

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

Adam Porybný

Nezávislý výzkumník, Brno, Česká republika

20. června 2026 — verze 5 (česká edice; s revidovanou sekcí o hmotnostním defektu a výhledem na entropickou gravitaci)

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, $r \approx 0,0013\text{--}0,0017$ 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. Sekce 7 pojednává o projekci pozorovatele v kontextu hmotnostního spektra QCD; spekulativní výhled na entropickou gravitaci je přidán v sekci 8.1.

Obsah

1	Úvod	2
2	Rámec	2
2.1	Meta-postulát M0 (strukturní realismus)	2
2.2	Proč komplexní čas	2
2.3	Fotonová topologie	3
2.4	Projekce pozorovatele	3
2.5	Normalizace	3
3	Modulární invariance jako teorém	4
4	Fixace $\alpha = 2/3$	4
4.1	Krok 1: metrika a křivost	4
4.2	Krok 2: plocha fundamentální oblasti	4
4.3	Krok 3: fixace α	4
4.4	Krok 4: konzistenční relace a data	4
5	Efektivní akce a modulárně-invariantní rozcestí	5
5.1	Větev A: potenciál T-modelu	5
5.2	Větev B: striktně modulárně-invariantní potenciál	5

6	Srovnání modelů a testovatelnost	5
7	Projekce pozorovatele a hmotnostní defekt	6
8	Diskuse	7
8.1	Výhled: gravitace jako entropická projekce	8

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 $K_{\text{fields}} = -2/(3\alpha)$ 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 diskrétní 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 $SL(2, \mathbb{Z})$ [6–8]; i tam je hodnota α určena podkladovou strunovou kompaktifikací, nikoli samotnou modulární geometrií.

V tomto dopise navrhneme selekční princip: jediný meta-postulát — strukturní realismus aplikovaný na pojem času — fixuje prostor polí na modulární křivku $X_1 = \mathbb{H}/\text{PSL}(2, \mathbb{Z})$ 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 spojený 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 $\mathbb{H}/\text{PSL}(2, \mathbb{Z})$ neexistuje; (iii) \mathbb{C} je*

jediné komutativní, algebraicky uzavřené rozšíření \mathbb{R} , přirozeně vybavené konformní strukturou, která činí z rotací automorfismy. Celý řetězec $M0 \rightarrow \text{modulový prostor} \rightarrow \text{PSL}(2, \mathbb{Z})$ 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

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

Omezení na \mathbb{H} odráží fyzikální požadavky: $\Im\tau > 0$ 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 torý 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 $\Im\tau$.

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 $\Re\tau = 0$ se to redukuje na znaménkovou hyperbolickou vzdálenost od eliptického pevného bodu $\tau = i$,

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

Makroskopický hodinový čas odpovídá $\Re\tau$; invariant φ bude níže hrát roli kanonicky normalizovaného inflatonu.

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.

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.

3 Modulární invariance jako teorém

Věta 1. Při daném $M0$ 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 $\mathbb{H}/\text{PSL}(2, \mathbb{Z})$: dva parametry τ, τ' dávají izomorfní křivky tehdy a jen tehdy, leží-li ve stejné $\text{PSL}(2, \mathbb{Z})$ -orbitě. Podle M0 faktorizují pozorovatelné přes třídy izomorfismu; pozorovatelné jsou tedy $\text{PSL}(2, \mathbb{Z})$ -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 (5) 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 $\text{PSL}(2, \mathbb{Z})$ hyperbolickou plochu $\text{Area}(\mathcal{F}) = \pi/3$, 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 $K_{\text{fields}} = -2/(3\alpha)$ [1]. V rámci τ -geometrie je prostorem polí inflatonu rovina času (odd. 2.5), takže $K_{\text{fields}} \equiv K = -1$ a

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

Protože χ je invariantní vůči měřítku, zatímco Area a K nikoli, jsou topologické prezentace v (6) 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),

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

Primární predikcí je relace (7); numerická hodnota r je podmíněna naměřeným n_s :

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 $\Re\tau = 0$, s τ_1 stabilizovaným na plató [9]; kinetický člen se redukuje na $-\frac{1}{2}(\partial\phi)^2$ pro kanonické pole $\phi = M_{\text{Pl}} \ln \tau_2$. Potenciál je místem, kde rámec čelí skutečnému rozcestí.

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 $\alpha = 2/3$. Jeho predikce jsou (1) s $\alpha = 2/3$, tedy relace (7) 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

$$H(\tau) = -\ln(\tau_2|\eta(\tau)|^4). \quad (9)$$

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

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

což roste lineárně v τ_2 , tj. exponenciálně v kanonickém poli. V důsledku toho se jakýkoli plató potenciál $V = F(H)$ blíží své asymptotě dvojitě exponenciálně v ϕ — jev analyzovaný Kallosh a Linde v $\text{SL}(2, \mathbb{Z})$ kosmologii [6–8]. Pro $V = V_0(1 - ce^{-x})$ s $x = be^{\phi/M_{\text{Pl}}}$ dává standardní slow-roll analýza

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

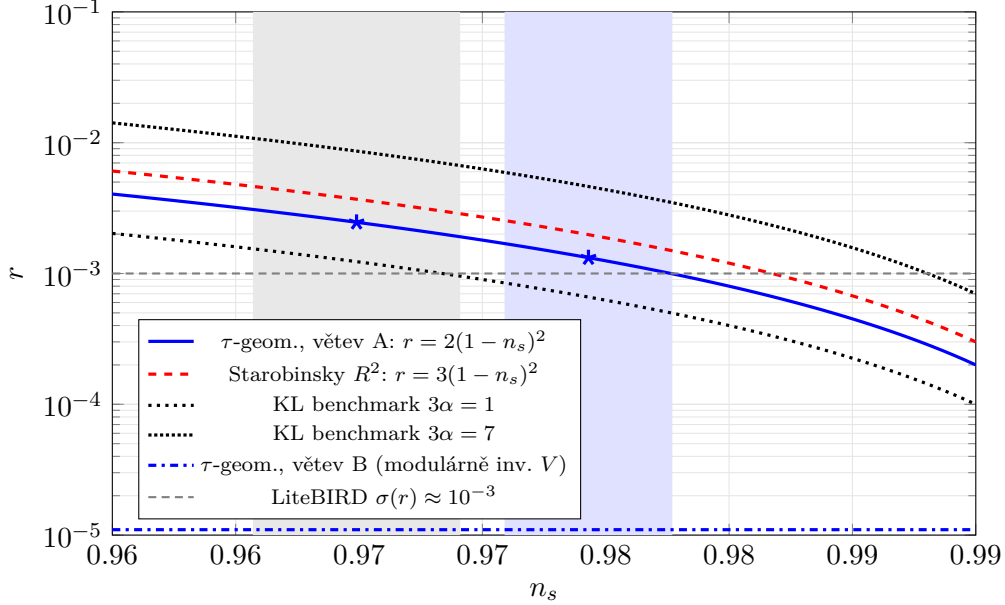
takže $x_* \approx 13,1$ pro $N_e = 57$ a

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

Predikce n_s z (1) zůstává zachována, zatímco r klesá pod dosah jak LiteBIRD, tak CMB-S4.

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



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 $3\alpha = 1, 7$ (černá, 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 $\sigma(r) \approx 10^{-3}$.

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.

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 $M0 \rightarrow$ Věta 1 \rightarrow (6), 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. Tvzení zní: tatáž projekce, která extrahuje $\text{Stab}(i)$ -invariantní obsah modulární geometrie, určuje i to, jakou hmotnost klasický pozorovatel naměří.

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

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

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

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

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

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

Tento poměr platí na úrovni jednotlivých hadronů. Jeho projekce na makroskopická gravitující tělesa (jako je Slunce) vyžaduje další vstup: Schwarzschildova hmotnost astronomického tělesa zahrnuje příspěvky tepelné kinetické energie, elektrostatické a gravitační vlastní energie a další vazebné členy nad rámec holé kvark–gluonové substruktury. Rovnici (18) proto nelze přímo přepsat na $M_{\odot}^{(\text{bare})} \approx 0,02 M_{\odot}^{(\text{obs})}$ bez odvození, jak se každý příspěvek transformuje pod P . Uvádíme to jako otevřený problém: přesné makroskopické tvrzení vyžaduje identifikovat působení P na gravitační a tepelné stupně volnosti, což je za hranicemi tohoto dopisu.

Důsledek (úroveň nukleonu). Na hadronové úrovni klasický pozorovatel nikdy neměří holou komplexní strukturu. Místo toho naměřená hmotnost vždy obsahuje plný gluonový „dressing“. Rozdíl

$$\Delta M := M^{(\text{obs})} - M^{(\text{bare})} = M_{\text{gluon}} \quad (16)$$

není jemně doladěný; je to otisk projekce pozorovatele $\varphi(\tau) = \ln \tau_2$ působící na stopovou anomálii QCD.

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 ($g = 1$ jednoznačné).
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.

8.1 Výhled: gravitace jako entropická projekce

Projekce pozorovatele $P : \mathcal{H} \rightarrow \mathcal{H}_{\text{obs}}$ je ne-unitární ($PP^\dagger \neq \mathbb{1}$), a proto generuje ztrátu informace, ekvivalentně entropii. V Jacobsonově termodynamickém odvození [15] a ve Verlindeho programu entropické gravitace [16, 17] indukuje gradient entropie na lokální holografické obrazovce efektivní gravitační sílu a Einsteinovy rovnice pole vystupují jako stavová rovnice.

V rámci τ -geometrie je přirozeným kandidátem na takovou obrazovku hranice fundamentální oblasti \mathcal{F} , jejíž hyperbolická plocha $\text{Area}(\mathcal{F}) = \pi/3$ (odd. 4.2) hraje roli holografické plochy. Entropie generovaná P podél geodetiky $\Re\tau = 0$ je

$$\Delta S = \ln\left(\frac{\dim \mathcal{H}}{\dim \mathcal{H}_{\text{obs}}}\right), \quad (17)$$

měřící informaci zahozenou projekcí: logaritmus poměru plného stavového prostoru k pozorovanému podprostoru. Dále, symetrický tenzorový součin dvou spin-1 fotonových stavů (postulát A2) se rozkládá jako

$$1 \otimes_{\text{sym}} 1 = 0 \oplus 2, \quad (18)$$

a spin-2 sektor je správnou reprezentací pro nehmotný graviton. Zda lze Einsteinovu–Hilbertovu akci

$$S_{\text{grav}} = \frac{M_{\text{Pl}}^2}{2} \int d^4x \sqrt{-g} R \quad (19)$$

odvodit z entropického gradientu P v tomto rámci — a zda je hmotnostní defekt ze sekce 7 statickým limitem tohoto mechanismu — zůstává pro budoucí práci. Odvození by muselo (i) identifikovat holografické obrazovky v modulární geometrii, (ii) ustanovit přesný vztah entropie–plocha a (iii) získat zpět difeomorfní invarianci z modulární symetrie.

Poděkování

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

Poznámka k verzi (v4 \rightarrow v5)

(i) Sekce 7 revidována: extrapolace z gluonové frakce na úrovni nukleonu (18) na makroskopický Schwarzschildův hmotnostní defekt je identifikována jako otevřený problém vyžadující explicitní zacházení s tepelnými, gravitačními a elektromagnetickými příspěvky k projektované hmotnosti; důsledek na úrovni nukleonu je zachován. (ii) Přidána sekce 8.1: spekulativní výhled na entropickou gravitaci spojující ne-unitární projekci P s rámci Jacobsona [15] a Verlindeho [16, 17]; spin-2 obsah symetrického fotonového tenzorového součinu je uveden jako příslušná reprezentace gravitonu. (iii) Přidány tři nové reference (Jacobson 1995, Verlinde 2011, Verlinde 2017). (iv) Abstrakt a obsah aktualizovány.

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, 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, 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).
15. T. Jacobson, *Thermodynamics of Spacetime: The Einstein Equation of State*, Phys. Rev. Lett. **75**, 1260 (1995).
16. E. Verlinde, *On the Origin of Gravity and the Laws of Newton*, JHEP **04** (2011) 029 [arXiv:1001.0785].
17. E. Verlinde, *Emergent Gravity and the Dark Universe*, SciPost Phys. **2** (2017) 016 [arXiv:1611.02269].