

# Optische Potentiale für die Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung bis 3 GeV

Andreas Funk, Dissertation, FB Physik, Universität Hamburg, 2002

## Zusammenfassung

Traditionell wird die Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung durch ein Potential für den Anwendungsbereich zwischen 0 und 300 MeV formuliert. In dieser Arbeit wird der Anwendungsbereich erweitert auf 0 bis 3 GeV. Die Potentialbeschreibung ist beschränkt auf die elastische Streuung. Diese Einschränkung bedingt die Einführung nicht hermitescher Potentiale, die auch als optische Potentiale bekannt sind. Die Erweiterung erfolgt im Rahmen einiger explizit spezifizierter Potentialklassen, bei denen die Anwendungen in weiterführenden kernphysikalischen Problemen eine zentrale Bedeutung haben. Die Formfaktoren der Potentiale werden im Ortsraum definiert. Mit der Einführung komplexwertiger Potentiale im Partialwellenformalismus wird eine exakte Reproduktion des Nukleon-Nukleon Datenmaterials aus der neuesten Phasenanalyse bis 3 GeV von Arndt *et al.* in SAID garantiert. Die Erweiterung der Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung im Rahmen eines optischen Potentials erlaubt eine Vielzahl von Interpretationen, die in qualitativer und quantitativer Form zum Ausdruck gebracht werden. Besonders betont sei die kurzreichweitige Korrelation beim Nukleon-Nukleon Stoßprozess, die bei Streuenergien über 1 GeV die Verschmelzung bzw. Spaltung der QCD-Bereiche impliziert. Oberhalb von  $T_{Lab} \sim 1.3$  GeV ist der Pauli'sche Abstoßungsdruck überwunden und die Verschmelzung mit anschließender Teilchenerzeugung liefert Stromverluste in Abhängigkeit von Radius und Energie. Die physikalische Interpretation des optischen Potentials wird ausführlich behandelt und die numerischen Ergebnisse sind als Abbildungen und Tabellen für weiterführende Arbeiten in dieser Dissertation aufgenommen worden.

Neben der grundsätzlichen Bedeutung eines Nukleon-Nukleon-Potentials für niedere und mittlere Energien (bis 3 GeV) besteht großer Bedarf für solche hochqualitativen Potentiale in der mittlereenergetischen Nuklearphysik, wie den Transmutationsprojekten, Spallationsquellen, Erzeugung und Beschreibung exotischer Kerne sowie alle damit verbundenen Kernreaktionen.

Eine Anwendung des hier definierten Nukleon-Nukleon optischen Potentials ist die mikroskopische Analyse der Nukleon-Kern-Streuung für die elastische Protonstreuung an  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  und  $^{16}\text{O}$ . Theoretisch erfolgt dies im Rahmen des full-folding optischen Potentials für die Nukleon-Kern-Streuung.

Damit wird der Zusammenhang zwischen der elementaren Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung mit der Nukleon-Kern-Wechselwirkung mikroskopisch quantitativ formuliert und durch exemplarische Ergebnisse in seiner Richtigkeit unter Beweis gestellt. Die Berücksichtigung relativistischer Effekte bleibt im Rahmen der bekannten Näherungen der Kernphysik. Die Einführung effektiver Wechselwirkungen von zwei Nukleonen, die eingebettet sind in das nukleare Medium, resultiert in effektiven Wechselwirkungen, wie t- und g-Matrizen. Diese bilden die Grundlage aller mikroskopischen Theorien des nuklearen Viel-Teilchen-Problems, welches mit dem neuen Nukleon-Nukleon optischen Potential eine sehr wesentlich erweiterte Grundlage mit Anwendung findet. Die gegenwärtigen Entwicklungsprojekte der Kernphysik werden als Referenz und Zielgruppe in der Arbeit genannt.

## Summary

The traditional nucleon nucleon interaction is described by potentials, which claim to be valid between 0 and 300 MeV. In this work these are extended to energies between 0 and 3 GeV. The potential framework is limited to elastic scattering. This limitation leads us to non hermitian potentials, which are known as optical potentials. Within this extension we explicitly use some classes of potentials, where the focus lies on the application in current problems of nuclear physics. The form factors of these potentials are defined in R-space. With the introduction of complex potentials in partial wave formalism we provide an exact reproduction of nucleon nucleon scattering data given by the latest phase shift analysis from Arndt *et al.* in SAID, which reaches up to 3 GeV. The extension of the nucleon nucleon interaction with an optical potential provides many physical interpretations, which are discussed qualitatively and quantitatively. The main point is the short range correlation in nucleon nucleon collisions which implies fusion and fission of QCD objects at scattering energies above 1 GeV. Above 1.3 GeV the nucleons overcome the Pauli-blocking and fusion with particle production leads to losses of flux dependent on radius and energy. The physical interpretation is treated in detail and the numerical results are given as figures and tables for further use.

Besides the principal meaning of a nucleon nucleon potential for low and medium energies, up to 3 GeV, there is a great demand for such high quali-

ty potentials in medium energy nuclear physics like transmutation projects, spallation sources, production and description of exotic nuclei and related nuclear reactions. One application of the nucleon nucleon optical model potential is the microscopic description of nucleon nucleus scattering in the case of elastic proton scattering from  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  and  $^{16}\text{O}$ . This is done in the framework of the full-folding optical model for nucleon nucleus scattering.

The relation between the elementary nucleon nucleon interaction and the nucleon nucleus interaction is formulated quantitatively and microscopically with some results to show exemplary proofs of its correctness. The treatments of relativistic effects stay within the known approaches of nuclear physics. The introduction of effective nucleon nucleon interactions for nucleons in nuclear medium,  $T_{Lab} < 3 \text{ GeV}$ , leads to an extended table of high quality t- and g-matrices as effective interactions. These are basic for all microscopic theories of nuclear many body problems and are essentially extended with the nucleon nucleon optical model. Further developments of nuclear physics are briefly discussed in this work to give an outlook and reference.