EDDA

Ein Detektor zur Messung von Anregungsfunktionen der elastischen Proton-Proton Streuung an

COSY

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der

Hohen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt von

Uwe Lahr

aus Köln

Bonn 1992

Angefertigt mit Genehmigung der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Referent: Prof. Dr. F. Hinterberger
Korreferent: Prof. Dr. T. Mayer-Kuckuk

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juni 1992

Meinen Eltern gewidmet

Zusammenfassung

Der **EDDA**-Detektor wurde zur Messung von Anregungsfunktionen der elastischen Proton-Proton Streuung mit hoher Winkel- und Energieauflösung entwickelt. Dieses Experiment soll über einen Energiebereich von 250 MeV bis 2.5 GeV am Beschleuniger **COSY** (COoler SYnchrotron) durchgeführt werden, der zur Zeit in der KFA Jülich fertiggestellt wird und sich durch eine hohe Strahlqualität auszeichnet. Durch die Messung mit einem internen Target während der Beschleunigunsphase von **COSY** erreicht man eine hohe Energieauflösung. Im Vergleich zu Messungen mit externem Strahl, bei denen die Abstände der Meßpunkte typischerweise in der Größenordnung von 10 bis 100 MeV liegen, sind mit dem **EDDA**-Experiment Schrittweiten von $\Delta E = 1$ MeV erreichbar. Der Detektor besteht aus zwei Ringlagen mit einer hohen Winkelauflösung. In der äußeren Lage werden speziell geformte Szintillatoren verwendet, deren Ortsauflösung durch das Prinzip der Amplitudenteilung eine Größenordnung verbessert wird. In der inneren Lage werden szintillierende Fasern in der Geometrie einer Doppelhelix angeordnet, die sich durch eine hohe Granularität auszeichnet. Bei der Diskussion des Detektorkonzepts wurde ein besonderer Schwerpunkt auf die Beschreibung eines Datenaufnahmesystems gelegt, mit dem Anregungsfunktionen mit guter Energie- und Winkelauflösung aus den Informationen der Doppelhelix bereits während der Messung generiert werden können. Diese schnelle Analyse der Daten hat den entscheidenden Vorteil, daß eine unmittelbare Beurteilung und Optimierung der Messung möglich ist.

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung

1.1 Übersicht 3
1.2 Die experimentelle Situation in der elastischen Proton-Proton Streuung 6

2. Interne Targets

2.1 Internes CH_2 Fadentarget 9
2.2 Bedampfung von Polypropylenfäden 10
2.3 Der Einfluß von Streuprozessen an den Nukleonen des Kohlenstoffs 11
2.4 Der Nachweis von δ-Elektronen zur Messung der Luminosität 12
2.5 Störung des COSY Strahls durch das Target 19
2.6 Zählratenabschätzung für ein 8 μm Fadentarget 23
2.7 Zählratenabschätzung für ein Atomstrahltarget 26

3. Die äußere Lage

3.1 Überlegungen zur Detektorgeometrie 29
3.2 Die Streifenlage 31
3.3 Das Prinzip der Amplitudenteilung 32
3.4 Die Ringlage 35

4. Die innere Lage

4.1 Motivation 42
4.2 Die Konzeption der inneren Lage 43
4.3 Die Helixwicklung 44

4.4 Die Verarbeitung der analogen Signale der inneren Lage 52
4.5 Die Kinematik der elastischen Proton-Proton Streuung in der Doppelhelix 57
4.6 Die Erzeugung von Anregungsfunktionen aus den Daten der Doppelhelix 64
4.7 Test der Elektronik zur Überprüfung der kinematischen Korrelation 69

5. Vertexrekonstruktion

5.1 Grundlagen 76
5.2 Die Ortsauflösung in der inneren Lage 78
5.3 Vielfachstreuung im Strahlrohr und der inneren Lage 80
5.4 Die Ortsauflösung in der äußeren Lage 84
5.5 Vertexrekonstruktion für die elastische Proton-Proton Streuung 85

6. Datenaufnahme

6.1 Übersicht 88
6.2 Datenübertragung 90

Anhang:

A Nützliche Beziehungen in der relativistischen Proton-Proton Kinematik 92
B Die Komponenten des PCOS III Systems 94
C Die Elektronik zur Erzeugung von Online-Anregungsfunktionen aus den Daten der Doppelhelix 98

Literaturverzeichnis 117

1. Einleitung

1.1 Übersicht

In der KFA Jülich wird zur Zeit der Beschleuniger **COSY** (**CO**oler **SY**nchrotron) [COS 86] fertiggestellt, der im Frühjahr 1993 für physikalische Experimente zur Verfügung stehen soll. Mit **COSY** können Protonen und leichte, einfach ionisierte Ionen von 277 MeV/c auf maximal 3.3 GeV/c Impuls beschleunigt werden. Für Protonen entspricht das einem Energiebereich von 40 MeV bis 2.5 GeV. Der Beschleuniger zeichnet sich durch eine hohe Strahlqualität aus, die durch eine kleine räumliche Ausdehnung und eine hohe Impulsschärfe charakterisiert ist. Neben den konventionellen externen Strahlplätzen gibt es bei **COSY** auch interne Strahlplätze, an denen das Target innerhalb des **COSY**-Rings eingesetzt wird. Experimente mit einem internen Target haben für bestimmte Anwendungen entscheidende Vorteile, auf die später noch ausführlich eingegangen wird.

Diese Arbeit beschreibt die Konzeption eines Detektors, mit dem die Anregungsfunktionen der elastischen Proton-Proton Streuung mit hoher Energie- und Winkelauflösung gemessen werden sollen. Bei einer Anregungsfunktion wird der Wirkungsquerschnitt als Funktion der Einschußenergie aufgetragen. Diese Messungen stellen eine empfindliche Methode zur Untersuchung von metastabilen Zuständen dar, die sich als Resonanzen in den Anregungsfunktionen äußern. Damit auch energiescharfe Resonanzen nachgewiesen werden können, ist eine hohe Energieauflösung nötig. Für diese Art Experiment bietet sich die Messung mit einem internen Target während der Beschleunigungsphase von **COSY** an, da die Energieauflösung nur durch die Impulsauflösung des internen Strahls und der Einteilung der Meßintervalle festgelegt ist. Mit einer Impulsauflösung von $(\Delta p/p)_{rms} = 2 \cdot 10^{-4}$ bis $1 \cdot 10^{-3}$ erhält man eine hohe c.m. Energieauflösung von 200 bis 800 keV. Damit ist eine Feinunterteilung von z.B. ΔE = 1 MeV sinnvoll und möglich. Eine Messung der Anregungsfunktion mit einem externen Strahl, über einen Energiebereich von 2 GeV, ist mit dieser Energieauflösung praktisch nicht durchführbar. Dazu muß die

Strahlführung innerhalb des Rings und in der Extraktion für jeden Energiewert neu eingestellt werden. Dieses Verfahren ist sehr zeitaufwendig und nur bei einer deutlich kleineren Zahl von Meßpunkten praktikabel. Neben dem Problem der relativen Normierung dieser Messungen muß jeder Energiewert auch mit ausreichender Statistik gemessen werden. Da bei einem internen Target die Teilchen im Strahl bei jedem Umlauf das Target durchdringen, entstehen hohe äquivalente Strahlströme, die bei **COSY** bis zu 24 mA betragen (siehe Kapitel 2.7). So hohe Ströme sind mit einem externen Strahl nicht zu erreichen und man muß entsprechend länger messen oder ein dickeres Target verwenden. Aus all diesen Gründen sind die Schrittweiten, mit denen Anregungsfunktionen mit externem Strahl aufgenommen werden, relativ groß und man erkennt nur relativ breite Strukturen ($\Gamma > 100$ MeV).

Da der Wirkungsquerschnitt nicht nur eine Funktion der Einschußenergie, sondern auch eine Funktion des Streuwinkels ist, soll der Detektor eine möglichst hohe Winkelauflösung haben. Wird zusätzlich noch ein großer Teil des Raumwinkels abgedeckt, so können mit diesem Experiment sehr ökonomisch die Anregungsfunktionen simultan über den ganzen Winkelbereich gemessen werden.

Aus technischen Gründen wird das Experiment in zwei Phasen durchgeführt. In der Phase 1 soll der unpolarisierte differentielle Wirkungsquerschnitt mit einem dünnen CH_2 Fadentarget gemessen werden. Da die Wechselwirkungszone wegen der geringen Ausdehnung des Fadentargets sehr klein ist, genügt in dieser ersten Phase eine einzelne Detektorlage zur Bestimmung der Winkel der gestreuten Teilchen. Diese ist unterteilt in eine Streifenlage, mit der die Azimutwinkel φ bestimmt werden, und eine Ringlage, mit der die Polarwinkel θ bestimmt werden. Die Messung soll über einen Energiebereich von 0.25 bis 2.5 GeV, entsprechend einer invarianten Masse M_{inv} von 2.0 bis 2.9 GeV/c^2, durchgeführt werden. Für die Auflösung der invarianten Masse und den relativen Fehler des differentiellen Wirkungsquerschnitts werden Werte von $\Delta M_{inv} < 1$ MeV/c^2 und $\Delta\sigma/\sigma < 1\%$ angestrebt.

In der Phase 2 des Experiments wird ein polarisierter **COSY**-Strahl und ein polarisiertes Atomstrahltarget zum Einsatz kommen. Die Wechselwirkungszone ist in dieser zweiten Phase nicht mehr so scharf definiert und zur Bestimmung der Streuwinkel muß eine zweite Detektorlage eingesetzt werden. Diese zweite Lage befindet sich direkt auf dem Strahlrohr

und besteht aus szintillierenden Fasern, die in der Geometrie einer Doppelhelix angeordnet sind. Diese Lage wird als innere Lage bezeichnet und erlaubt zusammen mit der äußeren Lage eine Vertexrekonstruktion. Die besonderen Vorzüge dieser inneren Lage, bereits in der Phase 1 des Experiments, werden in Kapitel 4 behandelt. Die folgende Abbildung 1.1 zeigt eine perspektivische Ansicht des Detektors.

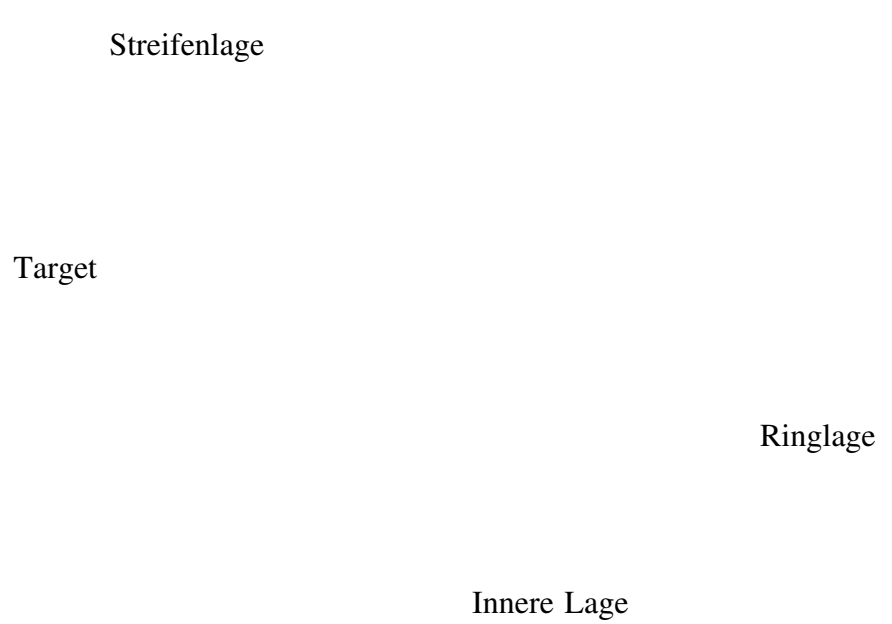

Abb. 1.1 Perspektivische Ansicht des Detektors mit der äußeren Lage, die in eine Streifen- und Ringlage aufgespalten ist, der inneren Lage aus szintillierenden Fasern und der Targetposition

Die Kombination von polarisiertem Target und polarisierten **COSY**-Strahl in der zweiten Phase erlaubt die Messung von vier zusätzlichen Polarisationsobservablen. Mit diesem Datensatz wird man in der Lage sein, detaillierte Streuphasenanalysen durchzuführen. Das Experiment hat aus diesen Gründen den Namen **EDDA** (**E**xcitation Function **D**ata Aquisition **D**esigned for **A**nalysis of Phase Shifts) erhalten.

Der Inhalt dieser Arbeit ist die Beschreibung des **EDDA**-Detektors. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Beschreibung eines schnellen Datenaufnahmesystem, mit dem Anregungsfunktionen aus den Daten der inneren Lage bereits während der Messung mit guter Winkel- und Energieauflösung generiert werden können. Diese schnelle Analyse der Daten hat den entscheidenden Vorteil, daß eine unmittelbare Beurteilung und Optimierung der Messung möglich wird.

Bevor auf die Einzelheiten des Detektorkonzepts näher eingegangen wird, soll kurz die physikalische Relevanz eines solchen Experiments diskutiert werden.

1.2 Die experimentelle Situation in der elastischen Proton-Proton Streuung

Die folgende Abbildung 1.2 zeigt den Weltdatensatz mit externem Strahl gemessener Wirkungsquerschnitte zur elastischen Proton-Proton Streuung, im Energiebereich von 0.25 bis 2.5 GeV, am Beispiel des Streuwinkels $\theta_{cm} = 90^o$ [Arn 89].

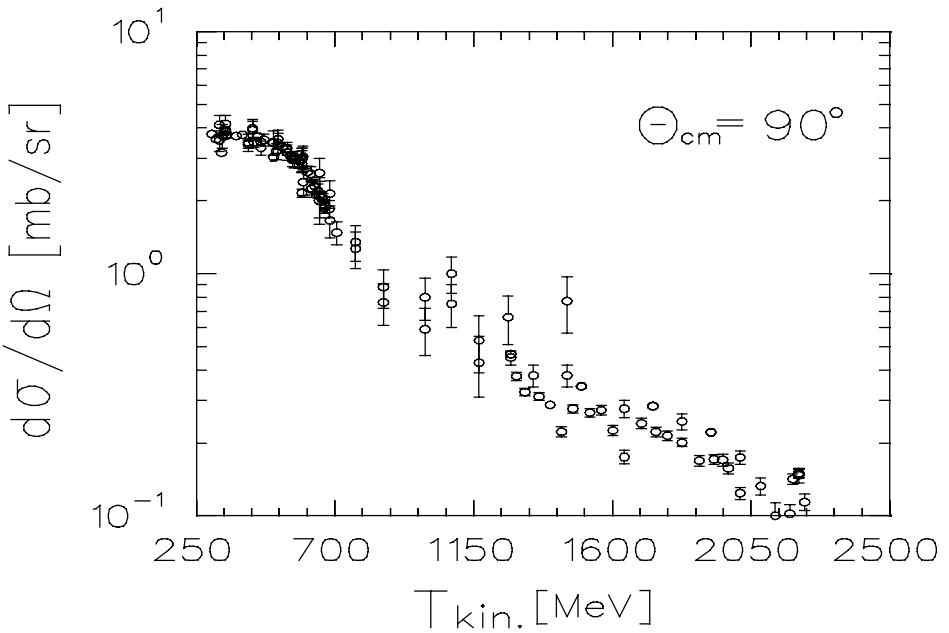

Abb. 1.2 Weltdatensatz gemessener Wirkungsquerschnitte der elastischen Proton-Proton Streuung für den Streuwinkel $\theta_{cm} = 90^o$ im Energiebereich von 0.25 bis 2.5 GeV.

Die Datenpunkte sind, insbesondere oberhalb von 0.75 GeV, relativ breit gestreut und sehr lückenhaft. Die Streuung ist auf die schon angesprochene Problematik bei der relativen Normierung der Meßpunkte zurückzuführen. Die Abstände zwischen den Datenpunkten sind wegen des hohen meßtechnischen Aufwands, mit dem eine Energievariation bei einem externen Strahl verbunden ist, typisch für solche Experimente.

Für Polarisationsobservable ist die Situation, aufgrund des wesentlich höheren Aufwands bei deren Messung, noch ungünstiger. Dieser Umstand ist sehr unbefriedigend, da das Proton-Proton System ein Prüfstein aller Theorien zur starken Wechselwirkung ist. Mit dem zur Zeit vorhandenen Datensatz ist eine detaillierte Streuphasenanalyse in diesem Energiebereich, die eine empfindliche Überprüfung der Modelle der Nukleon-Nukleon Wechselwirkung gestattet, nicht möglich.

Einen ökonomischen Ausweg aus dieser Situation ist ein Experiment mit einem internen Target, dessen entscheidenden Vorteile bereits im ersten Teil des Kapitels ausgeführt wurden. Neben der damit erreichbaren hohen Energieauflösung von $\Delta E = 1$ MeV bei gleichzeitig hohen Zählraten können durch die sogenannte "multipass" Technik, bei der Messungen über viele Beschleuingungsrampen gemittelt werden, Effekte durch zufällige Instabilitäten minimiert werden. Außerdem kann bei verschiedenen Durchläufen das durch die Meßintervalle vorgegbene Energieraster versetzt werden, damit mögliche Strukturen in den Anregungsfunktionen durch Mittelung gedämpft werden.

Im bislang einzigen Experiment zur Messung des unpolarisierten differentiellen Wirkungsquerschnitts mit einem internen Target von Garcon et al. [Gar 85], wurde die Überlegenheit dieser Methode eindrucksvoll demonstriert:

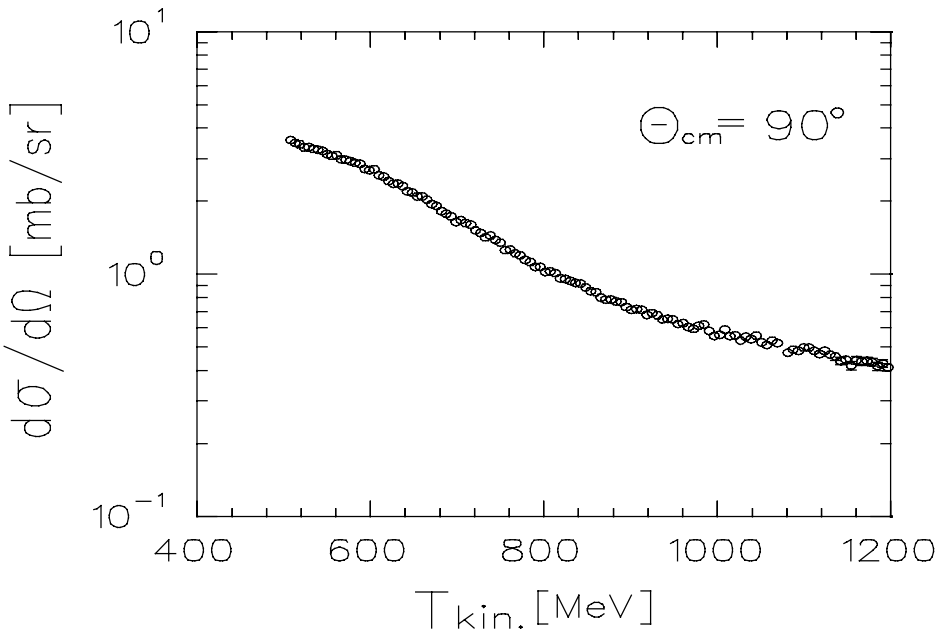

Abb. 1.3 Messung der elastischen Proton-Proton Streuung mit einem internen Target für den Streuwinkel $\theta_{cm} = 90^o$ [Gar 85].

Die Datenpunkte liegen sehr dicht und haben sehr kleine relative Schwankungen. Leider ist diese Messung auf den Streuwinkel $\theta_{cm} = 90^o$ beschränkt. Mit dem **EDDA**-Experiment sollen Anregungsfunktionen in dieser Qualität über einen großen Winkel- und Energiebereich aufgenommen werden.

Mit der guten Auflösung der invarianten Masse kann das **EDDA**-Experiment auch einen Beitrag zur Frage nach möglichen exotischen Resonanzen leisten. Unter exotischen Resonanzen versteht man Strukturen mit relativ schmalen Breiten ($\Gamma < 50$ MeV), die ein direkter Hinweis auf nicht triviale Dibaryon-Zustände sind. Solche Zustände wurden von verschiedenen Autoren [Loc 86, und Literarturverweise dort] auf Grund des Quark-Bag-Models vorhergesagt. Bislang gibt es einige experimentelle Hinweise auf energiescharfe Zustände und Anomalien bei invarianten Massen zwischen 2.0 und 2.9 GeV/c^2 [Loc 86, Shi 90, Yon 90, Leh 90], die aber alle der Nachmessung unter dem Gesichtspunkt der Minimierung systematischer Fehler bedürfen.