

Zusammenfassung der Dissertation „Precision Physics from the Lattice“

In den vergangenen Jahren ist Gitter-Quantenchromodynamik (Gitter-QCD) zum bedeutendsten Werkzeug zur Erforschung des nicht-störungstheoretischen Regimes der starken Wechselwirkung geworden. Dies ist vor allem der Tatsache geschuldet, dass die Weiterentwicklung von Algorithmen und der immense Anstieg an Rechenleistung Berechnungen unter realistischen physikalischen Bedingungen erst möglich gemacht haben.

In dieser Arbeit werden die Resultate einiger solcher Rechnungen präsentiert. Einige dieser Ergebnisse dienen dazu, die experimentellen Messungen mit den direkten Berechnungen der Theorie zu vergleichen um damit die Basis der modernen Teilchenphysik zu testen, d.h. die Validität des Standardmodells der Teilchenphysik zu überprüfen. Andere Resultate dienen als Vorhersage für experimentell schwer zu messende aber dennoch sehr wichtige Größen. Deren präzise Bestimmung ist von großer Bedeutung für künftige Rechnungen in der Teilchenphänomenologie und für Modellbildungsprozesse, aber auch für unser Verständnis von der Struktur der Materie.

Im ersten Teil der Arbeit wird eine kurze Übersicht über QCD im Kontinuum und auf dem Gitter gegeben. Es werden bekannte Methoden erklärt und neue Ideen eingeführt, welche insbesondere die präzise Bestimmung von nicht-störungstheoretisch renormierten Größen auf dem Gitter ermöglichen. Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit Skalierungsstudien sowie mit Tests des verwendeten Frameworks. Es wird gezeigt, dass dieses stabil und effizient ist, und keine unphysikalischen Effekte produziert. Zusätzlich wird das Skalierungsverhalten genauer untersucht. Die gewonnenen Resultate belegen, dass der verwendete Aufbau zur präzisen Bestimmung physikalischer Observablen der QCD unter realistischen Bedingungen sehr gut geeignet ist.

Im dritten Teil werden diese realistischen Berechnungen im Detail erklärt. Das erste Projekt befasst sich mit der Ab-Initio Bestimmung des Spektrums leichter Hadronen der QCD, wobei eine volle Kontrolle der statistischen und systematischen Fehler erreicht wird. Das experimentell gemessene Spektrum kann zu einer sehr großen Präzision reproduziert werden und bestätigt somit das Standardmodell der Teilchenphysik in diesem Aspekt.

In einer zweiten umfangreichen Rechnung werden die Massen der Bausteine der Materie, der sogenannten Quarks bestimmt. Für die einzelnen Massen von Up- und Down-Quark wird eine Präzision von 3% bzw. 5% erzielt, während bisherige Resultate einen 10 mal größeren Fehler besitzen. Von der großen Genauigkeit dieser Rechnung profitieren vor allem diejenigen Wissenschaftler, welche präzise Eingabewerte für phänomenologische Rechnungen benötigen oder Modelle entwerfen, die über das Standardmodell der Teilchenphysik hinausgehen.

Der letzte Teil der Arbeit präsentiert die Berechnung des sogenannten B_K -Parameters, eine Größe die mit der Stärke der indirekten CP-Verletzung im Zerfall neutraler Kaonen zusammenhängt. Das genaue Verständnis von CP-Verletzung ist sehr wichtig, da diese Effekte notwendig sind um den Materie-Überschuss im Universum und somit letztlich unsere Existenz zu erklären. Der ermittelte Wert für B_K besitzt eine Präzision von ca. 1.1% und ist damit deutlich genauer als vorherige Rechnungen in der Gitter-QCD. Das Resultat steht im Einklang mit experimentellen Messungen in der Flavourphysik und damit erwarten wir keine signifikanten Beiträge von bisher unbekanntem physikalischen Effekten zur beobachteten CP-Verletzung im Zerfall neutraler Kaonen. Das Standardmodell der Teilchenphysik bestätigt sich auch hier. Allerdings wissen wir, dass die CP-Verletzung im Standardmodell nicht ausreicht, um den beobachteten Materie-Überschuss zu erklären. Die genaue Erforschung anderer Prozesse ist folglich sehr wichtig.