Phasendiagramm im PNJL-Modell bei reellem und imaginärem chemischen Potential

• David Scheffler, Michael Buballa, Jochen Wambach

DPG Frühjahrstagung
Bonn – 18. März 2010

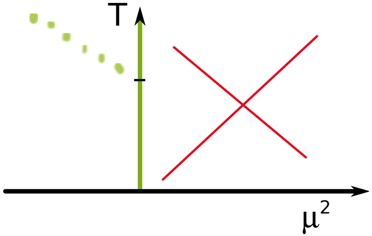
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Motivation

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Gitter-QCD

- Gitter-QCD hat Vorzeichenproblem für $Re(\mu) \neq 0$, aber nicht für $Im(\mu) \neq 0$
- imaginäres chemisches Potential $\mu = i\theta T$
- Nutze Extrapolation von $\mu^2 < 0$ nach $\mu^2 > 0$



Polyakov-Loop erweitertes Nambu–Jona-Lasinio Modell

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Rechnungen möglich für reelles und imaginäres chemisches Potential
- Nutze Extrapolation von $\mu^2 < 0$ nach $\mu^2 > 0$ und vergleiche mit direkter Berechnung
- 2 Quarkflavors: [Sakai et. al. (2008 & 2009)]
- hier: 2+1 Quarkflavors
- Lagrangian

$$
\begin{aligned}
\mathcal{L}_{PNJL} &= \bar{\psi}\left(i\gamma_\mu D^\mu - m_f\right)\psi \\
&+ \frac{g_S}{2}\left[(\bar{\psi}\tau_a\psi)^2 + (\bar{\psi}i\gamma_5\tau_a\psi)^2\right] \\
&+ g_D\left[\det\left(\bar{\psi}(1-\gamma_5)\psi\right) + \det\left(\bar{\psi}(1+\gamma_5)\psi\right)\right] \\
&+ \mathcal{U}_{Polyakov}(\Phi[A], \bar{\Phi}[A], T)
\end{aligned}
$$

- in Meanfield Näherung

$$\mathcal{L}_{MF} = \bar{\psi}\left(i\gamma_\mu D^\mu - M_f\right)\psi + g_S\left(\sigma_u^2 + \sigma_d^2 + \sigma_s^2\right) + 4g_D\sigma_u\sigma_d\sigma_s + \mathcal{U}_{Polyakov}(\Phi, \bar{\Phi}, T)$$

Besonderheiten bei imaginärem chemischen Potential

- imaginäres chemisches Potential $\mu = i\theta T$

- Roberge & Weiss (1986): QCD besitzt Periodizität $\Omega_{QCD}(\theta) = \Omega_{QCD}(\theta + 2\pi k/3)$, verbunden durch $\mathbb{Z}_3$ Transformation
- „erweiterte $\mathbb{Z}_3$ Transformation“:

$$\Phi \to \Phi e^{-i2\pi k/3} \text{ und } \theta \to \theta + 2\pi k/3$$

- in QCD und PNJL invariant: thermodynamisches Potential $\Omega(\theta)$, abgeleitete Größen $(\sigma_f(\theta), \ldots)$
- RW-Periodizität mit Periode $\frac{2\pi}{3}$
- RW-Phasenübergang bei hohen Temperaturen und $\theta = \frac{\pi}{3}, \frac{3\pi}{3}, \ldots$

Auswahlmöglichkeiten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Crossover-Kriterien

- halbe asymptotische Werte
- Wendepunkt (=maximale Temperaturableitung)
- Peak der chiralen Suszeptibilität

Polyakov-Loop Potentiale

- polynomiell
- logarithmisch
- Fukushima

Regularisierung

- 3er Impulscutoff im Vakuumanteil und Mediumanteil
- 3er Impulscutoff im Vakuumanteil

verschiedene Parameter-Sätze

Auswahlmöglichkeiten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Crossover-Kriterien

- halbe asymptotische Werte
- Wendepunkt (=maximale Temperaturableitung)
- Peak der chiralen Suszeptibilität

Polyakov-Loop Potentiale

- polynomiell
- logarithmisch
- Fukushima

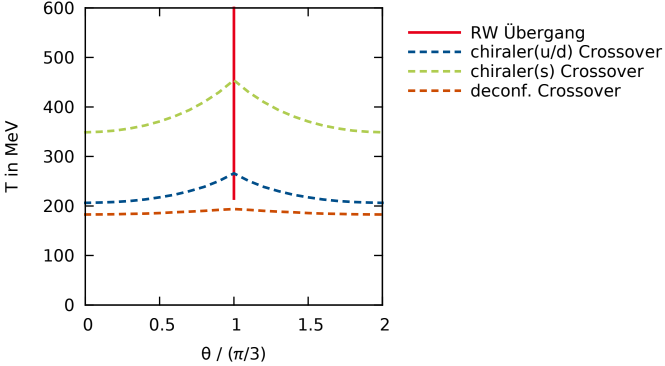
Regularisierung

- 3er Impulscutoff im Vakuumanteil und Mediumanteil
- 3er Impulscutoff im Vakuumanteil

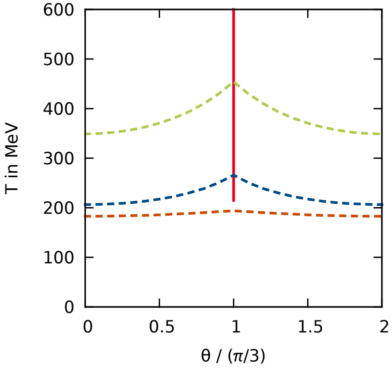
verschiedene Parameter-Sätze

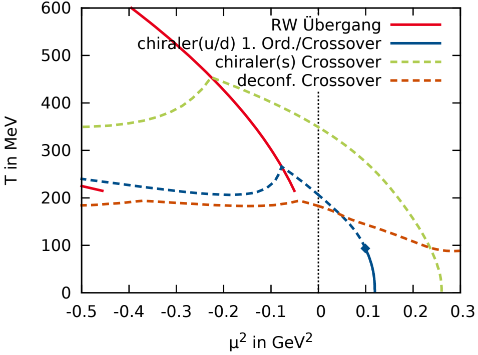
Phasendiagramm
polynomielles Potential

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



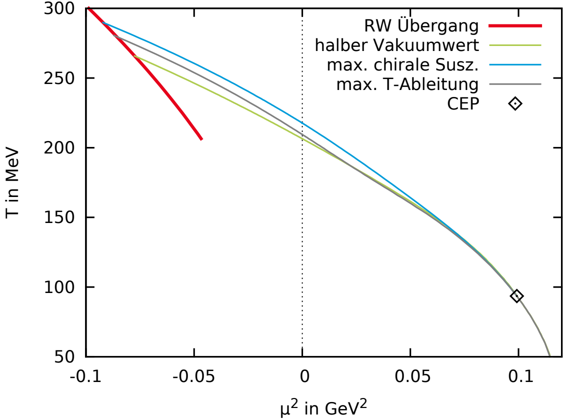
Phasendiagramm
polynomielles Potential





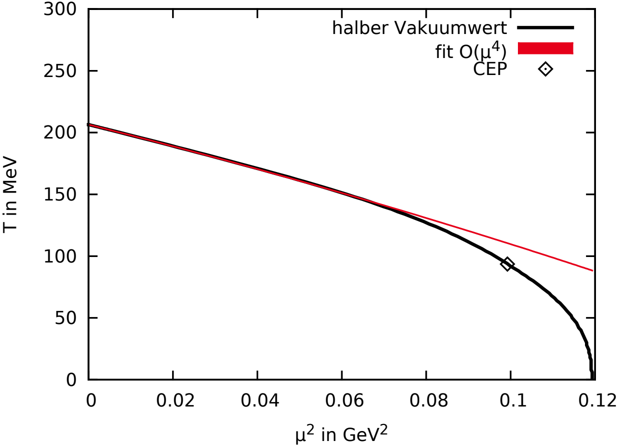
Phasendiagramm ($\mu^2 - T$ Ebene)
polynomielles Potential

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



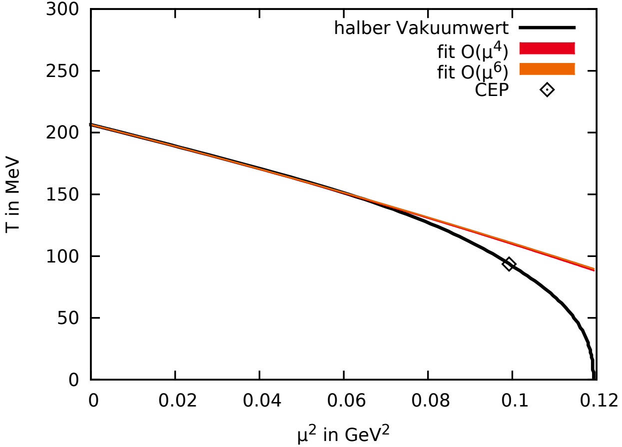
Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

Crossover-Kriterium: halber Vakuumwert



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

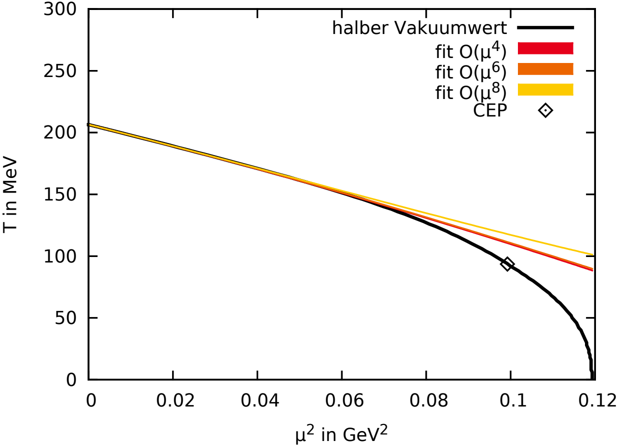
Crossover-Kriterium: halber Vakuumwert



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

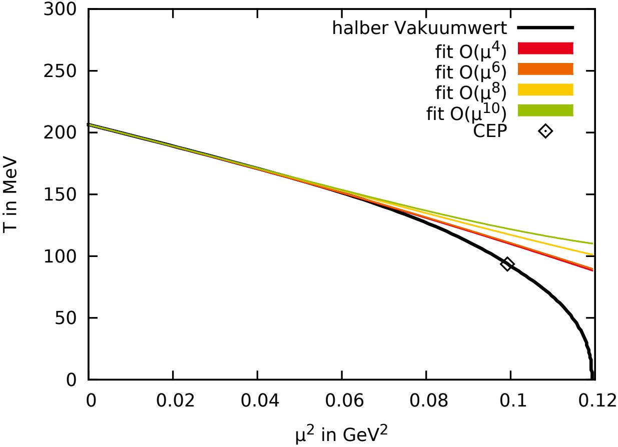
Crossover-Kriterium: halber Vakuumwert



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

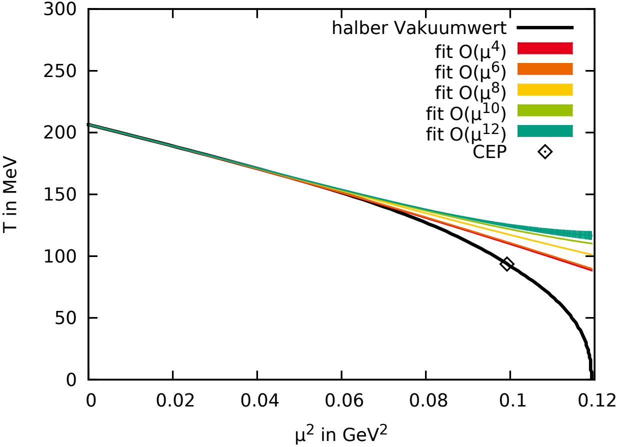
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Crossover-Kriterium: halber Vakuumwert



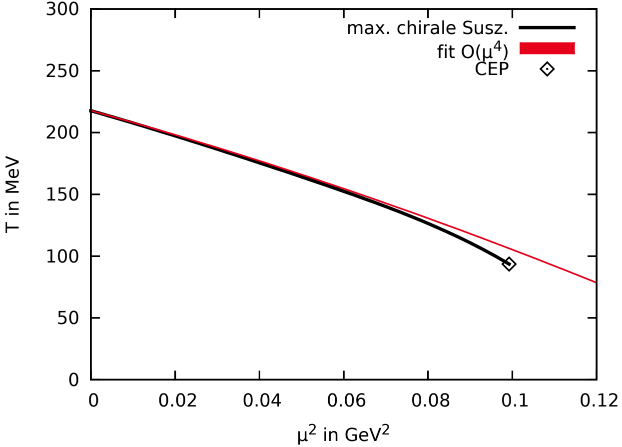
Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

Crossover-Kriterium: halber Vakuumwert



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

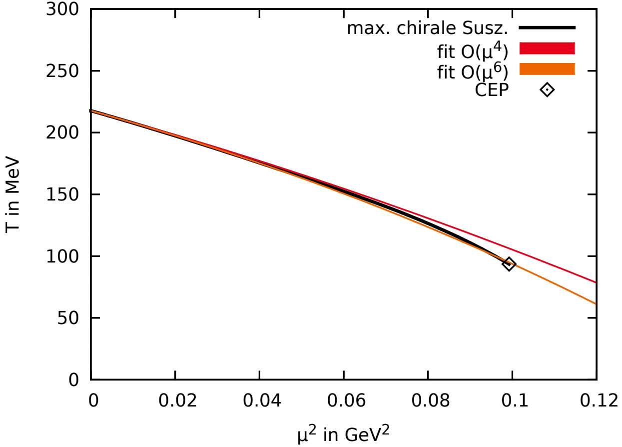
Crossover-Kriterium: Maximum der chiralen Suszeptibilität



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

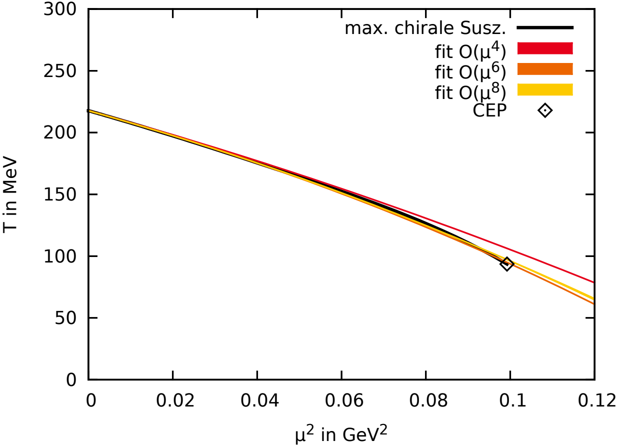
Crossover-Kriterium: Maximum der chiralen Suszeptibilität



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

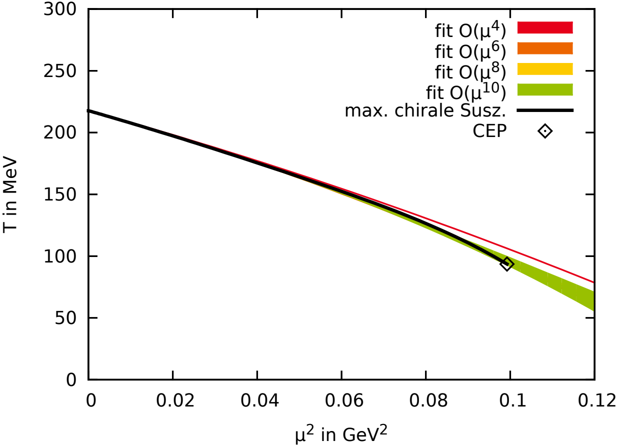
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Crossover-Kriterium: Maximum der chiralen Suszeptibilität



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

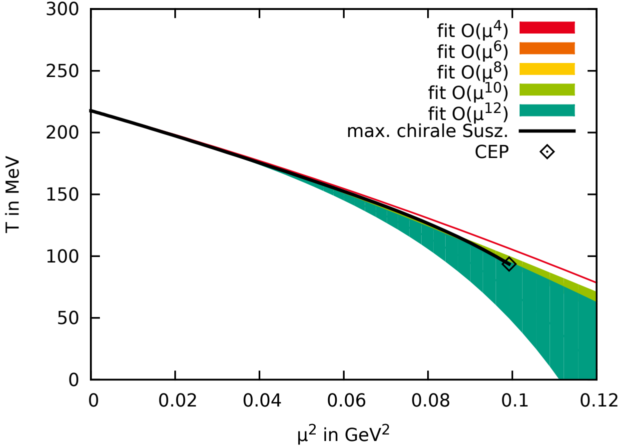
Crossover-Kriterium: Maximum der chiralen Suszeptibilität



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

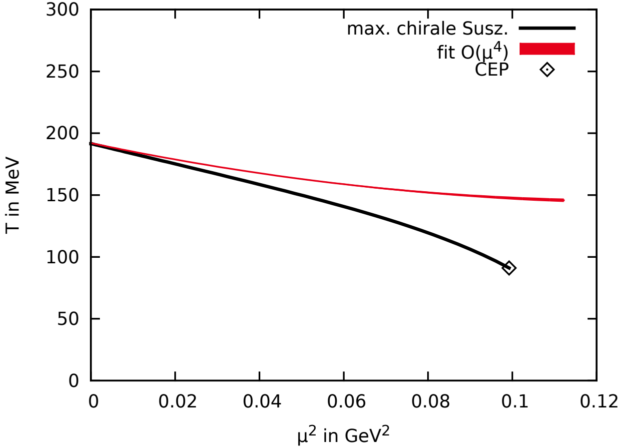
Crossover-Kriterium: Maximum der chiralen Suszeptibilität



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

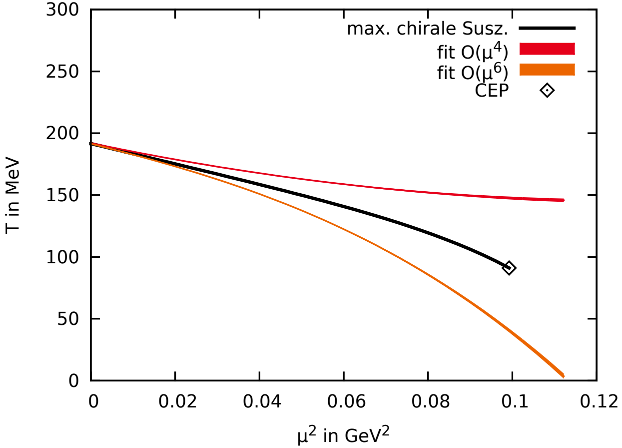
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Crossover-Kriterium: Max. der chiralen Susz. (ohne Medium-Cutoff)



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

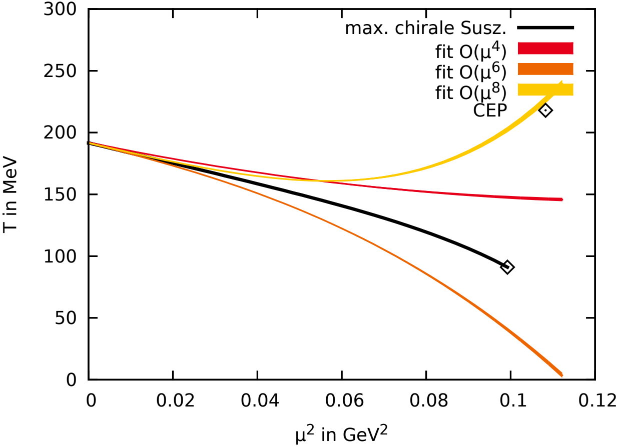
Crossover-Kriterium: Max. der chiralen Susz. (ohne Medium-Cutoff)



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

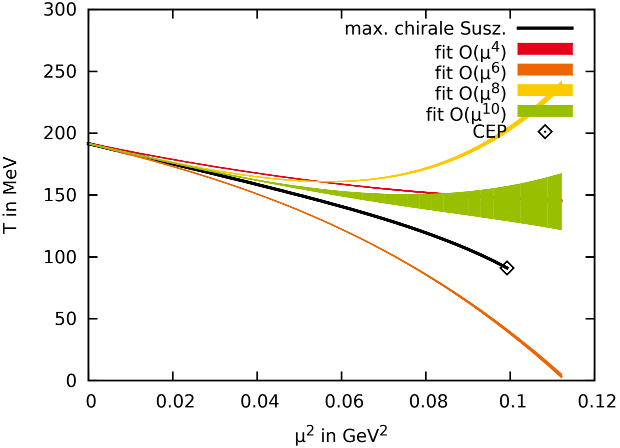
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Crossover-Kriterium: Max. der chiralen Susz. (ohne Medium-Cutoff)



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

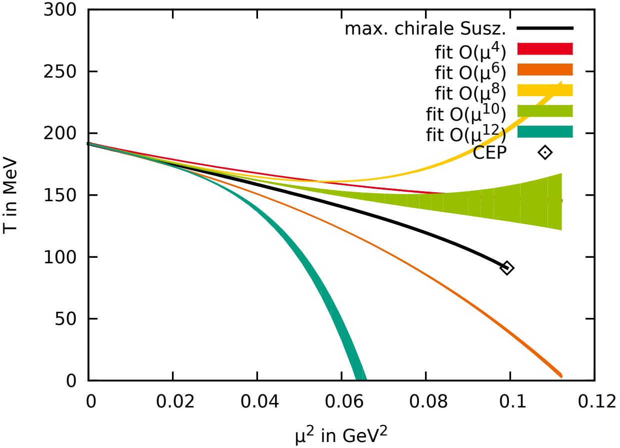
Crossover-Kriterium: Max. der chiralen Susz. (ohne Medium-Cutoff)



Extrapolation der chiralen Crossover-Linie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Crossover-Kriterium: Max. der chiralen Susz. (ohne Medium-Cutoff)



Zusammenfassung und Ausblick

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Zusammenfassung

- PNJL-Modell besitzt RW-Symmetrie & -Periodizität
- Fortsetzung der Crossoverlinien von imaginärem zu reellem chemischen Potential möglich
- nicht immer zuverlässig

Ausblick

- Fit-Prozedur ändern, andere Fitfunktionen, ...
- Vergleich mit Ergebnissen der Gitter-QCD

Vielen Dank!

Polyakov-Loop

- $L(\vec{x}) = \mathcal{P} \exp\left[i \int_0^{1/T} d\tau\, A_4(\vec{x}, \tau)\right]$
- Erwartungswerte $\Phi = \frac{1}{N_c} \langle \mathrm{tr}\, L \rangle \qquad \bar{\Phi} = \frac{1}{N_c} \left\langle \mathrm{tr}\, L^\dagger \right\rangle$

Polyakov-Loop Potentiale

> [Fukushima (2008)]:

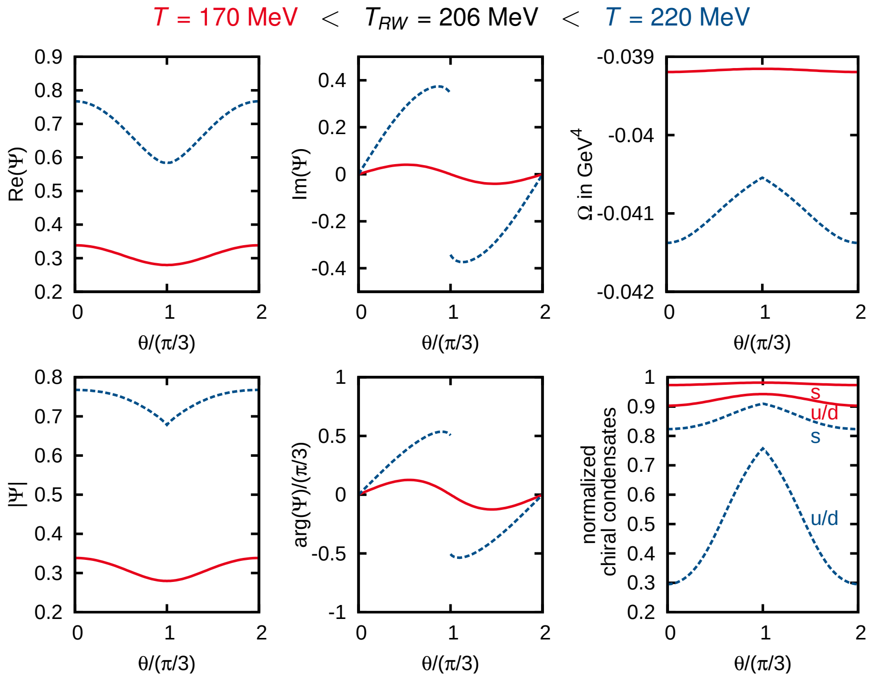
$$\frac{\mathcal{U}_{fuku}}{T^4} = -bT \left(54 e^{-a/T} \Phi\Phi^* + \log\left[1 - 6\Phi\Phi^* + 4(\Phi^3 + \Phi^{*3}) - 3(\Phi\Phi^*)^2\right]\right)$$

> polynomiell [Ratti, Thaler, Weise (2006)]:

$$\frac{\mathcal{U}_{poly}}{T^4} = -\frac{b_2(T)}{2}\Phi\Phi^* - \frac{b_3}{6}(\Phi^3 + \Phi^{*3}) + \frac{b_4}{4}(\Phi\Phi^*)^2$$

> logarithmisch [Rößner, Ratti, Weise (2007)]:

$$\frac{\mathcal{U}_{log}}{T^4} = -\frac{a(T)}{2}\Phi\Phi^* + b(T)\log\left[1 - 6\Phi\Phi^* + 4(\Phi^3 + \Phi^{*3}) - 3(\Phi\Phi^*)^2\right]$$


T = 170 MeV < T_RW = 206 MeV < T = 220 MeV
Re(Ψ)
Im(Ψ)
Ω in GeV^4
|Ψ|
arg(Ψ)/(π/3)
normalized chiral condensates
s
u/d
s
u/d
θ/(π/3)