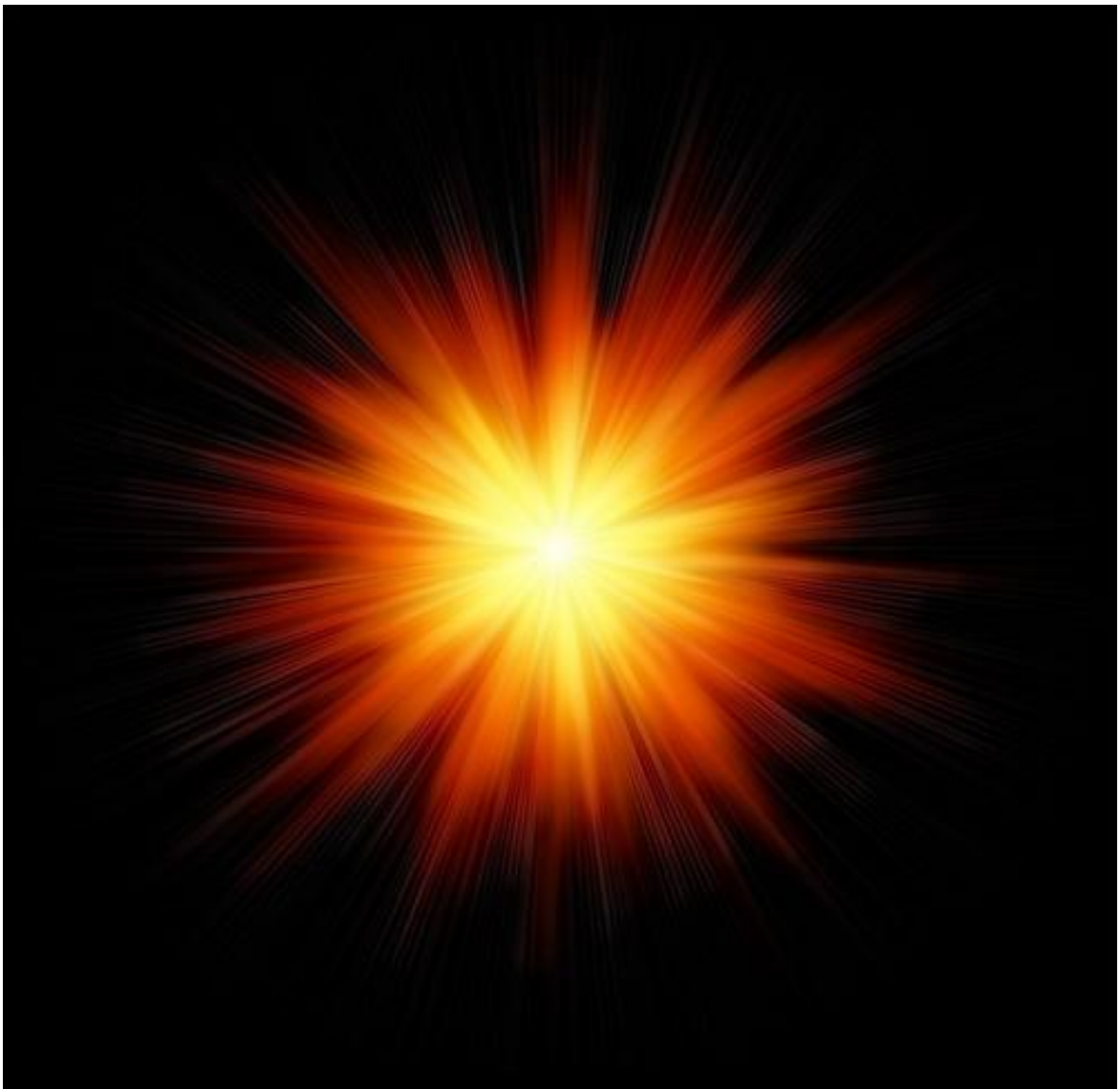


# VESMÍR IV. – TEÓRIA VEĽKÉHO TRESKU A OBJAV MIKROVLNNÉHO ŽIARENIA

**1. George Gamow a jeho teória veľkého tresku:** Ako uvádza Wikipédia: „Termín „veľký tresk“ prvýkrát použil Fred Hoyle v roku 1949 počas programu rozhlasovej stanice BBC s názvom „Podstata vecí“ (ang. "The Nature of Things"); text bol vydaný v roku 1950. Hoyle túto teóriu nepodporoval a plánoval sa jej vysmiať.“ Podľa Wikipédie: „Nosnou myšlienkou je, že všeobecná teória relativity môže byť skombinovaná s pozorovaniami galaxií vzdalujúcich sa od seba, čím sa dá odvodiť stav vesmíru v minulosti alebo aj v budúcnosti. Prirodzeným následkom veľkého tresku je, že **vesmír mal v minulosti vyššiu teplotu a hustotu**. Termín „veľký tresk“ sa v užšom zmysle používa na označenie **časového bodu**, kedy sa začalo pozorované rozpínanie vesmíru, v širšom zmysle na označenie prevládajúcej **kozmoologickej paradigmy**, vysvetľujúcej vznik a vývin vesmíru.“ Na tento moment musíme osobitne poukázať, pretože sa nám tu v jednom termíne **zmiešavajú dve rôzne veci** – jednak moment vzniku nášho vesmíru, jednak teória, ktorá opisuje jeho vznik a vývoj. To býva zdrojom častých zmätkov a zbytočných sporov, ktoré mali a majú veľmi negatívny vplyv na kozmologické bádanie. Pravdou je, že **od istého okamžiku v čase** dokážeme relatívne uspokojivo vysvetliť vývoj vesmíru s pomocou súčasných fyzikálnych teórií, **ale samotný vznik vesmíru**, resp. veľký tresk s ich pomocou **vysvetliť momentálne nedokážeme**. Takto mohol vyzerat’:

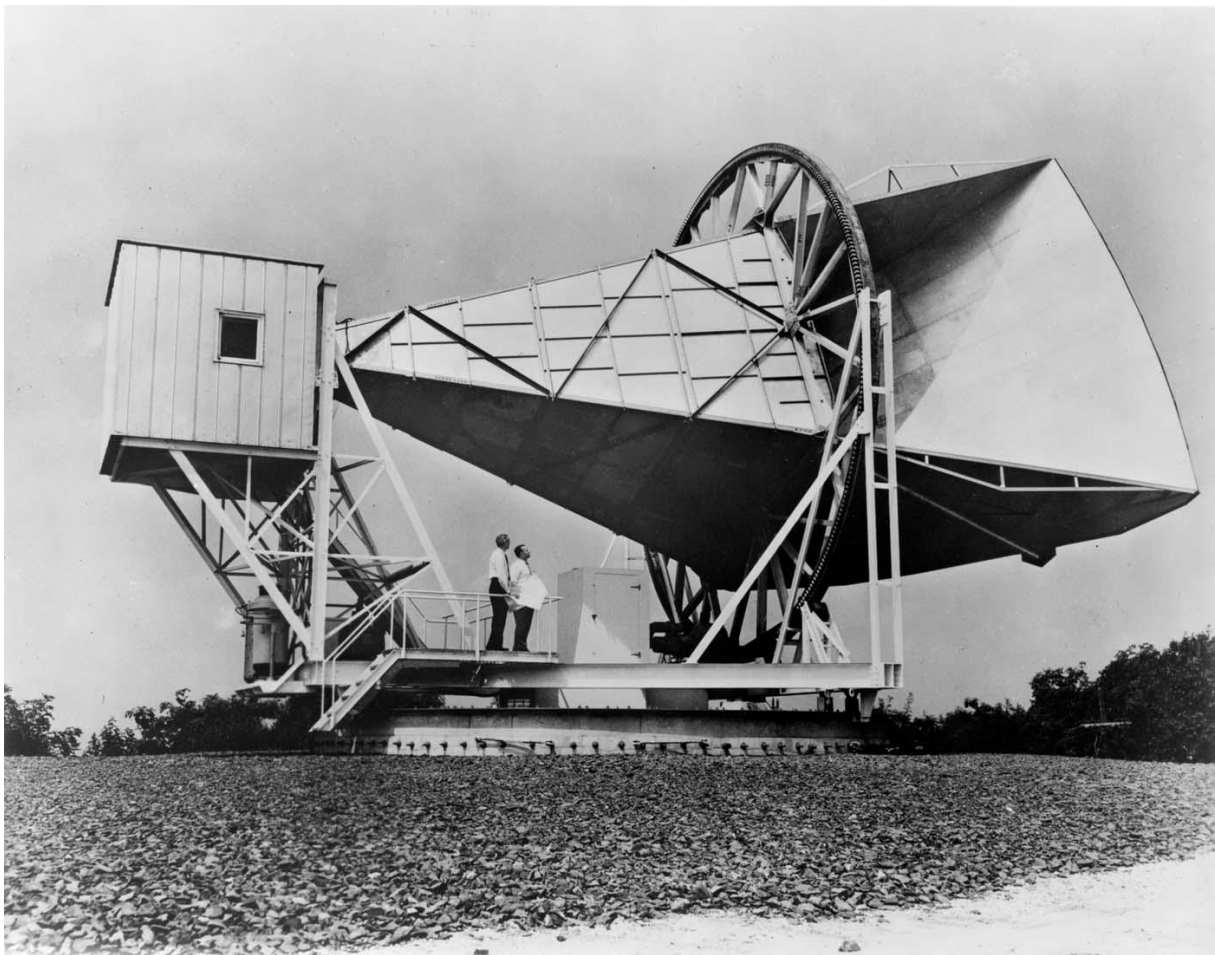




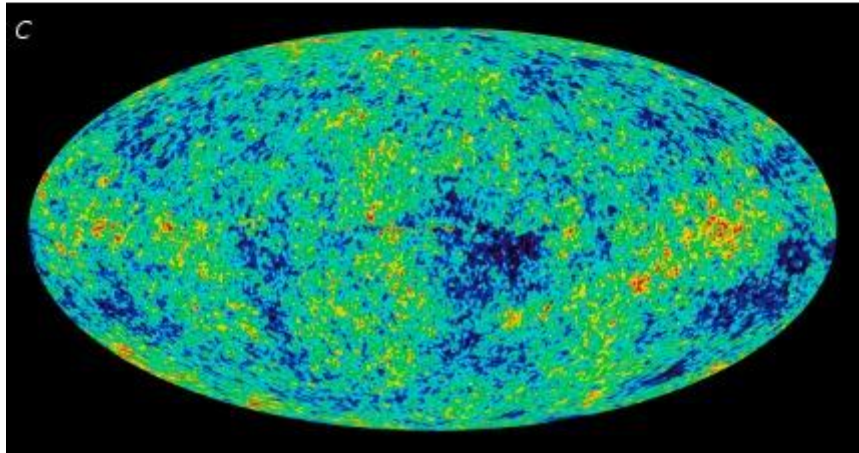
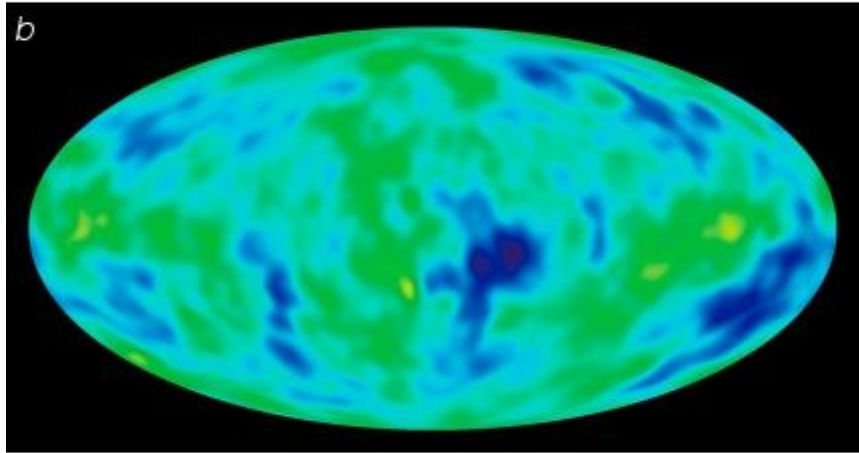
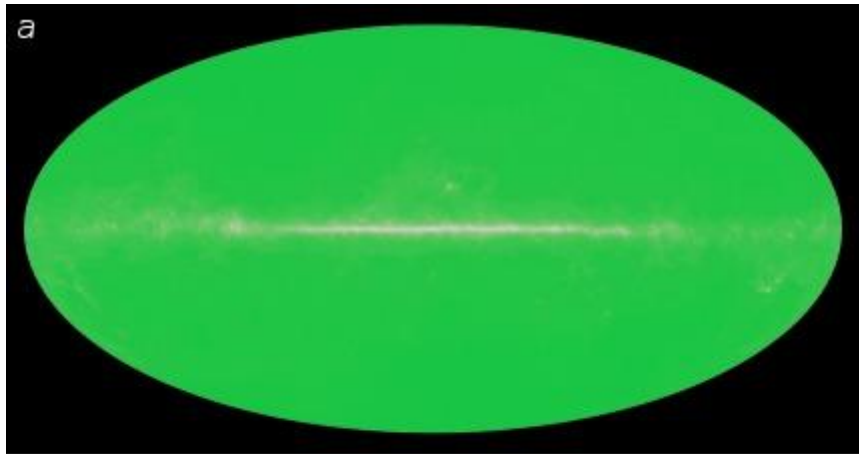
Skutočným otcom myšlienky veľkého tresku je (údajne) mimoriadne tvorivý americký fyzik ukrajinského pôvodu, George Gamow, ktorý v roku 1934 emigroval do USA pred útlakom bolševického sovietskeho režimu. Bol aj vynikajúcim chemikom, ktorý sa zaujímal o pôvod chemických prvkov. Ako uvádza anglická verzia Wikipédie, z ktorej teraz budeme voľne prekladať, Gamow svoj prvý článok o veľkom tresku a nukleosynéze publikoval v roku 1948, a to presne 1. apríla, aby opäť preukázal svoj jedinečný zmysel pre humor, spolu so svojím študentom R. Alpherom, pričom prehovoril aj H. Betheho, aby sa k nim pridali, a iniciálky autorov článku tak mohli utvoriť prvé tri písmena gréckej abecedy. O čo v článku išlo: Autori sa v ňom pokúsili vysvetliť **súčasnú zastúpenie vodíka a hélia vo vesmíre** na základe fyzikálnych procesov, ktoré sa mohli odohrávať počas veľkého tresku, kedy vesmír explodoval z teoretickej fyzikálnej singularity. Ako však uvádza Wikipédia, matematický aparát tohto článku, ba aj väčšiu časť jeho pôvodných myšlienok **vypracoval R. Alpher**, na ktorého práci sa zrejme Gamow v typicky akademickom štýle **„trochu“ priživil**. Nasvedčuje tomu aj nasledujúci Alpherov článok, ktorý už vypracoval spoločne s **Robertom Hermanom**, v ktorom predpovedali, že veľký tresk by po sebe mohol zanechať „odtlačok“ v podobe reliktného mikrovlnného žiarenia o teplote asi  $5^{\circ}$  Kelvina, t. j. len 5 stupňov nad absolútnou nulou. V tomto momente sa mala začať „poľovačka“ na toto žiarenie, ale rádioastronómia nebola ešte v takom stave, aby mohla podobný výskum zahájiť a ani renomé R. Alpher a R. Hermana nebolo také, aby podobný výskum iniciovalo. Ako sa ukázalo o takmer 20 rokov neskôr, R. Alpher a R. Herman sa nemýlili a teória veľkého tresku a vzniku nášho vesmíru jedného dňa prestala byť len teóriou.

**2. Arno Penzias a Robert Wilson a ich objav reliktného mikrovlnného žiarenia ako pozostatku veľkého tresku:** Ako však uvádza anglická verzia Wikipédie, prvý článok o tom, že reliktné mikrovlnné žiarenie (angl. cosmic microwave background radiation, CMBR) je pozorovateľným alebo detegovateľným fenoménom, uverejnili až na jar 1964 sovietski astrofyzici A. G. Doroškevič a I. Novikov. Od toho momentu sa veci dali do pohybu. V štáte New Jersey práve v tom čase pracovali na vývoji veľmi presného rádioteleskopu A. Penzias a R. Wilson, a to pre Bellove laboratória. Ich úlohou bolo nastaviť rádioteleskop s priemerom 6 metrov, s veľmi špecifickým tvarom tak, aby dokázal zachytávať veľmi slabé rádiové vlny z balónových družíc ich firmy. Najťažšou a hlavnou úlohou bolo odtieniť rádiový šum, ktorý už vtedy zamoroval atmosféru Zeme. Napriek všetkej ich snahe však ich rádioteleskop

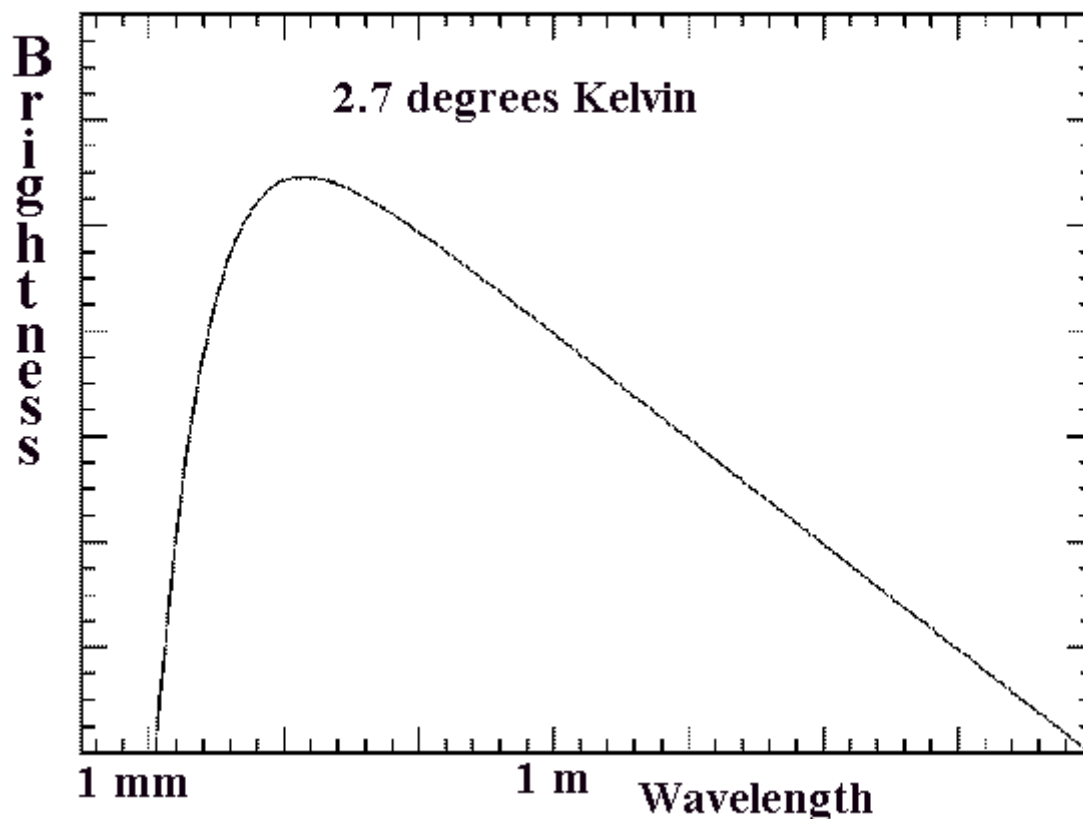
**stále registroval drobné, ale evidentné žiarenie neznámeho pôvodu.** Úžasné bolo, že toto žiarenie sa zdalo byť rovnomerne rozšírené po celej oblohe, pričom prichádzalo dňom a nocou. Následne zistili, že nepochádza zo Zeme, ani zo Slnka, ba ani z našej galaxie. Penzias a Wilson ešte raz dôkladne skontrolovali svoj ďalekohľad, očistili ho dokonca od holubieho hniezda, ktoré v ňom objavili, ale záhadné žiarenie sa stále hlásilo k životu. Našťastie, len 60 km od nich, v Princetone, sa práve chystali uskutočniť podobný výskum R. Dicke et al., o čom ich informoval B. Burke z MIT, pričom R. Dicke et al. zároveň publikovali článok o tom, aké charakteristiky by malo mať CMBR. Penzias a Wilson potom už len pozvali Dickeov výskumný tím, aby si vypočuli žiarenie, ktoré tak elegantne predpovedali, žiarenie na vlnovej dĺžke zhruba 7,35 centimetra a o teplote zhruba 3° Kelvina. Nasleduje opäť niekoľko „štýlových“, či autentických obrázkov:



**Takto vyzeralo naše „kozmicke ucho“ pomocou, ktorého A. Penzias a R. Wilson začuli dozvuky procesu, ktorý je totožný so vznikom nášho vesmíru. Na ďalších obrázkoch si predstavíme obidvoch fyzikov a aj nimi objavené žiarenie na niekoľkých snímkach, ktoré ukazujú jeho veľmi slabú anizotropiu i nehomogénnosť. Bez nich by však vo vesmíre neboli galaxie a hviezdy.**

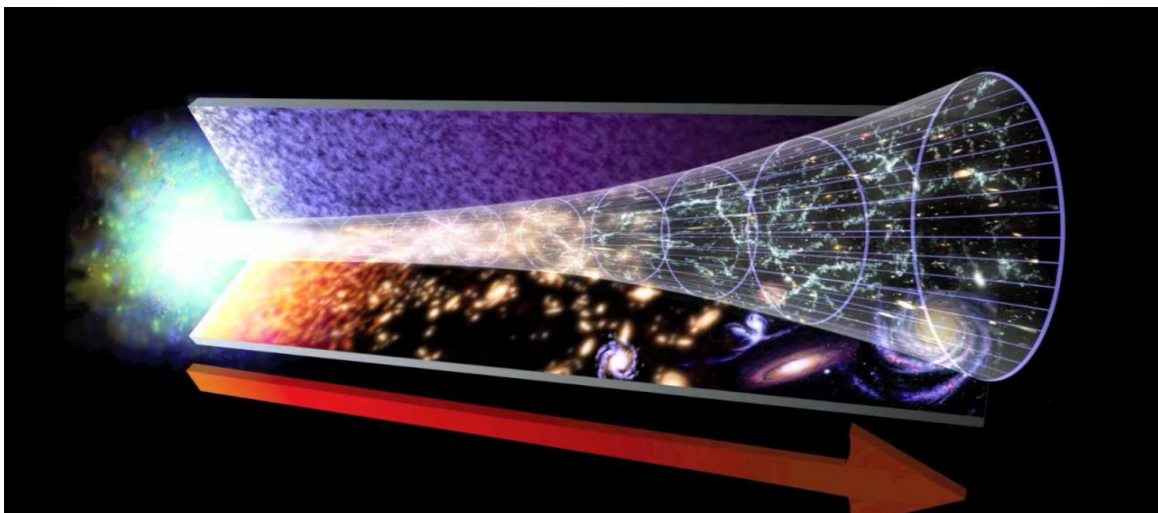


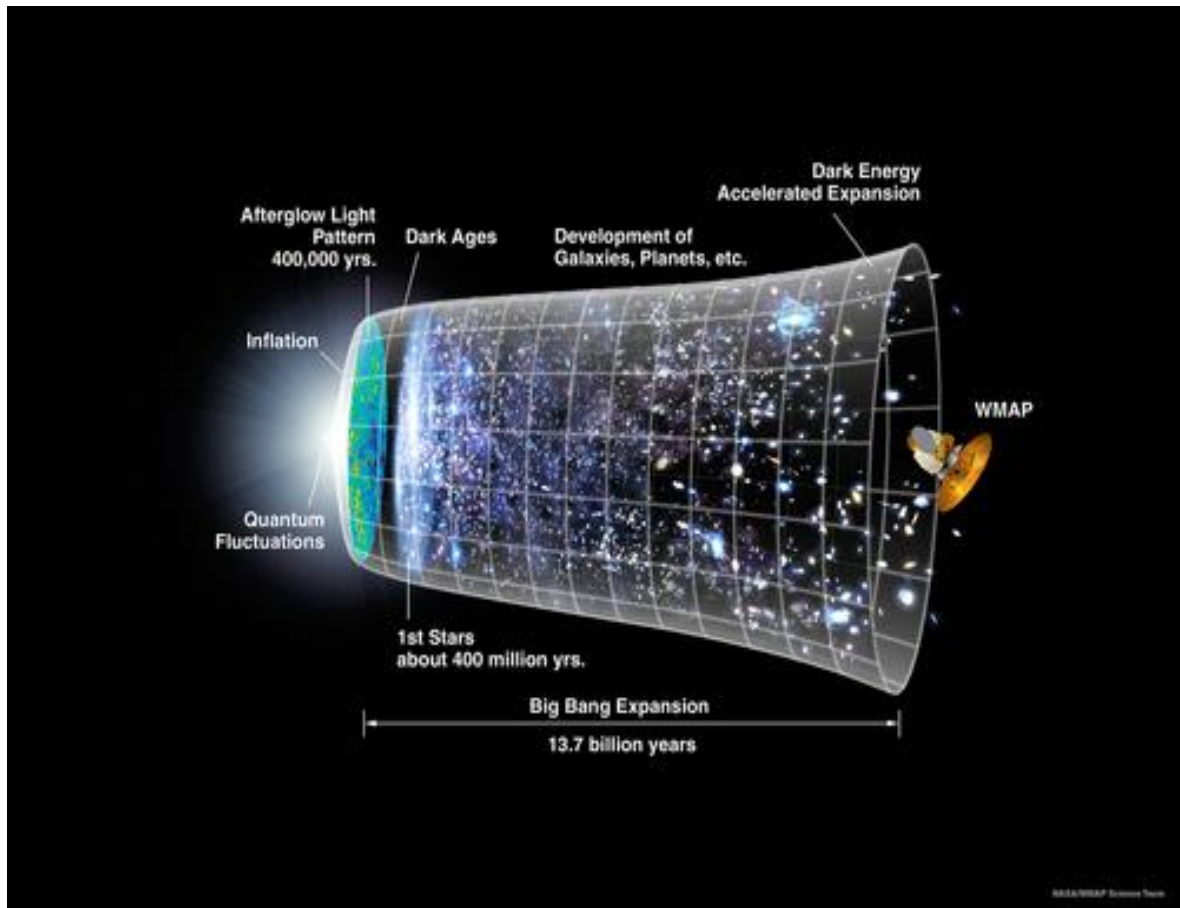




**3. Veľký tresk ako teória vzniku a vývoja nášho vesmíru v jeho počiatočných fázach:** Opäť budeme vychádzať najmä z informácií z Wikipédie: „Podľa súčasných fyzikálnych modelov bol vesmír pred 13,7 miliardami ( $1,37 \times 10^{10}$ ) rokov vo forme gravitačnej singularity, v ktorej boli merania času a dĺžky **bezpredmetné** a teplota spolu s tlakom **boli nekonečné**. Pretože zatiaľ neexistujú žiadne modely systémov s týmito charakteristikami, špeciálne žiadna teória kvantovej gravitácie, **ostáva toto obdobie histórie vesmíru nevyriešeným fyzikálnym problémom**.“ A takto dnes vyzerá teória veľkého tresku, resp. tzv. **nový štandardný model vesmíru**: „Na základe meraní rozpínania vesmíru použitím supernov typu Ia, meraní vlastností kozmického mikrovlnného pozadia a meraní korelačných funkcií galaxií, **je vek vesmíru  $13,65 \pm 0,2$  miliardy rokov**. Skutočnosť, že tieto tri nezávislé merania sa zhodujú, je považovaná za silný dôkaz pre takzvaný **Lambda-CDM model**, ktorý popisuje detailnú podstatu **súčasti vesmíru**. Raný vesmír bol homogénne a izotropne vyplnený vysoko energetickou materiou. Približne  $10^{-35}$  sekúnd po Planckovej epoche sa vesmír **exponenciálne zväčšil počas obdobia nazývaného kozmická inflácia**. Potom ako sa inflácia zastavila, materiálne súčasti vesmíru boli vo forme **kvarkovo-gluónovej plazmy**, v ktorej sa všetky častice hýbali relativisticky. Dosiaľ

neznámym procesom vznikla **baryogenéza** (angl. baryogenesis), ktorá vytvorila dnes pozorovanú **asymetriu medzi hmotou a antihmotou**. Ako sa vesmír postupne zväčšoval, teplota sa znižovala, čo viedlo k ďalším procesom porušujúcim symetriu, ktoré sa prejavili ako **známe fyzikálne sily a elementárne častice**. Tieto neskôr umožnili **vznik atómov vodíku a hélia**. Tomuto procesu sa hovorí **nukleosyntéza veľkého tresku**. Vesmír sa ďalej ochladzoval, hmota sa prestala hýbať relativisticky a energia jej zvyšného objemu začala gravitačne dominovať nad žiarením. Asi po 100 000 rokoch sa žiarenie oddelilo od atómov a pokračovalo vesmírom z veľkej časti nerušene. Toto reliktové (zostatkové) žiarenie je **kozmicke mikrovlnné pozadie (CMBR)**. Časom začali mierne hustejšie oblasti takmer rovnomerne rozloženej hmoty gravitačne rásť do ešte hustejších oblastí, vytvárajúc tak oblaky plynu, hviezdy, galaxie a ostatné astronomické štruktúry, ktoré dnes môžeme pozorovať. Detaily tohto procesu závisia **od množstva a typu hmoty vo vesmíre**. Tri možné typy sú známe ako **studená temná hmota, horúca temná hmota a baryonická hmota**. Najlepšie dostupné merania (zo satelitu WMAP) ukazujú, že dominantným typom hmoty vo vesmíre je studená temná hmota. Zvyšné dva typy hmoty predstavujú menej ako 20 % všetkej hmoty vo vesmíre. Zdá sa, že dnešnému vesmíru dominuje záhadná forma energie známa ako **temná energia** alebo **čierna hmota**. Približne 70% celkovej energie dnešného vesmíru je v tejto forme. Táto súčasť zloženia vesmíru má schopnosť spôsobovať odklon rozpínania vesmíru z lineárnej závislosti rýchlosť – vzdialenosť, čím spôsobuje, že sa časopriestor na veľkých vzdialenostiach **rozpína rýchlejšie ako sa očakávalo**. Temná energia naberá podobu termínu kozmologickej konštanty v Einsteinových rovniciach poľa v teórii všeobecnej relativity, avšak podrobnosti jej stavovej rovnice a tiež vzťahu so štandardným modelom časticovej fyziky sa stále skúmajú v teoretickej rovine, ako aj pozorovaniami.“ Nasledujú schémy a obrázky veľkého tresku:





#### 4. Teoretické argumenty v prospech teórie veľkého tresku (VT):

Dnešná podoba teórie veľkého tresku závisí na troch predpokladoch:

1. Univerzálnosť fyzikálnych zákonov
2. Kozmologický princíp
3. Kopernikov princíp

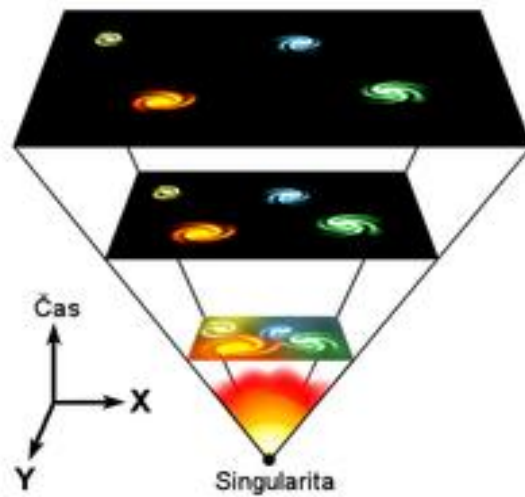
Keď sa prvý z nich vyvinul, boli tieto myšlienky jednoducho prijaté ako postuláty, avšak dnes sú v plnom prúde snahy o ich overenie. Univerzálnosť fyzikálnych zákonov bola overená na úroveň, kde najväčší odklon fyzikálnych konštánt počas veku vesmíru je rádu  $10^{-5}$ . Izotropia vesmíru, ktorá definuje kozmologický princíp, bola overená na úroveň rádu  $10^{-5}$ . Zmeralo sa tiež, že vesmír je homogénny v najväčších mierkach do úrovne 10%. Momentálne je snaha overiť Kopernikov princíp pozorovaním interakcie klastrov galaxií a CMBR pomocou Sunjajevho-Zeldovičovho efektu až na úroveň 1% presnosti. Teória veľkého tresku používa Weylov postulát na jednoznačné zmeranie času v ľubovoľnom bode ako „času od Planckovej epochy“. Merania sa spoliehajú na



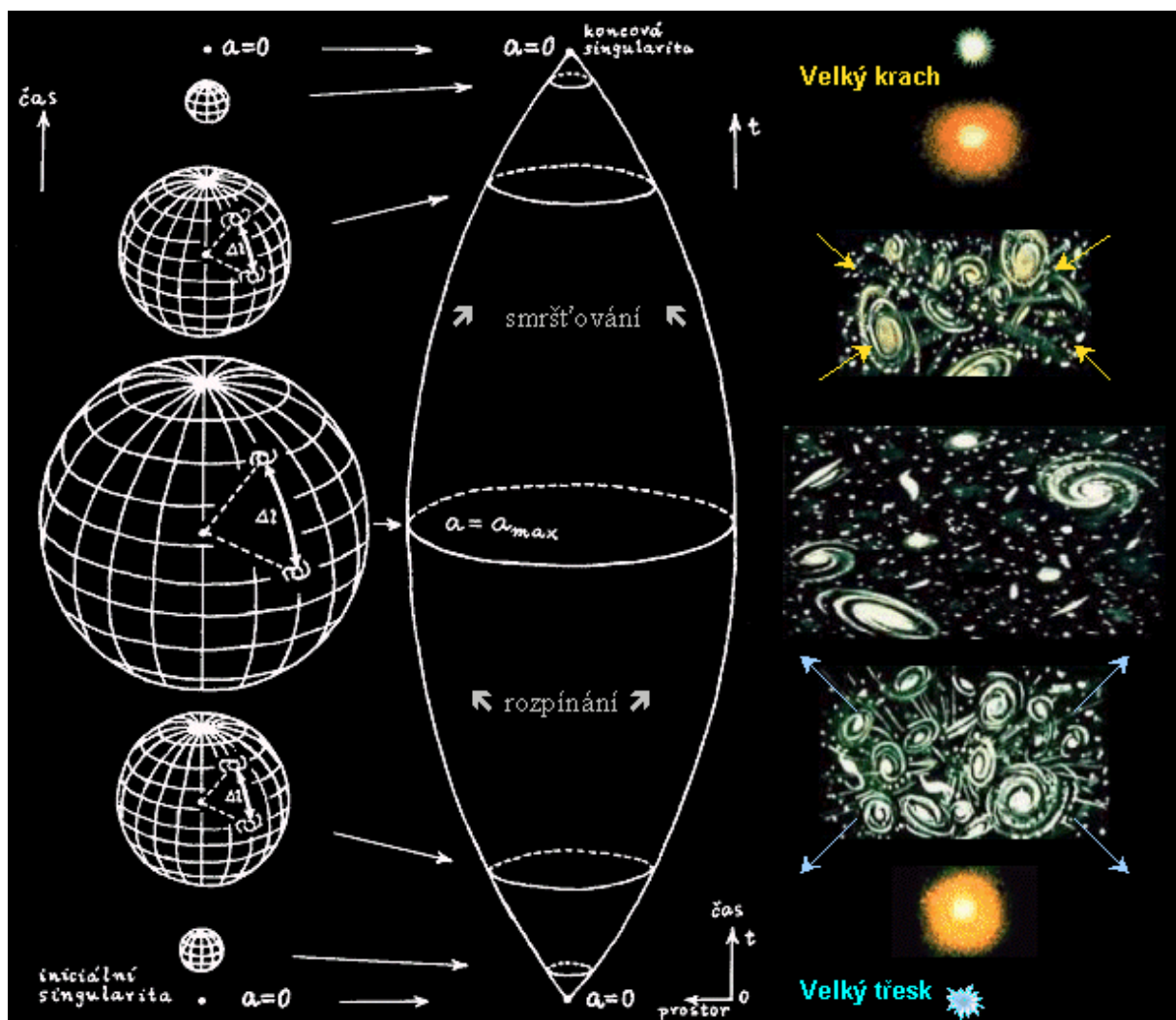
„rovnakouhlé“ (konformné) koordináty, v ktorých takzvané spolupohybujúce sa (angl .comoving) vzdialenosti a konformné časy odstránia rozpínanie vesmíru z úvahy časopriestorových meraní. V takom systéme koordinátov sú objekty, pohybujúce sa s kozmologickým prúdením, vždy v rovnakých spolupohybujúcich sa vzdialenostiach od seba a časticový horizont alebo limit vesmíru je daný konformným časom. Z tohto dôvodu **nie je veľký tresk výbuchom hmoty smerujúcej von**, aby vyplnila prázdny vesmír; **je to samotný časopriestor**, ktorý sa rozpína. Táto expanzia spôsobuje **zvýšenie fyzikálnej vzdialenosti medzi dvomi pevnými bodmi vo vesmíre**. Objekty, ktoré sú spolu spojené (napríklad pôsobením gravitácie) sa s rozpínaním časopriestoru nevzdľajújú, pretože fyzikálne zákony, ktorými sa riadia, **sú rovnomerné a nezávislé od metrického rozpínania**. Navyše, rozpínanie vesmíru na dnešných miestnych mierkach je také malé, že ľubovoľná závislosť fyzikálnych zákonov od rozpínania je dnešnou technikou nemerateľná. Hlavné sú však dôkazy VT:

**4. Dôkazy (v prospech) veľkého tresku:** „Všeobecne sa uznávajú tri piliere pozorovaní podporujúce teóriu veľkého tresku. Sú nimi **Hubbleov zákon expanzie**, pozorovaný v červenom posune galaxií, detailné **merania kozmického mikrovlnného pozadia** a **početnosť zložiek svetla**. Pozorované vzájomné vzťahy obrovských štruktúr vo vesmíre navyše veľmi dobre zapadajú do štandardnej teórie Veľkého tresku. **Hubbleov zákon expanzie:** Pozorovania vzdialených galaxií a kvazarov ukazujú, že tieto objekty sú posunuté v červenom spektre, čo znamená, že svetlo z nich vyslané sa úmerne posunulo do väčších vlnových dĺžok. Toto možno vidieť zaznamenaním spektra objektov a následným zlúčením spektroskopického vzoru emisie alebo absorpčnej čiary korešpondujúcej s atómami prvkov, ktoré interagujú s radiáciou. Z tejto analýzy sa dá zistiť meraný červený posun, vysvetlený **rýchlosťou zodpovedajúcou Dopplerovmu posunu pre radiáciu**. Keď sa tieto rýchlosti zakreslia do grafu spolu so vzdialenosťami od objektov, je vidno lineárnu závislosť, známu tiež ako Hubbleov zákon:  $v = H_0 D$  kde  $v$  je rýchlosť,  $D$  je vzdialenosť od objektu a  $H_0$  je Hubbleova konštanta, ktorá **má podľa meraní sondy WMAP hodnotu  $71 \pm 4$  km/s/Mpc**. CBMR alebo **žiarenie kozmického mikrovlnného pozadia:** Jedným z rysov teórie veľkého tresku bolo predpovedanie žiarenia kozmického mikrovlnného pozadia, tzv. reliktového žiarenia. Ako sa raný vesmír vďaka rozpínaniu ochladzoval, jeho teplota klesla až na 3000 K (= 2727 °C). Nad touto teplotou sú elektróny a protóny oddelené, čím robia vesmír nepriehľadný pre svetlo. Pod teplotou 3000 K sa vytvárajú atómy a umožňujú svetlu voľný pohyb cez plyn vesmíru. Tomuto javu sa hovorí izolovanie fotónov. Radiácia z tejto

oblasti bude cestovať nerušené po zvyšok existencie vesmíru, posúvajúc sa do červeného spektra z dôvodu Hubbleovej expanzie. Toto vyústi do červeného posunu rovnomerne rozloženého spektra absolútne čierneho telesa (telesa, dokonale pohlcujúceho žiarenie) od 3000 K do 3 K (od 2727 °C do -270 °C). Je pozorované z každého bodu vesmíru a prichádza zo všetkých smerov. V roku 1989 vypustila NASA satelit COBE (Cosmic Background Explorer satellite, čo znamená prieskumný satelit kozmického pozadia) a jeho prvotné zistenia, uvoľnené v roku 1990, zodpovedali predpovediam teórie veľkého tresku o kozmickom pozadí, pričom bola zameraná jeho **miestna zvyšková teplota na 2,726 K (-270,274 °C)** a zistilo sa, že kozmické pozadie **je izotropné** s presnosťou  $10^{-5}$ . V 90. rokoch 20. storočia boli údaje o kozmickom pozadí ďalej študované, aby sa zistilo, či je možné pozorovať drobné anizotropie predpovedané teóriou veľkého tresku. Nájdené boli v roku 2000 prostredníctvom experimentu Bumerang. Na začiatku roku **2003** boli analyzované výsledky satelitu **WMAP** (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, čo znamená Wilkinsonova mikrovlnná anizotropná sonda), ktoré poskytli **najpresnejšie kozmologické dáta, aké dnes máme**. Tento satelit vyvrátil aj niekoľko špecifických inflačných modelov, no výsledky sa vo všeobecnosti s inflačnou teóriou zhodovali. **Distribúcia 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  ${}^4\text{He}$ , pomer  ${}^2\text{H}$  ku H približne  $10^{-3}$ ,  ${}^3\text{He}$  ku H približne  $10^{-4}$  a  ${}^7\text{Li}$  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. Neexistuje zrejmy dôvod, prečo by mal mať vesmír napríklad viac hélia ako deutéria alebo viac deutéria ako  ${}^3\text{He}$ . A nakoniec veľký tresk potvrdzuje **aj vývin galaxií a rozloženie kvazarov:** Podrobnosti rozloženia galaxií a kvazarov tvoria „za“ aj „proti“ súčasnej teórie. Konečný vek vesmíru v skorších časoch znamená, že vývin galaxií je tesne spojený s kozmológiou vesmíru. Zdá sa, že typy a rozloženie galaxií sa zreteľne menilo, vyvíjajúc sa podľa Boltzmannovej rovnice. Pozorovania odhalili časovo závislý vzťah rozloženia galaxií a kvazarov, histórií formovania hviezd a typu a veľkosti najväčších štruktúr vesmíru (superklastrov). Tieto pozorovania sa štatisticky zhodujú so simuláciami. Veľmi dobre ich vysvetľuje teória Veľkého tresku a pomáhajú obmedziť parametre modelu.“ Opäť pridávame niekoľko vysvetľujúcich schém a obrázkov, umožňujúcich pochopiť tento úžasný fyzikálny jav:



Podľa teórie Veľkého tresku vznikol vesmír z nekonečne hustej singularity. Vesmír sa s postupom času rozpína, čím sa objekty od seba vzdiaľujú

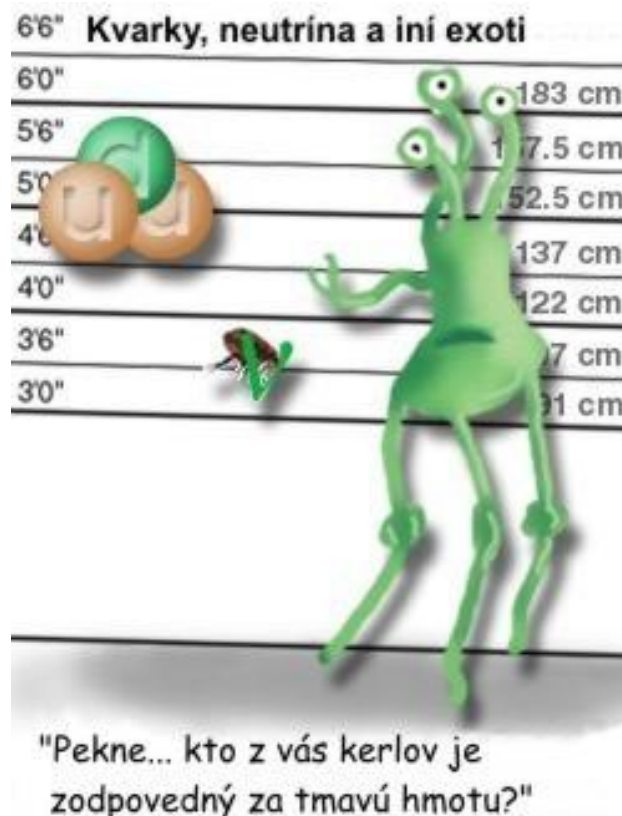


#### 4. Niektoré problémy prvého štandardného vesmírneho modelu:

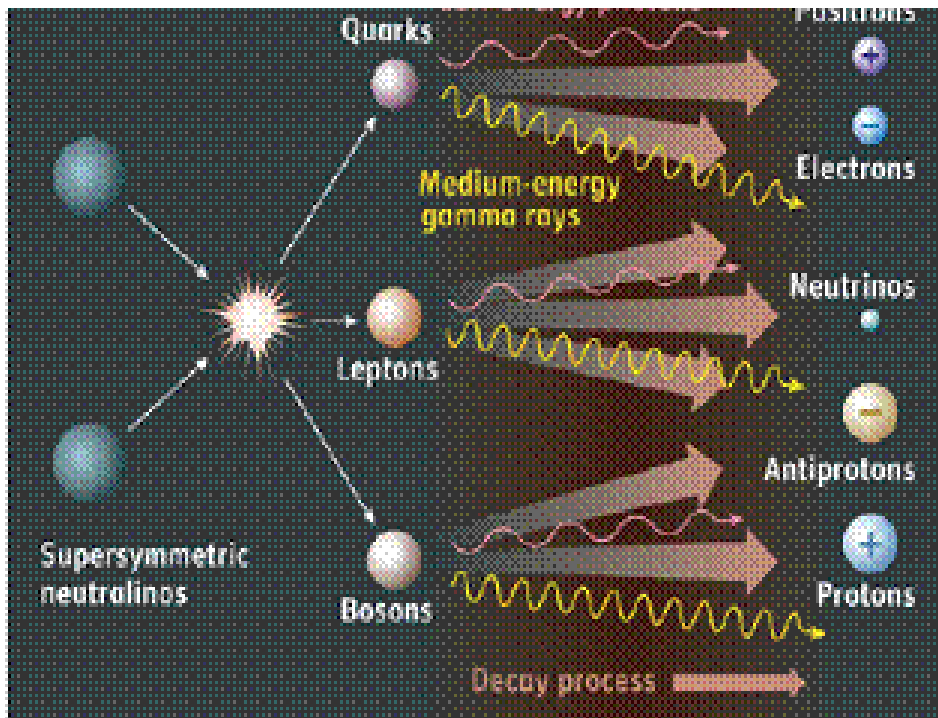
„**Problém horizontu** vychádza z predpokladu, že informácie nemôžu cestovať rýchlejšie ako svetlo, a tak dve oblasti vesmíru, vzdialené od seba viac ako je rýchlosť svetla vynásobená vekom vesmíru, nemôžu byť v kauzálnom (príčinnom) kontakte. Pozorovaná izotropia kozmického mikrovlnného pozadia je z tohto ohľadu problematická, pretože veľkosť horizontu v tom čase zodpovedá veľkosti približne 2 stupňov na oblohe. Ak mal vesmír tú istú históriu rozpínania od Planckovej epochy, neexistuje žiaden mechanizmus, ktorý by umožnil, aby mali tieto regióny rovnakú teplotu. Táto zdanlivá rozporuplnosť je vyriešená inflačnou teóriou, v ktorej homogénne a izotropné skalárne energetické pole domínuje vesmíru v čase  $10^{-35}$  sekundy po Planckovej epoche. Počas inflácie prekoná vesmír exponenciálnu expanziu a oblasti v kauzálnom kontakte sa rozvíjajú cez vzájomné horizonty. Heisenbergov princíp neurčitosti predpovedá, že počas inflačnej fázy budú existovať kvantové termálne fluktuácie, ktoré budú zväčšené až do kozmickej veľkosti. Tieto fluktuácie slúžia ako zárodok všetkých súčasných štruktúr vo vesmíre. Po inflácii sa vesmír rozvíja podľa Hubbleovho zákona a oblasti, ktoré neboli v kauzálnom kontakte, sa vrátia späť na horizont. To vysvetľuje pozorovanú izotropiu kozmického mikrovlnného žiarenia. Inflácia predpovedala, že prvotné fluktuácie sú takmer veľkostné invarianty (t. j. nezávisia od veľkosti), čo bolo presne potvrdené meraniami mikrovlnného kozmického žiarenia. **Problém plochosti** je problém vychádzajúci z pozorovaní, ktorý vznikol z uvažovania geometrie vesmíru spojenej s Friedmann-Lemaître-Robertson-Walkerovým metrickým systémom. Vo všeobecnosti, vesmír môže mať tri odlišné typy geometrií: hyperbolickú geometriu, Euklidovskú geometriu alebo eliptickú geometriu. Každá z týchto geometrií je spojená priamo s kritickou hustotou vesmíru, hyperbolická korešponduje s menšou ako kritickou hustotou, eliptická s väčšou ako kritickou hustotou a Euklidovská presne s hustotou rovnou kritickému hustote. Z meraní vyplýva, že vesmír musel byť vo svojich raných štádiách v rozmedzí  $10^{15}$  od kritického hustoty. Akákoľvek väčšia odchýlka by spôsobila buď horúcu smrť (angl. Heat Death) alebo Veľké zmrštenie (angl. Big Crunch) a vesmír by ďalej neexistoval v podobe v akej existuje dnes. Vyriešenie tohto problému znovu ponúka inflačná teória. Počas inflačnej fázy sa časopriestor zväčšil natoľko, že akékoľvek zvyškové zakrivenie by bolo úplne vyhladené. Takže vesmír je nútený byť plochý pôsobením inflácie. **Problém magnetických monopólov** bola námietka ku koncu 70. rokov 20. storočia. Veľké teórie všetkého (angl. Grand unification theories) predpovedali bodové defekty v priestore, ktoré by sa prejavili ako magnetické monopóly, a ich hustota

bola oveľa väčšia ako bolo možné vysvetliť. Tento problém je tiež možné vyriešiť pridaním kozmickej inflácie, ktorá odoberá všetky bodové defekty z pozorovateľného vesmíru tým istým spôsobom, akým je geometria sploštená.“

**5. Niektoré problémy súčasného štandardného Lambda-CDM vesmírneho modelu:** „**Chýbajúca hmota:** v 70. a 80. rokoch 20. storočia mnohé pozorovania (najmä galaktických rotačných kriviek) ukázali, že vo vesmíre nie je dostatok viditeľnej hmoty, ktorá by bola zodpovedná za veľké gravitačné sily, pôsobiace v rámci galaxií aj medzi nimi. To viedlo k myšlienke, že **až 90% hmoty, tvoriacej vesmír, je nebaryonická temná hmota.** Navyše predpoklad, že vesmír bol zložený prevažne z normálnej hmoty, viedol k predpovediam, ktoré boli v ostrom rozpore s pozorovaniami. Vesmír je predovšetkým oveľa menej hrudkovitý a obsahuje oveľa menej deutéria, ako môže byť objasnené bez temnej hmoty. Zatiaľ, čo temná hmota bola spočiatku kontroverzná, dnes je široko akceptovanou súčasťou štandardnej kozmológie vďaka pozorovaniam anizotropií v kozmickom mikrovlnnom pozadí, rozptylu rýchlostí galaktických klastrov, rozloženia najväčších objektov, štúdia gravitačného šoškovkovania a meraniam röntgenového žiarenia z klastrov galaxií. Častice temnej hmoty boli odhalené **len vďaka ich gravitačným účinkom** a zatiaľ neboli pozorované v laboratóriách. Avšak existuje veľa kandidátov časticovej fyziky, ktorí by mohli tvoriť temnú hmotu a niekoľko projektov na ich detekciu je už v plnom prúde.“







Podľa teórie supersymetrie je hlavným WIMP (weakly interacting massive particle) kandidátom na vysvetlenie podstaty chladnej formy tmavej hmoty hypotetická častica nazývaná neutralino. Pri vzájomných zrážkach by mali neutralína navzájom anihilovať, pričom by mala vzniknúť sprška nových častíc a uvoľniť sa energia v podobe žiarenia. Prístroje na sonde GLAST sú pripravené zachytiť jeho gama zložku. Najmä ak pôjde výsledok mnohých takýchto anihilácií z hustejších subhál tmavej hmoty.

**Temná energia:** v 90. rokoch 20. storočia odhalili podrobné merania hustoty hmoty vo vesmíre hodnotu, ktorá zodpovedala **30% kritickej hustoty**. Aby bol vesmír plochý, čo naznačovali merania kozmického mikrovlnného pozadia, znamenalo by to, že **celých 70% hustoty energie vesmíru ostalo nevysvetlených**. Merania supernov typu Ia odhalili, že vesmír podstupuje nelineárne zrýchlenie rozpinania podľa Hubbleovho zákona. Všeobecná teória relativity vyžaduje, aby týchto zvyšných 70% bolo tvorených **zložkou energie s negatívnym tlakom**. Pôvod tzv. temnej energie ostáva jednou z veľkých záhad veľkého tresku. Možnými kandidátmi sú skalárna kozmologická konštanta a kvintesencia (angl. quintessence). Pozorovania, ktoré by to objasnili, stále prebiehajú. A nakoniec: **Vek guľovitých klastrov:** určitá skupina pozorovaní vykonaných v 90. rokoch 20. storočia zahŕňala veky guľovitých klastrov, o ktorých sa zistilo, že boli v rozpore s teóriou veľkého tresku. Počítačové simulácie zhodné s pozorovaniami hviezdnych populácií v guľovitých klastroch predpovedali, že tieto boli okolo **15 miliárd rokov staré, čo bolo v konflikte s vekom vesmíru (13,7 mi-**

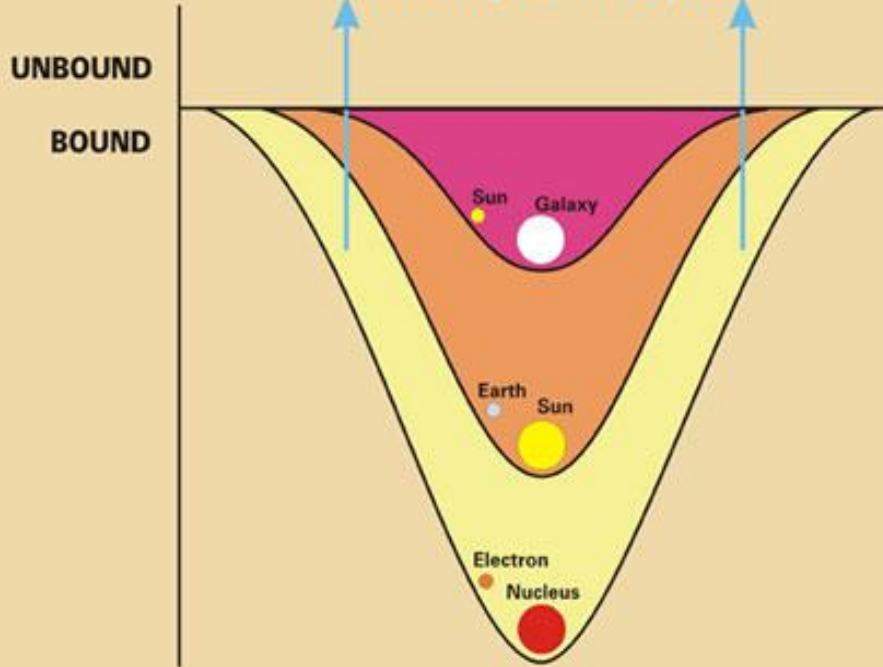
**liárd rokov).** Tento problém bol vyriešený ku koncu 90. rokov novými počítačovými simuláciami, ktoré zahŕňali efekty straty hmoty vďaka hviezdnyh vetróm. Simulácie naznačili oveľa menší vek guľovitých klastrov. Stále ostávajú otázky, ako presne je tento vek odmeraný, avšak je jasné, že tieto objekty sú najstaršími vo vesmíre, ale určite nie oveľa staršími ako samotný vesmír.“

**6. Budúcnosť vesmíru podľa teórie veľkého tresku:** V minulosti, skôr než boli pozorované účinky temnej energie, zvažovali kozmológovia dva možné scenáre budúcnosti vesmíru. Ak bude hustota hmoty vesmíru nad kritickou hustotou, dosiahne vesmír maximálnu veľkosť a začne sa rúcať, čo vyústí do **Veľkého zmrštenia**. Podľa tohto scenára by sa vesmír opäť stal hustým a horúcim a skončil by tak v štádiu podobnom tomu, v ktorom začínal. Ak by bola hustota vesmíru prípadne rovná kritickej hustote alebo menšia, rozpínanie by sa spomalilo, no nikdy by sa nezastavilo. Vytváranie nových hviezd by s postupným zmenšovaním hustoty vesmíru ustalo. Priemerná teplota vesmíru by sa asymptoticky blížila absolútnej nule (to znamená, že by jej bola veľmi blízka, nikdy by ju však nedosiahla). Čierne diery by sa vyparili. Entropia vesmíru by sa zvýšila do takej miery, že by organizovaná forma energie nemohla ďalej existovať, čo je známe aj pod pojmom **tepelná smrť**. Navyše, keby existoval rozpad protónov, potom by vodík, prevládajúca forma baryonickej hmoty v dnešnom vesmíre, úplne zmizol a zanechal iba radiáciu. Moderné pozorovania zrýchľujúceho sa rozpínania viedli kozmológov k modelu **Lambda-CDM**. Tento model obsahuje tiež temnú energiu vo forme kozmologickej konštanty. Táto energia spôsobuje, že čoraz väčšia časť súčasne viditeľného vesmíru sa posúva za náš horizont udalostí, teda mimo nášho kontaktu. Nevie sa, čo sa po tomto stane. Teória kozmologickej konštanty predpokladá, že len gravitačne spojené systémy, akými sú napríklad galaxie, ostanú pohromade a tiež ich bude čakať osud smrti z tepla kvôli ochladzujúcemu a rozpínajúcemu sa vesmíru. Iné teórie obsahujúce tzv. skrytú energiu (angl. phantom energy) predpovedajú, že galaktické klastre a možno aj galaxie samotné budú nakoniec roztrhané pôsobením stále sa zväčšujúcej expanzie, čo sa nazýva **Veľké roztrhanie** (angl. Big Rip). Na obrázku:



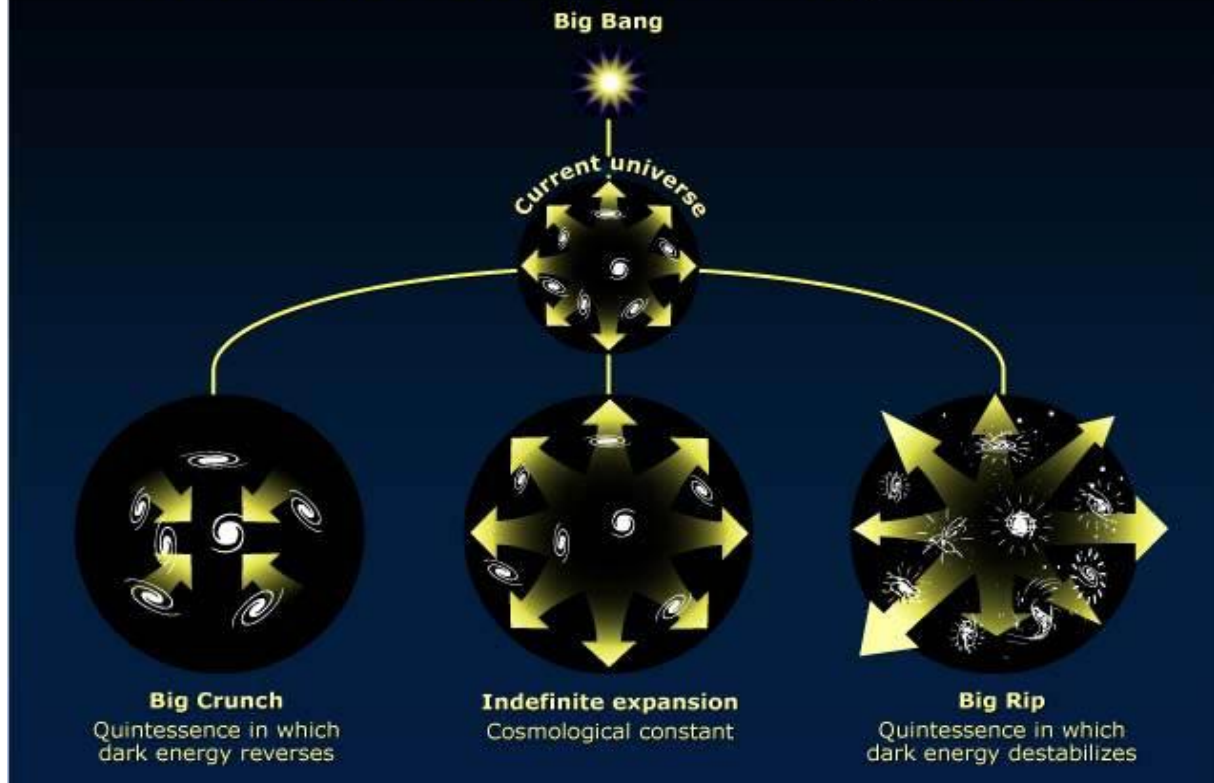
# The Big Rip

Phantom Energy Lifts the Potential  
Unbinding Captive Objects

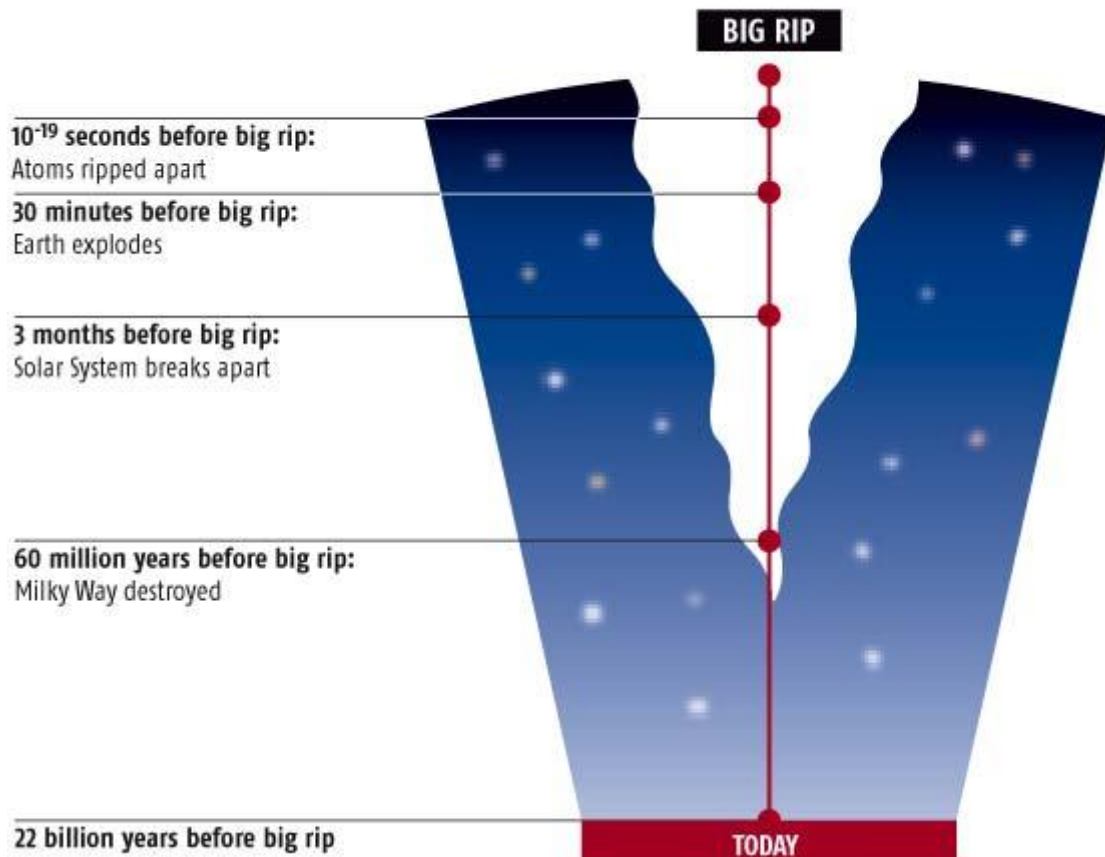




# Future fates of the dark-energy universe



## END OF EVERYTHING



## Kontrolné otázky:

1. Ako sa volá anglický fyzik, ktorý ako prvý použil termín „veľký tresk“?
2. Definujte veľký tresk ako jedinečnú fyzikálnu udalosť!
3. Aký priemer mal rádioteleskop, pomocou ktorého A. Penzias a R. Wilson objavili reliktné žiarenie kozmického pozadia?
4. A v ktorom roku ho objavili?
5. Akú vlnovú dĺžku má CMBR a akú má teplotu?
6. Aký druh matérie zrejme dominuje dnešnému vesmíru?
7. Čo je to nukleosyntéza a čo počas nej vzniká?
8. Po koľkých rokoch sa oddelilo žiarenie od atómov a vesmír sa náhle stal priehľadným pre svetlo (a nakoniec aj reliktové žiarenie)?
9. Rozpína sa vesmír v časopriestore, alebo sa rozpína vesmír spolu s časopriestorom ?
10. Uved' tri hlavné dôkazy hovoriace v prospech teórie veľkého tresku!
11. Aká hodnota sa dnes prisudzuje Hubblovej konštante (v km/s)?
12. Vysvetli skratku alebo iniciálovú skratku WMAP!
13. Uved' tri hlavné problémy prvého štandardného vesmírneho modelu!
14. Bol vesmír na začiatku svojho rozpínania veľmi blízko svojej kritической hustoty?
15. Uved' tri hlavné problémy nového štandardného Lambda-CDM vesmírneho modelu!
16. Akú úlohu zohráva hustota vesmírnej matérie vo vzťahu k budúcnosti nášho vesmíru?
17. Čo rozumieme pod „tepelnou smrťou“ vesmíru?
18. Čo rozumieme pod pojmom „Veľké zmrštenie“ (angl. Big Crunch)?
19. Pomocou ktorých supernov sme objavili zrýchlené rozpínanie sa vesmíru?
20. Čo rozumieme pod pojmom Veľké roztrhanie (angl. Big Rip)?