ETH zürich

ETH Library

Kohärente Produktion von 3 und 5 Pionen an Atomkernen und Absorption des instabilen Pionsystems in Kernmaterie

Doctoral Thesis

Author(s):
Mühlemann, Peter

Publication date:
1972

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000088034

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. Nr. 4809

Kohärente Produktion von 3 und 5 Pionen an Atomkernen und Absorption des instabilen Pionsystems in Kernmaterie

ABHANDLUNG

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Naturwissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

PETER MÜHLEMANN
dipl. Physiker ETH
geboren am 4. August 1941
von Bönigen (Kt. Bern)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. J. P. Blaser, Referent
PD Dr. W. Beusch, Korreferent

Juris Druck + Verlag Zürich
1972

8. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die in Kapitel 2 beschriebene experimentelle Anordnung hat sich für die Messung der kohärenten Produktionsreaktionen (1) und (2) als sehr geeignet erwiesen. Das Verhältnis zwischen der Gesamtzahl aufgenommener Photographien und beim Durchsehen der Bilder gefundener 3- und 5-Spur-Ereignisse der totalen Ladung -1 beträgt 2:1, jenes zwischen der Anzahl Photographien und kohärenter Ereignisse 8:1. In Kapitel 3 sind die Methoden der Auswertung besprochen worden. Diese spielen im Falle der hier verwendeten Magnetfunkenkammer eine gewichtige Rolle, da erst eine genaue Rekonstruktion die zur Untersuchung von kohärenten Prozessen an Atomkernen benötigte Auflösung im Streuwinkel mit sich bringt.

Die Ergebnisse, welche in der zweiten Hälfte dieser Arbeit dargestellt worden sind, lassen sich in den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Die Streuwinkelverteilungen für die 3-Pion-Erzeugung zeigen scharfe Intensitätsmaxima in der Vorwärtsrichtung, deren Breite in charakteristischer Weise mit dem Targetkern ändert.
- Die 3-Pion-Massenspektren von kohärent erzeugten Ereignissen erscheinen als breite Anhäufungen mit Maximum bei 1.1 GeV und mit einer Halbwertsbreite von 400 MeV. Keine statistisch signifikanten Strukturen sind sichtbar.
- Unterhalb einer 3-Pion-Masse von 1.3 GeV beherrscht der Kanal $\rho\pi$ den Zerfall des produzierten Mesonsystems. Oberhalb 1.5 GeV ergeben sich gleiche Anteile der Zerfallskanäle $\rho\pi$ und $f\pi$.
- Die Darstellung der Daten im van Hove Diagramm bestätigt, dass fast ausschliesslich Ereignisse mit stark peripher erzeugten Pionen vorliegen (als Austauschgraph im t-Kanal gesehen, kommen alle erzeugten Pionen aus dem Vertex des einlaufenden Pions). Zugleich verdeutlicht diese Darstellung die wirksame Auswahl von Ereignissen kohärenter Produktion durch die experimentelle Anordnung.
- Die Streuwinkelverteilungen werden durch das optische Modell für spin- und isospinunabhängige Streuung, abgesehen von einer systematischen Abweichung im Bereich von t'-Werten zwischen 0.02 und 0.06 $(GeV/c)^2$, gut wiedergegeben. Das Modell erlaubt auch eine gute Anpassung an die Abhängigkeit des integrierten Produktionswirkungsquerschnittes vom Targetkern. Die Absolutwerte des kohärenten Anteils der Produktionswirkungsquerschnitte sind mit den Wirkungsquerschnitten für diffraktive 3-Pion-Produktion am Wasserstofftarget verträglich. Die 3-Pion-Massenspektren lassen sich in grossen Zügen unter Beiziehung des Modelles von Stenger darstellen.
- Der totale Wirkungsquerschnitt des 3-Pion-Systems an Nukleonen, welcher im optischen Modell als Parameter auftritt, erweist sich für produzierte Massen

unter 1.5 GeV als kaum höher als der totale Wirkungsquerschnitt eines Pions an Nukleonen. Für höhere Massen folgen etwas grössere Werte, wobei der Anstieg allerdings kaum statistisch signifikant ist. Mit dem Ergebnis der Auszählung im Dalitz-Diagramm, dass die Wahrscheinlichkeit der beiden Zerfallskanäle $\varrho\pi$ und $f\pi$ unabhängig vom Targetkern ist, lässt sich zudem auf die Gleichheit dieses totalen Wirkungsquerschnittes für die beiden Zerfallsarten schliessen.

- Dass der Mechanismus der kohärenten Produktion auch im Falle von 5 Pionen wirksam ist, lässt sich aus den Streuwinkelverteilungen ersehen. Der totale Produktionswirkungsquerschnitt für kohärente 5-Pion-Erzeugung ist dabei rund um einen Faktor 20 kleiner als jener für 3-Pion-Erzeugung (am Freonmolekül, das heisst für $\bar{A} \simeq 19$). Im Masseninterval zwischen 1.5 und 1.9 GeV ergibt sich dagegen nur ein Faktor 5.
- Das Spektrum der kohärent produzierten 5-Pion-Masse hat sein Maximum bei 1.75 GeV und zeigt eine Halbwertsbreite von 500 MeV. Die Form gleicht jener des 3-Pion-Massenspektrums.
- Die mit dem optischen Modell bestimmten Werte des totalen Wirkungsquerschnittes des 5-Pion-Systems an Nukleonen liegen klar unter dem totalen Wirkungsquerschnitt eines Pions an Nukleonen. Allerdings sind diese Werte mit grossen statistischen und systematischen Fehlern behaftet.

In der vorliegenden Arbeit sind aus Gründen des Umfanges folgende Aspekte der Auswertung nicht dargestellt worden: Bestimmung der Spin-Parität des 3-Pion-Systems, Diskussion der A_3-Resonanz (kohärent erzeugt?), Untersuchung der kleinen Strukturen in der ϱ-Massenverteilung (ϱ-ω-Interferenz?). Diese Punkte werden Gegenstand späterer Veröffentlichungen sein. Die Daten des Experimentes bei den einlaufenden Impulsen von 9 und 13 GeV/c werden zudem die Diskussion der kohärenten Produktionswirkungsquerschnitte sowie der entsprechenden (diffraktiven) Produktionswirkungsquerschnitte am Nukleon in Funktion des Primärimpulses ermöglichen. [Es sei an dieser Stelle daran erinnert, dass sich die Natur des Austauschmechanismus im t-Kanal vor allem auch in diesem hier nicht behandelten Aspekt offenbart].

Zum Abschluss dieser Arbeit soll nun noch die Bedeutung der gefundenen niedrigen Werte des totalen Wirkungsquerschnittes des 3- bzw. 5-Pion-Systems an Nukleonen erörtert werden. In den Ref. 28 und 32 ist darauf hingewiesen worden, dass die Messung des totalen 3-Pion-Nukleon-Wirkungsquerschnittes zu entscheiden erlaubt, ob es sich bei der breiten Anhäufung bei 1.1 GeV im 3-Pion-Massenspektrum um eine Resonanz oder um einen kinematischen Effekt handelt.

Für ein nichtresonantes 3-Pion-System, genauer $\varrho\pi$-System, ist ein totaler Wirkungsquerschnitt von

$$\sigma_2(3\pi_{\text{nicht resonant}}) \approx 0.85\left[\sigma_2(\pi)+\sigma_2(\varrho)\right] \simeq 43\,\text{mb} \qquad (81)$$

geschätzt worden[28]. Unsere Messungen stimmen mit dieser Vorhersage nicht überein und schliessen deshalb die Hypothese eines kinematischen Effektes (im Sinne eines im Kern erzeugten $\varrho\pi$-Systems, dessen zwei Bestandteile keiner gegenseitigen Wechselwirkung unterliegen) aus.

Hingegen entspricht unser experimenteller Befund der Erwartung für den Fall einer Resonanz*) (das heisst eines $\varrho\pi$-Systems, das für die Zeit seiner Lebensdauer als ein Teilchen betrachtet werden kann):

$$\sigma_2(3\pi_{\text{Resonanz}}) \simeq \sigma_2(\pi) \qquad (82)$$

Diese Gleichheit kann einerseits auf Grund des additiven Quarkmodelles, andererseits in Anlehnung an die Ergebnisse anderer Experimente erwartet werden[6)33)]:

$$\begin{aligned} \sigma_2(\varrho) &\simeq \sigma_2(\pi) \\ \sigma_2(Q) &\simeq \sigma_2(K) \end{aligned} \qquad (83)$$

Noch erstaunlicher ist unser Ergebnis für das 5-Pion-System:

$$\sigma_2(5\pi) \lesssim \sigma_2(\pi) \qquad (84),$$

welches seinerseits auf den Resonanzcharakter dieses Mesonsystems hinweist.

Beide Ergebnisse zusammen erlauben die Deutung, dass sich das erzeugte Mesonsystem während dem Durchqueren der Kernmaterie in einem Zustand befindet, in dem sowohl seine Pionzahl als auch sein Zerfallsmodus, welche später beobachtet werden,

*) Eine Resonanz der Breite $\Gamma = 400$ MeV zerfällt fast ausschliesslich ausserhalb des Kernes, da die mittlere Zerfallslänge ($p_{3\pi} = 15$ GeV/c, $m_{3\pi} = 1.1$ GeV)

$$\lambda_z = \frac{p_{3\pi}}{\Gamma\, m_{3\pi}} \approx 7\ \text{fm}$$

von der Grössenordnung des Kerndurchmessers ist, die Resonanz infolge der Absorption allerdings vor allem an der Peripherie des Kernes produziert wird (Die mittlere Absorptionslänge ist

$$\lambda_A = \frac{1}{\sigma_2 n} \cong \frac{4c_0^3}{\sigma_2} \approx 2\ \text{fm} \quad ,$$

wobei $\sigma_2 = 25$ mb , n = Anzahl Nukleonen pro Volumeneinheit, $c_0 = 1.12$ fm).

noch nicht bestimmt sind. Da dieses System ausser der Spin-Parität alle Quantenzahlen des einlaufenden Pions übernommen hat, kann von einem "virtuellen" oder "angeregten Pion" gesprochen werden. Mit dieser Betrachtungsweise nähern wir uns der Vorstellung von Stenger und man kann die Frage aufwerfen, ob dieses naive Modell nicht einen Hinweis auf ein noch genauer zu formulierendes Modell bietet (Abschnitt 4.4) [beispielsweise Modell eines gekoppelten π-, 3π-, 5π-Systems].

Allerdings sollten ebendieselben Ergebnisse auch mit kritischen Augen betrachtet werden: Was wir mit der dargelegten Methode messen, ist die Absorption eines Teilchens oder Teilchensystems, das nicht nur instabil ist, sondern welches erst kurz vor seiner Absorption (am Ort z') erzeugt worden ist (Ort z). Im Grunde genommen führen wir kurz nacheinander zwei Experimente aus; im ersten erzeugen wir eine Masse m_2 , welche wir im anschliessenden Absorptionsexperiment untersuchen. Die Unschärferelation ergibt für die Unbestimmtheit in der Masse

$$\Delta m_2 \geq \frac{p_2}{2|z'-z|\, m_2} \approx 1.4 \text{ GeV} \qquad (85),$$

wobei als Zahlenbeispiel eine zwischen den beiden Experimenten durchlaufene Strekke von 1 fm, $p_2 = 15$ GeV/c und $m_2 = 1.1$ GeV gerechnet worden ist.

VERDANKUNGEN

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. J.P. Blaser danken, der mir den Aufenthalt am CERN ermöglicht hat. Der Schweizerische Nationalfonds und die ETH haben diese Arbeit in finanzieller Hinsicht erlaubt.

Allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe CERN-ETH-Imperial College-Milano und insbesondere Privatdozent Dr. W. Beusch, Dr. C. Bemporad und Herrn M. Letheren gebührt mein Dank. Die Daten in den van Hove Diagrammen der Fig. 8 sind von Fräulein E. de Wolf dargestellt worden.

Dr. W.E. Fischer und Dr. L. Leśniak haben den theoretischen Teil der Arbeit kritisch durchgelesen.