

En ny kosmologisk model: Strålingsdrevet inflation med lokale kausale horisonter og energifordeling ved rødforskydning

Jeg foreslår en kosmologisk model, hvor inflationsæraen drives af strålingstryk i stedet for et skalært inflatonfelt. Fra lineær ekspansion i Planck-æraen skifter universet til eksponentiel inflation ved $t \approx 10^{22} t_P$, når rumtiden strækker sig ud over kausale horisonter, hvilket omdefinierer lysets hastighed (c) som en lokalt invariant parameter. Energi tabt til fotonrødforskydning antages at blive omfordelt til strålingstryk, hvilket driver inflation og sikrer energibevarelse i et ekspanderende univers. Lokale Minkowski-områder bevarer c 's invarians, hvilket løser horisont- og fladhedsproblemerne, samtidig med at det forener speciel relativitet med kosmologisk superluminal tilbagetrækning. Otte observationelle tests skitseres med forventede signaturer i CMB, gravitationsbølger og storskala-struktur. Nuværende data stemmer overens med Λ CDM, men udelukker ikke denne model, hvilket åbner en vej for validering med fremtidige højpræcisionseksperimenter.

1. Introduktion

Den standardiserede Λ CDM-kosmologi beskriver en varm Big Bang ved $t = 0$, efterfulgt af en kort inflationsperiode fra $t \approx 10^{-36}$ s til 10^{-34} s. Denne æra drives af et skalært "inflaton"-felt, hvis potentiale producerer eksponentiel ekspansion ($a(t) \propto e^{Ht}$) [1, 2]. Dette løser horisont- og fladhedsproblemerne og efterlader aftryk i den kosmiske mikrobølgebaggrund (CMB). På trods af dens succes afhænger Λ CDM af spekulative elementer: en uopdaget inflaton-partikel, finjusterede potentiale-landskaber og en tolerance for den tilsyneladende manglende energibevarelse på grund af fotonrødforskydning.

Jeg introducerer et strålingsdrevet alternativ. Min model begynder med lineær ekspansion, skifter naturligt til eksponentiel inflation, når fotoner dominerer, og horisonter frakobles, og fortsætter ind i den moderne accelererende æra. Tre centrale principper kendetegner denne ramme:

1. **Ingen inflaton nødvendig.** Strålingstrykket selv, forstærket af rødforskydningse energi, driver inflation.
2. **Energibevarelse genoprettet.** Energi tabt til rødforskydning genanvendes termodynamisk til strålingstryk, der udfører arbejde på det ekspanderende univers.
3. **Lokal invarians af c .** Inden for hver kausal del måler observatører den samme lyshastighed, i overensstemmelse med Einsteins postulat. Globalt opstår superluminal tilbagetrækning naturligt fra kausal frakobling.

2. Teoretisk ramme

2.1 Tidlig lineær ekspansion ($t = 0$ til $t = 10^{20} t_P$)

I Planck-æraen ($t = 1 t_P = 5.39 \times 10^{-44}$ s) ekspanderer universet lineært med skaleringsfaktor $a(t) \propto t$. Dets fysiske størrelse er $R(t) = ct$, og energitætheden er på Planck-skala:

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

Friedmann-ligningen styrer ekspansionen:

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

med $H = 1/t$ og ubetydelig krumning. På dette tidspunkt er fotoner fraværende, så strålingstryk bidrager ikke endnu.

2.2 Starten på strålingstryk ($t = 10^{20} t_P$)

Ved $t \sim 10^{20} t_P$ ($\sim 10^{-36}$ s) producerer partikeldannelse fotoner i en kvark-gluon-plasma ved $T \approx 10^{28}$ K. Strålingstryk opstår:

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

med $a = 7.566 \times 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$. Dette giver $P \sim 10^{92} \text{ Pa}$. Selvom det er enormt, dominerer tyngdekraften stadig, og ekspansionen forbliver decelererende.

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

Ved $t \approx 10^{22} t_P$ ($\sim 10^{-34}$ s) overstiger universets radius dets Schwarzschild-lignende horisont:

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

Når partikelhorisonten $d_p \approx ct$ overstiger r_s , frakobles regioner kausalt.

Inden for hver horisontdel måler observatører $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, i overensstemmelse med Einsteins tankeeksperimenter med tog og raket. Globalt overstiger tilbagetræknings-hastigheder dog c , som i standardkosmologi. Jeg parametriserer dette som:

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

hvilket ikke indebærer en bogstavelig variation af c , men snarere koder dens lokalitet. Dermed forbliver c invariant for enhver observatør inden for deres kausale horisont, mens global superluminal ekspansion afspejler frakobling, ikke en overtrædelse af relativitet.

2.4 Energifordeling ved rødforskydning

I Λ CDM mindskes fotonenergi, når bølgelængder strækkes:

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

Det tilsyneladende energitab tilskrives ekspansion uden en global bevarelseslov.

Min model løser dette paradoks: energi tabt til rødforskydning absorberes ved kausale horisonter og omfordeles til strålingstryk, hvilket effektivt udfører arbejde på metrikken:

$$\Delta E_{\text{rødforskydning}} \rightarrow \Delta P_{\text{stråling}} \cdot V.$$

2.4.1 Rødforskydning som arbejde på metrikken

Einsteins ækvivalensprincip identificerer tyngdekraft med acceleration. Dette giver en konkret måde at se rødforskydning ikke som ødelæggelse af energi, men som dens omdannelse til kinetisk arbejde.

Tankeeksperiment: Overvej en blå laser, der affyres opad fra en planets overflade. Fotonerne klatrer ud af gravitationspotentialet og ankommer rødforskudte til en fjern observatør. For observatøren bærer hver foton tilsyneladende mindre energi. Men laseren ved kilden oplevede fotonernes fulde masse-energi: den overførte impuls i overensstemmelse med deres urødforskudte energi og strålingstryk.

Hvor er den "manglende" energi blevet af? Den er blevet investeret i gravitationsfeltet og har udført det nødvendige arbejde for at løfte fotonerne ud af potentialbrønden.

På lignende vis mister fotoner, der udsendes tidligt i kosmologi, energi gennem kosmologisk rødforskydning. Lokalt oplever det udsendende område deres fulde strålingstryk. Men globalt går det tilsyneladende tab ikke tabt; det er blevet omdannet til **arbejde på metrikken** - specifikt til accelereret ekspansion.

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

2.4.2 Horisonttermodynamik og omfordelingsmekanisme

Baseret på denne analogi foreslår jeg, at kausale horisonter fungerer som formidlere af rødforskydningsenergi:

1. **Energioverførsel.** Fotonenergi falder som $E \propto a^{-1}$. I stedet for at forsvinde absorberes denne energi ved partikelhorisonter eller Schwarzschild-lignende kausale grænser.
2. **Gravitationsrødforskydningskortlægning.** Ligesom gravitationsrødforskydning overfører energi til feltet, overfører kosmologisk rødforskydning energi til metriken ekspansion.
3. **Horisonttermodynamik.** Horisonter har entropi ($S \propto A/4$) og temperatur (Gibbons-Hawking). Rødforskudt energi bidrager til horisontentropi, og via Padmanabhans termodynamiske tyngdekraftsramme [3] genopstår den som tryk, der udfører arbejde på ekspansionen.

4. Trykforstærkning.

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

hvilket modificerer accelerationsligningen:

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

Med $\Delta P_{\text{rødforskydning}} > 0$ accelererer ekspansionen uden at påkalde en inflaton.

2.4.3 Formelle overvejelser

For at formalisere denne mekanisme kræves:

- Kvantfeltteori i buet rumtid for at beskrive foton-horisont-interaktioner.
- Horisonttermodynamik (Padmanabhans emergente tyngdekraft, Bekenstein-Hawking-entropi) for at modellere energiabsorption og genudsendelse.
- Numeriske simuleringer af modificerede Friedmann-dynamikker med $\Delta P_{\text{rødforskydning}}$.

2.5 Moderne æra

Ved $t \approx 2.6 \times 10^{11} t_P$ (13,8 milliarder år) er CMB-temperaturen $T = 2.7 \text{ K}$, og strålingstrykket er faldet til $P \sim 10^{-31} \text{ Pa}$. Alligevel fortsætter den samme horisontformidlede mekanisme: rødforskydningsenergi fortsætter med at drive kosmisk acceleration og bidrager til sen-tids dynamikker, der typisk tilskrives mørk energi ($\Omega_\Lambda \approx 0.7$).

3. Konceptuelle fremskridt

1. **Ingen inflaton nødvendig.** Inflation opstår naturligt fra strålingstryk forstærket af rødforskydningsenergi, hvilket fjerner behovet for et uopdaget skalært felt.
2. **Energibevarelse genoprettet.** Rødforskydningsenergi genanvendes til strålingstryk, hvilket bringer ekspansion i overensstemmelse med termodynamiske principper.
3. **Lokal invarians af c.** Einsteins postulat gælder inden for kausale dele, mens superluminal tilbagetrækning forklares ved horisontadskillelse.

4. Observationelle tests og forventede signaturer

Jeg foreslår otte observationelle tests, hver med distinkte signaturer, der kan skelne denne model fra ΛCDM .

4.1 CMB-anisotropier

- **Test:** Mål CMB-kraftspektret og B-mode-polarisation med høj præcision.
- **Forventet signatur:** Forstærkede småskalafluktuasjoner ved multipoler $l > 1000$, sammen med detekterbar B-mode-polarisation ved $l < 100$ ($r \approx 0.05\text{--}0.1$).

4.2 Rødforskydningsafhængig strålingsenergidensitet

- **Test:** Observer skaleringen af strålingsenergidensitet $\rho_{\text{stråling}}$ med rødforskydning.
- **Forventet signatur:** Ved $z > 1100$ bør $\rho_{\text{stråling}}$ afvige fra den standardiserede $\propto a^{-4}$ -skalering.

4.3 Gravitationsbølgebaggrund (GWB)

- **Test:** Søg efter en stokastisk GWB fra inflationsæraen.
- **Forventet signatur:** En top ved $\sim 10^{-9}$ Hz med karakteristisk spænding $h_c \approx 10^{-15}$.

4.4 Hubble-spænding og sen-tids acceleration

- **Test:** Mål Hubble-konstanten H_0 og mørk energi-tilstandsligningen w .
- **Forventet signatur:** $H_0 \approx 70$ km/s/Mpc, med w mellem -0.8 og 0 ved $z < 1$.

4.5 Horisont-skala struktur

- **Test:** Kortlæg storskala-struktur ved 10–100 Mpc.
- **Forventet signatur:** Forstærket klyngedannelse og unormalt store tomrum.

4.6 Spektrallinje-forskydninger

- **Test:** Analyser højrødforskydningsspektre.
- **Forventet signatur:** Udviding eller energiforskydninger på 0,1–1% ved $z > 5$.

4.7 Termodynamiske horisontsignaturer

- **Test:** Udforsk entropi og flux ved kosmiske horisonter.
- **Forventet signatur:** Horisontentropivækst $\Delta S \sim 10^{120} k_B$.

4.8 Primordial nukleosyntese

- **Test:** Mål forekomster af lette elementer.
- **Forventet signatur:** 1–5% stigning i ^4He og fald i deuterium.

5. Sammenligning med ΛCDM

Funktion	CDM	Strålingsdrevet model
Inflationsdriver	Skalært inflatonfelt	Strålingstryk + rødforskydningsenergi
Energibevarelse	Ikke globalt defineret	Termodynamisk håndhævet via horisonter
Lysets hastighed	Globalt invariant	Lokalt invariant inden for horisonter
Horisont/fladhedsproblemer	Løst af inflaton	Løst af stråling + horisonter
Mørk energi	Kosmologisk konstant (Λ)	Fortsættelse af rødforskydnings-strålingsmekanisme

Funktion	Λ CDM	Strålingsdrevet model
CMB-forudsigelser	Standard spektrum	Småskalaforstærkninger, mulige B-mode-forskelle
Hubble-spænding	Uløst	Naturlig mellemliggende H_0
Observationel status	Understøttet, men ufuldstændig	Konsistent med data, endnu ikke falsificeret

6. Diskussion

Denne ramme omformulerer inflation som en termodynamisk proces iboende i stråling, uden behov for en spekulativ inflaton. Den giver en mekanisme for energibevarelse i ekspanderende rumtid og forener relativitetens lokale postulat med kosmologiske horisonter.

Udfordringer forbliver. Den præcise dynamik i rødforskydningsenergi-omfordeling kræver yderligere matematisk udvikling, og numeriske simuleringer af de modificerede Friedmann-ligninger er afgørende. Observationel diskrimination vil afhænge af fremtidige missioner (CMB-S4, Euclid, LISA, SKA).

7. Konklusion

Jeg præsenterer en kosmologi, hvor strålingstryk, moduleret af kausale horisonter og rødforskydningsenergi, driver både inflation og nutidens ekspansion. Denne model eliminerer behovet for en hypotetisk inflaton, genopretter termodynamisk konsistens og forener Einsteins lokale invarians af c med kosmologisk superluminalitet. Nuværende data er compatible med Λ CDM, men de foreslåede observationelle tests giver en vej til validering eller falsifikation.

Referencer

[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).