

Diss. ETH Nr. 9554

Untersuchung der
Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung
mit Hilfe des Polarisationsstransfers
im Zwei- und Drei-Nukleonen-System

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
Doktor der Naturwissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
MARTIN CLAJUS
Diplomphysiker der Universität Bonn
geboren am 15. Februar 1962
in Düsseldorf (BRD)

angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. J. Lang, Referent
Prof. Dr. W. Grüebler, Korreferent

Zürich 1991

Kurzfassung

Die Bestimmung der Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung stellt ein wichtiges Thema der Kernphysik dar. Einzelne Wechselwirkungsparameter, beispielsweise die ^3P -Phasen und der $^3\text{S}_1$ - $^3\text{D}_1$ -Mischungsparameter ϵ_1 , sind speziell bei niedrigen Energien nur unzureichend bekannt, da die Observablen der Nukleon-Nukleon-Streuung auf sie relativ unempfindlich sind. Erforderlich sind demnach Präzisionsmessungen dieser Observablen. Abhilfe bietet aber auch die Messung von Polarisationsobservablen im Drei-Nukleonen-System, die in vielen Fällen sehr empfindlich auf Variationen der Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung reagieren.

Aus diesen Gründen wurden zum einen Winkelverteilungen der Polarisations-transferkoeffizienten K_x^x , K_y^y und K_z^z der Reaktion $^2\text{H}(\vec{p}, \vec{p})^2\text{H}$ bei einer Protonenenergie von 22,7 MeV bestimmt. Zum anderen wurde K_y^y in der Proton-Proton-Streuung bei 25,7 MeV gemessen. Die Messungen, durchgeführt am Injektor-Zyklotron des Paul-Scherrer-Institutes (PSI), überdecken in der Proton-Deuteron-Streuung einen Winkelbereich von 45° bis 130° im Schwerpunktsystem (30° – 100° im Laborsystem); im Fall der Proton-Proton-Streuung liegen die Schwerpunktswinkel zwischen 25° und 45° (Laborsystem: $12,5^\circ$ – $22,5^\circ$). In beiden Fällen ist ein Doppelstreuxperiment erforderlich; die zweite Streuung dient zur Analyse der Polarisation, die aus der ersten, eigentlich interessierenden Streuung resultiert. Die typische statistische Genauigkeit der Resultate liegt zwischen 0,01 und 0,02; in der Proton-Proton-Streuung ist sie durchweg besser als 0,015.

Die Resultate der Proton-Deuteron-Streuxperimente werden mit theoretischen Vorhersagen für das Drei-Nukleonen-System auf der Basis realistischer Nukleon-Nukleon-Wechselwirkungen verglichen; die Faddeev-Theorie, auf der die Rechnungen basieren, wird kurz vorgestellt. Ein solcher Vergleich erlaubt Rückschlüsse auf die zugrundeliegende Wechselwirkung. Die experimentellen Ergebnisse favorisieren — unterschiedlich stark — die mit dem Bonn(A)-Potential berechneten Kurven. Dies ist ein starkes Indiz für einen Einfluß von ϵ_1 . Definitive Schlußfolgerungen aus dem beobachteten Verhalten werden aber durch Mehrdeutigkeiten in der Interpretation erschwert. Insofern sind weitere experimentelle und theoretische Untersuchungen notwendig. Der Polarisationstransfer auf die Rückstoßdeuteronen aus

der Proton-Deuteron-Streuung bietet die Möglichkeit zu solchen Untersuchungen. Erfahrungen aus ersten Versuchen zur Messung der entsprechenden Transferkoeffizienten werden für Vorschläge zur Verbesserung des verwendeten Deuteronen-Polarimeters benutzt.

Die im Experiment eingesetzte Apparatur ist für Doppelstreueexperimente an leichten Kernen universell verwendbar. Die Beschränkung auf leichte Kerne ist dadurch gegeben, daß die Impuls- und Energieauflösung nicht zur Trennung dicht beieinanderliegender Anregungszustände ausreicht, wie sie bei schweren Kernen in allgemeinen auftreten.

Abstract

The determination of the nucleon-nucleon interaction constitutes an important subject of nuclear physics. Individual interaction parameters, for example the 3P phases and the 3S_1 - 3D_1 mixing parameter ϵ_1 , are not known well enough, particularly at low energies, as the observables in nucleon-nucleon scattering are relatively insensitive to them. Therefore precise measurements of these observables are required. Another way to solve this problem is offered by measurements of polarization observables in the three-nucleon system, which in many cases react very sensitively to variations of the nucleon-nucleon interaction.

For these reasons angular distributions of the polarization transfer coefficients K_x^x , K_y^y , and K_z^x in the reaction $^2H(\vec{p}, \vec{p})^2H$ have been determined at a proton energy of 22.7 MeV. On the other hand, K_y^y was measured in proton-proton scattering at 25.7 MeV. The measurements, which were performed using the injector cyclotron of the Paul-Scherrer-Institut (PSI, Villigen, Switzerland), cover the CM angular range between 45° and 130° ($30^\circ - 100^\circ$ lab) in proton-deuteron scattering; in the case of proton-proton scattering the CM angles vary between 25° and 45° (lab system: $12.5^\circ - 22.5^\circ$). In both cases a double scattering experiment is required; the second scattering serves as an analyzer for the polarization induced by the first scattering, which is the one of interest. The typical statistical accuracy of the results varies between 0.01 and 0.02; in proton-proton scattering it is better than 0.015 throughout.

The results of the proton-deuteron scattering experiments are compared to theoretical predictions for the three-nucleon system based on realistic nucleon-nucleon interactions; the Faddeev theory, which constitutes the basis for the calculations, is briefly introduced. Such a comparison permits conclusions concerning the underlying interaction. The experimental results are — to a varying degree — in favour of the curves calculated using the Bonn(A) potential. This is a strong indication for an influence of ε_1 . However, definite conclusions from the observed behaviour are hindered by ambiguities of the interpretation. Therefore additional experimental and theoretical investigations are necessary. The polarization transfer to the recoil deuterons from proton-deuteron scattering offers the possibility for such investigations. Experiences from first attempts to measure the corresponding transfer coefficients are used to derive suggestions for improvements of the deuteron polarimeter that was used.

The apparatus used in the experiment is usable for a wide range of double scattering experiments with light nuclei. The limitation is given by the momentum and energy resolution, which is not sufficient to separate excitation states that lying close to each other, which are common in heavy nuclei.