

Nový kosmologický model: Inlace řízená radiací s lokálními kauzálními horizonty a redistribucí energie červeného posunu

Navrhuji kosmologický model, ve kterém je inflační epocha poháněna tlakem radiace namísto skalárního inflatonového pole. Počínaje lineární expanzí v Planckově epoše přechází vesmír k exponenciální inflaci při $t \approx 10^{22} t_P$, jak se časoprostor roztahuje za kauzální horizonty, čímž se předefinuje rychlost světla (c) jako lokálně invariantní parametr. Předpokládá se, že energie ztracená červeným posunem fotonů je redistribuována do tlaku radiace, čímž pohání inflaci a zajišťuje zachování energie v expandujícím vesmíru. Lokální Minkowského oblasti zachovávají invarianci c , řeší problém horizontu a rovinnosti a zároveň slučují speciální relativitu s kosmologickým nadsvětelným ústupem. Je navrženo osm observačních testů s očekávanými signaturami v CMB, gravitačních vlnách a velkoprostorové struktuře. Současná data jsou v souladu s Λ CDM, ale tento model nevyklučují, což otevírá cestu k ověření budoucími vysoce přesnými experimenty.

1. Úvod

Standardní kosmologie Λ CDM popisuje horký Velký třesk při $t = 0$, následovaný krátkou inflační periodou od $t \approx 10^{-36}$ s do 10^{-34} s. Tato epocha je poháněna skalárním polem „inflaton“, jehož potenciál vytváří exponenciální expanzi ($a(t) \propto e^{Ht}$) [1, 2]. Tím se řeší problém horizontu a rovinnosti a zanechává otisky v kosmickém mikrovlnném pozadí (CMB). Přes své úspěchy však Λ CDM závisí na spekulativních prvcích: neodhalené částici inflatonu, jemně vyladěných potenciálních krajinách a toleranci k zjevnému nezachování energie v důsledku červeného posunu fotonů.

Zavádím alternativu řízenou radiací. Můj model začíná lineární expanzí, přirozeně přechází do exponenciální inlace, jakmile fotony převládají a horizonty se odpojují, a pokračuje do současné éry zrychlené expanze. Tři hlavní principy odlišují tento rámec:

1. **Není potřeba inflaton.** Tlak radiace sám o sobě, posílený energií červeného posunu, pohání inflaci.
2. **Obnovení zachování energie.** Energie ztracená červeným posunem je termodynamicky recyklována do tlaku radiace, který vykonává práci na expandujícím vesmíru.
3. **Lokální invariance c .** V každé kauzální oblasti měří pozorovatelé stejnou rychlost světla, v souladu s Einsteinovými postuláty. Globálně však nadsvětelné ústupy vznikají přirozeně z kauzálního odpojení.

2. Teoretický rámec

2.1 Raná lineární expanze ($t = 0$ až $t = 10^{20} t_P$)

V Planckově epoše ($t = 1 t_P = 5.39 \times 10^{-44}$ s) expanduje vesmír lineárně s měřítkovým faktorem $a(t) \propto t$. Jeho vlastní velikost je $R(t) = ct$ a hustota energie je na Planckově škále:

$$\rho \approx 5 \times 10^{96} \text{ kg m}^{-3}.$$

Friedmannova rovnice řídí expanzi:

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{kc^2}{a^2},$$

kde $H = 1/t$ a zakřivení je zanedbatelné. V této fázi fotony chybí, takže tlak radiace zatím nepřispívá.

2.2 Nástup tlaku radiace ($t = 10^{20} t_P$)

Při $t \sim 10^{20} t_P$ ($\sim 10^{-36}$ s) vytváří tvorba částic fotony v kvark-gluonovém plazmatu při $T \approx 10^{28}$ K. Vzniká tlak radiace:

$$P = \frac{1}{3}\rho c^2, \quad \rho = \frac{aT^4}{c^2},$$

kde $a = 7.566 \times 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$. To poskytuje $P \sim 10^{92}$ Pa. Přestože je obrovský, gravitace stále dominuje a expanze zůstává zpomalující.

2.3 Kauzální odpojení a lokální invariantní c ($t = 10^{22} t_P$)

Při $t \approx 10^{22} t_P$ ($\sim 10^{-34}$ s) přesahuje poloměr vesmíru jeho Schwarzschildův horizont:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}, \quad M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3, \quad R = ct.$$

Když částicový horizont $d_p \approx ct$ přesáhne r_s , oblasti se kauzálně odpojují.

Uvnitř každé horizontové oblasti měří pozorovatelé $c = 3 \times 10^8$ m/s, v souladu s Einsteiновými myšlenkovými experimenty s vlakem a raketou. Globálně však rychlosti ústupu přesahují c , jak je běžné ve standardní kosmologii. Parametrizují to jako:

$$c_{\text{eff}} = c_0 \left(\frac{a_0}{a} \right)^\beta, \quad \beta > 0,$$

což nenaznačuje doslovnou změnu c , ale spíše kódování jeho lokálnosti. Tedy c zůstává invariantní pro každého pozorovatele v rámci jejich kauzálního horizontu, zatímco globální nadsvětelná expanze odráží odpojení, nikoli porušení relativity.

2.4 Redistribuce energie červeného posunu

V Λ CDM klesá energie fotonů s prodlužováním vlnových délek:

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad \lambda \propto a, \quad E \propto a^{-1}.$$

Zjevná ztráta energie je přisuzována expanzi, bez globálního zákona zachování.

Můj model tento paradox řeší: energie ztracená červeným posunem je absorbována na kauzálních horizontech a redistribuována do tlaku radiace, efektivně vykonávající práci na metrice:

$$\Delta E_{\text{redshift}} \rightarrow \Delta P_{\text{radiation}} \cdot V.$$

2.4.1 Červený posun jako práce na metrice

Einsteinův princip ekvivalence ztotožňuje gravitaci s zrychlením. To poskytuje konkrétní způsob, jak vidět červený posun ne jako zničení energie, ale jako její přeměnu na kinetickou práci.

Myšlenkový experiment: Představte si modrý laser vystřelený vzhůru z povrchu planety. Fotony vystupují z gravitačního potenciálu a dorazí k vzdálenému pozorovateli červeně posunutě. Pro pozorovatele má každý foton zdánlivě méně energie. Přesto laser na zdroji zaznamenal plnou hmotnost-energii emitovaných fotonů: přenesl hybnost odpovídající jejich neposunutě energii a tlaku radiace.

Kam se poděla „chybějící“ energie? Byla investována do gravitačního pole, vykonávající práci potřebnou k vyzvednutí fotonů z potenciální jámy.

Analogicky, v kosmologii, fotony emitované v raných časech ztrácejí energii kosmologickým červeným posunem. Lokálně emitující oblast zaznamenává jejich plný tlak radiace. Globálně však zjevná ztráta není ztracena; byla přeměněna na **práci na metrice** – konkrétně na zrychlenou expanzi.

$$\Delta E_{\text{photon}} = W_{\text{expansion}}.$$

2.4.2 Termodynamika horizontu a mechanismus redistribuce

Na základě této analogie navrhuji, že kauzální horizonty fungují jako zprostředkovatelé energie červeného posunu:

1. **Přenos energie.** Energie fotonů klesá jako $E \propto a^{-1}$. Namísto mizení je tato energie absorbována na částicových horizontech nebo Schwarzschildových kauzálních hranicích.
2. **Mapování gravitačního červeného posunu.** Stejně jako gravitační červený posun přenáší energii do pole, kosmologický červený posun přenáší energii do expanze metriky.
3. **Termodynamika horizontu.** Horizonty mají entropii ($S \propto A/4$) a teplotu (Gibbons–Hawking). Energie červeného posunu přispívá k entropii horizontu a prostřednictvím rámce termodynamické gravitace Padmanabhana [3] se znovu objevuje jako tlak vykonávající práci na expanzi.
4. **Zvýšení tlaku.**

$$P = \frac{1}{3}\rho c_{\text{eff}}^2 + \Delta P_{\text{redshift}},$$

modifikující rovnici zrychlení:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3P}{c^2} \right).$$

S $\Delta P_{\text{redshift}} > 0$ expanze zrychluje bez nutnosti invoace inflatonu.

2.4.3 Formální úvahy

Formalizace tohoto mechanismu vyžaduje:

- Kvantovou teorii pole v zakřiveném časoprostoru pro popis interakcí foton-horizont.
- Termodynamiku horizontu (Padmanabhanova emergentní gravitace, Bekenstein-Hawkingova entropie) pro modelování absorpce a reemise energie.
- Numerické simulace modifikované Friedmannovy dynamiky s $\Delta P_{\text{redshift}}$.

2.5 Současná éra

Při $t \approx 2.6 \times 10^{71} t_P$ (13.8 Gyr) je teplota CMB $T = 2.7 \text{ K}$ a tlak radiace klesl na $P \sim 10^{-31} \text{ Pa}$. Přesto stejný mechanismus zprostředkovaný horizontem přetrvává: energie červeného posunu pokračuje v pohánění kosmické akcelerace, přispívající k dynamice pozdního času obvykle přisuzované temné energii ($\Omega_\Lambda \approx 0.7$).

3. Konceptuální pokroky

1. **Není potřeba inflaton.** Inlace vzniká přirozeně z tlaku radiace posíleného energií červeného posunu, čímž se odstraňuje potřeba neodhaleného skalárního pole.
2. **Obnovení zachování energie.** Energie červeného posunu je recyklována do tlaku radiace, sladěním expanze s termodynamickými principy.
3. **Lokální invariance c.** Einsteinův postulát platí v kauzálních oblastech, zatímco nadsvětelný ústup je vysvětlen oddělením horizontů.

4. Observační testy a očekávané signatury

Navrhuji osm observačních testů, každý s odlišnými signaturami, které by mohly odlišit tento model od ΛCDM .

4.1 Anizotropie CMB

- **Test:** Měření výkonového spektra CMB a polarizace B-módu s vysokou přesností.
- **Očekávaná signatura:** Zvýšené maloprostorové fluktuace při multipolech $l > 1000$, spolu s detekovatelnou polarizací B-módu při $l < 100$ ($r \approx 0.05\text{--}0.1$).

4.2 Závislost hustoty energie radiace na červeném posunu

- **Test:** Pozorování škálování hustoty energie radiace $\rho_{\text{radiation}}$ s červeným posunem.
- **Očekávaná signatura:** Při $z > 1100$ by $\rho_{\text{radiation}}$ měla odchylovat od standardního škálování $\propto a^{-4}$.

4.3 Pozadí gravitačních vln (GWB)

- **Test:** Hledání stochastického GWB z inflační epochy.
- **Očekávaná signatura:** Vrchol při $\sim 10^{-9}$ Hz, s charakteristickou deformací $h_c \approx 10^{-15}$.

4.4 Hubbleova tenze a pozdní akcelerace

- **Test:** Měření Hubbleovy konstanty H_0 a rovnice stavu temné energie w .
- **Očekávaná signatura:** $H_0 \approx 70$ km/s/Mpc, s w mezi -0.8 a 0 při $z < 1$.

4.5 Struktura na škále horizontu

- **Test:** Mapování velkoprostorové struktury na 10–100 Mpc.
- **Očekávaná signatura:** Zvýšené shlukování a anomálně velké prázdnoty.

4.6 Posuny spektrálních čar

- **Test:** Analýza spekter při vysokém červeném posunu.
- **Očekávaná signatura:** Rozšíření nebo energetické posuny o 0.1–1% při $z > 5$.

4.7 Termodynamické signatury horizontu

- **Test:** Zkoumání entropie a toku na kosmických horizontech.
- **Očekávaná signatura:** Růst entropie horizontu $\Delta S \sim 10^{120} k_B$.

4.8 Primordiální nukleosyntéza

- **Test:** Měření hojnosti lehkých prvků.
- **Očekávaná signatura:** Zvýšení ${}^4\text{He}$ o 1–5% a pokles deuteria.

5. Porovnání s Λ CDM

Vlastnost	CDM	Model řízený radiací
Pohon inflace	Skalární inflatonové pole	Tlak radiace + energie červeného posunu
Zachování energie	Není globálně definováno	Termodynamicky vynuceno přes horizonty
Rychlost světla	Globálně invariantní	Lokálně invariantní v horizontech
Problémy horizontu/rovinnosti	Řešeny inflatonem	Řešeny radiací + horizonty
Temná energie	Kosmologická konstanta (Λ)	Pokračování mechanismu červený posun-radiace

Vlastnost	Λ CDM	Model řízený radiací
Předpovědi CMB	Standardní spektrum	Zvýšení malých škál, možné rozdíly v B-módu
Hubbleova tenze	Nevyřešena	Přirozená střední hodnota H_0
Observační status	Podporován, ale nekompletní	V souladu s daty, dosud nevyvrácen

6. Diskuse

Tento rámec přeformuluje inflaci jako termodynamický proces vlastní radiaci, nevyžadující spekulativní inflaton. Poskytuje mechanismus pro zachování energie v expandujícím časoprostoru a slučuje lokální postuláty relativity s kosmologickými horizonty.

Zůstávají výzvy. Přesná dynamika redistribuce energie červeného posunu vyžaduje další matematický vývoj a numerické simulace modifikovaných Friedmannových rovnic jsou nezbytné. Observační rozlišení bude záviset na budoucích misích (CMB-S4, Euclid, LISA, SKA).

7. Závěr

Představuji kosmologii, ve které tlak radiace, modulovaný kauzálními horizonty a energií červeného posunu, pohání jak inflaci, tak současnou expanzi. Tento model eliminuje potřebu hypotetického inflatonu, obnovuje termodynamickou konzistenci a slučuje Einsteiнову lokální invarianci c s kosmologickou nadsvětelností. Současná data jsou kompatibilní s Λ CDM, ale navržené observační testy poskytují cestu k ověření nebo vyvrácení.

Reference

[1] Planck Collaboration, *Planck 2018 Results. VI. Cosmological Parameters*, Astron. Astrophys. 641, A6 (2020). [2] Guth, A. H., *Inflationary Universe*, Phys. Rev. D 23, 347 (1981). [3] Padmanabhan, T., *Thermodynamical Aspects of Gravity: New Insights*, Rep. Prog. Phys. 73, 046901 (2010). [4] BICEP2/Keck Collaboration, *Improved Constraints on Primordial Gravitational Waves*, Phys. Rev. Lett. 121, 221301 (2018).