

Uusi kosmologinen malli: Säteilyn ohjaama inflaatio paikallisilla kausaalihorisonteilla ja punasiirtymän energian uudelleenjakautumisella

Ehdotan kosmologista mallia, jossa inflaation aikakausi on ohjattu säteilyn paineella eikä skalaari-inflatonikentällä. Alkaen lineaarisesta laajenemisesta Planckin aikakaudella, universumi siirtyy eksponentiaaliseen inflaatioon ajassa $t \approx 10^{22} t_P$, kun avaruusaika venyy kausaalihorisonttien ulkopuolelle, määritellen valonnopeuden (c) uudelleen paikallisesti invarianttina parametrina. Hypoteesina on, että fotonien punasiirtymän menettämä energia jaetaan uudelleen säteilyn paineeseen, mikä ruokkii inflaatiota ja varmistaa energian säilymisen laajenevassa universumissa. Paikalliset Minkowski-alueet säilyttävät c :n invariassin, ratkaisten horisontti- ja tasaisuusongelmat samalla sovittaen yhteen erityisen suhteellisuusteorian ja kosmologisen superluminaalisen taantumun. Esitetään kahdeksan havainnollista testiä, joissa odotetaan signaaleja kosmisessa mikroaaltotaustassa (CMB), gravitaatioaalloissa ja laajamittaisissa rakenteissa. Nykyiset tiedot ovat linjassa Λ CDM-mallin kanssa, mutta eivät sulje pois tätä mallia, jättäen tilaa validoinnille tulevilla korkean tarkkuuden kokeilla.

1. Johdanto

Vakiintunut Λ CDM-kosmologia kuvaa kuumaa alkuräjähdystä ajassa $t = 0$, jota seuraa lyhyt inflatorinen jakso ajasta $t \approx 10^{-36}$ s aikaan 10^{-34} s. Tämä aikakausi on ohjattu skalaari-“inflaton”-kentällä, jonka potentiaali tuottaa eksponentiaalisen laajenemisen ($a(t) \propto e^{Ht}$) [1, 2]. Tämä ratkaisee horisontti- ja tasaisuusongelmat ja jättää jälkiä kosmiseen mikroaaltotaustaan (CMB). Menestyksestään huolimatta Λ CDM riippuu spekulatiivisista osatekijöistä: havaitsemattomasta inflatonihukkasesta, hienosäädetyistä potentiaalisuunnista ja suvaitsevaisuudesta fotonien punasiirtymän aiheuttamalle ilmeiselle energian säilymättömyydelle.

Esittelen säteilyn ohjaaman vaihtoehdon. Mallini alkaa lineaarisella laajenemisella, siirtyy luonnollisesti eksponentiaaliseen inflaatioon, kun fotonit hallitsevat ja horisontit erkanevat, ja jatkuu nykyiseen kiihtyvään aikakauteen. Kolme keskeistä periaatetta erottavat tämän kehityksen:

1. **Inflatonia ei tarvita.** Säteilyn paine itse, punasiirtymän energian vahvistamana, ohjaa inflaatiota.
2. **Energian säilyminen palautettu.** Punasiirtymän menettämä energia kierrätetään termodynaamisesti säteilyn paineeseen, joka tekee työtä laajenevassa universumissa.

3. **Paikallinen c:n invariassi.** Jokaisella kausaalialueella havaitsijat mittaavat saman valonnopeuden, mikä on sopusoinnussa Einsteinin postulaattien kanssa. Globaalisti superluminaalinen taantuma syntyy luonnollisesti kausaalisesta erkaantumisesta.

2. Teoreettinen kehys

2.1 Varhainen lineaarinen laajeneminen ($t = 0 - t = 10^{20} t_P$)

Planckin aikakaudella ($t = 1 t_P = 5.39 \times 10^{-44} \text{ s}$) universumi laajenee lineaarisesti skaalatekijällä $a(t) \propto t$. Sen varsinainen koko on $R(t) = ct$, ja energian tiheys on Planckin skaalassa:

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

Friedmannin yhtälö ohjaa laajenemista:

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

jossa $H = 1/t$ ja kaarevuus on mitätön. Tässä vaiheessa fotoneja ei ole, joten säteilyn paine ei vielä vaikuta.

2.2 Säteilyn paineen alkaminen ($t = 10^{20} t_P$)

Ajassa $t \sim 10^{20} t_P$ ($\sim 10^{-36} \text{ s}$) hiukkasten muodostuminen tuottaa fotoneja kvarkki-gluoniplasmassa lämpötilassa $T \approx 10^{28} \text{ K}$. Säteilyn paine syntyy:

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

jossa $a = 7.566 \times 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$. Tämä tuottaa $P \sim 10^{92} \text{ Pa}$. Vaikka valtava, gravitaatio hallitsee edelleen, ja laajeneminen pysyy hidastuvana.

2.3 Kausaalinen erkaantuminen ja paikallinen invariantti c ($t = 10^{22} t_P$)

Ajassa $t \approx 10^{22} t_P$ ($\sim 10^{-34} \text{ s}$) universumin säde ylittää Schwarzschildin kaltaisen horisonttinsa:

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

Kun hiukkashorisontti $d_p \approx ct$ ylittää r_s :n, alueet erkanevat kausaalisesti.

Jokaisella horisonttialueella havaitsijat mittaavat $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, mikä on sopusoinnussa Einsteinin juna- ja rakettiajatuskokeiden kanssa. Globaalisti kuitenkin taantumisenopeudet ylittävät c :n, kuten tavallisessa kosmologiassa. Parametroin tämän seuraavasti:

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

mikä ei tarkoita c :n kirjaimellista vaihtelua, vaan koodaa sen paikallisuuden. Näin c pysyy invarianttina jokaiselle havaitsijalle heidän kausaalihorisonttinsa sisällä, kun taas globaali superluminaalinen laajeneminen heijastaa erkaantumista, ei suhteellisuusteorian rikkomista.

2.4 Punasiirtymän energian uudelleenjakautuminen

Λ CDM-mallissa fotonien energia vähenee aallonpituuksien venyessä:

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

Ilmeinen energian menetys johtuu laajenemisesta ilman globaalia säilymislakia.

Mallini ratkaisee tämän paradoksin: punasiirtymän menettämä energia absorboituu kausaalihorisonteissa ja jaetaan uudelleen säteilyn paineeseen, tehden tehokkaasti työtä metrillä:

$$\Delta E_{\text{punasiirtymä}} \rightarrow \Delta P_{\text{säteily}} \cdot V.$$

2.4.1 Punasiirtymä työnä metrillä

Einsteinin ekvivalenssiperiaate yhdistää gravitaation kiihtyvyyteen. Tämä tarjoaa konkreettisen tavan nähdä punasiirtymä ei energian tuhoutumisena, vaan sen muuntumisena kineettiseksi työksi.

Ajatuskoe: Harkitse sinistä laseria, joka ammutaan planeetan pinnalta ylöspäin. Fotonit kiipeävät gravitaatiopotentiaalista ja saapuvat kaukaiselle havaitsijalle punasiirtyneinä. Havaitsijan mielestä jokainen fotoni kantaa vähemmän energiaa. Kuitenkin lähde koki emittoitujen fotonien täyden massa-energian: se siirsi liikemäärän, joka vastaa niiden punasiirtymätöntä energiaa ja säteilyn painetta.

Minne ”puuttuva” energia on mennyt? Se on investoitu gravitaatiokenttään, tehden työn, joka tarvitaan fotonien nostamiseen potentiaaliukuopasta.

Analogisesti kosmologiassa varhaisina aikoina emitoidut fotonit menettävät energiaa kosmologisen punasiirtymän kautta. Paikallisesti emittoiva alue kokee niiden täyden säteilyn paineen. Globaalisti ilmeinen vajoaus ei ole menetetty; se on muunnettu **työksi metrillä** – erityisesti kiihdytetyksi laajenemiseksi.

$$\Delta E_{\text{fotoni}} = W_{\text{laajeneminen}}.$$

2.4.2 Horisontin termodynamiikka ja uudelleenjakautumismekanismi

Tämän analogian pohjalta ehdotan, että kausaalihorisontit toimivat punasiirtymän energian välittäjinä:

1. **Energian siirto.** Fotonien energia vähenee muodossa $E \propto a^{-1}$. Sen sijaan, että se katoaisi, tämä energia absorboituu hiukashorisonteissa tai Schwarzschildin

kaltaisissa kausaalirajoissa.

2. **Gravitaation punasiirtymän kartoitus.** Aivan kuten gravitaation punasiirtymä siirtää energiaa kenttään, kosmologinen punasiirtymä siirtää energiaa metrin laajenemiseen.
3. **Horisontin termodynamiikka.** Horisonteilla on entropia ($S \propto A/4$) ja lämpötila (Gibbons–Hawking). Punasiirtynyt energia lisää horisontin entropiaa, ja Padmanabhanin termodynaamisen gravitaation kehyksen [3] kautta se ilmestyy uudelleen paineena, joka tekee työtä laajenemiseen.
4. **Paineen vahvistaminen.**

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

muokaten kiihtyvyyssyhtälöä:

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

Kun $\Delta P_{\text{punasiirtymä}} > 0$, laajeneminen kiihtyy ilman inflatonin käyttöä.

2.4.3 Muodolliset näkökohdat

Tämän mekanismin formalisointi vaatii:

- Kvanttikenttäteoriaa kaarevassa avaruusajassa kuvaamaan fotonihorisontti-vuorovaikutuksia.
- Horisontin termodynamiikkaa (Padmanabhanin emergentti gravitaatio, Bekenstein–Hawkingin entropia) mallintamaan energian absorptiota ja uudelleenemission.
- Numeraalisia simulaatioita modifioidusta Friedmannin dynamiikasta $\Delta P_{\text{punasiirtymä}}$:n kanssa.

2.5 Nykyaika

Ajassa $t \approx 2.6 \times 10^{71} t_P$ (13.8 miljardia vuotta) CMB:n lämpötila on $T = 2.7 \text{ K}$, ja säteilyn paine on laskenut arvoon $P \sim 10^{-31} \text{ Pa}$. Kuitenkin sama horisontin välittämä mekanismi jatkuu: punasiirtymän energia ruokkii edelleen kosmista kiihtyvyyttä, vaikuttaen myöhäisen ajan dynamiikkaan, joka yleensä attribuoidaan pimeään energiaan ($\Omega_\Lambda \approx 0.7$).

3. Käsitteelliset edistysaskeleet

1. **Inflatonia ei tarvita.** Inflaatio syntyy luonnollisesti säteilyn paineesta, jota punasiirtymän energia vahvistaa, poistaen tarpeen havaitsemattomalle skalaarikentälle.
2. **Energian säilyminen palautettu.** Punasiirtymän energia kierrätetään säteilyn paineeseen, sovittaen laajenemisen termodynaamisiin periaatteisiin.
3. **Paikallinen c:n invariassi.** Einsteinin postulaatti pitää paikkansa kausaalialueilla, kun taas superluminaalinen taantuma selittyy horisonttien erkaantumisella.

4. Havainnolliset testit ja odotetut signaalit

Ehdotan kahdeksaa havainnollista testiä, joista jokaisella on erilaisia signaaleja, jotka voivat erottaa tämän mallin Λ CDM:stä.

4.1 CMB-anisotropiat

- **Testi:** Mittaa CMB:n tehospektri ja B-moodin polarisaatio suurella tarkkuudella.
- **Odotettu signaali:** Voimistuneita pienen mittakaavan fluktuaatioita multipoleilla $l > 1000$, yhdessä havaittavan B-moodin polarisaation kanssa $l < 100$ ($r \approx 0.05$ – 0.1).

4.2 Punasiirtymästä riippuvainen säteilyn energian tiheys

- **Testi:** Tarkkaile säteilyn energian tiheyden $\rho_{\text{säteily}}$ skaalautumista punasiirtymän kanssa.
- **Odotettu signaali:** Arvossa $z > 1100$ $\rho_{\text{säteily}}$ pitäisi poiketa standardista $\propto a^{-4}$ skaalautumisesta.

4.3 Gravitaatioaaltojen tausta (GWB)

- **Testi:** Etsi stokastista GWB:tä inflatoriselta aikakaudelta.
- **Odotettu signaali:** Huippu noin $\sim 10^{-9}$ Hz, karakteristisella jännityksellä $h_c \approx 10^{-15}$.

4.4 Hubble-jännite ja myöhäisen ajan kiihtyvyys

- **Testi:** Mittaa Hubble-vakio H_0 ja pimeän energian tilanyhtälö w .
- **Odotettu signaali:** $H_0 \approx 70$ km/s/Mpc, jossa w on välillä -0.8 ja 0 arvossa $z < 1$.

4.5 Horisontin mittakaavan rakenne

- **Testi:** Kartoittaa laajamittainen rakenne 10–100 Mpc:ssä.
- **Odotettu signaali:** Voimistunut klusterointi ja epätavallisen suuret tyhjiöt.

4.6 Spektriviivojen siirtymät

- **Testi:** Analysoi korkean punasiirtymän spektrejä.
- **Odotettu signaali:** Laajeneminen tai energiavaihtelut 0.1–1% arvossa $z > 5$.

4.7 Termodynaamiset horisonttisia signaalit

- **Testi:** Tutki entropiaa ja virtausta kosmisilla horisonteilla.
- **Odotettu signaali:** Horisontin entropian kasvu $\Delta S \sim 10^{120} k_B$.

4.8 Alkuperäinen nukleosynteesi

- **Testi:** Mittaa kevyiden alkuaineiden runsaus.

- **Odotettu signaali:** 1–5% kasvu ^4He :ssa ja väheneminen deuteriumissa.

5. Vertailu ΛCDM :ään

Ominaisuus	ΛCDM	Säteilyn ohjaama malli
Inflaation ohjain	Skalaari-inflatonikenttä	Säteilyn paine + punasiirtymän energia
Energian säilyminen	Ei globaalisti määritelty	Termodynaamisesti pakotettu horisonttien kautta
Valonnopeus	Globaalisti invariantti	Paikallisesti invariantti horisonteissa
Horisontti-/tasaisuusongelmat	Ratkaistu inflatonilla	Ratkaistu säteilyllä + horisonteilla
Pimeä energia	Kosmologinen vakio (Λ)	Punasiirtymä-säteily mekanismin jatko
CMB-ennusteet	Standardispektri	Pienen mittakaavan parannukset, mahdolliset B-moodin erot
Hubble-jännite	Ratkaisematon	Luonnollinen keskimääräinen H_0
Havainnollinen tila	Tuettu, mutta epätäydellinen	Yhteensopiva tietojen kanssa, ei vielä kumottu

6. Keskustelu

Tämä kehys uudelleenmäärittelee inflaation termodynaamiseksi prosessiksi, joka on luontainen säteilylle, eikä vaadi spekulatiivista inflatonia. Se tarjoaa mekanismin energian säilymiselle laajenevassa avaruudessa ja sovittaa yhteen suhteellisuusteorian paikalliset postulaatit kosmologisten horisonttien kanssa.

Haasteita jää. Punasiirtymän energian uudelleenjakautumisen tarkka dynamiikka vaatii lisämatemaattista kehitystä, ja modifioitujen Friedmannin yhtälöiden numeraaliset simulaatiot ovat välttämättömiä. Havainnollinen erottelu riippuu tulevista missioista (CMB-S4, Euclid, LISA, SKA).

7. Johtopäätös

Esittelen kosmologian, jossa säteilyn paine, moduloitu kausaalihorisonteilla ja punasiirtymän energialla, ohjaa sekä inflaatiota että nykyistä laajenemista. Tämä malli eliminoi tarpeen hypoteettiselle inflatonille, palauttaa termodynaamisen johdonmukaisuuden ja sovittaa Einsteinin paikallisen c :n invariassin kosmologisen superluminaalisuuden kanssa. Nykyiset tiedot ovat yhteensopivia ΛCDM :n kanssa, mutta ehdotetut havainnolliset testit tarjoavat polun validoinnille tai kumoamiselle.

Viitteet

[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).