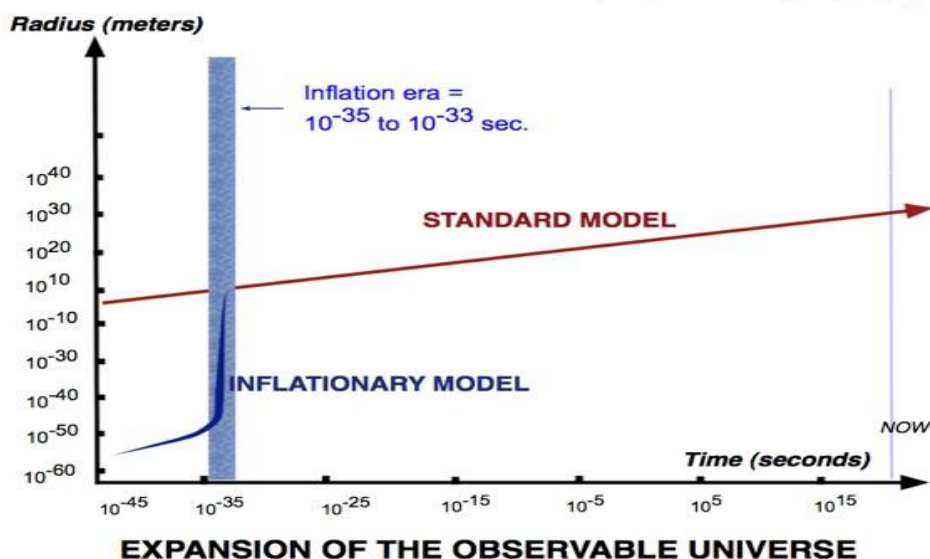
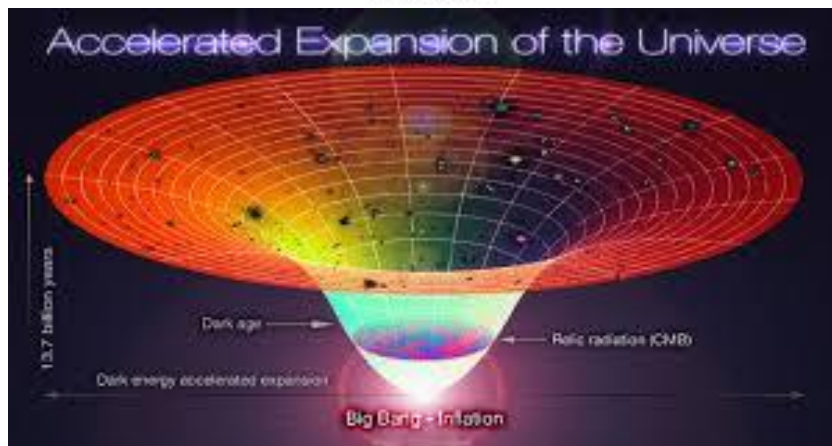
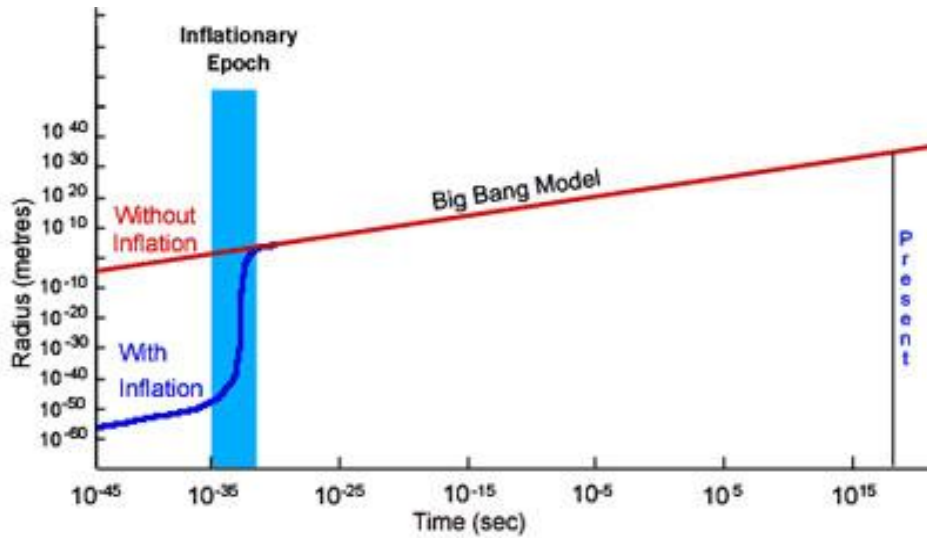
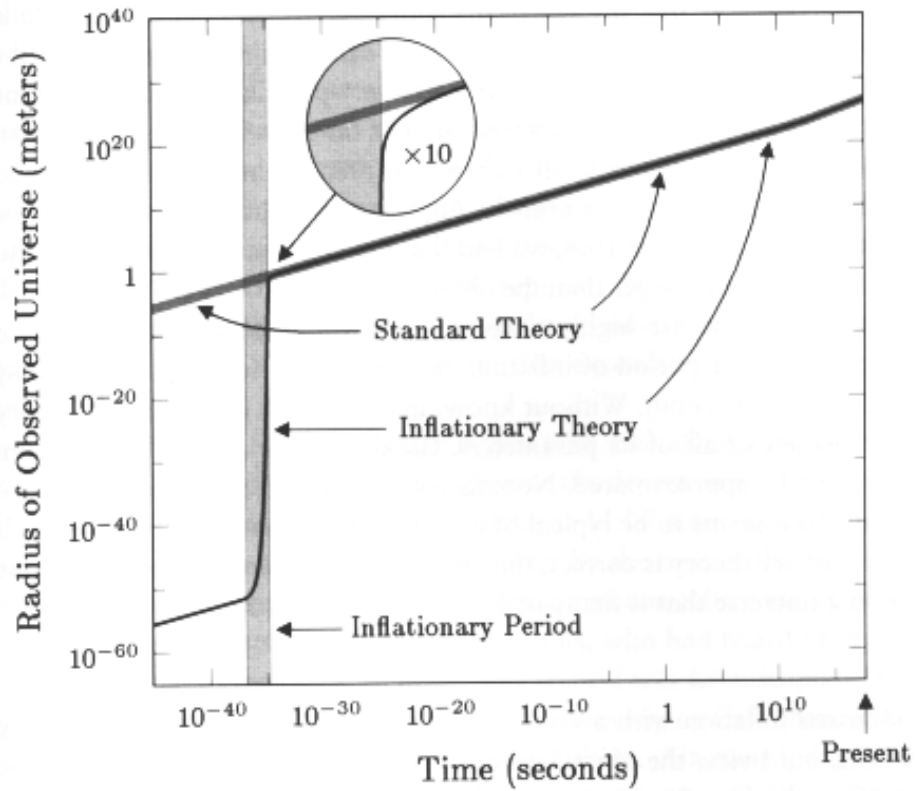


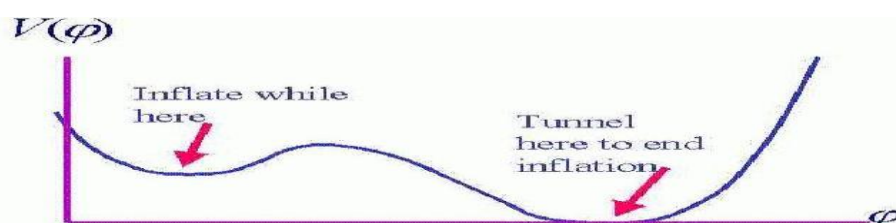
# VESMÍR V. – SÚČASNÉ MODEL Y VESMÍRU

**1. Inflácia a inflačné modely vesmíru:** Najprv východisková definícia inflácie z Wikipédie: „**Inflácia** alebo **kozmickej inflácie** alebo **kozmozologická inflácia** bola teoretická extrémne rýchla **exponenciálna expanzia** objemu raného vesmíru rádovo minimálne o faktor  $10^{78}$ , spôsobená **negatívnym tlakom hustoty energie vákua**. Inflačná epocha predstavuje prvú časť elektroslabej epochy, ktorá nasleduje po epoche veľkého zjednotenia. Trvala od  $10^{-36}$  sekúnd po veľkom tresku do času medzi  $10^{-33}$  a  $10^{-32}$  sekúnd. Po období inflácie naďalej pokračuje rozpínanie vesmíru, ale je omnoho pomalšie. Termín inflácia sa tiež používa vo význame hypotézy, že inflácia sa odohrala, ako označenie inflačnej teórie alebo ako označenie inflačnej epochy. Inflačnú hypotézu navrhol v roku 1980 americký fyzik Alan Guth, ktorý ju pomenoval inflácia. Pôvod vesmíru v malom, kauzálne prepojenom priestore je priamym dôsledkom tejto expanzie. Inflácia rieši klasický problém kozmológie veľkého tresku: prečo sa vesmír zdá plochý, homogénny a izotropný, v súlade s kozmozologickým princípom, kedy by sa na základe fyziky veľkého tresku dal očakávať veľmi zakrivený a heterogénny vesmír. Kvantové fluktuácie v mikroskopicknej inflačnej oblasti narástli do kozmických rozmerov a stali sa základom pre rast štruktúr vo vesmíre. Aj keď detailný mechanizmus časticovej fyziky zodpovedný za infláciu nepoznáme, tak základný rámec vytvoril mnoho predpovedí, ktoré boli potvrdené pozorovaniami. Preto sa inflácia považuje za súčasť štandardnej kozmológie veľkého tresku. Hypotetická častica alebo pole, ktoré by malo byť zodpovedné za infláciu, sa nazýva inflatón.“ Schematicky sa dá zachytiť len veľmi približne:



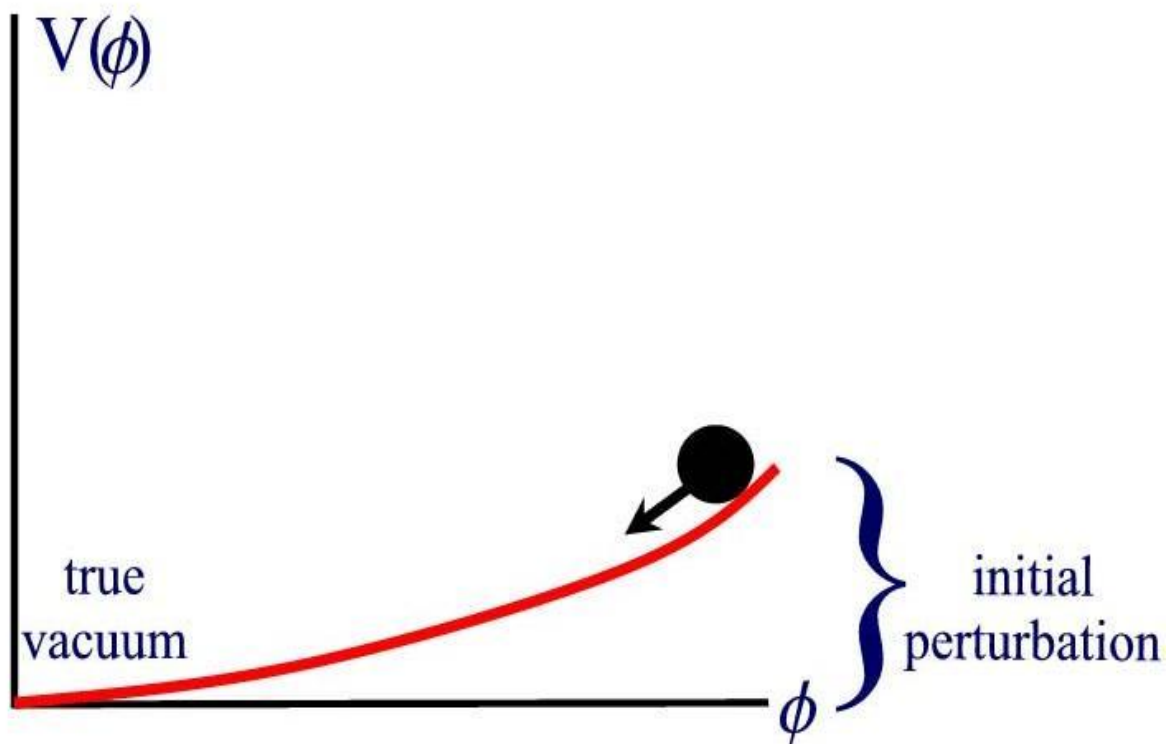


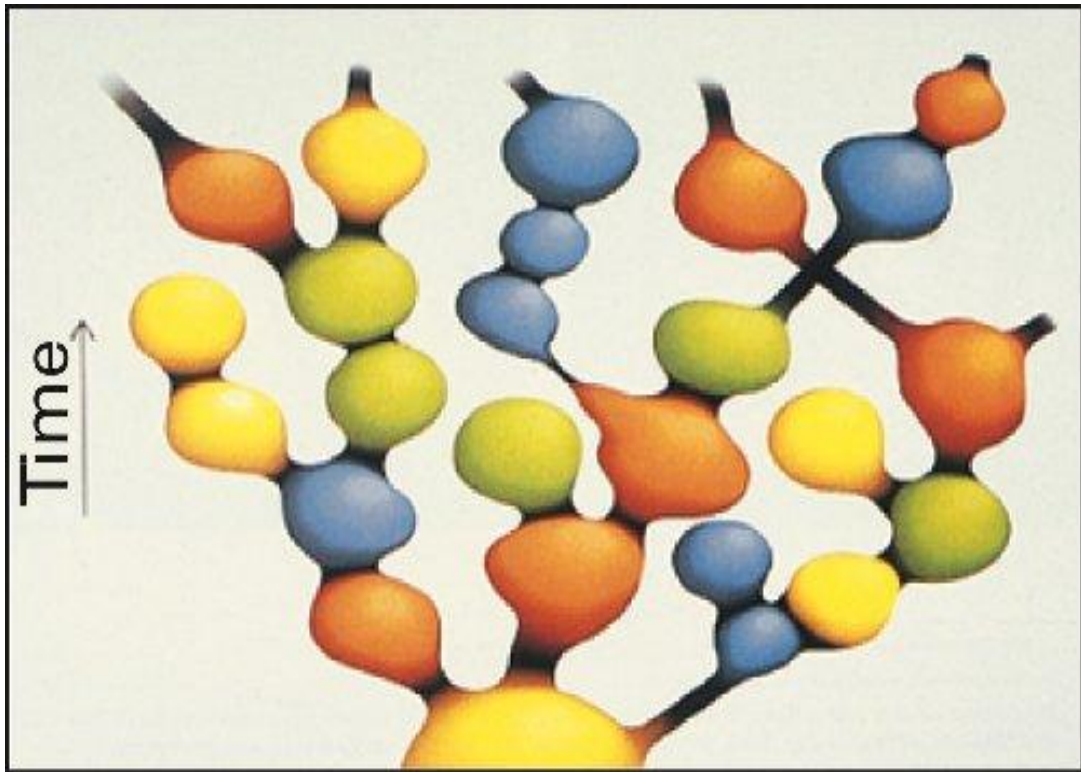
**2. Rôzne druhy inflácie a inflačných vesmírnych modelov:** Ako uvádza anglická verzia Wikipédie, kľúčovou požiadavkou na infláciu je, aby trvala dosť dlho na to, aby sa počas nej stihol utvoriť dnešný obrovský pozorovateľný vesmír z pôvodne jediného a veľmi malého Hubblovho objemu. Len tak je možné zabezpečiť, aby sa nám náš vesmír javil ako plochý, homogénny a izotropný v dostatočne veľkých merítkach. Podľa tohto textu stačí pritom aby sa vesmír počas inflácie zväčšil  $10^{26}$ -násobne. Veľmi dôležité je teda **načasovanie tohto procesu** a najmä „nastavenie“ toho momentu, keď sa prudko ochladené inflačné pole **prudko spomalí vo svojej expanzii**, znova **termalizuje** (alebo **prudko zohreje**), rozpadne, pričom sa vytvoria nám známe elementárne **častice bežnej hmoty**. Na tomto mieste treba zdôrazniť, že s inflačným scenárom, resp. scenármi, ktoré mu boli podobné, prišlo od roku 1965 veľa fyzikov, ale za najrenomovanejších či najrešpektovanejších inflačných kozmológov sú dnes považovaní najmä tí, ktorí sa snažili vyriešiť práve vyššie spomínaný problém správneho načasovania inflácie a jej ukončenia (tzv. **beautiful exit problem**). V pôvodnom a východiskovom inflačnom modeli vesmírneho rozpínania, ktorý predložil v roku 1980 Alan Guth, sa totiž vynoril problém, ako sa vysporiadať s bublinami pravého vákua, ktoré sa na konci epochy inflačného rozpínania začali tvoriť v pôvodnom falošnom (alebo vysoko energetickom) vákuu. Ak sa totiž tieto bubliny mali premeniť na jadrá budúcich atómov a ďalšie elementárne častice, museli nejakým mechanizmom spomaliť svoju rýchlosť, začať sa zrážať a zohrievať vesmír. V pôvodnom Guthovom modeli však boli takéto zrážky extrémne nepravdepodobné. S prvými riešeniami tohto problému prišli spoločne a nezávisle A. Linde a A. Albrecht s P. Steinhardtom, ktorí predložili model tzv. pomaly sa posúvajúcej (alebo kotúľajúcej) inflácie (angl. **slow-roll inflation**), v ktorom namiesto tunelovania z falošného vákua prebehne inflácia v skalárnom poli, v ktorom prebieha len dovtedy, kým tento potenciál pomaly klesá, ale keď sa dostane na priebežné energetické dno, inflácia sa náhle a prudko zastaví, v dôsledku čoho nastane fázový prechod a pôvodné inflačné pole (resp. jeho časť) sa prudko zohreje. Neskôr kozmológovia nielenže konštatovali, že v inflačnom poli museli byť drobné kvantové fluktuácie, ale dokázali aj vypočítať, aké boli veľké, a zistiť, že práve ony sú zodpovedné za súčasnú veľko-rozmernú štruktúru vesmíru (t. j. za vznik hviezd, galaxií a klastrov galaxií).



### 3. Problém jemného vyladenia počiatkových podmienok vo vesmíre a zrod chaotického inflačného vesmíru:

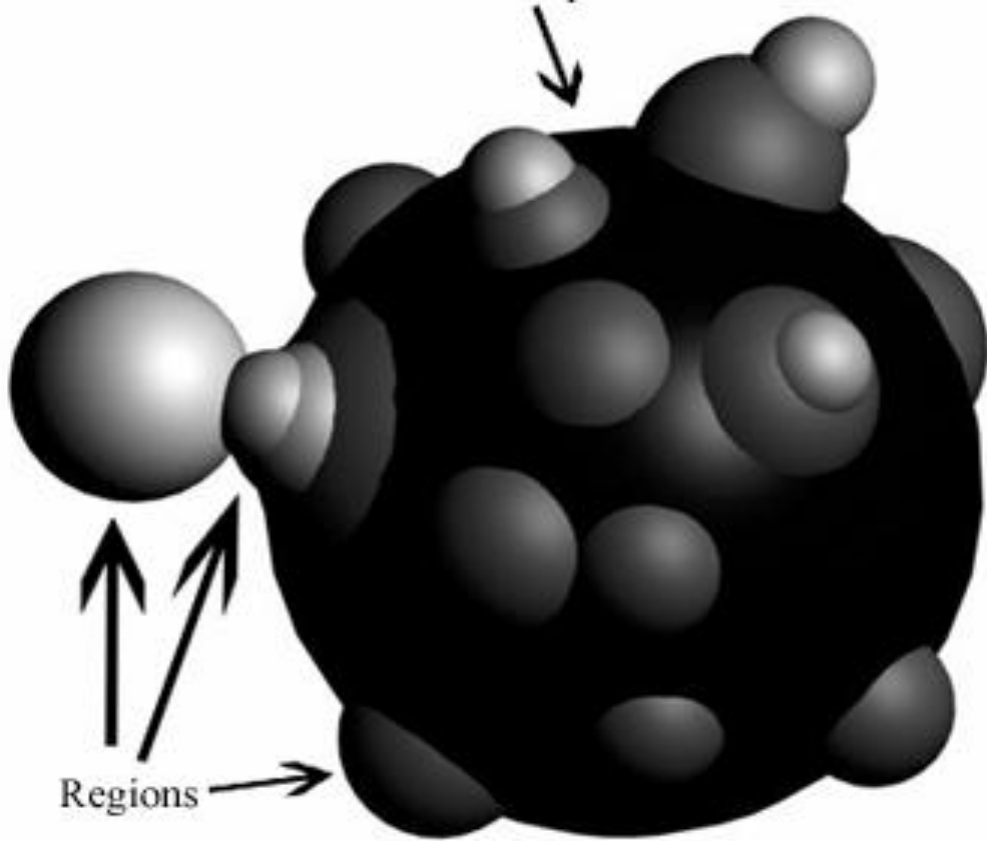
V novom modeli tzv. slow-roll inflation sa však vynoril ďalší problém. Ak sa totiž malo vákuové pole naozaj veľmi pomaly skotúľať na svoje priebežné energetické dno a inflácia prebehnúť extrémne rýchlo a presne, musel byť inflačný potenciál plochy a hmotnosť inflatónových častíc extrémne malá. To si ale vyžadovalo, aby mal vesmír na počiatku skalárne pole s mimoriadne plochým potenciálom a veľmi špeciálnymi počiatkovými podmienkami jeho vzniku. Koncom 80. rokov minulého storočia preto A. Linde predložil teóriu nazvanú **chaotická inflácia**, podľa ktorej bola naopak inflácia bežným fyzikálnym procesom v každom vesmíre, ktorý začínal v chaotickom, vysoko energetickom stave a disponoval skalárnym poľom s neobmedzeným energetickým potenciálom. V rozpore s bežnou fyzikálnou intúciou však bolo, že inflatónové pole potom nevyhnutne nadobúdalo aj hodnoty väčšie, ako boli hodnoty povolené cez Planckove limity. Tieto modely boli potom často označované ako **modely veľkých polí** (angl. large field models), zatiaľ čo konkurenčné modely, ktoré sa snažili zohľadniť limity dané Planckovou teóriou a kvantovou mechanikou, zase boli označované ako **modely malých polí**. Pri modeloch veľkých polí sa však ukázali predikcie štandardnej časticovej teórie ako neúčinné a renormalizácia s nimi spojená navyše viedla ku korekciám, ktoré mohli účinne zabrániť rozbehnutiu inflácie. Tieto problémy sa kozmológom dodnes nepodarilo uspokojivo vyriešiť.





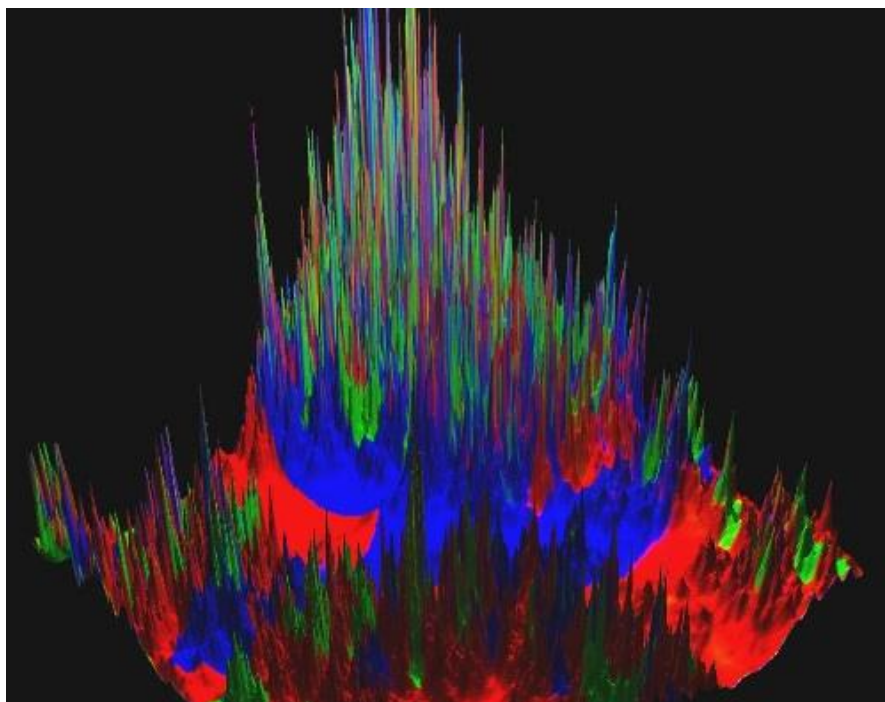
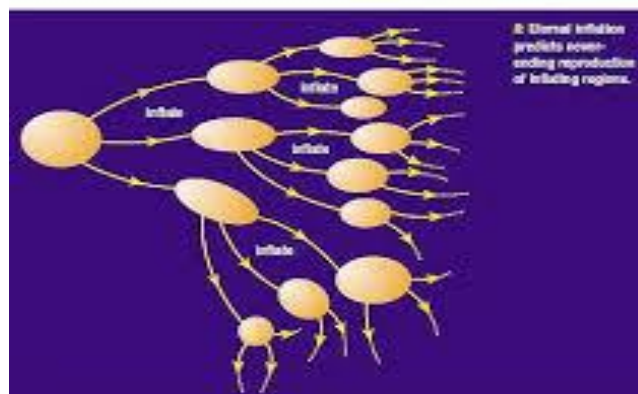
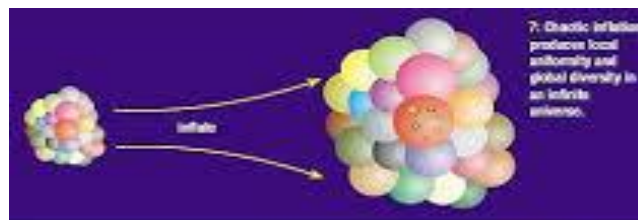
Courtesy of Andre Linde (Stanford U.)

The Multiverse/Superuniverse



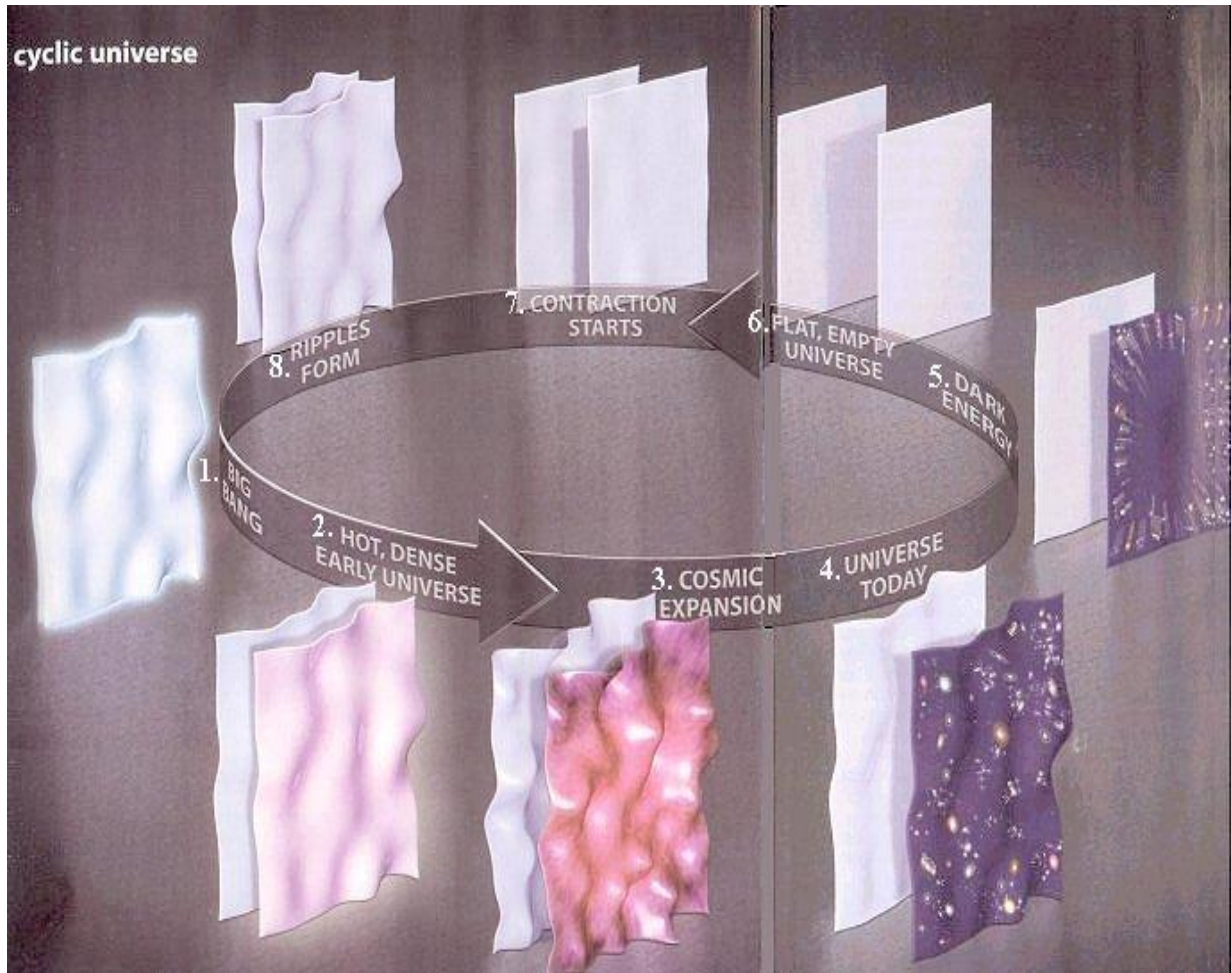
b

Bez ohľadu na tieto nevyriešené problémy inflační kozmológovia pokračovali ďalej v predkladaní teórií (alebo modelov), ktorými sa snažili prekonať štandardný model vesmíru, ktorý sa fakticky začínal v čase  $t = 0$  a končil (vo väčšine prípadov) v čase  $t = \infty$ . A. Linde napríklad predložil model vesmíru (presnejšie, multivesmíru), v ktorom **inflácia trvá večne a prevláda** nad inými typmi vesmírneho rozpínania, pretože prechod do neinflačného typu rozpínania **trvá dlhšie** ako vznik nového inflačného (mini)vesmíru, v dôsledku čoho vznikajú inflačné regióny (mini)vesmíry oveľa častejšie ako štandardné (alebo neinflačné), t. j. také, v akom sa práve nachádzame. V takomto prípade je veľká časť objemu multivesmíru v inflačnom režime, ako naznačujú aj ďalšie schémy:

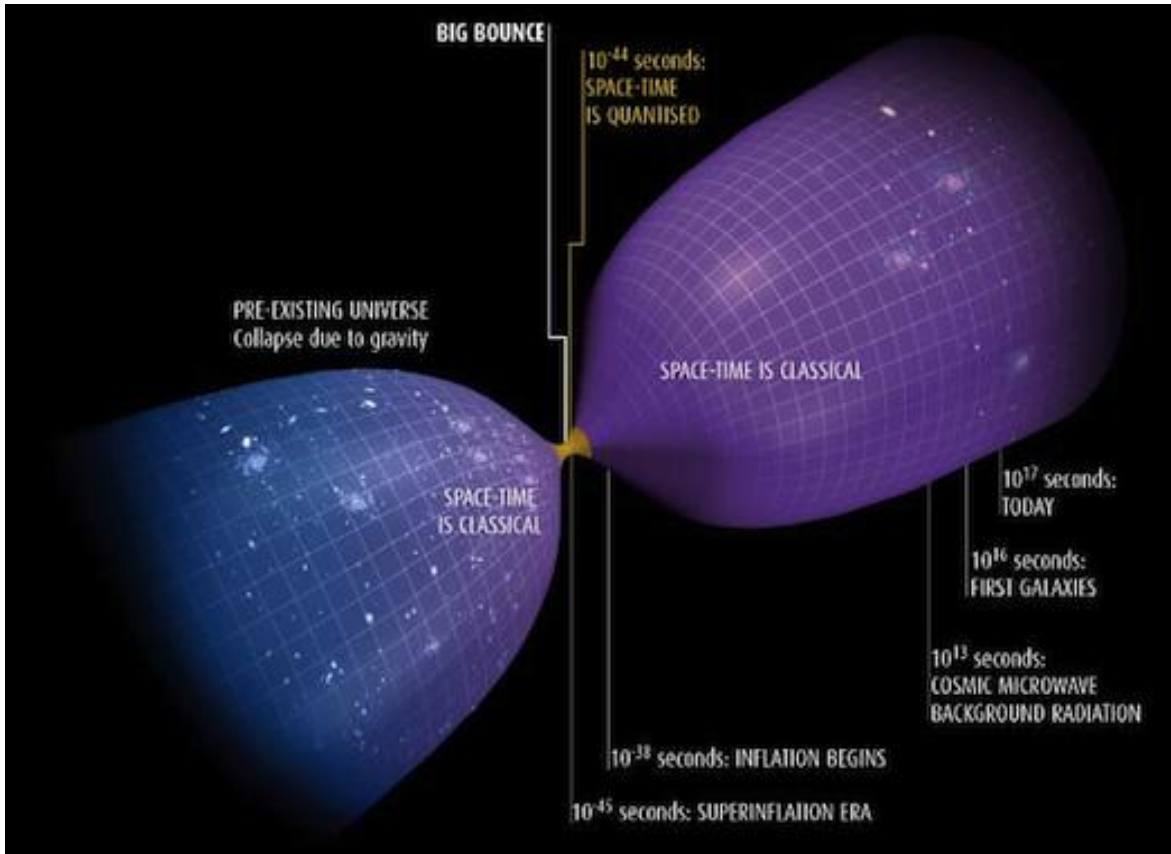
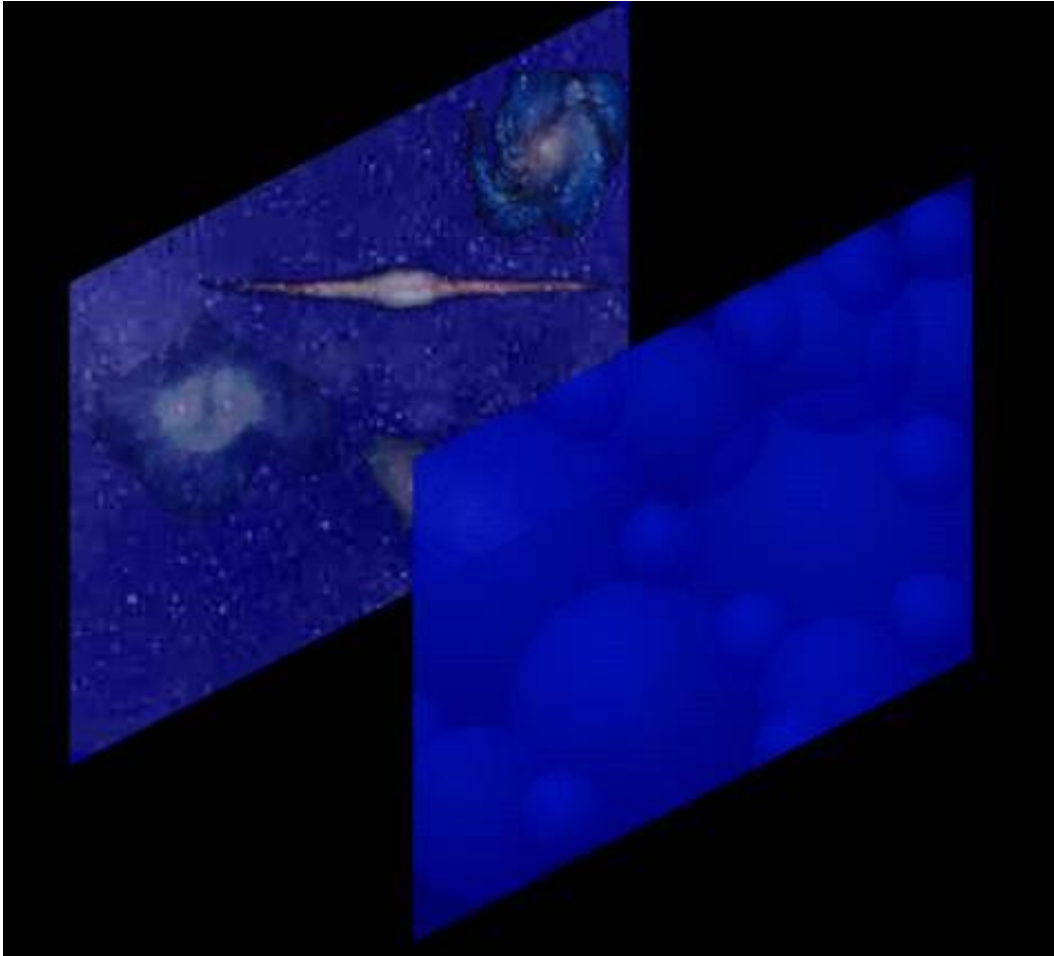


**4. Platí inflačná hypotéza, resp. je predstava inflačných kozmológov o rozpínaní sa vesmíru v počiatočných fázach jeho vzniku dokázaná?** Kozmológia je dosť divoká veda v tom slova zmysle, že každý nový pozorovací objav stavia teoretikov pred veľké otázky a dilemy, ktoré ich nútia modifikovať predtým predložené modely vesmíru, zahrňovať do nich čoraz viac premenných a hľadať cesty na ich optimálne sklbenie. V dnes už slávnej knihe **Bez počiatku a konca** (2009) napríklad P. J. Steinhardt a N. Turok viedli diskusiu o tom, či je správny ich cyklický model vesmíru založený na bránovej kozmológii, alebo nami diskutovaný model inflačného vesmíru. Podľa nich rozhodnúť musí dôkaz získaný pozorovaním. Obzvlášť dôležité pritom je, že tento dôkaz si vyžaduje primeranú pozorovaciu techniku, dostatočne citlivú na to, aby dokázala zaregistrovať a precízne zachytiť jemné rozdiely v spektre dlhovlnného gravitačného žiarenia (tamže, s. 198). Ako okrem iného zdôraznili (tamže), „gravitačné vlny budené v cyklickom vesmíre nie sú škálovo invariantné, ich rozkmit prudko vzrastá s klesajúcou vlnovou dĺžkou.“ Veľmi dôležité je tiež uvedomiť si (tamže, s. 202 a n.), že reliktné žiarenie vesmírneho pozadia je špecifickým spôsobom **polarizované**, pričom z hľadiska testovania pravdivosti cyklického (alebo ekpyrotického) a inflačného modelu je rozhodujúce, či sú v ňom prítomné **len E-módy** (vtedy platí cyklický model vesmíru), alebo aj **B-módy** (vtedy platí jeden z mnohých veľmi jemne vyladených alebo špecifikovaných inflačných modelov vesmíru). Preto sa dá veľmi ľahko pochopiť extrémne úsilie, ktoré venovali a venujú pozorovací astronómovia nájdeniu **konkrétnej podoby tohto špecifického odtlačku gravitačných vln v spektre CMBR, resp. priamemu zachyteniu gravitačných vln, čo by opäť potvrdilo správnosť inflačného modelu vesmíru**. Nemalo by pritom ísť o nejaký veľký problém (tamže, s. 212), pretože na to, aby boli objavené B-módy, stačí ak budú gravitačné vlny zodpovedné už len „za 1 % horúcich a chladných škvŕn v obraze z WMAP“. Skôr však, ako čitateľa oboznámime s výsledkom toho sporu, pozrime sa najprv, ako si P. J. Steinhardt a N. Turok predstavujú nimi navrhnutý cyklický alebo ekpyrotický (večne sa obnovujúci a nikdy nevznikajúci ani nezaniikajúci) vesmír. Pre naše potreby stačí vedieť, že ide o vesmír, ktorý sa opakovane zmršťuje a rozpína, pričom pozostáva z dvoch 4-dimenzionálnych brán, nachádzajúcich sa v 5-dimenzionálnom časopriestore, ktoré sa od seba opakovane vzdalujú a zase k sebe približujú. Pri ich zrážke pritom vznikajú dva vesmíry, ktoré sa následne nerozpínajú inflačne, ale tak, ako to pozorujeme v pôvodnom štandardnom modeli vesmíru, a čo je ešte dôležitejšie, obaja autori vyriešili aj problém, ktorý dlho trápil všetkých bádateľov, ktorí sa prikláňali

a prikláňajú k **hypotéze cyklického vesmíru** – a to problém s kontinuálnym rastom entropie a zväčšovaním sa objemu vesmíru(-ov) pri každom ďalšom cykle, pretože, ako zdôraznili, aj v ich modeli entropia rastie, ale súčasne sa mení, stúpa alebo klesá **hustota entropie**, čo umožňuje cyklickému vesmíru, aby sa opakovane vracal do východiskového stavu a mohol existovať večne.







A aké je rozuzlenie tejto zápletky? Len pred pár týždňami prebehla svetovou tlačou správa, že – pravdivý alebo správny by mal byť inflačný model, čiže, ako sme konštatovali vyššie, v CMBR boli **nájdene odtlačky gravitačných vln, ktoré sa podľa inflačného modelu vesmíru mali objaviť po veľkom tresku.** Ako uvádza stránka **physicsworld.com** 17. marca 2014, v rámci výskumného projektu BICEP2 boli v CMBR údajne objavené nami spomínané B-módy polarizovaných gravitačných vln, ktoré predpovedali inflační kozmológovia.



**Ďalekohľad BICEP2 na južnom póle Zeme, pomocou ktorého bol realizovaný tento zrejme epochálny objav**



**5. Opatrnosti však nikdy nie je dost', najmä ak ide o tak zásadný objav, aký bol ohlásený z južného pólu našej planéty:** Hneď na druhý deň však uverejnila daná stránka článok, v ktorom N. Turok, jeden z hlavných autorov a propagátorov cyklického modelu vesmíru, vyslovil veľké pochybnosti o tom, že ide skutočne o zásadný objav, pretože, ako tvrdil, výsledky tohto experimentu nie sú v súlade s výsledkami, ktoré predtým získal pri pozorovaní CMBR satelit ESA s názvom Planck, a navyše mohli byť výrazne skreslené či negované napríklad rádiovým šumom zo zemskej atmosféry, synchrotrónnou radiáciou, vznikajúcou pri prechode CMBR cez galaktický prach, alebo gravitačným šošovkovaním, ktoré sa zase objavuje v dôsledku prechodu CMBR cez galaktické kopy a superkopy. Ako na záver zdôraznil, veľké objavy si vyžadujú aj veľké dôkazy, a podľa neho aktuálne výsledky z BICEP2, pri všetkej úcte k bádateľom, ktorý na tomto projekte pracujú, **dostatočne vierohodnými ešte stále nie sú.** Sklamaneho čitateľa, ktorý sa už tešil na ďalšie masívne rozdávanie Nobelových cien za fyziku (veď na vypracovaní inflačnej hypotézy sa podieľalo významne prinajmenšom 8 až 10 fyzikov, **vrátane samotného N. Turoka či jeho kolegu P. Steinhardta!**), však musím sklamať ešte raz, pretože ako som sa nedávno dočítal v spoločnej publikácii **F. Adamsa et al. (2012) s názvom Vesmírne novinky (Cosmic Update)**, konkrétne vo veľmi prehľadne a jasne napísanej štúdií **T. Bucherta s názvom Dark Energy and Dark Matter Hidden in the Geometry of Space?: The Dawn of a New Paradigm in Cosmology**, ukazuje sa čoraz jasnejšie, že súčasný štandardný  $\Lambda$ CDM kozmologický model, ktorého prirodzenou a nevyhnutnou súčasťou je aj inflačný mechanizmus (resp. inflácia), je **umelý a neplatný**, pretože pozorované zrýchlenie rozpínania sa nášho vesmíru **je zrejme len dočasným javom** a v skutočnosti **nie je zapríčinené** neznámou energiou skrytou vo fyzikálnom vákuu, ale jednoducho a proste, tak ako to vyplýva z Einsteinovej špeciálnej a všeobecnej teórie relativity, **nehomogenosťou a anizotropnosťou vesmíru vo veľkých merítkach** a s tým spojenou existenciou dvoch druhov priestoru v našom vesmíre, čo v súčte vytvára nami pozorovaný efekt zrýchleného rozpínania sa vesmíru, ktoré sa začalo pred 5-imi miliardami v našej rozpínajúcej sa oblasti skutočného alebo Veľkého Vesmíru, pozostávajúceho zo 4-och Hubblových objemov, v rámci ktorého sa jedny oblasti kontinuálne, ale vždy dočasne rozpínajú a druhé zmršťujú. Pravdaže, aj na potvrdenie tejto prirodzenej a logickej teórie nášho vesmíru si budeme zrejme musieť ešte pár rokov počkať. Nič to ale nemení na tom, že sme sa spoločne ocitli v ére, počas ktorej sa môžeme dozvedieť, aká je skutočná povaha nášho vesmíru a sveta. **Občania, očakávajte ďalšie úžasné objavy!**