3. Sensitivität von Observablen auf schmale Resonanzen in Anregungsfunktionen

In diesem Abschnitt werden Simulationsrechnungen [HIN93] vorgestellt, die die Sensitivität von Observablen der elastischen Proton-Proton Streuung auf schmale Resonanzen in Anregungsfunktionen untersuchen. Die Existenz von schmalen Resonanzstrukturen in der elastischen Proton-Proton Streuung ist nach wie vor eine offene Frage, da der aktuelle, besonders bei höheren Energien lückenhafte Datensatz keine eindeutigen Hinweise liefert. Zudem verlieren auch Streuphasenanalysen bei höheren Energien[1] ihre Gültigkeit, so daß dort die Energieabhängigkeit der Streuphasen keine Aussagen mehr über mögliche Resonanzstrukturen zuläßt.

Neuere theoretische Ergebnisse [GON87], basierend auf Rechnungen mit einem modifizierten Cloudy Bag Modell, sagen für das Proton-Proton System zwei energiescharfe Resonanzen im COSY-Energiebereich voraus. Die niedrigste $^1S_0$ Resonanz hat eine CM-Energie von 2.71 GeV, eine totale Breite $\Gamma \approx 50$ MeV und eine Elastizität $\Gamma_{el}/\Gamma \approx 0.1$. Die zweite, eine $^1D_2$ Resonanz, hat eine Breite $\Gamma \approx 100$ MeV und eine Elastizität $\Gamma_{el}/\Gamma \approx 0.05$ und liegt bei einer CM-Energie von 2.74-2.86 GeV. Einen experimentellen Hinweis auf die $^1S_0$ Resonanz wurden in der Anregungsfunktionsmessung von A_{yy} gefunden ([BAL94], s. Abb. 2.7). Die Genauigkeit und die Anzahl der Datenpunkte dieses externen Targetexperiments reicht jedoch für eine eindeutige Bestätigung der Resonanz nicht aus. Aus der Sicht des EDDA-Experiments stellt sich deshalb die Frage, wie deutlich sich solche schmalen Resonanzen mit kleinen Elastizitäten in Anregungsfunktionen bemerkbar machen.

Um diesen Effekt für die Observablen $d\sigma/d\Omega$, A_y, A_{xx}, A_{yy} und A_{xz} abzuschätzen, wurde eine einzelne Breit-Wigner Resonanz einer nicht-resonanten Amplitude überlagert. Die modifizierte Amplitude im resonanten Kanal mit dem Bahndrehimpuls L und dem Gesamtdrehimpuls J besitzt dann folgende Form:

$$\eta'_{LJ} \exp(2i\delta'_{LJ}) = \eta_{LJ} \exp(2i\delta_{JL}) - i\exp(2i\delta_{LJ}) \frac{\Gamma_{el}}{E - E_{res} + i\Gamma/2} \qquad (3.1)$$

Die nicht-resonante Amplitude wurde bis zu Strahlenergien von T = 1.6 GeV aus den Streuphasenparamtern von R. Arndt [ARN83] berechnet; zu höheren Energien hin wurden diese Parameter durch ein Polynom mit einem glattem Verlauf extrapoliert. Mit Hilfe eines entsprechend modifizierten Programms konnten dann die Anregungsfunktionen der verschiedenen Observablen studiert werden (s. Abb. 3.1 bis 3.3 und [HIN93]). Als Resonanzparameter wurde eine Resonanzenergie E_{res} = 2710 MeV, eine totale Breite Γ = 50 MeV und eine elastische Breite Γ_{el} = 5 MeV für die $^1S_0$ Resonanz und für die $^1D_2$ Resonanz

[1] Die Streuphasen von R. Arndt et al. [ARN83] z.B. gelten bis zu einer maximalen Energie von 1.6 GeV.

E_{res} = 2880 MeV, Γ = 100 MeV und Γ_{el} = 5 MeV gewählt.

(a) (b)

Abb. 3.1 Observable $d\sigma/d\Omega_{CM}$ (oben) und A_{yy} (unten) bei θ_{CMS} = 90° für eine
(a) $^1S_0$ Resonanz bei E_{res} = 2710 MeV im Energiebereich E = 2500-2900 MeV
(b) $^1D_2$ Resonanz bei E_{res} = 2880 MeV im Energiebereich E = 2600-3100 MeV

Es zeigt sich, daß schmale Resonanzen mit kleinen Elastizitäten vor allem in den Korrelationsparamter A_{xx} und A_{yy}[2] deutlich zu sehen sind. Bemerkenswert ist jedoch auch die hohe Sensitivität des differentiellen Wirkungsquerschnitts $d\sigma/d\Omega$ bei θ_{CMS} = 90° und der relativ glatte Verlauf der Analysierstärke A_y über den gesamten Winkelbereich. Um das Ergebnis quantitativer zu beschreiben, wird in Gleichung 3.2 die Größe 'Sensitivität' S eingeführt.

$$S = \frac{\Delta\sigma / \sigma}{(2J+1)\,\Gamma_{el}/\Gamma} \qquad (2.22)$$

Die Sensitivität S beschreibt die relative Resonanzüberhöhung im Wirkungsquerschnitt der entsprechenden Observablen im Verhältnis zur Elastizität Γ_{el}/Γ der Resonanz. Der Faktor (2J+1)

[2] Auch in A_{zz} zeigt sich sowohl für die $^1S_0$ als auch für die $^1D_2$ Resonanz eine deutliche, bipolare Struktur.

berücksichtigt die Multiplizität und damit die Gewichtung der resonanten Phase in der

(a) (b)

Abb. 3.2 Observable A_{yy} in einem Winkelbereich von θ_{CMS} = 30° - 90° für eine
(a) $^1S_0$ Resonanz bei E_{res} = 2710 GeV in einem Bereich E = 2500-2900 MeV
(b) $^1D_2$ Resonanz bei E_{res} = 2880 MeV in einem Bereich E = 2600-3100 MeV

(a) (b)

Abb. 3.3 Observable A_{xx} in einem Winkelbereich von θ_{CMS} = 30° - 90° für eine

(a) $^1S_0$ Resonanz bei E_{res} = 2710 GeV in einem Bereich E = 2500-2900 MeV
(b) $^1D_2$ Resonanz bei E_{res} = 2880 MeV in einem Bereich E = 2600-3100 MeV

Partialwellenentwicklung der Streuamplitude. Je größer der Wert S einer Observablen ist, umso deutlicher zeigt sich die Resonanzstruktur in der Anregungsfunktion der Observablen.

Die Simulationen zeigen, daß S im symmetrischen Winkel (θ_{CMS} = 90°) maximal wird. Der größte Effekt, d.h die größte Sensitivität S, ist in der Anregungsfunktion der Observablen A_{yy} und dort in der $^1S_0$ Resonanz zu sehen (s. Tabelle 3.1). Die Sensitivität S beträgt hier 1.7, so daß man bei einer Elastizität von Γ_{el}/Γ = 0.1 eine Resonanzüberhöhung von ΔA_{yy} = 0.17 erhält. Aber auch der unpolarisierte differentielle Wirkungsquerschnitt $d\sigma/d\Omega$ hat bei θ_{CMS} = 90° eine relativ hohe Sensitivität S (S = 1.1). Variiert man die Resonanzenergie im Bereich von 2200-2700 MeV, so verändert sich zwar die Form der Resonanz, die Sensitivität bleibt jedoch in derselben Größenordnung.

Für das EDDA-Experiment haben diese Ergebisse folgende Konsequenz. Mißt man mit dem EDDA-Detektor Anregungsfunktionen mit einer hohen relativen Genauigkeit (< 1 %), so sind selbst schwache Resonanzen mit Elastizitäten von 0.05 vor allem in den Polarisationsobservablen A_{yy} und A_{xx} erkennbar. Andererseits folgt aus der erstaunlich hohen Sensitivität von $d\sigma/d\Omega$ bei θ_{CMS} = 90°, daß auch schon die Daten der 1. Phase des EDDA-Experiments Hinweise auf Resonanzstrukturen liefern können.

Sensitivität S	$S(d\sigma/d\Omega)$	$S(A_y)$	$S(A_{xx})$	$S(A_{yy})$	$S(A_{xz})$
$^1S_0$ Resonanz	1.1	0.2 (45°)	0.7	1.7	0
$^1D_2$ Resonanz	0.7	0.04 (30°)	0.4	0.7	0

Tabelle 3.1 Die maximalen Sensitivitäten S verschiedener Observablen für eine $^1S_0$ (Γ_{el}/Γ = 0.1) und eine $^1D_2$ Resonanz (Γ_{el}/Γ = 0.05) bei θ_{CMS} = 90° (für A_y nimmt S bei θ_{CMS} = 45° bzw. 30° den maximalen Wert an). Die Observable A_{xz} zeigt keine Resonanzstruktur, da sie nur Spintriplett-Partialwellenanteile enthält.