



DEBRECENI EGYETEM

# SKÁLAFÜGGÉS A KOZMOLÓGIÁBAN

Márián István Gábor<sup>1</sup>, Nicoló Defenu<sup>2</sup>, Ulrich Jentschura<sup>3,4,5</sup>, Andrea Trombettoni<sup>6,7</sup>, Nándori István<sup>1,4,5</sup>

<sup>1</sup> University of Debrecen, <sup>2</sup> Institut für Theoretische Physik, Universität Heidelberg, <sup>3</sup> Department of Physics, Missouri University of Science and Technology, <sup>4</sup> MTA-DE Particle Physics Research Group, <sup>5</sup> MTA Atomki, <sup>6</sup> CNR-IOM DEMOCRITOS Simulation Center, <sup>7</sup> SISSA and INFN, Sezione di Trieste

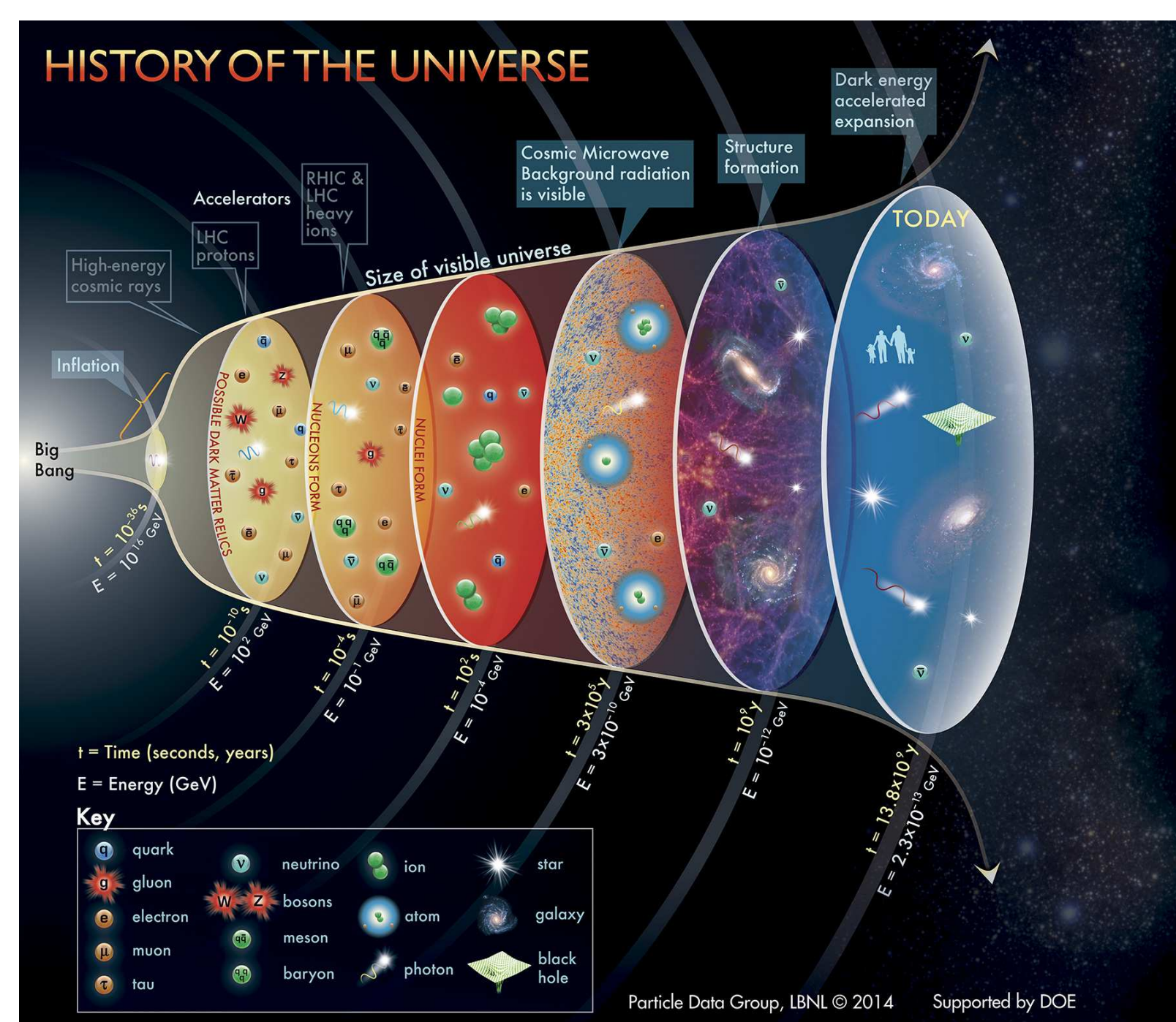


## Absztrakt

A mérési eredmények és az elméleti jóslatok arra utalnak, hogy az ősrobbanás utáni gyors felfúvódást egy inflatonnak nevezett skalármező okozhatta. A részecskefizika legutóbb felfedezett alapvető részecskéjét, a Higgs bozont is egy skalármező írja le, így lehetséges, hogy a két mező kapcsolatban van egymással. Ennél fogva a két mechanizmus egyetlen potenciállal való jellemzésére számos törekvés van a szakirodalomban. Jelen munkában egy általunk javasolt kvázi-periodikus Higgs-inflációs modellt, a tömeges Sine-Gordon (MSG) modellt vizsgáltuk, aminek végrehajtottuk a slow-roll analízisét. Megmutattuk hogy a kozmikus háttérsugárzásból (CMBR) nyert Planck adatokat felhasználva a modell paramétereit rögzíthetők, ami egy lehetséges UV kiterjesztése lehet a szokásos Standard modell Higgs potenciáljának. Egy megbízható Higgs-inflációs modellnek azonban nem csak a kozmikus háttérsugárzás fluktuációit jellemző kozmológiai skálán, de a napjaink részecskegyorsítóiban mért elektrogenge skálán is a mért adatokat kell jóslania. Ezen skálafüggést a funkcionális renormálási csoport (FRG) módszerrel megvizsgáltuk az MSG modellre, azt tapasztalva, hogy a kozmológiai skálán rögzített paramétereiktől függetlenül nagyságrendileg visszakapjuk a mért Standard modell Higgs tömeget az elektrogenge skálán. Az FRG-t az infláció előtti szakaszra alkalmazva új inflációs mechanizmust javasoltunk, melynek lényege, hogy a renormálási csoport futás indukálhatja a lassú legördülő inflációt hamis vákuumból, hiszen az infláció előtti időszakban a potenciál paramétereinek futása azt eredményezi, hogy a potenciál kissimul és konvexé válik, megengedve a mező klasszikus legördülését az igaz vákuumba.

## Inflációs kozmológia

Mi okozta az inflációt?



- Az Einstein egyenletekből kiindulva

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

- behelyettesítve, hogy
  - $g_{\mu\nu} = \text{diag}(-1, a^2, a^2, a^2)$
  - $T^{\mu}_{\nu} = \text{diag}(-\rho, p, p, p)$

- kapjuk az Univerzum evolúciójára vonatkozó Friedmann egyenleteket

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G \rho}{3} - \frac{k}{a^2} \quad \ddot{a} = -\frac{8\pi G}{6}(\rho + 3p)$$

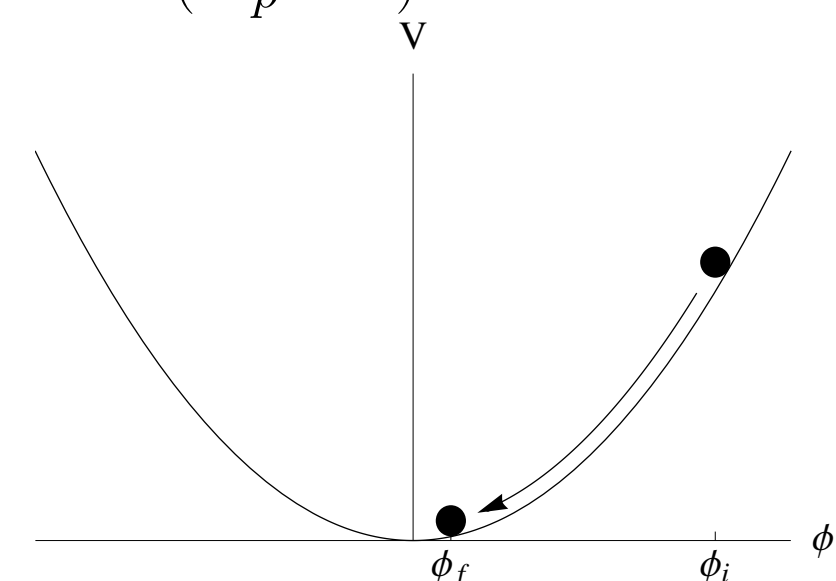
Megoldás: ha  $\rho = -p \Rightarrow a \sim e^{Ct}$  **Infláció!**

## Slow-roll és CMBR

Exponenciális inflációhoz két feltételnek kell teljesülnie ( $m_p = 1$ )

$$\epsilon \ll 1 \quad \epsilon \equiv \frac{1}{2} \frac{V'^2}{V^2}$$

$$\eta \ll 1 \quad \eta \equiv \frac{V''}{V}$$



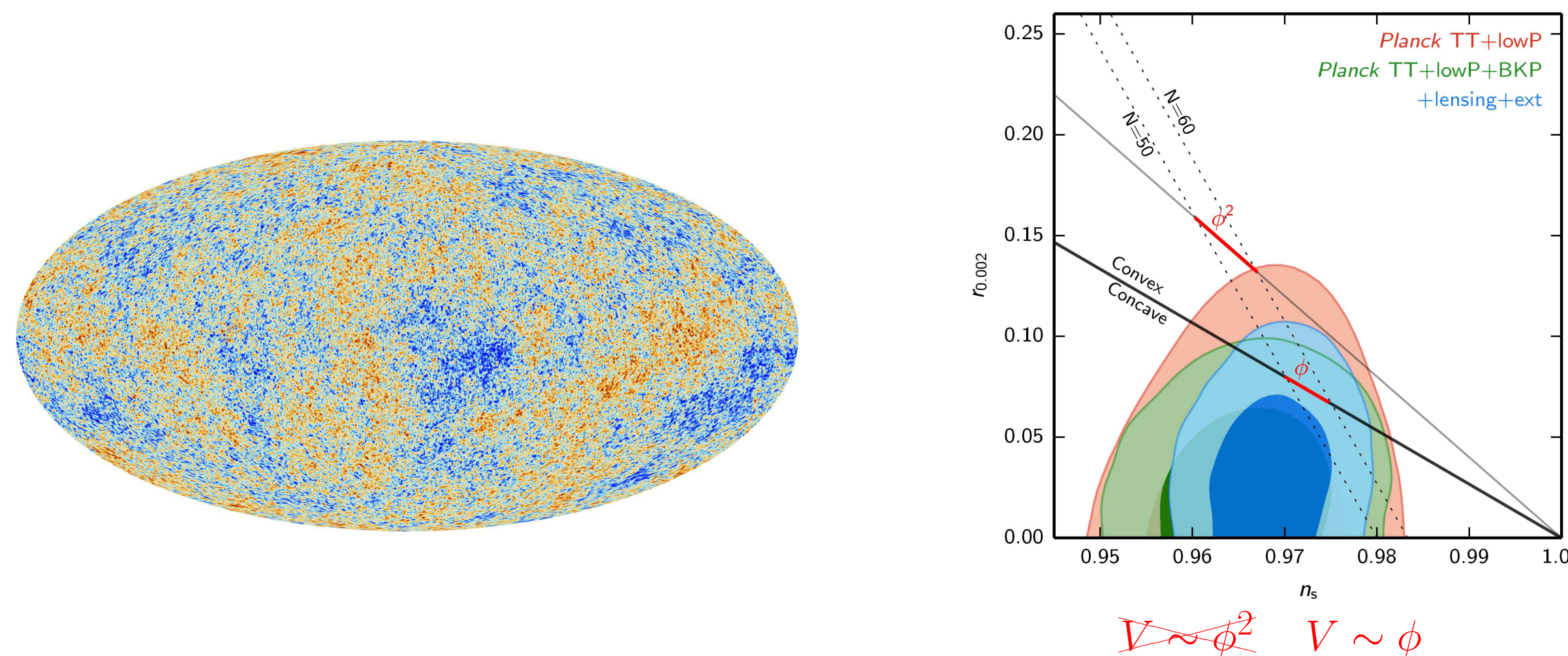
Ismert továbbá, hogy az Univerzum  $e^{50} - e^{60}$ -szeresére nőtt

$$N = 50 - 60 \quad N \equiv -\int_{\phi_i}^{\phi_f} d\phi \frac{V}{V'}$$

A fluktuációt leíró paraméterek kifejezhetők  $\epsilon$  és  $\eta$  segítségével

$$n_s - 1 \approx 2\eta - 6\epsilon \quad r \approx 16\epsilon$$

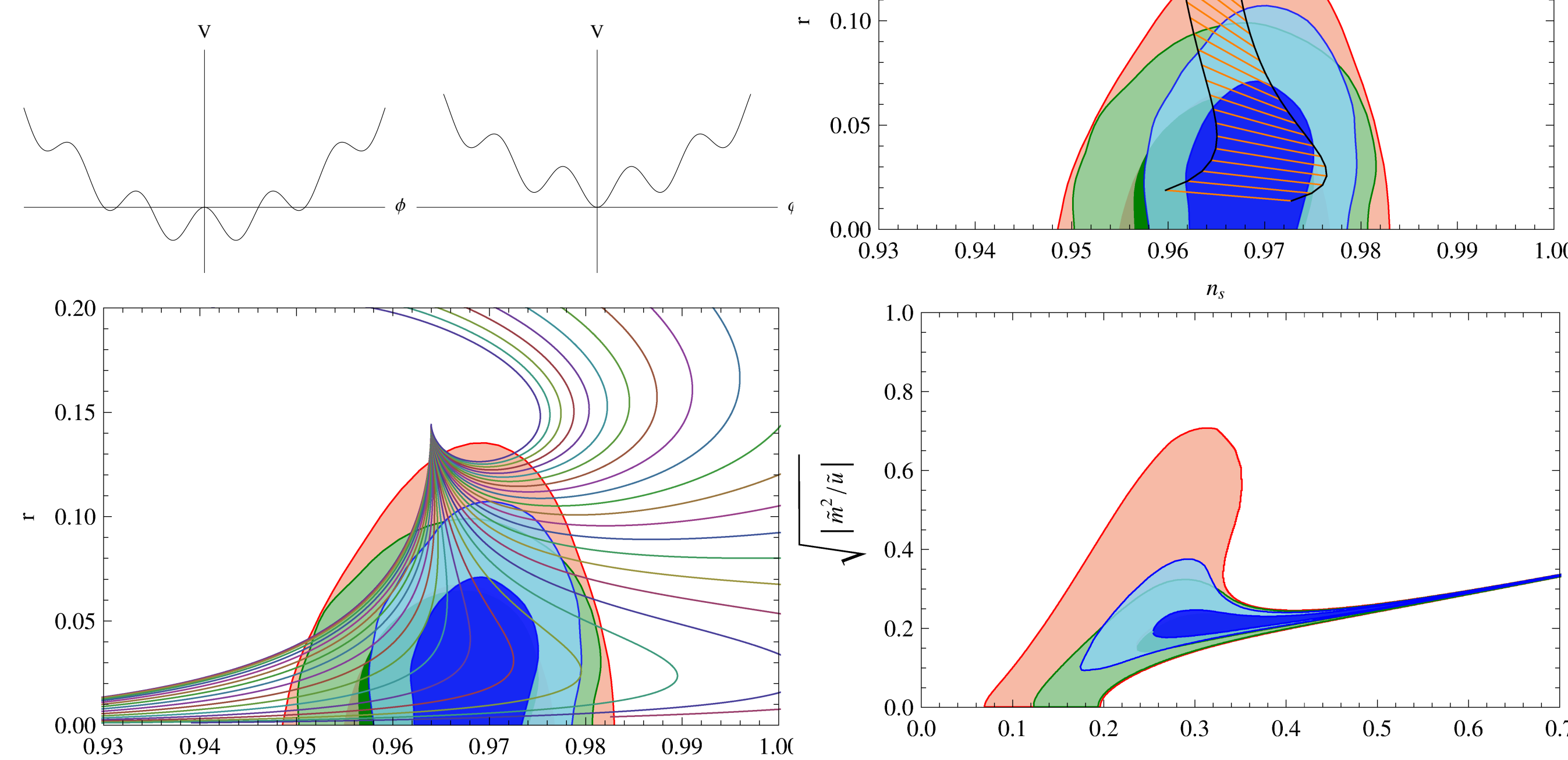
$N, n_s, r$  a kozmikus háttérsugárzásból (CMBR) mérhető mennyiségek



## Tömeges Sine-Gordon modell

Tömeges Sine-Gordon modell (MSG)

$$V_{\text{MSG}} = \frac{1}{2} m^2 \phi^2 + u[1 - \cos(\beta\phi)]$$

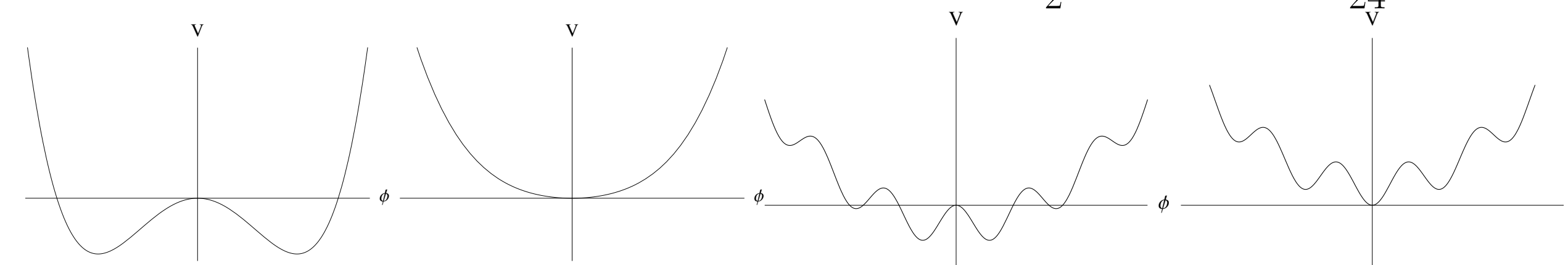


Legjobban illeszkedő paraméterek:  $\tilde{\beta} \approx 0.3 \quad \sqrt{m^2/u} \approx 0.2$

## Higgs-infláció

SM-Higgs

$$V_{\text{SM-Higgs}}(\phi) = \mu^2 |\phi|^2 + \lambda |\phi|^4$$



- Két fázis (szimmetrikus, szimmetria sértett)
- Spontán szimmetria sértés
- Alacsony energián megegyeznek

MSG

$$V_{\text{MSG}} = \frac{1}{2} m^2 \phi^2 + u[\cos(\beta\phi) - 1]$$

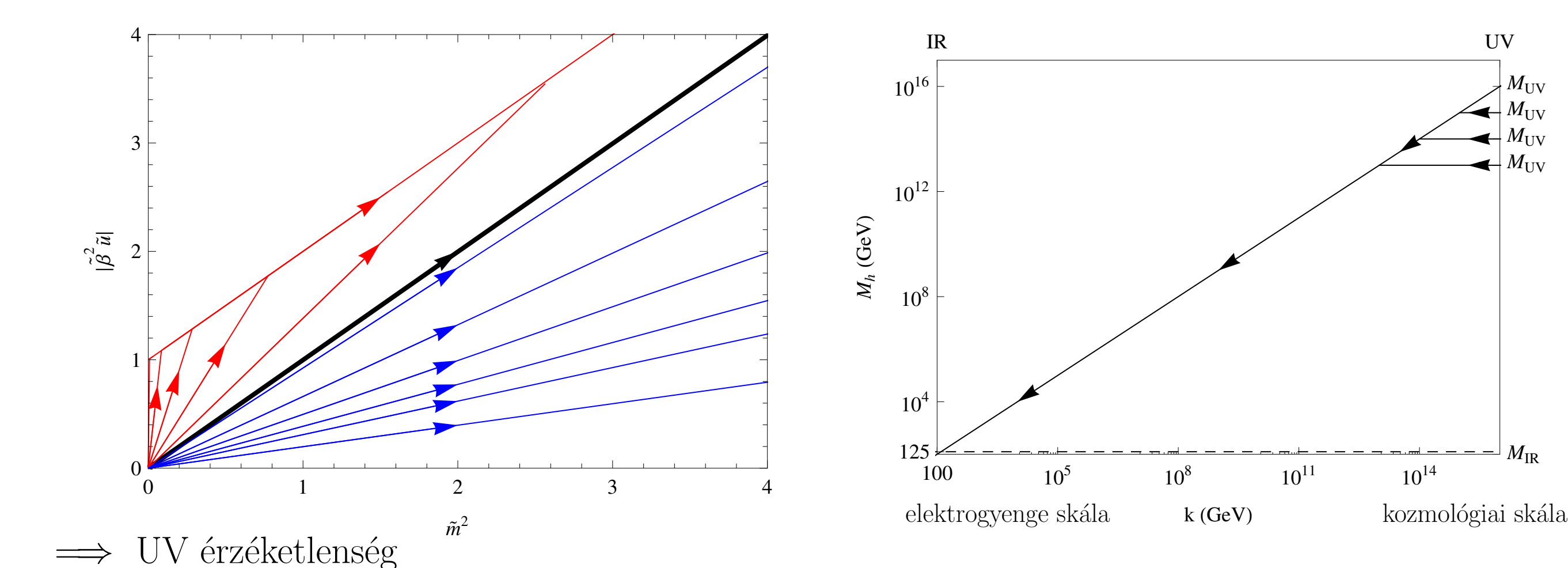
$$V_{\text{MSG}} \approx \frac{1}{2} (m^2 - u\beta^2) \phi^2 + \frac{1}{24} u\beta^4 \phi^4$$

$$M_h \equiv m \sqrt{2 \left( \frac{u\beta^2}{m^2} - 1 \right)}, \quad v \equiv \frac{1}{\beta} \sqrt{\frac{6(u\beta^2/m^2 - 1)}{u\beta^2/m^2}}$$

## RG futás az elektrogenge skáláig

$M_{h,\text{IR}} = 125 \text{ GeV}, \quad v_{\text{IR}} = 245 \text{ GeV}$  at  $k_{\text{IR}} \sim 250 \text{ GeV}$  elektrogenge skála  
 $M_{h,\text{UV}} \sim v_{\text{UV}} \sim 10^{15} \text{ GeV}$  at  $k_{\text{UV}} \sim 10^{15} \text{ GeV}$  kozmológiai skála

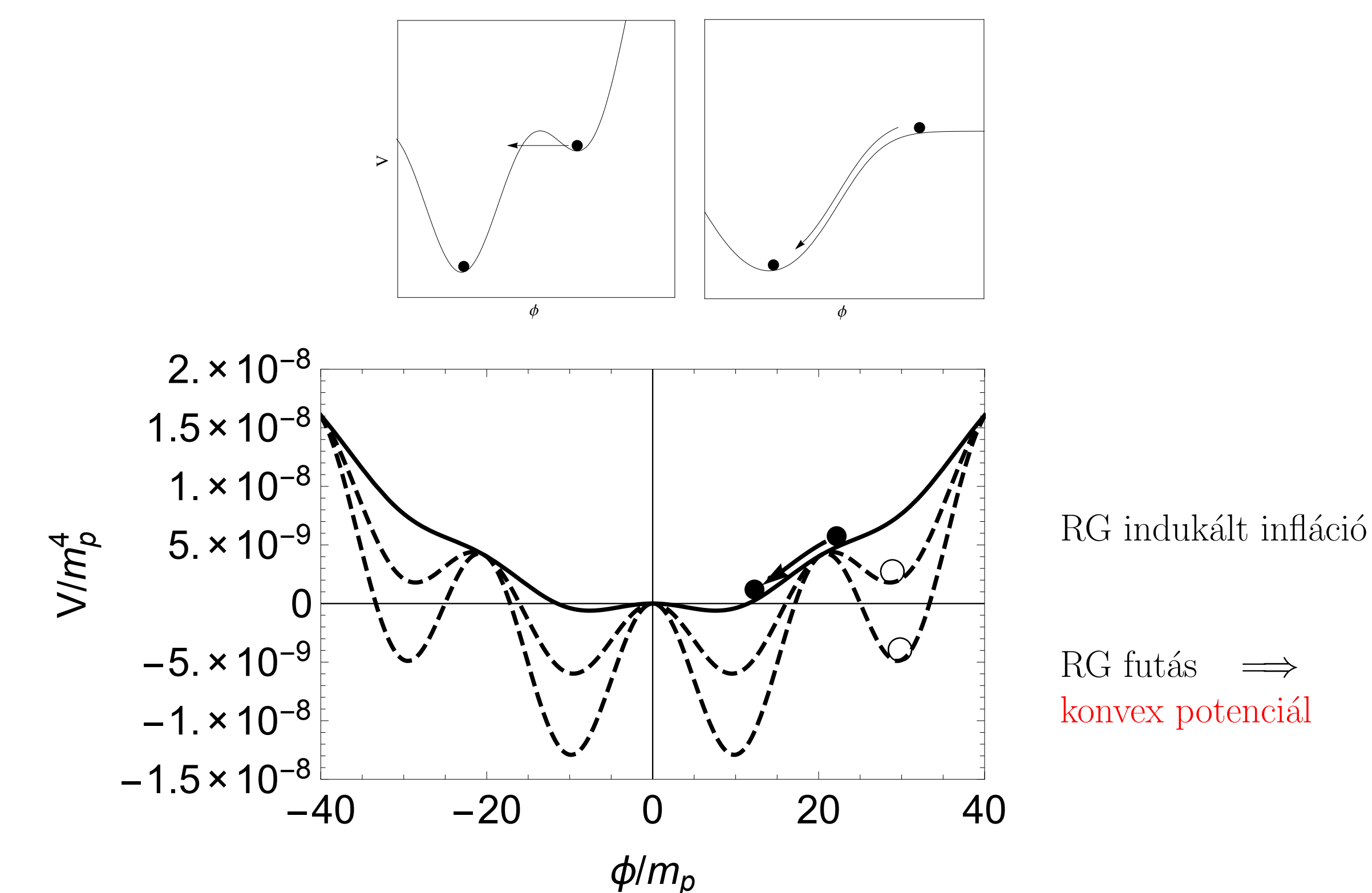
Összekötheti az RG futás a két távoli skálát?  $k_{\text{kozmológia}} \rightarrow k_{\text{elektrogenge}}$



$\Rightarrow$  UV érzéketlenség

## RG indukált infláció

régi új forгатókönyv



RG indukált infláció

RG futás  $\Rightarrow$  **konvex potenciál**

## Összefoglalás:

- Az MSG modell visszaadja a kozmikus háttérsugárzásban mért értékeket a kozmológiai skálán.
- RG evolúció után az MSG modell visszaadja a Higgs modellt az elektrogenge skálán.
- Új RG indukált inflációs mechanizmust javasoltunk.

## Hivatkozások

- [1] IG Márián, N Defenu, UD Jentschura, A Trombettoni, I Nándori, Nucl. Phys. B **946**, 114642 (2019)
- [2] P.A.R. Ade *et al.* [Planck] (2015), [arXiv:1502.02114]; *ibid.*, [Planck] Astronomy and Astrophys **594**, A13 (2016) *ibid.*, [BICEP2 and Keck Array], Phys. Rev. Lett. **116**, 031302 (2016)
- [3] ATLAS Collaboration, Phys. Lett. B **710** (2012) 49
- [4] CMS Collaboration, Phys. Lett. B **710** (2012) 26