

Ett nytt kosmologiskt modell: Strålningsdriven inflation med lokala kausala horisonter och omfördelning av rödskiftsenergi

Jag föreslår en kosmologisk modell där den inflatoriska epoken drivs av strålningstryck istället för ett skalärt inflatonfält. Modellen börjar med linjär expansion under Planck-epoken och övergår till exponentiell inflation vid $t \approx 10^{22} t_P$ när rumtiden sträcker sig bortom kausala horisonter, vilket omdefinierar ljusets hastighet (c) som en lokalt invariant parameter. Jag antar att energin som förloras genom fotoners rödskift omfördelas till strålningstryck, vilket driver inflationen och säkerställer energibevarandet i ett expanderande universum. Lokala Minkowski-områden bevarar invariansen hos c , vilket löser horisont- och platthetsproblemen samtidigt som det förenar speciell relativitet med kosmologisk superluminal recession. Åtta observationella tester beskrivs, med förväntade signaturer i CMB, gravitationsvågor och storskalig struktur. Nuvarande data överensstämmer med Λ CDM men utesluter inte denna modell, vilket lämnar en väg öppen för validering med framtida högprecisions-experiment.

1. Inledning

Den standardmässiga Λ CDM-kosmologin beskriver en het Big Bang vid $t = 0$, följt av en kort inflatorisk period från $t \approx 10^{-36}$ s till 10^{-34} s. Denna epok drivs av ett skalärt "inflaton"-fält, vars potential ger exponentiell expansion ($a(t) \propto e^{Ht}$) [1, 2]. Detta löser horisont- och platthetsproblemen och lämnar avtryck i den kosmiska mikrovågsbakgrunden (CMB). Trots framgångarna är Λ CDM beroende av spekulativa ingredienser: en oupptäckt inflatonpartikel, finjusterade potentiella landskap och en tolerans för den skenbara icke-bevarandet av energi på grund av fotoners rödskift.

Jag introducerar ett strålningsdrivet alternativ. Min modell börjar med linjär expansion, övergår naturligt till exponentiell inflation när fotoner dominerar och horisonter kopplas bort, och fortsätter in i den moderna accelererande eran. Tre centrala principer kännetecknar detta ramverk:

1. **Ingen inflaton krävs.** Strålningstrycket självt, förstärkt av rödskiftsenergi, driver inflationen.
2. **Energibevarandet återställt.** Energi som förloras genom rödskift återvinns termodynamiskt till strålningstryck, som utför arbete på det expanderande universum.
3. **Lokal invarians hos c .** Inom varje kausalt område mäter observatörer samma ljusets hastighet, i överensstämmelse med Einsteins postulat. Globalt uppstår superluminal recession naturligt från kausal separation.

2. Teoretiskt ramverk

2.1 Tidig linjär expansion ($t = 0$ till $t = 10^{20} t_P$)

Under Planck-epoken ($t = 1 t_P = 5.39 \times 10^{-44} \text{ s}$) expanderar universum linjärt med skalningsfaktorn $a(t) \propto t$. Dess faktiska storlek är $R(t) = ct$, och energidensiteten är på Planck-skala:

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

Friedmann-ekvationen styr expansionen:

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

med $H = 1/t$ och försumbar krökning. I detta skede är fotoner frånvarande, så strålningstrycket bidrar ännu inte.

2.2 Start av strålningstryck ($t = 10^{20} t_P$)

Vid $t \sim 10^{20} t_P$ ($\sim 10^{-36} \text{ s}$) producerar partikelbildning fotoner i ett kvark-gluonplasma vid $T \approx 10^{28} \text{ K}$. Strålningstryck uppstår:

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

med $a = 7.566 \times 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$. Detta ger $P \sim 10^{92} \text{ Pa}$. Även om det är enormt, dominerar gravitationen fortfarande, och expansionen förblir retarderad.

2.3 Kausal separation och lokal invariant c ($t = 10^{22} t_P$)

Vid $t \approx 10^{22} t_P$ ($\sim 10^{-34} \text{ s}$) överstiger universums radie dess Schwarzschild-liknande horisont:

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

När partikelhorisonten $d_p \approx ct$ överstiger r_s , separeras områden kausalt.

Inom varje horisontområde mäter observatörer $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, i överensstämmelse med Einsteins tankeexperiment med tåg och raket. Globalt överstiger dock recessionshastigheter c , som i standardkosmologi. Jag parametriserar detta som:

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

vilket inte innebär en bokstavlig variation av c , utan kodar dess lokalitet. Sålunda förblir c invariant för varje observatör inom deras kausala horisont, medan global superluminal expansion återspeglar separation, inte en kränkning av relativiteten.

2.4 Omfördelning av rödskiftsenergi

I Λ CDM minskar fotonenergin när våglängderna sträcks ut:

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

Den skenbara energiförlusten tillskrivs expansionen, utan en global bevarandelag.

Min modell löser denna paradox: energi som förloras genom rödskift absorberas vid kausala horisonter och omfördelas till strålningstryck, vilket effektivt utför arbete på metrikern:

$$\Delta E_{\text{rödskift}} \rightarrow \Delta P_{\text{strålning}} \cdot V.$$

2.4.1 Rödskift som arbete på metrikern

Einsteins ekvivalensprincip identifierar gravitation med acceleration. Detta ger ett konkret sätt att se rödskift som inte en förstörelse av energi, utan dess omvandling till kinetiskt arbete.

Tankeexperiment: Överväg en blå laser som skjuts uppåt från ytan av en planet. Fotonerna klättrar ur gravitationens potential och anländer till en avlägsen observatör rödskiftade. För observatören verkar varje foton bära mindre energi. Ändå upplevde lasern vid källan den fulla massa-energin hos de utsända fotonerna: den överförde momentum i enlighet med deras rödskiftade energi och strålningstryck.

Vart tog den "saknade" energin vägen? Den har investerats i gravitationsfältet, utförande av det arbete som krävs för att lyfta fotonerna ur potentialbrunnen.

På liknande sätt, i kosmologi, förlorar fotoner som utsänds i tidiga tider energi genom kosmologiskt rödskift. Lokalt upplever det utsändande området deras fulla strålningstryck. Men globalt är det skenbara underskottet inte förlorat; det har omvandlats till **arbete på metrikern** – specifikt till accelererad expansion.

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

2.4.2 Horisonttermodynamik och omfördelningsmekanism

Baserat på denna analogi föreslår jag att kausala horisonter fungerar som förmedlare av rödskiftsenergi:

1. **Energiöverföring.** Fotonenergin minskar som $E \propto a^{-1}$. Istället för att försvinna absorberas denna energi vid partikelhorisonter eller Schwarzschild-liknande kausala gränser.
2. **Kartläggning av gravitationsrödskift.** Precis som gravitationsrödskift överför energi till fältet, överför kosmologiskt rödskift energi till expansionen av metrikern.
3. **Horisonttermodynamik.** Horisonter har entropi ($S \propto A/4$) och temperatur (Gibbons–Hawking). Rödskiftad energi bidrar till horisontentropin och, via Padmanab-

hans termodynamiska gravitationsramverk [3], återuppstår som tryck som utför arbete på expansionen.

4. Tryckförstärkning.

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

modifierar accelerationslikningen:

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

Med $\Delta P_{\text{rödskift}} > 0$ accelererar expansionen utan att åberopa ett inflaton.

2.4.3 Formella överväganden

Att formalisera denna mekanism kräver:

- Kvantfältteori i krökt rumtid för att beskriva foton-horisontinteraktioner.
- Horisonttermodynamik (Padmanabhans emergenta gravitation, Bekenstein-Hawking-entropi) för att modellera energiabsorption och återutsändning.
- Numeriska simuleringar av modifierad Friedmann-dynamik med $\Delta P_{\text{rödskift}}$.

2.5 Modern era

Vid $t \approx 2.6 \times 10^{11} t_P$ (13,8 miljarder år) är CMB-temperaturen $T = 2.7 \text{ K}$, och strålningstrycket har minskat till $P \sim 10^{-31} \text{ Pa}$. Ändå kvarstår samma horisontmedierade mekanism: rödskiftsenergi fortsätter att driva kosmisk acceleration, vilket bidrar till den sena tidens dynamik som vanligtvis tillskrivs mörk energi ($\Omega_\Lambda \approx 0.7$).

3. Konceptuella framsteg

1. **Ingen inflaton krävs.** Inflation uppstår naturligt från strålningstryck förstärkt av rödskiftsenergi, vilket eliminerar behovet av ett oupptäckt skalärt fält.
2. **Energibevarandet återställt.** Rödsiftsenergi återvinns till strålningstryck, vilket anpassar expansionen till termodynamiska principer.
3. **Lokal invarians hos c.** Einsteins postulat gäller inom kausala områden, medan superluminal recession förklaras av horisontseparation.

4. Observationella tester och förväntade signaturer

Jag föreslår åtta observationella tester, var och en med distinkta signaturer som kan skilja denna modell från ΛCDM .

4.1 CMB-anisotropier

- **Test:** Mät CMB:s kraftspektrum och B-modpolarisation med hög precision.

- **Förväntad signatur:** Förstärkta småskaliga fluktuationer vid multipoler $l > 1000$, tillsammans med detekterbar B-modpolarisation vid $l < 100$ ($r \approx 0.05$ – 0.1).

4.2 Rödsiftsberoende strålningsenergitäthet

- **Test:** Observera skalningen av strålningsenergitätheten $\rho_{\text{strålning}}$ med rödsift.
- **Förväntad signatur:** Vid $z > 1100$ bör $\rho_{\text{strålning}}$ avvika från standardskalningen $\propto a^{-4}$.

4.3 Gravitationsvågbackgrund (GWB)

- **Test:** Sök efter en stokastisk GWB från den inflatoriska epoken.
- **Förväntad signatur:** En topp vid $\sim 10^{-9}$ Hz, med karakteristisk spänning $h_c \approx 10^{-15}$.

4.4 Hubble-spänning och sen tids acceleration

- **Test:** Mät Hubble-konstanten H_0 och tillståndsekvationen för mörk energi w .
- **Förväntad signatur:** $H_0 \approx 70$ km/s/Mpc, med w mellan -0.8 och 0 vid $z < 1$.

4.5 Horisontskalestruktur

- **Test:** Kartlägg storskalig struktur vid 10–100 Mpc.
- **Förväntad signatur:** Förstärkt klustring och anomalt stora tomrum.

4.6 Spektrallinjförskjutningar

- **Test:** Analysera spektra med högt rödsift.
- **Förväntad signatur:** Breddning eller energiförskjutningar på 0.1–1% vid $z > 5$.

4.7 Termodynamiska horisontsignaturer

- **Test:** Undersök entropi och flöde vid kosmiska horisonter.
- **Förväntad signatur:** Entropitillväxt vid horisonten $\Delta S \sim 10^{120} k_B$.

4.8 Primordial nukleosyntes

- **Test:** Mät förekomsten av lätta element.
- **Förväntad signatur:** Ökning med 1–5% i ^4He och minskning i deuterium.

5. Jämförelse med Λ CDM

Egenskap	CDM	Strålningsdriven modell
Inflationsdrivkraft	Skalärt inflatonfält	Strålningstryck + rödsiftsenergi
Energibevarande	Inte globalt definierat	Termodynamiskt framtvingat via horisonter
Ljusets hastighet	Globalt invariant	Lokalt invariant inom horisonter
Horisont/platthetsproblem	Lösta av inflaton	Lösta av strålning + horisonter

Egenskap	Λ CDM	Strålningsdriven modell
Mörk energi	Kosmologisk konstant (Λ)	Fortsättning av rödskift-strålningsmekanism
CMB-förutsägelser	Standardspektrum	Förbättringar på liten skala, möjliga skillnader i B-mod
Hubble-spänning	Olöst	Naturligt mellanliggande H_0
Observationsstatus	Stöds men ofullständigt	Överensstämmer med data, ännu inte falsifierat

6. Diskussion

Detta ramverk omformulerar inflation som en termodynamisk process som är inneboende i strålning, utan behov av ett spekulativt inflaton. Det tillhandahåller en mekanism för energibevarandet i expanderande rumtid och förenar relativitetens lokala postulat med kosmologiska horisonter.

Utmaningar kvarstår. Den exakta dynamiken för omfördelning av rödskiftsenergi kräver ytterligare matematisk utveckling, och numeriska simuleringar av modifierade Friedmann-ekvationer är avgörande. Observationsmässig diskriminering kommer att bero på framtida uppdrag (CMB-S4, Euclid, LISA, SKA).

7. Slutsats

Jag presenterar en kosmologi där strålningstryck, modulerat av kausala horisonter och rödskiftsenergi, driver både inflation och nuvarande expansion. Denna modell eliminerar behovet av ett hypotetiskt inflaton, återställer termodynamisk konsistens och förenar Einsteins lokala invarians hos c med kosmologisk superluminalitet. Nuvarande data är kompatibla med Λ CDM, men de föreslagna observationella testerna erbjuder en väg till validering eller falsifiering.

Referenser

[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).