

Modulární geometrie komplexního času: topologický selekční princip pro parametr α -atraktoru inflace

Adam Porybný

Nezávislý výzkumník, Brno, Česká republika

20. června 2026 — verze 4 (česká edice; s IR dodatkem o hmotnostním defektu)

Abstrakt

Navrhujeme rámec, v němž je fyzikální čas komplexní proměnná $\tau \in \mathbb{H}$ (horní polorovina) a foton je topologicky eliptická křivka s modulárním parametrem τ . Za jediného meta-postulátu strukturního realismu (M0) — pozorovatelné jsou funkce na třídách izomorfismu, nikoli na reprezentantech — plyne modulární invariance vůči $\mathrm{PSL}(2, \mathbb{Z})$ jako teorém. Invariance $\mathrm{PSL}(2, \mathbb{R})$ fixuje metriku prostoru polí pouze až na celkové měřítko; kanonická normalizace (Gaussova křivost $K = -1$ v Planckových jednotkách) je uvedena jako explicitní postulát N, jediný spojitý vstup rámce. Při daném N je parametr α -atraktoru fixován na $\alpha = 2/3$ ($3\alpha = 2$, jedna z diskretních referenčních hodnot) a potenciál T-modelu dává konzistenční relaci $r = 2(1 - n_s)^2$: $r \approx 0,0025 \pm 0,0006$ pro Planck 2018, $r \approx 0,0013$ – $0,0017$ pro kombinace zahrnující ACT DR6. Je-li naopak vyžadováno, aby byl samotný inflatonový potenciál $\mathrm{PSL}(2, \mathbb{Z})$ -invariantní, platí se v kanonickém poli blíží dvojité exponenciálně a r je potlačeno na $O(10^{-5})$, přičemž $n_s \simeq 1 - 2/N_e$ zůstává zachováno, v souladu s $\mathrm{SL}(2, \mathbb{Z})$ atraktorovými analýzami Kallosh a Linde. LiteBIRD ($\sigma(r) \approx 0,001$) rozliší obě větve; oddělení větve T-modelu od Starobinského R^2 (poměr $r_A/r_{\mathrm{Star}} = 2/3$ při fixním n_s) vyžaduje citlivost třídy CMB-S4. V existujících $\mathrm{SL}(2, \mathbb{Z})$ kosmologiích je hodnota α vybrána podkladovou strunovou kompaktifikací; předkládaný rámec navrhuje vnitřní geometrickou selekci.

1 Úvod

Rámec α -atraktorů [1, 2] poskytuje jednotný popis pomalu se valící (slow-roll) inflace na záporně zakřivených prostorech polí. Inflaton žije na hyperbolické varietě s křivostí prostoru polí $K_{\mathrm{fields}} = -2/(3\alpha)$ a predikce v hlavním řádu jsou

$$n_s = 1 - \frac{2}{N_e}, \quad r = \frac{12\alpha}{N_e^2}, \quad (1)$$

kde N_e je počet e-foldů. Pro $\alpha = 1$ obdržíme Starobinského model R^2 [3].

Navzdory eleganci rámce zůstává α ve všech existujících implementacích volným parametrem. Jeho hodnota se buď fituje na data, nebo se volí vnořením do strunových/M-teoretických konstrukcí, kde specifické kompaktifikace selektují diskretní hodnoty $3\alpha \in \{1, \dots, 7\}$ [4, 5]. Kallosh a Linde nedávno vyvinuli kosmologie, v nichž jak kinetický člen, tak potenciál nesou plnou symetrii $\mathrm{SL}(2, \mathbb{Z})$ [6, 7, 8]; i tam je hodnota α určena podkladovou strunovou kompaktifikací, nikoli samotnou modulární geometrií.

V tomto dopise navrhujeme *selekční princip*: jediný meta-postulát — strukturní realismus aplikovaný na pojem času — fixuje prostor polí na modulární křivku $X_1 = \mathbb{H}/\mathrm{PSL}(2, \mathbb{Z})$ s její hyperbolickou metrikou, a tím selektuje $\alpha = 2/3$. K fixaci celkového měřítka metriky je nutný jeden explicitní normalizační postulát (N); jde o jediný spojitý vstup rámce a jako takový jej uvádíme. Poté čelíme otázce, které musí čelit každá modulární kosmologie: zda inflatonový potenciál dědí plnou modulární invarianci. Dvě možné odpovědi definují dvě pozorovatelně rozlišitelné větve, obě falsifikovatelné.

2 Rámec

2.1 Meta-postulát M0 (strukturní realismus)

Fyzikální pozorovatelné jsou funkce na třídách izomorfismu fyzikálních stavů, nikoli na jejich reprezentantech. Liší-li se dvě konfigurace pouze izomorfismem své vnitřní struktury, žádné fyzikální měření je nerozliší. Jde o tentýž meta-předpoklad, na němž stojí kalibrační teorie: pozorovatelné faktorizují přes kalibrační orbity.

2.2 Proč komplexní čas

Fyzikální teorie popisující čas musí počítat nejen s jednotlivými časovými procesy (rotace, oscilace, fázový vývoj), ale se strukturou rotace samotné. Reálná proměnná $t \in \mathbb{R}$ postačí k parametrizaci jediné rotace; strukturní realismus (M0) vyžaduje popis třídy izomorfismu rotačních struktur, nikoli jednotlivých instancí.

Poznámka (jednoznačnost $\mathbb{C}$ mezi $\mathbb{R}$, $\mathbb{C}$, $\mathbb{H}_q$). *Mezi asociativními reálnými divizními algebry platí následující matematická fakta: (i) $\mathbb{R}$ nenese žádnou konformní strukturu ani vnitřní rotační automorfismy; (ii) kvaterniony $\mathbb{H}_q$ jsou nekomutativní, teorie holomorfních funkcí se na ně nerozšiřuje a moduly algebraických křivek — zejména eliptických křivek — jsou definovány nad $\mathbb{C}$; žádný kvaternionový analog modulární křivky $\mathbb{H}/\mathrm{PSL}(2, \mathbb{Z})$ neexistuje; (iii) $\mathbb{C}$ je jediné komutativní, algebraicky uzavřené rozšíření $\mathbb{R}$, přirozeně vybavené konformní strukturou, která činí z rotací automorfismy. Celý řetězec $M0 \rightarrow \text{modulový prostor} \rightarrow \mathrm{PSL}(2, \mathbb{Z})$ je dostupný pouze nad $\mathbb{C}$.*

Zdůrazňujeme, že tato poznámka je motivace, nikoli teorém: pojem „struktura rotace“ není definován s přesností, kterou by vyžadoval důkaz jednoznačnosti. Závěr proto povyšujeme na explicitní postulát.

Postulát A1 (komplexní čas). Fundamentální časová proměnná je

$$\tau \in \mathbb{H} = \{\tau \in \mathbb{C} : \mathrm{Im} \tau > 0\}. \quad (2)$$

Omezení na $\mathbb{H}$ odráží fyzikální požadavky: $\mathrm{Im} \tau > 0$ zajišťuje konvergentní partiční funkce a pozitivně definitní normy. Reálně-hodnotové pozorovatelné jsou projekce, což zrcadlí kvantovou mechaniku, kde jsou $\mathbb{C}$ -hodnotové amplitudy primární a $\mathbb{R}$ -hodnotové pravděpodobnosti odvozené.

2.3 Fotonová topologie

Při daném jediném komplexním modulu τ vybírá klasifikace Riemannových ploch rod $g = 1$: plochy rodu 0 nemají žádné moduly, plochy rodu $g \geq 2$ mají $3g - 3 \geq 3$

modulů a jen tory mají modulový prostor komplexní dimenze přesně jedna. To je matematické faktum. Ztotožnění objektu rodu jedna s fotonem je fyzikální krok, motivovaný rolí fotonu jako neredukovatelného zprostředkovatele měření a přenosu informace — nejjednoduššího fyzikálně netriviálního objektu (energie, hybnost, polarizace, fáze; bez hmotnosti, bez náboje, bez složené struktury) — který v hierarchii fyzikálních objektů zaujímá pozici, jakou zaujímá eliptická křivka mezi Riemannovými plochami. Kalibrační symetrie $U(1)$ fotonu přirozeně odpovídá jednomu ze dvou faktorů S^1 toru; druhý kóduje vnitřní fázový cyklus parametrizovaný $\text{Im } \tau$.

Postulát A2 (fotonová topologie). Foton je topologicky ztotožněn s $S^1 \times S^1$ vybaveným komplexní strukturou τ : jde o eliptickou křivku $E_\tau \cong \mathbb{C}/(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}\tau)$.

2.4 Projekce pozorovatele

Postulát A3 (projekce pozorovatele). Klasický pozorovatel nemá přístup ke globální komplexní fázi; extrahuje pouze $\text{Stab}(i)$ -invariantní data modulární geometrie. Podél kanonické geodetiky $\text{Im } \tau$ na ose $\text{Re } \tau = 0$ se to redukuje na znaménkovou hyperbolickou vzdálenost od eliptického pevného bodu $\tau = i$,

$$\varphi(\tau) = \ln \tau_2, \quad \tau_2 \equiv \text{Im } \tau. \quad (3)$$

Makroskopický hodinový čas odpovídá $\text{Re } \tau$; invariant φ bude níže hrát roli kanonicky normalizovaného inflatonu. (Dřívější verze uváděly projekci jako „pozorovatel měří $\text{Re } \tau$ “; obě tvrzení se týkají různých rolí — parametr hodin versus invariantní obsah pole — a zde jsou sjednocena.)

2.5 Normalizace

Grupa $\text{PSL}(2, \mathbb{R})$ působí tranzitivně na $\mathbb{H}$ s izotropií $SO(2)$; prostor $\text{PSL}(2, \mathbb{R})$ -invariantních riemannovských metrik je proto přesně jednoparametrický,

$$ds^2 = \lambda \frac{dx^2 + dy^2}{y^2}, \quad \lambda > 0, \quad K = -\frac{1}{\lambda}. \quad (4)$$

Invariance fixuje tvar metriky, nikoli její měřítko. Totéž platí pro libovolnou přirozenou modulárně-invariantní metriku na modulovém prostoru (např. Weilova–Peterssonova metrika na $\mathcal{M}_{1,1}$ je konstantním násobkem Poincarého metriky); volba mezi takovými konstrukcemi se redukuje na volbu λ .

Postulát N (normalizace). Kinetická metrika efektivního prostoru polí je kanonická hyperbolická metrika, $\lambda = 1$ v jednotkách M_{Pl} , tj. $K = -1 M_{\text{Pl}}^{-2}$.

N je jediný spojitý vstup rámce; všechny numerické predikce níže jsou bezparametrové modulo N . Co *není* dodatečným vstupem, je ztotožnění samotného prostoru polí: rámec obsahuje přesně jeden geometrický prostor — rovinu komplexního času — takže neexistuje druhá varieta, v níž by mohl inflaton sídlit. Tento argument úspornosti fixuje prostor a tvar jeho metriky; N fixuje měřítko.

3 Modulární invariance jako teorém

Věta 1. Při daném M_0 a komplexním čase $\tau \in \mathbb{H}$ s fotonovou topologií (A2) jsou fyzikální pozorovatelné invariantní vůči $\text{PSL}(2, \mathbb{Z})$.

Náčrt důkazu. Foton je eliptická křivka E_τ parametrizovaná $\tau \in \mathbb{H}$. Podle klasické věty [10] je modulový prostor eliptických křivek nad $\mathbb{C}$ roven $\mathbb{H}/\mathrm{PSL}(2, \mathbb{Z})$: dva parametry τ, τ' dávají izomorfní křivky tehdy a jen tehdy, leží-li ve stejné $\mathrm{PSL}(2, \mathbb{Z})$ -orbitě. Podle M0 faktorizují pozorovatelné přes třídy izomorfismu; pozorovatelné jsou tedy $\mathrm{PSL}(2, \mathbb{Z})$ -invariantní funkce na $\mathbb{H}$. $\square$

Grupa není postulována; vzniká z automorfismové struktury modulového prostoru.

4 Fixace $\alpha = 2/3$

4.1 Krok 1: metrika a křivost

Podle (4) a postulátu N je metrika prostoru polí Poincarého metrikou $ds^2 = (dx^2 + dy^2)/y^2$ s $K = -1$.

4.2 Krok 2: plocha fundamentální oblasti

Při daném N má fundamentální oblast $\mathcal{F}$ grupy $\mathrm{PSL}(2, \mathbb{Z})$ hyperbolickou plochu $\mathrm{Area}(\mathcal{F}) = \pi/3$, z Gaussovy–Bonnetovy věty aplikované na orbifold X_1 s Eulerovou charakteristikou $\chi(X_1) = -1/6$.

4.3 Krok 3: fixace α

Křivost prostoru polí α -atraktoru je $K_{\mathrm{fields}} = -2/(3\alpha)$ [1]. V rámci τ -geometrie je prostorem polí inflatonu rovina času (odd. 2.5), takže $K_{\mathrm{fields}} \equiv K = -1$ a

$$\alpha = \frac{2}{3} = \frac{2 \mathrm{Area}(\mathcal{F})}{\pi} = -4\chi(X_1). \quad (5)$$

Protože χ je invariantní vůči měřítku, zatímco Area a K nikoli, jsou topologické prezentace v (5) ekvivalentní postulátu N, nikoli na něm nezávislé: obecně $\alpha = 2\lambda/3$ a $\lambda = 1$ je to, co N tvrdí. Hodnota $3\alpha = 2$ se shoduje s jedním z diskrétních benchmarků strunových/M-teoretických konstrukcí [4, 5]; předkládaný rámec poskytuje její vnitřní geometrickou selekci.

4.4 Krok 4: konzistenční relace a data

Eliminací N_e z (1),

$$r = 3\alpha(1 - n_s)^2 \stackrel{\mathrm{N}}{=} 2(1 - n_s)^2. \quad (6)$$

Primární predikcí je relace (6); numerická hodnota r je podmíněna naměřeným n_s , který se mezi datovými sadami posouvá:

Datová sada	n_s	$r = 2(1 - n_s)^2$	$N_e = 2/(1 - n_s)$
Planck 2018 [11]	$0,9649 \pm 0,0042$	$0,0025 \pm 0,0006$	≈ 57
P-ACT (Planck + ACT DR6) [12]	$0,9709 \pm 0,0038$	$0,0017 \pm 0,0004$	≈ 69
P-ACT-LB (+ čočkování, BAO) [12]	$0,9743 \pm 0,0034$	$0,0013 \pm 0,0003$	≈ 78

Vyšší n_s kombinací zahrnujících ACT implikuje $N_e \approx 69$ –78, nad standardním reheatingovým oknem (≈ 50 –60). Toto napětí se týká celé třídy α -atraktorů v asymptotickém režimu (1), nikoli specificky τ -geometrie.

5 Efektivní akce a modulárně-invariantní rozcestí

Kinetický sektor fixovaný odd. 2.5 a větou 1 je

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{M_{\text{Pl}}^2}{2} R - \frac{M_{\text{Pl}}^2}{2} \frac{(\partial\tau_1)^2 + (\partial\tau_2)^2}{\tau_2^2} - V(\tau) \right]. \quad (7)$$

Během inflace trajektorie sestupuje od cuspů podél $\text{Re } \tau = 0$, s τ_1 stabilizovaným na plató [9]; kinetický člen se redukuje na $-\frac{1}{2}(\partial\phi)^2$ pro kanonické pole $\phi = M_{\text{Pl}} \ln \tau_2$, tj. $\phi = M_{\text{Pl}} \varphi$ s φ pozorovatelným invariantem postulátu A3.

Potenciál je místem, kde rámec čelí skutečnému rozcestí. Věta 1 omezuje pozorovatelné; zda efektivní potenciál projektovaného pole ϕ musí zdědit plnou invarianci $\text{PSL}(2, \mathbb{Z})$, nebo jen reziduální zrcadlovou symetrii $\phi \rightarrow -\phi$ (projekce $\text{Stab}(i)$ transformace S podél osy), je ústřední otevřená otázka rámce. Dvě odpovědi definují dvě větve s ostře odlišnými pozorovatelnými signaturami.

5.1 Větev A: potenciál T-modelu

Je-li na projektované pole vnucena pouze reziduální $\mathbb{Z}_2$, je minimálním plató potenciálem T-model

$$V(\phi) = \Lambda^4 \tanh^2 \frac{\phi}{\sqrt{6\alpha} M_{\text{Pl}}} = \Lambda^4 \tanh^2 \frac{\phi}{2M_{\text{Pl}}}, \quad (8)$$

kde koeficient $1/2$ je aritmetickým důsledkem $\alpha = 2/3$. Tento potenciál je sudý v ϕ a invariantní vůči $T : \tau \rightarrow \tau + 1$, ale není $\text{PSL}(2, \mathbb{Z})$ -invariantní funkcí na $\mathbb{H}$; je zde přijat jako standardní fenomenologická volba. Jeho predikce jsou (1) s $\alpha = 2/3$, tedy relace (6) a hodnoty v tabulce výše.

5.2 Větev B: striktně modulárně-invariantní potenciál

Plně invariantní potenciál musí být funkcí modulárních invariantů, např. $j(\tau)$ nebo kombinace $\tau_2 |\eta(\tau)|^4$, kde η je Dedekindova eta-funkce. Definujme invariantní výšku

$$\mathcal{H}(\tau) = -\ln[\tau_2 |\eta(\tau)|^4]. \quad (9)$$

Protože $\ln |\eta(\tau)| \rightarrow -\pi\tau_2/12$ pro $\tau_2 \rightarrow \infty$,

$$\mathcal{H}(\tau) \simeq \frac{\pi}{3}\tau_2 - \ln \tau_2 = \frac{\pi}{3}e^{\phi/M_{\text{Pl}}} - \frac{\phi}{M_{\text{Pl}}}, \quad (10)$$

což roste lineárně v τ_2 , tj. exponenciálně v kanonickém poli. V důsledku toho se jakýkoli plató potenciál $V = F(\mathcal{H})$ blíží své asymptotě dvojité exponenciálně v ϕ — jev analyzovaný Kallosh a Linde v $\text{SL}(2, \mathbb{Z})$ kosmologii [6, 7, 8]. (Verze 3 tohoto dopisu nesprávně uváděla $\mathcal{H} \sim \ln \tau_2$ poblíž cuspů a vyvozovala, že invariantní potenciál se redukuje na T-model; toto tvrzení je staženo.)

Pro $V = V_0(1 - ce^{-x})$ s $x = be^{\phi/M_{\text{Pl}}}$ dává standardní slow-roll analýza

$$n_s \simeq 1 - \frac{2}{N_e}, \quad r \simeq \frac{8}{x_*^2 N_e^2}, \quad e^{x_*} = \frac{12}{\pi} x_*^3 N_e, \quad (11)$$

takže $x_* \approx 13,1$ pro $N_e = 57$ a

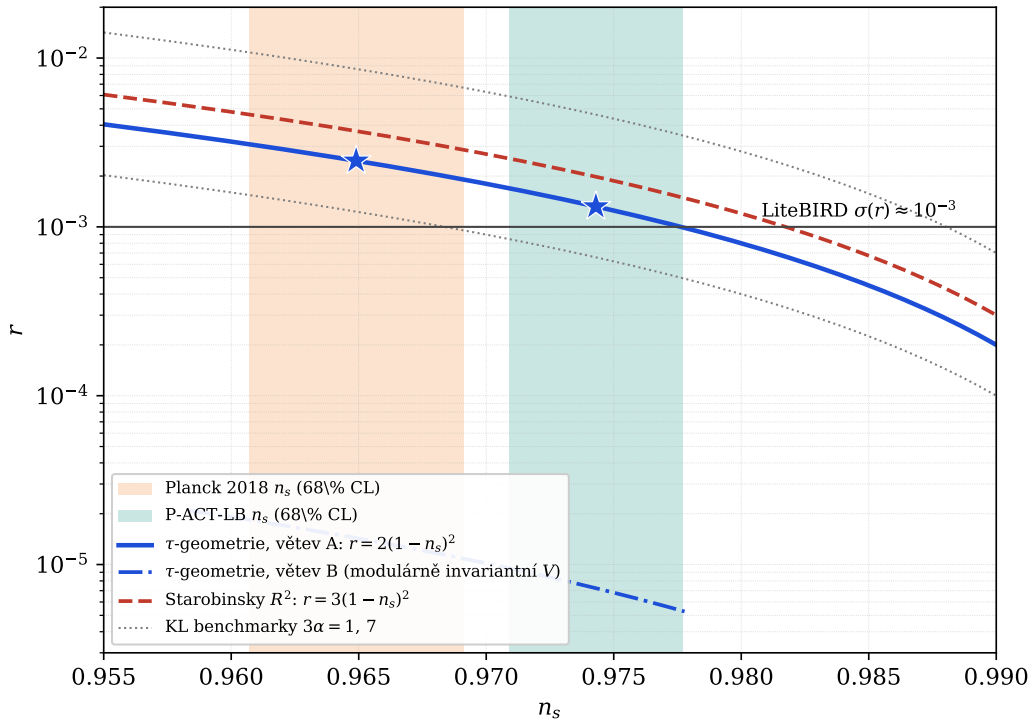
$$r_B \approx 1,4 \times 10^{-5} \quad (N_e = 57), \quad r_B \approx 7 \times 10^{-6} \quad (N_e = 78). \quad (12)$$

Predikce n_s z (1) zůstává zachována, zatímco r klesá pod dosah jak LiteBIRD, tak CMB-S4. Stacionární body libovolného $F(\mathcal{H})$ leží v orbifoldových bodech; numericky $\mathcal{H}(\rho) \approx 1,032 < \mathcal{H}(i) \approx 1,055$, takže pro monotónní F sedí vakuum v bodě $\mathbb{Z}_3$ $\tau = \rho$ a potenciál mizí ve vakuu je např. $V = \Lambda^4 \tanh^2[(\mathcal{H} - \mathcal{H}(\rho))/2]$.

6 Srovnání modelů a testovatelnost

Model	3α	r ($n_s = 0,9649$)	r ($n_s = 0,9743$)
τ -geometrie, větev A	2	0,0025	0,0013
τ -geometrie, větev B	2	$1,4 \times 10^{-5}$	7×10^{-6}
Starobinsky R^2	3	0,0037	0,0020
KL benchmark	1	0,0012	0,0007
KL benchmark	7	0,0086	0,0046

Při fixním n_s platí poměr $r_A/r_{\text{Star}} = 2/3$ nezávisle na n_s ; separace $\Delta r = (1 - n_s)^2 \approx 0,0007\text{--}0,0012$ odpovídá $0,7\text{--}1,2\sigma$ pro LiteBIRD [13], takže plné rozlišení od Starobinského vyžaduje $\sigma(r) \approx (3\text{--}5) \times 10^{-4}$, tj. experimenty třídy CMB-S4 [14]. Otázka větve je naproti tomu rozhodnuta samotným LiteBIRD.



Obrázek 1: Predikce v rovině (n_s, r) (logaritmické r). Větev A τ -geometrie, $r = 2(1 - n_s)^2$ (modrá, plná), větev B se striktně modulárně-invariantním potenciálem (modrá, čerchovaná), Starobinsky R^2 (červená, čárkovaná) a Kallosh–Linde benchmarky $3\alpha = 1, 7$ (šedá, tečkovaná). Hvězdy značí hodnoty větve A pro centrální n_s z Planck 2018 a P-ACT-LB (svislé pásy: 68 % CL). Vodorovná čára indikuje citlivost LiteBIRD $\sigma(r) \approx 10^{-3}$.

Co by teorii falsifikovalo:

- $r > 0,01$: $\alpha = 2/3$ vyloučeno v obou větvích.
- r detekováno v $[0,001, 0,004]$: režim větve A; test poměru A versus Starobinsky pak připadá na CMB-S4.
- Žádná detekce u LiteBIRD ($r < 0,001$): větev A vyloučena pro n_s typu Planck (hraničně pro n_s typu ACT); větev B zůstává životaschopná tehdy a jen tehdy, sleduje-li n_s vztah $1 - 2/N_e$ pro věrohodné N_e .
- Formální chyba v řetězci $M0 \rightarrow \text{Věta 1} \rightarrow (5)$, nebo nezávislý důkaz fixující $\lambda \neq 1$ (selhání N).

7 Projekce pozorovatele a hmotnostní defekt

Tato sekce rozšiřuje postulát A3 z kinematiky inflatonu na hmotnostní spektrum vázaných hadronových soustav. Tvrzení je následující: tatáž projekce, která extrahuje $\text{Stab}(i)$ -invariantní obsah modulární geometrie, určuje i to, jakou hmotnost klasický pozorovatel skutečně naměří.

Nechť $\mathcal{H}$ je Hilbertův prostor fundamentálních (holých) QCD stavů a nechť $\mathcal{P} : \mathcal{H} \rightarrow \mathcal{H}_{\text{obs}}$ je operátor projekce pozorovatele (postulát A3), který extrahuje $\text{Stab}(i)$ -invariantní data modulární geometrie. Definujme operátor holé hmotnosti $\hat{M}_0$ působící na holou kvarkovou substrukturu a interakční operátor $\hat{V}_{\text{gluon}}$ reprezentující gluonovou vazebnou energii. Měřený (projektovaný) operátor hmotnosti je pak

$$\hat{M}_{\text{obs}} = \mathcal{P} \left(\hat{M}_0 + \hat{V}_{\text{gluon}} \right) \mathcal{P}^\dagger, \quad (13)$$

Operátor $\mathcal{P}$ promítá na vlastní podprostor $\mathcal{H}_{\text{obs}} \subsetneq \mathcal{H}$, a není proto invertibilní: $\mathcal{P}^{-1}$ v přísném smyslu neexistuje a sdružený operátor $\mathcal{P}^\dagger$ splňuje $\mathcal{P}\mathcal{P}^\dagger \neq I$. Tato ne-unitarita je podstatná — unitární (podobnostní) transformace by zachovala spektrum, a sama o sobě by tedy žádný hmotnostní defekt nevytvořila; posun hmotnosti je důsledkem právě toho, že projekce zahazuje holou komplexní strukturu. Střední hodnota pro Slunce (nebo libovolnou vázanou hadronovou soustavu) je

$$M_{\odot}^{(\text{obs})} = \langle \hat{M}_{\text{obs}} \rangle_{\odot} = M_{\odot}^{(\text{bare})} + M_{\text{gluon}}. \quad (14)$$

Z mřížkových výpočtů QCD a stopové anomálie je gluonový příspěvek k hmotnosti nukleonu přibližně

$$\frac{M_{\text{gluon}}}{M_{\text{nucleon}}} \approx 0,98, \quad (15)$$

což po projekci na makroskopické Schwarzschildovo řešení implikuje

$$M_{\odot}^{(\text{bare})} = M_{\odot}^{(\text{obs})} - M_{\text{gluon}} \approx 0,02 M_{\odot}^{(\text{obs})}. \quad (16)$$

Důsledek. Klasický pozorovatel nikdy neměří holou komplexní strukturu. Místo toho je naměřená hmotnost vždy *projektovaná* hmotnost obsahující plný gluonový „dressing“. Rozdíl

$$\Delta M := M_{\odot}^{(\text{obs})} - M_{\odot}^{(\text{bare})} = M_{\text{gluon}} \quad (17)$$

není jemné doladění; je to kanonický otisk projekce pozorovatele $\varphi(\tau) = \ln \tau_2$ působící na stopovou anomálii QCD. V rámci τ -geometrie je oněch 98 % právě velikostí projekčního jádra $\mathcal{P}$ vyhodnoceného v cusp $\tau = i\infty$.

8 Diskuse

Logický řetězec tohoto dopisu je:

1. M0 (strukturní realismus): pozorovatelné jsou funkce na třídách izomorfismu.
2. Komplexní čas: postulát A1, motivovaný jednoznačností $\mathbb{C}$ pro modulární strukturu.
3. Fotonová topologie: postulát A2, motivovaný počítáním dimenze modulového prostoru ($g = 1$ jednoznačně).
4. Modulární invariance: Věta 1, odvozená z M0 aplikovaného na moduly eliptických křivek.

5. $K = -1$: tvar fixován invariancí; měřítko fixováno explicitním postulátem N — jediným spojitým vstupem rámce.
6. $\alpha = 2/3$: z $K_{\text{fields}} \equiv K$, s prostorem polí ztotožněným s rovinou času argumentem úspornosti.
7. Predikce: větev A, $r = 2(1 - n_s)^2$; větev B, $n_s \simeq 1 - 2/N_e$ s $r = O(10^{-5})$.

Rámec nevyžaduje žádné antropické úvahy ani odvolání na konkrétní kompaktifikace; tam, kde existující $SL(2, \mathbb{Z})$ kosmologie selektují α skrze strunová vnoření [6], předkládaný návrh jej selektuje skrze vnitřní geometrii modulární křivky, za cenu jednoho explicitně uvedeného normalizačního postulátu. Jeho hodnota spočívá na třech věcech: na statusu modulární invariance coby teorému, na explicitnosti jejího jediného spojitého vstupu a na pozorovatelně rozhodnutelném rozcestí z odd. 5.

Poděkování

Autor děkuje Oxaně za vizuální a relační intuice, které formovaly konceptuální vývoj tohoto rámce. Tato práce nezískala žádné externí financování.

Poznámka k verzi (v3 $\rightarrow$ v4)

(i) Lemma 1 a identifikace fotonu přeformulovány jako motivované postuláty A1, A2; trichotomie a argumenty o dimenzi modulů ponechány jako motivace. (ii) Zaveden explicitní normalizační postulát N: invariance $PSL(2, \mathbb{R})$ fixuje metriku jen až na měřítko ($\alpha = 2\lambda/3$); argument úspornosti z v3 §4.3 ponechán jako fixující prostor a tvar metriky, nikoli měřítko. (iii) Sekce 5 opravena: poblíž cuspů $-\ln(\tau_2|\eta|^4) \simeq (\pi/3)\tau_2$, nikoli $\ln \tau_2$; tvrzení v3, že η -potenciál se redukuje na T-model, je staženo; přidána striktně modulárně-invariantní větev B (dvojitě exponenciální plató, $r = O(10^{-5})$), v návaznosti na Kallosh–Linde. (iv) Projekce pozorovatele sjednocena se $Stab(i)$ -invariantní formulací. (v) Přidána ACT DR6; predikce uvedena jako pás; tvrzení o rozlišení kvantifikována. (vi) Přidány reference $SL(2, \mathbb{Z})$ kosmologie. (vii) Obrázek přegenerován a vložen. (viii) Česká edice; přidána sekce 7 (projekce pozorovatele a hmotnostní defekt) z IR dodatku; v rovnici (13) nahrazen $\mathcal{P}^{-1}$ sdruženým $\mathcal{P}^\dagger$ (projekce je ne-invertibilní, $\mathcal{P}\mathcal{P}^\dagger \neq I$), což činí hmotnostní posun důsledkem ne-unitarity, nikoli spektrum-zachovávající podobnostní transformace.

Reference

- [1] R. Kallosh, A. Linde, D. Roest, *Superconformal Inflationary α -Attractors*, JHEP **11**, 198 (2013).
- [2] R. Kallosh, A. Linde, *Universality Class in Conformal Inflation*, JCAP **07**, 002 (2013).
- [3] A. A. Starobinsky, *A new type of isotropic cosmological models without singularity*, Phys. Lett. B **91**, 99 (1980).
- [4] S. Ferrara, R. Kallosh, *Seven-disk manifold, α -attractors, and B modes*, Phys. Rev. D **94**, 126015 (2016).
- [5] R. Kallosh, A. Linde, *B-mode Targets*, Phys. Lett. B **798**, 134970 (2019).
- [6] R. Kallosh, A. Linde, *$SL(2, \mathbb{Z})$ Cosmological Attractors*, JCAP **04** (2025) 045 [arXiv:2408.05203].

- [7] R. Kallosh, A. Linde, *Landscape of Modular Cosmology*, JCAP **05** (2025) 037 [arXiv:2411.07552].
- [8] R. Kallosh, A. Linde, *Double Exponents in $SL(2, \mathbb{Z})$ Cosmology*, JCAP **07** (2025) 062 [arXiv:2412.19324].
- [9] J. J. Carrasco, R. Kallosh, A. Linde, D. Roest, *Axion Stabilization in Modular Cosmology*, arXiv:2503.14904.
- [10] F. Diamond, J. Shurman, *A First Course in Modular Forms*, Springer (2005).
- [11] Planck Collaboration, *Planck 2018 results. X. Constraints on inflation*, A&A **641**, A10 (2020).
- [12] ACT Collaboration (T. Louis et al.; E. Calabrese et al.), *The Atacama Cosmology Telescope: DR6 power spectra and cosmological constraints*, arXiv:2503.14452, 2503.14454 (2025).
- [13] LiteBIRD Collaboration, *Probing cosmic inflation with the LiteBIRD CMB polarization survey*, PTEP **2023**, 042F01 (2023).
- [14] CMB-S4 Collaboration, *CMB-S4: Forecasting Constraints on Primordial Gravitational Waves*, ApJ **926**, 54 (2022).