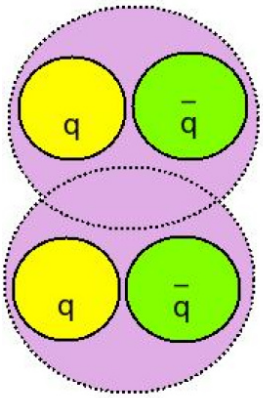
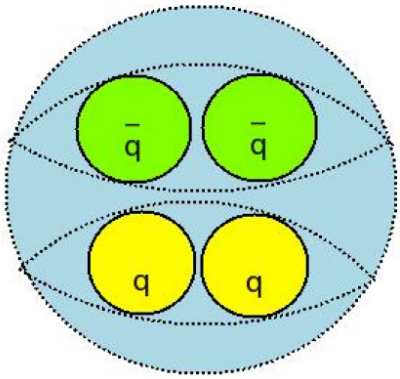
Hessisches Kompetenzzentrum
für Hochleistungsrechnen

Gitter-QCD-Untersuchung von Tetraquark-Kandidaten



mesonisches Molekül



Diquark-Antidiquark

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

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

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
UNIKASSEL VERSITÄT
Philipps Universität Marburg

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 Anordung 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 is eine Verfeinerung der erwähnten quantenmechanischen Modellrechnungen in Arbeit. Unser zweiter Ansatz besteht in der Berechnung und Analyse sogennanter Korrelationsmatrizen von Tetraquark-Operatoren. Dabei werden bei vorgegebenen Quantenzahlen die möglichen Strukturen eines Tetraquarkkandidaten (z.B. mesonsiches Molekül und Diquark-Antidiquark (Abb. 1), aber auch Quark-Antiquarkund 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_s-Meson- und dem Charmonium-Sektor, wie sie voraussichtlih auch in näherer Zukunft mit dem PANDA-Experiment am FAIRBeschleuniger experimentell untersucht werden.

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
UNIKASSEL VERSITÄT
Philipps Universität Marburg

Figures

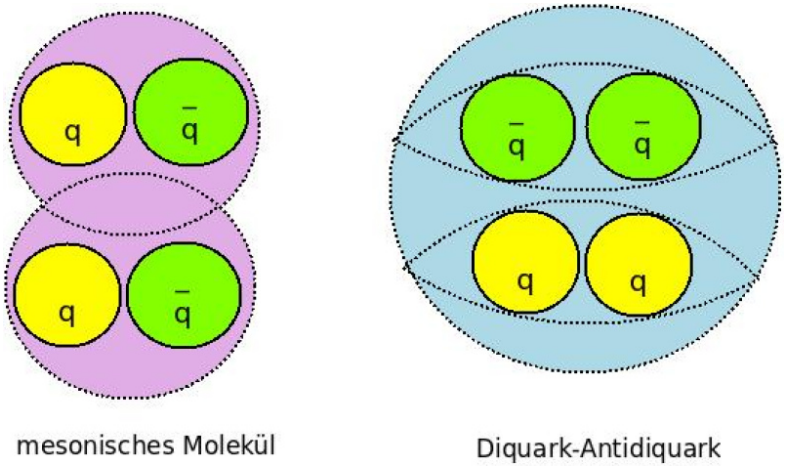


Abb. 1: Ein mesonisches Molekül im Vergleich mit einem Diquark-Antiquar.

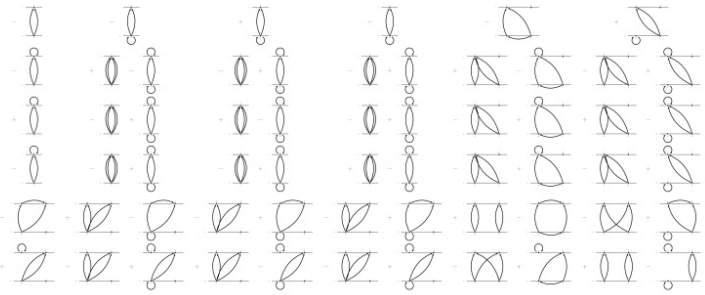


Abb. 2: Die Korrelationsmatrix für das a_0(980)-Meso.

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
UNIKASSEL VERSITÄT
Philipps Universität Marburg

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

[7] M. Wagner et al. (2012), [ETM Collaboration], Scalar mesons and tetraquarks by means of lattice QCD, PoS Confi nement 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