

**Aufbau und Erprobung eines
Messplatzes zur
Bestimmung der Polarisierbarkeiten
des Protons und des Deuterons
über eine neue Messmethode
der Comptonstreuung
bei niedrigen Energien am S-DALINAC**

Vom Fachbereich Physik
der Technischen Universität Darmstadt

zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

genehmigte

D i s s e r t a t i o n

angefertigt von

Dipl.-Phys. Steffen Watzlawik
aus Fulda

Oktober 2005

Darmstadt
D 17

Referent:	Professor Dr. rer. nat. Dr. h.c. mult. A. Richter
Korreferent:	Professor Dr. rer. nat. A. Zilges
Tag der Einreichung:	25. Oktober 2005
Tag der mündlichen Prüfung:	19. Dezember 2005

Berichte aus der Physik

Steffen Watzlawik

**Aufbau und Erprobung eines Messplatzes
zur Bestimmung der Polarisierbarkeiten
des Protons und des Deuterons über eine
neue Messmethode der Comptonstreuung
bei niedrigen Energien am S-DALINAC**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2006

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2006

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4868-4

ISSN 0945-0963

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

*Diese Arbeit widme ich meinen Eltern
Gisela und Werner Watzlawik.*

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde am supraleitenden Darmstädter Elektronenlinearbeschleuniger S-DALINAC ein Experiment zur Bestimmung der elektrischen und magnetischen Polarisierbarkeiten des Protons und des Deuterons aufgebaut und in Betrieb genommen. Ziel ist es, mit Hilfe einer neuen experimentellen Methode die Energie- und Winkelabhängigkeit der differentiellen Wirkungsquerschnitte von elastischer γp - bzw. γd -Streuung möglichst modellunabhängig mit einer Genauigkeit $\leq 1\%$ im Falle des Protons und mit $\leq 3\%$ im Falle des Deuterons absolut zu bestimmen. Aus den Wirkungsquerschnitten lassen sich anschließend die Polarisierbarkeiten der Nukleonen mit kleineren Fehlern berechnen, als es bisher möglich war.

Der neu errichtete Experimentierplatz besteht aus einer Strahlführung für einen Elektronenstrahl mit einer Energie bis zu 130 MeV und einem Strahlstrom bis zu $10\ \mu\text{A}$, an deren Ende ein hochintensiver Bremsstrahl erzeugt wird. Dessen Photonen werden anschließend in zwei speziellen Hochdruckionisationskammern an Wasserstoff/Deuterium gestreut und unter zwei festen Winkeln in zwei großvolumigen NaJ(Tl)-Detektoren nahezu untergrundfrei detektiert. Eine neuartige Anodengeometrie einer von Kollaborationspartnern aus Gatchina in St. Petersburg entwickelten und gebauten Ionisationskammer macht eine untergrundfreie Richtungs- und Energiebestimmung der Rückstoßprotonen/-deuteronen in Koinzidenz mit den Photonen möglich. Die Signale werden mit einer speziell zusammengestellten Messelektronik digitalisiert und mit einer im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Software analysiert.

Anhand erster Messungen mit einer Ionisationskammer und einem NaJ(Tl)-Detektor wurde die neuartige Messmethode und die Funktionalität des Experimentaufbaus getestet. Dabei wurden Compton-gestreute Photonen koinzident mit Protonen gemessen, ihre Zählraten stimmen mit im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Monte-Carlo-Simulationsrechnungen überein. Darüber hinaus konnte aufgrund dieser Messungen der Aufbau verbessert werden, insbesondere durch neue optimierte Ionisationskammern und die Aufstellung weiterer Detektoren, so dass jetzt ein endgültiger Experimentaufbau zur Verfügung steht, mit dem präzise Messungen der elektrischen und magnetischen Polarisierbarkeit des Protons und des Deuterons mit hoher statistischer Genauigkeit möglich sind.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Polarisierbarkeiten des Nukleons	3
2.1	Theoretische Grundlagen	3
2.1.1	Definition der Polarisierbarkeiten	3
2.1.2	Comptonstreuung am Nukleon	5
2.1.3	Dispersionsrelation und Summenregel	8
2.2	Bisherige Experimente und Ergebnisse	10
2.2.1	Proton	10
2.2.2	Neutron	12
3	Experiment am S-DALINAC	15
3.1	Neue Experimentiermethode	15
3.2	Experimentaufbau	17
4	Bremsstrahlerzeugung	20
4.1	Wechselwirkung von Elektronen mit Materie	22
4.2	Elektronenstrahl	24
4.2.1	Strahltransport	24
4.2.2	Strahl diagnose	27
4.3	Gammastrahl	28
4.3.1	Bremsstrahltarget	28
4.3.2	Kollimation	31
4.3.3	Strahl diagnose	33
4.4	Untersuchung des Strahlungsuntergrundes	34

5	Hochdruckionisationskammern	36
5.1	Grundlagen	36
5.1.1	Frisch-Gitter	37
5.1.2	Rekombination und Elektroneneinfang	38
5.2	Spezieller Aufbau und Funktionsweise	39
5.3	Energiekalibrierung	43
6	Gammaspektrometer	45
6.1	NaJ(Tl)-Detektoren	46
6.1.1	Funktionsprinzip	46
6.1.2	Antwortfunktion von NaJ(Tl)-Detektoren	47
6.1.3	Energiekalibrierung	49
6.2	Aktive Abschirmung	51
6.3	Passive Abschirmung und Kollimation	55
7	Messelektronik und Datenaufnahme	56
7.1	Gammaspektrometer	56
7.2	Hochdruckionisationskammer	58
7.3	Datenaufnahme	61
7.4	Datenanalyse	61
8	Rechnungen und Simulationen	63
8.1	Pulsform der Protonensignale	63
8.2	GEANT4-Simulation des gesamten Experiments	65
9	Testexperiment und Ergebnisse	69
9.1	Testexperiment	69
9.2	Ergebnisse und Vergleich mit Simulationen	70

9.2.1	Pulsform der Protonensignale	70
9.2.2	Energiekorrelation	72
9.2.3	Wirkungsquerschnitt	73
9.3	Verbesserter Experimentaufbau	76
10	Schlussbemerkung und Ausblick	81
A	Anhang	82
A.1	Spezifikationen der NaJ(Tl)-Detektoren	82
A.2	Spezifikationen der Antikoinzidenz-Plastikszintillatoren	84
A.3	Spezifikationen der Kollimatorsysteme der Gammaspektrometer	87
A.4	Antwortfunktion der 10"×10" NaJ(Tl)-Detektoren	88