

Een nieuw kosmologisch model: Stralingsgedreven inflatie met lokale causale horizonden en herverdeling van roodverschuivingsenergie

Ik stel een kosmologisch model voor waarin de inflatoire periode wordt aangedreven door stralingsdruk in plaats van een scalair inflatonveld. Beginnend met lineaire expansie in de Planck-periode, gaat het universum over naar exponentiële inflatie bij $t \approx 10^{22} t_P$ wanneer de ruimtetijd zich uitstrekt voorbij causale horizonden, waarbij de lichtsnelheid (c) wordt hergedefinieerd als een lokaal invariante parameter. Er wordt verondersteld dat energie die verloren gaat door de roodverschuiving van fotonen wordt herverdeeld in stralingsdruk, waardoor inflatie wordt gevoed en energiebehoud wordt gewaarborgd in een expanderend universum. Lokale Minkowski-gebieden behouden de invariantie van c , pakken het horizon- en vlakheidsprobleem aan en verzoenen speciale relativiteit met kosmologische superluminale recessie. Acht observationele tests worden geschetst, met verwachte signalen in de CMB, zwaartekrachtgolven en grootschalige structuren. Huidige gegevens komen overeen met Λ CDM, maar sluiten dit model niet uit, waardoor er ruimte blijft voor validatie met toekomstige experimenten met hoge precisie.

1. Inleiding

De standaard Λ CDM-kosmologie beschrijft een hete oerknal bij $t = 0$, gevolgd door een korte inflatoire periode van $t \approx 10^{-36}$ s tot 10^{-34} s. Deze periode wordt aangedreven door een scalair “inflaton” veld, waarvan het potentiaal exponentiële expansie veroorzaakt ($a(t) \propto e^{Ht}$) [1, 2]. Dit lost de horizon- en vlakheidsproblemen op en laat sporen na in de kosmische achtergrondstraling (CMB). Ondanks het succes is Λ CDM afhankelijk van speculatieve elementen: een ongedetecteerd inflatondeeltje, fijn afgestemde potentiaallandschappen en een tolerantie voor de schijnbare niet-conservering van energie door roodverschuiving van fotonen.

Ik introduceer een stralingsgedreven alternatief. Mijn model begint met lineaire expansie, gaat natuurlijk over in exponentiële inflatie zodra fotonen domineren en horizonden worden ontkoppeld, en gaat verder in het huidige versnellende tijdperk. Drie centrale principes onderscheiden dit kader:

1. **Geen inflaton nodig.** Stralingsdruk zelf, versterkt door roodverschuivingsenergie, drijft inflatie aan.
2. **Energiebehoud hersteld.** Energie die verloren gaat door roodverschuiving wordt thermodynamisch hergebruikt in stralingsdruk, die arbeid verricht op het expanderende universum.

3. **Lokale invariantie van c .** Binnen elk causaal gebied meten waarnemers dezelfde lichtsnelheid, consistent met de postulaten van Einstein. Globaal ontstaat superluminale recessie natuurlijk door causale ontkoppeling.

2. Theoretisch kader

2.1 Vroege lineaire expansie ($t = 0$ tot $t = 10^{20} t_P$)

In de Planck-periode ($t = 1 t_P = 5.39 \times 10^{-44} \text{ s}$) expandeert het universum lineair met schaafactor $a(t) \propto t$. De eigenlijke grootte is $R(t) = ct$, en de energiedichtheid ligt op Planck-schaal:

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

De Friedmann-vergelijking regelt de expansie:

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

met $H = 1/t$ en verwaarloosbare kromming. In dit stadium zijn fotonen afwezig, dus stralingsdruk draagt nog niet bij.

2.2 Begin van stralingsdruk ($t = 10^{20} t_P$)

Bij $t \sim 10^{20} t_P (\sim 10^{-36} \text{ s})$ produceert de vorming van deeltjes fotonen in een quark-gluonplasma bij $T \approx 10^{28} \text{ K}$. Stralingsdruk ontstaat:

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

met $a = 7.566 \times 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$. Dit levert $P \sim 10^{92} \text{ Pa}$ op. Hoewel enorm, domineert zwaartekracht nog steeds, en de expansie blijft vertragen.

2.3 Causale ontkoppeling en lokale invariante c ($t = 10^{22} t_P$)

Bij $t \approx 10^{22} t_P (\sim 10^{-34} \text{ s})$ overschrijdt de radius van het universum zijn Schwarzschild-achtige horizon:

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

Wanneer de deeltjeshorizon $d_p \approx ct$ overschrijdt, worden gebieden causaal ontkoppeld.

Binnen elk horizon-gebied meten waarnemers $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, consistent met Einsteins gedachte-experimenten met trein en raket. Globaal overschrijden recessiesnelheden echter c , zoals in de standaard kosmologie. Ik parameteriseer dit als:

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

wat geen letterlijke variatie van c impliceert, maar eerder de lokaliteit ervan codeert. Dus blijft c invariant voor elke waarnemer binnen hun causale horizon, terwijl globale superluminale expansie de ontkoppeling weerspiegelt, geen schending van relativiteit.

2.4 Herverdeling van roodverschuivingsenergie

In Λ CDM neemt de fotonenergie af naarmate golflengtes uitrekken:

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

Het schijnbare energieverlies wordt toegeschreven aan expansie, zonder globale behoudswet.

Mijn model lost deze paradox op: energie die verloren gaat door roodverschuiving wordt geabsorbeerd bij causale horizonten en herverdeeld in stralingsdruk, die effectief arbeid verricht op de metriek:

$$\Delta E_{\text{roodverschuiving}} \rightarrow \Delta P_{\text{straling}} \cdot V.$$

2.4.1 Roodverschuiving als arbeid op de metriek

Einsteins equivalentieprincipe identificeert zwaartekracht met versnelling. Dit biedt een concrete manier om roodverschuiving te zien als niet de vernietiging van energie, maar de omzetting ervan in kinetische arbeid.

Gedachte-experiment: Overweeg een blauwe laser die omhoog wordt geschoten vanaf het oppervlak van een planeet. De fotonen klimmen uit het zwaartekrachtspotential en bereiken een verre waarnemer roodverschoven. Voor de waarnemer lijkt elk foton minder energie te dragen. Toch ondervond de laser aan de bron de volledige massa-energie van de uitgezonden fotonen: het bracht momentum over in overeenstemming met hun niet-roodverschoven energie en stralingsdruk.

Waar is de “ontbrekende” energie naartoe gegaan? Deze is geïnvesteerd in het zwaartekrachtsveld, waarbij de arbeid wordt verricht die nodig is om de fotonen uit de potentiaalput te tillen.

Analoog hieraan verliezen fotonen die in vroege tijden worden uitgezonden in de kosmologie energie door kosmologische roodverschuiving. Lokaal ondervindt het uitzendende gebied hun volledige stralingsdruk. Maar globaal is het schijnbare tekort niet verloren; het is omgezet in **arbeid op de metriek** – specifiek in versnelde expansie.

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

2.4.2 Horizonthermodynamica en herverdelingsmechanisme

Voortbouwend op deze analogie stel ik voor dat causale horizonten fungeren als bemiddelaars van roodverschuivingsenergie:

1. **Energieoverdracht.** Fotonenergie neemt af als $E \propto a^{-1}$. In plaats van te verdwijnen, wordt deze energie geabsorbeerd bij deeltjeshorizonten of Schwarzschild-achtige causale grenzen.
2. **Toewijzing van zwaartekracht-roodverschuiving.** Net zoals zwaartekracht-roodverschuiving energie overdraagt aan het veld, draagt kosmologische roodverschuiving energie over aan de expansie van de metriek.
3. **Horizonthermodynamica.** Horizonten hebben entropie ($S \propto A/4$) en temperatuur (Gibbons–Hawking). Roodverschoven energie draagt bij aan de horizonentropie en verschijnt, via het thermodynamische zwaartekrachtskader van Padmanabhan [3], opnieuw als druk die arbeid verricht op de expansie.
4. **Drukverhoging.**

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

wijzig de versnellingsvergelijking:

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

Met $\Delta P_{\text{roodverschuiving}} > 0$ versnelt de expansie zonder een inflaton aan te roepen.

2.4.3 Formele overwegingen

Om dit mechanisme te formaliseren is nodig:

- Kwantumveldentheorie in gekromde ruimtetijd om foton-horizoninteracties te beschrijven.
- Horizonthermodynamica (Padmanabhans emergente zwaartekracht, Bekenstein–Hawking-entropie) om energieabsorptie en heruitzending te modelleren.
- Numerieke simulaties van gemodificeerde Friedmann-dynamica met $\Delta P_{\text{roodverschuiving}}$.

2.5 Modern tijdperk

Bij $t \approx 2.6 \times 10^{71} t_P$ (13,8 miljard jaar) is de CMB-temperatuur $T = 2.7 \text{ K}$, en de stralingsdruk is gedaald tot $P \sim 10^{-31} \text{ Pa}$. Toch blijft hetzelfde horizon-gemedieerde mechanisme bestaan: roodverschuivingsenergie blijft kosmische versnelling voeden, bijdragend aan de dynamiek van de late tijd die meestal wordt toegeschreven aan donkere energie ($\Omega_\Lambda \approx 0.7$).

3. Conceptuele vooruitgang

1. **Geen inflaton nodig.** Inflatie ontstaat natuurlijk uit stralingsdruk, versterkt door roodverschuivingsenergie, waardoor de behoefte aan een ongedetecteerd scalair veld wordt geëlimineerd.
2. **Energiebehoud hersteld.** Roodverschuivingsenergie wordt gerecycled in stralingsdruk, waardoor expansie wordt afgestemd op thermodynamische principes.

3. **Lokale invariantie van c .** Einsteins postulaat geldt binnen causale gebieden, terwijl superluminale recessie wordt verklaard door horizon-scheiding.

4. Observationele tests en verwachte signalen

Ik stel acht observationele tests voor, elk met onderscheidende signalen die dit model van Λ CDM kunnen differentiëren.

4.1 CMB-anisotropieën

- **Test:** Meet het CMB-vermogenspectrum en B-modus polarisatie met hoge precisie.
- **Verwacht signaal:** Versterkte kleinschalige fluctuaties bij multipolen $l > 1000$, samen met detecteerbare B-modus polarisatie bij $l < 100$ ($r \approx 0.05\text{--}0.1$).

4.2 Roodverschuivingsafhankelijke stralingsenergiedichtheid

- **Test:** Observeer de schaling van stralingsenergiedichtheid ρ_{straling} met roodverschuiving.
- **Verwacht signaal:** Bij $z > 1100$ zou ρ_{straling} moeten afwijken van de standaard $\propto a^{-4}$ schaling.

4.3 Zwaartekrachtgolvenachtergrond (GWB)

- **Test:** Zoek naar een stochastische GWB uit de inflatoire periode.
- **Verwacht signaal:** Een piek bij $\sim 10^{-9}$ Hz, met karakteristieke spanning $h_c \approx 10^{-15}$.

4.4 Hubble-spanning en late-tijd versnelling

- **Test:** Meet de Hubble-constante H_0 en de toestandsvergelijking van donkere energie w .
- **Verwacht signaal:** $H_0 \approx 70$ km/s/Mpc, met w tussen -0.8 en 0 bij $z < 1$.

4.5 Horizon-schaal structuur

- **Test:** Breng grootschalige structuur in kaart bij 10–100 Mpc.
- **Verwacht signaal:** Versterkte clustering en abnormaal grote lege ruimtes.

4.6 Spectraallijnverschuivingen

- **Test:** Analyseer spectra met hoge roodverschuiving.
- **Verwacht signaal:** Verbreding of energieverchuivingen van 0.1–1% bij $z > 5$.

4.7 Thermodynamische horizonsignalen

- **Test:** Onderzoek entropie en flux bij kosmische horizonten.
- **Verwacht signaal:** Entropiegroei van de horizon $\Delta S \sim 10^{120} k_B$.

4.8 Primaire nucleosynthese

- **Test:** Meet de abundantie van lichte elementen.
- **Verwacht signaal:** Toename van 1–5% in ^4He en afname in deuterium.

5. Vergelijking met ΛCDM

Kenmerk	ΛCDM	Stralingsgedreven model
Inflatie-aandrijver	Scalair inflatonveld	Stralingsdruk + roodverschuivingsenergie
Energiebehoud	Niet globaal gedefinieerd	Thermodynamisch afgedwongen via horizonden
Lichtsnelheid	Globaal invariant	Lokaal invariant binnen horizonden
Horizon/vlakheidsproblemen	Opgelost door inflaton	Opgelost door straling + horizonden
Donkere energie	Kosmologische constante (Λ)	Voortzetting van roodverschuivings-stralingsmechanisme
CMB-voorspellingen	Standaardspectrum	Kleinschalige verbeteringen, mogelijke verschillen in B-modus
Hubble-spanning	Onopgelost	Natuurlijke tussenliggende H_0
Observationele status	Ondersteund maar onvolledig	Consistent met gegevens, nog niet weerlegd

6. Discussie

Dit kader herformuleert inflatie als een thermodynamisch proces dat inherent is aan straling, zonder de noodzaak van een speculatief inflaton. Het biedt een mechanisme voor energiebehoud in expanderende ruimtetijd en verzoent de lokale postulaten van relativiteit met kosmologische horizonden.

Er blijven uitdagingen. De exacte dynamiek van de herverdeling van roodverschuivingsenergie vereist verdere wiskundige ontwikkeling, en numerieke simulaties van de gemodificeerde Friedmann-vergelijkingen zijn essentieel. Observationele discriminatie zal afhangen van toekomstige missies (CMB-S4, Euclid, LISA, SKA).

7. Conclusie

Ik presenteer een kosmologie waarin stralingsdruk, gemoduleerd door causale horizonden en roodverschuivingsenergie, zowel inflatie als de huidige expansie aandrijft. Dit model elimineert de behoefte aan een hypothetisch inflaton, herstelt thermodynamische consistentie en verzoent Einsteins lokale invariantie van c met kosmologische superluminaliteit. Huidige gegevens zijn compatibel met ΛCDM , maar de voorgestelde observationele tests bieden een weg naar validatie of falsificatie.

Referenties

[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).