednje med vsemi nebesnimi telesi (in tudi Pitagora je učil, da je Ogenj v središču kozmosa).

Nota bene: Kopernik še vedno ohranja "idealne" kroge in tudi vesolje kot celota ostaja sferično, končno in popolno v aristotelskem pomenu, četudi se razdalja do "zvezdnega neba" zelo poveča.

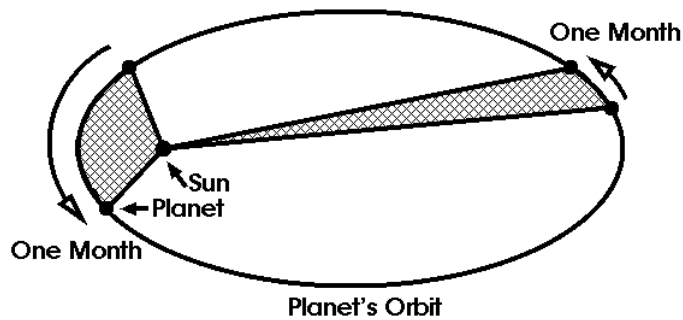


Giordano
Bruno
(1548-1600)

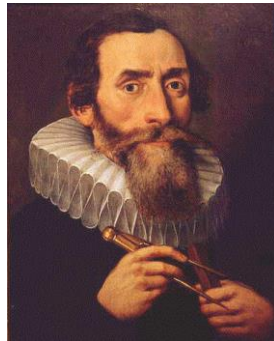
Bruno je bil prvi, ki je učil, da je vesolje neskončno in povsem razsrediščeno. Spoznal je, da so zvezde druga sonca, središča drugih svetov, med katerimi so morda tudi naseljeni z razumnimi bitji.

Na inkvizicijskem procesu je rekel: »To dvojno neskončnost, tako glede velikosti vesolja kakor glede mnoštva svetov, bi morda lahko imeli za trditev, ki ni v skladu z resnico vere ...« (*Beneški dokumenti*, 1592)

Vendar je Bruno ohranil “panteistično” celovitost vesolja (*univerzuma*) v Enem: »Vesolje je eno, neskončno, negibno.« (*O vzroku, počelu in Enem*, 5. dialog).

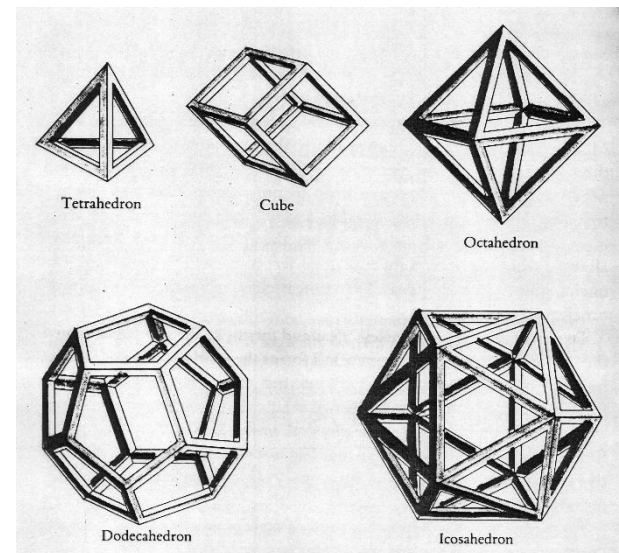
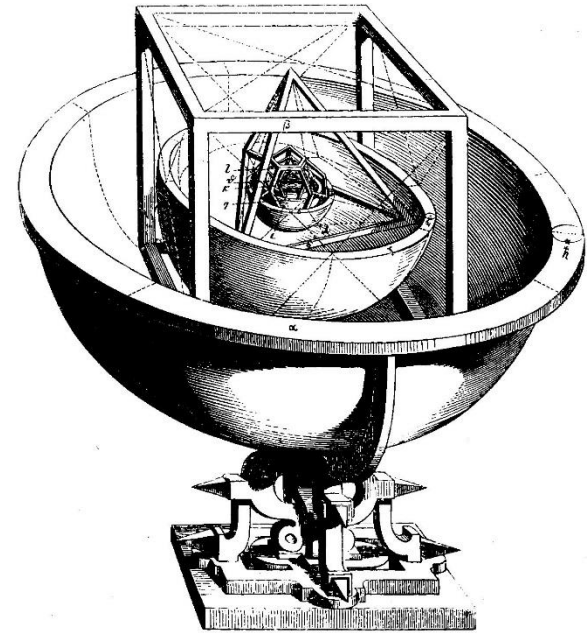


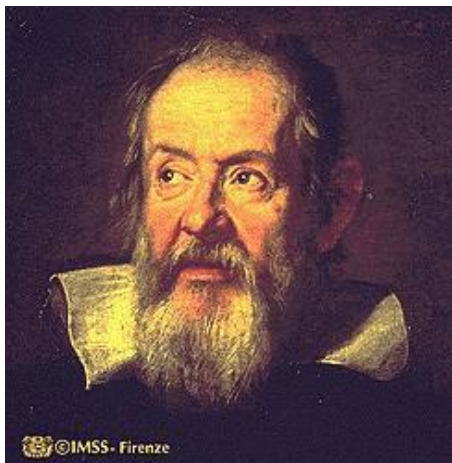
Johannes
Kepler
(1571-1630)



Kepler je na osnovi natančnih astronomskih merjenj, ki jih je opravil že njegov predhodnik Tycho Brahe, opisal kroženje planetov okrog Sonca z elipsami (*levo zgoraj* je skica drugega Keplerjevega zakona).

Vendar se je Kepler, ki je bil po filozofskem prepričanju platonik, težko poslovil od “idealnih” krogov, krogel in “platonskih teles” (*desno spodaj*). V svojem zgodnjem delu *Mysterium cosmographicum* (1596) je z njimi še razlagal planetne orbite (*desno zgoraj*).





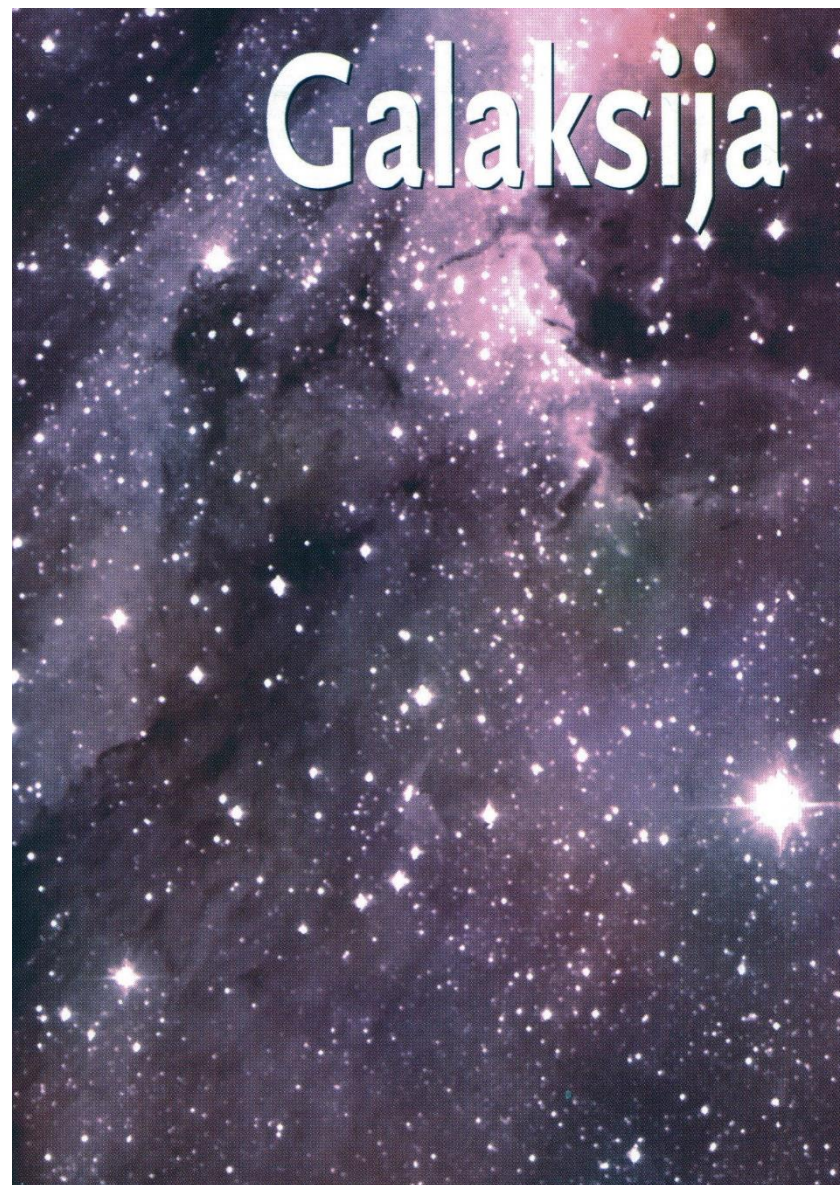
Galileo Galilei
(1564-1642)

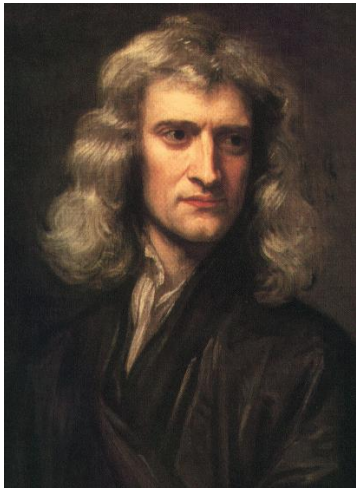
Galilei je utemeljil novoveško naravoslovno znanost na povezavi izkustva z matematiko.

Na področju astronomije je prvi opazoval s teleskopom in odkril štiri največje Jupitrove lune – imenoval jih je “Medičejske zvezde” (danes: Ganimed, Kalisto, Io, Evropa); to je bil prvi izkustveni dokaz, da ne krožijo prav vsa nebesna telesa okrog Zemlje.

Odkril je tudi, da je Galaksija (“Rimska cesta”) sestavljena iz nešteti zvezd.

In na koncu je rekel: »In vendar se giblje!« – namreč Zemlja okrog Sonca.





Isaac
Newton
(1642-1727)

$$F = G \frac{M m}{d^2}$$



Največji Newtonov dosežek na področju kozmologije je odkritje univerzalne gravitacije, ki je z gravitacijskim zakonom omogočila nebesno mehaniko.

Z Galilejem, Keplerjem in Newtonom sta se red in harmonija vesolja “preselila” iz nekdanjih (antičnih, srednjeveških) vidnih predstav v enačbe matematične fizike.

Legenda pravi, da je Newton prišel do genialne zamisli, da ista gravitacijska sila povzroča padanje teles na Zemlji in gibanje nebesnih teles, ko mu je nekega dne padlo na glavo jabolko in se je vprašal: zakaj pa Luna ne pade na Zemljo?

Odkritje daljnogleda oz. teleskopa je omogočilo človeku, da je uzrl na tisoče in tisoče zvezd, ki so s prostim očesom nevidne



Zvezdna kopica "Skrinjica draguljev" v Malem Magellanovem oblaku, oddaljena od nas ~ 200.000 svetlobnih let (sodobni posnetek s Hubblovim teleskopom)



Immanuel
Kant
(1724-1804)



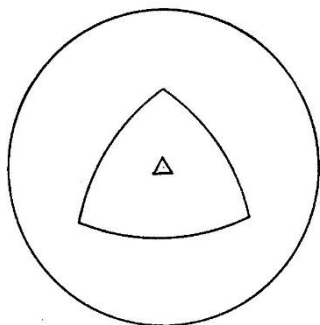
Kant je v svojih mlajših letih veliko prispeval k razvoju takratne naravoslovne znanosti, zlasti kozmologije (npr. s teorijo nastanka Osončja, 1755), toda v svojem najbolj znanem delu, v ***Kritiki čistega uma*** (1781) je postavil načelno, spoznavno-teoretsko zaporo kozmologiji s “kozmoško antinomijo”, ki pravi:

Z logiko, razumskim dokazovanjem, je mogoče dokazati oboje: bodisi da je vesolje v prostoru in času končno bodisi da je neskončno – to pa je seveda protislovje in zato, je nadalje sklepal Kant, se moramo na razumski (teoretsko-znanstveni) ravni odreči sami kozmologiji, saj sprašuje o nečem, kar je »onstran vsega možnega izkustva«, namreč o celoti vesolja.

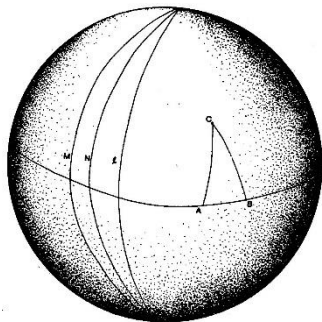
Kant je pojmoval prostor in čas kot apriorni formi (obliki) čutnosti, pri tem pa je kot nekaj samoumevnega predpostavljal, da je apriorna in edina možna evklidska geometrija prostora, kakor tudi linearno enosmerna struktura časa. Toda kmalu se je izkazalo, da se je v tem motil ...

Neevklidske geometrije, ukrivljeni prostori (ponazoritev v dveh razsežnostih)

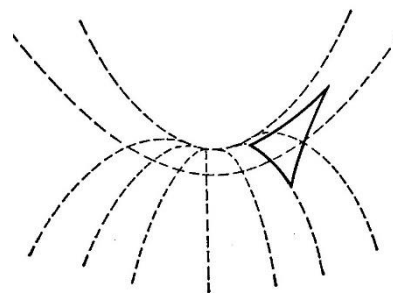
pozitivno ukrivljena (**sferična**) geometrija:
vsota notranjih kotov v trikotniku je večja od 180°



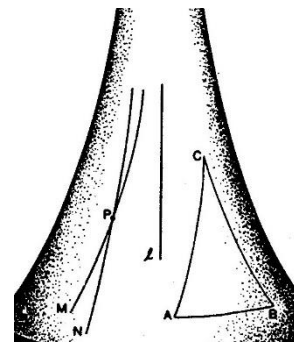
1. varianta zanikanja 5. Evklidovega postulata:
Skozi točko, ki ne leži na izbrani “premici”
(tj. geodetki) k le-tej ne obstaja nobena
vzporednica – saj se vse na **sferi**
“vzporedne” geodetke sekajo na polih:

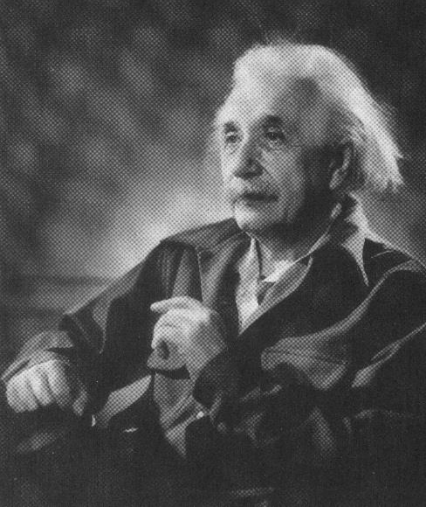


negativno ukrivljena (**hiperbolična**) geometrija:
vsota notranjih kotov v trikotniku je manjša od 180°



2. varianta zanikanja 5. Evklidovega postulata:
Skozi točko, ki ne leži na izbrani “premici”
(tj. geodetki) k le-tej obstaja neskončno mnogo
vzporednic – saj se vse na **pseudosferi**
“vzporedne” geodetke nikjer ne sekajo:





Albert
Einstein
(1879-1955)

$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$

Einstein je s svojo splošno teorijo relativnosti (1915) postavil teoretski temelj sodobni kozmologiji.

Z “enačbami polja” (glavno enačbo glej *zgoraj*) je izrazil soodvisnost med prostorom-časom na eni strani (G) in maso in/ali energijo (saj velja: $E = mc^2$) na drugi (T).

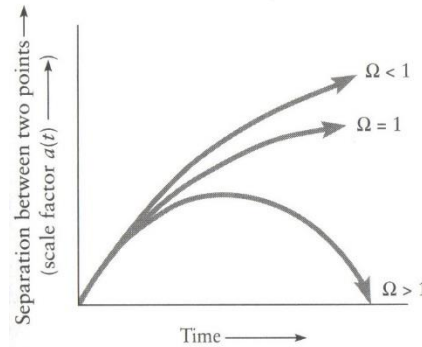
John A. Wheeler je to soodvisnost posrečeno izrazil: “Prostor-čas pove snovi [masi/energiji], kako naj se giblje, snov pove prostoru-času, kako naj se ukrivi.”

Slika desno: Eden izmed dokazov za veljavnost splošne teorije relativnosti je pojav “gravitacijskega lečenja”. Slika prikazuje jato galaksij z oznako *Abell 2218*, posneto s Hubblovim teleskopom leta 1994; jata s svojo velikansko maso učinkuje kot leča pri videnju (in pomnožitvi) mnogo bolj oddaljenih galaksij, ki jih vidimo kot krožne “pajčevine”.





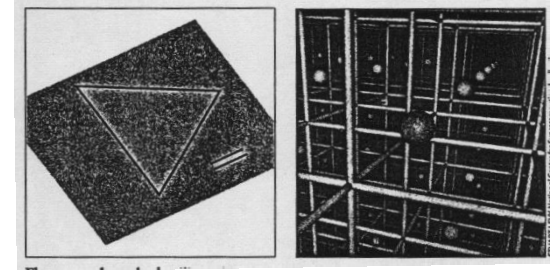
Aleksander
Friedmann
(1888-1925)



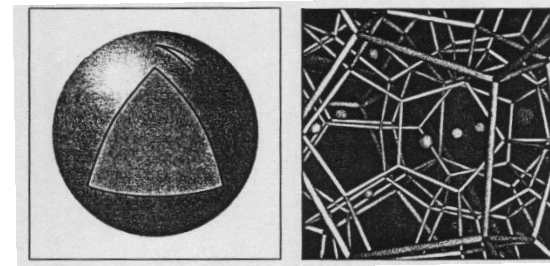
Ruski matematik Friedmann je leta 1922 odkril takšne rešitve Einsteinovih “enačb polja”, pri katerih se (vesoljni) prostor v času razteza – in s tem predvidel sodobne “dinamične” modele vesolja.

Razvoj vesolja (*slika zgoraj*) in tudi “optika” videnja objektov v njem (*slika desno*) sta v teh modelih – katerih metriko sta dopolnila Robertson in Walker, 1935 – odvisna od razmerja (Ω) med dejansko in “kritično” povprečno gostoto vesolja. Kot kaže, je vesolje znotraj našega horizonta (skoraj) “ravno” ($\Omega \approx 1$).

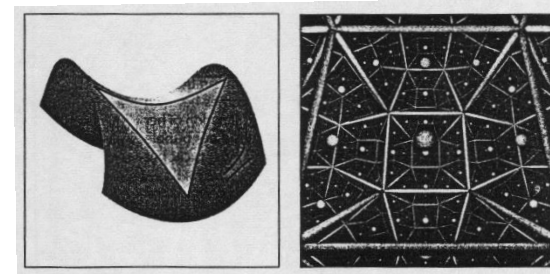
- “evklidski kozmos” ($\Omega = 1$)



- “sferični kozmos” ($\Omega > 1$)



- “hiperbolični kozmos” ($\Omega < 1$)



Odkritje drugih galaksij - Andromeda je “dvojčica” naše Galaksije



Slika 4. Naša Galaksija, kot jo vidimo z Zemlje. Mozaik je sestavljen iz velikega števila slik, posnetih v infrardeči svetlobi, ki lahko prodre skozi prašne in plinske oblake. Slika je nastala na podlagi posnetkov projekta snemanja celotnega neba v infrardeči svetlobi, ki je znan pod imenom Two Micron All Sky Survey ali skrajšano 2Mass. Astronomi so imeli na voljo dva 1,3-metrski teleskopa, enega v ZDA, drugega pa v Čilu.

Velika spiralna galaksija M 31 v ozvezdju

Andromede je kot “meglica” (nebula) vidna tudi

s prostim očesom, vendar so dokazali, da je druga galaksija, šele v 20. st.

Ta “dvojčica” naše Mlečne/Rimske ceste je od nas oddaljena približno 2,3 milijona svetlobnih let (SL) in v premeru (tako kot naša) meri več kot 100.000 SL, v njej pa je več kot 100 milijard zvezd. Ob njej vidimo dve manjši “satelitski” galaksiji, zvezde v ospredju pa so v naši lastni.

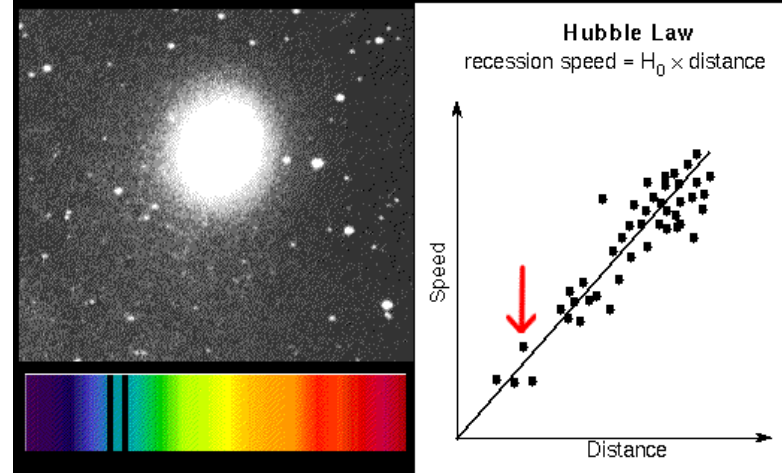
Znotraj našega vesoljnega horizonta je več kot 100 milijard galaksij.



Edwin Hubble (1889-1953)

Hubbllov zakon (1929):

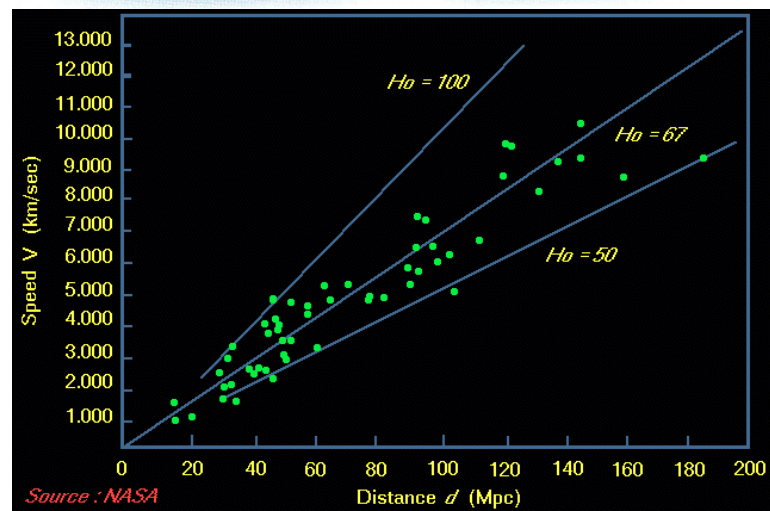
$$v = H_0 \cdot d$$



Hubble je z opazovanjem oz. merjenjem spektralnih premikov svetlobe z drugih galaksij (*desno zgoraj*) odkril, da se vesolje razteza, tj. da se razdalje med galaksijami s časom povečujejo (*desno sredina*).

Hubbllov zakon (*zgoraj*): čim dlje je galaksija (d), tem hitreje (v) se oddaljuje od nas; hitrost (“tempo”) samega raztezanja je izražena s Hubblovo konstanto (H_0): čim večja je, tem hitreje se vesolje razteza (*desno spodaj*).

Obratna vrednost Hubblove konstante ($1/H_0$) je Hubbllov čas, ki nam v izbranem kozmološkem modelu omogoča izračun starosti vesolja (sedanja ocena v modelu “ravnega” vesolja: 13–14 milijard let).



Sodobni “standardni” kozmološki model – “prapok” in razvoj vesolja

Na osnovi Einsteinove splošne teorije relativnosti in Friedmannovih modelov, predvsem pa Hubblovega odkritja raztezanja vesolja, se je v '20-ih letih 20. stoletja začel oblikovati sodobni “standardni” kozmološki model, splošno znan kot model “prapoka” (ali “velikega poka”, *big bang*).

Po tem modelu je vesolje na začetku silno gosto in vroče in v teh “prvih treh minutah” (Weinberg) nastajajo – kot posledice “loma simetrij” med štirimi osnovnimi fizikalnimi silami – elementarni delci: v tem procesu nastane največ vodika (cca $\frac{3}{4}$ vse snovi v vesolju) in helija (cca $\frac{1}{4}$), vseh drugih, težjih elementov pa je manj kot en odstotek in nastanejo pozneje, v jedrskih reakcijah v središčih zvezd.

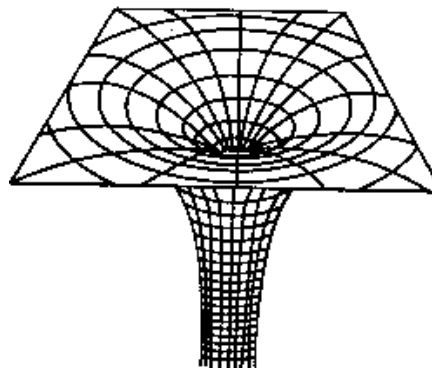
Prapok je (bil) “povsod”, kozmološki prostor-čas je tu namreč mišljen intrinzično (notranje), ne kot “vstavljen” v neki “zunanji” hiper-prostor-(čas).

Sled prapoka je “prasevanje” (Penzias & Wilson, 1965); prasevanje ali mikrovalovno sevanje “ozadja” prihaja z vesoljnega horizonta, Hubblove sfere.

V standardnem modelu nastopata Einsteinova teorija gravitacije in kvantna mehanika, ki pa teoretsko (še) nista kompatibilni – tudi to je razlog, da je sam prapok v strogem pomenu zgolj domneven, saj se znanstvena razlaga konča pri t. i. Planckovem času, ki znaša 10^{-43} s.



Stephen Hawking
(1942-2018)



Hawking, avtor slavne poljudnoznanstvene knjige ***Kratka zgodovina časa*** (1988), je bil predvsem strokovnjak za teorijo črnih lukenj (*slika zgoraj*).

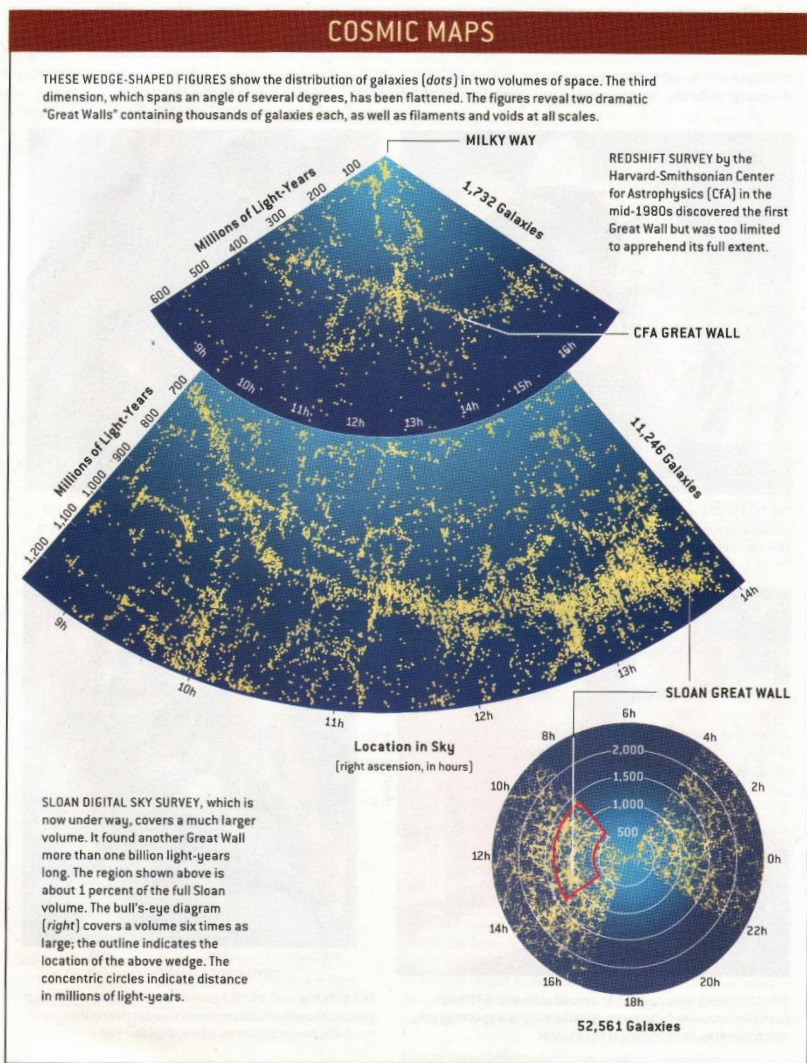
V '60-letih sta skupaj z Rogerjem Penroseom dokazala, da »črne luknje nimajo las«, pozneje pa je sam Hawking ugotovil, da se v neznansko dolgem času tudi črne luknje izsevajo nazaj v vesoljni prostor (to je t. i. Hawkingovo sevanje).

V kozmologiji je Hawking zagovarjal "ateistično" varianto standardnega modela, tj. vesolje brez začetka in Stvarnika, namreč: »Robni pogoj vesolja je ta, da nima nobenega roba. V celoti je vsebovano samo v sebi, in nič, kar je zunaj, nanj ne more vplivati. Ni ustvarjeno in tudi uničeno ne bo. Vesolje kratko malo JE.«

(*Kratka zgodovina časa*, slov. prev., str. 127)

Hawking je uvedel tudi hipotezo o »imaginarnem času« (poleg »realnega časa«) in ravno v tem imaginarnem času (ki ima, figurativno rečeno, »obliko hruške« in je v nekem smislu še bolj realen ali vsaj prvotnejši od kozmološkega realnega časa), naj bi bilo vesolje brez roba in tudi brez središča, tj. brezmejno v prostoru-času.

Največje znane strukture v vesolju



Sodobne astronomske meritve - predvsem s pomočjo eksplozij supernov v drugih galaksijah - omogočajo globinsko kartiranje vesolja.

Čeprav je vesolje "globalno", tj. do horizonta, Hubblove sfere, izotropno in homogeno (kar je razvidno predvsem iz "prasevanja") – pa se galaktične jate in nadjate strukturirajo v velikanske "zidove" ali "mehurje", ki so tudi večji od milijarde svetlobnih let (gl. pajčevinaste strukture *na sliki*), med njimi pa so ogromne praznine.

Vesolje je velikansko, razsrediščeno in v našem kozmološkem obdobju skoraj prazno – med galaksijami, vesoljnimi "atomi", so velikanske razdalje, ki se še povečujejo, in kot kažejo novejše meritve, celo pospešeno → tj. pospešeno raztezanje vesolja v naši kozmični dobi.

“Natančna naravnost” vesolja, angl. “*fine-tuning*” (dob. “fina uglasitev”)

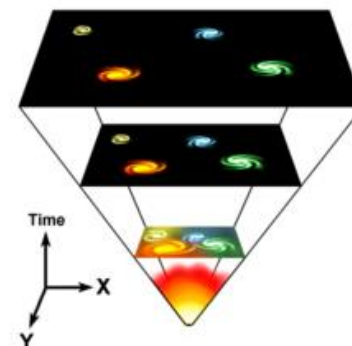
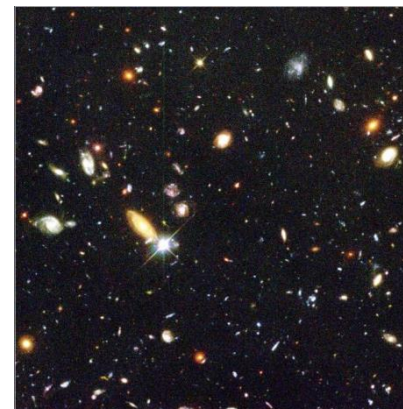
Torej, če ponovimo: sodobna kozmologija je razvila “standardni model”, ki opisuje nastanek in razvoj vesolja iz zelo gostega in vročega začetnega stanja – in ta teorija se popularno imenuje “kozmozologija prapoka” ali “velikega poka” (*big bang*).

V zadnjih nekaj desetletjih je v postalo znanstveno razvidno, da je (bilo) naše vesolje “natančno naravnano” od zelo majhnih intervalov same prve sekunde dalje. To pomeni:

Če bi bili osnovni fizikalni parametri (konstante) le *malce* drugačni, tedaj bi bili pogoji (delci, sile idr.) tako *zelo* drugačni, da ne bi bil mogoč nastanek kompleksnih struktur (npr. organskih molekul), torej se ne bi moglo razviti življenje. – Še več: brez natančne naravnosti ne bi mogle nastati iz prvotne “ognjene krogle” niti galaksije niti zvezde niti planeti, na katerih (najbrž ne samo na Zemlji?) domujejo živa bitja in tudi človek, opazovalec vesolja.

“Natančna naravnost” fizikalnih konstant oz. parametrov pa je vidna tudi v drugih, od kozmologije bolj utrjenih panogah fizike (npr. v fiziki delcev je razlika med maso protona in nevtrona “natančno naravnana” za stabilnost snovi).

Vprašanje: Ali je ta opažena “natančna naravnost” resnična (tj., ali obstaja v naravi sami, v kozmosu) ali pa je zgolj navidezna (ker nekaj bistvenega manjka v našem razumevanju vesolja)?



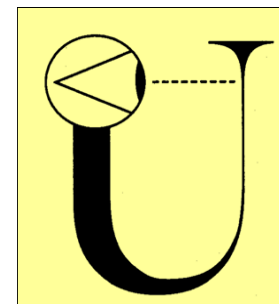
“Antropično kozmološko načelo” in vloga opazovalca

Antropično načelo (**Brandon Carter**, 1974) ima dve glavni verziji:

- Šibko antropično načelo pravi, da –
“moramo biti pripravljeni upoštevati dejstvo, da je naš položaj *<location>* v vesolju *nujno* privilegiran v tem smislu, da je združljiv z obstojem nas samih kot opazovalcev.”
- Močno antropično načelo pa pravi:
“Vesolje (tj. osnovni parametri, od katerih je odvisno) mora biti takšno, da dopušča nastanek opazovalcev znotraj sebe na neki [svoji razvojni] stopnji. Če parafraziramo Descartesa: *Cogito ergo mundus talis est* [Mislim, torej svet takšen je].”



Brandon Carter



Antropično načelo je poskus “ateistične”, evolucijske razlage “natančne naravnosti” vesolja za nastanek nas – opazovalcev, razumnih bitij. (Njegov namen ni niti teološka niti teleološka, sploh pa ne kaka antropološka razlaga vesolja, čeprav so interpretacije različne.) Vsekakor pa je pri antropičnem načelu pomembna ponovna vpeljava človeka, “opazovalca”, “subjekta” v znanstvene kozmološke modele.

Glavna težava antropičnega načela je, da predpostavlja množstvo vesolij, »multiverzum«, in sicer veliko število drugih vesolij, drugih “prapokov”, to pa je gotovo visoka cena za takšno razlago “natančne naravnosti” osnovnih kozmoloških konstant (parametrov).

Alternativa antropičnemu načelu oziroma “ateističnim” razlagam pa ni zgolj teistični Bog-Stvarnik, ampak je možno tudi panteistično, notranje “vodilo” razvoja vesolja (imanentni vesoljni Um, Logos, Dao ...).



Van Goghova Zvezdna noč



Zakaj je vesolje tako velikansko in razsrediščeno?

Sedem možnih odgovorov (*inter alia*):

1. Vprašanje *zakaj...* je za vesolje nesmiselno, saj dejansko ni nobenega zadostnega razloga za takšno velikost oziroma razsrediščenost vesolja – “tako pač JE”. (Ampak s tem se razum težko sprijazni.)
2. V “multiverzumu” (brezštevilnem mnoštvu svetov) se že najde ravno pravšnje, namreč takšno vesolje, kot je naše, druga so pač manjša – morda pa celo večja? (“Antropično načelo”, evolucija brez smotra.)
3. Naše vesolje je nujno tako veliko v prostoru-času, zato da lahko iz sebe porodi en sam samcat “otok zavesti”: našo zemljico, človeško telo, možgane. (Ali s tem predpostavljamo smotrnost vesolja?)
4. Neskončnost in razsrediščenost vesolja sta lepši in boljši od končnosti in središčnosti. (Klasiki se s tem nikakor ne bi strinjali, pač pa je “oceansko občutje” ugajalo Brunu in romantikom.)
5. Vesolje mora biti neskončno zaradi naše svobodne volje/zavesti, da bi imela na razpolago neomejeno količino prostora-časa – le kako naj bo svobodna, če naleti na mejo? (Ali je brezmejnost res bistvo svobode?)
6. Vesolje sploh ni zares tako neznansko veliko – takšnega zgolj vidimo zaradi neke “iluzije”, npr. zrcaljenja prostorskih replik v času ipd. (Tudi če bi bilo to “globalno” res, bi bilo vesolje še vedno velikansko.)
7. Edino, kar je v vesolju resnično pomembno, je duša in/ali duh, zanju pa bližina in daljavo pomenita nekaj povsem drugega, saj sta v Enem, edinem pravem “središču” vsega, kar je. (Da, morda, morda res ...)

