

Interner Bericht
DESY F/F39-71/1
September 1971

DESY. Bibliothek

27. OKT. 1971

Speicherring-Experimente mit dem 1.4 m Solenoid

von

E. Lohrmann

Speicherring-Experimente mit dem 1.4 m Solenoid

E. Lohrmann

Bei der Planung von Speicherring-Experimenten ist es naheliegend, von einer Detektor-Anordnung auszugehen, die das Wechselwirkungsvolumen vollständig umschließt und alle austretenden Teilchen zu messen gestattet. Eine solche Anordnung, die an konventionellen Beschleunigern eine Analogie in einer Blasen- oder Streamerkammer hätte, kann - ähnlich wie diese - nicht alle experimentellen Probleme lösen, umgekehrt erscheint klar, daß eine solche Anordnung zum Instrumentarium gehören muß, wenn die Experimente nicht große Lücken in dem Gesamtgebiet der prinzipiell zugänglichen Physik offen lassen sollen.

Überlegungen über die günstigste Form eines solchen Detektors haben bei CEA, SLAC und DESY zu sehr ähnlichen Ergebnissen geführt. Er besteht aus einem Solenoid verhältnismäßig großen Durchmessers und verhältnismäßig kleiner Feldstärke, dessen Feldlinien ungefähr parallel den Speicherringstrahlen laufen. Funken- oder Proportionalkammern in diesem Solenoid gestatten die Messung von Winkel und Impuls der aus der Wechselwirkungszone kommenden Teilchen.

Um Erfahrungen zu sammeln, wurde bei DESY beschlossen, ¹⁾ zunächst einen Detektor zu bauen, dessen Größe so weit unter der geschätzten optimalen Größe lag, daß seine Kosten gegenüber den geschätzten Kosten eines optimalen Detektors sehr klein waren, der aber trotzdem ernsthafte Messungen am Speicherring gestatten sollte. Infolgedessen wurde zunächst ein supraleitendes Solenoid von 1.4 m nutzbarem Innendurchmesser, 1.15 m Länge und einer Feldstärke von ca. 20 KGaus von der Gruppe B 1 beschafft und in der ersten Hälfte des Jahres 1971 erfolgreich in Betrieb genommen.

Die Wirkung des Solenoid-Feldes auf die Strahlen des Speicherrings muß abgeschirmt oder kompensiert werden. In einer ersten Stufe ist eine Abschirmung durch eine zweite supraleitende Spule von 35 cm Außendurchmesser vorgesehen. Die Dicke dieser Spule beträgt ca. 0.7 Strahlungslängen. Wie sich noch zeigen wird, führt dies für viele Experimente zu einer ernsthaften Behinderung. Deswegen ist in einer späteren Stufe vorgesehen, das Feld durch zwei Spulen an den beiden Enden des großen Solenoids zu kompensieren. Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze der Spule mit den Kompensationsspulen und dem meßbaren Raumwinkelbereich. Es erscheint zweckmäßig, für das Experimentieren drei zeitlich aufeinanderfolgende Phasen zu unterscheiden.

Phase 1

Vollständige Abschirmung des Solenoidfeldes am Wechselwirkungspunkt durch eine innere Abschirmspule. Diese Spule (Außendurchmesser = 35 cm , Innendurchmesser = 25 cm , Dicke ca. 0.7 Strahlungslängen) hat drei Nachteile: 1) Sie absorbiert Hadronen, so daß nur ein Bruchteil der Reaktionen vollständig analysiert werden kann. 2) Sie begrenzt den Raumwinkel für Impulsmessungen auf den Bereich $1(90^{\pm}40^{\circ})$. 3) Sie verschlechtert die Winkel- und Impulsmeßgenauigkeit um ungefähr den Faktor 2.

Fig. 2 zeigt den prozentualen Bruchteil der Ereignisse, die jeweils vollständig im Winkel- bzw. Impulsmeßteil der Spule liegen, sowie den Einfluß der Absorption für verschiedene Reaktionen als Funktion der Speicherringenergie. Für Reaktionen mit großer Teilchenzahl macht sich die Abschirmspule wegen der Absorption sehr nachteilig bemerkbar.

Die Impulsmeßgenauigkeit ist

$$\Delta p/p \approx \pm 0.04 \cdot p \text{ (GeV)}$$

falls als Detektor Proportionalkammern mit 2 mm Drahtabstand verwendet werden.

Mögliche Experimente:

- 1) Totaler Wirkungsquerschnitt für Annihilation in Hadronen (siehe Absichtserklärung der Gruppe F 39)². Für eine Präzisionsmessung bestehen mindestens zwei Schwierigkeiten: Strahlungskorrekturen, die eine genaue Feststellung der Energie des Ereignisses verhindern und Beiträge von Ereignissen, die von inelastischer e^+e^- Streuung kommen. Die erste Schwierigkeit könnte gelöst werden durch sorgfältige Berechnung der Strahlungskorrekturen und Kontrolle an einigen Punkten durch Nachweis des abgestrahlten Photons. Der zweite Punkt erfordert unter Umständen eine Kontrollmessung mit e^-e^- .
- 2) Überblick über Reaktionen, Multiplizitäten, Strukturen im Wirkungsquerschnitt als Funktion der Energie.
- 3) Analyse der häufigsten Kanäle (πA_2 , $K^* \bar{K}^*$, . . .)
- 4) Suche nach neuen Vektormesonen, die zu Vielteilchen-Endzuständen führen.

Unter den Bedingungen der Phase I wurden für verschiedene Reaktionen und verschiedene Speicherringenergien Impuls- und effektive Massenverteilungen berechnet. Weiterhin wurde berechnet, mit welcher Genauigkeit Energie- und Impulsbilanz möglich ist. Dies zeigen die Abb. 3 - 10. Die Rechnungen wurden zunächst ohne Strahlungskorrekturen durchgeführt. Ihr Einfluß wird weiter hinten besprochen.

Die Abbildungen zeigen, daß bereits mit der in Phase I möglichen Meßgenauigkeit eine Massen- und Impulsauflösung möglich ist, die für die Analyse der aufgeführten Reaktionen ausreichen sollte. Die Abbildungen zeigen auch,

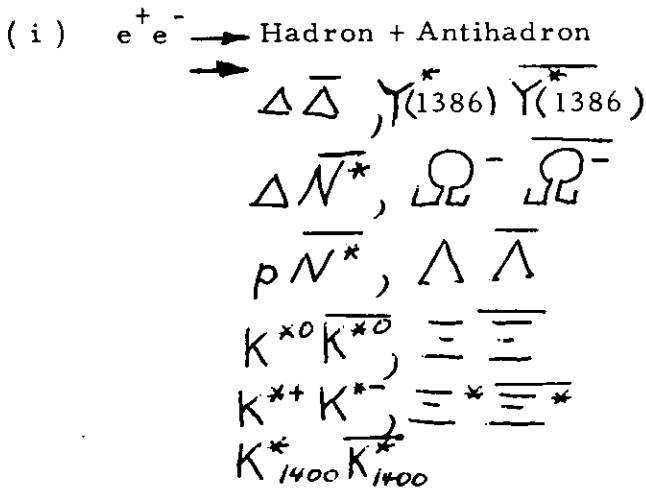
daß sich die meisten Ambiguitäten, die aus Unkenntnis der Teilchenidentitäten entstehen, ausscheiden lassen sollten.

Phase 2

Hier fällt die innere Abschirmspule weg, das Magnetfeld des Solenoids wird durch zwei seitlich angebrachte Spulen kompensiert, so daß

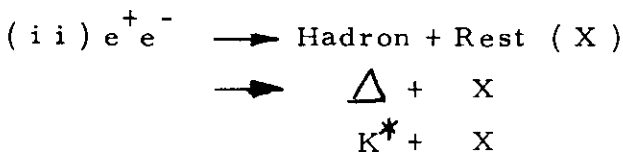
$\int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sigma$ entlang der Strahlachse. Damit werden die Nachteile der Phase 1 vermieden. Der Impulsmeßbereich kann auf $90^\circ \pm 65^\circ$ erweitert werden, die Meßgenauigkeit um ca. den Faktor 2 verbessert werden.

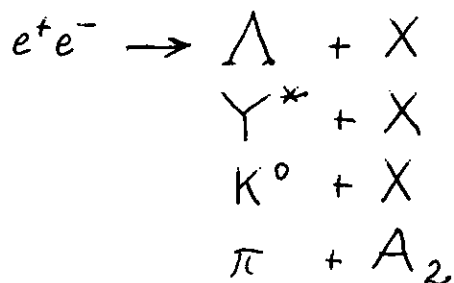
Damit werden die folgenden zwei Gruppen von Experimenten zugänglich:



Viele dieser Reaktionen haben eine klare Signatur (K^0, Λ - Zerfall), die das Herauslesen aus einem großen Untergrund gestattet. Die Abb. 3 - 10 zeigen u.a. die zu erwartende Massenauflösung, allerdings mit der (schlechteren) Meßgenauigkeit der Phase 1 berechnet.

Die Tabelle zeigt die zu erwartenden Zählraten.





Die Reaktionen haben eine klare Signatur, Beispiele simulierter Messungen siehe Abb. 3 - 10.

Phase 3

Wie Phase 2, jedoch mit zusätzlichen Schauerzählern, die eine Orts- und grobe Energiebestimmung der Photonen gestatten. Wie die Abbildungen zeigen, wird die Mehrzahl der Photonen im Energiebereich 200 - 1000 MeV liegen. Die Aufzählung von Reaktionen, die mit einer derartigen Anordnung zugänglich werden, füllt mehrere Seiten (siehe Vorschlag für einen magnetischen Detektor am CEA-bypass von L. Osborne et al.). Es soll lediglich darauf hingewiesen werden, daß z.B. Reaktionen wie $\Omega^* \bar{\Omega}^*$ untersucht werden können.

Strahlungskorrekturen

Rechnungen wurden durchgeführt, um einen ersten Einblick in die Wirkung von Strahlungskorrekturen zu gewinnen. Hierzu wurde der Bericht von H.D. Schulz verwendet.³ Es wurde angenommen, daß nur die Elektronen, nicht aber die Hadronen strahlen. Hierbei ist auch die Energieabhängigkeit des Wirkungsquerschnitts wichtig. Es wurde angenommen, daß er die Form hat $\sigma(E) = \sigma_0 (E/E_0)^{-n}$ wobei n den einzelnen Reaktionen angepaßt werden muß.

Rechnungen werden für verschiedene Werte von n angestellt. Abbildung 11 zeigt typische Resultate. Dabei geht man davon aus, daß man alle sekundären Teilchen messen kann. Bei unendlicher Meßgenauigkeit sollte dann (im Schwerpunktsystem) $\sum_{\text{SEKUNDÄRE}} \text{Teilchenenergie} = 2 \times \text{Speicherringenergie}$ und $\sum_{\text{SEKUNDÄRE}} \text{Teilchenimpulse} = 0$ sein. Abb. 11 zeigt die tatsächlichen Verteilungen, wie sie unter dem Einfluß endlicher Meßgenauigkeit und von Strahlungskorrekturen erwartet werden. Die Strahlungskorrekturen wirken so, daß die Verteilungsfunktionen von Energie und Impuls um $2E$ bzw. 0 geringfügig verbreitert werden, vor allem aber eine starke Anhäufung von Ereignissen mit großen Strahlungsverlusten zu beobachten ist. Diese sind dadurch charakterisiert, daß Energie- und Impulsbilanz scheinbar stark verletzt sind und der fehlende Impuls in Richtung der Strahlachse zeigt. An dieser letzten Eigenschaft lassen sich diese Ereignisse erkennen und aussondern. Der Einfluß der Strahlungskorrekturen auf die restlichen Ereignisse ist gering und sollte die Auswertung nicht stören. Der Anteil der so verbleibenden Ereignisse ist 67% für $n = 4$ und 33% für $n = 8$.

Der Einfluß der Strahlungskorrekturen wird nicht trivial, wenn nicht sämtliche Teilchen einer Reaktion gemessen werden können. Hier bestehen grundsätzliche Schwierigkeiten, die Energie der Ereignisse zu bestimmen.

Stand des Projekts

Das Solenoid ist vorhanden. Die Abschirm- und Kompensationsspulen befinden sich in der Entwicklung. Prototypen für Proportional- und Funkenkammern sind vorhanden. Ab 1974 soll das Solenoid mit Abschirm- und Kompensationsspulen sowie einer Grundausrüstung von Proportional- oder Funkenkammern als allgemein zugängliche Experimentiereinrichtung zur Verfügung stehen.

Tabelle

Ereignisraten/h für Luminosität = $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ und Raumwinkel

= $0.5 \times 4\pi$

Energie	1.5 GeV	2 GeV	3 GeV
$\mu^+ \mu^-$	14000	7000	3600
$\gamma\gamma$	65000	36000	16000
σ_T (Hadronen)	7000	4000	2000
$\Delta \bar{\Delta}$	10	1	0.03
$\Upsilon^* \bar{\Upsilon}^*$	3	0.3	0.01
$K^{+*} K^{-*}$	> 300	> 300	> 100
$K^{0*} K^{0*}$	> 30	> 30	> 30
$A_2 \pi$	2000	1000	800
p + anything	60	30	10

Figuren

Fig. 3 - 10 sind mit folgenden Annahmen gerechnet: Phase 1, Abschirmspule, Meßgenauigkeit $\pm 1 \text{ mm}$, keine Strahlungskorrekturen.

Fig. 1 Prinzipskizze der Spule.

Fig. 2 Bruchteil der Reaktionen, die ganz im Bereich $2(90^\circ \pm 65^\circ)$ bzw. ganz im Bereich $1(90^\circ \pm 40^\circ)$ liegen, sowie der Reaktionen, wo alle Teilchen im Bereich 1 liegen und nicht von der Abschirmspule absorbiert werden. Der Bruchteil analysierbarer Reaktionen nimmt mit wachsender Energie zu. Für Reaktionen mit 6 und 7 Teilchen ist der Bruchteil sehr klein.

Fig. 3 Massenspektren für Δ , K^* , K^0 , Υ^* , sowie 2π und 3π Massenspektren der Reaktionen $\pi + A_2$ und 7-Teilchenphasenraum.

Speicherringenergie = 1.5 GeV.

Fig. 4 Genauigkeit der Ereignisrekonstruktion bei einer Speicherringenergie von 1.5 GeV. Gezeigt ist die Verteilung der totalen Energie der Sekundärteilchen für verschiedene Reaktionen sowie die Verteilung von Betrag und Winkel für den fehlenden Impuls.

Fig. 5 Impulsverteilungen von Teilchen (π , K, p) aus den Reaktionen $\Delta \bar{\Delta}$, $K^* \bar{K}^*$, $Y^* \bar{Y}^*$, πA_2 ,

p + Rest und 7-Teilchen Phasenraum.

Speicherringenergie = 1.5 GeV.

Zu beachten: Bei der Reaktion $\Delta \bar{\Delta}$ und $Y^* \bar{Y}^*$ werden Pionen und Protonen schon durch ihren Impuls fast völlig getrennt.

Bei der Reaktion $Y^* \bar{Y}^*$ geht das Pion-Impulsspektrum zu sehr tiefen Werten.

Fig. 6 Dasselbe wie Fig. 5, Speicherringenergie = 2 GeV.

Fig. 7 Dasselbe wie Fig. 3, Speicherringenergie = 3 GeV.

Fig. 8 Zwei- und Dreiteilchen-Massenspektren der Reaktion p + Rest sowie Verteilung der gemessenen Gesamtenergie und des fehlenden Impulses, Speicherringenergie = 3 GeV.

Fig. 9 Impulsspektren für die Gesamtheit aller Teilchen aus 3 Reaktionen, Speicherringenergie = 3 GeV.

Fig. 10 Auswirkung falscher Massenzuordnung zu den Teilchen, Speicherringenergie = 2 GeV.

a) Reaktion $e^+ e^- \rightarrow 4\pi$, davon 2 Pionen als Protonen angenommen, gezeigt ist Massenspektrum Pion - 'Proton'.

b) wie a), aber Annahme 2 Kaonen, Massenspektrum Pion 'Kaon'.

c) Reaktion $e^+ e^- \rightarrow \Delta \bar{\Delta}$ gezeigt ist Massenspektrum (π^+ Proton) + (π^+ Antiproton).

d) (Pion Kaon) + (Pion Antikaon) Massenspektrum aus der Reaktion $K^0 \ast K^{\bar{0}} \ast$.

e) (Pion Kaon) + (Pion Antikaon) Massenspektrum aus der Reaktion $K^0 \ast K^{\bar{0}} \ast$, aber Pionen und Kaonen in der Massenzuordnung vertauscht.

Sek. Energie: Gesamte gemessene Energie des Endzustandes 4π , falls zwei der Pionen als Kaonen bzw. Protonen bzw. Pionen angenommen werden. Zeigt die Grenzen der Teilchenidentifizierung aus der Energiebilanz.

Fig. 11 Verteilung der gesamten gemessenen Sekundärenergie sowie des fehlenden Impulses unter dem Einfluß endlicher Meßgenauigkeit und von Strahlungskorrekturen. Die Verteilungen unter b) haben zur Bedingung, daß für den fehlenden Impuls gilt:

$$|\cos \vartheta| < 0.95 .$$

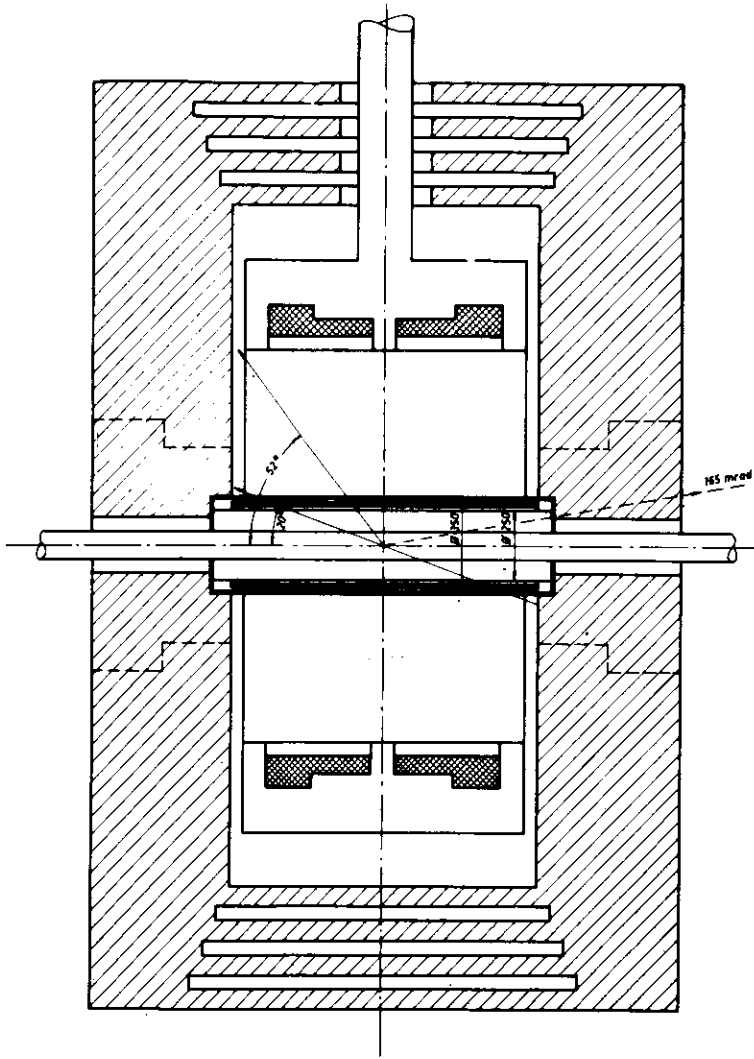
Referenzen

1) P. Waloschek et al., Bericht über den 1.4 m Detektor
Speicherringtagung DESY, 8. Juli 1971.

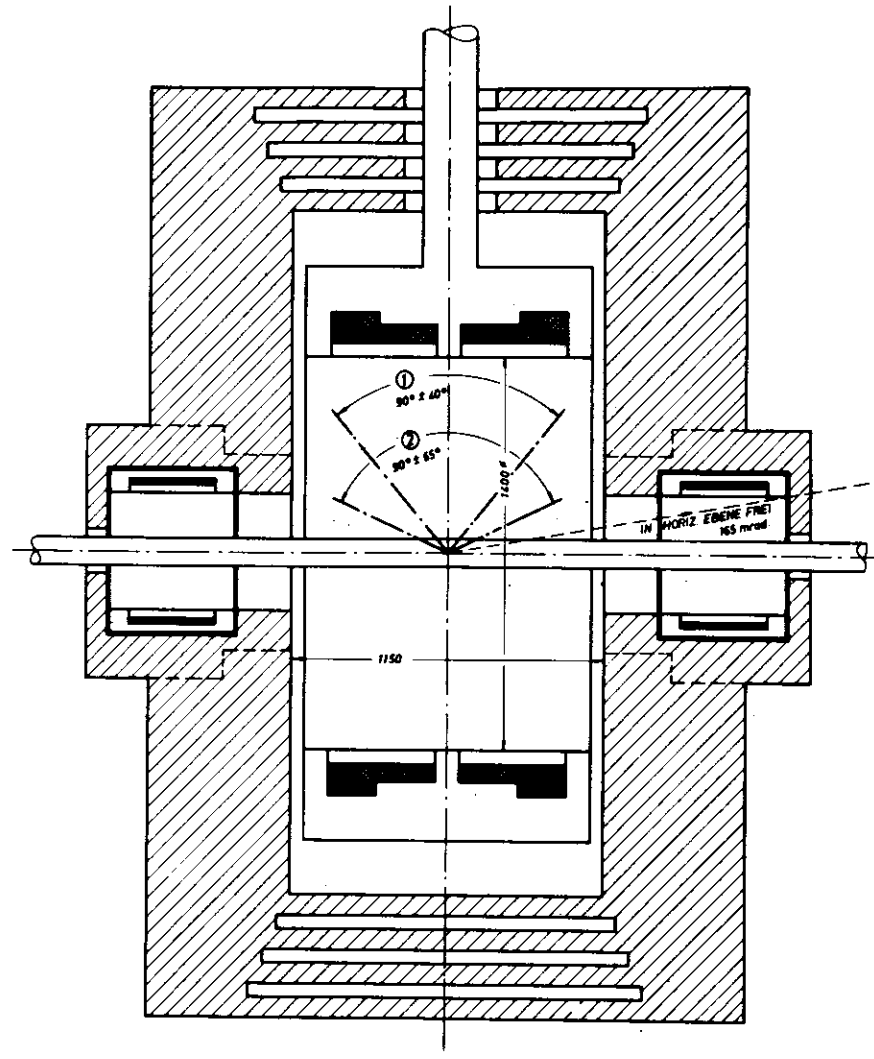
K. Steffen, DESY Bericht 70/24

2) Absichtserklärung der Gruppe F 39 vom 30. Juni 1971.

3) H.D. Schulz, interner Bericht DESY F 39, 70/1



Prinzipskizze der Abschirmspule (I)



Prinzipskizze der Kompensationspulen (II)

Fig. 1

**BRUCHTEIL
NACHGEWIESENER
REAKTIONEN**
%

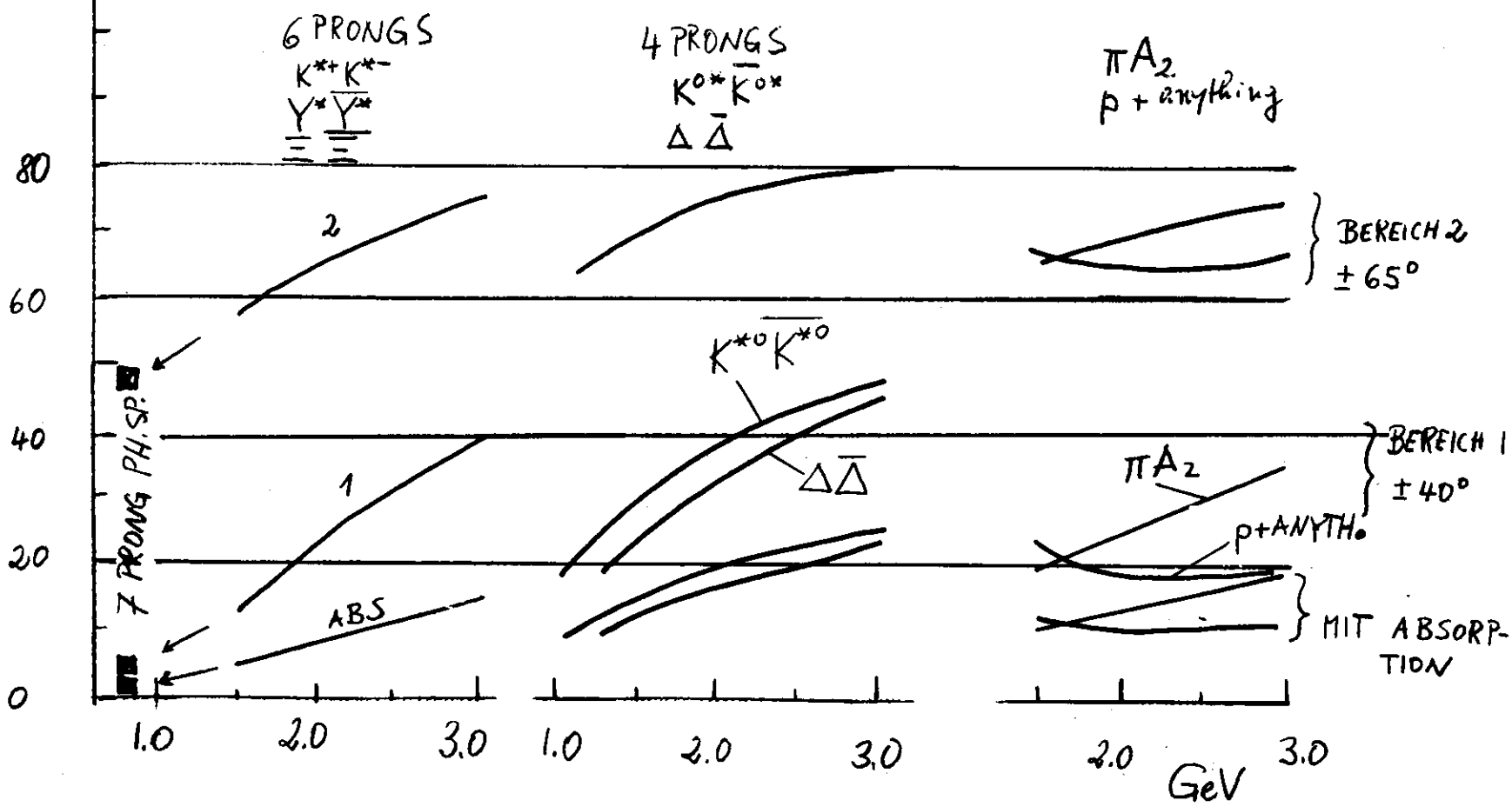
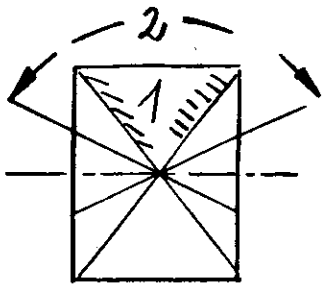


Fig. 2

MASSENSPEKTREN
 STRAHLENERGIE = 1.5 GeV

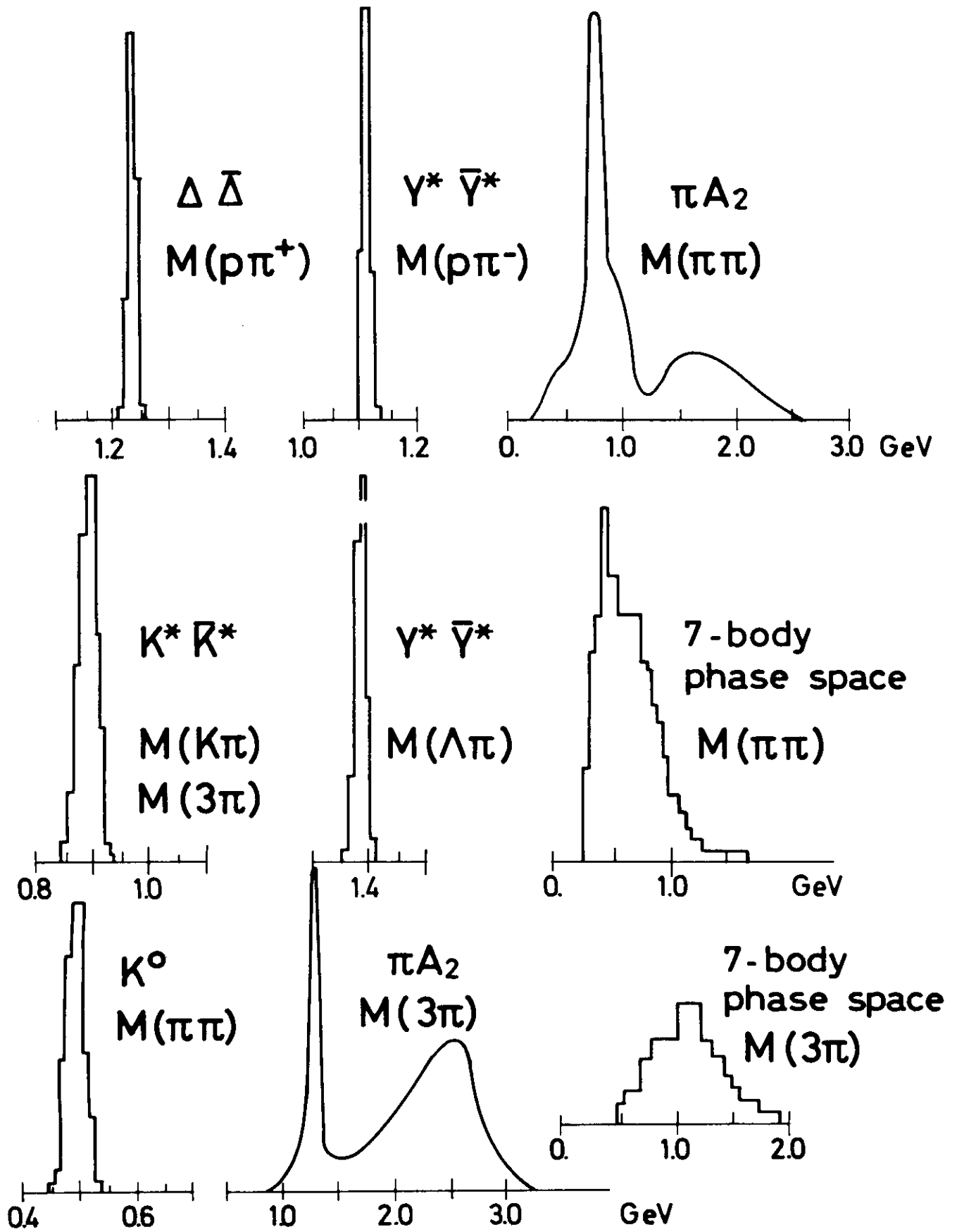


Fig. 3

ENERGIE - IMPULSBILANZ
STRAHLENERGIE = 1.5 GeV

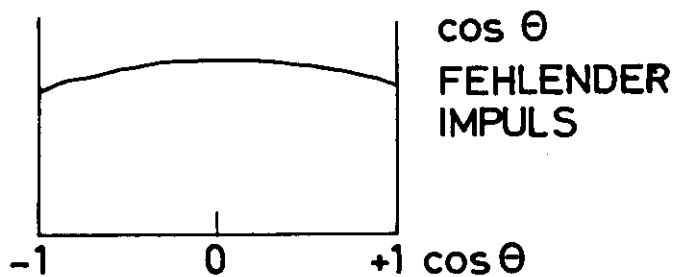
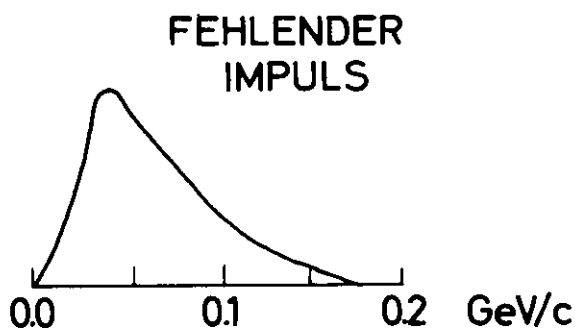
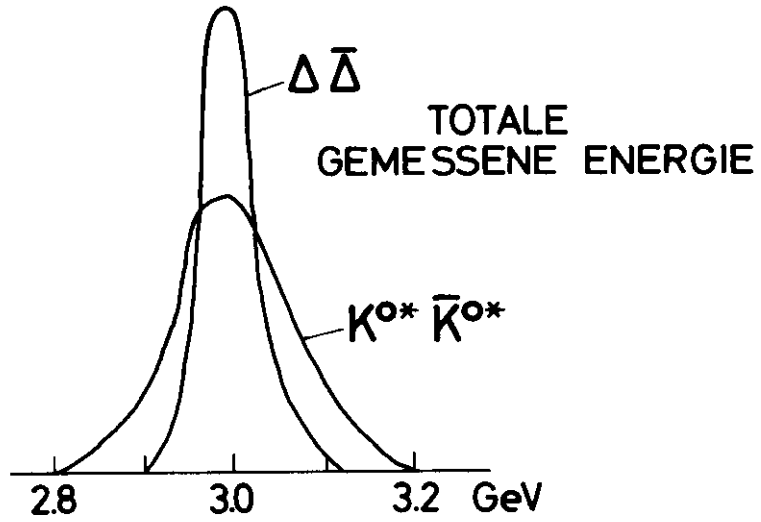


Fig. 4

IMPULSSPEKTREN
 STRAHLENERGIE = 1.5 GeV

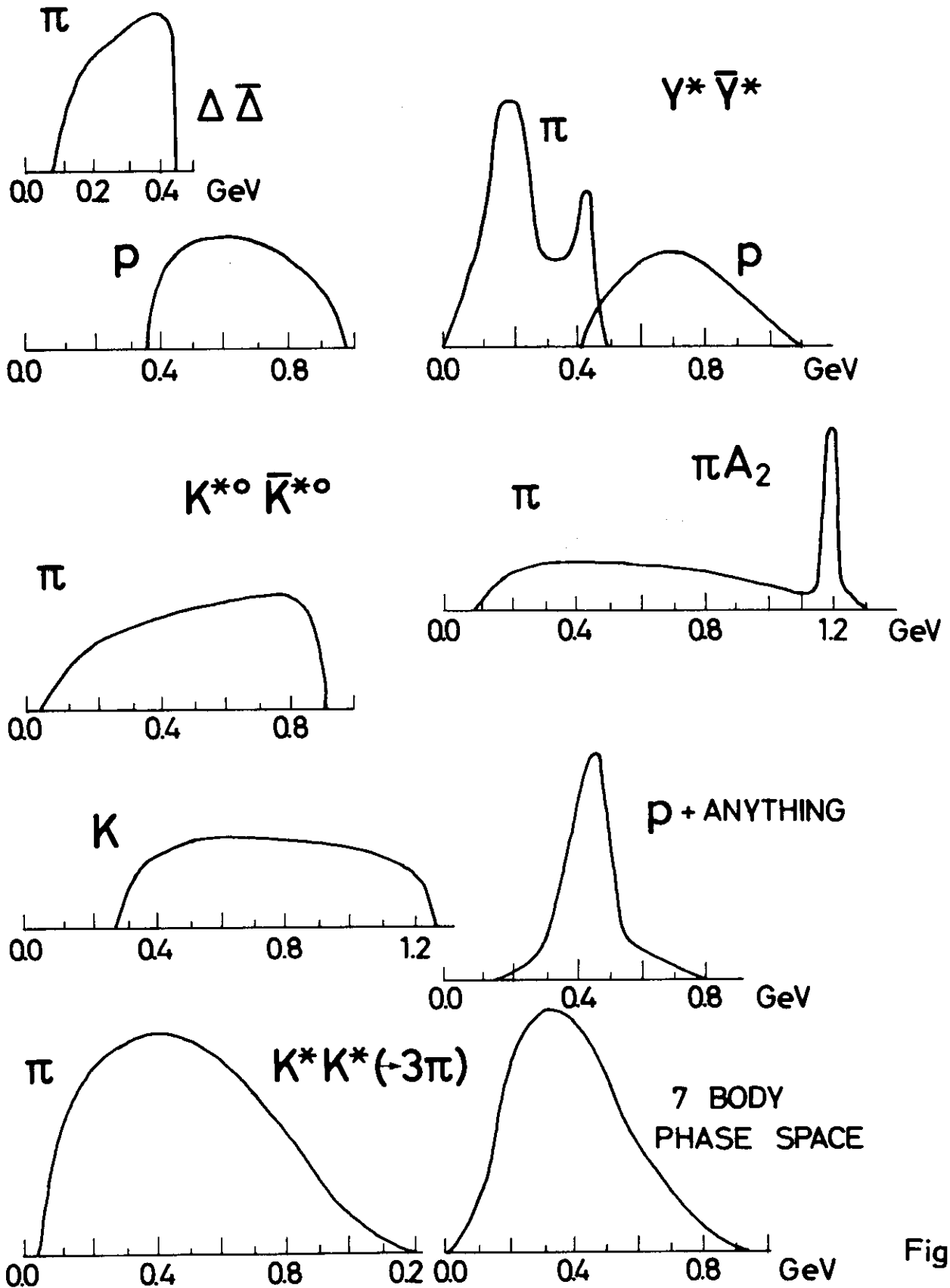


Fig. 5

IMPULSSPEKTREN
 STRAHLENERGIE = 2.0 GeV

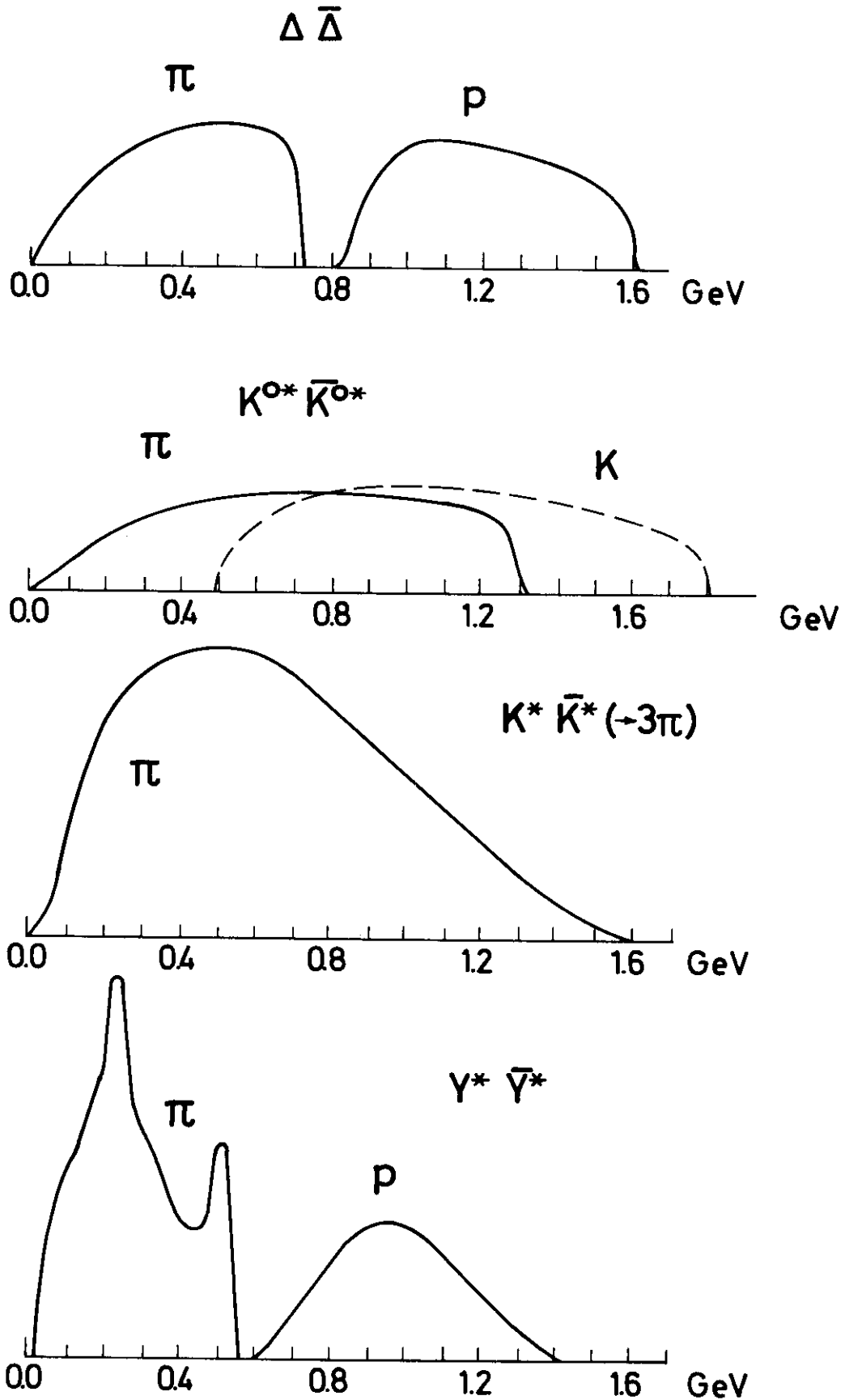


Fig. 6

MASSENSPEKTREN
 STRAHLENERGIE = 3 GeV

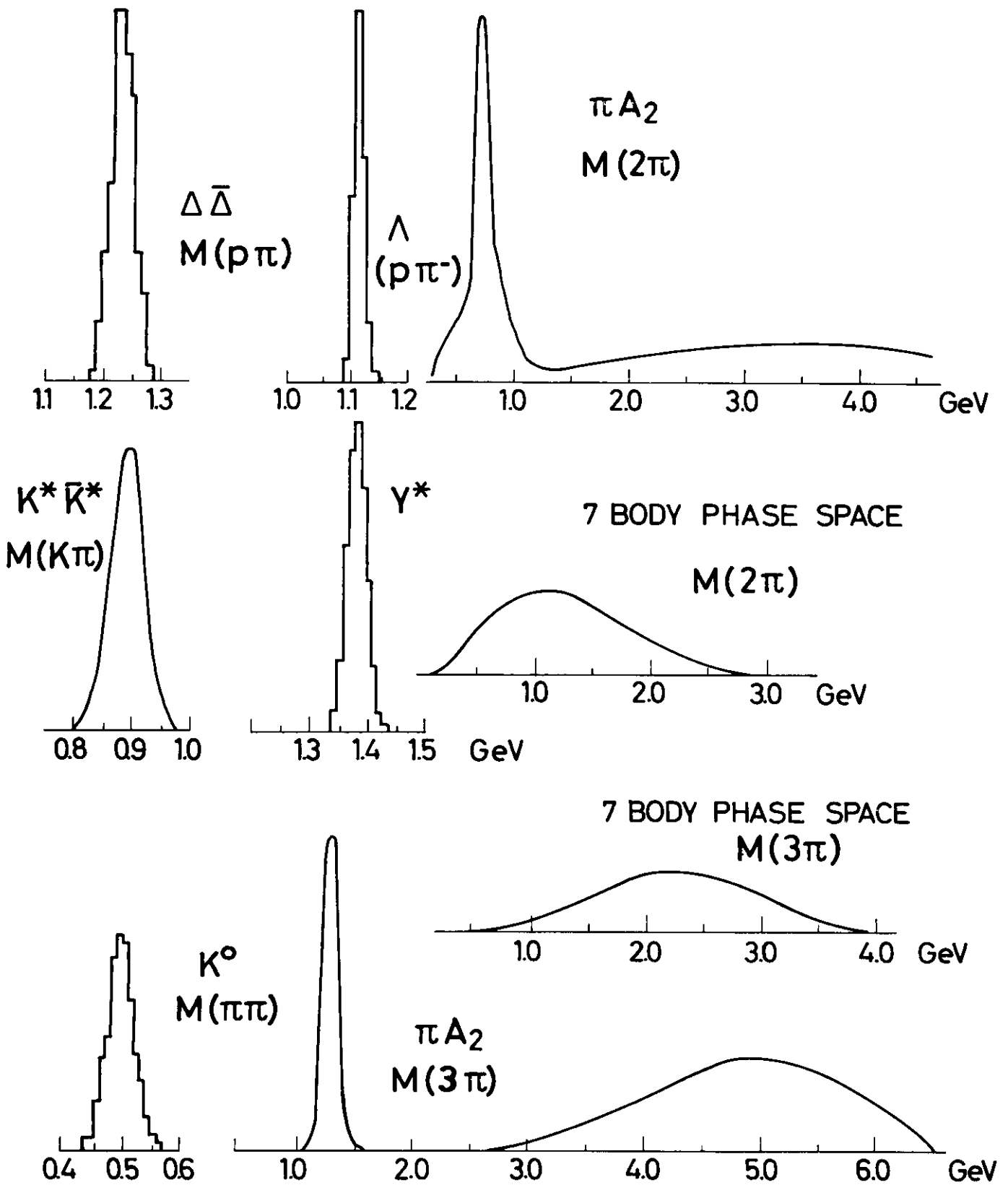


Fig. 7

Massenspektren
Energie-Impulsbilanz

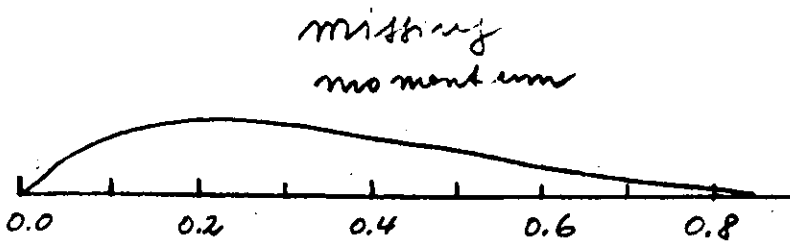
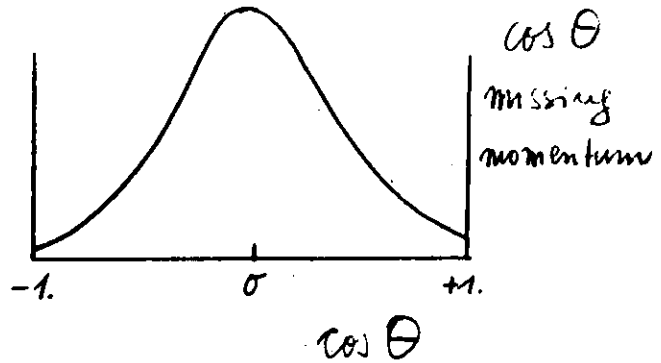
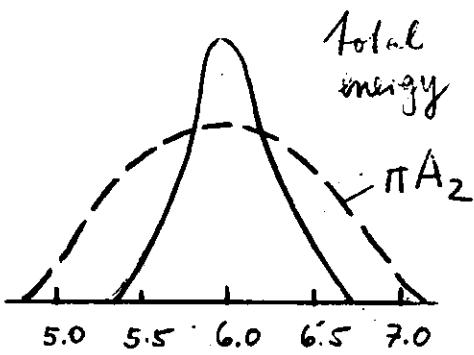
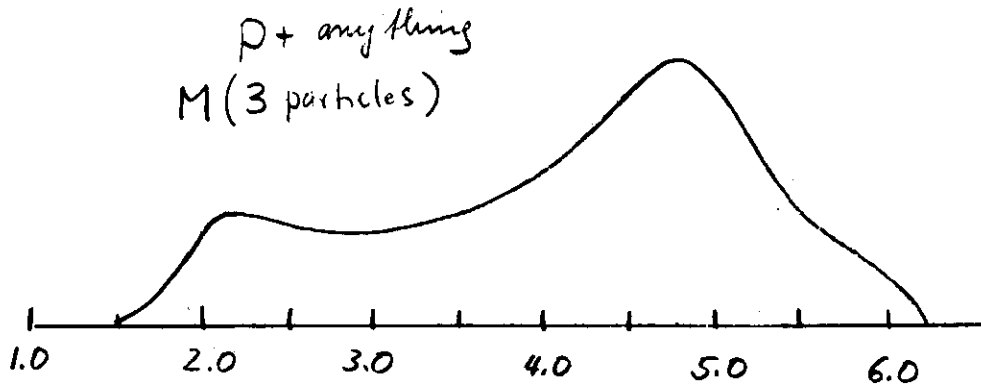
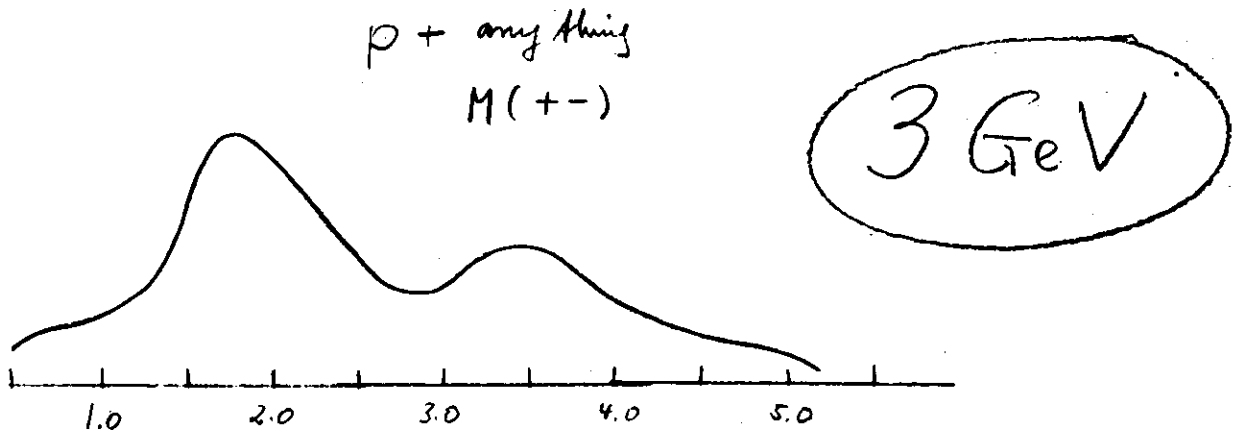
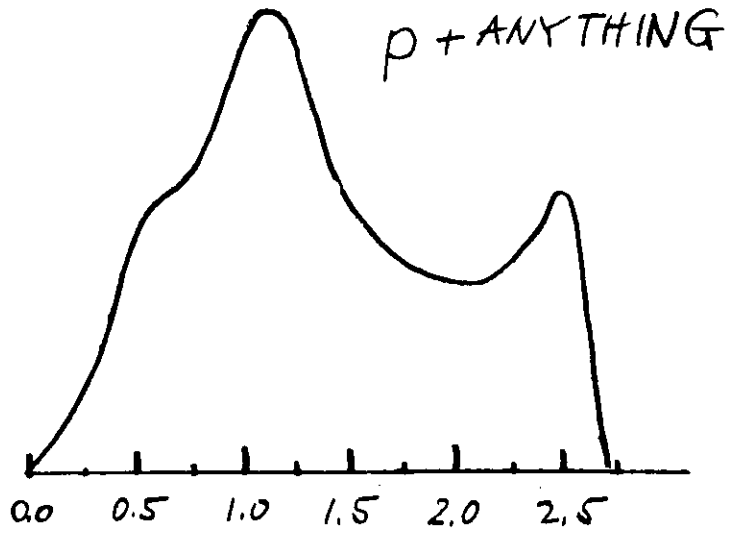


Fig. 8

Impulsspektren



3.0 GeV

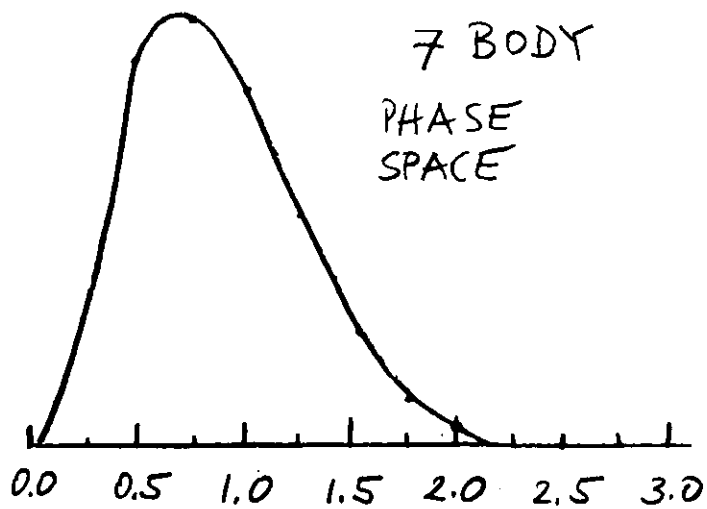
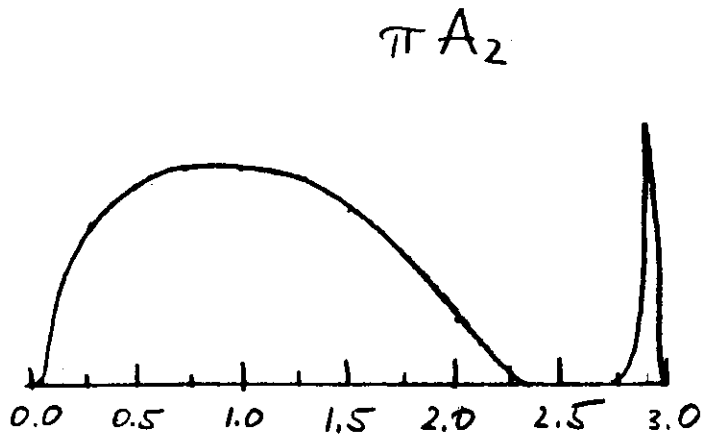
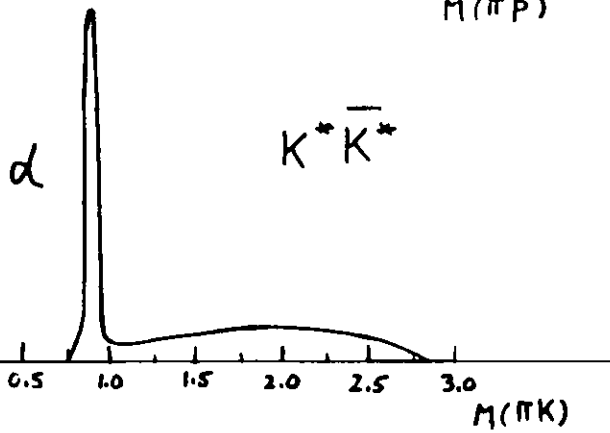
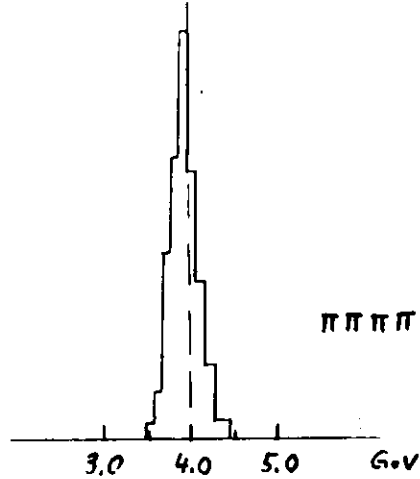
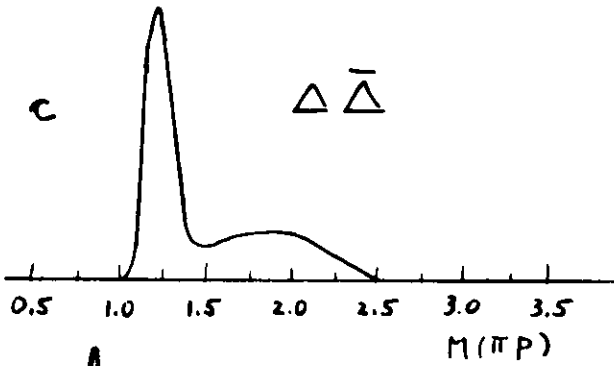
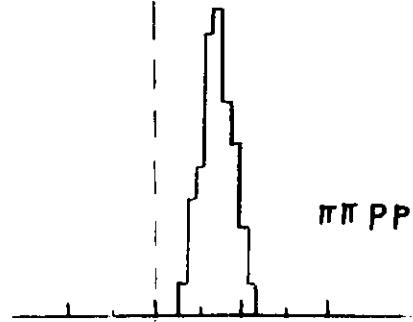
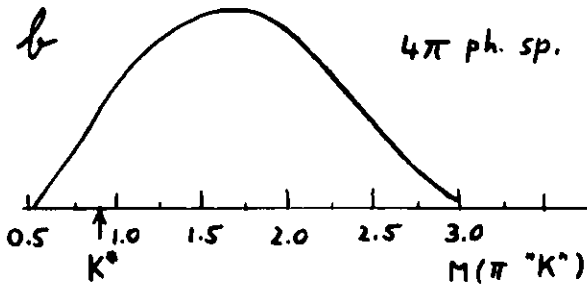
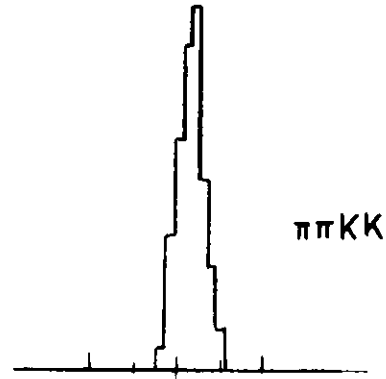
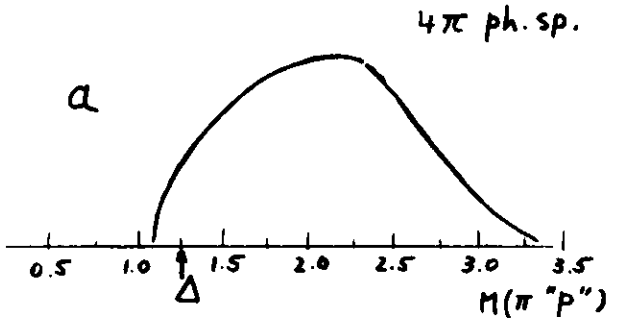


Fig. 9

Massenspektren

Wirkung falscher Teilchenzuordnung.

SEK. ENERGIE
 $\pi\pi\pi\pi$ GENOMMEN ALS



2.0 GeV

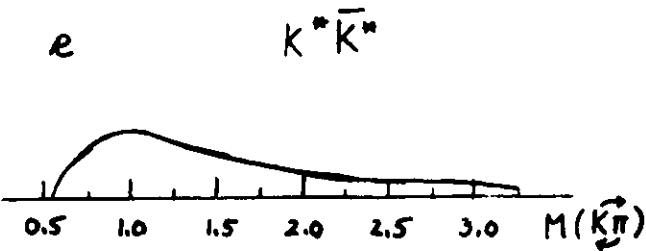
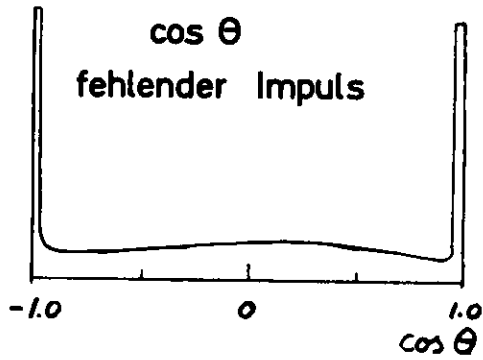
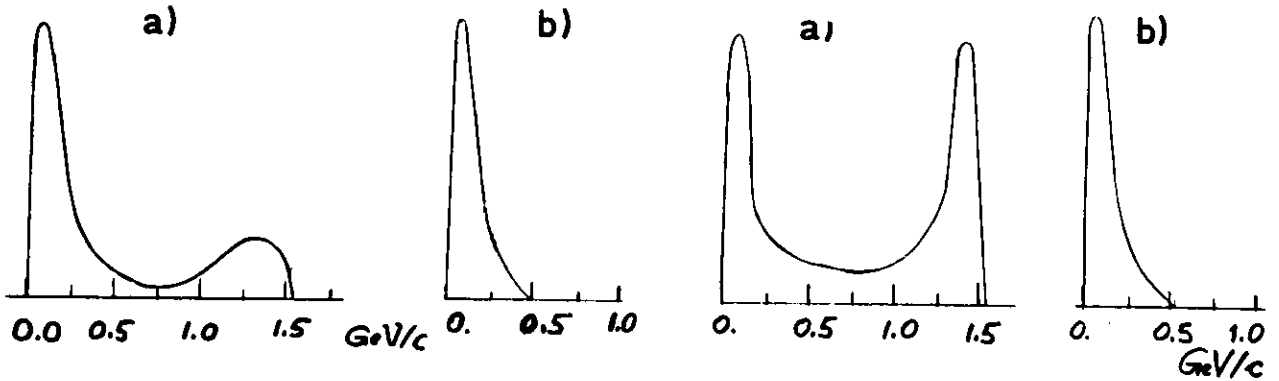


Fig. 10

Fehlender Impuls

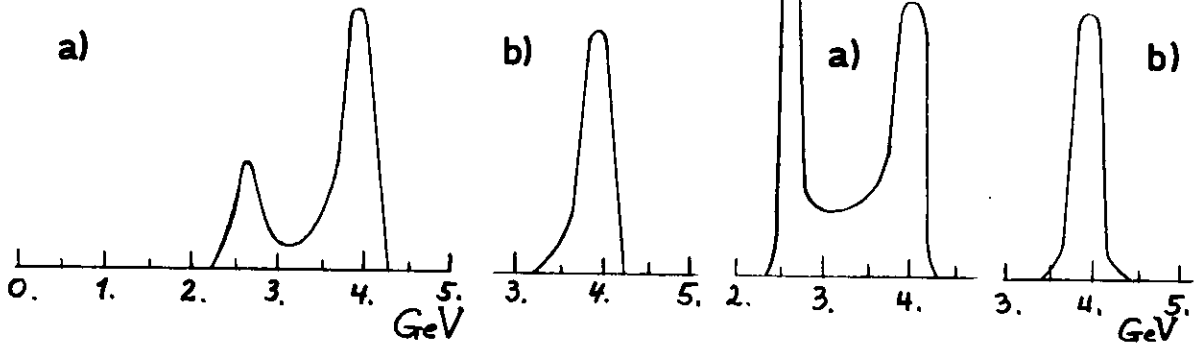
$\sigma - E^{-4}$

$\sigma - E^{-8}$



sek. Energie $\sigma - E^{-4}$

sek. Energie $\sigma - E^{-8}$



Strahlungskorrekturen bei 2 GeV

a) ohne b) mit Abschneiden in $\cos \theta$

Fig. 11

