

Integrálható elméletek



Konform térelmélet



Eredmények



DiszkuSSIÓ

Integrálható módszerek alkalmazása a mérték/húr-elméletekben

Konczer József

July 3, 2013

Áttekintés

- Motiváció
- Cél
- Integrálható elméletek
 - S -mátrix bootstrap
 - T -mátrix bootstrap
 - Alak faktor (form factor) bootstrap
- Konform téreelmélet (CFT)
- Eredmények
 - Analitikus
 - Numarikus
- Diszkusszió

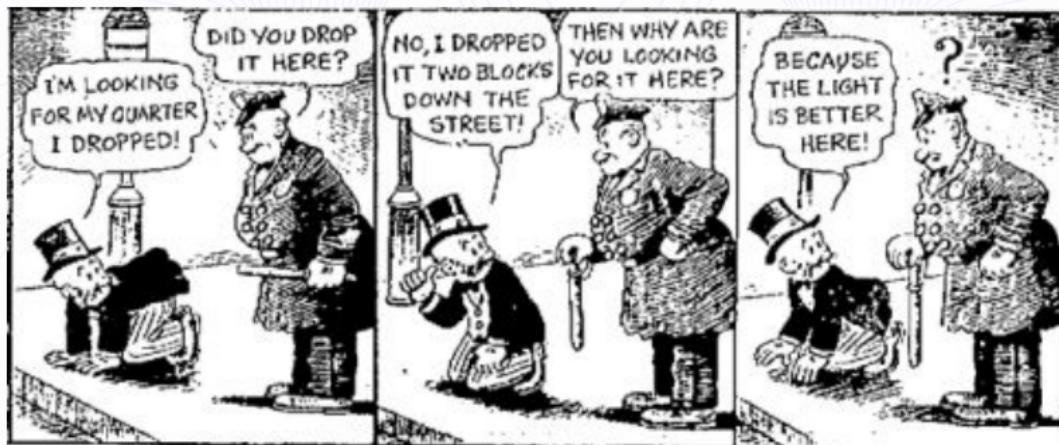


Motiváció

- Erős kölcsönhatás kvalitatív megértése
 - AdS/CFT
 - QCD 't Hooft határesetben, ha $N_c \rightarrow \infty$ integrálható
 - 4D QCD \leftrightarrow AdS₅ \times S⁵ szuperhúr elmélet

Motiváció

- Erős kölcsönhatás kvalitatív megértése
 - AdS/CFT
 - QCD 't Hooft határesetben, ha $N_c \rightarrow \infty$ integrálható
 - 4D QCD \leftrightarrow AdS₅ \times S⁵ szuperhúr elmélet





Motiváció

- 2D térelméletek
 - Húrelmélet parametrizációja
 - Luttinger modell
 - 1+1 dimenziós Hubbard modell
 - sine-Gordon modell
 - 2D Ising modell
 - 2D Potts modell



Alap tulajdonságok



Integrálható kvantumtérelméletek

- Nem keletkeznek és tűnnek el részecskék;
- Kezdeti és végső impulzusok megegyeznek;
- n részecske szórások faktorizációja 2 részecske szórásokká;

Relativisztikus kvantumtérelmélet szórási folyamata leírható
Mandelstam változókkal:

$$s = (p_1 + p_2)^2, \quad t = (p_1 - p_3)^2, \quad u = (p_1 - p_4)^2,$$

Integrálható elméletek

○●○
○○○
○○○○○○○○
○○○

Alap tulajdonságok

Konform térelmélet

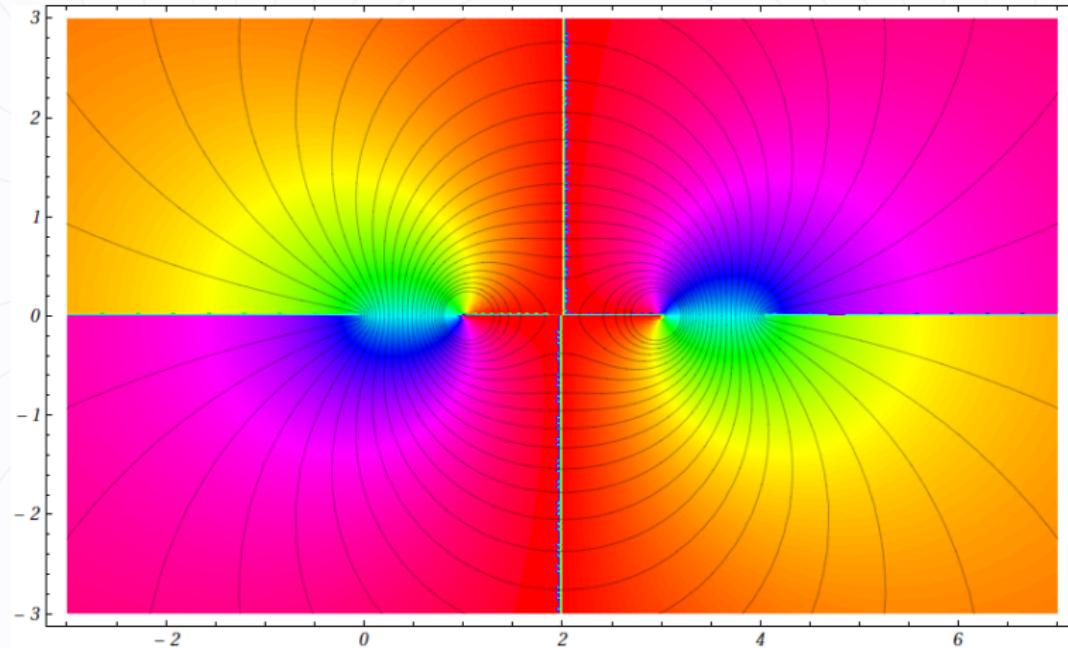
○○○
○○
○○○○○○○○

Eredmények

○○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○

Diszkusszió

$S(s)$



○○●
○○○
○○○○○○○○
○○○

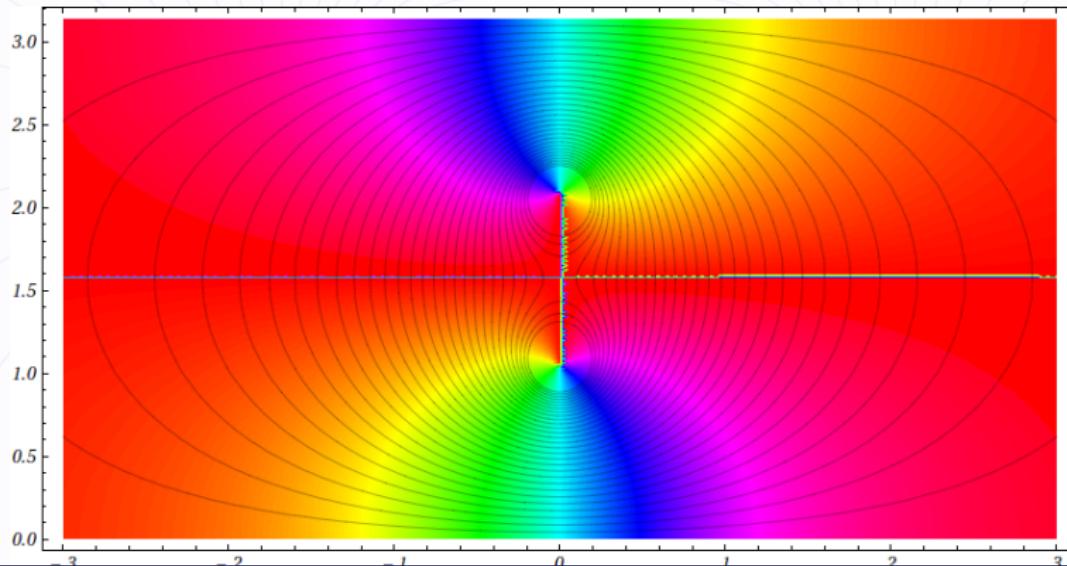
○○○
○○
○○○○○○○○

○○○○○○
○○○○○○○○○○○○

Alap tulajdonságok

 $S(\theta)$

$$s = 2m^2(1 + \cosh(\theta_2 - \theta_1)), \quad (1)$$



*S* és *T* mátrix bootstrap

- Unitaritás: $S_{ij}^{nm}(\theta)S_{nm}^{kl}(-\theta) = \delta_i^k \delta_j^l;$

- Keresztezés: $S_{ij}^{kl}(\theta) = S_{il}^{\bar{k}}(i\pi - \theta);$

- Maximális analitikusság;

- Yang-Baxter egyenletek:

$$S_{ij}^{\beta\alpha}(\theta_{12})S_{\beta k}^{n\gamma}(\theta_{13})S_{\alpha\gamma}^{ml}(\theta_{23}) = S_{jk}^{\beta\gamma}(\theta_{23})S_{i\gamma}^{\alpha l}(\theta_{13})S_{\alpha\beta}^{nm}(\theta_{12}),$$



(1)



(2)



(3)



$$S(\theta) = \frac{\sinh \theta + i \sin \frac{\pi}{3}}{\sinh \theta - i \sin \frac{\pi}{3}}, \quad (2)$$



Figure: LY modell szingularitásaihoz tartozó diagramok



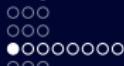
S és T mátrix bootstrap

T-mátrix bootstrap

- Motiváció
 - Peremfeltételek szerepe
 - Szennyezők szerepe
- Integrálható defektek tulajdonságai
 - Teljesen áteresztő vagy teljesen visszaverő (ha $S \neq \pm 1$)
 - Definiálható megmaradó impulzus (a defekt topologikus)

$$T_- = [b+1] [b-1] ; \quad T_+ = [5-b] [-5-b] \quad (3)$$

$$[x] = i \frac{\sinh\left(\frac{\theta}{2} + i\frac{\pi x}{12}\right)}{\sinh\left(\frac{\theta}{2} + i\frac{\pi x}{12} - i\frac{\pi}{2}\right)}. \quad (4)$$



Form faktor definíciója

$$\langle \theta'_{m'}, \dots, \theta'_{n'+1}; \theta'_{n'}, \dots, \theta'_1 | \mathcal{O}(x, t) | \theta_1, \dots, \theta_n; \theta_{n+1}, \dots, \theta_m \rangle = e^{it\Delta E - ix\Delta P}$$

$$F_{(n', m')(n, m)}^{\mathcal{O}_{\pm}}(\theta'_{n'+m'}, \dots, \theta'_{n'+1}; \theta'_{n'}, \dots, \theta'_1 | \theta_1, \dots, \theta_n; \theta_{n+1}, \dots, \theta_{n+m})$$

0. Keresztezés:

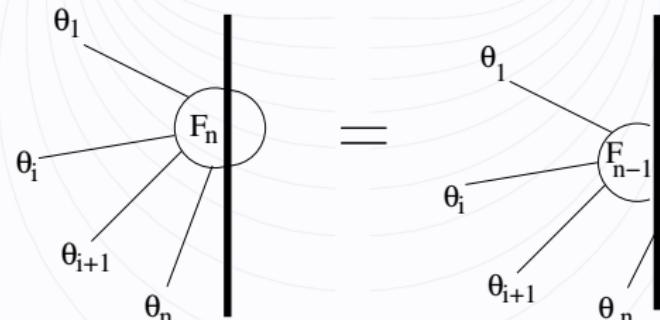
$$F_{(n', m')(n, m)}^{\mathcal{O}}(\theta'_{n'+m'}, \dots, \theta'_{n'+1}; \theta'_{n'}, \dots, \theta'_1 | \theta_1, \dots, \theta_n; \theta_{n+1}, \dots, \theta_{n+m}) =$$

$$F_{(n', m'+1)(n, m-1)}^{\mathcal{O}}(\theta_{n+m} + i\pi, \theta'_{n'+m'}, \dots, \theta'_{n'+1}; \theta'_{n'}, \dots, \theta'_1 | \theta_1, \dots, \theta_n; \theta_{n+1}, \dots, \theta_{n+m-1})$$

I. Transzmisszió:

$$F_{(n, m)}^{\mathcal{O}}(\theta_1, \dots, \theta_n; \theta_{n+1}, \dots, \theta_{n+m}) =$$

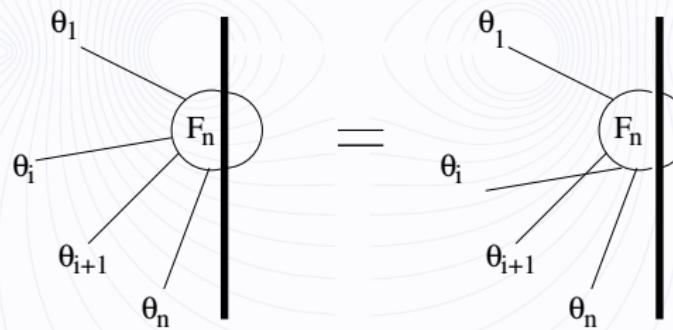
$$T_-(\theta_n) F_{(n-1, m+1)}^{\mathcal{O}}(\theta_1, \dots, \theta_{n-1}; \theta_n, \theta_{n+1}, \dots, \theta_{n+m})$$





II. Permutáció

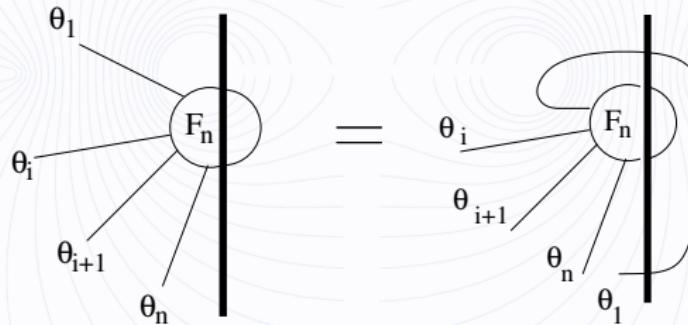
$$F_n^{\theta}(\theta_1, \dots, \theta_i, \theta_{i+1}, \dots, \theta_n) = S(\theta_i - \theta_{i+1}) F_n^{\theta}(\theta_1, \dots, \theta_{i+1}, \theta_i, \dots, \theta_n)$$





III. Periodicitás

$$F_n^{\mathcal{O}}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) = F_n^{\mathcal{O}}(\theta_2, \dots, \theta_n, \dots, \theta_1 - 2i\pi)$$



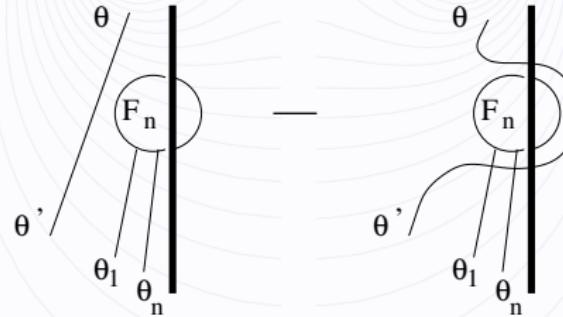


FF bootstrap



IV. Kinematikai szingularitás

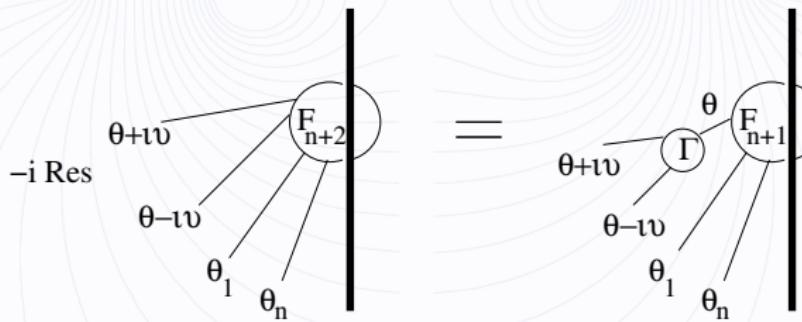
$$-i\text{Res}_{\theta=\theta'} F_{n+2}^{\mathcal{O}}(\theta + i\pi, \theta', \theta_1, \dots, \theta_n) = \\ \left(1 - \prod_{j=1}^n S(\theta - \theta_j)\right) F_n^{\mathcal{O}}(\theta_1, \dots, \theta_n)$$





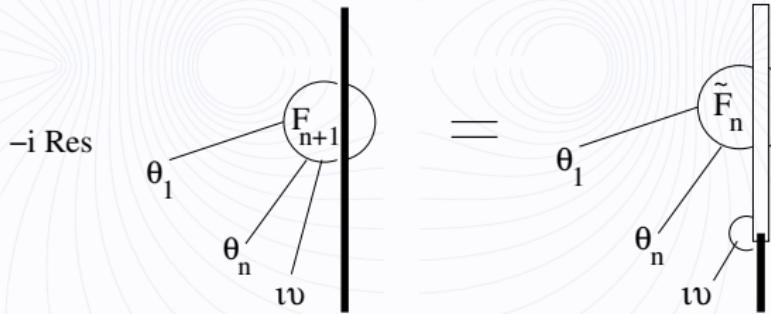
V. Dinamikai szingularitás

$$-i \text{Res}_{\theta'=\theta} F_{n+2}^{\mathcal{O}}\left(\theta' + \frac{i\pi}{3}, \theta - \frac{i\pi}{3}, \theta_1, \dots, \theta_n\right) = \\ \Gamma F_{n+1}^{\mathcal{O}}(\theta, \theta_1, \dots, \theta_n)$$



VI. Dinamikai defekt szingularitás

$$-i \text{Res}_{\theta=iu} F_{n+1}^{\mathcal{O}}(\theta_1, \dots, \theta_n, \theta) = i g \tilde{F}_n^{\mathcal{O}}(\theta_1, \dots, \theta_n)$$





$$F_n^{\mathcal{O}}(\theta_1, \dots, \theta_n) = \langle \mathcal{O} \rangle H_n \prod_i d(\theta_i) \prod_{i < j} \frac{f(\theta_i - \theta_j)}{x_i + x_j} Q_n(x_1, \dots, x_n) \quad (5)$$

- f dinamikai
- d defekt dinamikai
- H_n normálási tényező
- $\langle \mathcal{O} \rangle$ esetünkben ismert
- Q_n elmélet és operátor függő szimmetrikus Laurent polinom



Véges méret korrekciók



Bethe-Yang egyenletek

$$e^{imL \sinh \theta_k} T_-(\theta_k) \prod_{j \neq k} S(\theta_k - \theta_j) = 1 \quad k = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$Q_k(\theta_1, \dots, \theta_n)_L = 2\pi I_k \quad k = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$Q_k(\theta_1, \dots, \theta_n) = mL \sinh \theta_k - i \log T_-(\theta_k) - \sum_{j \neq k} i \log S(\theta_k - \theta_j). \quad (8)$$

Integrálható elméletek

Véges méret korrekciók

Konform térelmélet

10

Eredmények

○○○○○○○○○○○○○○○○

Diszkusszió

$$|\langle \{J_1, \dots, J_n\} | \mathcal{O}(t=0) |\{I_1, \dots, I_k\}\rangle_L| =$$

$$\left| \frac{F^{\mathcal{O}}(\tilde{\theta}'_n + i\pi, \dots, \tilde{\theta}'_1 + i\pi, \tilde{\theta}_1, \dots, \tilde{\theta}_k)}{\sqrt{\rho_n(\tilde{\theta}'_1, \dots, \tilde{\theta}'_n)_L \rho_k(\tilde{\theta}_1, \dots, \tilde{\theta}_k)_L}} \right| + O(e^{-\mu L})$$



Véges méret korrekciók



$$F^{\mathcal{O}}(\theta_n + i\pi + \varepsilon_n, \dots, \theta_1 + i\pi + \varepsilon_1, \theta_1, \dots, \theta_n) = \\ \prod_{i=1}^n \frac{1}{\varepsilon_i} \cdot \sum_{i_1=1}^n \dots \sum_{i_n=1}^n \mathcal{A}_{i_1 \dots i_n}(\theta_1, \dots, \theta_n) \varepsilon_{i_1} \varepsilon_{i_2} \dots \varepsilon_{i_n} + \dots \quad (9)$$

$$F_{conn}^{\mathcal{O}}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) = n! \mathcal{A}_{1 \dots n}(\theta_1, \dots, \theta_n) \quad (10)$$

$$\langle \{I_1 \dots I_n\} | \mathcal{O} | \{I_1 \dots I_n\} \rangle_L = \\ \frac{1}{\rho_n(\tilde{\theta}_1, \dots, \tilde{\theta}_n)_L} \sum_{A \subset \{1, 2, \dots, n\}} (-1)^{|A|} F_{conn}^{\mathcal{O}}(\{\tilde{\theta}_k\}_{k \in A}) \tilde{\rho}_n(\tilde{\theta}_1, \dots, \tilde{\theta}_n | A)_L \\ + O(e^{-\mu L})$$



$$g'(x') = \Omega(x)g(x) \quad (11)$$

$$[D, P_\mu] = iP_\mu \quad (12)$$

$$[D, K_\mu] = -iK_\mu \quad (13)$$

$$[K_\mu, P_\nu] = 2i(\eta_{\mu\nu}D - L_{\mu\nu}) \quad (14)$$

$$[K_\rho, L_{\mu\nu}] = i(\eta_{\rho\mu}K_\nu - \eta_{\rho\nu}K_\mu) \quad (15)$$

$$[P_\rho, L_{\mu\nu}] = i(\eta_{\rho\mu}P_\nu - \eta_{\rho\nu}P_\mu) \quad (16)$$

$$[L_{\mu\nu}, L_{\rho\sigma}] = i(\eta_{\nu\rho}L_{\mu\sigma} + \eta_{\mu\sigma}L_{\nu\rho} - \eta_{\mu\rho}L_{\nu\sigma} - \eta_{\nu\sigma}L_{\mu\rho}) \quad (17)$$

$$\phi'(x') = \left| \frac{\partial x'}{\partial x} \right|^{-\Delta/d} \phi(x) \quad (18)$$

○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○

Witt algebra

●○○
○○○
○○○○○○○○

○○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○

$$z = x + iy \quad (19)$$

$$\bar{z} = x - iy \quad (20)$$

$$\partial_{\bar{z}} w(z, \bar{z}) = 0 \quad (21)$$

$$\partial_z w(z, \bar{z}) = 0 \quad (22)$$

$$z' = z + \varepsilon(z) \quad \varepsilon(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n z^{n+1} \quad (23)$$

$$\bar{z}' = \bar{z} + \bar{\varepsilon}(\bar{z}) \quad \bar{\varepsilon}(\bar{z}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \bar{c}_n \bar{z}^{n+1} \quad (24)$$

$$\delta\phi(z, \bar{z}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \ell_n \phi(z, \bar{z}) + \bar{c}_n \bar{\ell}_n \phi(z, \bar{z}) \quad (25)$$

$$\ell_n = -z^{n+1} \partial_z \quad (26)$$

$$\bar{\ell}_n = -\bar{z}^{n+1} \partial_{\bar{z}} \quad (27)$$

○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○

Witt algebra

○○●
○○
○○○○○○○○

○○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○

$$[\ell_n, \ell_m] = (n - m) \ell_{n+m} \quad (28)$$

$$[\bar{\ell}_n, \bar{\ell}_m] = (n - m) \bar{\ell}_{n+m} \quad (29)$$

$$[\ell_n, \bar{\ell}_m] = 0 \quad (30)$$

○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○

Exponenciális leképzés

○○○
●○
○○○○○○○○

○○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○

$$\zeta = t + ix \quad (31)$$

$$\bar{\zeta} = t - ix \quad (32)$$

$$z = e^{\frac{2\pi}{L}\zeta} \quad (33)$$

$$\bar{z} = e^{\frac{2\pi}{L}\bar{\zeta}} \quad (34)$$

Integrálható elméletek

○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○

Exponenciális leképzés

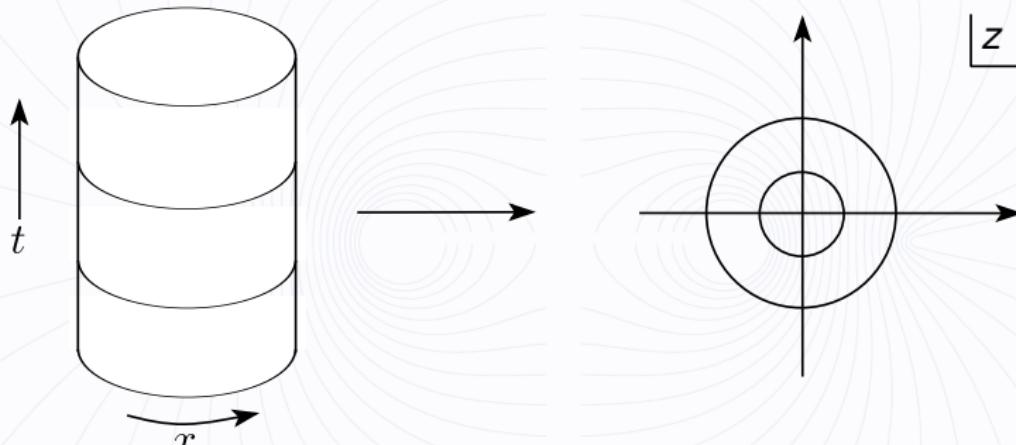
Konform térelmélet

○○○
○●
○○○○○○○○

Eredmények

○○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○

Diszkusszió



10

100

$$\phi_i(z)\phi_j(w) = \sum_k C_{ij}^k(z-w)\phi_k(w) \quad (35)$$

$$T(z)T(w) = \frac{c/2}{(z-w)^4} + \frac{2T(w)}{(z-w)^2} + \frac{\partial T}{(z-w)} + \dots \quad (36)$$

$$Q_\varepsilon = \frac{1}{2\pi i} \oint dz \varepsilon(z) T(z) \quad (37)$$

$$T(z) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} z^{-n-2} L_n, \quad (38)$$

$$[L_n, L_m] = (n - m)L_{n+m} + \frac{c}{12}n(n^2 - 1)\delta_{n+m,0} \quad (39)$$

The logo consists of a grid of circles. The top row has three circles. The second row has two circles. The third row has eight circles. The bottom row has three circles. Below the grid, the letters "OPE" are written in a bold, sans-serif font.

10

100

Primér mezők

$$\phi'(w, \bar{w}) = \left(\frac{dw}{dz} \right)^{-h} \left(\frac{d\bar{w}}{d\bar{z}} \right)^{-\bar{h}} \phi(z, \bar{z}) \quad (40)$$

$$\Delta = h + \bar{h} \quad s = h - \bar{h} \quad (41)$$

$$[L_n, \phi(w, \bar{w})] = h(n+1)w^n\phi(w, \bar{w}) + w^{n+1}\partial\phi(w, \bar{w}) \quad (42)$$

$$\phi_i(z, \bar{z})\phi_j(w, \bar{w}) \sim \sum_k C_{ij}^k (z-w)^{h_k - h_i - h_j} (\bar{z} - \bar{w})^{\bar{h}_k - \bar{h}_i - \bar{h}_j} \phi_k(w, \bar{w}) \quad (43)$$



Operátor-állapot megfeleltetés

$$|h, \bar{h}\rangle = \lim_{z, \bar{z} \rightarrow 0} \phi(z, \bar{z}) |0\rangle, \quad (44)$$

$$\langle h, \bar{h} | = \lim_{z, \bar{z} \rightarrow 0} \langle 0 | \bar{z}^{-2h} z^{-2\bar{h}} \phi(1/\bar{z}, 1/z). \quad (45)$$

$$L_{-k_1} L_{-k_2} \dots L_{-k_n} |h\rangle \quad (46)$$

$$L_0 L_{-k_1} L_{-k_2} \dots L_{-k_n} |h\rangle = (N + h) L_{-k_1} L_{-k_2} \dots L_{-k_n} |h\rangle \quad (47)$$

Virasoro algebra

$$\mathcal{V}_h = \text{Span}\{L_{-k_1}L_{-k_2}\dots L_{-k_n}|h\rangle \mid n \in \mathbb{N}, k_1, k_2, \dots, k_n \in \mathbb{N}\} \quad (48)$$

$$\mathcal{V}_{h\bar{h}} = \mathcal{V}_h \otimes \bar{\mathcal{V}}_{\bar{h}} \quad (49)$$

$$\mathcal{H} = \mathcal{V}_1 \oplus \mathcal{V}_2 \oplus \dots \quad (50)$$



Minimális modellek

$p, q > 2$ relatív prímekre $\mathcal{M}_{p,q}$

$$c = 1 - 6 \frac{(p-q)^2}{pq} \quad (51)$$

$r \in \{1, 2, \dots, p-1\}$ és $s \in \{1, 2, \dots, q-1\}$

$$h_{r,s} = \frac{(ps - qr)^2 - (p - q)^2}{4pq} \quad (52)$$

Unitaritási feltétel: $c > 0, h > 0$

$$\mathcal{M}_{2,5}: c = -22/5, h = -1/5$$

skálázó Lee-Yang modell

$$\mathcal{H} = \mathcal{V}_0 \otimes \bar{\mathcal{V}}_0 + \mathcal{V}_{-1/5} \otimes \bar{\mathcal{V}}_{-1/5} \quad (53)$$

$$S = S_0 + \lambda \int dy \int dx \Phi(x, y) \quad (54)$$

$$S = S_0 + \lambda \int dy \int_L dx \Phi(x, y) \quad (55)$$

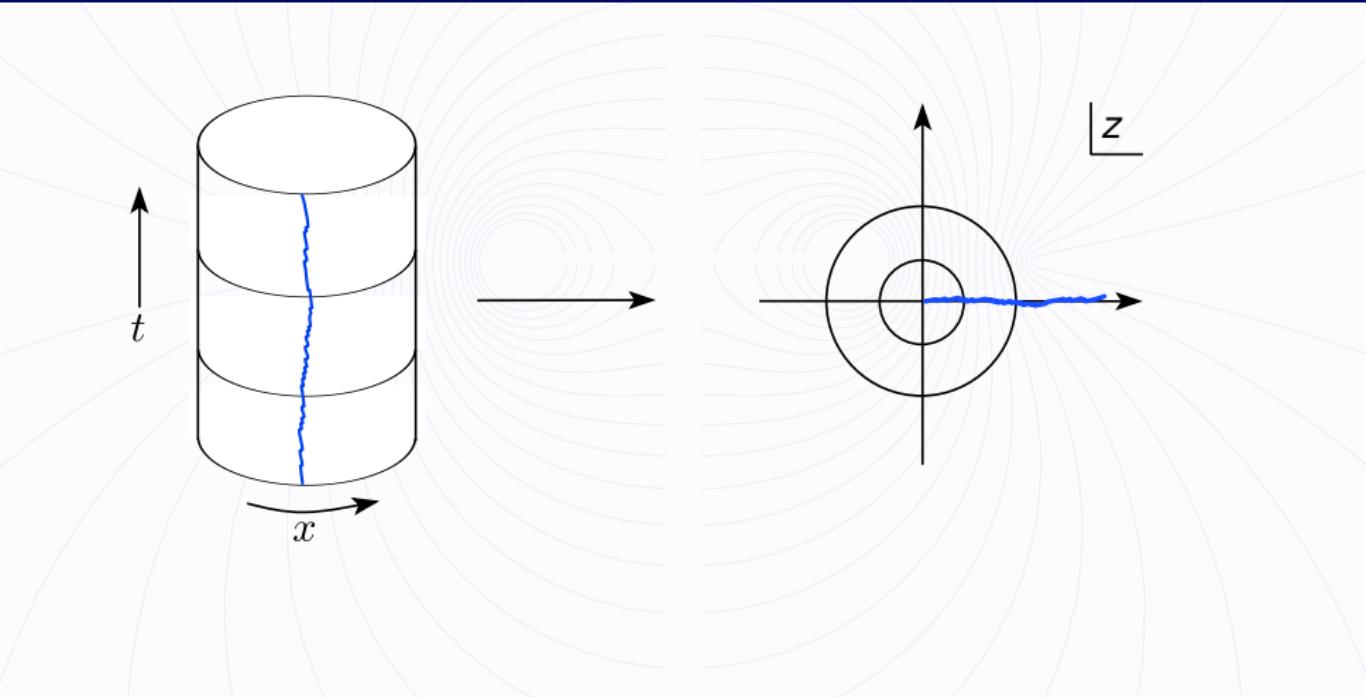
$$H = \frac{2\pi}{L} \left(L_0 + \bar{L}_0 - \frac{c}{12} - \lambda \left(\frac{L}{2\pi} \right)^{2-2h} \int_0^{2\pi} d\theta \Phi(e^{i\theta}, e^{-i\theta}) \right) \quad (56)$$

○○○
○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○
OPE

○○○
○○○
○○○○○○●○○

○○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○

defektes skálázó Lee-Yang modell





$$\mathcal{H} = \mathcal{V}_0 \otimes \bar{\mathcal{V}}_{-\frac{1}{5}} + \mathcal{V}_{-\frac{1}{5}} \otimes \bar{\mathcal{V}}_0 + \mathcal{V}_{-\frac{1}{5}} \otimes \bar{\mathcal{V}}_{-\frac{1}{5}} \quad (57)$$

$$\mathcal{V}_0 \otimes \bar{\mathcal{V}}_0 + \mathcal{V}_{-\frac{1}{5}} \otimes \bar{\mathcal{V}}_0 + \mathcal{V}_0 \otimes \bar{\mathcal{V}}_{-\frac{1}{5}} + 2\mathcal{V}_{-\frac{1}{5}} \otimes \bar{\mathcal{V}}_{-\frac{1}{5}} = [\mathbb{I}] + [\varphi] + [\bar{\varphi}] + [\Phi_{\pm}] \quad (58)$$

$$H = \frac{2\pi}{L} \left(L_0 + \bar{L}_0 - \frac{c}{12} - \lambda \left(\frac{L}{2\pi} \right)^{\frac{12}{5}} \int_0^{2\pi} d\theta \Phi \left(e^{i\theta}, e^{-i\theta} \right) - \left(\frac{L}{2\pi} \right)^{\frac{6}{5}} (\mu \varphi(1) + \bar{\mu} \bar{\varphi}(1)) \right) \quad (59)$$

$$P = \frac{2\pi}{L} \left(L_0 - \bar{L}_0 - \left(\frac{L}{2\pi} \right)^{\frac{6}{5}} \mu \varphi(1) - \left(\frac{L}{2\pi} \right)^{\frac{6}{5}} \bar{\mu} \bar{\varphi}(1) \right) \quad (60)$$

Eddig ismert eredmények

Operator	Q_1	Q_2
Φ_-	$v\sigma_1 + \bar{v}\bar{\sigma}_1 + \sqrt{3}$	$\sigma_1(v^2\sigma_2 + \sqrt{3}v\sigma_1 + \sigma_1\bar{\sigma}_1 + 1 + \sqrt{3}\bar{v}\bar{\sigma}_1 + \bar{v}^2\bar{\sigma}_2)$
Φ_+	$v\sigma_1 + \bar{v}\bar{\sigma}_1 - \sqrt{3}$	$\sigma_1(v^2\sigma_2 - \sqrt{3}v\sigma_1 + \sigma_1\bar{\sigma}_1 + 1 - \sqrt{3}\bar{v}\bar{\sigma}_1 + \bar{v}^2\bar{\sigma}_2)$
φ	$\bar{\sigma}_1$	$\sigma_1(\bar{v}\bar{\sigma}_2 + v)$
$\bar{\varphi}$	σ_1	$\sigma_1(v\sigma_2 + \bar{v})$

$$\langle \varphi \rangle = i \frac{5}{12} \frac{\kappa^{\frac{6}{5}}}{\xi} e^{i \frac{\pi}{30}(12-b)} \quad ; \quad \langle \bar{\varphi} \rangle = -i \frac{5}{12} \frac{\kappa^{\frac{6}{5}}}{\xi} e^{-i \frac{\pi}{30}(12-b)} \quad (61)$$

○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○

Analitikus eredmények

○○○
○○
○○○○○○○○

●○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○

$$Q_n(u\omega, u\bar{\omega}, x_2, \dots, x_{n-1}) = D_{n-1}(u, x_2, \dots, x_{n-1}) Q_{n-1}(u, x_2, \dots, x_{n-1}) \quad (62)$$

$$Q_n(u, -u, x_2, \dots, x_{n-1}) = K_{n-2}(u, x_2, \dots, x_{n-1}) Q_{n-2}(x_2, \dots, x_{n-1}) \quad (63)$$

$$Q_1 = \sigma_1 \quad (64)$$

$$Q_2 = \bar{v}\sigma_1 + v\sigma_1\sigma_2 \quad (65)$$

○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○

Analitikus eredmények

○○○
○○
○○○○○○○○

●○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○

$$D_{n-1}(u, x_2, \dots, x_{n-1}) = (vu + \bar{v}\bar{u}) u \left(\prod_{i=2}^{n-1} (u + x_i) \right) \quad (66)$$

$$K_{n-2}(u, x_2, \dots, x_{n-1}) = \dots \quad (67)$$

$$(-1)^n \frac{u}{2(\omega - \bar{\omega})} (u^2 v^2 - 1 + \bar{u}^2 \bar{v}^2) \quad (68)$$

$$\left(\prod_{i=2}^{n-1} (\omega u + \bar{\omega} x_i) (\bar{\omega} u - \omega x_i) - \prod_{i=2}^{n-1} (\omega u - \bar{\omega} x_i) (\bar{\omega} u + \omega x_i) \right)$$



$$Q_n = \sum_{\alpha_1, \dots, \alpha_{n-1} \in \mathbb{N}, \alpha_n \in \mathbb{Z}} C_{\alpha_1, \dots, \alpha_n} \sigma_1^{\alpha_1} \dots \sigma_n^{\alpha_n} \quad (69)$$

$$\mathcal{K}_n^K = \prod_{i \leq j} (x_i + x_j) \quad (70)$$

$$\mathcal{K}_n^D = \prod_{i \leq j} ((x_i + x_j)^2 - x_i x_j) \quad (71)$$

$$Q'_n = Q_n + \mathcal{K}_n^D \mathcal{K}_n^K \left(\sum_{\alpha_1, \dots, \alpha_{n-1} \in \mathbb{N}, \alpha_n \in \mathbb{Z}} K_{\alpha_1, \dots, \alpha_n} \sigma_1^{\alpha_1} \dots \sigma_1^{\alpha_n} \right) \quad (72)$$

○○○
○○○
○○○
○○○○○○○○

○○○
○○
○○○○○○○○

○○○●○○
○○○○○○○○○○○○○○

Analitikus eredmények

$$\beta_k(Q) = \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\log Q(u, \lambda x_2, \lambda x_3, \dots, \lambda x_{k+1}, x_{k+2}, \dots)}{\log \lambda} \quad (73)$$

$$\beta'_k(Q) = \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\log Q(\lambda u, \lambda x_2, \lambda x_3, \dots, \lambda x_{k+1}, x_{k+2}, \dots)}{\log \lambda} \quad (74)$$

$$\gamma_k(Q) = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{\log Q(u, \lambda x_2, \lambda x_3, \dots, \lambda x_{k+1}, x_{k+2}, \dots)}{\log \lambda} \quad (75)$$

$$\gamma'_k(Q) = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{\log Q(\lambda u, \lambda x_2, \lambda x_3, \dots, \lambda x_{k+1}, x_{k+2}, \dots)}{\log \lambda} \quad (76)$$

○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○

Analitikus eredmények

○○○
○○
○○○○○○○○

○○○○●○
○○○○○○○○○○○○○○

$$Q_1 = \sigma_1 \quad (77)$$

$$Q_2 = \bar{v}\sigma_1 + v\sigma_1\sigma_2 \quad (78)$$

$$Q_3 = \bar{v}^2\sigma_1^2 + \sigma_1^2\sigma_2 + v^2\sigma_1\sigma_2\sigma_3 \quad (79)$$

$$Q_4 = \bar{v}^3\sigma_1^2\sigma_2 + \bar{v}\sigma_1^2\sigma_2^2 + v\sigma_1\sigma_2^2\sigma_3 + v^3\sigma_1\sigma_2\sigma_3\sigma_4 \quad (80)$$

$$\begin{aligned} Q_5 = & \bar{v}^4(\sigma_1^2\sigma_2\sigma_3 - \sigma_1^2\sigma_5) + \bar{v}^2(\sigma_1^2\sigma_2^2\sigma_3 - \sigma_1^2\sigma_2\sigma_5) + \\ & (\sigma_1\sigma_5^2 + \sigma_1\sigma_2^2\sigma_3^2 - 2\sigma_1\sigma_2\sigma_3\sigma_5) + \\ & + v^2(\sigma_1\sigma_2\sigma_3^2\sigma_4 - \sigma_1\sigma_3\sigma_4\sigma_5) + v^4(\sigma_1\sigma_2\sigma_3\sigma_4\sigma_5 - \sigma_1\sigma_4\sigma_5^2) \end{aligned} \quad (81)$$

○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○

Analitikus eredmények

○○○
○○
○○○○○○○○

○○○○●
○○○○○○○○○○○○○○

$$Q_n(n) = \sigma_1(n) \sigma_n(n) P_n(n) S_n(n) \quad (82)$$

$$S_{n+1}(\omega x, \bar{\omega} x, n-1) = (vx + \bar{v}\bar{x}) S_n(x, n-1) \quad (83)$$

$$S_{n+2}(x, -x, n) = -(x^2 v^2 - 1 + x^{-2} v^{-2}) S_n(n) \quad (84)$$

$$S_n(n) = \tau_{n-1}(n) + \sum_{m \geq 1} (-1)^m (\tau_{n+1-6m}(n) + \tau_{n-1-6m}(n)) \quad (85)$$

$$\tau_k(x_1, \dots, x_n) = \sum_{\ell=0}^k v^{2\ell-k} \bar{\sigma}_{k-\ell}(x_1, \dots, x_n) \sigma_\ell(x_1, \dots, x_n) \quad (86)$$

Integrálható elméletek

5

Numerikus eredmények

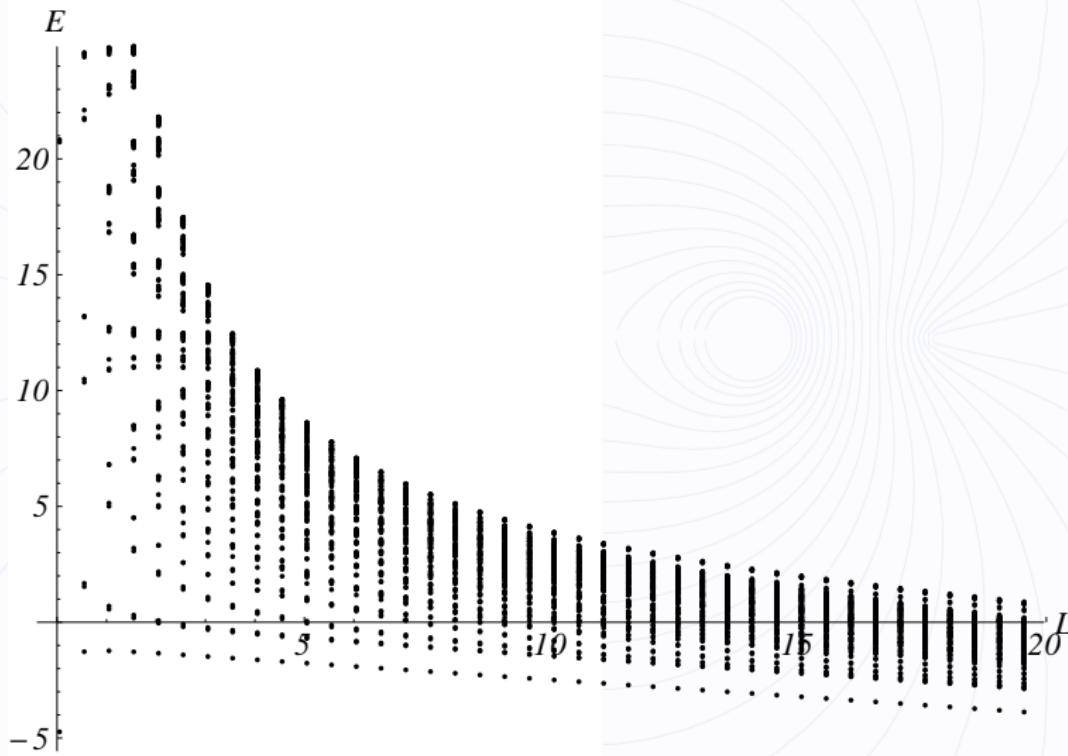
Konform térelmélet

10

Eredmények

10

Diszkusszió



Konczer József

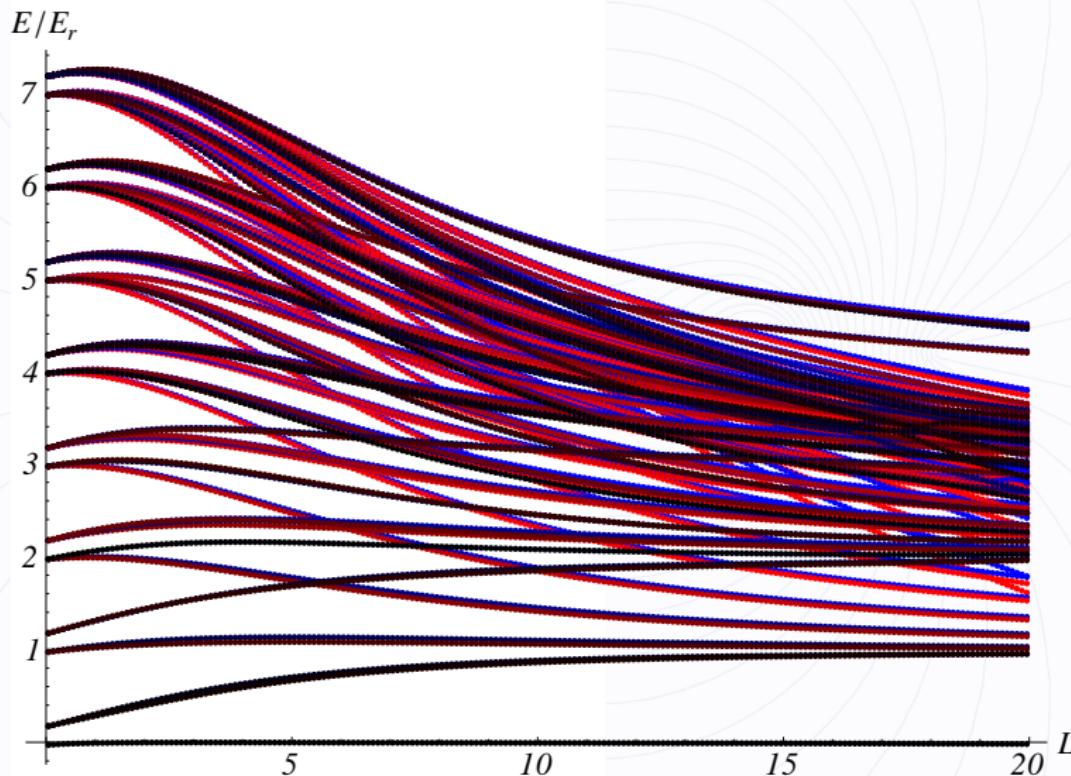
Integrálható módszerek alkalmazása a mérték/húr-elméletekben

ooo
ooo
oooooooo
ooo

ooo
oo
oooooooo

oooooo
o●oooooooooooo

Numerikus eredmények

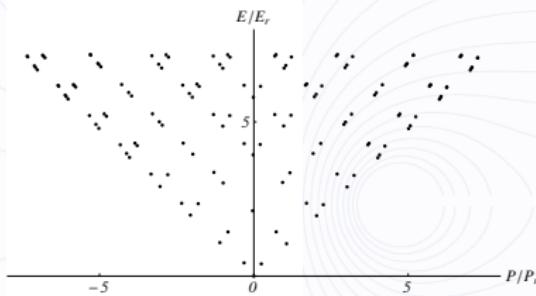
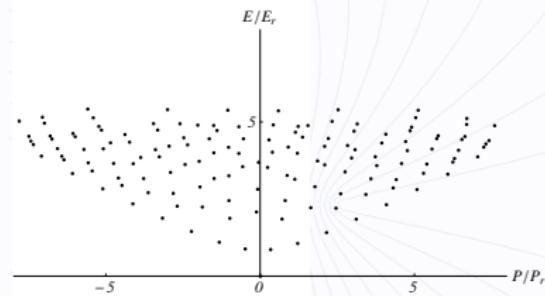


ooo
ooo
ooo
ooooooo
ooo

ooo
oo
ooooooo

oooooo
oo●oooooooooooo

Numerikus eredmények

(a) $L = 2$ (b) $L = 10$ Figure: $H' + iP'$ spektrum

```
○○○  
○○○  
○○○○○○○○  
○○○
```

Numerikus eredmények

```
○○○  
○○  
○○○○○○○○
```

```
○○○○○○  
○○○●○○○○○○○○
```

$$|\langle 0 | \bar{\varphi}(0) | \underline{n} \rangle_L| = \left| \left(\frac{2\pi}{L} \right)^{1/5} \frac{V^\dagger(L, \emptyset) \bar{\varphi} V(L, \underline{n})}{\sqrt{V^\dagger(L, \emptyset) G V(L, \emptyset)} \sqrt{V^\dagger(L, \underline{n}) G V(L, \underline{n})}} \right| \quad (87)$$

$$|\langle \underline{n} | \bar{\varphi}(0) | \underline{n} \rangle_L| = \left| \left(\frac{2\pi}{L} \right)^{1/5} \frac{V^\dagger(L, \underline{n}) \bar{\varphi}(0) V(L, \underline{n})}{V^\dagger(L, \underline{n}) G V(L, \underline{n})} \right| \quad (88)$$

$$FF(L, cut) = A(L) + \frac{B(L)}{cut^\alpha} \quad (89)$$

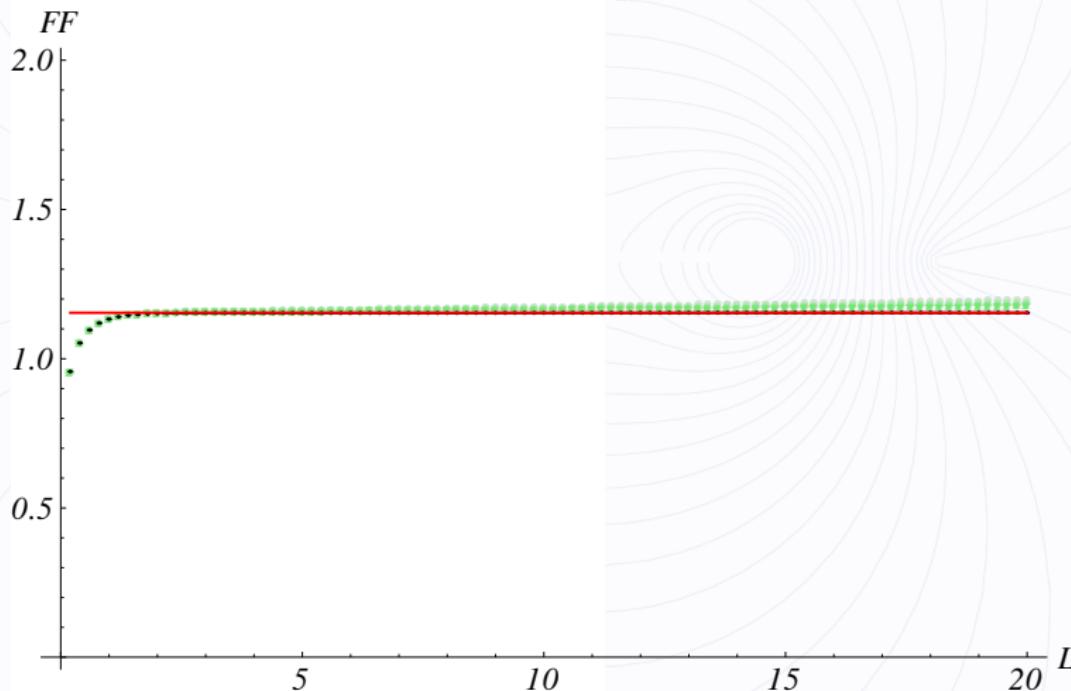
ooo
ooo
ooo
oooooooooooo
ooo

ooo
oo
oooooooooooo

ooooooo
oooo●ooooooo

Numerikus eredmények

*Measured, fitted and theoretical FF of $\bar{\varphi}$
on state {}*

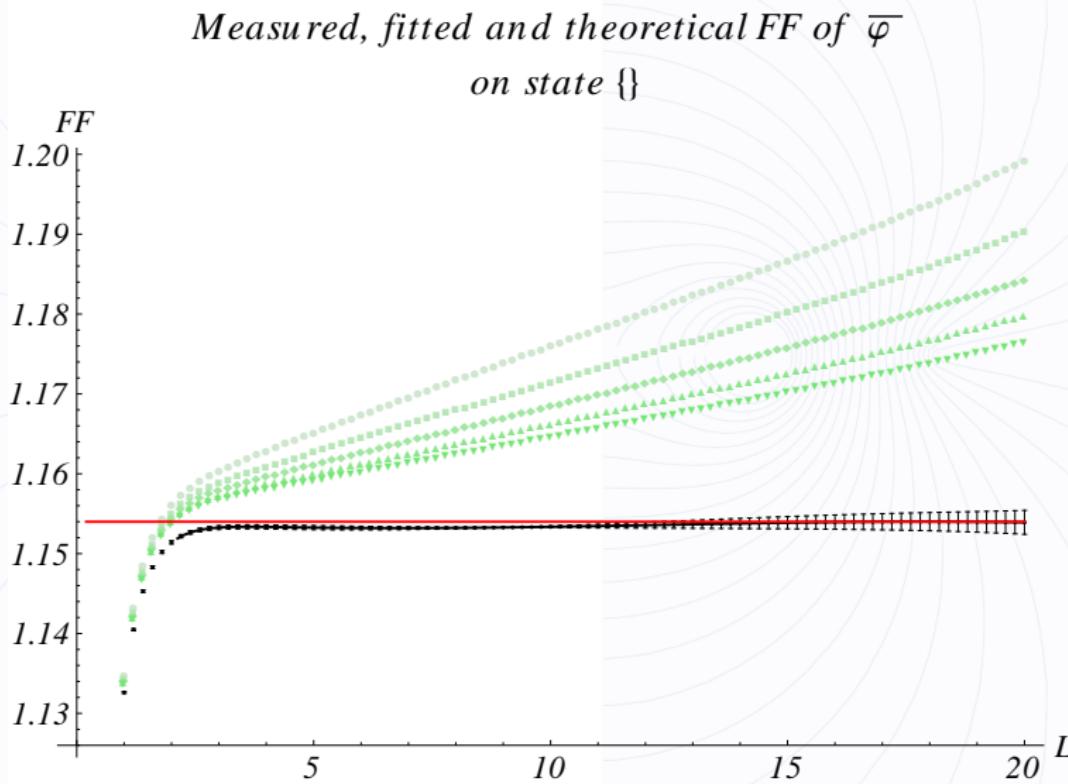


ooo
ooo
oooooooo
ooo

ooo
oo
oooooooo

oooooo
oooooo●oooooo

Numerikus eredmények



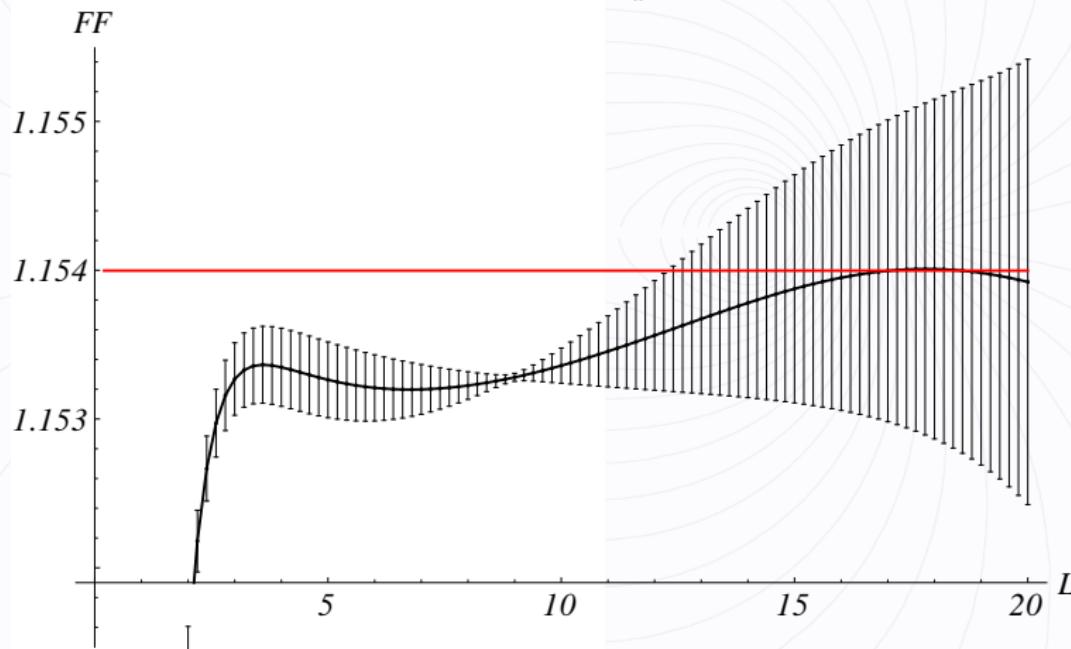
ooo
ooo
oooooooo
ooo

ooo
oo
oooooooo

oooooo
oooooo•oooooo

Numerikus eredmények

*Fitted and theoretical FF of $\bar{\varphi}$
on state {}*



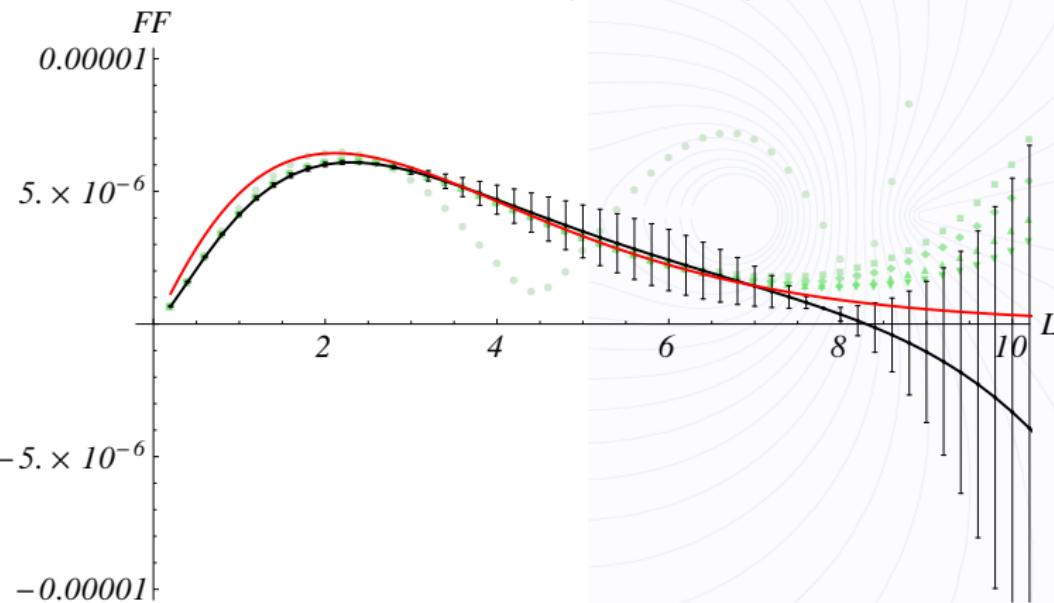
○○○
○○○
○○○○○○○○
○○○

○○○
○○
○○○○○○○○

○○○○○○
○○○○○○●○○○○

Numerikus eredmények

*Measured, fitted and theoretical FF of $\overline{\varphi}$
on state $\{-1, 0, 1, 2\}$*



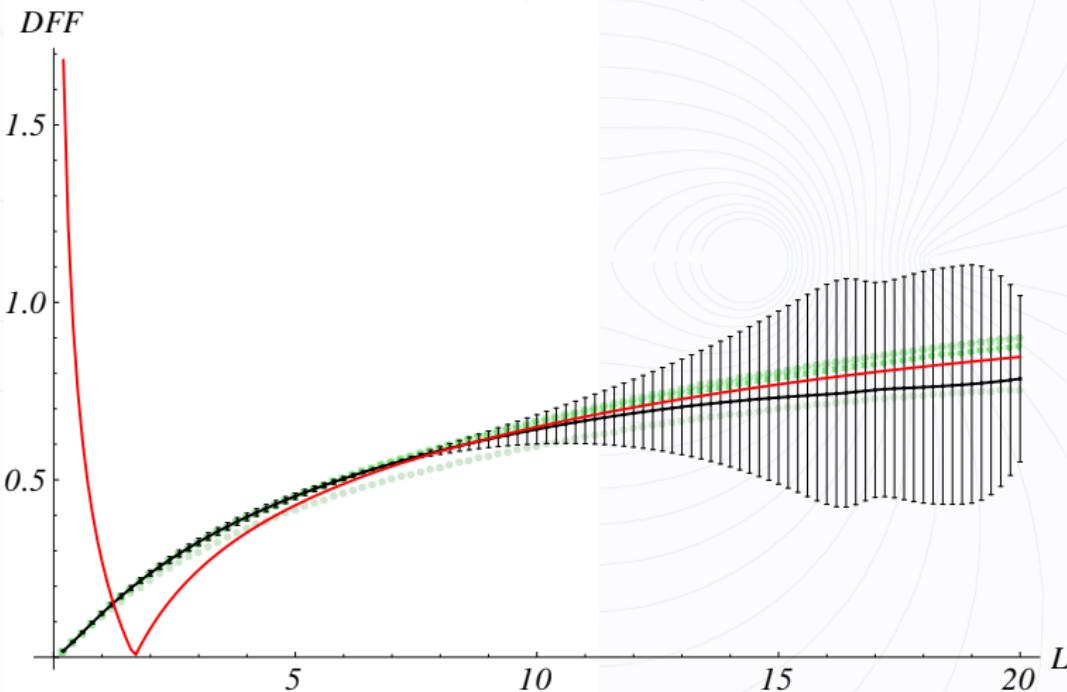
ooo
ooo
ooo
oooooooooooo
ooo

ooo
oo
oooooooooooo

ooooooo
oooooooooooo●oooo

Numerikus eredmények

*Measured, fitted and theoretical DFF of $\bar{\varphi}$
on state $\{-1, 0, 1, 2\}$*



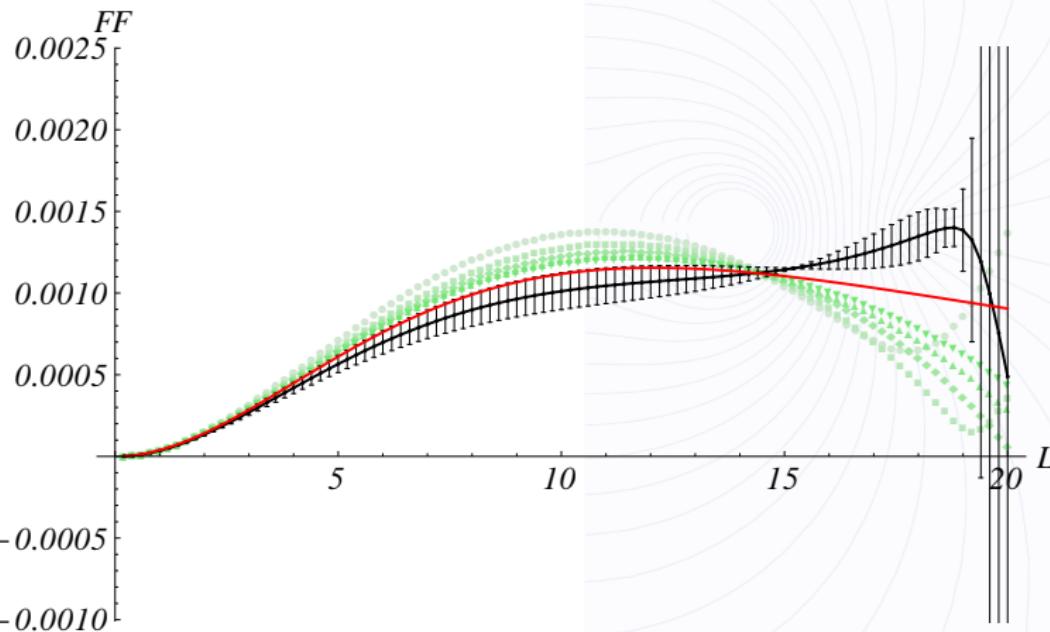
ooo
ooo
ooo
oooooooooooo
ooo

ooo
oo
oooooooooooo

ooooooo
oooooooooooo●ooo

Numerikus eredmények

*Measured, fitted and theoretical FF of $\bar{\varphi}$
on state $\{-2, 2\}$*



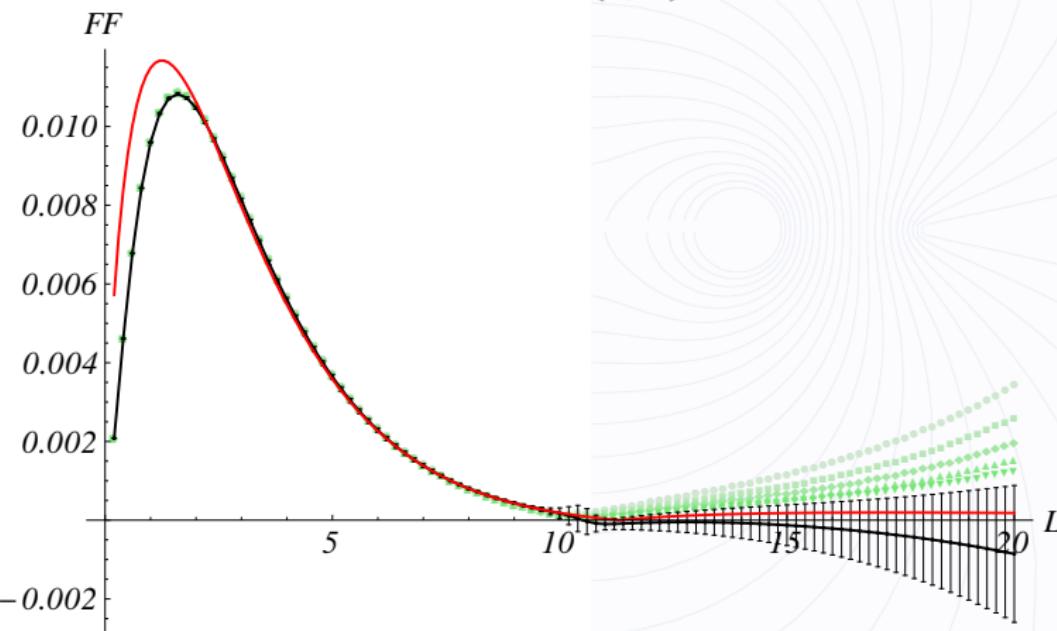
ooo
ooo
ooo
oooooooooooo
ooo

ooo
oo
oooooooooooo

ooooooo
oooooooooooo●o

Numerikus eredmények

*Measured, fitted and theoretical FF of $\bar{\varphi}$
on state $\{0, 1\}$*



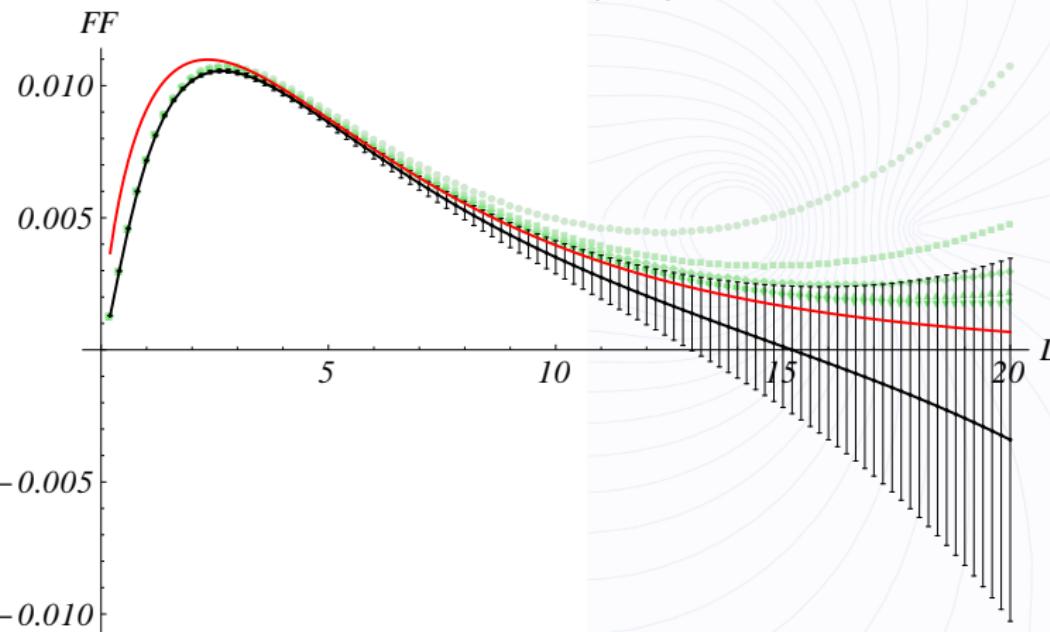
ooo
ooo
ooo
oooooooo
ooo

ooo
oo
ooo
oooooooo

oooooo
oooooooooooo●

Numerikus eredmények

*Measured, fitted and theoretical FF of $\bar{\varphi}$
on state $\{0, 3\}$*



- Numerikus eredmények megerősítik az analitikus számolást (sejtést)
- Kis térfogaton látszanak az exponenciális korrekciók (μ tagok)
- Nagy térfogatokon a TCSA nem megbízható, viszont az extrapoláció képes megbízhatóságot mondani
- A köztes tartományon sincs minden hibahatáron belül egyezés
- Továbblépési lehetőségek:
 - FF fázisának figyelembe vétele a sajátállapotokra kirótt megfelelő feltételel (realitási feltétel)
 - Komplex értékekkel végzett extrapoláció
 - Nagyobb levágások alkalmazása (18-as már készen van)
 - Analitikus eredmény tényleges bizonyítása

Integrálható elméletek



Konform térelmélet



Eredmények



DiszkuSSIÓ

Köszönöm a figyelmet!

Konczer József

Integrálható módszerek alkalmazása a mérték/hűr-elméletekben