

Са крова до звезда, Програм сталног стручног усавршавања, број 590

Савремена космологија

Љубиша Нешић, ПМФ и одељење за
ученике са посебним способностима
за физику

- Савремена космологија - космологија базирана на науци
 - На резултатима посматрања и компликованим теоријским израчунавањима
- Покушај да се сазна како је свемир настао и шта ће бити са њим постоји од кад и цивилизација
- Најраније космолошке идеје су засноване на
 - Искуству
 - Под утицајем су културе
 - Митологије
 - религије

Преглед излагања

- Терминологија
- Космологија пре космологије
- Фазе у развоју космологије
- Наш положај у Васиони
- закључак

- Косμολογία = *κόσμος* + *λογία* = “наука” која проучава настанак, особине и еволуцију свемира
- Има додирних тачака са:
 - Физиком, астрономијом
 - Филозофијом
 - Теологијом
- Историјски – углавном је сматрана облашћу филозофије
- Друга половина 20. века – посматрачка/физичка космологија



“Ненаучне” космологије – космологија пре космологије

- Две групе
 - Незнабожачке
 - Деистичке
- Шта се уопште подразумевало под свемиром?
- Оно што се види – Земља испод нас и као додатак небеска тела изнад

Египат



- Земља - лежећи бог – Каб над којим се надвија богиња неба Нут.
- Придржава је бог ваздуха.
- Сунце и месец путују њеним телом

Вавилон



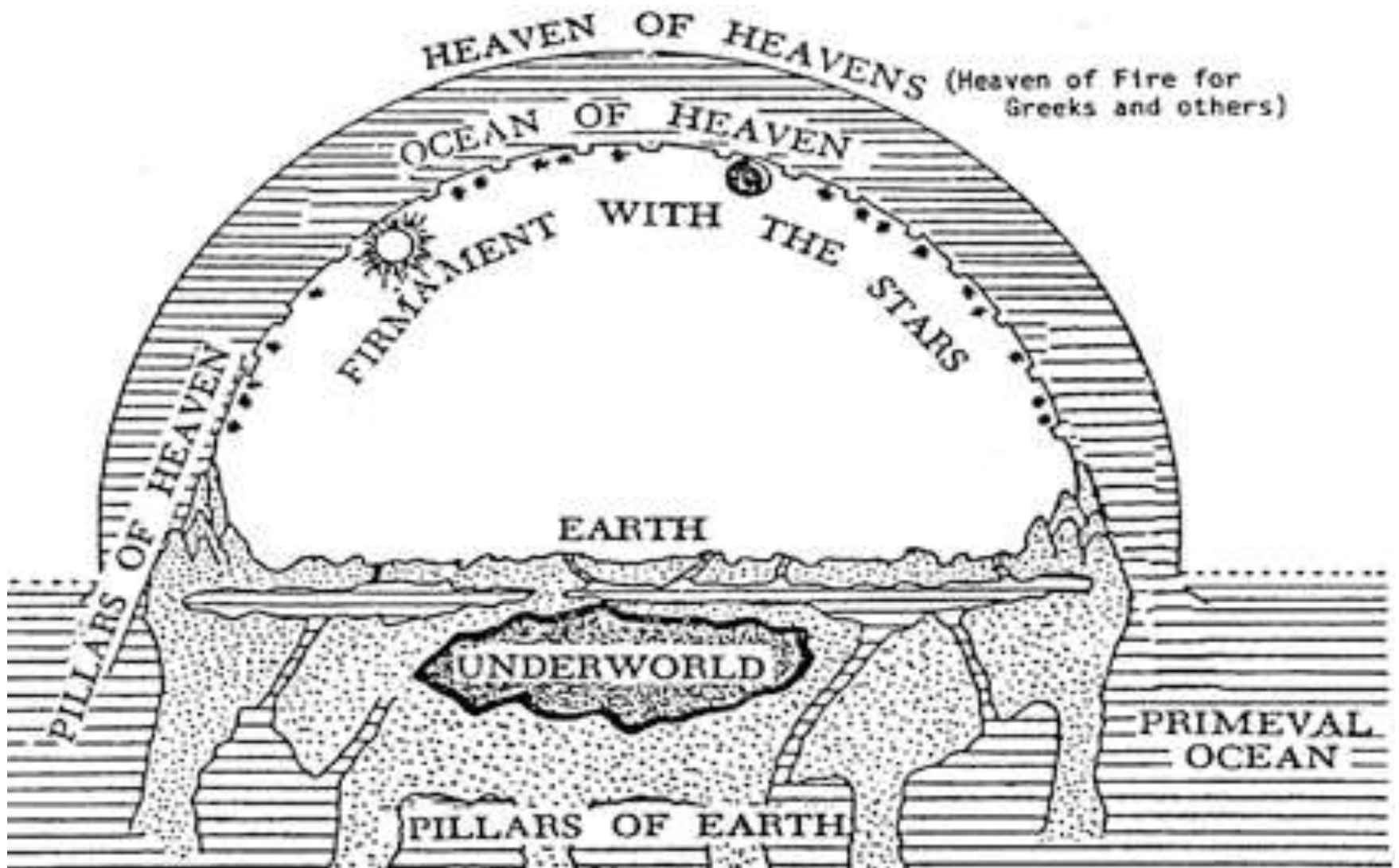
- Земља - шупља планина постављена посред мора

Индија



- Земља се налази на слоновима
- Када се они крећу Земља се тресе

Увек је потребан неки ослонац



Јудаизам

- У почетку створи Бог небо и земљу... Књига постања
- Хебрејски спис о стварању света – Прва књига Мојсијева
- Како су изгледали “небо и земља”?





Хришћанско виђење света



- Хришћанство као наставак откровења задржава старозаветни став по питању настанка света:
- Вјерујем у једнога Бога Оца, Сведржитеља, **Творца неба и земље и свега видљивог и невидљивог...** И Господа Исуса Христа...Кроз Којег је све постало

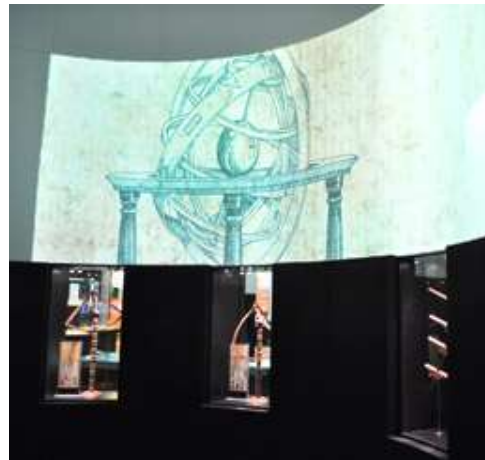
Исламско виђење света

- Да ли је било назадније односу на хришћанско?
- Први велики контакт две цивилизације – Крсташки ратови
 - Први рат(1096-1099), Освајање Јерусалима
 - Други рат (1147 - 1149), Пад Јерусалима
 - Трећи рат (1189 - 1192), Барбароса, Лавље Срце
 - Четврти рат (1202 - 1204) Египат???? Задар, Цариград
- Други контакт – Исламска Шпанија (714 - 1492)
 - Реконквиста и Еуклид

Астрономија и ислам



Ислам и астрономија



Неке основне карактеристике

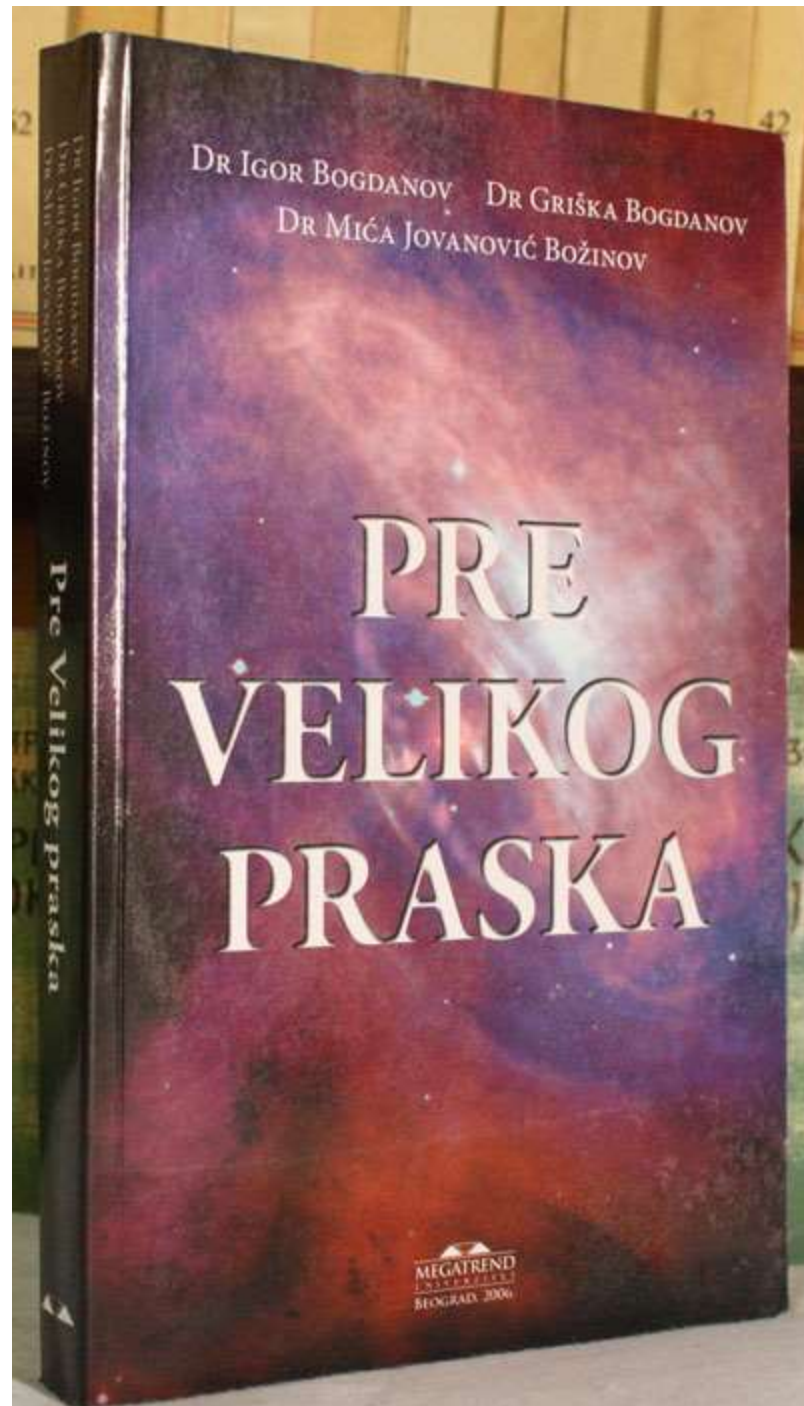
- богови стварају свет из неке постојеће материје
- Бог није творац, већ само уређивач
- Пошто је постојао увек, онда “није било времена кад га није било”
- Све је одувек постојало и све се мења у циклусима

Савремена космологија – време пре настанка времена

- Председник лабораторије за генералну космологију у Паризу – аутор
- И коаутори



Шта је било
пре Праска –
за само 650
динара



Измењена улога цркве данас

- Покровитељ конференција из космологије
- Опсерваторија у Ватикану



The image shows a screenshot of the Vatican Observatory website. At the top, there is a navigation bar with the following links: HOME, WHO ARE WE?, RESEARCH, SCIENCE, RELIGION, SOCIETY, SUMMER SCHOOLS (VOSS), PUBLICATIONS, and NEWS. Below the navigation bar, there is a banner with the text "Researchers can find VATT technical information and scheduling by following this link". Below this banner, there is a section titled "Vatican Observatory Summer School 2016" with a small icon of a telescope. At the bottom, there is a banner for "VOSS2016 Water in the Solar System and Beyond" with a background image of the Earth and a telescope.



New Director for Vatican Observatory

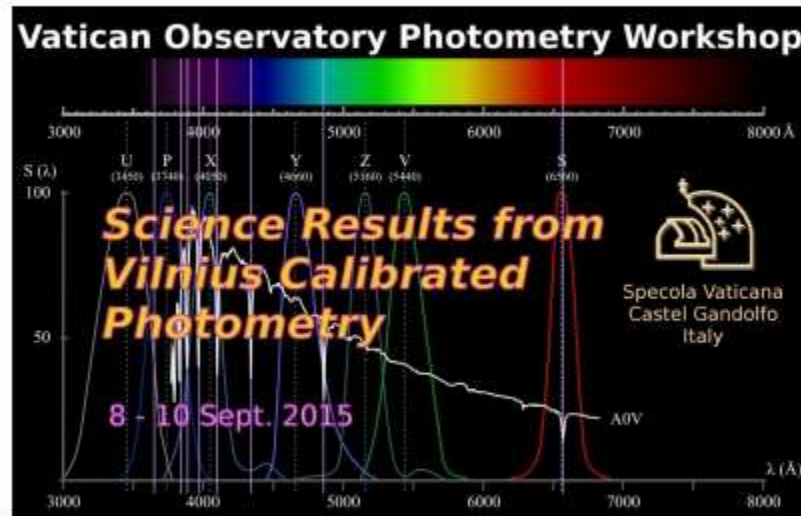


On September 18, 2015, **Brother Guy Consolmagno SJ** has become the new director of the Vatican Observatory. He succeeds Fr. José Funes SJ, who is ending the second of his five-year terms. Fr. Funes' tenure included successfully guiding the Observatory to new modern headquarters in the Papal Summer Gardens, and beginning the ongoing program of upgrading the Vatican Advanced Technology Telescope in Arizona. We all wish Fr. Funes, SJ great success in his new assignment, returning to his home to teach at the Jesuit University in Córdoba, Argentina.



Vatican **Photometry** Workshop

8 - 10 Sept. 2015





VOSS 2014

Galaxies

Near and Far, Young and Old

Vatican Observatory
Castel Gandolfo

14th Summer School

in Observational Astronomy
and Astrophysics

1 - 27 June 2014

Poster VOSS2014



Pope Francis meets VOSS2014 Students

Савремена космологија?!

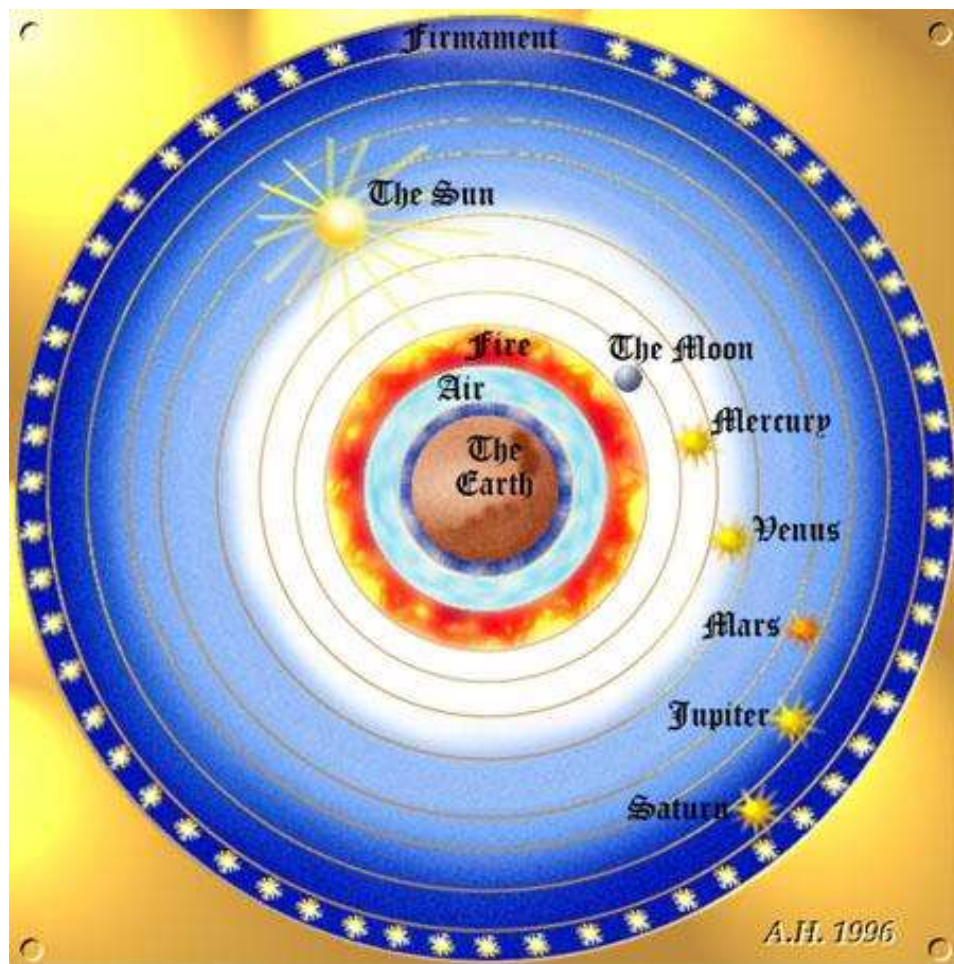
- Античка и средњевековна
- Космологија након “Коперниканске револуције”
- Модерна космологија

Античка космологија

- Базирана на посматрањима и резоновању
- Углавном геоцентрична
- Хелиоцентрични модел – Аристарх (пре око 2000 година)
- Питање за нас/вас - зашто није прихваћен?

Античка космологија

- Платон (428-348)
- Сва природна кретања су кружна
- Резон је важнији од посматрања



Античка космологија

- Птолемеј (100-170)
- Каталог звезда
- Инструмент
- Геоцентрични модел који је **одговарао подацима**
- Сложен и неприродан модел
- Због поклапања са подацима је прихваћен



Революционари

Коперник



Кеплер



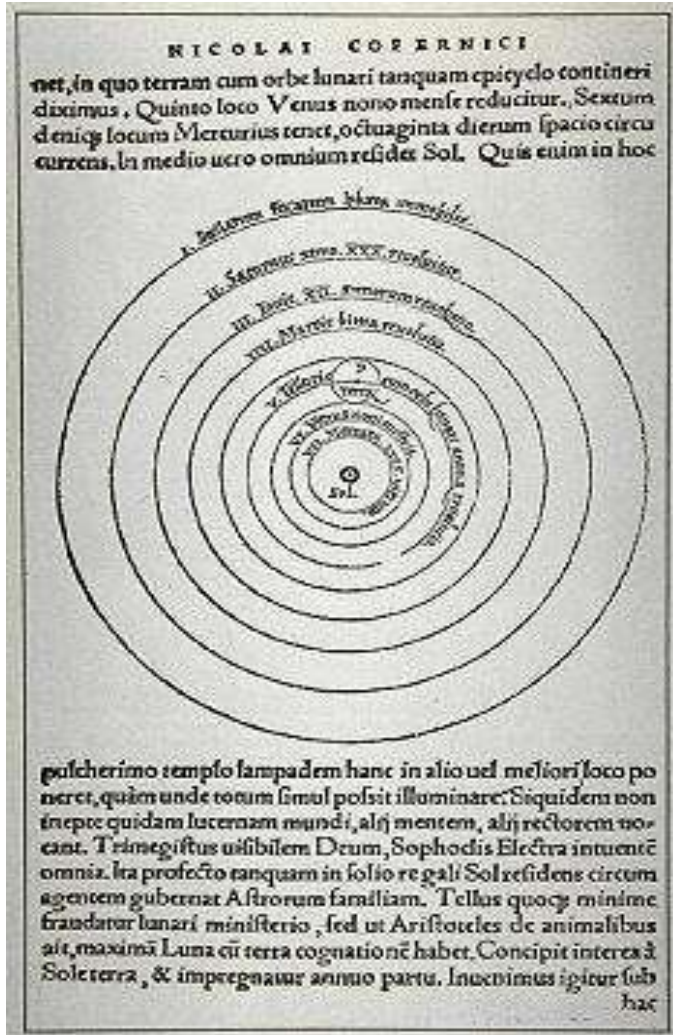
Галилео



Њутн

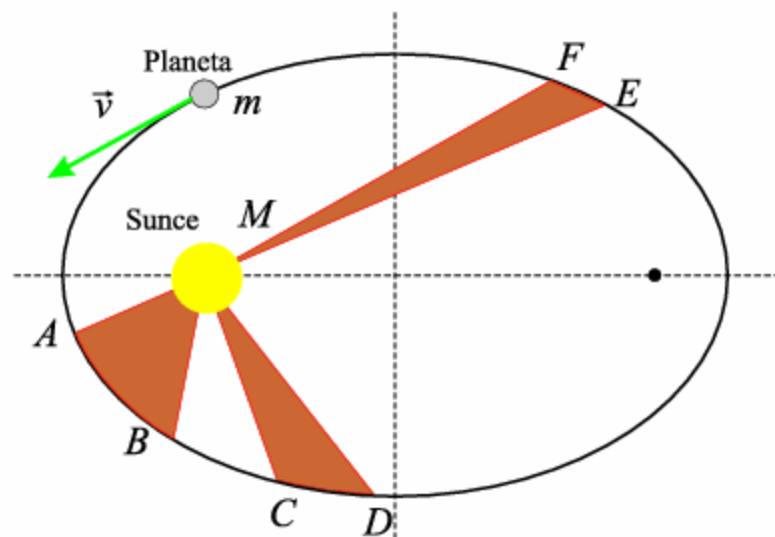
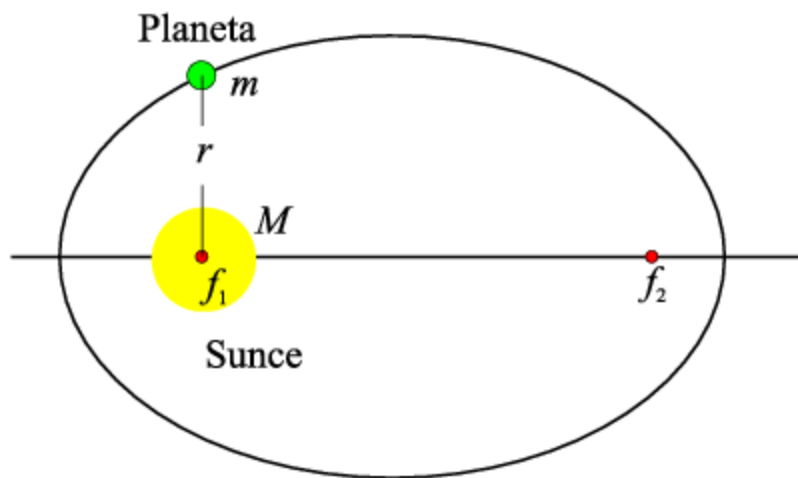


Коперник



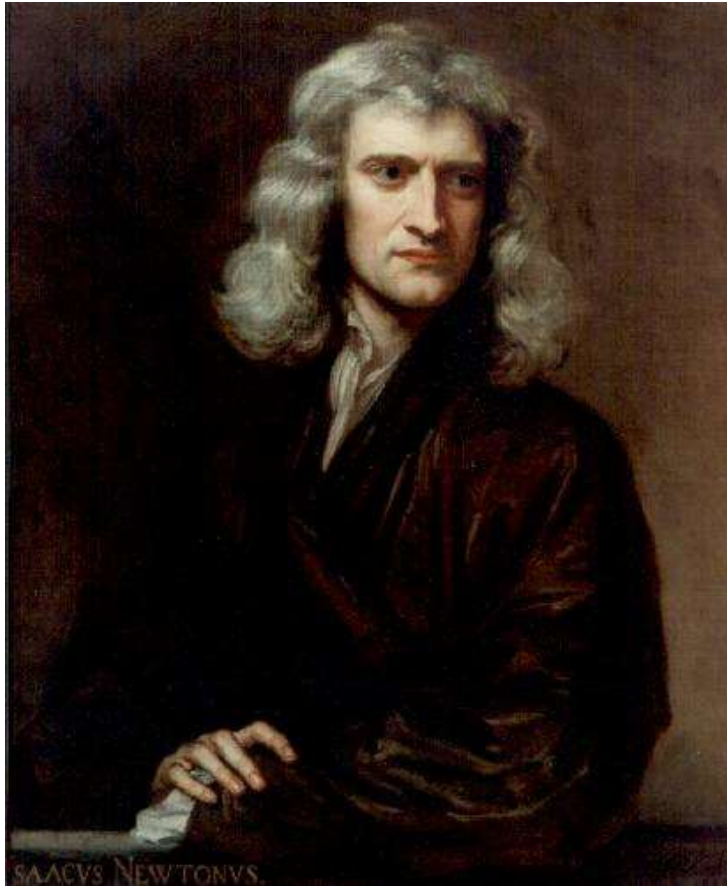
Кеплер

Кинематика



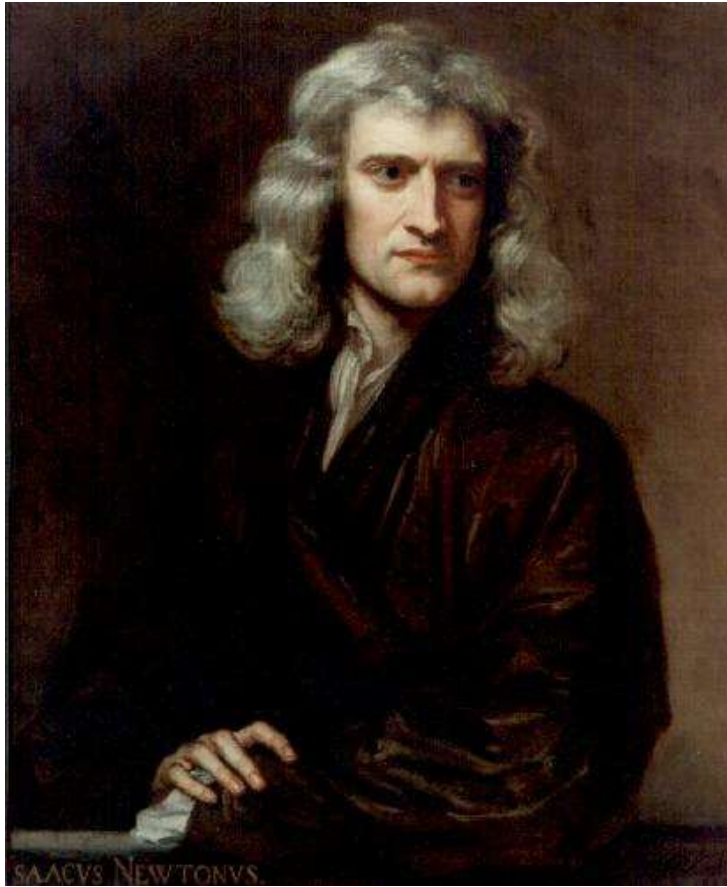
$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$$

Исак Њутн



- Прва довољно озбиљна теорија
 - Заснована на законима физике
- Принципи:
 - Звезде су равномерно распоређене
 - Космос је статичан (безграничан и вечан)

Исак Њутн

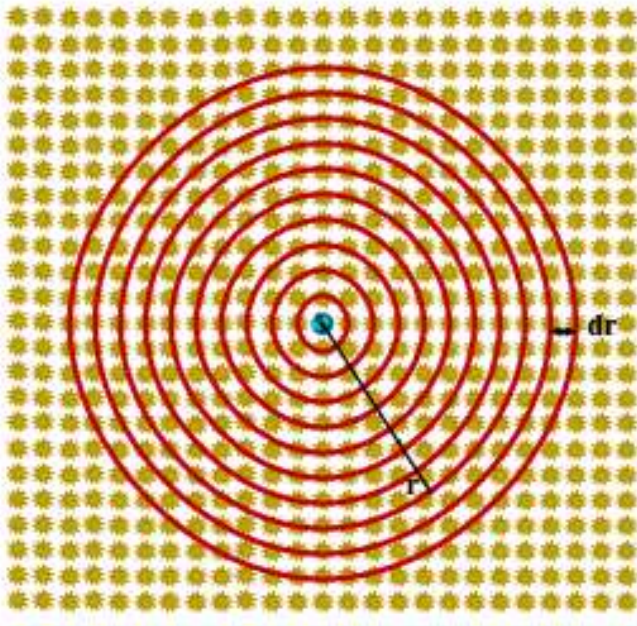


- Два проблема:
 - Гравитациони
 - Систем у коме је доминантна сила привлачна не може да остане статичан
 - Олберсов парадокс
 - Уколико су звезде распоређене хомогено у ком год правцу да погледамо видели бисмо светлост звезде па би ноћно небо морали бити светло

Олберсов парадокс

Дуж сваког правца налазе се звезде у вечном и бесконачном универзуму па небо мора да буде светло

- Број звезда расте са r^2 у свакој наредној лъусци
- сјај опада са r^2
- Сјај “по лъусци” је константан!



Чињеница да небо није униформно осветљено указује на следеће две чињенице:

- Универзум има коначну величину и/или
- није одувек постојао

Релативност

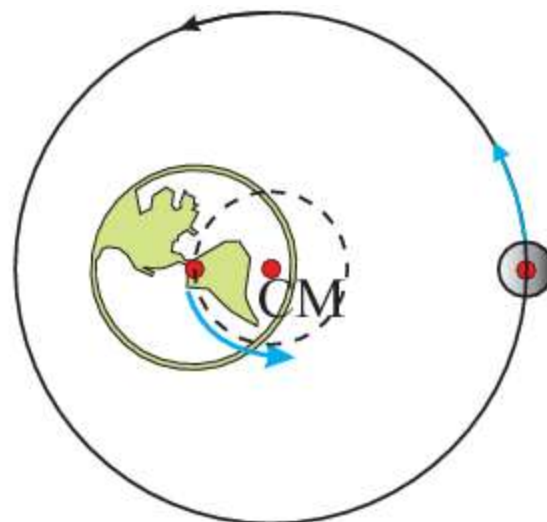
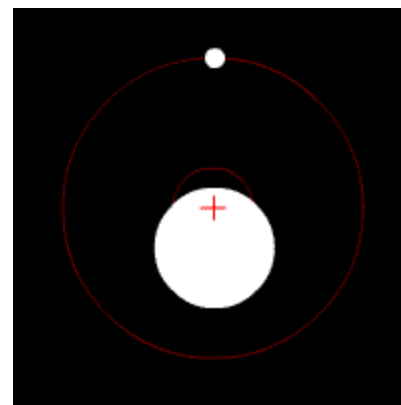
- Релативност - један од највећих проблема
- Вечна борба пуно сопствених система референце
- Који је апсолутни?
- Да ли је наше место у универзуму по нечему посебно?
- Јесте – наше је. Сем тога ...?!

Релативност

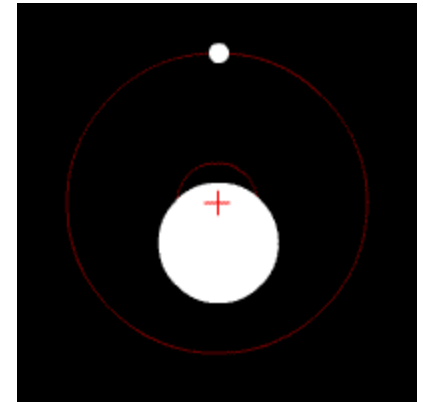
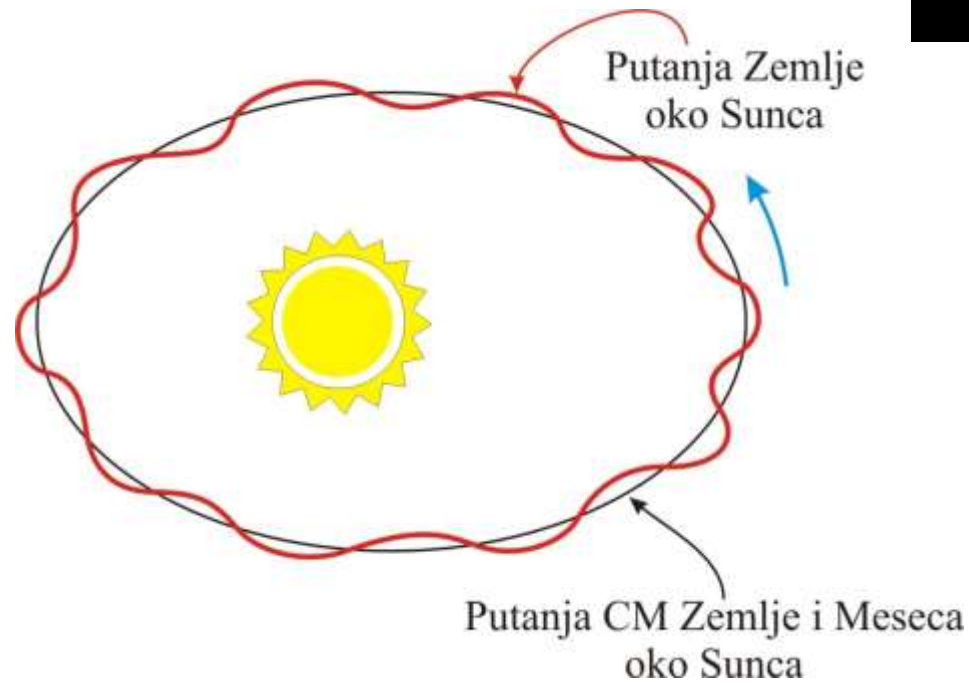


Кретање Земље

- ротација око своје осе
- ротација око Сунца
- ротација са Сунцем око центра галаксије, ...



Slika 5.2: Kretanje Zemlje i Meseca oko zajedničkog centra masa.



Slika 5.3: Putanje centra masa sistema Zemlja-Mesec i same Zemlje oko Sunca (talasasta linija).

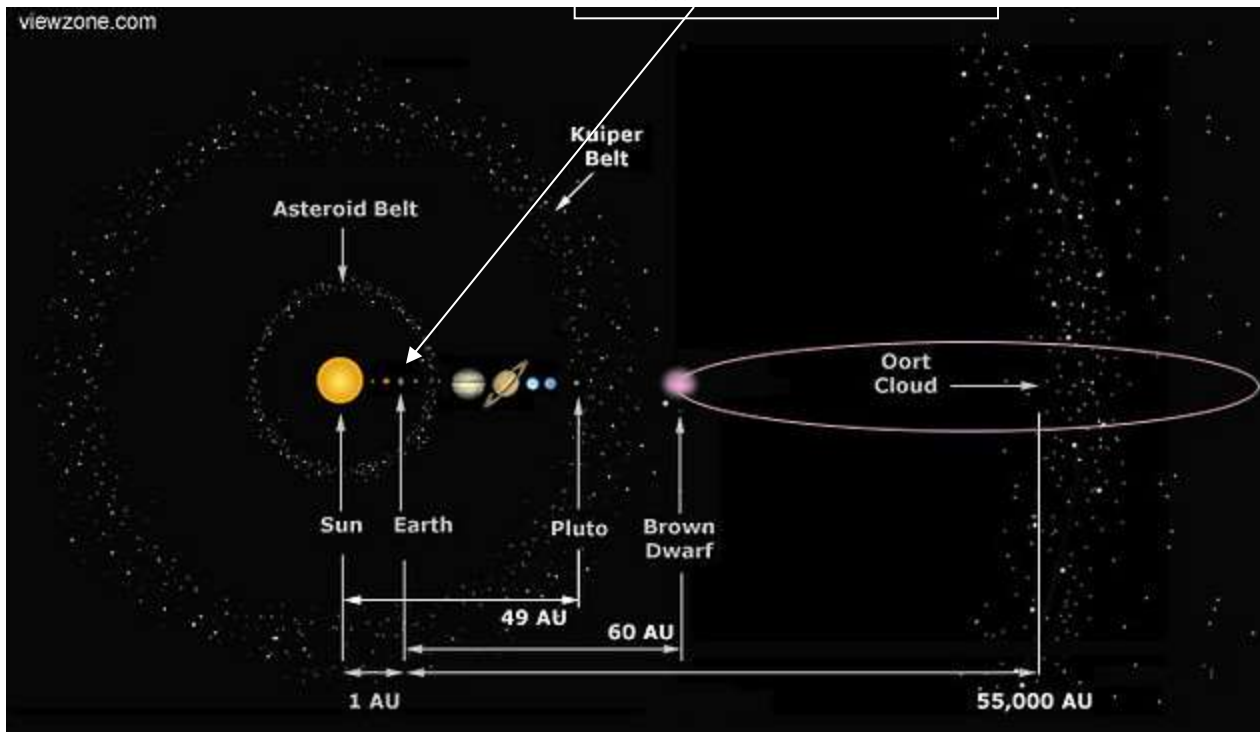
Релативност – КОСМОЛОШКИ принцип

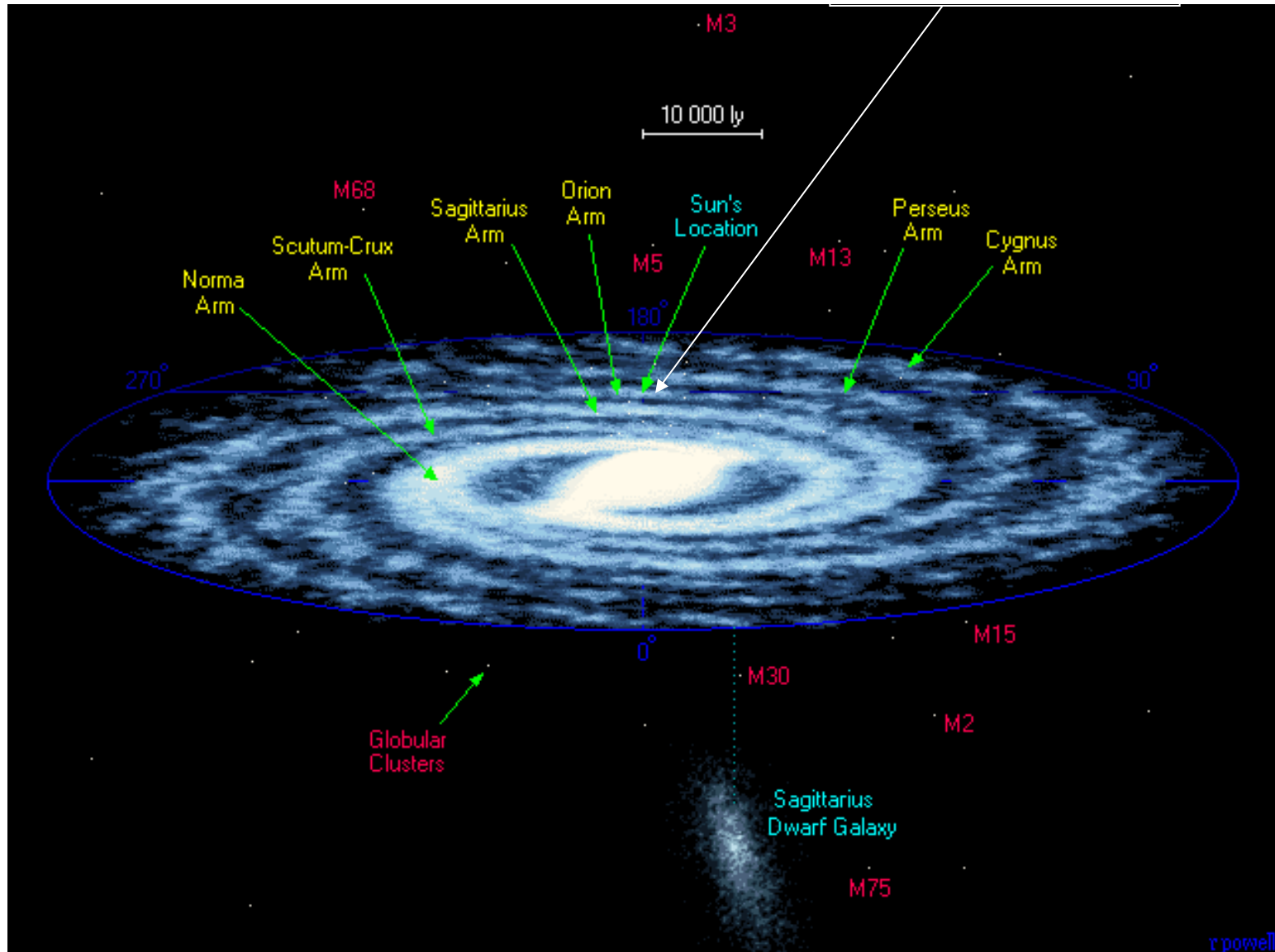
Наш положај у Универзуму није ни по чему посебан

- Све тачке у Универзуму се еквивалентне као што су и све тачке на сфери (површина Земље) еквивалентне

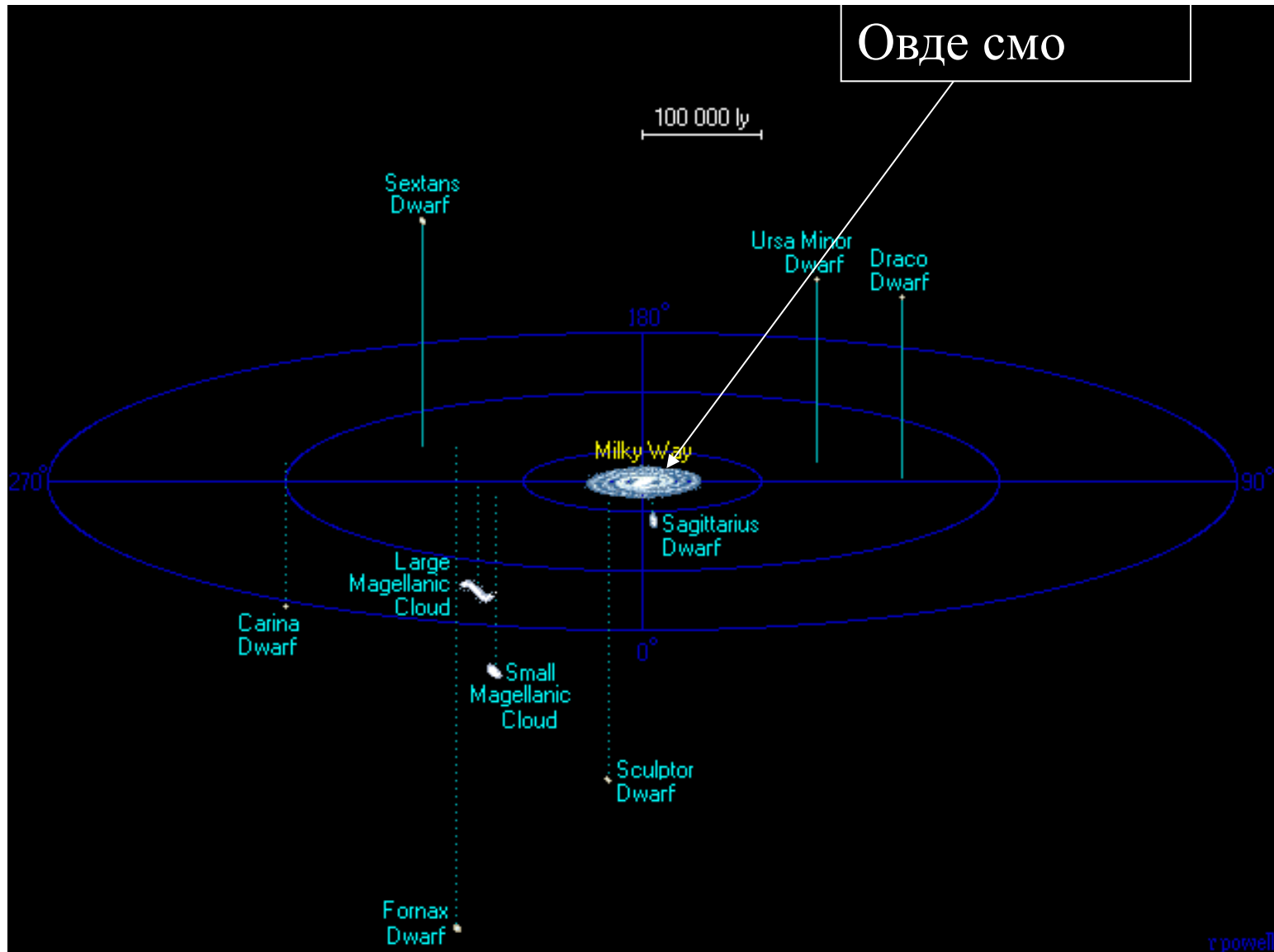
- Универзум изгледа исто где год да смо

Ми смо
(тренутно)
овде

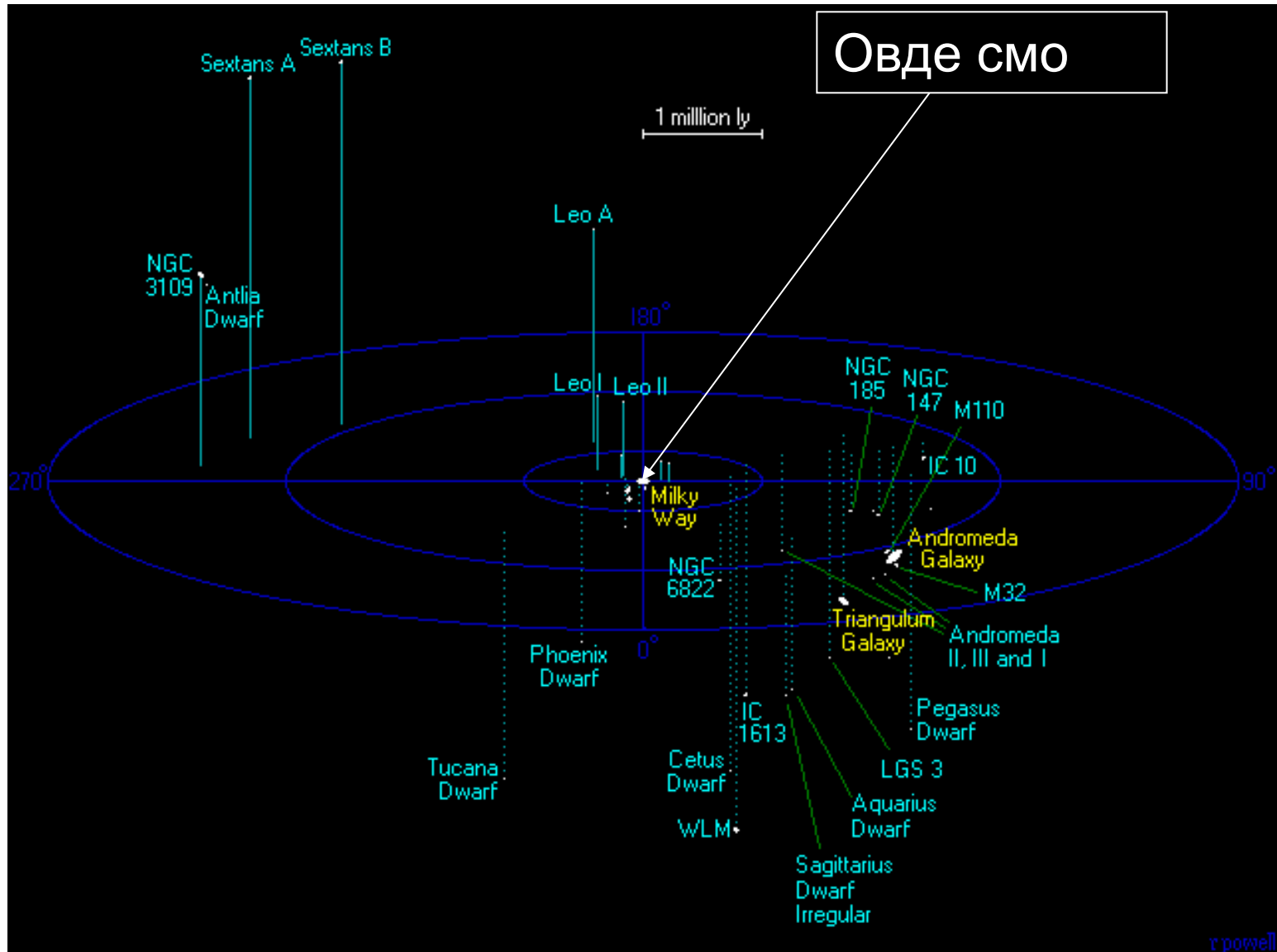




Локална група галаксија

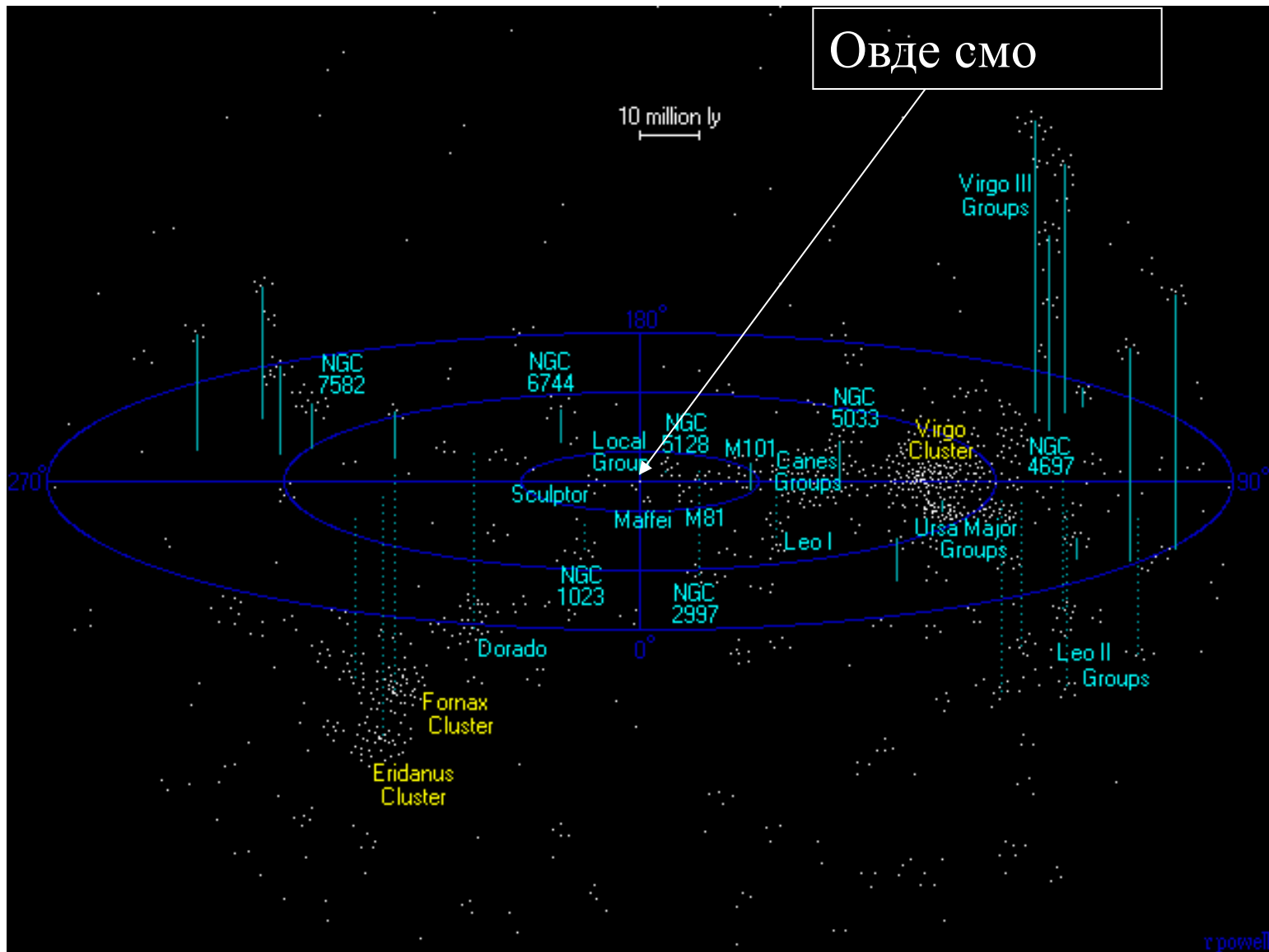


+ Андромеда



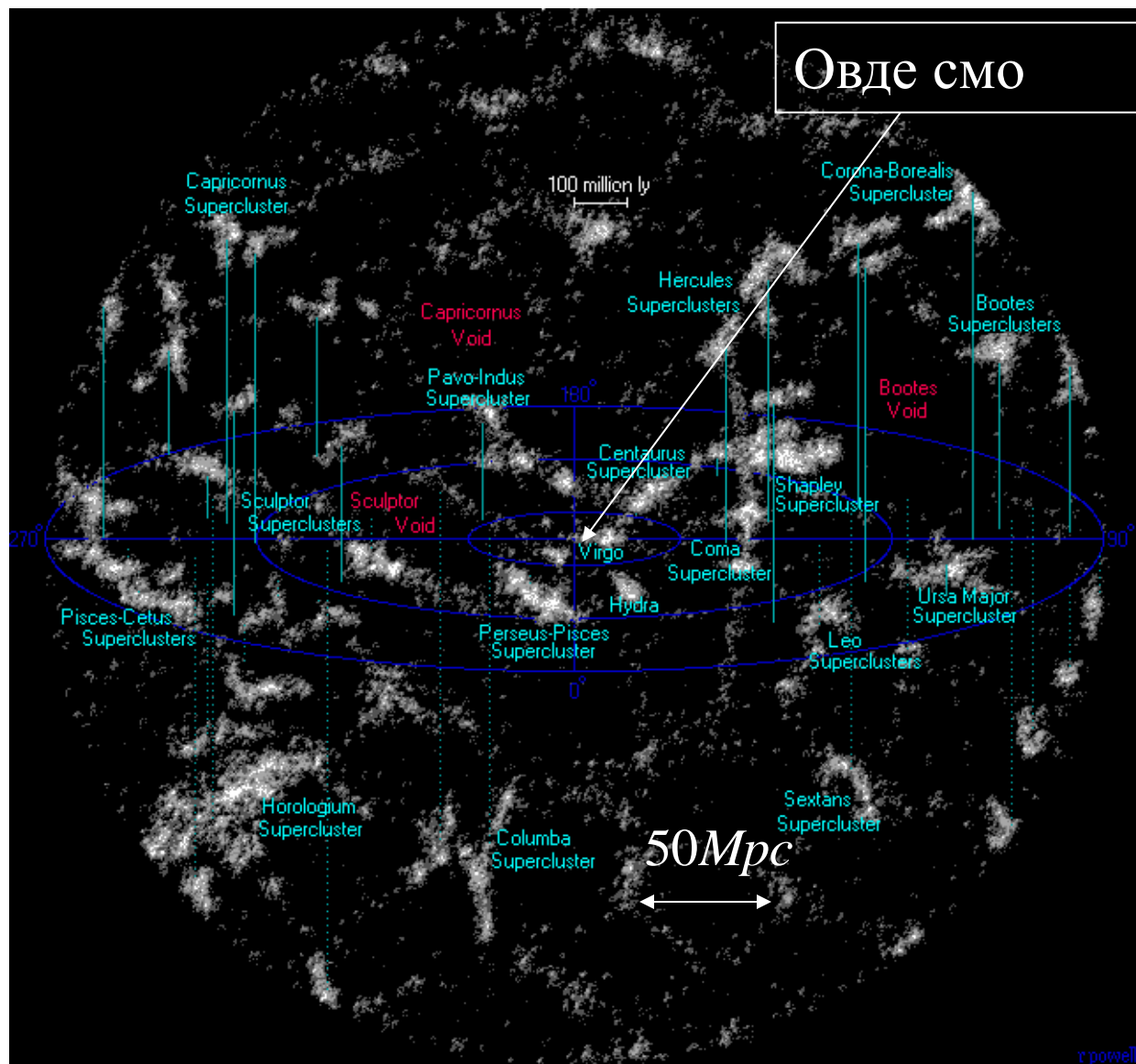
N.B. Large galaxies separated by about 1,000,000 pc = 1 Mpc

Вирго суперкластер

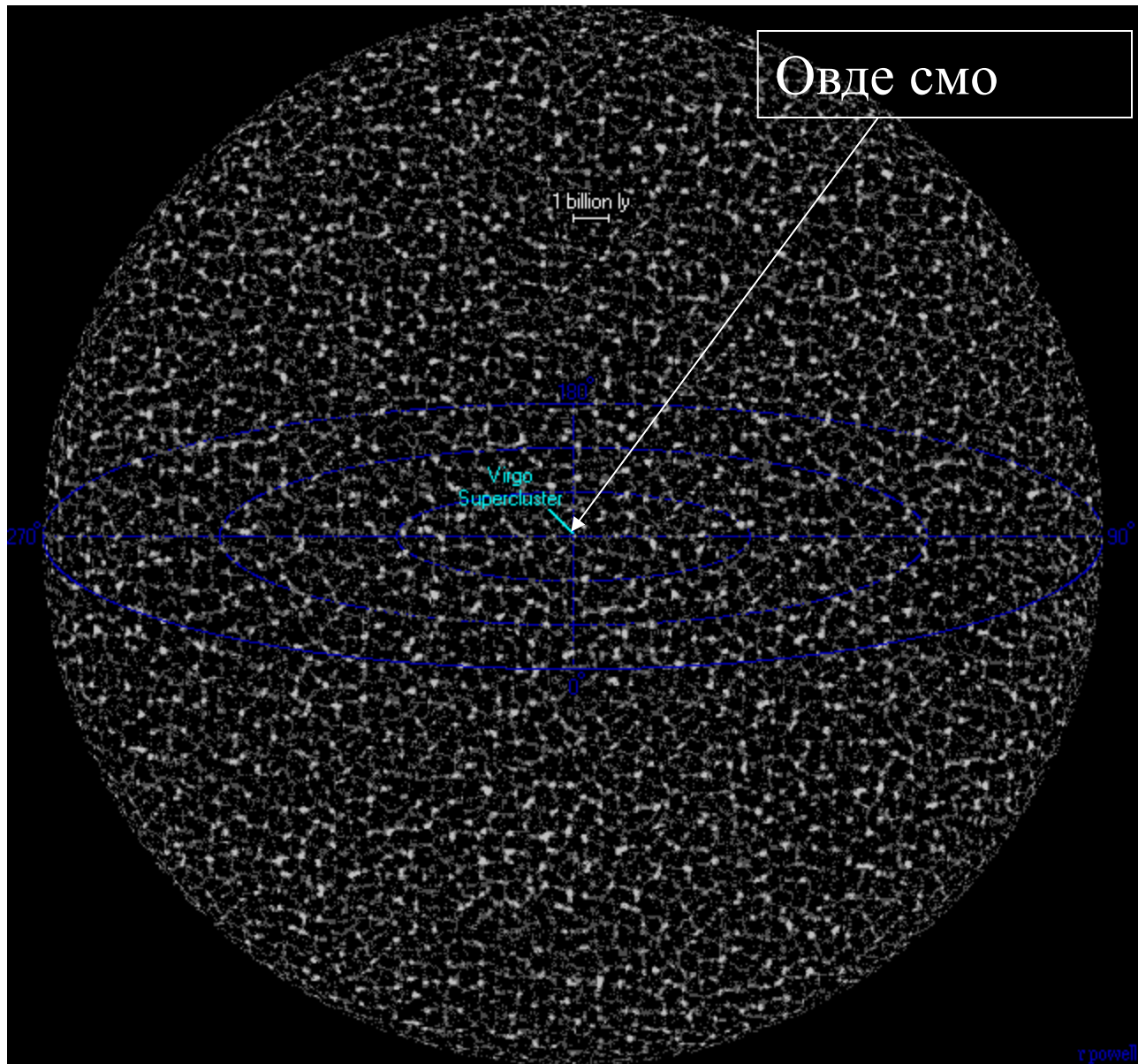


Each dot is a bright galaxy. Milky Way is dot in the exact centre.

Вирго и суседни кластери - суперкластер



Note the presence of filaments and voids in an irregular cellular pattern.



Овде смо

1 billion ly

Virgo Supercluster

270°

180°

90°

0°

Релативност ...

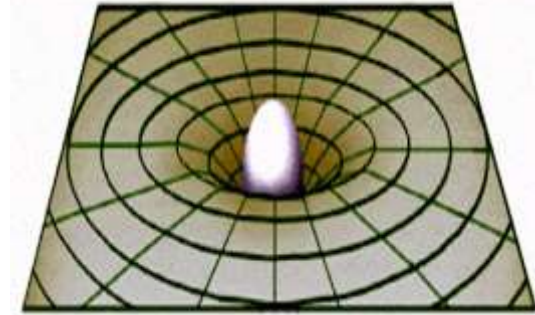
- Релативност – има ствари које су различите али и неких које су исте
- Је ли Ајнштајн (био) једини релативиста?
- Ајнштајн
- 1905. СТР
 - Уводи простор време – оно је равно (минковски – псеудоеклидски простор)
 - Не може да опише Њутнову гравитацију јер у њој сила делује тренутно
- 1915/16
 - ОТП: гравитација - “неравност” у простор-времену (1915).

$$d\ell^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2.$$

$$\begin{aligned}d\ell^2 &= -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 \\ &= -c^2 dt^2 + dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2).\end{aligned}$$

Алберт Ајнштајн

- Ј-не ОТР (1915)



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$

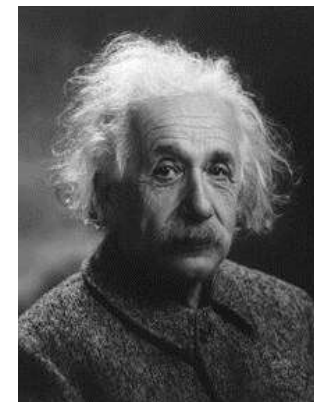
закривљност простора = расподела материје

“простор говори материји како да се креће а материја говори простору како да се закриви”

ОТР је убрзо локално проверена – у Сунчевом систему

Космологија и ОТР

ОТР тврди да масе закривљују простор. Густина масе-енергије одговорна је за геометрију универзума на великој скали (1917)

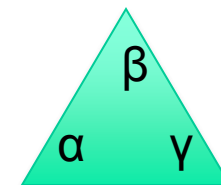


У 2-d терминима.

Уколико су углови троугла α , β , γ тада важи

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ + (\kappa S/r_c^2)$$

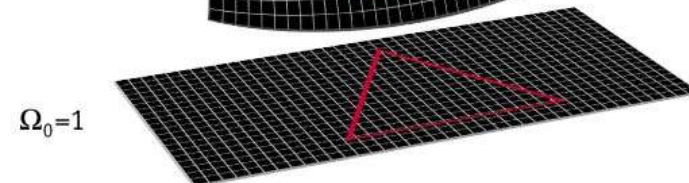
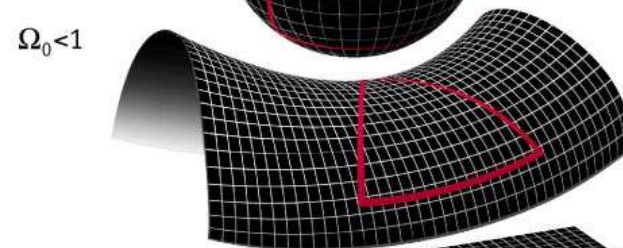
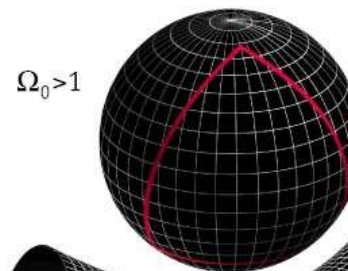
κ константа, S површина троугла, r_c полупречник кривине

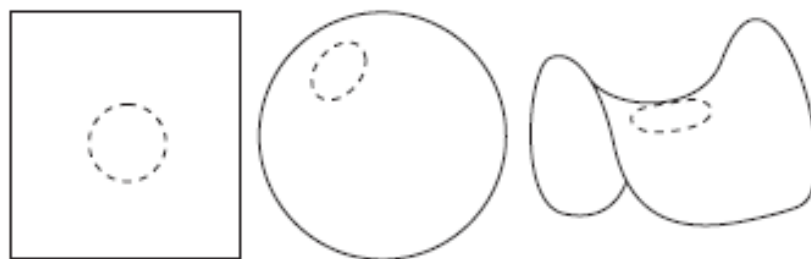


$\kappa = +1$ ограничени/затворени универзум
сфера \rightarrow коначна “запремина”, нема рубове

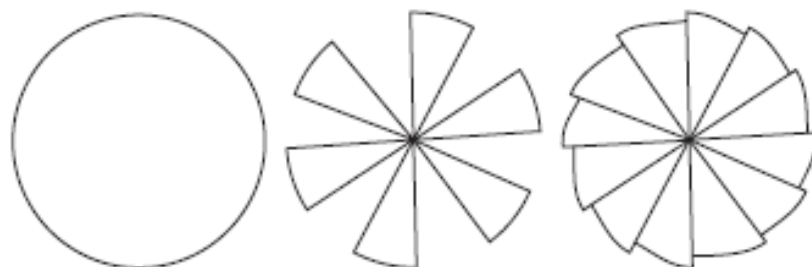
$\kappa = -1$ Отворени универзум - хиперболоид
 \rightarrow бесконачна површина без рубова

$\kappa = 0$ раван универзум
 \rightarrow бесконачне “запремине” и без рубова



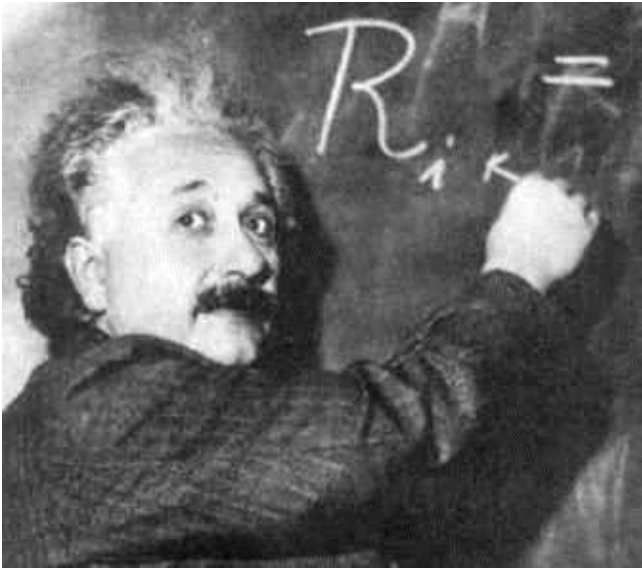


Slika 3.14: Geodezijske kružnice u ravni, na sferi i na sedlastoj površi.



Slika 3.15: "Ispravljeni" geodezijski krugovi iz ravni, sfere i sedlaste površi.

Алберт Ајнштајн



- “Космологија у ОТР” (1917).
- Сматрао је да је универзум
 - вечан,
 - статичан и непроменљив
 - Коначне “запремине”.
- У ту сврху додао је космолошку константу која има улогу одбојне силе која балансира гравитацији.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$

$$\Lambda g_{\mu\nu} + R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$

додатак

- Резултат: Ајнштајн де-Ситеров модел статичног универзума

Александар Фридман



- “О закривљеност простора” 1922.
- Закључак: Ајнштајнове једначине доводе до универзума који се мења у времену – шири се или сакупља.
- АА пише Фридману да вероватно има неку математичку грешку.
- 1923, АА повлачи ранији исказ и слаже се да је универзум динамичан.

Највећа грешка АА?!

- АА и кад је грешио ...
- Додавање константе је ипак легитимно.
- АА грешка је у избору њене вредности тако да она у потпуност прави баланс гравитацији.



Едвин Хабл

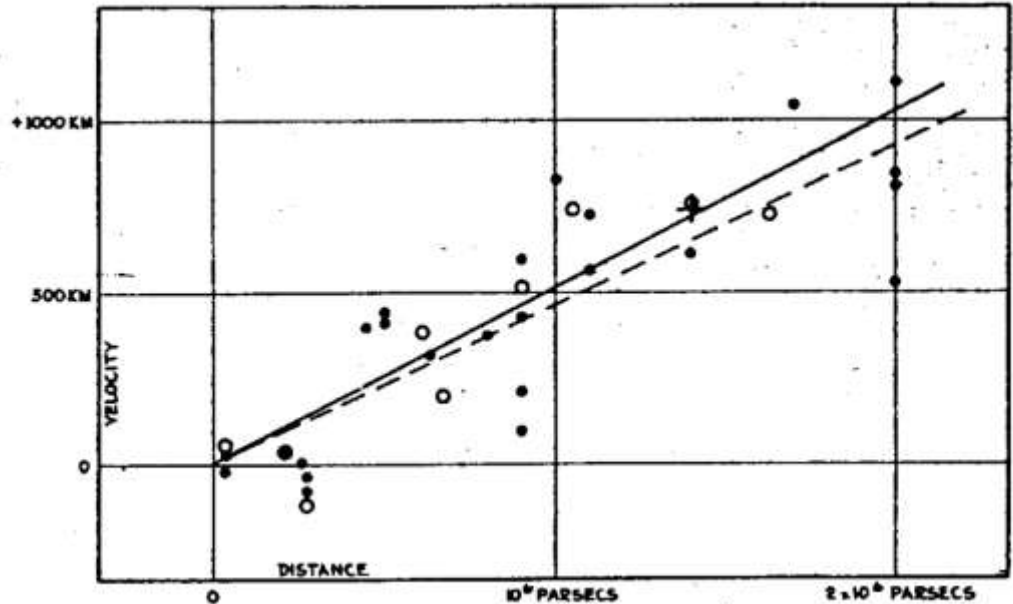
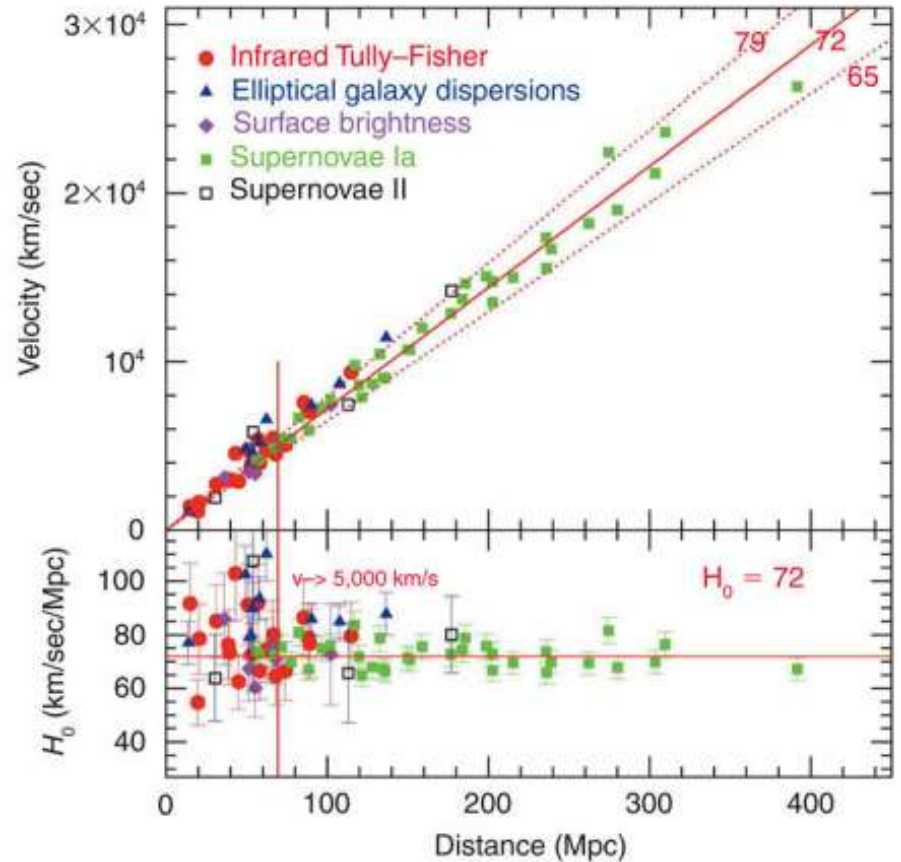


FIGURE 1

- 1920. мерио (релативне?) брзине суседних галаксија.
- Све се удаљавају од нас, а брзина расте са растојањем - исто то предвиђа ОТР модел.

Савремена мерења

- Брзине се лако мере не и растојања.
- Hubble Space Telescope.
- Некада је све кренуло из тачке
- $H_0 = 68 \text{ km/s/Mpc}$



B

(Wendy L. Freedman, Observatories of the Carnegie Institution of Washington, and NASA)

Старост свемира

- Хаблова константа $H_0 = 68 \text{ km/s/Mpc}^*$
- Хаблов закон $v = H_0 d$
- Брзина $v = d/t$
- Следи $H_0 = 1/t$

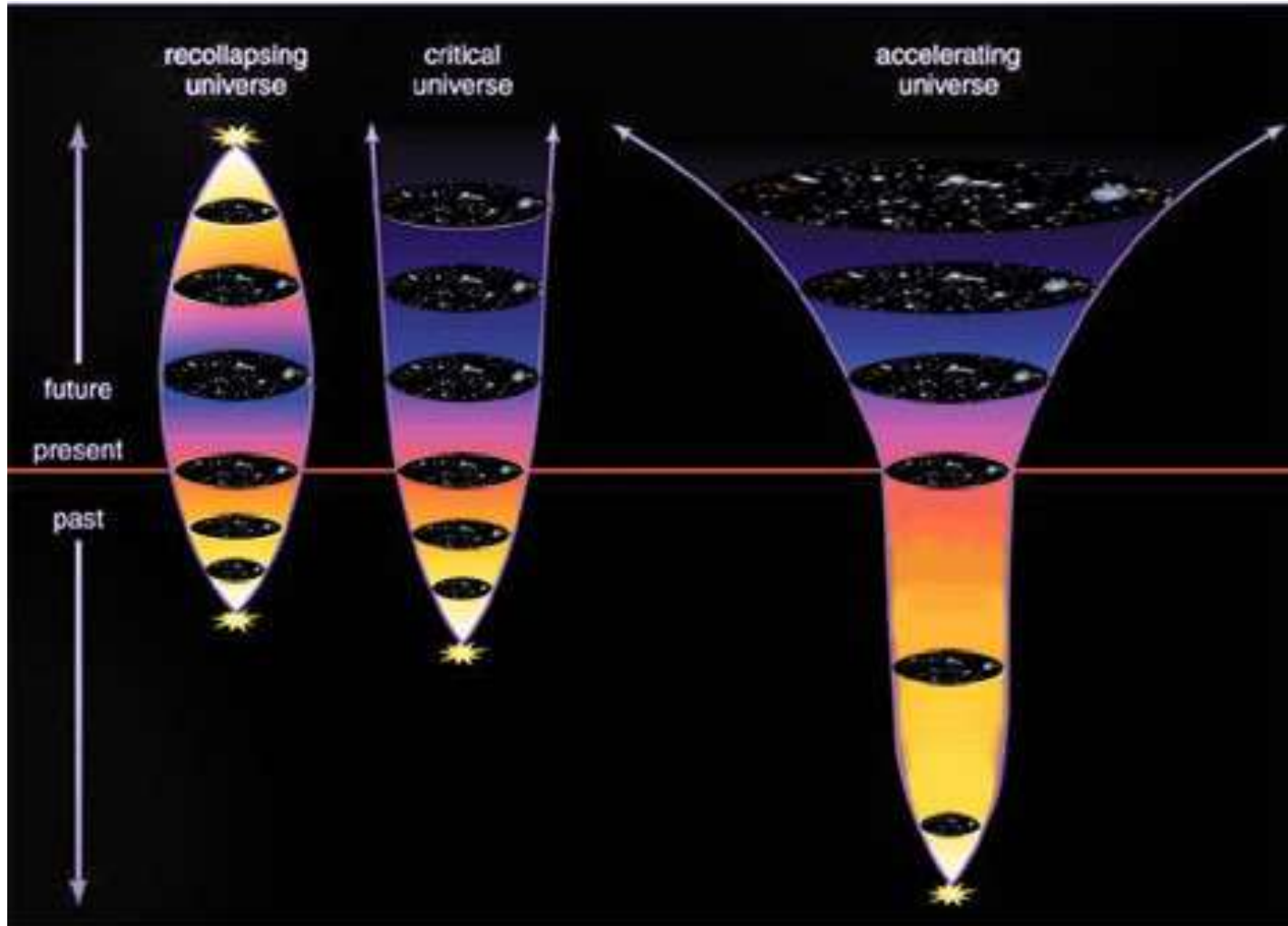
– Процена старости свемира

Старост = $1/H_0 = 1/(68 \text{ km/s/Mpc}) = \mathbf{14}$
милијарди година

*Mpc = Mega (milion) parsek

parsek = 3,2 svetlosne godine = $3 \times 10^{13} \text{ km}$

Будућност универзума



Разне "судбине" универзума у зависности од материјалног и енергијског садржаја

Велики “Прасак”

- Теорија о настанку свемира из једне вреле, густе тачке која је почела да се шири
- 1949. Фред Хојл је назвао ову теорију “Big Bang”
– Хтео је да је исмеје
- Не објашњава све
- Посматрања упућују да се то вероватно десило

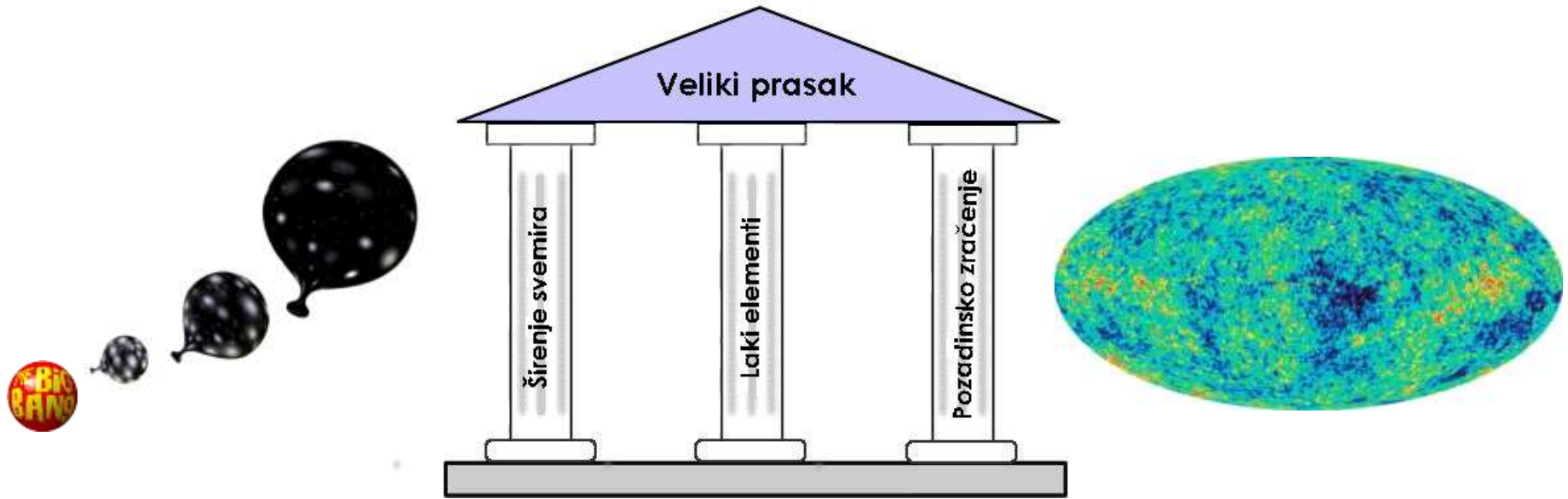


Није прасак – нити експлозија

- **Не постоји центар** и нема разбацивања материје свуда околу
- Десило се **свуда** и у исто време
- **Почетак простора и времена, материје и енергије**
- Ширењем се хладио и разређивао
- **Формирале су се галаксије и звезде које видимо**



Стубови космологије



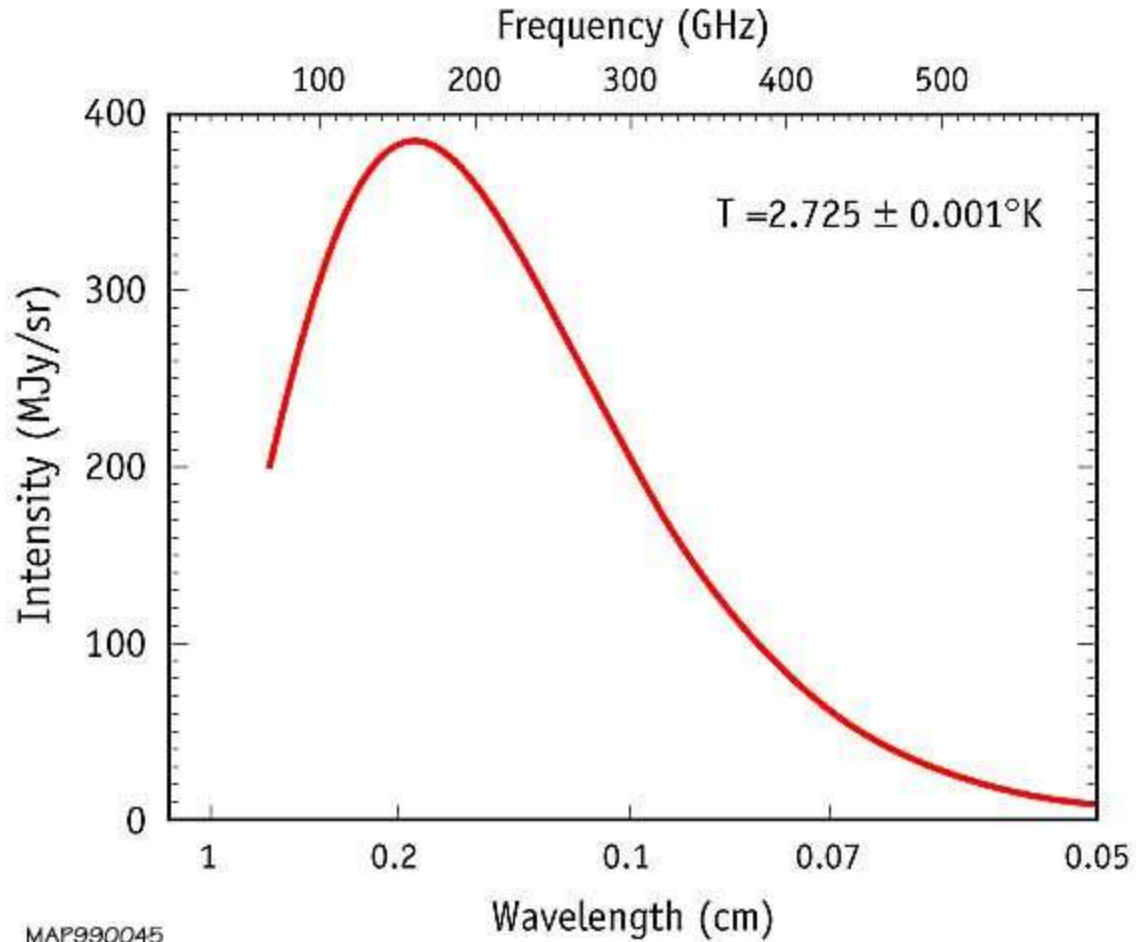
- Главни посматрачки докази

1. **Ширење свемира**

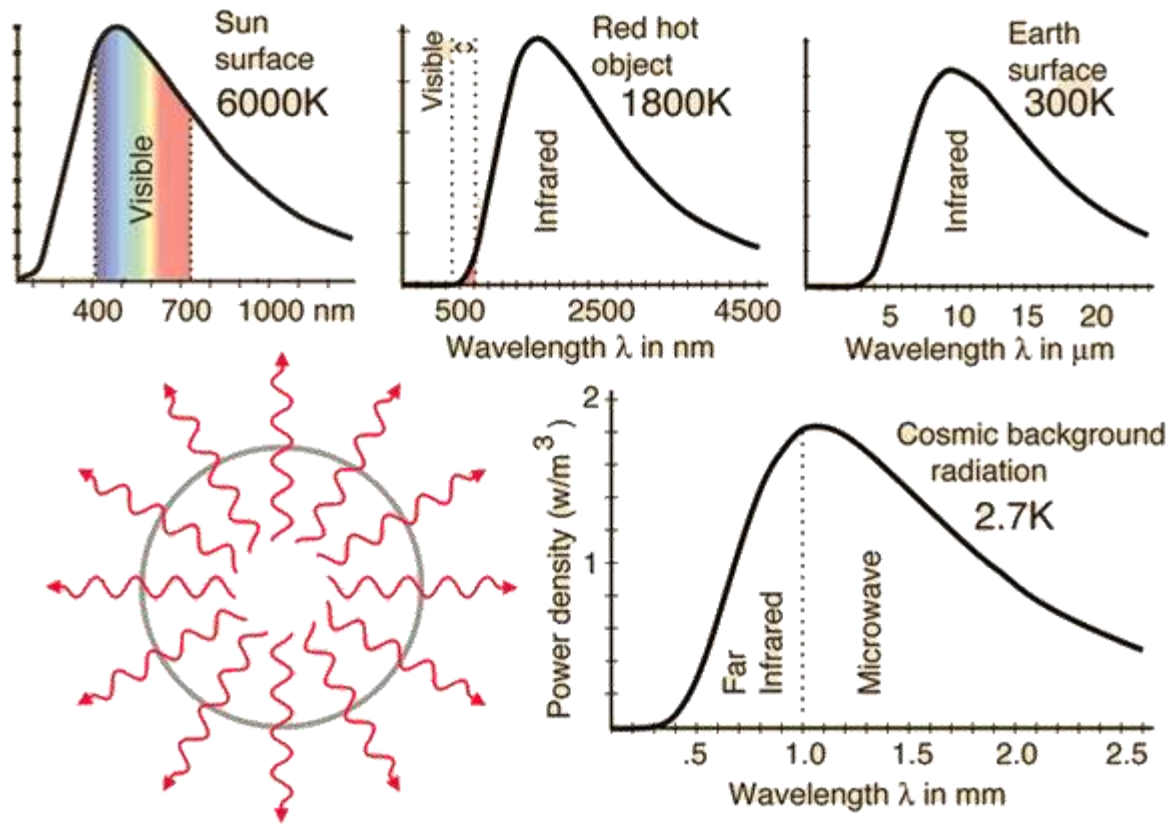
2. Настанак првих елемената H, He, D, Li

3. Ехо великог праска - КПЗ

SPECTRUM OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



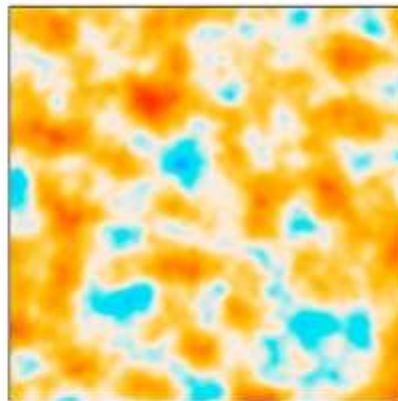
MAP990045



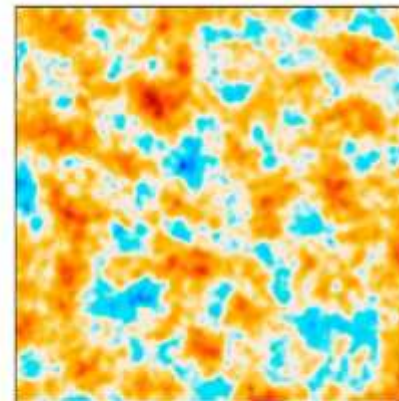
Експерименти различите резолюције



COBE

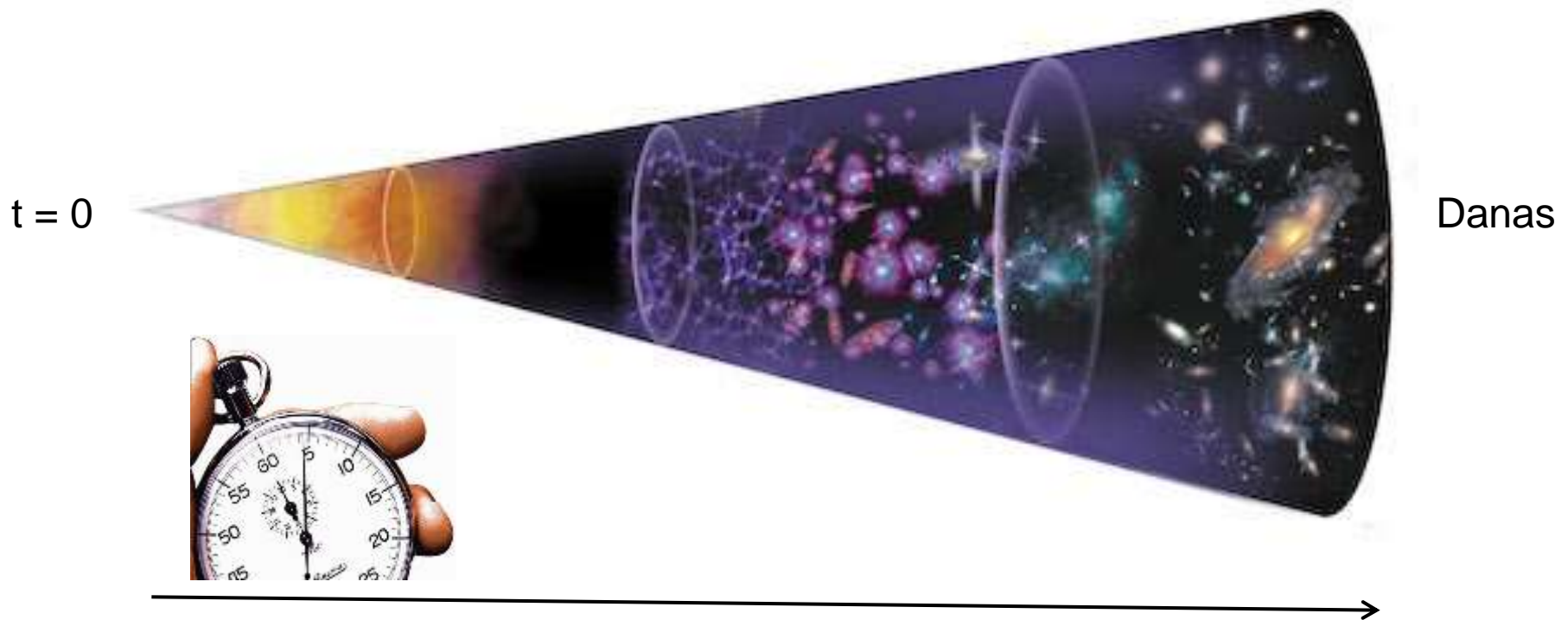


WMAP

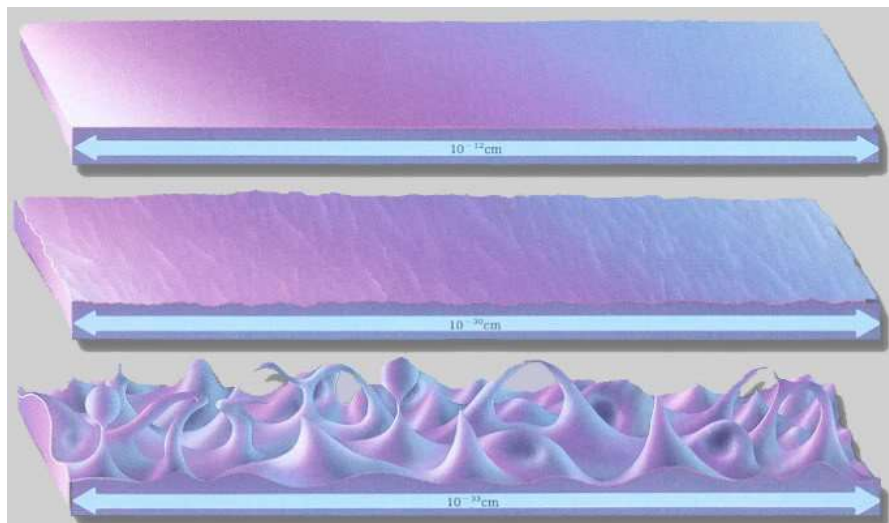


Planck

Еволуција свемира из “тачке”

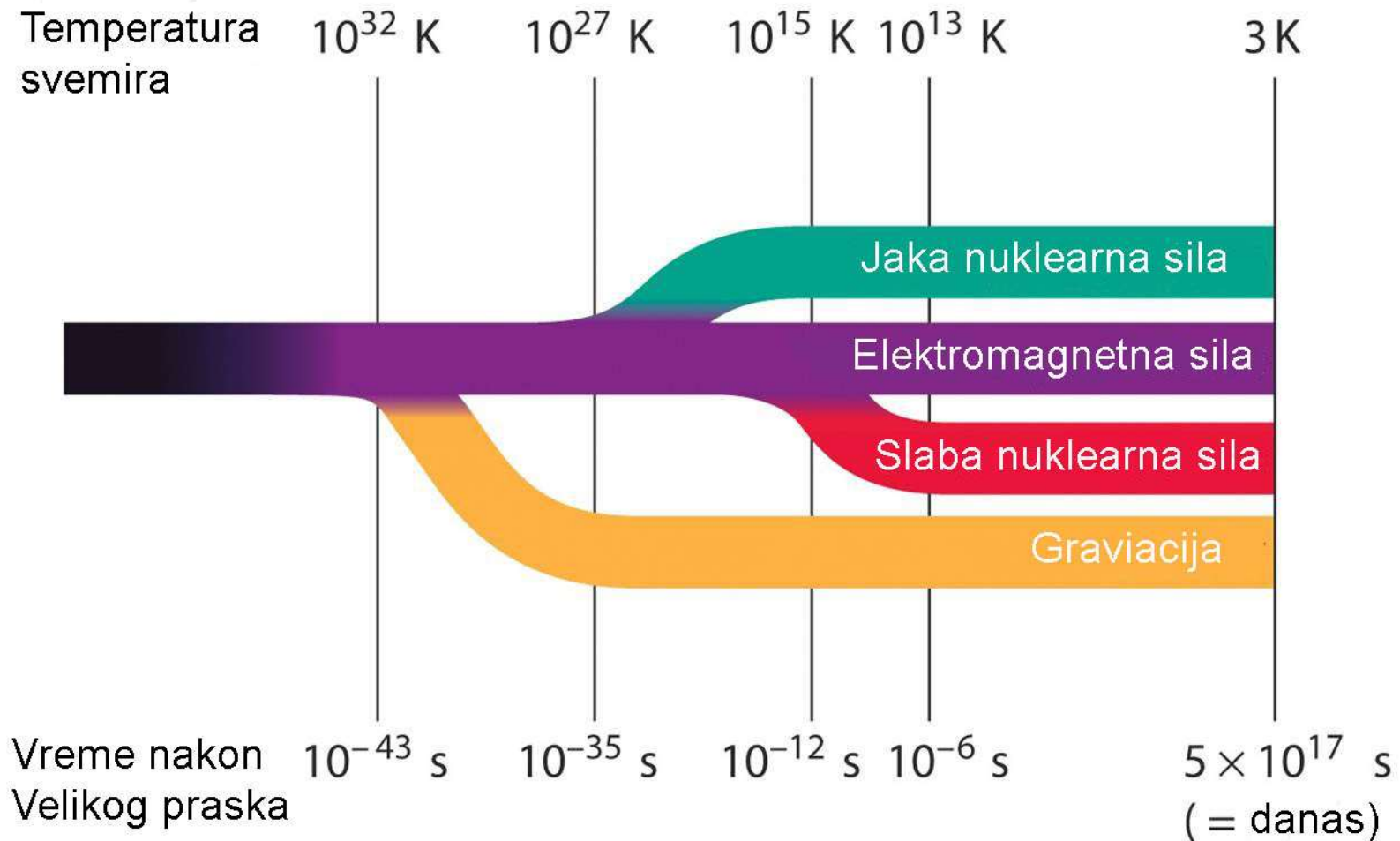


$0 - 10^{-43}$ s..., $T = 10^{32}$ K



- Планково време
- Пре тога ...? Мора да је био квантни објекат
- Просторно – временска пена
- 4 основне силе уједињене
- Комплетна теорија није развијена
- Уједињује гравитацију и КМ
- Гравитација се одваја... Остале 3 су и даље уједињене

Разједињење сила



Квантна космологија

- Провизорна основа, Хајзенберг $\Delta E \Delta t \geq \hbar$
- Вилер и де Вит, 1960 године
- Једначина – шредингерова за таласну ψ -ју стационарног стања која не зависи од времена

$$\Psi(h_{ij}, \varphi),$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = 0$$

$$\mathcal{H} \Psi = 0$$

Квантна космологија

- За крај - како може таласна ф-ја да не зависи од времена а свемир еволуира?

$$\Psi(h_{ij}, \varphi), \quad \frac{\partial \Psi}{\partial t} = 0$$

$$\mathcal{H} \Psi = 0$$

- Интерпретација КМ је проблематична

Тешкоће космологије

- Изгледа да имамо само један универзум – немамо са ким да упоредимо
- Посматрамо само једну позицију у једном моменту времена
- Једино емитовано зрачење
- Далеке објекте је тешко разликовати од позадине
- Тешко је мерити растојање
- Услови у раном универзуму не могу да се репродукују у лабораторији