

Nowy model kosmologiczny: Inflacja napędzana promieniowaniem z lokalnymi horyzontami przyczynowymi i redystrybucją energii przesunięcia ku czerwieni

Proponuję model kosmologiczny, w którym epoka inflacji jest napędzana ciśnieniem promieniowania, a nie skalarowym polem inflatonu. Począwszy od liniowej ekspansji w epoce Plancka, wszechświat przechodzi w wykładniczą inflację przy $t \approx 10^{22} t_P$, gdy czasoprzestrzeń rozciąga się poza horyzonty przyczynowe, redefiniując prędkość światła (c) jako lokalnie niezmienny parametr. Zakłada się, że energia tracona na przesunięcie ku czerwieni fotonów jest redystrybuowana do ciśnienia promieniowania, napędzając w ten sposób inflację i zapewniając zachowanie energii w rozszerzającym się wszechświecie. Lokalne obszary Minkowskiego zachowują niezmiennosć c , rozwiązując problemy horyzontu i płaskości, jednocześnie godząc szczególną teorię względności z kosmiczną recesją nadświatłą. Zarysowano osiem testów obserwacyjnych, z oczekiwanymi sygnaturami w kosmicznym promieniowaniu tła (CMB), falach grawitacyjnych i strukturze wielkoskalowej. Obecne dane są zgodne z modelem Λ CDM, ale nie wykluczają tego modelu, pozostawiając otwartą drogę do weryfikacji za pomocą przyszłych eksperymentów o wysokiej precyzji.

1. Wprowadzenie

Standardowa kosmologia Λ CDM opisuje gorący Wielki Wybuch w $t = 0$, po którym następuje krótki okres inflacji od $t \approx 10^{-36}$ s do 10^{-34} s. Epoka ta jest napędzana przez skalarne pole „inflaton”, którego potencjał wywołuje wykładniczą ekspansję ($a(t) \propto e^{Ht}$) [1, 2]. Rozwiązuje to problemy horyzontu i płaskości oraz pozostawia ślady w kosmicznym promieniowaniu tła (CMB). Pomimo sukcesu, Λ CDM opiera się na spekulatywnych składnikach: niewykrytej cząstce inflatonu, precyzyjnie dostrojonych krajobrazach potencjału oraz tolerancji dla pozornego braku zachowania energii spowodowanego przesunięciem ku czerwieni fotonów.

Przedstawiam alternatywę napędzaną promieniowaniem. Mój model rozpoczyna się od liniowej ekspansji, naturalnie przechodzi w wykładniczą inflację, gdy fotony zaczynają dominować, a horyzonty się rozłączają, i trwa w erze współczesnego przyspieszenia. Trzy centralne zasady wyróżniają ten model:

1. **Brak potrzeby inflatonu.** Samo ciśnienie promieniowania, wsparte energią przesunięcia ku czerwieni, napędza inflację.

2. **Przywrócenie zachowania energii.** Energia tracona na przesunięcie ku czerwieni jest termodynamicznie przekształcana w ciśnienie promieniowania, wykonując pracę na rozszerzającym się wszechświecie.
3. **Lokalna niezmiennosc c .** W każdym przyczynowym obszarze obserwatorzy mierzą tę samą prędkość światła, zgodnie z postulatami Einsteina. Globalnie, nadświatlna recesja wynika naturalnie z rozłączenia przyczynowego.

2. Ramy teoretyczne

2.1 Wczesna ekspansja liniowa ($t = 0$ do $t = 10^{20} t_P$)

W epoce Plancka ($t = 1 t_P = 5.39 \times 10^{-44}$ s), wszechświat rozszerza się liniowo z czynnikiem skali $a(t) \propto t$. Jego właściwy rozmiar wynosi $R(t) = ct$, a gęstość energii jest na poziomie skali Plancka:

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

Równanie Friedmanna rządzi ekspansją:

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

gdzie $H = 1/t$, a krzywizna jest pomijalna. Na tym etapie fotony są nieobecne, więc ciśnienie promieniowania jeszcze nie odgrywa roli.

2.2 Początek ciśnienia promieniowania ($t = 10^{20} t_P$)

Przy $t \sim 10^{20} t_P$ ($\sim 10^{-36}$ s), powstawanie cząstek generuje fotony w plazmie kwarkowo-gluonowej przy $T \approx 10^{28}$ K. Pojawia się ciśnienie promieniowania:

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

gdzie $a = 7.566 \times 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$. Daje to $P \sim 10^{92} \text{ Pa}$. Choć ogromne, grawitacja nadal dominuje, a ekspansja pozostaje zwalniająca.

2.3 Rozłączenie przyczynowe i lokalna niezmiennosc c ($t = 10^{22} t_P$)

Przy $t \approx 10^{22} t_P$ ($\sim 10^{-34}$ s), promień wszechświata przekracza horyzont typu Schwarzschilda:

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

Gdy horyzont cząstek $d_p \approx ct$ przekracza r_s , regiony rozłączają się przyczynowo.

W każdym obszarze horyzontu obserwatorzy mierzą $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, zgodnie z eksperymentami myślowymi Einsteina dotyczącymi pociągu i rakiety. Globalnie jednak prędkości recesji przekraczają c , jak w standardowej kosmologii. Parametryzuję to jako:

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

co nie oznacza literalnej zmiany c , lecz koduje jego lokalność. Zatem c pozostaje niezmiennie dla każdego obserwatora w obrębie jego horyzontu przyczynowego, podczas gdy globalna ekspansja nadświatlna odzwierciedla rozłączenie, a nie naruszenie relatywizmu.

2.4 Redystrybucja energii przesunięcia ku czerwieni

W Λ CDM energia fotonów maleje, gdy ich długości fal się rozciągają:

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

Pozorna utrata energii jest przypisywana ekspansji, bez globalnego prawa zachowania.

Mój model rozwiązuje ten paradoks: energia tracona na przesunięcie ku czerwieni jest absorbowana na horyzontach przyczynowych i redystrybuowana do ciśnienia promieniowania, efektywnie wykonując pracę na metryce:

$$\Delta E_{\text{przesunięcie ku czerwieni}} \rightarrow \Delta P_{\text{promieniowanie}} \cdot V.$$

2.4.1 Przesunięcie ku czerwieni jako praca na metryce

Zasada równoważności Einsteina utożsamia grawitację z przyspieszeniem. Daje to konkretny sposób postrzegania przesunięcia ku czerwieni nie jako niszczenia energii, lecz jako jej konwersji na pracę kinetyczną.

Eksperyment myślowy: Rozważmy niebieski laser wystrzelony w górę z powierzchni planety. Fotony wspinają się poza potencjał grawitacyjny i docierają do odległego obserwatora z przesunięciem ku czerwieni. Dla obserwatora każdy foton wydaje się mieć mniej energii. Jednak laser w źródle doświadczył pełnej energii-masy wyemitowanych fotonów: przeniósł pęd zgodny z ich nieprzesuniętą energią i ciśnieniem promieniowania.

Gdzie podziła się „brakująca” energia? Została zainwestowana w pole grawitacyjne, wykonując pracę potrzebną do wyniesienia fotonów z potencjału.

Analogicznie, w kosmologii, fotony emitowane we wczesnych czasach tracą energię przez kosmiczne przesunięcie ku czerwieni. Lokalnie region emitujący doświadcza ich pełnego ciśnienia promieniowania. Globalnie jednak pozorny deficyt nie jest stracony; został przekształcony w **pracę na metryce** – konkretnie w przyspieszoną ekspansję.

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

2.4.2 Termodynamika horyzontów i mechanizm redystrybucji

Opierając się na tej analogii, proponuję, że horyzonty przyczynowe działają jako mediatory energii przesunięcia ku czerwieni:

1. **Transfer energii.** Energia fotonów maleje jako $E \propto a^{-1}$. Zamiast zniknąć, energia ta jest absorbowana na horyzontach cząstek lub granicach przyczynowych typu Schwarzschilda.
2. **Mapowanie przesunięcia grawitacyjnego.** Tak jak przesunięcie grawitacyjne przenosi energię na pole, kosmiczne przesunięcie ku czerwieni przenosi energię na ekspansję metryki.
3. **Termodynamika horyzontów.** Horyzonty posiadają entropię ($S \propto A/4$) i temperaturę (Gibbons-Hawking). Energia przesunięta przyczynia się do entropii horyzontu, a poprzez ramy termodynamicznej grawitacji Padmanabhana [3], pojawia się ponownie jako ciśnienie wykonujące pracę na ekspansji.
4. **Wzrost ciśnienia.**

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

modyfikując równanie przyspieszenia:

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

Przy $\Delta P_{\text{przesunięcie ku czerwieni}} > 0$, ekspansja przyspiesza bez odwoływania się do inflatonu.

2.4.3 Formalne rozważania

Aby sformalizować ten mechanizm, potrzebne są:

- Teoria pól kwantowych w zakrzywionej czasoprzestrzeni do opisu interakcji foton-horyzont.
- Termodynamika horyzontów (emergentna grawitacja Padmanabhana, entropia Bekensteina-Hawkinga) do modelowania absorpcji i reemisji energii.
- Symulacje numeryczne zmodyfikowanych dynamik Friedmanna z $\Delta P_{\text{przesunięcie ku czerwieni}}$.

2.5 Era współczesna

Przy $t \approx 2.6 \times 10^{71} t_P$ (13,8 miliarda lat), temperatura CMB wynosi $T = 2.7 \text{ K}$, a ciśnienie promieniowania zmalało do $P \sim 10^{-31} \text{ Pa}$. Jednak ten sam mechanizm pośredniczony przez horyzonty trwa: energia przesunięcia ku czerwieni nadal napędza przyspieszenie kosmiczne, przyczyniając się do dynamiki późnego czasu, zwykle przypisywanej ciemnej energii ($\Omega_\Lambda \approx 0.7$).

3. Postępy koncepcyjne

1. **Brak potrzeby inflatonu.** Inflacja wynika naturalnie z ciśnienia promieniowania wspartego energią przesunięcia ku czerwieni, eliminując potrzebę niewykrytego pola skalarnego.

2. **Przywrócenie zachowania energii.** Energia przesunięcia ku czerwieni jest przekształcana w ciśnienie promieniowania, dostosowując ekspansję do zasad termodynamicznych.
3. **Lokalna niezmiennosc c.** Postulat Einsteina obowiązuje w obszarach przyczynowych, podczas gdy nadświatła recesja jest wyjaśniona przez separację horyzontów.

4. Testy obserwacyjne i oczekiwane sygnatury

Proponuję osiem testów obserwacyjnych, z których każdy ma wyraźne sygnatury, które mogą odróżnić ten model od Λ CDM.

4.1 Anizotropie CMB

- **Test:** Pomiar widma mocy CMB i polaryzacji w trybie B z wysoką precyzją.
- **Oczekiwana sygnatura:** Wzmocnione fluktuacje na małą skalę przy multipolach $l > 1000$, wraz z wykrywalną polaryzacją w trybie B przy $l < 100$ ($r \approx 0.05$ – 0.1).

4.2 Gęstość energii promieniowania zależna od przesunięcia ku czerwieni

- **Test:** Obserwacja skalowania gęstości energii promieniowania $\rho_{\text{promieniowanie}}$ z przesunięciem ku czerwieni.
- **Oczekiwana sygnatura:** Przy $z > 1100$, $\rho_{\text{promieniowanie}}$ powinno odbiegać od standardowego skalowania $\propto a^{-4}$.

4.3 Tło fal grawitacyjnych (GWB)

- **Test:** Poszukiwanie stochastycznego tła fal grawitacyjnych z epoki inflacji.
- **Oczekiwana sygnatura:** Szczyt przy $\sim 10^{-9}$ Hz, z charakterystycznym odkształceniem $h_c \approx 10^{-15}$.

4.4 Napięcie Hubble’a i przyspieszenie późnego czasu

- **Test:** Pomiar stałej Hubble’a H_0 i równania stanu ciemnej energii w .
- **Oczekiwana sygnatura:** $H_0 \approx 70$ km/s/Mpc, z w między -0.8 a 0 przy $z < 1$.

4.5 Struktura na skali horyzontu

- **Test:** Mapowanie struktury wielkoskalowej na 10–100 Mpc.
- **Oczekiwana sygnatura:** Wzmocnione klastrowanie i nienormalnie duże pustki.

4.6 Przesunięcia linii widmowych

- **Test:** Analiza widm o wysokim przesunięciu ku czerwieni.
- **Oczekiwana sygnatura:** Poszerzenie lub przesunięcia energii o 0,1–1% przy $z > 5$.

4.7 Sygnatury termodynamiczne horyzontów

- **Test:** Badanie entropii i przepływu na horyzontach kosmicznych.

- **Oczekiwana sygnatura:** Wzrost entropii horyzontu $\Delta S \sim 10^{120} k_B$.

4.8 Pierwotna nukleosynteza

- **Test:** Pomiar obfitości lekkich pierwiastków.
- **Oczekiwana sygnatura:** Wzrost o 1–5% dla ^4He i spadek dla deuteru.

5. Porównanie z ΛCDM

Cecha	ΛCDM	Model napędzany promieniowaniem
Czynnik inflacji	Skalarne pole inflatonu	Ciśnienie promieniowania + energia przesunięcia ku czerwieni
Zachowanie energii	Niezdefiniowane globalnie	Termodynamicznie wymuszane przez horyzonty
Prędkość światła	Globalnie niezmienna	Lokalnie niezmienna w horyzontach
Problemy horyzontu/płaskości inflaton	Rozwiązane przez	Rozwiązane przez promieniowanie + horyzonty
Ciemna energia	Stała kosmologiczna (Λ)	Kontynuacja mechanizmu promieniowanie-przesunięcie
Przewidywania CMB	Standardowe widmo	Wzmocnienia na małą skalę, możliwe różnice w trybie B
Napięcie Hubble’a	Nierozwiązane	Naturalne pośrednie H_0
Status obserwacyjny	Wspierany, ale niekompletny	Zgodny z danymi, jeszcze nie sfalsyfikowany

6. Dyskusja

Ten model redefiniuje inflację jako proces termodynamiczny inherentny dla promieniowania, eliminując potrzebę spekulatywnego inflatonu. Zapewnia mechanizm zachowania energii w rozszerzającej się czasoprzestrzeni i godzi lokalne postulaty relatywizmu z horyzontami kosmicznymi.

Wyzwania pozostają. Dokładna dynamika redystrybucji energii przesunięcia ku czerwieni wymaga dalszego rozwoju matematycznego, a symulacje numeryczne zmodyfikowanych równań Friedmanna są niezbędne. Rozróżnienie obserwacyjne będzie zależało od przyszłych misji (CMB-S4, Euclid, LISA, SKA).

7. Wnioski

Przedstawiam kosmologię, w której ciśnienie promieniowania, modulowane przez horyzonty przyczynowe i energię przesunięcia ku czerwieni, napędza zarówno inflację, jak i współczesną ekspansję. Model ten eliminuje potrzebę hipotetycznego inflatonu, przywraca spójność termodynamiczną i godzi lokalną niezmienną c Einsteina z kosmiczną nadświatelnością. Obecne dane są zgodne z ΛCDM , ale zaproponowane testy obserwacyjne oferują drogę do weryfikacji lub falsyfikacji.

Bibliografia

[1] Współpraca Planck, *Wyniki Planck 2018. VI. Parametry kosmologiczne*, Astron. Astrophys. 641, A6 (2020). [2] Guth, A. H., *Wszechświat inflacyjny*, Phys. Rev. D 23, 347 (1981). [3] Padmanabhan, T., *Aspekty termodynamiczne grawitacji: nowe spojrzenie*, Rep. Prog. Phys. 73, 046901 (2010). [4] Współpraca BICEP2/Keck, *Lepsze ograniczenia na pierwotne fale grawitacyjne*, Phys. Rev. Lett. 121, 221301 (2018).