

VÝVOJ VESMÍRU A JEHO BUDÚCNOŠŤ

Martin Vaňko

Astronomický ústav SAV, 059 60 Tatranská Lomnica

Hvezdáreň a planetárium Prešov, 8.10.2015

História v kocke (Starovek)

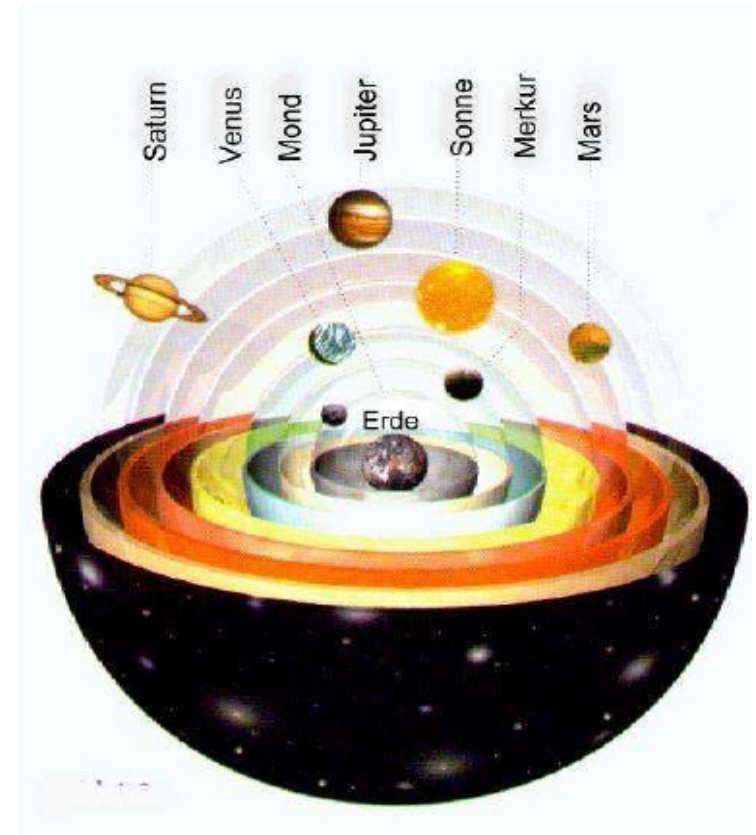
- Najstaršie zmienky (úvahy) o vzniku sveta okolo nás: pochádzajú zo starovekej Číny (~3000 B.C. - **Kniha premien**)
- Medzi týmto obdobím a prelomom letopočtov je to najmä starý Babylon, Egypt, neskôr Grécko => základy v náboženstve a mytológii
- Vznik a vývoj vesmíru v tom čase = = vznik a vývoj Zeme a jej bezprostredného okolia



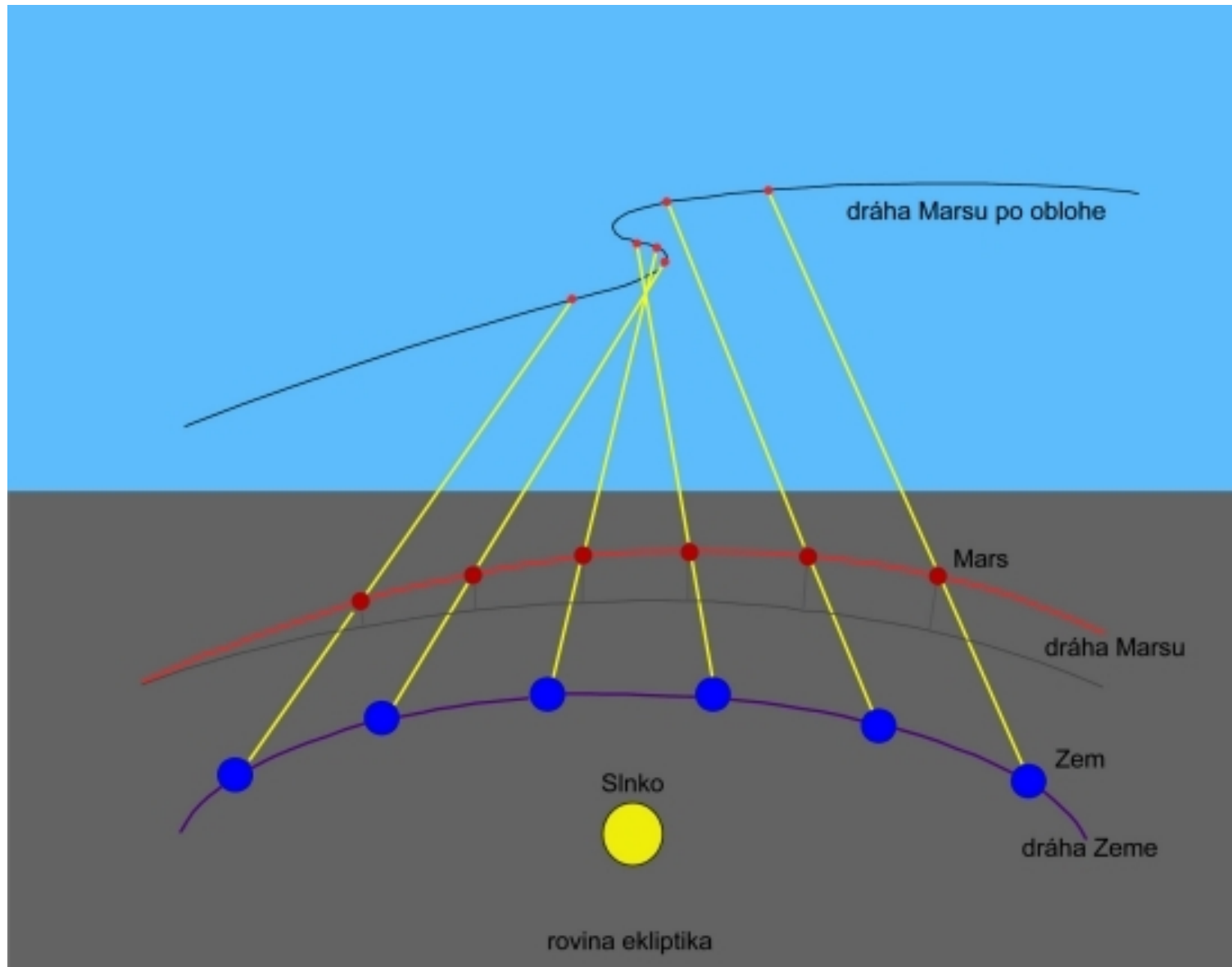
Hinduistické poňatie vesmíru: svet na šiestich slonoch, korytnačka na hadovi predstavuje peklo...

História v kocke (**Geocentrizmus**)

- Za „prvý vedecký“ systém popisujúci usporiadanie okolitého vesmíru sa považuje geocentrický systém.
- Vznik v Grécku. Najvýznamnejší príspevok:
Táles z Milétu (?624 B.C. - ?546 B.C.)
Aristoteles (384 B.C. - 322 B.C.)
- Nedostatok geocentr. modelu:
Nedokázal vysvetliť retrográdny pohyb planét na oblohe!

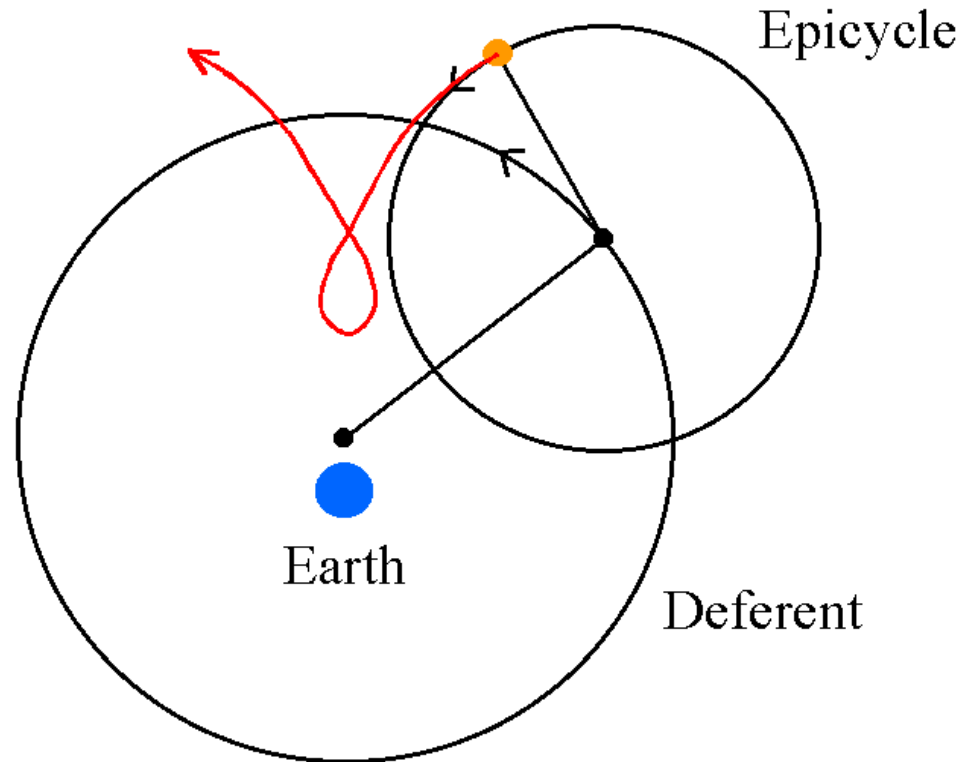


História v kocke (**Geo**centrizmus)



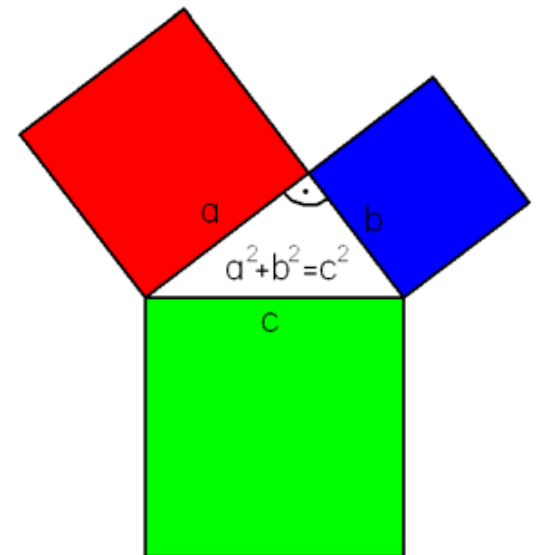
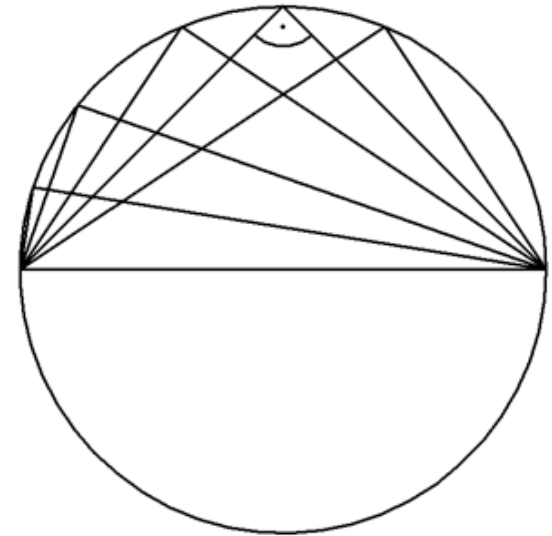
História v kocke (Modifikovaný **Geocentrizmus**)

- Nesúlady medzi predpoveďami a pozorovaniami vyplývajúcimi z geocentr. modelu sa pokúsil vysvetliť **Cladius Ptolemaeus** (90 A.C.-168 A.C.)
- Planéty sa pohybujú po **epicykloch** – kružniciach, ktorých stred vykonáva ďalší pohyb po tzv. **deferente**.
- Zavedenie epicyklov do geocentr. modelu => zdanlivé vyriešenie retrográdnych pohybov, **ale aj** skomplikovanie jednoduchého modelu!



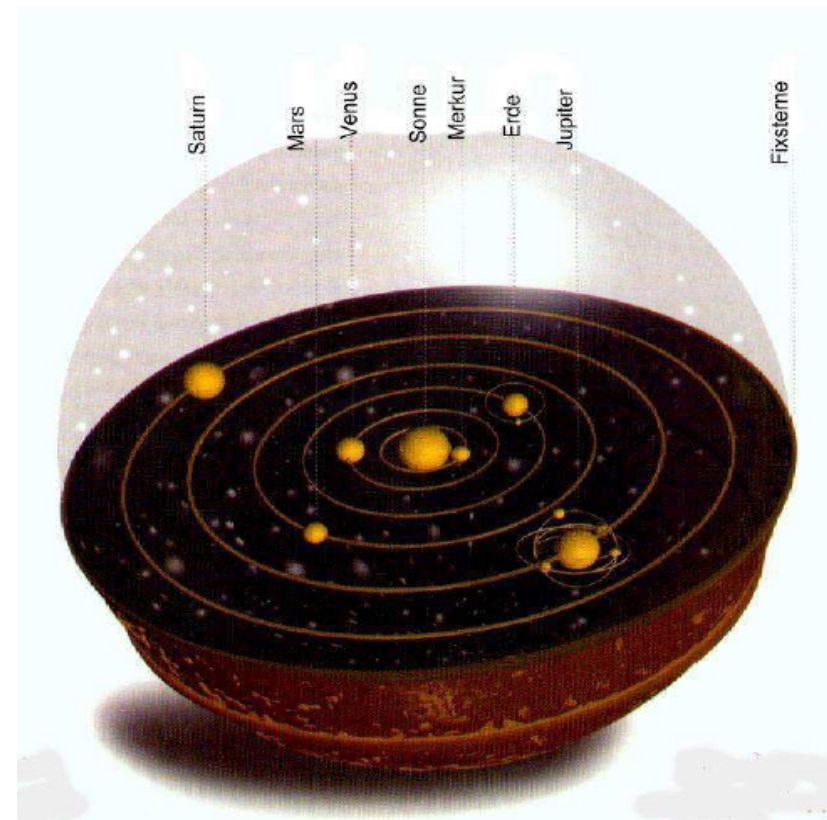
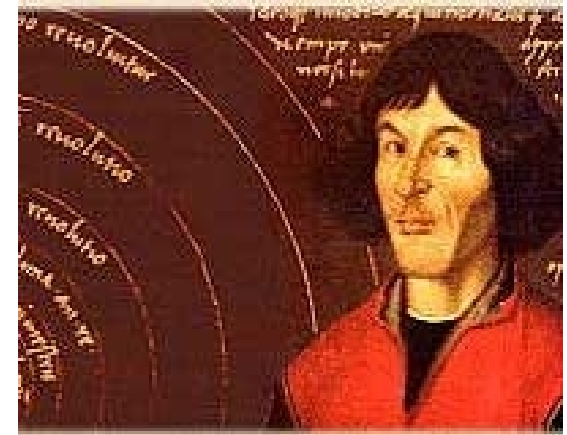
História v kocke (Antické závery)

- Aj napriek tomu, že Gréci položili základy matematiky, (Thales, Pythagoras, Euklides....), nedokázali vytvoriť fyziku => **nedospeli k formulácii fyzikálneho zákona!**
- Obmedzené experimentálne možnosti => **jednotlivé objavy zostali izolované!**



História v kocke (**Heliocentrizmus**)

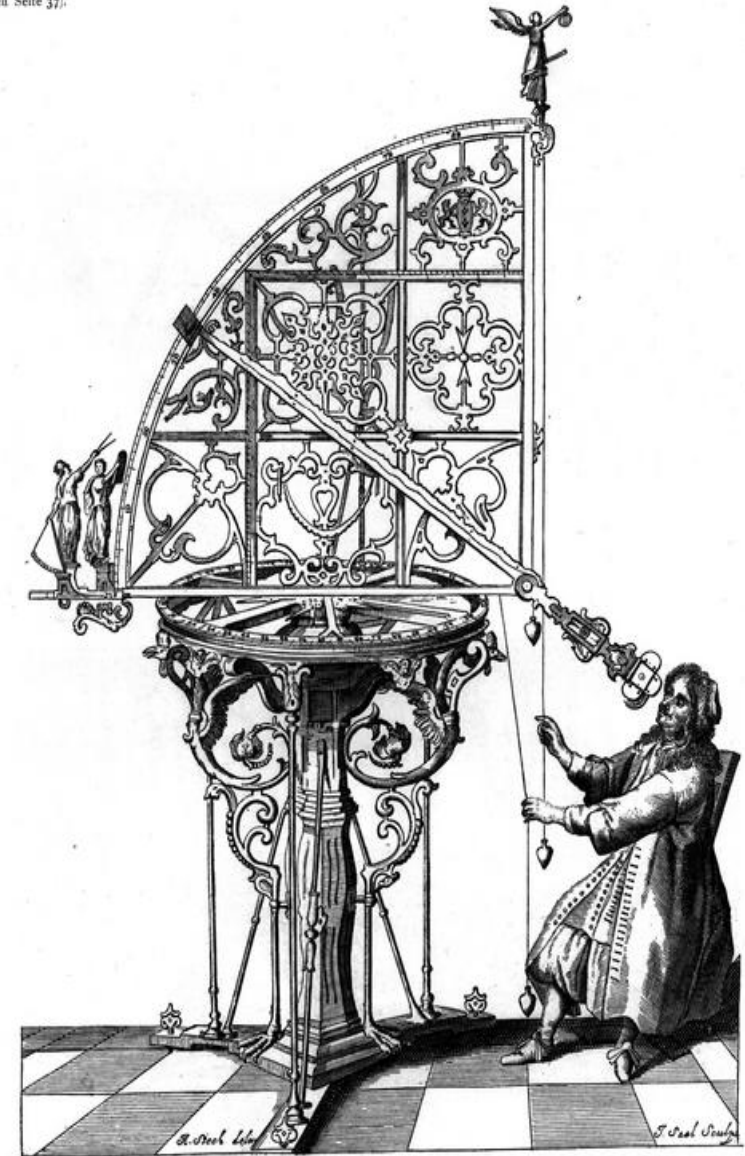
- Do roku 1543 boli závery antických filozofov (považované za) nemenné!
- Nicolaus Copernicus (*De revolutionibus orbium coelestium*) (**O obehu nebeských sfér**)
- **Stred** vesmíru Slnko, obeh po **kruhových** dráhach, **nemennosť** zdanlivej polohy hviezd na nebeskej sfére...**meranie paralaxy**



História v kocke (**Heliocentrizmus**)

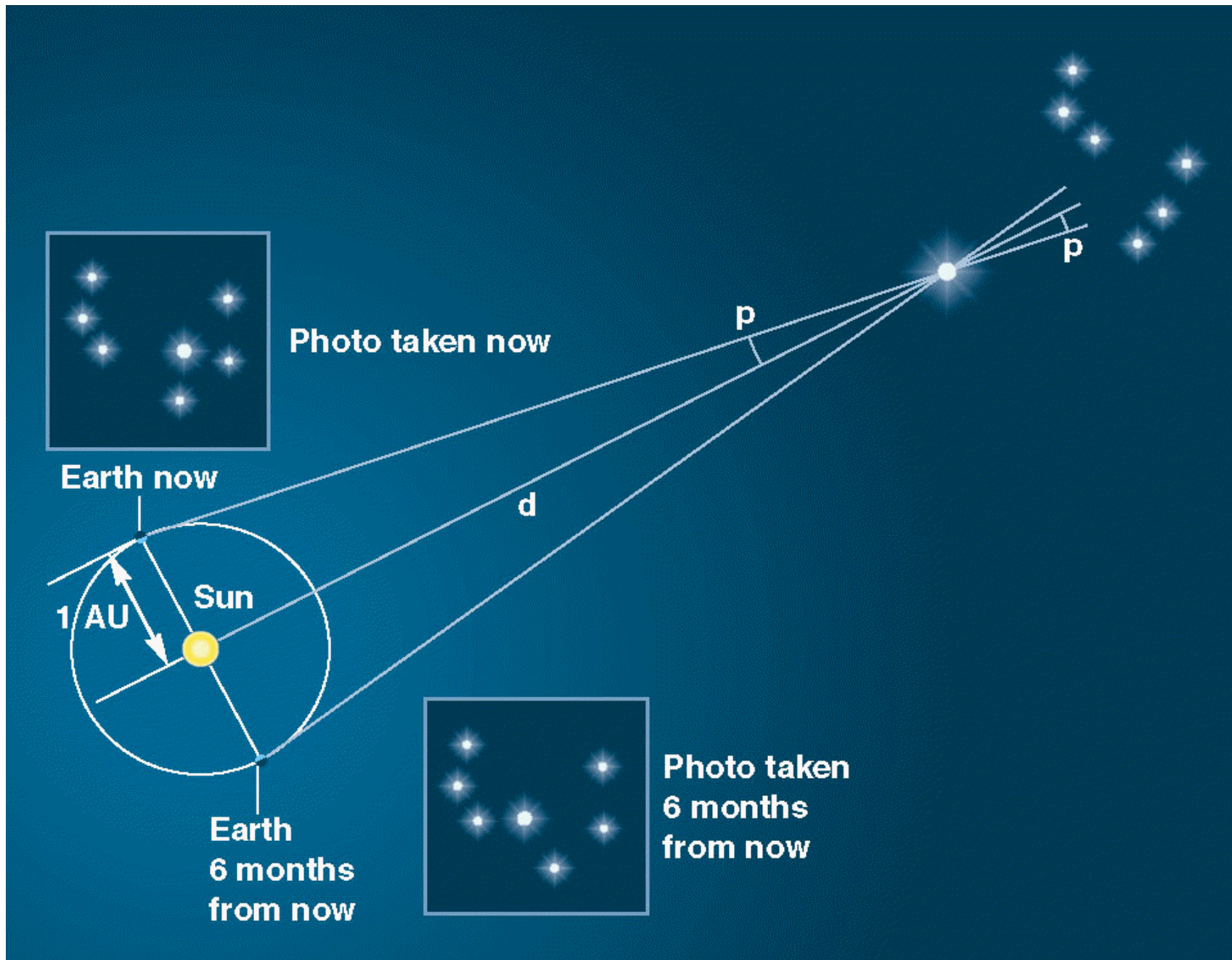
- Pokiaľ by Zem obiehala okolo Slnka, mali by sme pozorovať zdanlivý pohyb blízkych hviezd na vzdialenom pozadí, tzv. **ročnú paralaxu**
- Neschopnosť Tycha de Brahe zmerať tento uhol, teda jeho zmenu, viedla k jeho odmietaniu Koperníkovej sústavy
- **AVŠAK:** Brahe meral uhly bez ďalekohľadu a to s presnosťou 2', čo je 500x horšia presnosť než bolo potrebné...

(zu Seite 37)



Crüger's großer Azimuthal-Quadrant, vollendet von Hevel 1644,
nach Hevel's Machina coelestis.

História v kocke (Čo je to teda paralaxa ?)



História v kocke (**Čo je to teda paralaxa ?**)

→ Po prvý krát paralaxu úspešne zmeral v roku 1838 F.W.Bessel pri hviezde **61 Cygni**

- **hodnota paralaxy 61 Cyg je len 0,299"**

to zodpovedá vzdialenosti 3,34 pc (~ 10,9 l.y.)

- **parsec (pc) je vzdialenosť, z ktorej vidíme 1AU po uhľom 1"**

- **1 pc = 3,26 l.y.**

→ Ďalšie úspešné merania pribúdajú

- **W. Struve: α Centauri 0,756" (1,31 pc ~ 4,27 l.y.)**

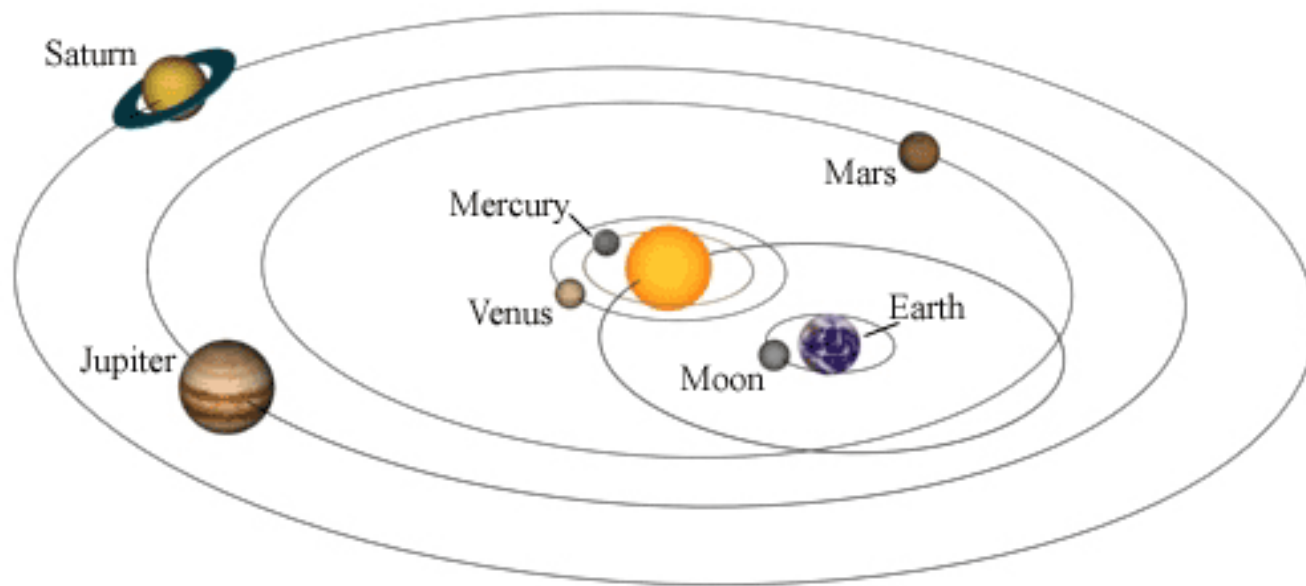
- **T. Henderson: α Lyrae 0,140" (7,15 pc ~ 23,32 l.y.)**

→ Pri maximálnej uhlovej vzdialenosti 0,02" bolo možné zmerať paralaxy hviezd do vzdialenosti ~100 l.y.

→ Družica Hipparcos, meranie paralaxy hviezd do vzdialenosti ~1000 l.y.

História v kocke (preto Modifikovaný **Helio**centrizmus)

→ Vylepšenie Kopernikovho modelu zaviedol Tycho de Brahe v r. 1572



História v kocke (Modifikovaný **Heliocentrizmus**)

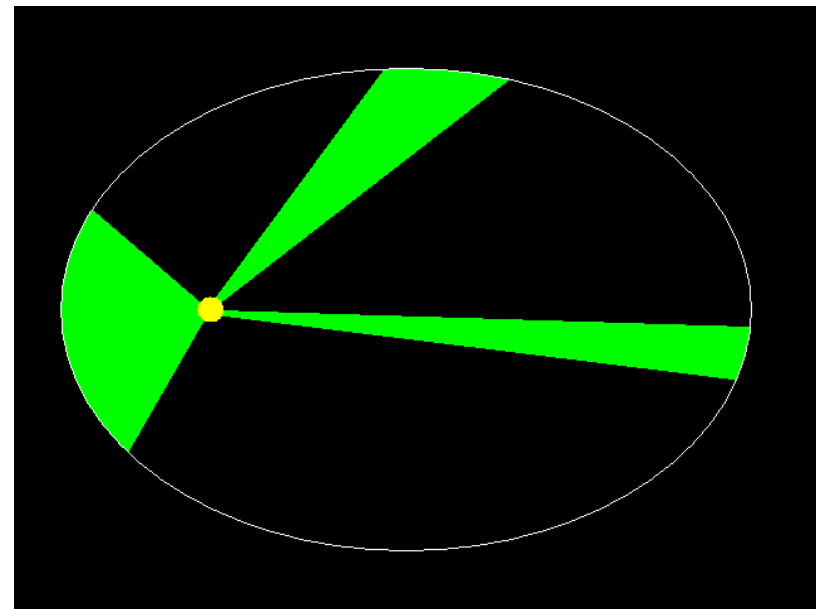
→ Zhodu medzi heliocentrickým systémom a skutočnými pozorovaniami => Johannes Kepler (1571 - 1630)

→ Keplerove zákony popisujú vzájomnú polohu nebeských telies, ale nehovoria nic o absolútnych vzdialenostiach

1. Planety obiehajú po kužeľosečkách, Slnko je v ohnisku

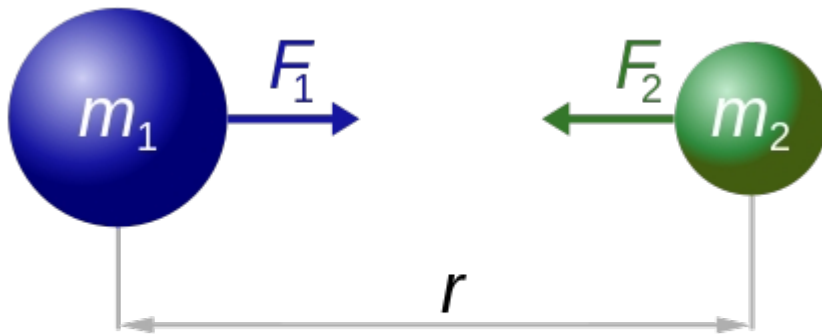
2. Plocha opísaná sprievodičom planéty za jednotku času je konštantná

3. $P_1^2 / P_2^2 = a_1^3 / a_2^3$



História v kocke (**Klasická fyzika**)

- Jeden z najdôležitejších míľnikov v poznávaní okolitého vesmíru: rok **1687**
(Principia Mathematica Philosophiae Naturalis)
(Matematické základy prírodnej filozofie)
- Newtonov gravitačný zákon: **Sila, ktorou sa telesá priťahujú, je priamo úmerná súčinu hmotností telies a nepriamo úmerná štvorcu vzdialenosti medzi telesami.**



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

A photograph of a piece of paper with the handwritten equation $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$.

Konštanta úmernosti medzi gravitačnou silou a hmotnosťou telesa

História v kocke (**pokračovanie**)

- Nemalou mierou prispel aj Galileo Galilei (1564 - 1642) – objav zotrvačnosti a zákony voľného pádu. Pojem **ťažisko!**
- Fyzika okolitého sveta začala splývať s fyzikou vesmíru.
- Splynutie však malo ešte ďaleko k dokonalosti...zatiaľ sme len vedeli **ako a prečo sa vesmírne telesá pohybujú, nevedelo sa nič o ich zložení a rozložení vo vesmíre.**
- Objavovanie ďalších galaxií, strata význačného postavenia, Slnka => **Kozmologický princíp:** vesmír je priestorovo homogénny a izotropný, t. j. v dostatočne veľkých meradlách vyzerá rovnako z každého miesta a každým smerom; znamená to, že vo vesmíre nie je privilegovaný smer ani privilegované miesto.
- **Prvé modely vesmíru:** vesmír je homogénny a izotropný, stacionárny, večný a nekonečný...!!!

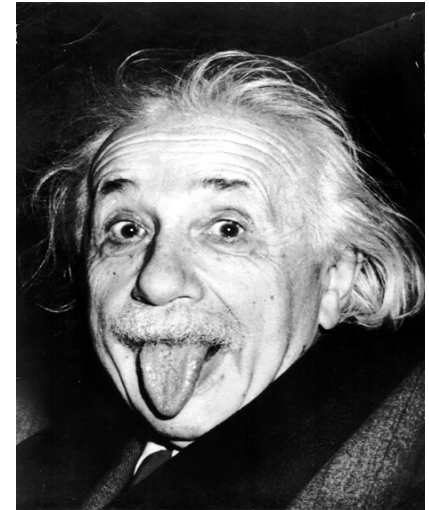
História v kocke (**Prvé modely, prvé problémy**)

Keplerov, Olbersov, alebo fotometrický paradox

Pochybnosti o nekonečnosti vesmíru sa kopili niekoľko desaťročí

- Jedna z najznámejších pochyb → **Olbersov paradox (1823):**
- Pokiaľ je vesmír nekonečný (v priestore a v čase), mal by obsahovať nekonečne množstvo rovnomerne (stabilita vesmíru) rozložených hviezd.
- Teda, mali by sme pozorovať v každom bode svetlo hviezdy a obloha by mala žiariť ako Slnko aj počas noci.
- Myšlienkový experiment: obloha je v noci tmavá, teda vesmír musí byť konečný v čase (**svetlo zo vzdialených hviezd k nám ešte nestihlo doraziť**) **a/alebo** je konečný v priestore (**vo vesmíre existuje len konečný počet hviezd**)

Všeobecná Teória Relativity (**VTR**)



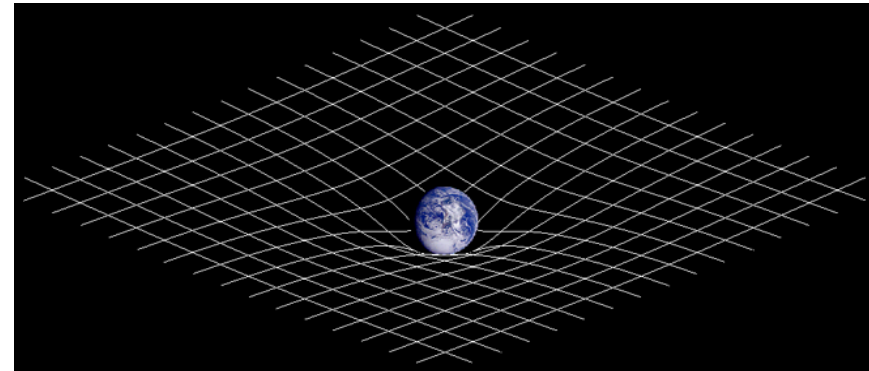
→ Albert Einstein (1915) prichádza s VTR

★ Teória o priestore, čase a gravitácii.
★ Popis vzájomného pôsobenia (interakcie) priestoru a času na jednej strane a hmoty na strane druhej.

★ Základná výpoveď VTR:

- gravitácia je geometrický jav v zakrivenom štvorrozmernom časopriestore, **presnejšie:**

- hmotné telesá sú zdrojom gravitačného poľa, ktoré určuje metriku (vlastnosti) časopriestoru v danej oblasti, ktorá zas naopak spätne ovplyvňuje stav a pohyb telies v danej oblasti.



Všeobecná Teória Relativity (**VTR**)

→ V roku 1922, Alexandr Friedmann (petrohradský matematik) riešil rovnice VTR pre celý vesmír.

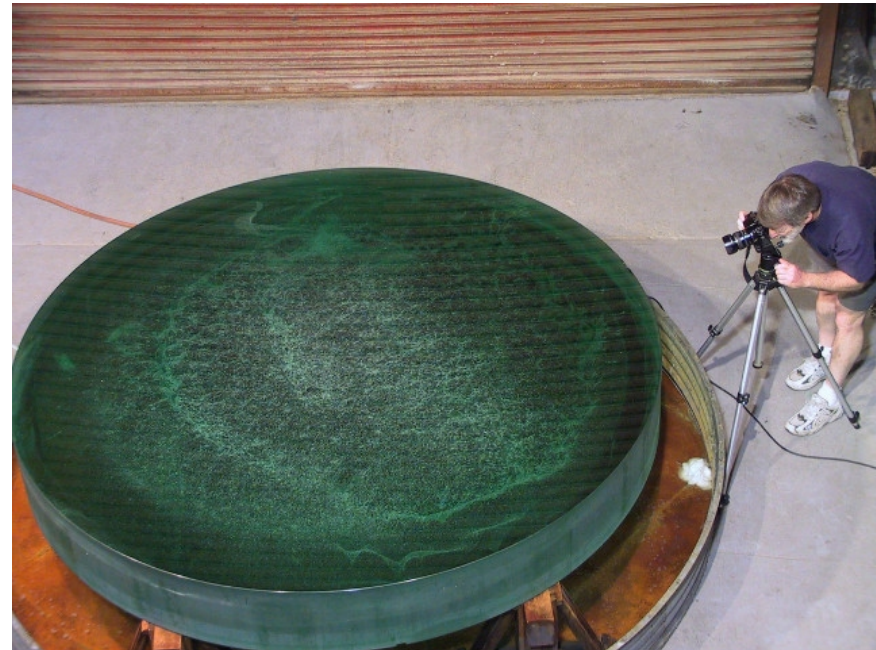
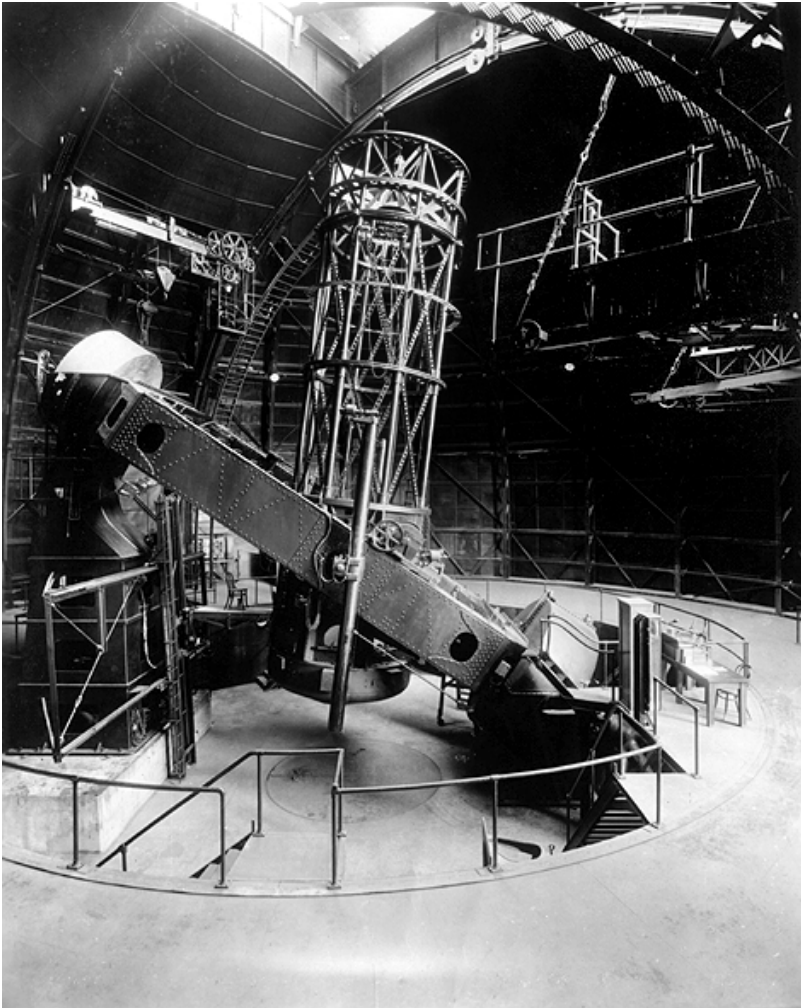
- jednoznačný výsledok: vesmír je nestacionárny, musí sa rozpínať, alebo zmršťovať
- homogenita a izotropia sú zachované
- nemá experimentálny dôkaz (pozorovanie) no rovnice majú riešenie !!
- Einstein tento záver odmieta, zavádza do rovníc tzv. **kozmozologický člen**, ktorý umožňuje udržať vesmír stacionárny.
- neskôr vyhlásil tento krok za svoju najväčšiu chybu

→ V roku 1925, Georges Édouard Lemaître (belgický kňaz, prof. astronomie) dostáva nezávisle riešenie rovníc VTR

- výsledok je rovnaký ako v prípade A. Friedmanna
- navrhuje overiť správnosť výpočtov pozorovaním galaxií

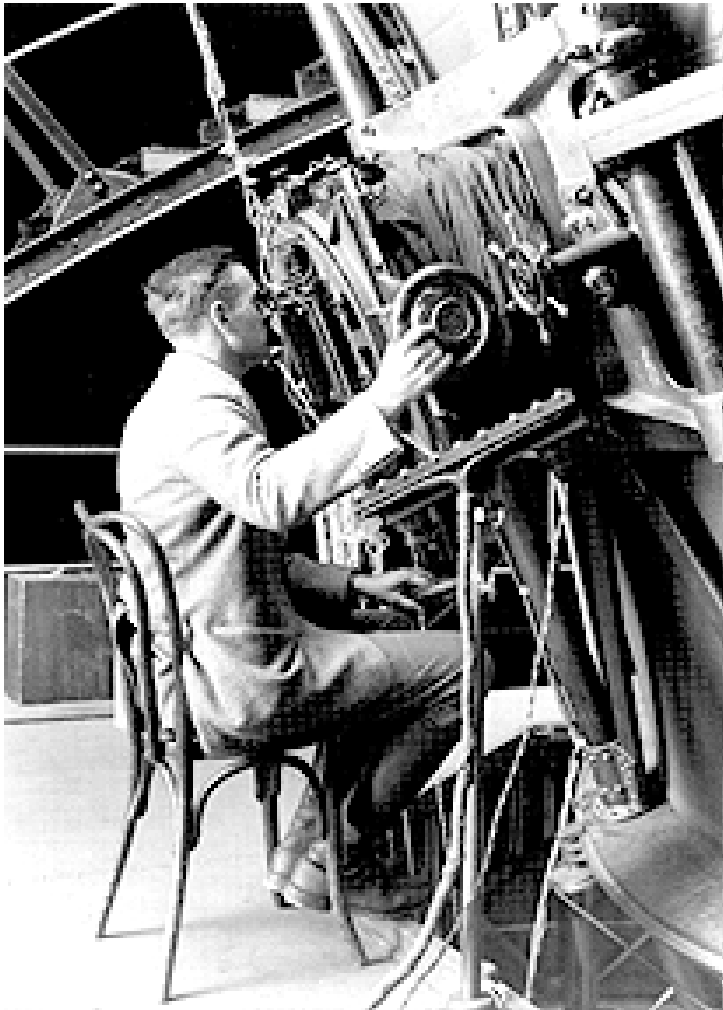
Prvý experimentálny dôkaz rozpínania

- V roku 1917 vrcholí snaha George Ellery Halea (1868-1938), začína sa výstavba najväčšieho ďalekohľadu tej doby.
- 100-ich Hooker telescope, Mt. Wilson, California.

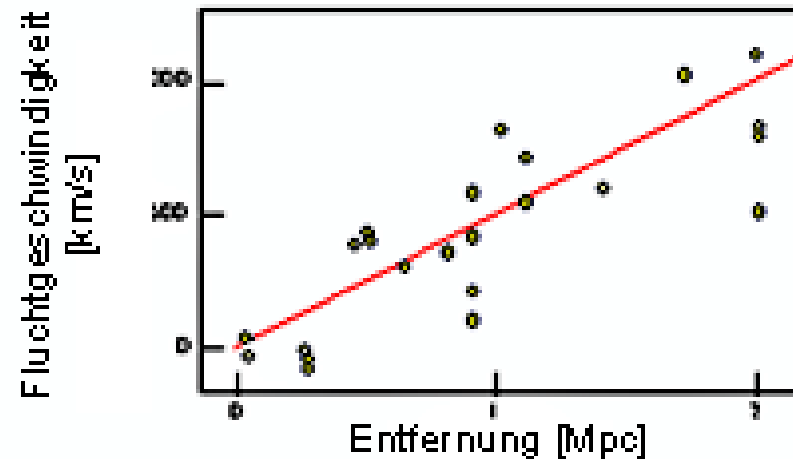


Prvý experimentálny dôkaz rozpínania

- Do roku 1929, Edwin Hubble zmeral pomocou Hooker teleskopu vyše 20 galaxií a z červeného posunu spektrálnych čiar (spôsobeným Dopplerovým javom) určil rýchlosť ich vzdialovania.

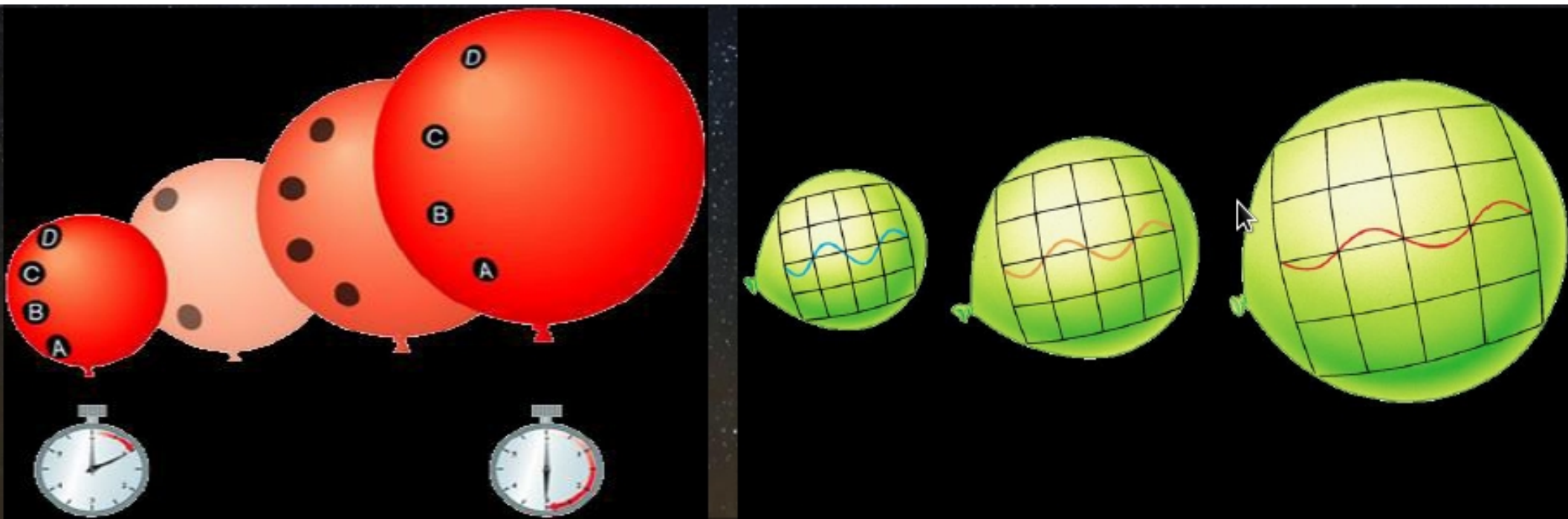


Hubbles Daten von 1929



Prvý experimentálny dôkaz rozpínania

→ **Hubbllov zákon**: $V = H \times R$, kde V -rýchlosť galaxie (km/s), R -vzdialenosť galaxie (Mpc) a H je Hubblova konštanta ($\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$)



Príkladom rozpínania sa dvojrozmerného priestoru (plochy) je nafukujúci sa balónik. Z ľubovoľného miesta balónika vždy získame rovnaké pozorovanie: všetky ostatné miesta sa od nás vzdalujú, pričom čím je miesto ďalej, tým rýchlejšie sa od nás vzdaluje (vľavo). Príklad s nafukujúcim sa balónikom prirodzene vysvetľuje aj červené posuny – ako sa balónik nafukuje, vlnová dĺžka sa predlžuje.

Prvý experimentálny dôkaz rozpínania

→ Rozpínanie vesmíru znamená, že objekty boli v minulosti bližšie k sebe a mal by existovať okamih, kedy sa teoreticky všetky (a tiež celý časopriestor) nachádzali v jednom bode (**singularite**) ⇒ vesmír ma svoj **začiatok v čase**.

→ Rýchlosť rozpínania vesmíru udáva Hubblova konštanta H

→ Podľa posledných meraní (sonda Planck, 2013) má hodnotu:

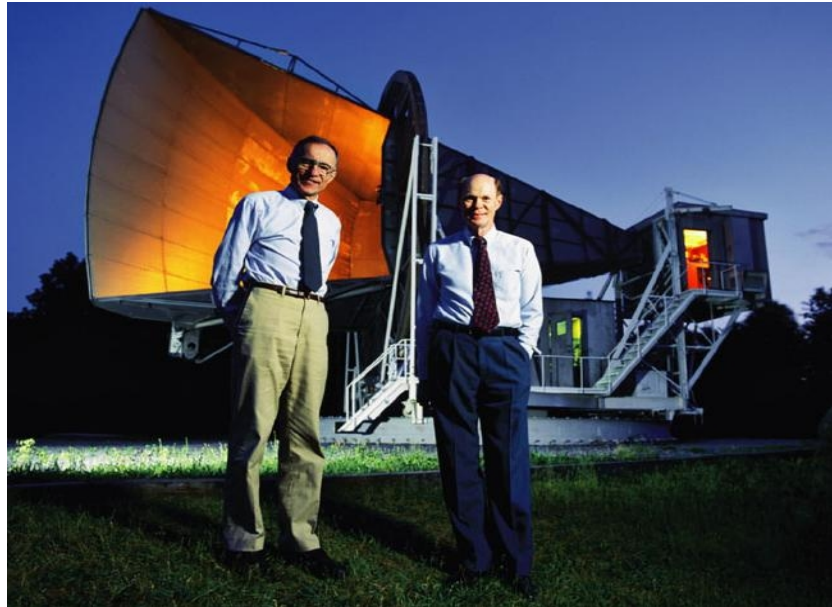
$$H = 67,8 \pm 0,8 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

→ Prevrátená hodnota H , má rozmer času a určuje vek vesmíru

tzv. **Hubbluv vek vesmíru** $t_H = 1/H \sim 13,7$ mld. rokov

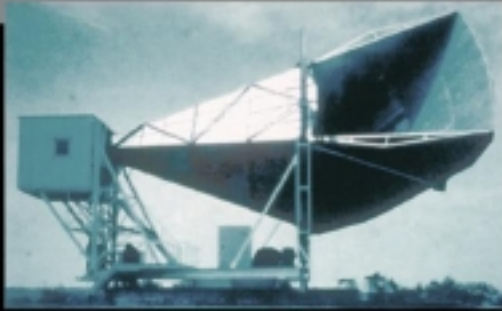
Ďalšie dôkazy rozpínania vesmíru

Žiarenie kozmického mikrovlnného pozadia



- Objav **reliktového žiarenia**, 1964, Arno Penzias a Robert Wilson
- Žiarenie je homogénne a izotropné a prichádza zo všetkých smerov rovnako. Jeho teplota je $\sim 2,7$ K
- **Publikácia v práci, ktorá obsahovala 600 slov:))**
Najkratšia práca ocenená Nobelovou cenou!

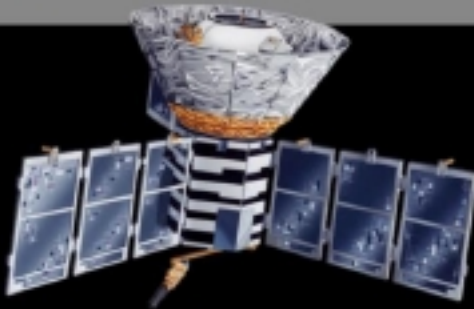
1965



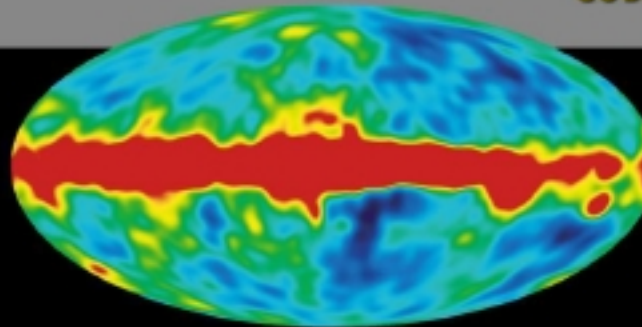
Penzias and
Wilson



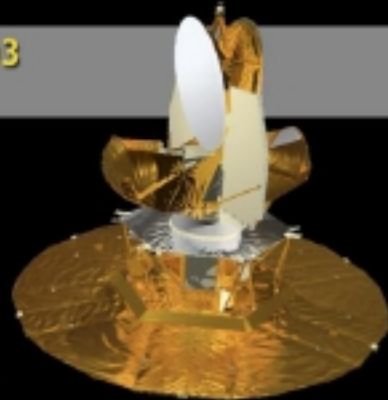
1992



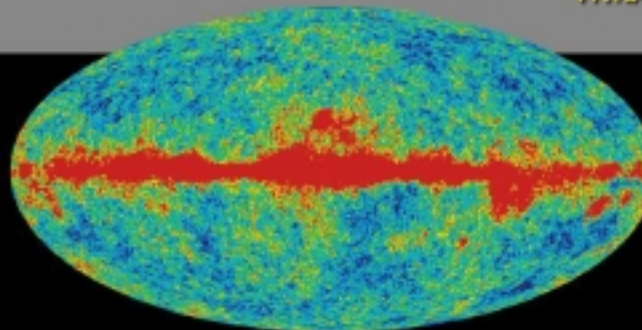
COBE



2003



WMAP



Prvé pozorovania ukázali, že reliktové žiarenie je veľmi presne izotropné, čo podporuje platnosť kozmologického princípu. Výskum pomocou vesmírnych sond (COBE, WMAP) však ukázal, že v reliktovom žiarení sú veľmi malé odchýlky (zvýraznené nepravými farbami) na úrovni $\approx 10^{-5}$, ktorých výskum je cenným zdrojom informácií o veľmi mladom vesmíre.

Ďalšie dôkazy rozpínania vesmíru

Veľké množstvo pôvodných prvkov

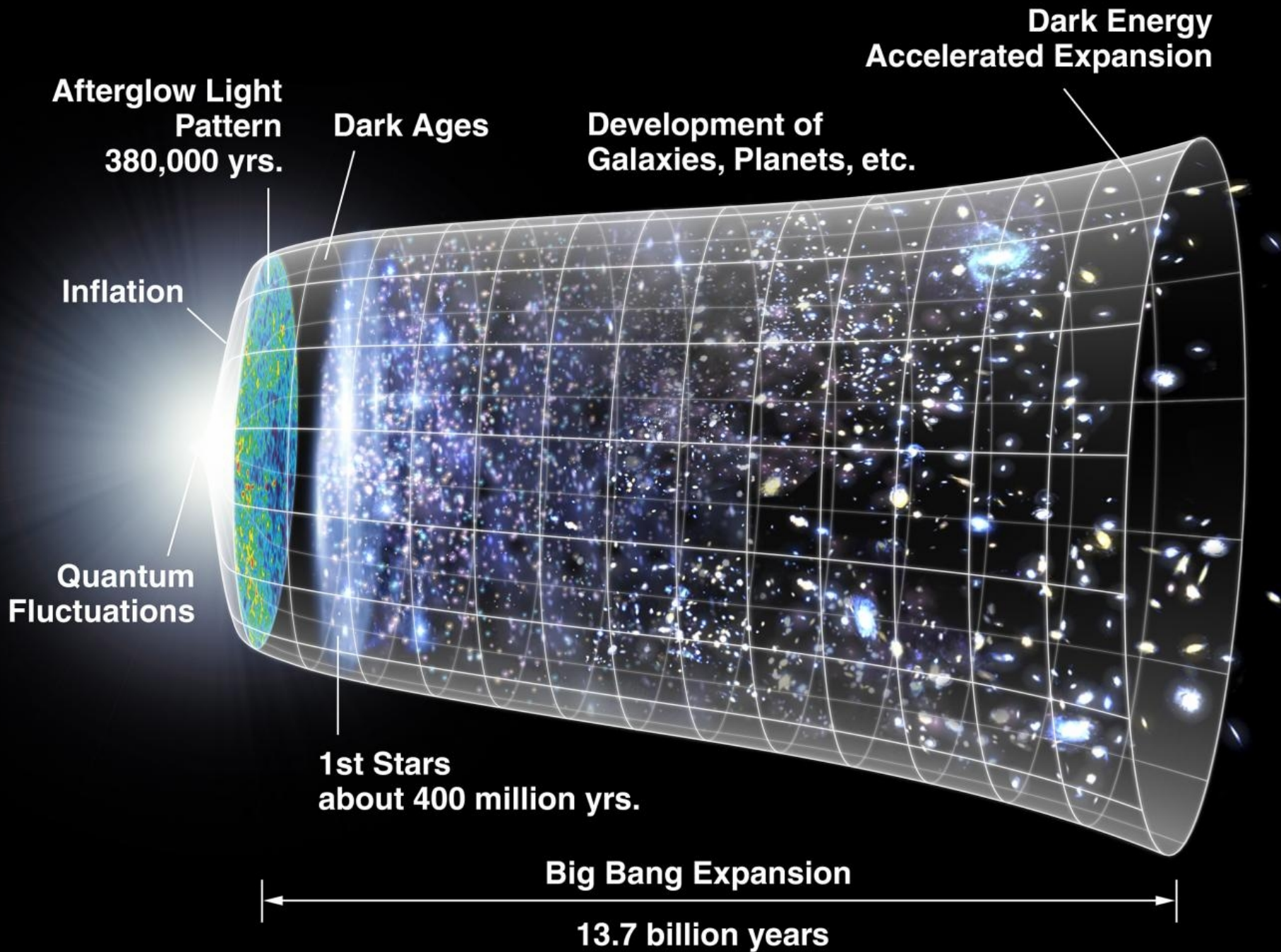
- Použitím modelu Veľkého tresku je možné vypočítať koncentráciu hélia-4, hélia-3, deutéria a lítia-7 vo vesmíre.
- Všetky množstvá sú závislé od jediného parametra, a to pomeru fotónov k baryónom. Predpovedané množstvá sú 25% pre 4He , pomer 2H ku H približne 10^{-3} , 3He ku H približne 10^{-4} a 7Li ku H 10^{-9} .
- Merania pôvodných množstiev všetkých štyroch izotopov sú zhodné s jedinečnou hodnotou tohto parametra a fakt, že namerané množstvá sú v takom rozsahu ako bolo predpovedané, je považovaný za silný dôkaz v prospech Veľkého tresku.

Veľký tresk (Big Bang)

- Najdôležitejšie obdobia vývoja vesmíru, tzv. éry vyplývajúce z riešenia rovníc všeobecnej teórie gravitácie:
 - 1) **$t=0$ s**; (*Big Bang*); začiatok existencie vesmíru, s ktorým sa priamo spája vznik priestoru a času
 - 2) **$t=do$ 10^{-43} s**; (*Planckova éra*); o tomto období nevieme spoľahlivo povedať takmer nič, zlyháva tu VTR. Nutnosť novej teórie, tzv. *Kvantová teória gravitácie*. Predpokladá sa oddelenie gravitačnej sily od ďalších troch silových interakcií
 - 3) **$t=do$ 10^{-35} s**; (*éra veľkého zjednotenia*); vznik kvarkov a elektrónov \Rightarrow stavebné kamene hmoty. Priebeh *inflácie*, rýchle nafúknutie vesmíru v krátkom čase. Oddelenie silne jadrovej interakcie od slabej a elektromagnetickej.

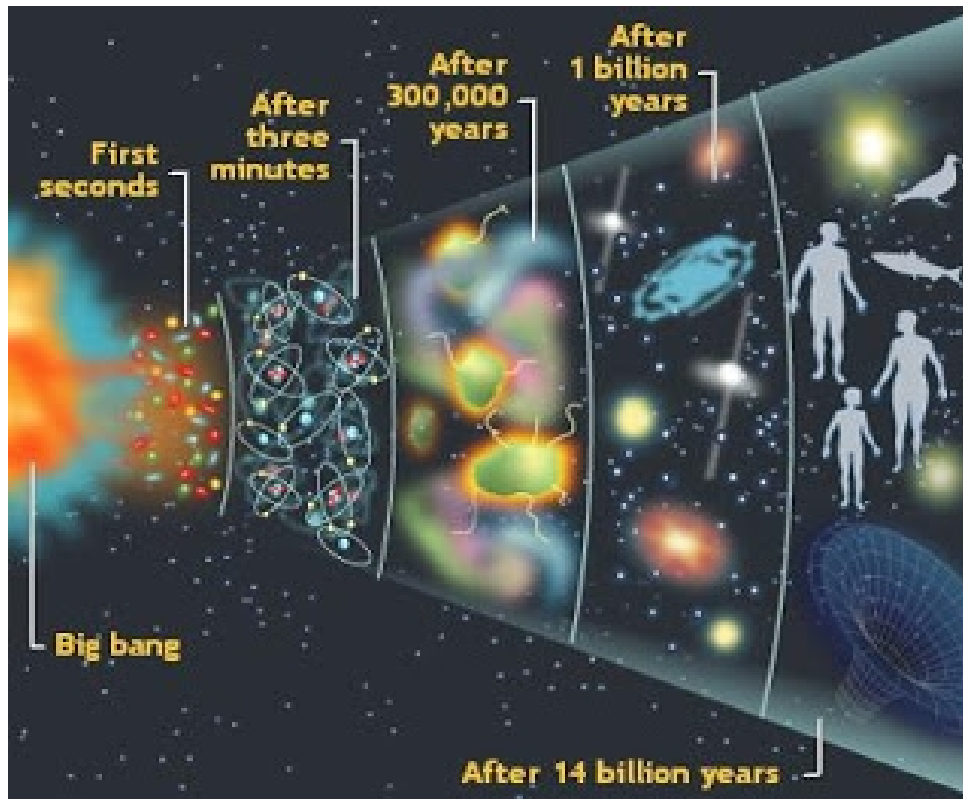
Veľký tresk (Big Bang)

- 4) **$t = \text{do } 10^{-3} \text{ s}$** ; (*éra uväznenia*); vznik protónov, neutrónov a iných elementárnych častíc z kvarkov. Od tej doby kvarky nikdy neexistovali samostatne, ale vždy len ako súčasť zložitejších elementárnych častíc. Ostali v nich uväznené.
- 5) **$t = \text{do } 3 \text{ minút}$** ; (*éra nukleosyntézy*); pokles teploty vesmíru do takej miery, že sa voľné protóny a neutróny mohli spájať a vytvoriť jadrá vodíka, hélia a stopové množstvo lítia
- 6) **$t = \text{do } 400\,000 \text{ rokov}$** ; (*éra rekombinácie*); ďalší pokles teploty, \Rightarrow jadrá vodíka a hélia dokázali zachytávať voľné elektróny. Dochádzalo k rekombinácii, tvorbe neutrálnych atómov. V dôsledku rekombinácie začalo v tejto ére dochádzať k uvoľneniu mikrovlnného žiarenia – reliktové žiarenie.
- 7) **$t \sim 13,7 \text{ mld. rokov}$** ; *súčasnosť*



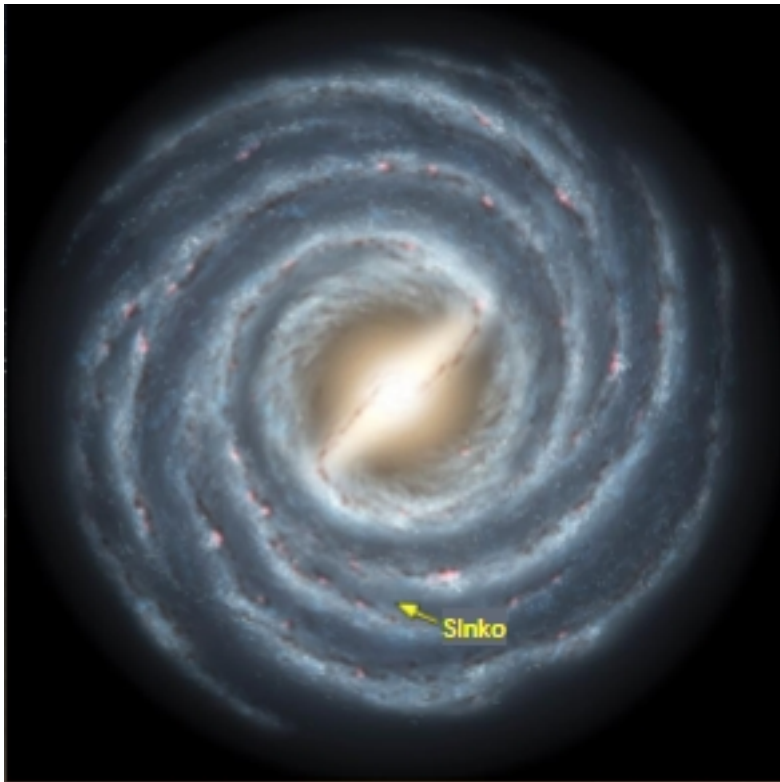
Veľký tresk (Big Bang)

- Počas 13,7 mld. rokov, vznikli z pôvodných neutrálnych atómov prvé hviezdy a galaxie.
- V jadrách prvých hviezd boli syntetizované ťažšie prvky, až po **Fe**
- Neskôr najmä vďaka výbuchom supernov vznikali prvky ťažšie ako Fe, až po urán.
- Ťažké prvky = vznik planét = vznik života (minimálne u nás)



Súčasný stav vesmíru

- Súčasný stav vesmíru:
- Základný predpoklad, s ktorým narába kozmológia:
 - vesmír je na veľmi veľkých priestorových škálach homogénny a izotropný
- Veľmi veľká priestorová škála: priestorová kocka o hrane s rozmerom 50 Mpc (1pc = 3,26 svetelného roka).
- Každá z týchto buniek by mala obsahovať 100 000 galaxií

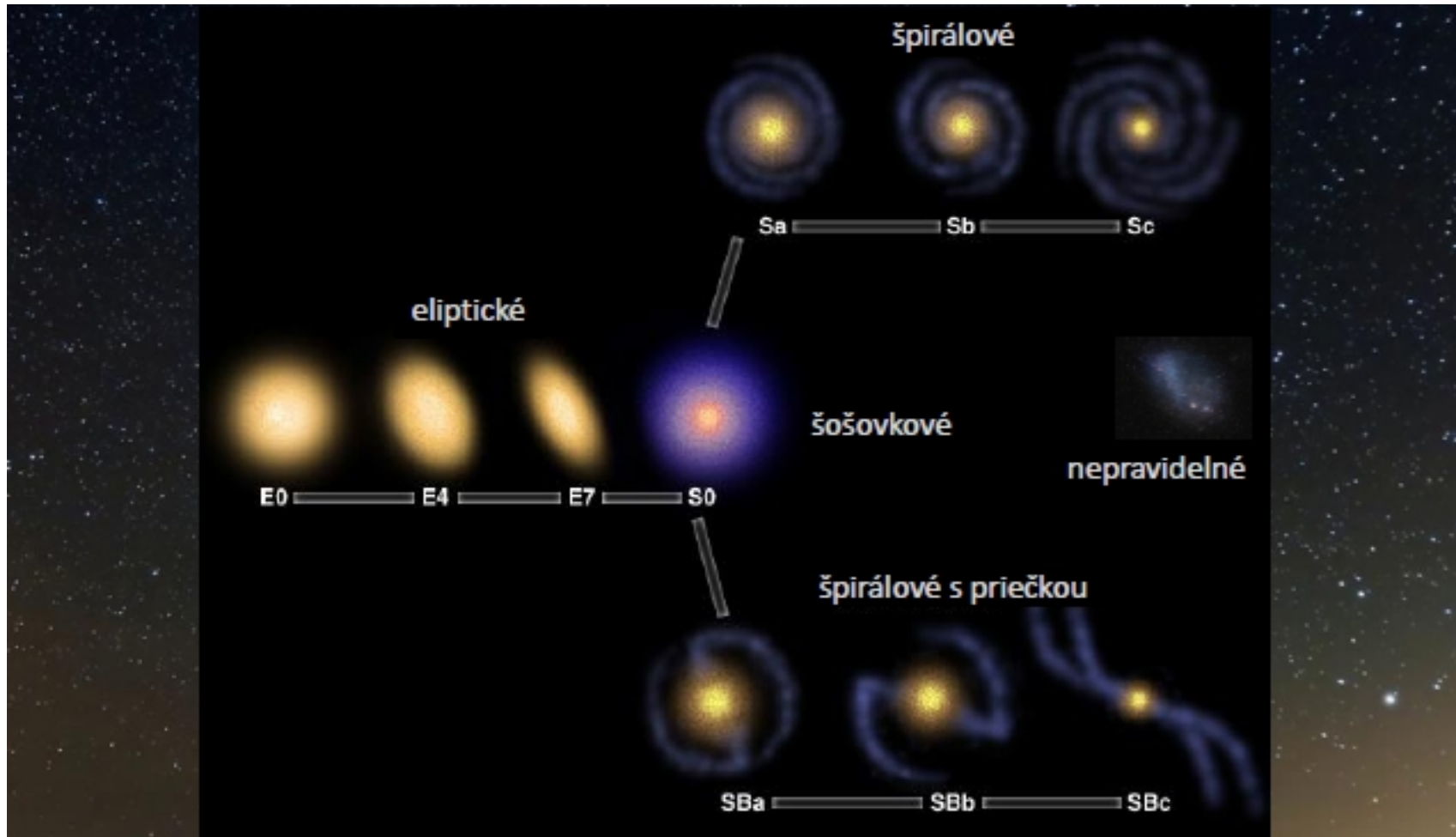


Súčasný stav vesmíru



Pohľad na centrálnu oblasť Galaxie s vyznačenou polohou supermasívnej čiernej diery (vľavo). Sériu snímok, ktoré zachytávajú „v priamom prenose“ slapové pôsobenie supermasívnej čiernej diery na plynno-prachový mrak, ktorý sa dostal do jej blízkosti (vpravo).

Súčasný stav vesmíru



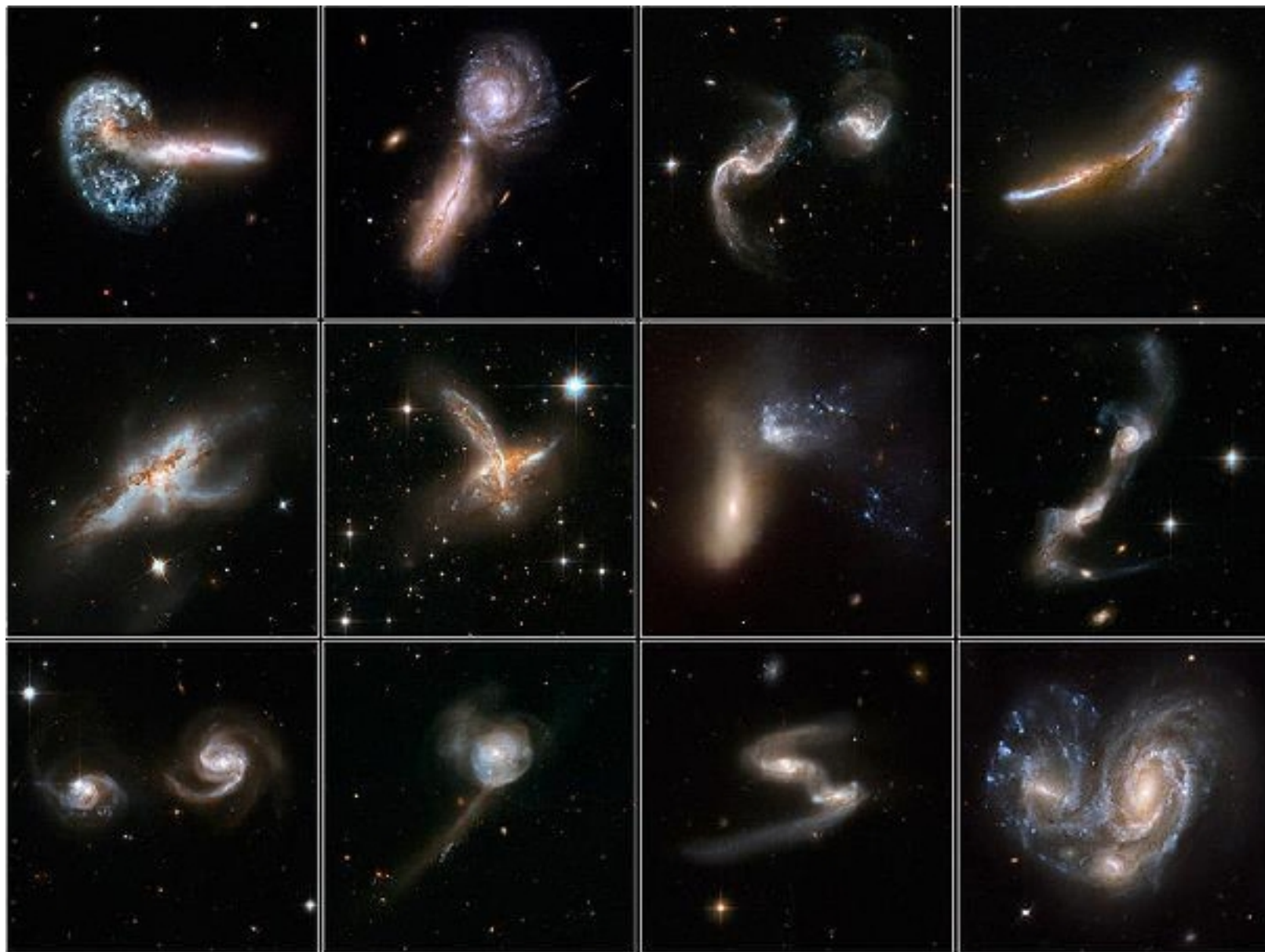
Klasifikácia galaxií. Eliptické galaxie sa ďalej delia podľa miery sploštenosti (E0 – E7). Špirálové a špirálové s priečkou sa ďalej delia podľa veľkosti centrálnej oblasti a uzavretosti špirál (Sa – Sb – Sc, SBa – SBb – SBc). Šošovkové galaxie predstavujú prechodový typ medzi eliptickými a špirálovými.

Súčasný stav vesmíru



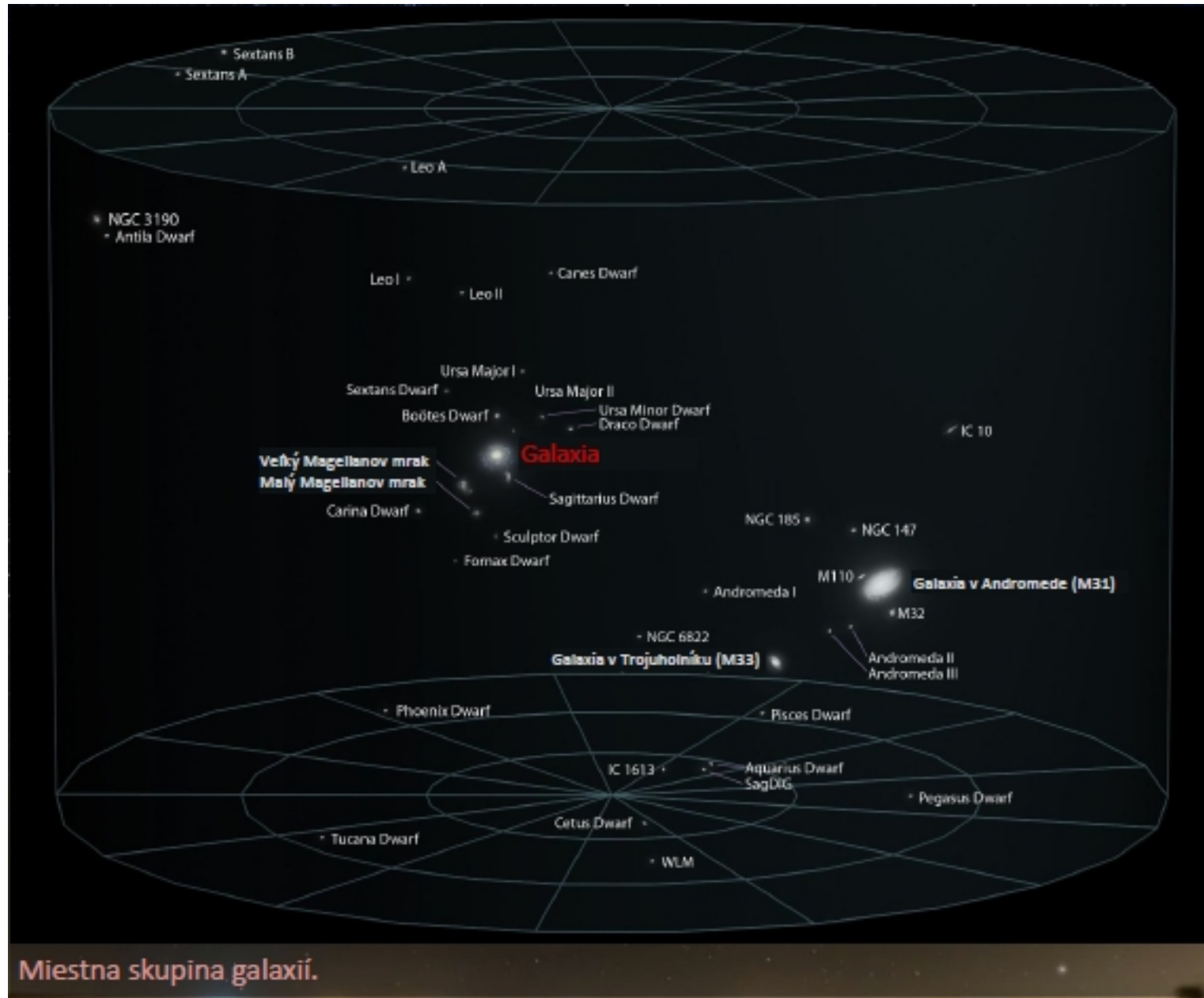
Galaxie rôznych typov: špirálová galaxia M31 (vľavo hore), špirálová galaxia M104 – Sombrero (vpravo hore), eliptická galaxia NGC 1132 (vľavo dole) a špirálová galaxia s priečkou NGC 1300 (vpravo dole).

Súčasný stav vesmíru

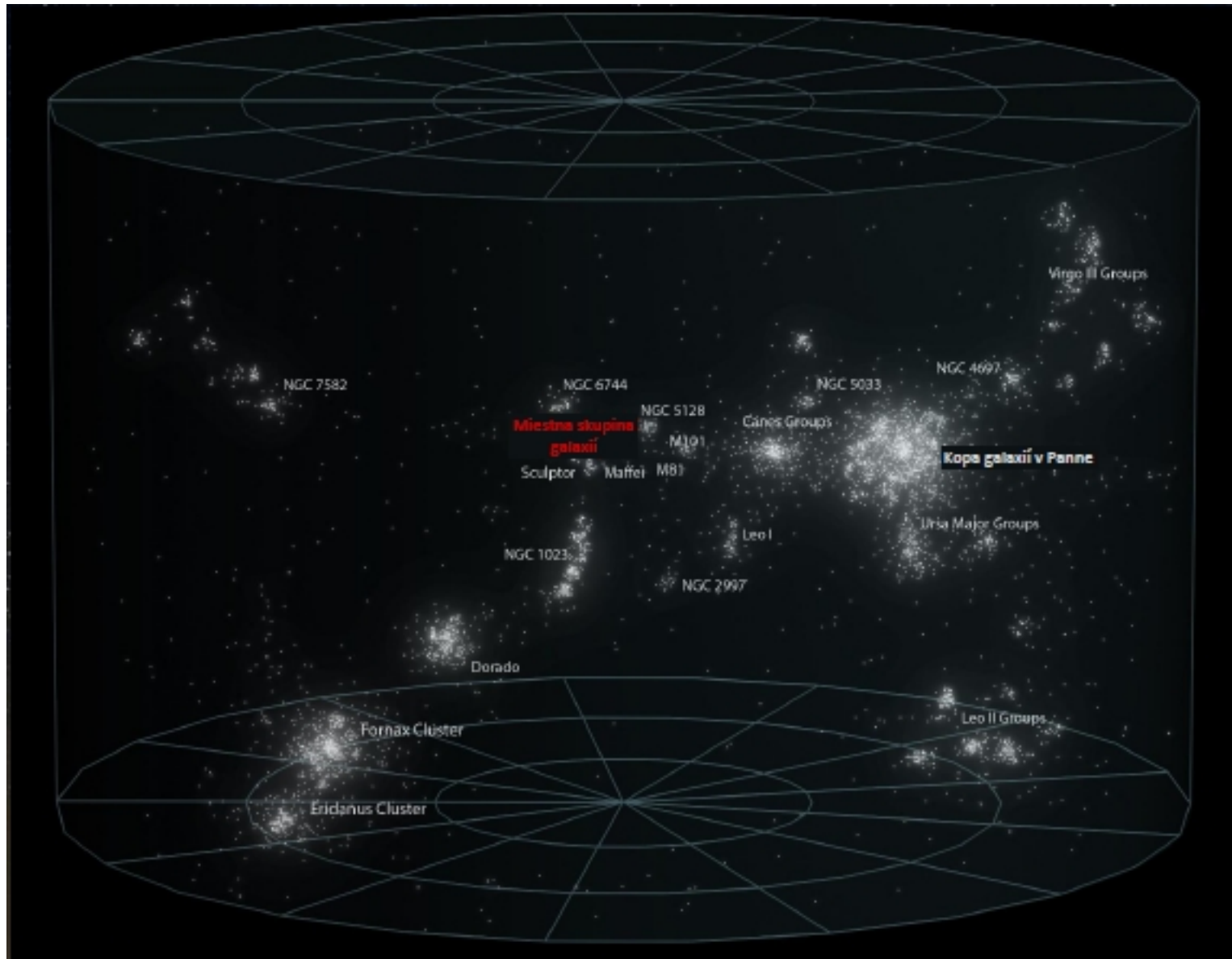


Pestrá paleta příkladov interakcií (zrážok) galaxií v bohatých kopách galaxií.

Súčasný stav vesmíru

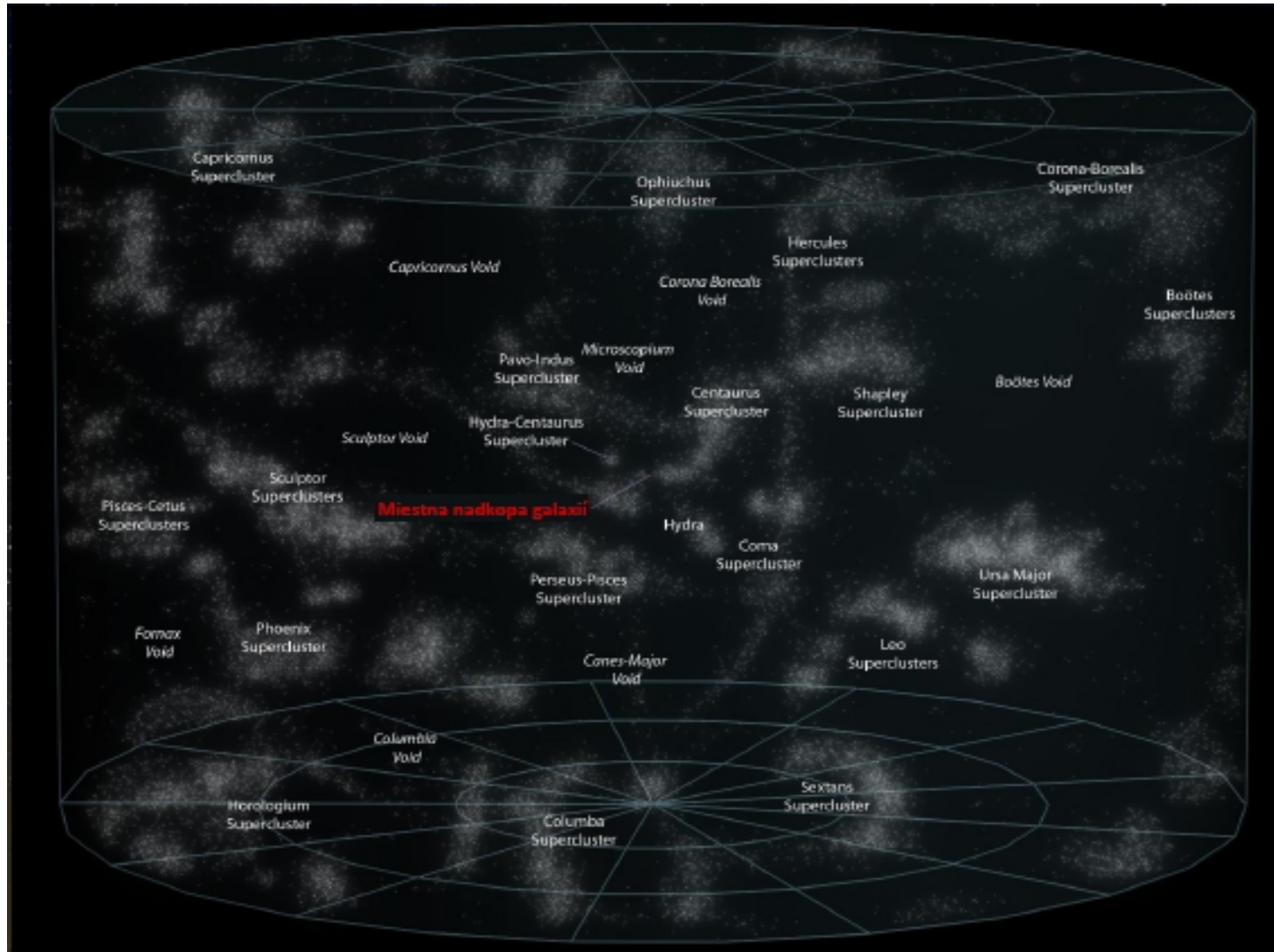


Súčasný stav vesmíru



Miestna nadkopa galaxií (alebo nadkopa galaxií v Panne), do ktorej patrí Miestna skupina galaxií, kopa galaxií v Panne a ďalšie skupiny (groups) a kopy (clusters) galaxií.

Súčasný stav vesmíru



Miestna nadkopa galaxií spolu s ďalšími nadkopami galaxií (superclusters) vytvárajú hubovitú štruktúru, v ktorej sa kopy a nadkopy galaxií organizujú do stien jednotlivých buniek, pričom samotné bunky sú prázdne (voids).

Súčasný stav vesmíru

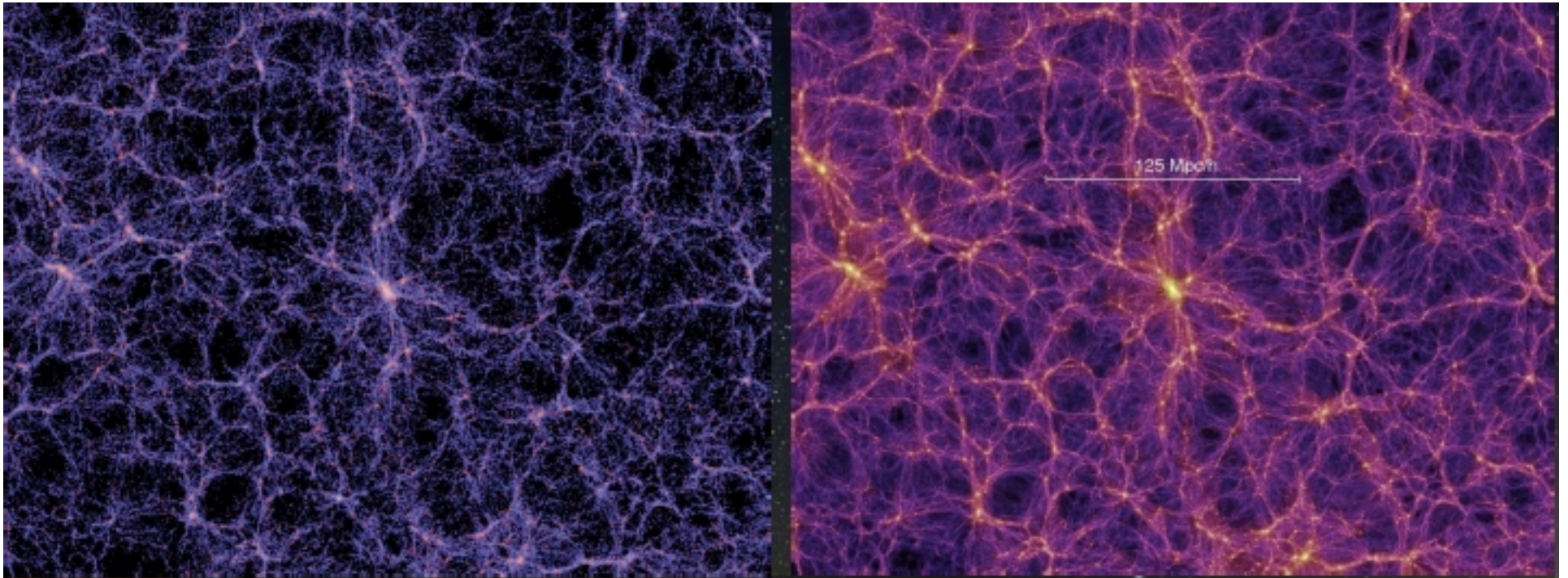


Súčasný stav vesmíru



Rozloženie hmoty vo vesmíre pripomína hubovitú štruktúru. Video zachytáva polohu 250 000 galaxií do vzdialenosti asi 2 miliardy svetelných rokov získaných v rámci projektu Sloan Digital Sky Survey.

Súčasný stav vesmíru



Millennium simulation. Výsledky počítačovej simulácie, v ktorej bolo použitých viac ako 20 miliárd hmotných častíc v priestore v tvare kocky so stranou 2 miliardy svetelných rokov. Pomocou superpočítačov bolo možné sledovať vznik hubovitej štruktúry zloženej z asi 20 miliónov galaxií (vľavo), ako aj z tmavej hmoty (vpravo).

Budúcnosť vesmíru

(Nobelova cena za fyziku, 2011)

- Saul Perlmutter
- Brian Schmidt
- Adam Riese

- High-Z Supernova Search Team
- Supernova Cosmology Project


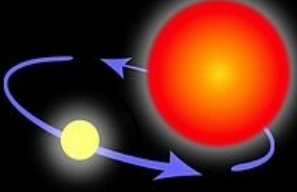
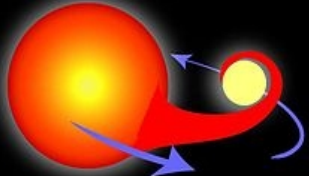
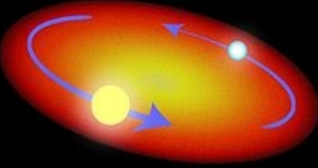
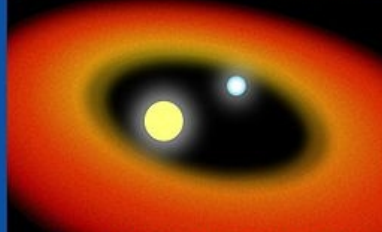


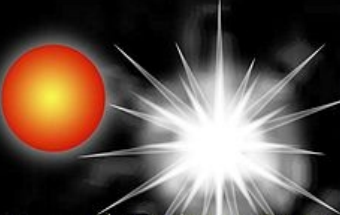
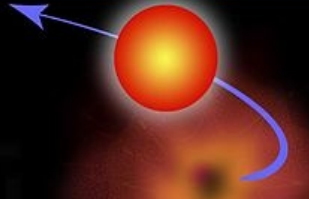


- Supernovy, ktoré sa vzdáľujú určitou rýchlosťou (s určitým nameraným červeným posunom) sú v skutočnosti ďalej ako by sme čakali.
- Rozpínanie vesmíru síce po určitou dobu spomaľovalo, ale akonáhle sa gravitačná príťažlivosť vyrovnala doteraz neznámej odpudivej sile, rozpínanie opäť zrýchľuje!

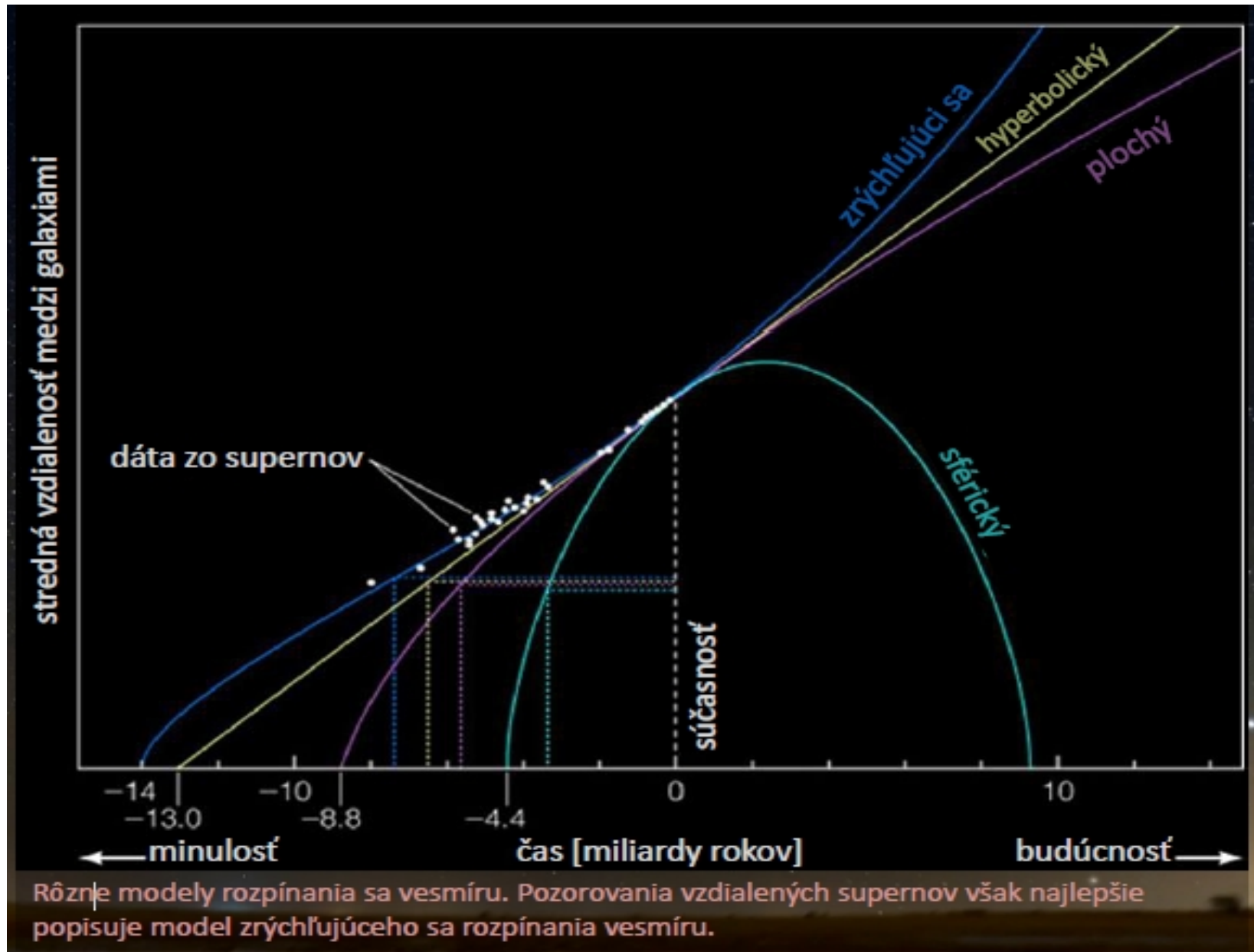
Budúcnosť vesmíru

(Nobelova cena za fyziku, 2011)

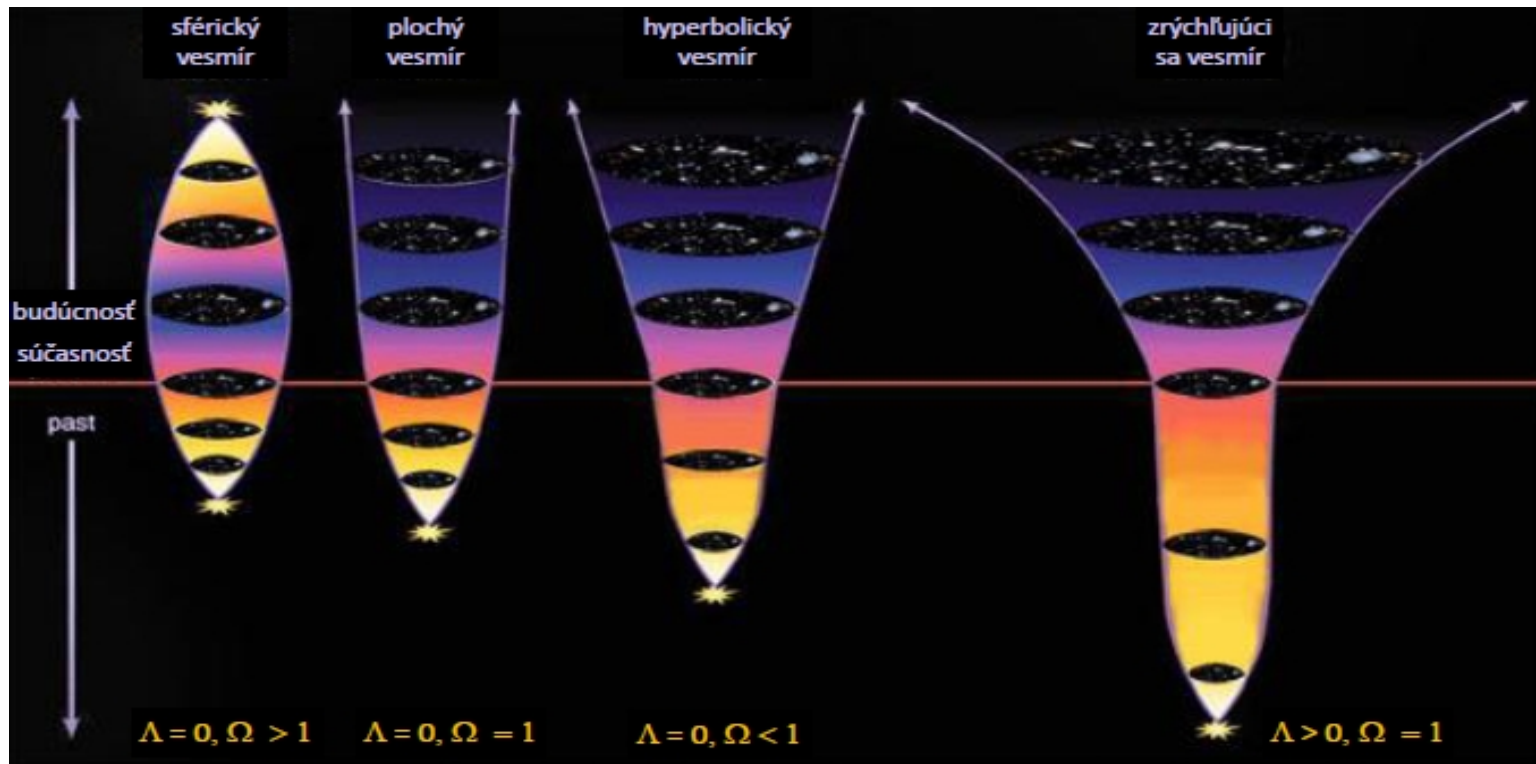
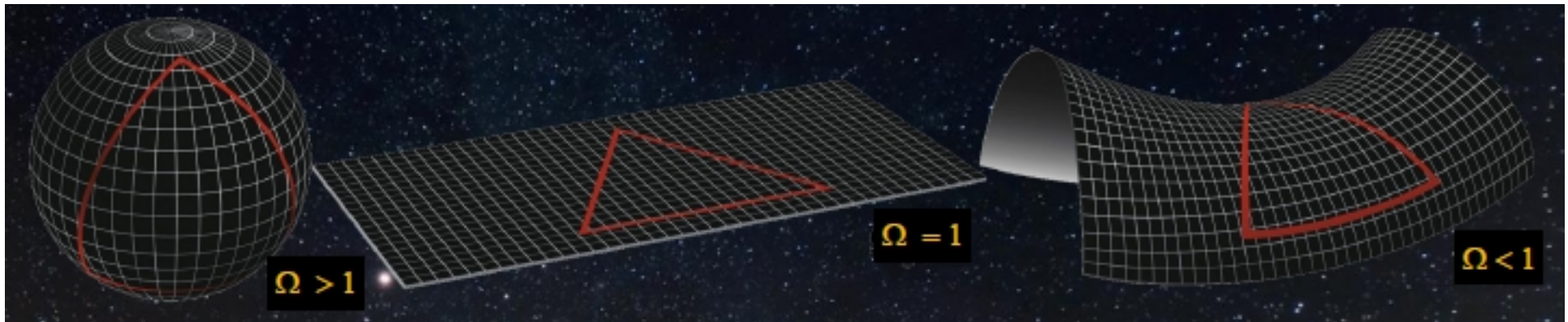
Vznik supernovy typu Ia

 <p>Dve hviezdy hlavnej postupnosti tvoria zložky dvojhviezdy</p>	 <p>Hmotnejšia hviezda sa stáva červeným obrom ...</p>	 <p>... z ktorého preteká plyn na druhú hviezdu, ktorá expanduje a je plynom celkom obklopená</p>
 <p>Druhá, jasnejšia hviezda a jadro červeného obra sa pohybujú po špirále v spoločnej obálke</p>	 <p>Spoločná obálka je odhodaná zatiaľ čo vzájomná vzdialenosť medzi druhou hviezdou a jadrom sa zmenší</p>	 <p>Zvyšné jadro obra sa zrúti a stane sa bielym trpaslíkom</p>
 <p>Starnúci hviezdny sprievodca sa začína rozpínať, plyn preteká na bieleho trpaslíka</p>	 <p>Hmotnosť bieleho trpaslíka sa zväčšuje, až nakoniec dosiahne kritickú medzu a exploduje ...</p>	 <p>... a odhodí svojho hviezdneho sprievodcu preč.</p>

Budúcnosť vesmíru (Nobelova cena za fyziku, 2011)



Budúcnosť vesmíru

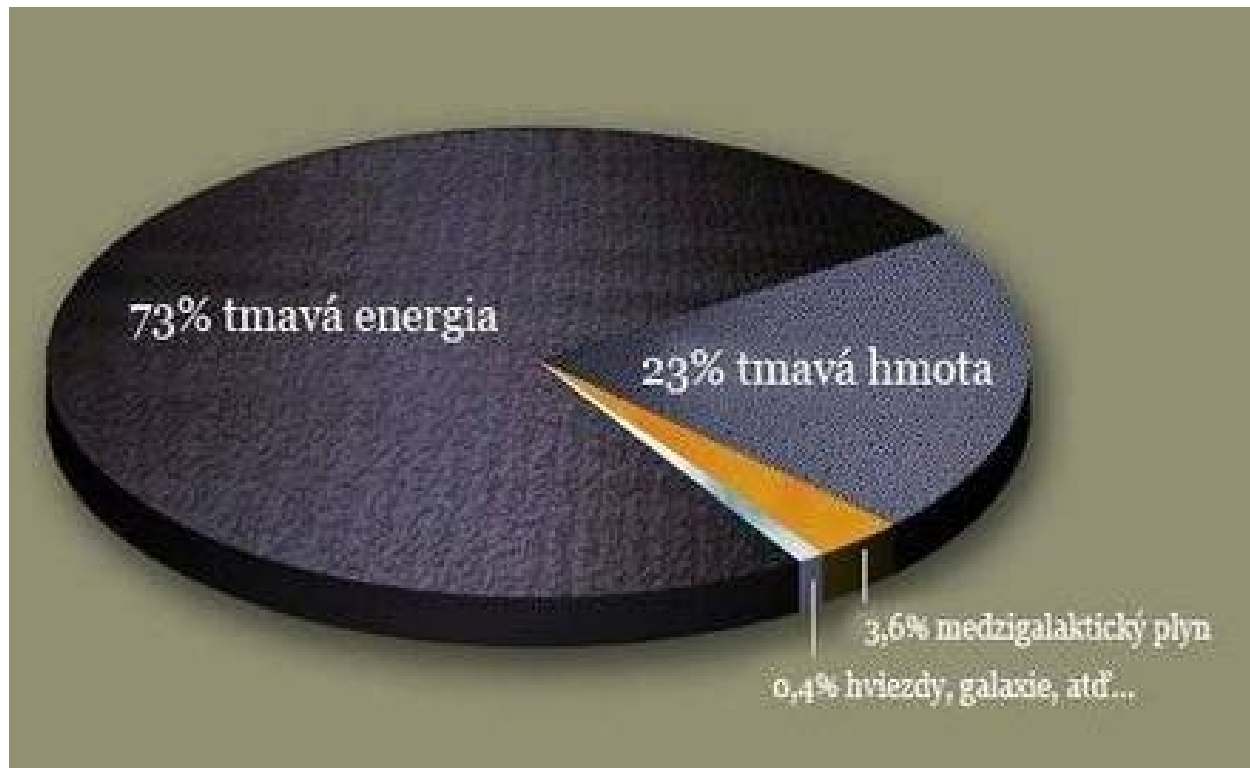


Schematické znázornenie priebehu evolúcie vesmíru pre rôzne modely v závislosti od hodnoty hustotného parametra a hodnoty kozmologickej konštanty. Súčasný vesmír najlepšie popisuje model s plochou geometriou a so zrýchľujúcou sa expanziou (vpravo).

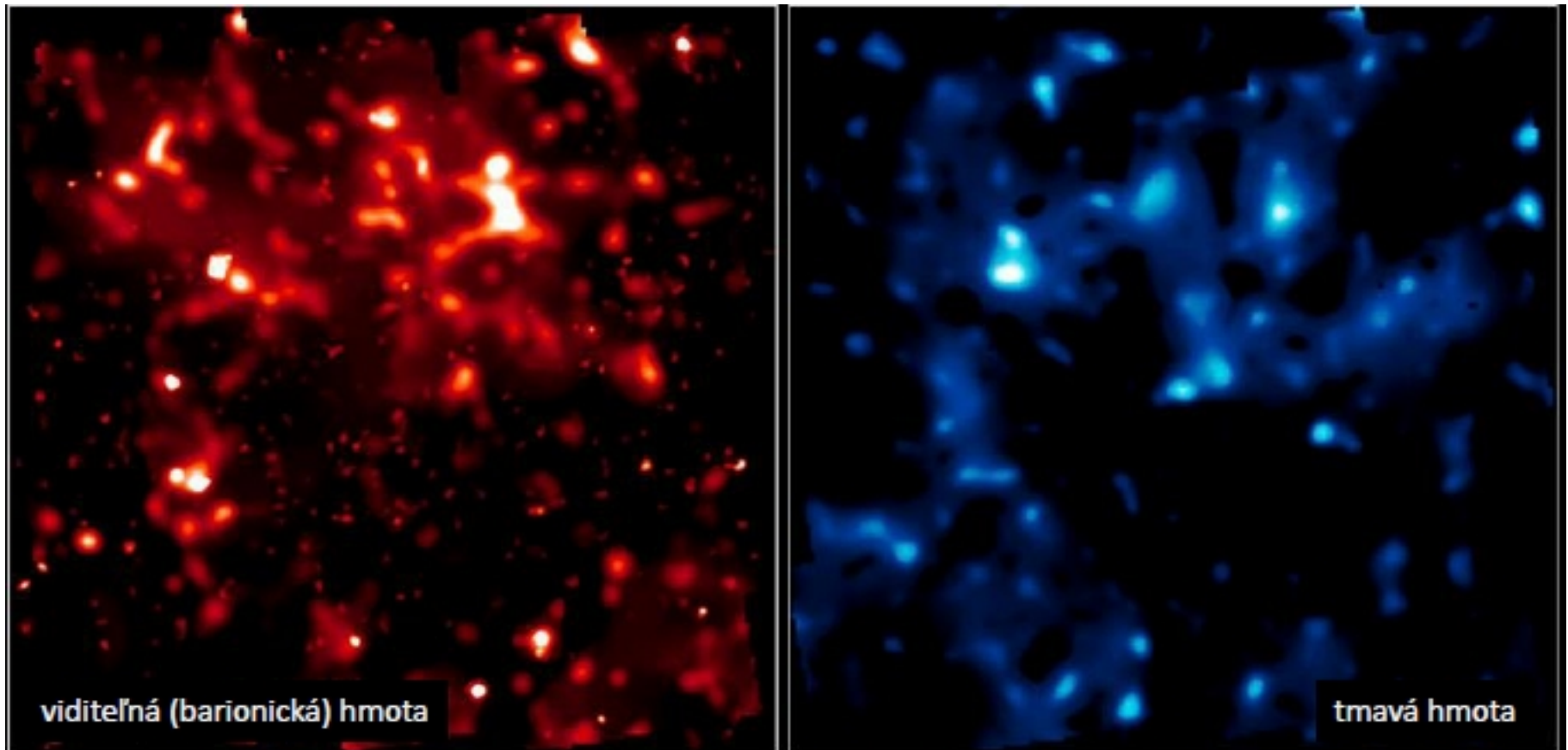
Budúcnosť vesmíru a tmavá hmota

- Na rozdiel od viditeľnej hmoty ju nevieme pozorovať priamo
- Neemituje, neabsorbuje, ani ne-reemituje elektromagnetické žiarenie.
- Prejavuje sa **nepriamo**, gravitačnými účinkami na viditeľnú hmotu, žiarenie, veľkoškálovú štruktúru vesmíru

- Podstata tmavej energie ? (73%)
- Tu už nevieme vôbec nič.....



Budúcnosť vesmíru a tmavá hmota



Rozloženie viditeľnej (priame pozorovanie) a tmavej hmoty (rekonštrukcia na základe efektu gravitačnej šošovky) vo vesmíre je podobné – viditeľná hmota sa zokupuje tam, kde sa nachádza tmavá hmota. Situácia s hmotou vo vesmíre pripomína ľadovec plávajúci na mori – len malá časť hmoty je pozorovateľná, väčšina je pred priamym pozorovaním skrytá.

THE END