

## Gitter-QCD-Untersuchung von Tetraquark-Kandidaten

### Researchers

Joshua Berlin, Dr. Krzysztof Cichy,  
Dr. Antje Peters, Jonas Scheunert,  
Annabelle Uenver and Björn  
Wagenbach

### Principal Investigator

Prof. Dr. Marc Wagner

### Project Term

2015 - 2015

### Project Areas

Optics, Quantum Optics and Physics  
of Atoms, Molecules and Plasmas,  
Particles, Nuclei and Fields

### Clusters

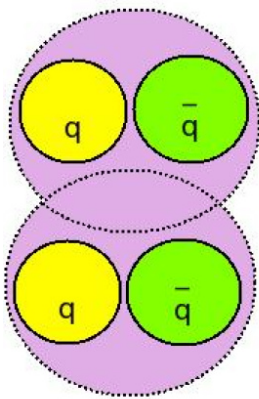
LOEWE CSC Cluster Frankfurt

### Institute

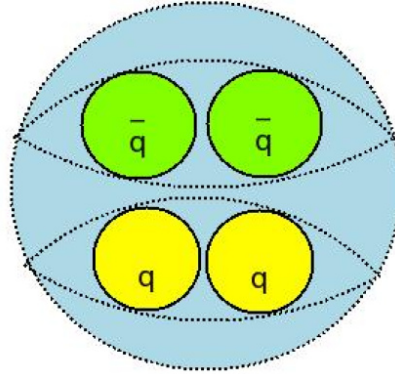
Institut für Theoretische Physik

### University

Goethe Universität Frankfurt am  
Main



mesonisches Molekül



Diquark-Antidiquark

## Introduction

Die Quantenchromodynamik (QCD), die Theorie der Quarks und Gluonen, beschreibt den Aufbau eines Großteils der uns umgebenden Materie. Zum Beispiel bestehen sowohl Proton als auch Neutron aus drei Quarks, die von Gluonen zusammengehalten werden. Gebundene Zustände von Quarks werden allgemein als Hadronen bezeichnet. Man unterscheidet zwischen Mesonen (typischerweise gebundene Quark-AntiquarkPaare) und Baryonen (gebundene Zustände aus drei Quarks). Tetraquarks sind viel diskutierte, möglicherweise existierende mesonische Zustände, die aus zwei Quarks und zwei Antiquarks bestehen. Tetraquarks bieten eine Erklärung für eine Reihe unbeantworteter Fragen im Bereich der Mesonphysik. Neben der Existenz und den Massen von Tetraquarks ist auch deren Struktur von Interesse, da unterschiedliche Möglichkeiten diskutiert werden, wie die Quarks in einem Tetraquark angeordnet sind. Ist die Bindung zwischen jeweils einem Quark und einem Antiquark stark, spricht man von einem mesonischen Molekül. Bei einer starken Bindung zwischen den beiden Quarks und den beiden Antiquarks liegt ein Diquark-Antidiquark vor (Abbildung 1).

## Methods

Das Hauptziel dieses Projekts besteht darin, ein besseres qualitatives Verständnis von möglicherweise existierenden Tetraquarks zu gewinnen. Unsere Arbeitsgruppe verfolgt dabei zwei komplementäre Ansätze.

- Zum einen werden konzeptionelle Untersuchungen in technisch vergleichsweise einfachen Systemen durchgeführt, bei denen zwei der vier Quarks als unendlich schwer angenommen werden. Mit Hilfe von numerischen Gitter-QCD-Rechnungen kann

bestimmt werden, welche anziehenden beziehungsweise abstoßenden Kräfte zwischen zwei Mesonen auftreten.

- In einem zweiten Schritt wird dann mit quantenmechanischen Modellrechnungen überprüft, ob diese Kräfte stark genug sind, um vier Quarks zu einem Tetraquark zusammenzubinden.

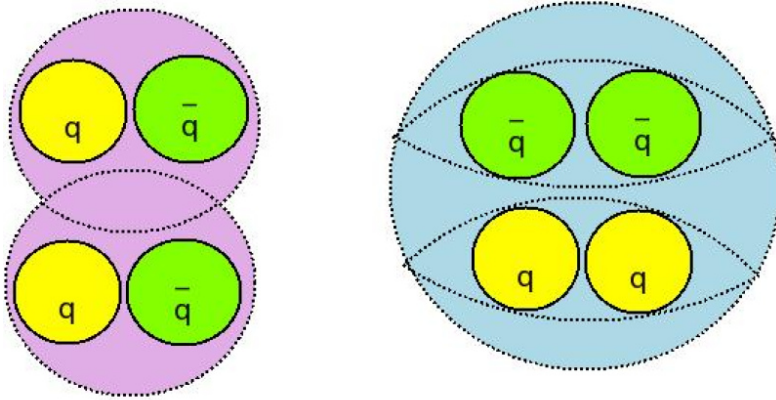
## Results

Erste Ergebnisse hierzu sind vielversprechend: Es wurden starke Anzeichen dafür gefunden, dass zwei schwere B-Mesonen in einer speziellen Anordnung einen gebundenen Vier-Quark-Zustand bilden können, also ein Tetraquark[1-4]. Gegenwärtig werden diese Rechnungen für den experimentell interessanteren aber gleichzeitig technisch schwierigeren Fall eines B- und eines Anti-B-Mesons erweitert. Außerdem ist eine Verfeinerung der erwähnten quantenmechanischen Modellrechnungen in Arbeit. Unser zweiter Ansatz besteht in der Berechnung und Analyse sogenannter Korrelationsmatrizen von Tetraquark-Operatoren. Dabei werden bei vorgegebenen Quantenzahlen die möglichen Strukturen eines Tetraquarkkandidaten (z.B. mesonisches Molekül und Diquark-Antidiquark (Abb. 1), aber auch Quark-Antiquark und nichtgebundene Zwei-Meson-Zustände) durch eine Reihe von Operatoren modelliert. Diagrammatisch ist eine typische Korrelationsmatrix in Abbildung 2 skizziert. Aus ihr können Informationen über die Masse und Struktur des  $a_0(980)$ -Mesons extrahiert werden. Die numerische Berechnung der Korrelationsmatrix ist jedoch ausgesprochen aufwändig, da sie in etwa der Lösung eines einhundertmillionen-dimensionalen Integrals entspricht. Gegenwärtig sind Teile der in Abbildung 2 gezeigten Matrix verfügbar.[5-11] Eine entsprechende Analyse hat gezeigt, dass es sich beim  $a_0(980)$ -Meson nicht um einen stabilen Vier-Quarkzustand handelt.[6]

## Discussion

Um weitere Informationen über die Struktur des  $a_0(980)$ -Mesons zu erhalten, werden momentan die verbleibenden Diagramme aus Abbildung 2 berechnet. Geplant ist außerdem die Verwendung des entwickelten Codes zum Studium schwererer Tetraquark-Kandidaten aus dem D- und D<sub>s</sub>-Meson- und dem Charmonium-Sektor, wie sie voraussichtlich auch in näherer Zukunft mit dem PANDA-Experiment am FAIR-Beschleuniger experimentell untersucht werden.

## Figures



mesonisches Molekül

Diquark-Antidiquark

Abb. 1: Ein mesonisches Molekül im Vergleich mit einem Diquark-Antiquark.

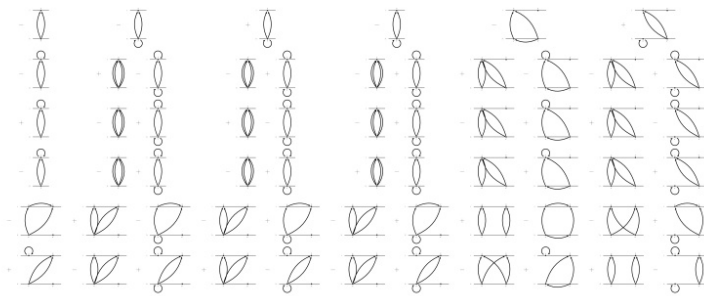


Abb. 2: Die Korrelationsmatrix für das  $a_0(980)$ -Meso.

## Reference

- [1] M. Wagner (2010), [ETM Collaboration], Forces between static-light mesons, PoS LATTICE 2010, 162.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1008.1538>
- [2] M. Wagner (2011), [ETM Collaboration], Static-static-light-light tetraquarks in lattice QCD, Acta Phys. Polon. Supp. 4 , 747.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1103.5147>
- [3] P. Bicudo and M. Wagner (2013), Lattice QCD signal for a bottom-bottom tetraquark, Phys. Rev. D 87, 11, 114511.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.87.114511>
- [4] B. Wagenbach, P. Bicudo, and M. Wagner (2014), Lattice investigation of heavy meson interactions.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/599/1/012006>
- [5] J.O. Daldrop et al. (2012), [ETM Collaboration], Lattice investigation of the tetraquark candidates  $a_0(980)$  and  $\kappa$ , PoS LATTICE 2012, 161.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1211.5002>
- [6] C. Alexandrou et al. (2013), [ETM Collaboration], Lattice investigation of the scalar mesons  $a_0(980)$  and  $\kappa$  using fourquark operators, JHEP 1304, 137. [https://doi.org/10.1007/JHEP04\(2013\)137](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2013)137)
- [7] M. Wagner et al. (2012), [ETM Collaboration], Scalar mesons and tetraquarks by means of lattice QCD, PoS Confinement X, 108.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1212.1648>
- [8] M. Wagner et al. (2013), [ETM Collaboration], Scalar mesons and tetraquarks from twisted mass lattice QCD, Acta Phys. Polon. Supp. 6, no. 3: 847. <https://doi.org/10.5506/APhysPolBSupp.6.847>
- [9] M. Wagner et al. (2014), Study of the  $a_0(980)$  on the lattice, PoS LATTICE 2013, 258. <https://doi.org/10.22323/1.187.0258>
- [10] M. Wagner et al. (2014), Investigation of light and heavy tetraquark candidates using lattice QCD, J. Phys. Conf. Ser. 503, 012031.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/503/1/012031>
- [11] A. Abdel-Rehim et al. (2014), Investigation of the tetraquark candidate  $a_0(980)$ : technical aspects and preliminary results.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1410.8757>

*Last Update:* 2022-08-12 10:30