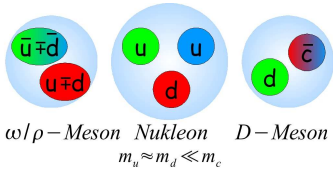


QCD Sum Rules for the D-Meson at finite Density

T. Hilger, R. Thomas, B. Kämpfer

QCD-Kondensate und Medium-modifizierte Hadronen

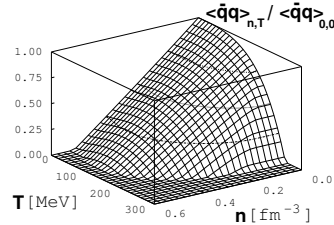
- Hadronen sind zusammengesetzte Objekte aus Quarks und Gluonen.



- Kondensate verändern sich innerhalb stark wechselwirkender Materie, z.B. in Kernmaterie.

→ Erwartung: Auch Massen und andere Eigenschaften von Hadronen ändern sich bei Einbettung in Kernmaterie.

- Analogie → Stark- und Zeeman-Effekte.



- $\langle \bar{q}q \rangle$ ist Ordnungsparameter der chiralen Symmetrie, einem fundamentalen Symmetrieprinzip der starken Wechselwirkung; chirale Symmetrie ist im Vakuum spontan gebrochen; Restauration der Symmetrie in dichter (n) und heißer (T) Kernmaterie wird erwartet.

- Quarks und Gluonen werden durch die Theorie der starken Wechselwirkung (QCD) beschrieben.

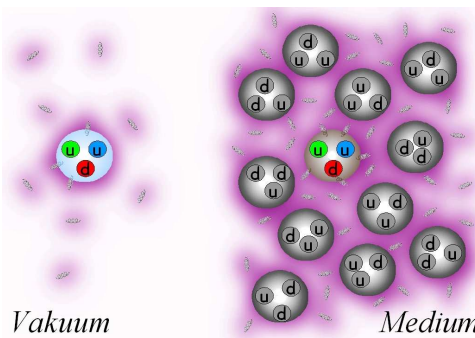
- Hadronen treten als Anregungen des QCD-Grundzustandes (= Vakuum) auf. → Dieses Vakuum wird durch Kondensate charakterisiert:

$$\langle \bar{q}q \rangle, \langle \frac{\alpha_s}{\pi} G^2 \rangle, \langle \bar{q}g_s(\sigma G)q \rangle, \langle \bar{q}\hat{A}q\bar{B}q \rangle$$

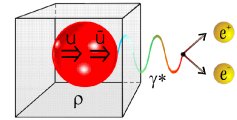
- Kondensate erfassen die komplexe, nichtstörungstheoretische Struktur des Vakuums.

- Hadronenmassen werden durch QCD-Summenregeln erklärt;

$$m_{\text{Hadron}} = \mathcal{F}(\langle \bar{q}q \rangle, \dots)$$



- Wie kann man Modifikationen von Hadronen im Medium messen?



- Untersuchung spektraler Eigenschaften durch direkte elektromagnetische Zerfälle von Vektormesonen = Ziel von HADES.

QCD-Summenregeln

→ beschreiben erfolgreich das Massenspektrum der Hadronen im Vakuum und liefern die direkte Korrespondenz zwischen Modifikationen der Hadroneneigenschaften und den Änderungen der QCD-Kondensate. Analytische Eigenschaften der hadronischen Greenschen Funktion führen zu integralen Darstellungen. Diese verknüpfen die hadronische Spektralfunktion mit Parametern der QCD, insbesondere mit QCD-Kondensaten.

- Mit einem Ansatz für die Spektralfunktion können Mediummodifikationen hadronischer Parameter extrahiert werden (Beispiel: Änderung einer effektiven Masse). Umgekehrt können experimentelle Kenntnisse genutzt werden, um die bisher unbekanntesten Dichte-abhängigkeiten bestimmter QCD-Kondensate einzuschränken.

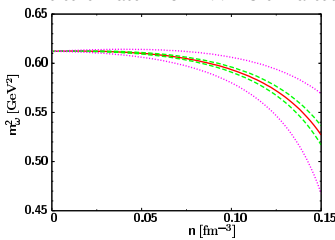
$$\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta \Pi_H(s, \vec{q})}{s - q_0} = \sum_{n=0}^N a_n q_0^n = c_0(q) + c_1(q) \langle \bar{q}q \rangle + c_2(q) \langle \frac{\alpha_s}{\pi} G^2 \rangle + c_3(q) \langle \bar{q}g_s(\sigma G)q \rangle + c_4(q) \langle \bar{q}\hat{A}q\bar{B}q \rangle + \dots$$

Spektralintegral des Hadrons H Kondensatbeiträge

ω-Meson

($\bar{q}q$ - System leichter Quarks)

Experimentelle Daten: CB-TAPS, weitere Daten von HADES erwartet

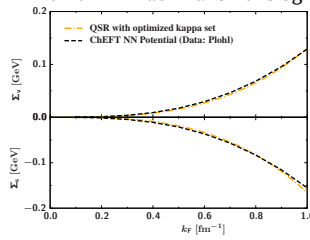


R. Thomas, S. Zschocke, B. Kämpfer, Phys. Rev. Lett. (2005)

Nukleon

(qqq - System leichter Quarks)

Experimentelle Daten: Grundzustände von Kernen + Dirac-Phänomenologie

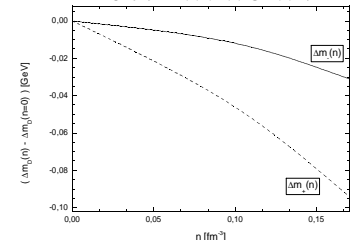


R. Thomas, T. Hilger, B. Kämpfer, Nucl. Phys. A (2007)

D-Meson

($\bar{Q}q$ - System leichter und schwerer Quarks)

Experimentelle Daten: erwartet von CBM + PANDA @ FAIR



- Chirales Kondensat bestimmt Aufspaltung des D^* - D -Dubletts
- Mittlere Massenverschiebung kann im Rahmen des "Pol + Kontinuum"-Ansatzes nicht zuverlässig bestimmt werden

OPE für D-Mesonen

$$\Pi_{D^*}^{\mu\nu}(q_0) = \Pi_{\text{pert}}(q_0) + \langle \bar{d}d \rangle \frac{m_c}{q_0^2 - m_c^2} - \langle \bar{d}g_s^A(\sigma G)d \rangle \frac{1}{2} \left(\frac{m_c^2}{(q_0^2 - m_c^2)^3} + \frac{m_c}{(q_0^2 - m_c^2)^2} \right) - \langle \frac{\alpha_s}{\pi} G^2 \rangle \frac{1}{12} \frac{1}{q_0^2 - m_c^2} + \langle \frac{\alpha_s}{\pi} (\frac{vG^2}{v^2} - G^2) \rangle \left(\frac{7}{18} \left(\frac{m_c^2}{(q_0^2 - m_c^2)^2} + \frac{1}{q_0^2 - m_c^2} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{m_c^2}{(q_0^2 - m_c^2)^2} + \frac{1}{q_0^2 - m_c^2} \right) \ln \frac{\mu^2}{m_c^2} + \frac{2}{3} \left(\frac{m_c^2}{(q_0^2 - m_c^2)^2} + \frac{1}{q_0^2 - m_c^2} \right) \ln \left(-\frac{m_c^2}{q_0^2 - m_c^2} \right) \right) + \langle d^+ i D_0 d \rangle 2 \left(\frac{m_c^2}{(q_0^2 - m_c^2)^2} + \frac{1}{q_0^2 - m_c^2} \right) - \langle d^+ d \rangle q_0 \frac{1}{q_0^2 - m_c^2} + \langle d^+ D_0^2 d \rangle q_0 4 \left(\frac{m_c^2}{(q_0^2 - m_c^2)^3} + \frac{1}{(q_0^2 - m_c^2)^2} \right) - \langle d^+ g_s^A(\sigma G^A)d \rangle q_0 \frac{1}{(q_0^2 - m_c^2)^2} - \left(\frac{1}{3} \langle \bar{d}D_0^2 d \rangle - \frac{1}{24} \langle \bar{d}g_s^A(\sigma G^A)d \rangle \right) 12 \left(\frac{m_c^3}{(q_0^2 - m_c^2)^3} + \frac{m_c}{(q_0^2 - m_c^2)^2} \right)$$

