



CM-P00046047

PHYS III 72/71
4 December 1972
-----Memorandum to Physics-III-Committee

From: C. Amsler, G.H. Eaton, W.E. Fischer, R. Froesch,
R. Hartmann, A. Janett, S. Mango, F. Pozar, P. Weymuth
ETHZ and SIN

Subject: Addendum to the letter of intention 71/42:
"Polarization measurement in π N-scattering
with a polarized target".

The aim of this memorandum and the annexed proposal is to present the π N experiment as a proposal for the present SC.

Short Description of the Experiment

The intention of the experiment is to measure the polarization parameter in π p scattering at incident kinetic energies of 195 and 246 MeV with a butanol polarized target. The experiment involves the detection of both the scattered pion and the recoil proton, and covers the centre of mass angular range 65° to 165° with an absolute error of ± 0.04 on the measurements of the polarization. This precision is a considerable improvement over the currently available data in this energy range and would allow a determination of the phases S_{31} and P_{31} with an uncertainty of $\pm 1^\circ$. This experiment would serve as a very useful independent cross-check of the phases determined from low energy π p differential cross section and total cross section measurements (D.V. Bugg, private communication).

This work would initiate a long term experimental investigation of the pion-nucleon interaction (including charge exchange scattering and R, A experiments) which will be carried out at SIN.

Time Schedule

The earliest date for starting the experiment at CERN would be March 1973.

Set up and Beam Time

Our requirements regarding beam and running time may be found on pages 4 and 22 of the annexed proposal. Our preference for the choice of pion beam would be the Tanner-Domingo beam in the proton hall, which we plan to redesign for greater acceptance from the external production target.

VORSCHLAG FUER EIN EXPERIMENT AM CERN-SC UND AM SIN

MESSUNG DER ASYMMETRIE IN DER $\pi^+\bar{p}$ -STREUUNG
BEI 100 BIS 300 MeV

C. Amsler *, W.E. Fischer *, R. Frosch **,
R. Hartmann *, A. Janett *, H.J. Mahler *,
S. Mango *, F. Požar *, P. Weymuth *

ETHZ (*) und SIN (*)

1. Juni 1972

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzbeschreibung des Experiments	3
Strahlbezeichnung, Strahleigenschaften, Dauer des Experiments	4
Ausführliche Beschreibung des Experiments	5
1. Einleitung	5
2. Theoretische Grundlagen	5
3. Vorgesehenes Experiment	7
4. π^+ p oder π^- p?	8
5. Wahl der Einfallenergie	9
6. Verbesserungen gegenüber früheren Experimenten	9
7. Experimentelle Anordnung	11
7.1. Der Pionen-Strahl	11
7.2. π -Detektor	15
7.3. p-Detektor (Hodoskop)	15
7.4. Target und Magnet	17
7.5. Elektronik	18
8. Streuwinkel-Bereich	19
9. Messgenauigkeit	20
9.1. Systematische Fehler	20
9.2. Statistischer Fehler und Messzeit	21
Kostenabschätzung	23
Literatur	24
Kinematische Tabelle	25
Verzeichnis der Abbildungen	26

MESSUNG DER ASYMMETRIE IN DER π^+p -STREUUNG
BEI 100 BIS 300 MeV

C. Amsler *, W.E. Fischer *, R. Frosch **,
R. Hartmann *, A. Janett *, H.J. Mahler *,
S. Mango *, F. Požar *, P. Weymuth *

ETHZ (*) und SIN (**)

KURZBESCHREIBUNG DES EXPERIMENTS:

Der Polarisationsparameter $P(\theta)$ der π^+p Streuung soll bei 195 und 246 MeV an einem polarisierten Butanol-Target gemessen werden. Sowohl das gestreute π als auch das Rückstossproton werden nachgewiesen. Der Polarisationsparameter soll mit hinreichender Genauigkeit gemessen werden, so dass die kleinen Streuphasen mit einem Fehler von $\pm 1^\circ$ ermittelt werden können.

Das Experiment wird gegenüber dem letzten Vorschlag vereinfacht, bleibt aber im Rahmen eines vollständigen Experimentierprogrammes am SIN.

GEWUNSCHETE STRAHLEIGENSCHAFTEN

Teilchen: π^+
Impulsbereich: 250 MeV/c bis 400 MeV/c
Halbes Impulsband: $< 3.5 \%$
Strahlfleckgrösse: 1 cm x 1 cm
Divergenzen: $|x'| \leq 30$ mrad
 $|y'| \leq 30$ mrad
Intensität: $\gtrsim 3.5 \times 10^4 \text{ sec}^{-1}$

Dauer des Experiments:

Vorbereitungen:

Montage in der Halle: 3 Wochen
Vorversuche mit Strahl: 10 shifts
(Intensität für Vorversuche $\gtrsim 10^3 \text{ s}^{-1}$)

Hauptversuch: 30 shifts

Platz in der Halle: 2 x 3 m²

AUSFUEHRLICHE BESCHREIBUNG DES EXPERIMENTS:

1. Einleitung

Der Zweck dieses Vorschlags ist, einerseits die Fragen, die vom PK sowie vom Physics III Committee gestellt wurden, zu beantworten und andererseits eine vereinfachte Version vorzuschlagen, die uns erlauben würde, im Frühjahr oder Sommer 1973 mit dem eigentlichen Experiment am SC zu beginnen.

Im weiteren werden wir uns auf den vorigen Vorschlag (1) stützen. Die wichtigsten Punkte seien kurz in Erinnerung gerufen:

Wir möchten die Asymmetrie in der π^+p Streuung an einem polarisierten Target im grösstmöglichen Winkelbereich messen. Ein Ereignis wird als gut bezeichnet, wenn die Zwangsbedingungen der Koinzidenz (Rückstossprotonen - gestreute Pionen), der Koplanarität (Einfallrichtung - Streurichtung - Rückstossrichtung) und der Kinematik (elastische πN -Streuung) erfüllt sind. Bei kleineren Streuwinkeln, bei denen das Rückstossproton weniger als 40 MeV erhält, wird der Nachweis der Protonen unzuverlässig, weil sie zum Teil im Target gestoppt werden.

2. Theoretische Grundlagen

Die π^+p -Streuung wird praktisch in der gesamten Region der tiefen und mittleren Energien von der $(3/2, 3/2)$ -Partialwelle dominiert. Wirkungsquerschnitte mit unpolarisiertem Target sind deshalb besonders auf diese Partial-

welle empfindlich. Will man genaueres über die andern Partialwellen wissen, drängen sich Experimente mit polarisiertem Target auf. In solchen Experimenten misst man Interferenzen zwischen der spin-flip- und der non-spin-flip-Amplitude. Dadurch wird die Empfindlichkeit des Experiments auf die kleinen Partialwellen wesentlich verschärft.

Diese kleinen Partialwellen (S31- und P31-Phasen) sind deshalb so interessant, weil sie im Rahmen einer Analyse der π -Nukleon Streuung mit Dispersionsrelationen mit bestimmten Reaktionsmechanismen verknüpft werden können. Um diese Mechanismen phänomenologisch studieren zu können, müssen diese "kleinen" Phasen bekannt sein. Aus einer solchen Analyse dürfte es möglich sein, Information über den 2π -Austausch und über die Wechselwirkung kurzer Reichweite zu erhalten.

Eine weitere Motivation solcher Experimente ist die Bestimmung der π N-Streulängen durch Extrapolation auf extrem niedrige Energie. In der Kernphysik mit Pionen werden diese Streulängen als Input-Parameter gebraucht.

In einem internen SIN-Bericht (2) wurden alle diese Fragen im Detail studiert. Insbesondere sind dort die Empfindlichkeiten der Streuphasen auf die experimentellen Fehler der Observablen $d\sigma/d\Omega$ und P angegeben. Bei guter Messgenauigkeit dieser Observablen erscheint nun in der Phasenanalyse eine Schwierigkeit, die nur durch simultane Messung der analogen Parameter in der π^-p -Streuung oder des Ladungsaustausches bewältigt werden kann. Es zeigt sich nämlich, dass uns eine präzise Separation des elektromagnetischen Anteils in den

Phasen von demjenigen der starken Wechselwirkung vor theoretische Probleme stellt. Ob für diesen Fall (π^- -p-Streuung) der empfindlichere R-Parameter (schwierigeres Experiment) oder die relativ kleine Polarisation (unempfindlicher) gemessen werden soll, ist weitgehend ein experimentelles Problem. Sicher wird indessen ein solches Experiment zur Klärung dieser Fragen beitragen können.

3. Vorgesehenes Experiment

Mit einer Genauigkeit von $\Delta P = \pm 0.04$ des Polarisationsparameters $P(\theta)$ können wir die Streuphasen S_{31} und P_{31} auf $\pm 1^\circ$ bestimmen.

Wir werden mit einem vereinfachten Experiment beginnen:

- Es wird nicht mehr bei mehreren π -Streuwinkeln gleichzeitig gemessen. Ein Hodoskop beobachtet das Gebiet, in dem man den elastischen Peak der Rückstoss-Protonen erwartet.
- Beschränkung auf wenige Einfallenergien. Zum Test des Targets haben wir eine Energie gewählt (246 MeV), bei der schon einmal gemessen worden ist, allerdings mit grossem Fehler (3). Wir möchten noch in der Nähe der (3,3)-Resonanz messen, wo keine Daten vorliegen.
- Konventionelle Elektronik.

Ausserdem sollen die supraleitenden Spulen kleiner sein, damit die Ablenkung im Feld nicht allzu gross ist.

4. π^+p oder π^-p ?

Folgende Tatsachen sprechen für eine Untersuchung der π^-p -Streuung:

- Die Phasen S31, P31, P33 wurden von Bugg et al. aus einer Messung des differentiellen Wirkungsquerschnittes der elastischen π^+p -Streuung bestimmt (4). Die Autoren geben einen Fehler von 0,2 % für diese Phasen an (5).
- Die Phasen S11, P11, P13 treten in der π^-p -Streuung auf, in der π^+p -Streuung hingegen nicht.
- Die (π^-p)-Messungen von Bugg et al. sind wegen der schwachen π^- -Intensität und des Untergrunds (Ladungsaustausch) weniger genau. Eine Überprüfung mit polarisiertem Target wäre deshalb wünschenswert (5).
- Die Coulombphasen treten in π^+p und π^-p mit umgekehrtem Vorzeichen auf. Eine Messung beider Streuungen erlaubt ihre Trennung von den starken Phasen.

Hingegen scheint es uns, dass

- eine Überprüfung auch der π^+p -Daten von Bugg et al. mit polarisiertem Target wertvoll ist,
- sich das einfachere (π^+p)-Experiment als Testversuch besser eignet.

Wir schlagen vor, zuerst das (π^+p)-Experiment durchzuführen.

5. Wahl der Einfallsenergie

Bei 246 MeV wurde schon von Chamberlain et al. (3) gemessen. Der Winkelbereich von Ref. (3) ist ziemlich gross (von 69° bis 147° im Schwerpunktsystem, Fig. 1).

- Bei 195 MeV befindet man sich auf der (3,3)-Resonanz. Diese Energie ist günstig, weil hier π -Produktion und Streuquerschnitte gross sind.
- Weil die einzige für dieses niederenergetische Gebiet geeignete und existierende Phasenanalyse von Roper et al. (6) ziemlich kritisiert wird, ist es zweckmässig, innerhalb des von Roper et al. betrachteten Energiebereichs [von 5 bis 310 MeV (7)] zu messen.

6. Verbesserungen gegenüber früheren Experimenten

Das Target von Chamberlain et al. ist 1 Kubik-Zoll gross, unseres nur 1 cm^3 . Die Energieschwelle der Rückstossprotonen (Protonen teilweise im Target gestoppt) beträgt für uns 40 MeV, bei Chamberlain et al. ca. 100 MeV. Wir werden deshalb für einen Streuwinkel bis etwa 65° im Schwerpunktsystem (siehe Paragraph 8) hinunter messen können [108° für Chamberlain et al.; zwischen 69° und 108° massen Chamberlain et al. mit einem π -Reichweiten-Teleskop ohne Nachweis des Rückstossprotons (grössere Messfehler)].

- In Fig. 1 und 2 sind die Messresultate von Chamberlain et al. aufgetragen. Der Fehler beträgt $\Delta P = \pm 0.15$ am Maximum.

Die strichpunktierte Kurve $P(\theta)$ wurde von einem Fit aus anderen Messungen bei höheren Energien extrapoliert. In der gleichen Fig. 2 wird zum Vergleich die aus der Phasenanalyse von Roper et al. berechnete Polarisation dargestellt. Die Abweichung zwischen den beiden Kurven am Maximum ist 20 %. Um das Ergebnis von Chamberlain et al. zu erhalten, müsste man die Roper-Phasen S_{31} und P_{31} um 3° vergrössern, das heisst S_{31} um 15 % und P_{31} um 50 %. Wir erstreben $\Delta P = \pm 0.04$, damit wir die Phasen auf $\pm 1^\circ$ bestimmen können, wie es aus der gleichen Figur ersichtlich ist.

- Die Targetpolarisation war im Experiment (3) mit einem Fehler von 15 % behaftet. Der Beitrag dieses Fehlers zum Fehler des Polarisationsparameters ist $\Delta P = \pm 0.05$ am Maximum. Der grösste Beitrag zum Fehler ist also in diesem Experiment statistischer Herkunft.

Die Ergebnisse wurden mit einer Targetpolarisation von 22 % (70 % für Butanol) in einem LMN Kristall erzielt, der ein Verhältnis von gebundenen zu freien Protonen von 15 hatte (3 für Butanol). Die Anzahl der polarisierten Protonen und die experimentellen Raumwinkel waren bei Chamberlain et al. grösser als bei uns. Eine bessere Statistik bei gleicher Messzeit erhalten wir wegen der höheren Strahlintensität und wegen des günstigeren Verhältnisses Peak/Untergrund im Protonen-Hodoskop. (Dieser Untergrund rührt von den gebundenen Targetprotonen her).

7. Experimentelle Anordnung (Fig. 3)

7.1. Der Pionen-Strahl

Der π^{\pm} -Strahl vor dem Target soll durch ein Szintillationszähler-Teleskop definiert werden. Die zugelassenen Pionenbahnen müssen folgenden zwei Bedingungen genügen:

- (1) Die Bahn soll das Target der Grösse 1 cm x 1 cm x 1 cm treffen.
- (2) Die Richtungsabweichung von der zentralen Bahn soll kleiner als 50 mrad sein, damit die Streuwinkel genau genug definiert sind.

Wegen der Ausdehnung des Kryostaten soll sich der letzte Teleskopzähler 10 cm vor dem Target befinden. (Ein ringförmiger Antizähler im Innern des Target-Kryostaten würde den Streuwinkel-Bereich verkleinern und ist deshalb nicht vorgesehen.) Der erste Teleskopzähler soll nach dem letzten Quadrupolmagnet des Strahlführungssystems, 1 bis 2 Meter vor dem Target, aufgestellt sein.

Bedingungen (1) und (2) können im Prinzip durch zwei Teleskopzähler erfüllt werden. (In der Praxis werden vier oder fünf Zähler, teilweise Szintillatoren mit einem Loch in Antikoinzidenz, Verwendung finden).

Die Situation mit zwei Teleskopzählern ist in Fig. 4 dargestellt, der zugelassene Phasenraum am Ort des 1. Zählers in Fig. 5. Der Phasenraum in der x-Ebene (schraffierte Fläche in Fig. 5) beträgt

$$PS = \frac{4 x_1 x_2}{z_1 - z_2} \quad (1)$$

Wenn man die maximale Divergenz x_T' , die halbe Targetgrösse x_T , sowie die Distanzen z_1 und z_2 vorgibt, erhält man die Zählergrössen

$$x_1 = z_1 \cdot x_T' - x_T \quad (2)$$

$$x_2 = -z_2 x_T' + x_T$$

und den Phasenraum

$$PS = \frac{4(z_1 x_T' - x_T)(x_T - z_2 x_T')}{z_1 - z_2} \quad (3)$$

Aus der Targetgeometrie ergibt sich $x_T = 0.5 \text{ cm}$; $z_2 = 10 \text{ cm}$.

Die Wahl von x_T' und z_1 richtet sich nach folgenden zwei Kriterien:

- (a) PS möglichst gross (kurze Messzeiten)
- (b) $x_T' < 50 \text{ mrad}$ (Streuwinkel genau genug)

Bedingung (a) ergibt $z_1 = \infty$ (da $x_T/x_T' > z_2$; siehe Fig. 4)

90 % des optimalen Phasenraums erhält man laut Gleichung (3) bei

$$z_1 = \frac{(x_T/x_T') - \eta z_2}{1 - \eta} ; \quad \eta = 0.9. \quad (4)$$

Der Optimalwert von x_T' für maximalen Phasenraum ist nach Gl. (3)

$$x_T' = \frac{x_T}{2} \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right). \quad (5)$$

Da $z_1 \gg z_2$, erhält man aus Gl. (5):

$$\underline{x'_T} \approx \frac{x_T}{2z_2} = \underline{25 \text{ mrad}}$$

Dies ist mit der obigen Bedingung (b) verträglich. Gl. (4) ergibt nun $z_1 = 110 \text{ cm}$.

Es ergeben sich somit folgende Werte (siehe Fig. 4):

$$\begin{aligned} z_1 &= 110 \text{ cm} \\ z_2 &= 10 \text{ cm} \\ x_1 &= 2.25 \text{ cm} \\ x_2 &= 0.25 \text{ cm} \\ x_T &= 0.5 \text{ cm} \\ x'_T &= 25 \text{ mrad} \end{aligned}$$

$$PS = 22.5 \text{ cm} \times \text{mrad.}$$

In der y-Ebene gelten analoge Überlegungen. Wir sehen kreisförmige Teleskopzähler (bzw. Löcher) vor, deren Radien sicherheitshalber etwas unter den berechneten Werten 2.25 cm und 0.25 cm liegen werden.

Anstelle des Butanoltargets kann ein gleich grosser Szintillator im Target-Magnetfeld angebracht werden. So kann man kontrollieren, ob alle zugelassenen Pionen das Targetvolumen treffen.

Um Überlastung der Teleskopzähler zu vermeiden, soll nach dem letzten Quadrupol-Magnet der Strahl durch einen Kollimator begrenzt werden.

Pionenflüsse

Die Akzeptanz des SIN-Strahls $\pi M1$ ist in Fig. 6 in Funktion des Pionen-Impulses dargestellt. $\pi M3$ wird eine ähnliche Akzeptanz haben.

Die Kurve von Fig. 6 wurde mit dem Computer-Programm IPSO FACTO berechnet. Der akzeptierte Phasenraum am Strahlanfang wurde durch die Fläche des Produktions-targets quer zum π -Strahl (0.2 cm x 0.6 cm) dividiert; dies ergab den "effektiven" Akzeptanz-Raumwinkel $\Delta\Omega_{\text{eff}}$. Es wurden nur diejenigen Pionenbahnen akzeptiert, welche die oben beschriebenen Teleskopzähler von 2.25 cm und 0.25 cm Radius treffen.

Wegen der chromatischen Aberrationen ist das zugelassene Impulsband sehr schmal. Es kann durch strahlenoptische Verbesserungen noch etwas verbreitert werden.

Das untersuchte System hat eine effektive Akzeptanz von

$$2.5 \text{ msr} \times (\%).$$

Dies ergibt bei einem Primärprotonenstrahl von 100 μA und einem Be-Produktionstarget von 1 g/cm^2 Dicke (in Primärstrahlrichtung) folgende Pionenraten im Teleskop ($p_{\pi} \approx 300 \text{ MeV}/c$):

$$\begin{aligned} \pi^+ &: 3 \times 10^6 \text{ sec}^{-1} \\ \pi^- &: 3 \times 10^5 \text{ sec}^{-1} \end{aligned}$$

Die Raten beim CERN-SC sind etwa zwei Grössenordnungen kleiner; beim verbesserten SC (SCIP) beträgt der Unterschied eine Grössenordnung.

7.2. π -Detektor

Der π -Detektor ist ein Teleskop mit einem Absorber. Dieser kann verwendet werden, um die Proton-Kontamination im π -Zähler zu untersuchen (Wir werden Einzel- und Koinzidenzzählraten registrieren.).

Der Abstand des π -Zählers vom Target wird 50 cm betragen.

Nach Fig. 2 reicht eine Winkelauflösung von $\pm 5^\circ$ aus, wenn der Fehler $\Delta P \pm 0.04$ sein soll. Diese Winkelunsicherheit setzt sich zusammen aus:

- der endlichen Ausdehnung des Targets ($\max \pm 1^\circ$)
- der Vielfachstreuung der Pionen ($\max \pm 1^\circ$)
- der Strahldivergenz ($\pm 1.4^\circ$)
- der Unsicherheit in der Ablenkung im Magnetfeld wegen der Impulsbreite des Strahles. Dieser Effekt ist vernachlässigbar.
- der endlichen Ausdehnung des π -Zählers. Wenn als maximale Gesamtwinkelunsicherheit $\pm 5^\circ$ vorausgesetzt wird, muss dieser Beitrag kleiner als $\pm 4.6^\circ$ sein.

Diese Bedingung wird durch einen π -Zähler der Grösse 5 cm x 5 cm erfüllt.

7.3. p-Detektor (Hodoskop)

Der Abstand des p-Detektors vom Target soll ebenfalls 50 cm betragen. Die Breite des elastischen Protonenpeaks wird bestimmt durch:

- die endliche Ausdehnung des Targets ($\max \pm 1^\circ$)
- die Vielfachstreuung der Protonen ($\max \pm 1.4^\circ$, bei $T_p = 40 \text{ MeV}$)
- die π -Strahldivergenz ($\pm 1.4^\circ$)
- den unterschiedlichen Energieverlust der Protonen im Target, die aus verschiedenen Reaktionspunkten stammen (siehe Paragraph 8). Dieser Effekt gibt Anlass zu verschiedenen Ablenkungen im Magnetfeld. Diese Winkelunsicherheit beträgt maximal $\pm 2.5^\circ$, wenn die Protonenenergie grösser als 50 MeV ist.
- die Grösse des π -Zählers ($\pm 1.6^\circ$ in der Horizontalebene). Der Protonen-Peak ist also maximal $\pm 3.7^\circ$ breit (Fig. 7).

Um den Untergrund subtrahieren zu können, müssen wir ein Gebiet von etwa 30° beobachten. Wir wollen 4 Punkte innerhalb und 4 Punkte ausserhalb vom Peak messen. Dafür brauchen wir 8 Zähler, je 3 cm breit.

Trifft ein π den π -Detektor, so muss das zugehörige Proton das Hodoskop mit genügend grosser Wahrscheinlichkeit treffen. Die Höhe des Hodoskopes wird zunächst durch eine rein geometrische Betrachtung festgelegt (Fig. 8). Dazu haben wir noch beidseits zwei Standardabweichungen der Vielfachstreuungswinkelverteilung addiert. Die Hodoskop-Zähler sind dann 12 cm hoch.

Mit Hilfe eines Absorbers, der die Protonen stoppt, und eines dahinter angebrachten Zählers in Antikoinzidenz werden wir die π -Kontamination unterdrücken (siehe Fig. 3).

7.4. Target und Magnet

Das polarisierte Target wird aus folgenden Komponenten bestehen:

- 1) Ein Paar von supraleitenden Spulen für ein Magnetfeld von 25 kG,
- 2) Ein ^3He -Kryostat, der erlaubt, das Butanol-Target über längere Zeit (\sim Wochen) auf 0.5°K zu halten,
- 3) Ein Klystron, das die Protonen dynamisch polarisiert (Arbeitsfrequenz 70 GHz),
- 4) Ein NMR-System, mit dem die Polarisation gemessen wird.

Als Targetmaterial wird 1-Butanol mit Porphyrexid als freies Radikal benutzt. Die Erfahrung zeigt, dass eine Protonenpolarisation von 70 % erreicht wird. Ein Vorteil der Methode der dynamischen Polarisation besteht darin, dass die Polarisation in relativ kurzer Zeit umgekehrt werden kann, ohne das Magnetfeld zu ändern.

In der untenstehenden Tabelle sind einige Daten von 1-Butanol zusammengestellt:

Polarisation	$70\% \pm 3.5\%$ (bei 0.5°K und 25 kG)
Dichte	0.9 g/cm^3
Wasserstoffdichte	0.12 g/cm^3

gebundene Protonen
freie Protonen = 3.2

Polarisationszeit 10 Minuten

Für dieses spezielle Experiment, das ein Target von nur 1 cm^3 erfordert, haben wir uns entschlossen, ein Paar von supraleitenden Spulen (Helmholtz-Typ) als Magnet zu benutzen. Der Durchmesser der Spulen wurde klein gehalten, um Ablenkungen der Teilchen auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Fig. 9 zeigt die geometrische Anordnung des Targetkryostaten und desjenigen der Spulen. Es muss vor allem darauf geachtet werden, die Wände, die das Target umgeben, so dünn wie möglich zu halten. Es werden deshalb spezielle Fenster eingebaut.

7.5. Elektronik (Fig. 10)

8. Streuwinkel-Bereich

Der Verlauf der axialen Komponente des Magnetfeldes in der mittleren Ebene ist in Fig. 11 dargestellt. Dieses Feld kann in guter Näherung durch ein homogenes Feld von 25 kG und 6.3 cm radialer Ausdehnung ersetzt werden. Die Ablenkung beider Teilchen sind aus Fig. 12 ersichtlich. Protonen mit weniger als 40 MeV Energie wurden in Fig. 12 nicht berücksichtigt, da wir auf deren Nachweis verzichten wollen (zu grosser Energieverlust im Target). Fig. 13 und 14 geben die experimentelle Situation an für 195 MeV und 246 MeV. Die entsprechenden π^- - und p-Trajektorien sind numeriert und in folgender Tabelle zusammengefasst:

	Rückstoss- winkel im Labor	Streuwinkel im Labor	Kinetische Energie des Rückstoss- protons (MeV)	Kinetische Energie des gestreuten π^- 's (MeV)	Asymptotische Richtung	
					p	π^-
195 MeV						
1	76°	20°	5	189	102°	11°
2	64°	40°	21	174	78°	30°
3	52°	60°	42	153	62°	49°
4	41°	80°	63	132	49°	68°
5	31°	100°	81	114	38°	87°
6	23°	120°	96	99	29°	106°
7	15°	140°	106	89	21°	125°
8	7°	160°	112	83	13°	144°
246 MeV						
1	76°	20°	8	238	100°	11°
2	63°	40°	29	216	76°	31°
3	51°	60°	57	189	60°	51°
4	40°	80°	85	161	47°	70°
5	30°	100°	109	137	36°	87°
6	22°	120°	127	119	28°	106°
7	14°	140°	140	106	20°	125°
8	7°	160°	147	99	12°	144°

Protonen, die an verschiedenen Stellen des Targets unter dem gleichen Winkel emittiert worden sind, werden verschieden abgelenkt (Energieverlust im Target) (Fig. 15).

Die schraffierten Flächen in Fig. 13 und 14 geben die entsprechenden Winkelunsicherheiten an. Die untere Grenze der messbaren π -Streuwinkel wird durch diesen Effekt festgelegt. Die obere Grenze wird durch die Ablenkung des π -Strahls bestimmt (siehe Fig. 13 und 14!): Der messbare Streuwinkelbereich erstreckt sich also für

246 MeV, von 40° (Strahl Nr. 2-3) bis 145° (Strahl Nr. 8) im Labor
195 MeV, von 60° (Strahl Nr. 3-4) bis 145° (Strahl Nr. 8) im Labor

oder für

246 MeV, von 65° bis 165° im Schwerpunktsystem 195 MeV, von 85° bis 165° im Schwerpunktsystem
--

9. Messgenauigkeit

Das Problem des Untergrundes wurde im vorigen Proposal behandelt (1).

9.1. Systematische Fehler

Die Ursachen der systematischen Fehler liegen:

- in der Unsicherheit Δp_T der Polarisation des Targets:

$$\Delta P_T / P_T = \pm 0.05$$

- in der Unsicherheit der Primärenergie. Fig. 16 gibt den Polarisationsparameter als Funktion der Energie für verschiedene Winkel an (nach Roper). Die maximale Steigung beträgt $1.4 \times 10^{-3} \text{ MeV}^{-1}$. Um einen Polarisationsfehler $\Delta P_E = \pm 0.02$ (absolut) zu erreichen, muss der Impuls der einfallenden π 's mit einer Genauigkeit von $\pm 3.5 \%$ gemessen werden; diese Messgenauigkeit lässt sich durch Magnetfeldmessungen in den Ablenkmagneten des Strahlführungssystems erreichen.

Der systematische Fehler von $P(\theta)$ ist dann:

$$\Delta P = \pm \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta P_E^2} = \pm 0.04 ,$$

was uns ermöglicht, die Phasen auf $\pm 1^\circ$ zu bestimmen.

9.2. Statistischer Fehler und Messzeit

Die Rate R von Ereignissen, bei denen ein Pion an einem freien Target-Proton elastisch gestreut wird und den π -Zähler trifft, berechnet sich wie folgt:

$$R = \frac{d\sigma}{d\Omega} \times \frac{N_p}{F} \times R_\pi \times \Delta\Omega \quad (6)$$

Hierin bedeuten:

$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ differentieller Wirkungsquerschnitt. Minimalwerte ca. 2.5 mb/sr für π^+ , 0.5 mb/sr für π^- . (Siehe Fig. 17)

N_p Anzahl der freien Protonen im Butanol-Target (1 cm³; Füllfaktor 0.7): 5×10^{22}

F Fläche des Targets quer zum π -Strahl: 1 cm²

N_π Pionen-Rate: $3 \times 10^6 \text{ sec}^{-1}$ für π^+ , $3 \times 10^5 \text{ sec}^{-1}$ für π^- .

$\Delta\Omega$ Raumwinkel des π -Zählers: 10 msr.

Gleichung (6) ergibt folgende Minimal-Zählraten (am SIN):

$$R > 4 \text{ sec}^{-1} \text{ für } \pi^+ \\ > 0.1 \text{ sec}^{-1} \text{ für } \pi^-$$

Um eine genügende statistische Genauigkeit zu erreichen, braucht man bei jeder Kombination von Energie, Streuwinkel und Target-Polarisations-Richtung etwa 500 Ereignisse.

Am SIN erhält man somit folgende maximale Messzeit T pro "Kombination":

$$T \lesssim 2 \text{ min. für } \pi^+ \\ \lesssim 100 \text{ min. für } \pi^-$$

Dazu kommen noch Untergrund-Messungen an einem "Dummy"-Target ohne freie Protonen.

Am verbesserten SC betragen die entsprechenden Maximal-Messzeiten somit etwa 20 min (π^+) und 16 h (π^-), am jetzigen SC 3 h (π^+) und 160 h (π^-). Am jetzigen SC kommt also nur das π^+ -Experiment in Frage.

Kostenabschätzung (ohne polarisiertes Target):

Die Elektronikgeräte werden alle vom SIN-Pool ausgeliehen.

Am SIN entwickelte Geräte:

4	4-fach AND	6'000.--
2	Doppelt 2-fach AND/OR	3'000.--
3	Doppelter Diskriminator	4'500.--
2	4-fach OR	3'000.--
4	4-Kanal Shaper	6'000.--
1	Quartzuhr	500.--
1	Teletype Controller	4'000.--
2	Nixie Scaler	2'000.--
22	PM Base	4'400.--
1	Fan out	250.--
1	Parameter Unit	500.--

Gekaufte Geräte:

1	Preset Scaler	2'000.--
1	CAMAC Crate	7'500.--
1	Termination Unit	1'000.--
4	100 MHz CAMAC Scaler	8'000.--
1	Teletype	8'000.--
4	Powered NIM-BIN	12'000.--
2	Unpowered NIM-BIN	1'000.--
4	Hochspannungs-Netzgerät	14'000.--
4	Hochspannungs-Verteiler	10'000.--
22	56 AVP PM	22'000.--
25	Delay Box SEN	12'500.--
		<hr/>
		132'150.--

Hodoskop, Szintillationsmaterial,
mech. Stützen (am SIN entwickelt)
und Reservematerial ~ 10'000.--

Wir möchten Jean-Claude Olivier für seine Mitarbeit an der Vorbereitung dieses Proposals danken.

Literatur:

- (1) C. Amsler et al., PK-HE-71-10, Add. 1
- (2) W.E. Fischer, SIN interner Bericht, 1970
- (3) O. Chamberlain et al., Phys. Lett. 7 (283) 1963
- (4) D.V. Bugg, Rapport jaune, CERN 71-14, Seite 379
- (5) D.V. Bugg, private Mitteilung
- (6) L.D. Roper et al., Phys. Rev. 138 (921) 1965
- (7) Particle Data Group, πN Partial-Wave-Amplitudes, UCRL-20030 πN , 1970

195 MeV (≈ 304.073 MeV/c)

θ_{lab}^{π}	θ_{lab}^p	T_{lab}^{π}	T_{lab}^p	p_{lab}^{π}	p_{lab}^p	θ_{cm}	T_{cm}
0	90	195	0	304.07	0	0	130.17
10	83.23	193.51	1.49	302.43	52.90	13.15	
20	76.54	189.18	5.82	297.66	104.67	26.17	
30	70.00	182.38	12.62	290.13	154.40	38.94	
40	63.66	173.68	21.32	280.44	201.15	51.35	
50	57.58	163.71	31.29	269.26	244.33	63.33	
60	51.77	153.08	41.91	257.23	283.55	74.82	
70	46.26	142.37	52.62	244.97	318.61	85.80	
80	41.04	132.02	62.98	232.49	349.50	96.26	
90	36.09	122.36	72.64	221.65	376.28	106.21	
100	31.40	113.60	81.40	211.23	399.22	115.69	
110	26.95	105.86	89.14	201.88	418.59	124.73	
120	22.71	99.21	95.78	193.75	434.63	133.37	
130	18.65	93.66	101.54	186.86	447.70	141.67	
140	14.74	89.19	105.81	181.25	457.98	149.69	
150	10.95	85.76	109.24	176.90	465.75	157.47	
160	7.25	83.34	111.66	173.81	471.17	165.07	
170	3.61	81.90	113.10	171.96	474.37	172.57	
180	0	81.42	113.57	171.34	475.41	180.0	

246 MeV (≈ 359.428 MeV/c)

0	90	246.0	0	359.43	0	0	159.65
10	82.96	243.92	2.12	357.20	62.51	13.55	
20	76.02	237.89	8.11	350.71	123.63	26.95	
30	69.26	228.89	17.51	340.58	182.11	40.04	
40	62.76	216.56	29.44	327.65	236.98	52.72	
50	56.55	203.01	42.98	312.87	287.23	64.89	
60	50.68	188.76	57.24	297.19	332.70	76.50	
70	45.14	174.55	71.45	281.41	373.07	87.53	
80	39.92	160.96	85.04	266.16	408.42	97.98	
90	35.02	148.41	97.59	251.90	438.92	107.87	
100	30.41	137.15	108.85	238.95	464.87	117.25	
110	26.05	127.29	118.71	227.46	486.68	126.14	
120	21.92	118.88	127.12	217.53	504.68	134.62	
130	17.98	111.91	134.09	209.20	519.23	142.74	
140	14.19	106.31	139.69	202.43	530.70	150.55	
150	10.53	102.04	143.96	197.22	539.32	158.13	
160	6.97	99.04	146.96	193.54	545.32	165.52	
170	3.47	97.25	148.74	191.33	548.85	172.79	
180	0	96.66	149.33	190.59	550.02	180.0	

Kinematische Tabelle: θ_{lab} Winkel im Labor ($^{\circ}$)
 θ_{cm} Streuwinkel im Schwerpunktsystem ($^{\circ}$)
 p_{lab} Impuls im Labor (MeV/c)
 T_{lab} kinetische Energie im Labor (MeV)
 T_{cm} kinetische Energie des π im Schwer-

Verzeichnis der Abbildungen:

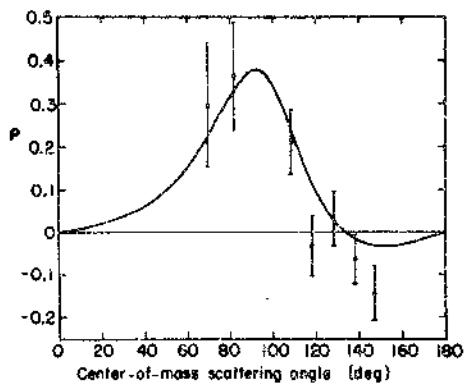
- Fig. 1 Polarisationsparameter als Funktion des π -Streu-
winkels; $T_{\pi}^{(in)} = 246$ MeV; Ref. (3).
- Fig. 2 Wie Fig. 1, aber mit weiteren theoretischen
Kurven (siehe Text).
- Fig. 3 Experimentelle Anordnung.
- Fig. 4 Prinzip-Skizze des π -Strahl-Teleskops.
- Fig. 5 Phasenraum am Ort des ersten Teleskop-Zählers.
- Fig. 6 Effektiver Akzeptanzraumwinkel des π -Strahls als
Funktion des π -Impulses.
- Fig. 7 Breite des Protonen-Peaks.
- Fig. 8 Höhe der Protonen-Zähler.
- Fig. 9 Anordnung der Kryostaten für Spule und Target.
- Fig. 10 Elektronik.
- Fig. 11 Axiale Komponente des Magnetfeldes als Funktion
des Radius.
- Fig. 12 Ablenkwinkel der Teilchen im Magnetfeld als Funktion
des Teilchenimpulses.
- Fig. 13 Teilchenbahnen bei $T_{\pi}^{(in)} = 195$ MeV.

Fig. 14 Teilchenbahnen bei $T_{\pi}^{(in)} = 246$ MeV.

Fig. 15 Bahnen von Protonen, die an verschiedenen Stellen des Targets unter dem gleichen Winkel emittiert worden sind.

Fig. 16 Polarisationsparameter als Funktion der Pionen-Energie, für verschiedene π -Streuwinkel.

Fig. 17 Differentieller Wirkungsquerschnitt $d\sigma/d\Omega$ bei $T_{\pi}^{(in)} = 246$ MeV; berechnet aus Roper-Phasen.



The parameter P in π^+p scattering at 246 MeV.

Fig. 1

246 MeV $\pi^+ p$

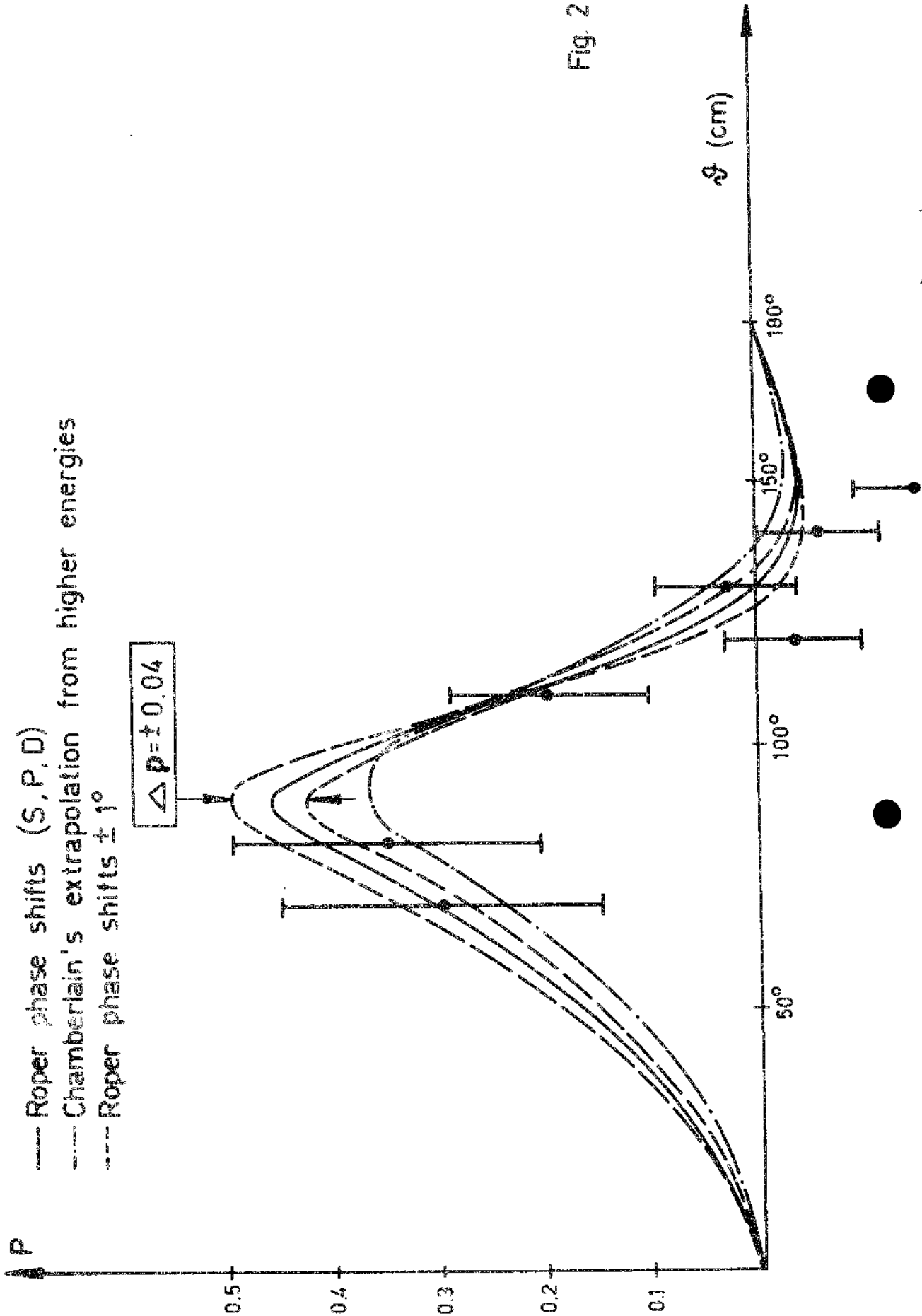


Fig. 2

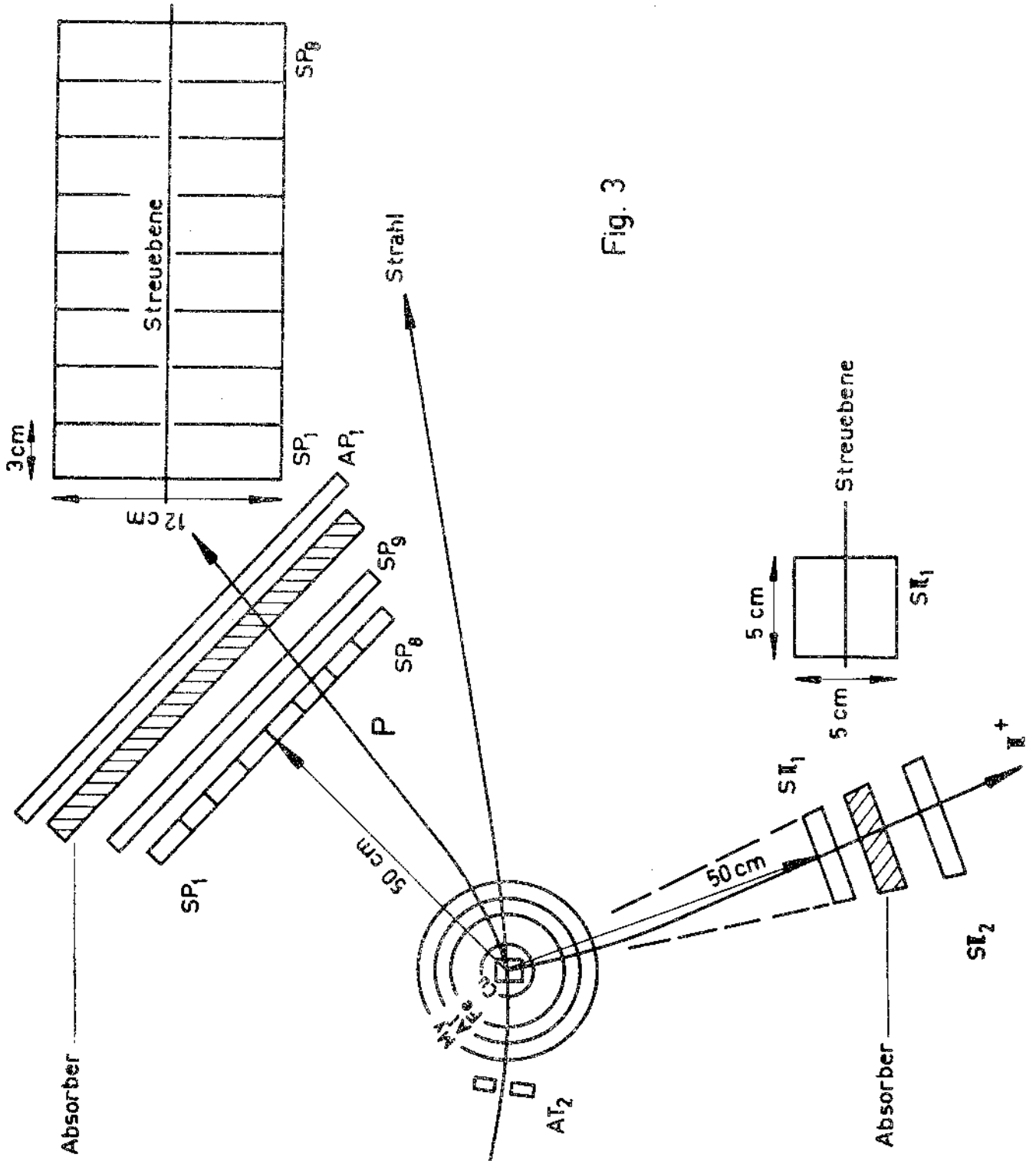


Fig. 3

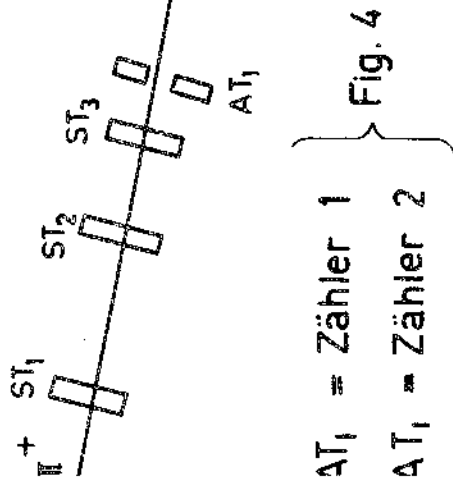


Fig. 4

AT₁ = Zähler 1
 AT₂ = Zähler 2

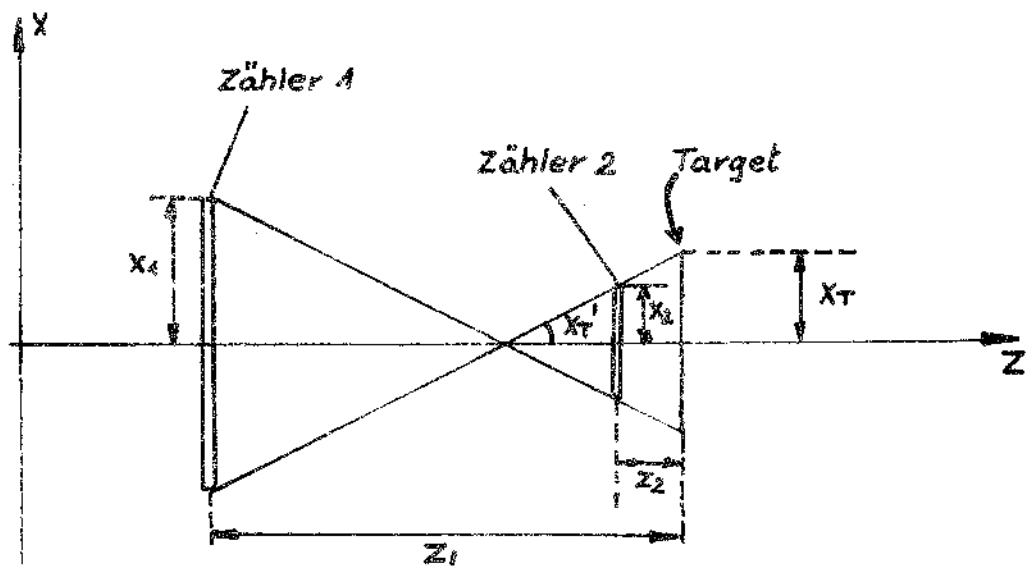


Fig. 4 Prinzip-skizze des π -Strahl-Teleskops

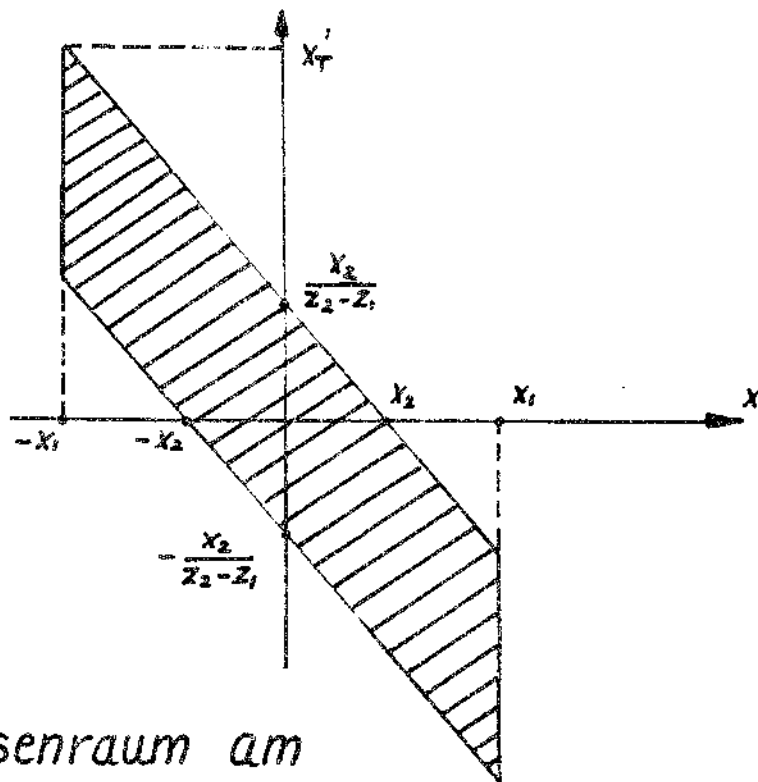


Fig. 5 Phasenraum am Ort des ersten Teleskop-Zählers.

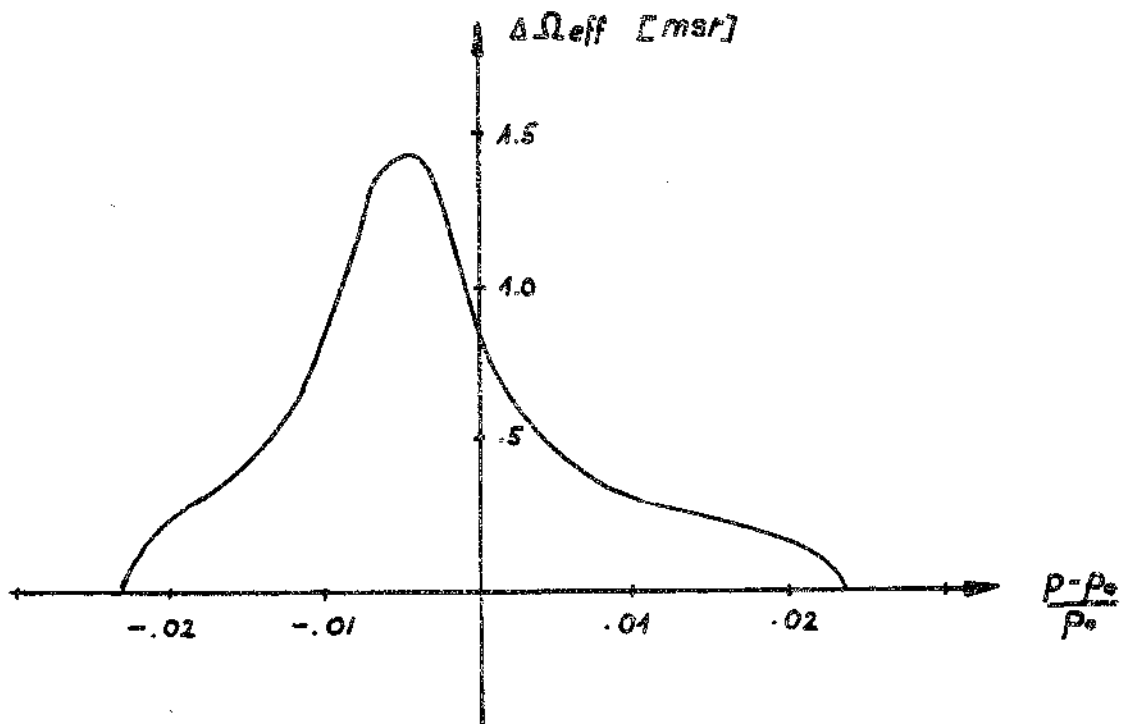


Fig. 6 Akzeptanz des Strahls πM_1

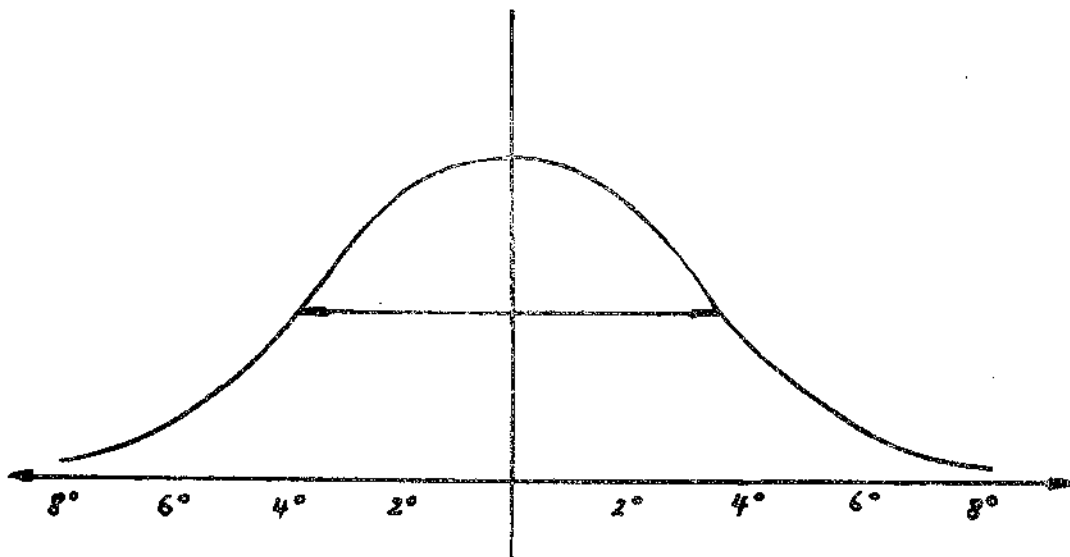


Fig. 7 Breite des Protonen-Peaks

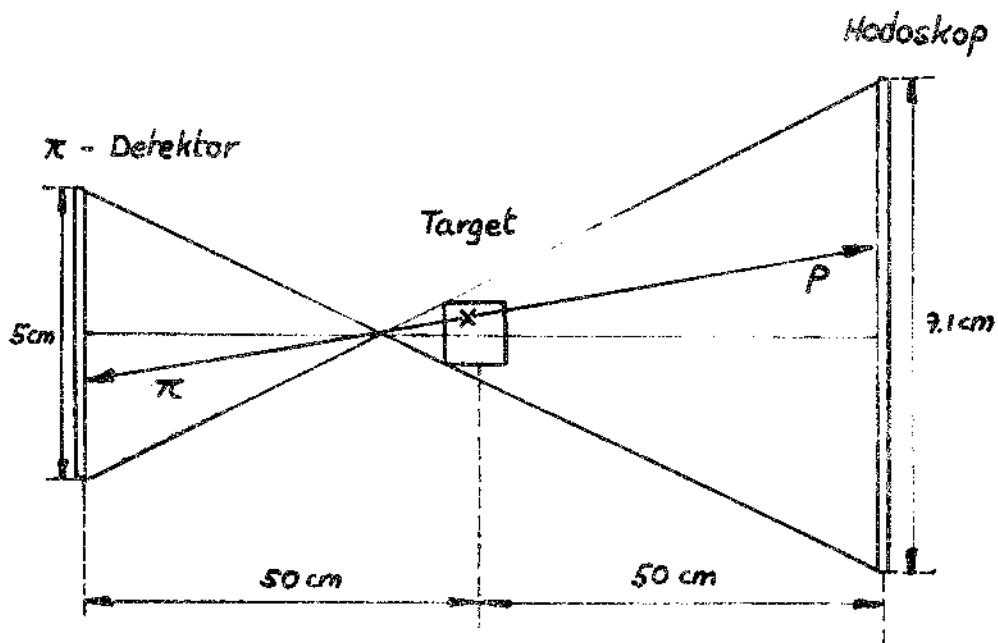
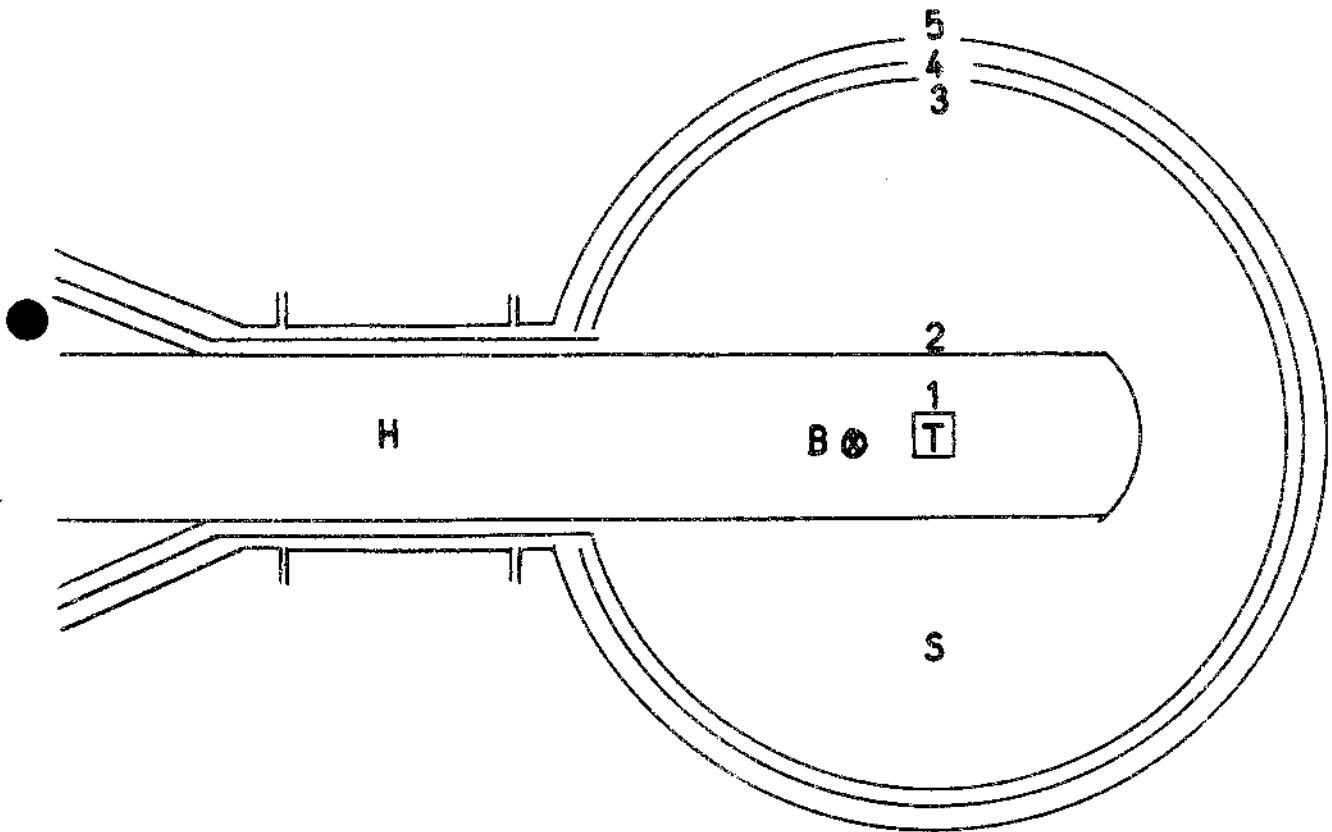


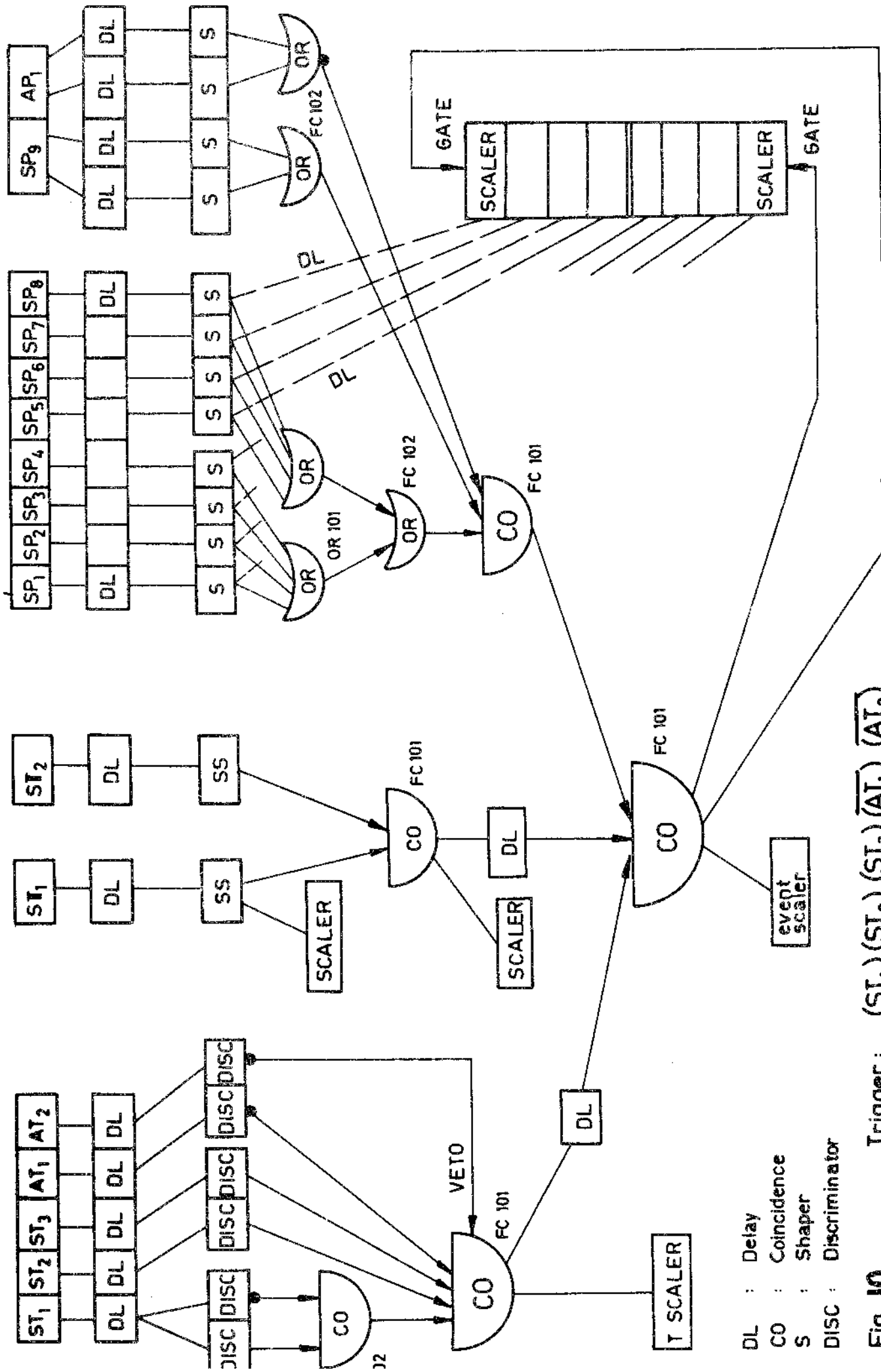
Fig. 8 Höhe der Protonen-Zähler

Fig. 9 Anordnung der Kryostaten für Spule und Target



LEGENDE

T	Target	
H	³ He - Kryostat	
S	Kryostat für Spule	
1	30 μ Kupfer	0,5° K
2	100 μ rostfreier Stahl	0,5° K
3	20 μ Aluminium	4° K
4	20 μ Aluminium	77° K
5	50 μ Mylar	300° K



Trigger: $(ST_1)(ST_2)(ST_3)(AT_1)(AT_2)$
 $(ST_1)(ST_2)(SP_1)(SP_9)(AP_1)$

Fig. 10

- DL : Delay
- CO : Coincidence
- S : Shaper
- DISC : Discriminator

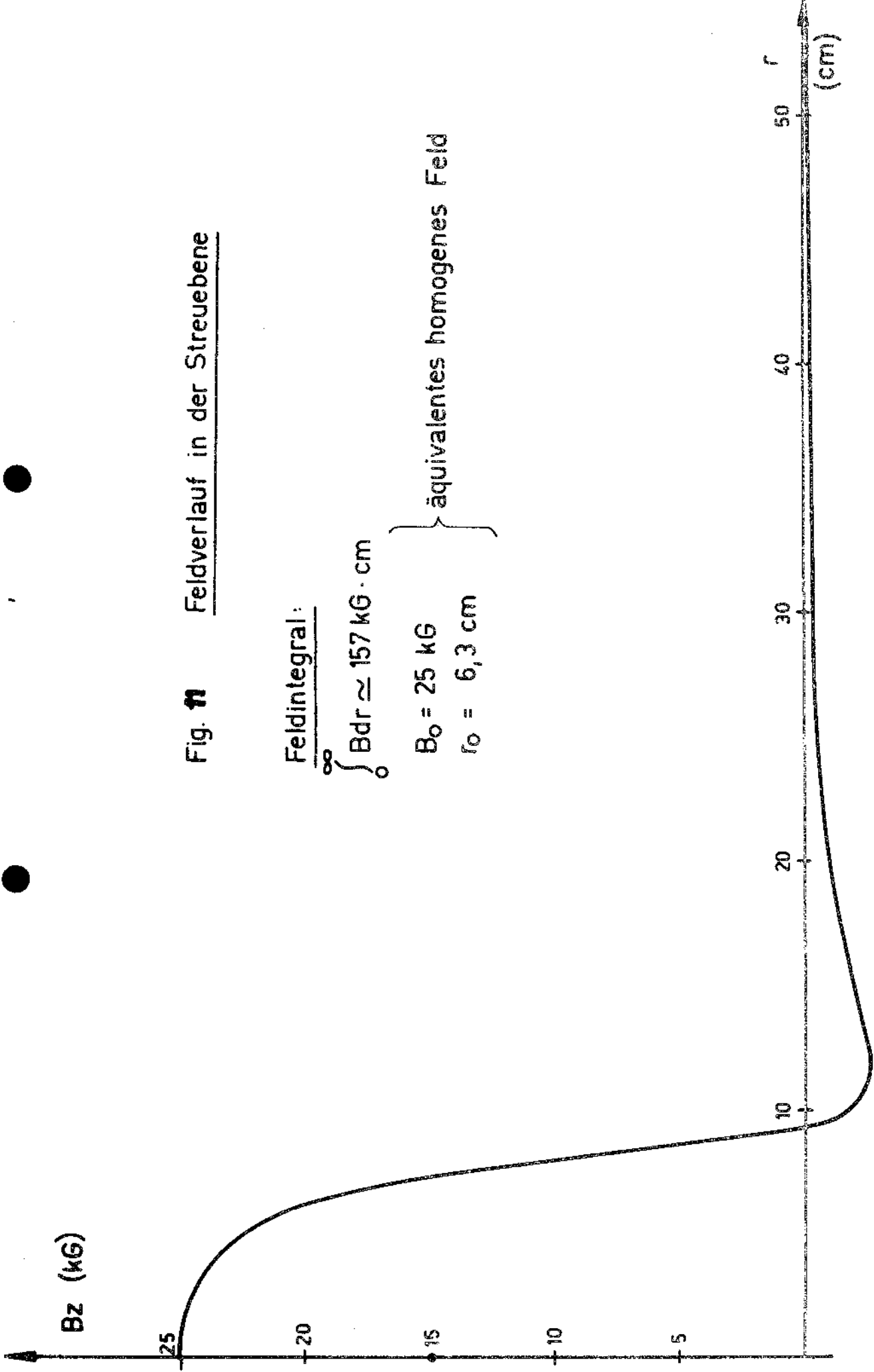


Fig. 11 Feldverlauf in der Streuebene

Feldintegral:

$$\int_0^{\infty} Bdr \approx 157 \text{ kG} \cdot \text{cm}$$

$$B_0 = 25 \text{ kG}$$

$$r_0 = 6,3 \text{ cm}$$

} äquivalentes homogenes Feld

χ (°)

Fig. 12

Ablenkung α im Magnetfeld

P : ~ von 5° bis 10° } bei 195 MeV
und 246 MeV.
 π : ~ von 7° bis 16° } Einfallsenergie
($T_p > 40$ MeV)

$T_p = 40$ MeV

(MeV/c)

P

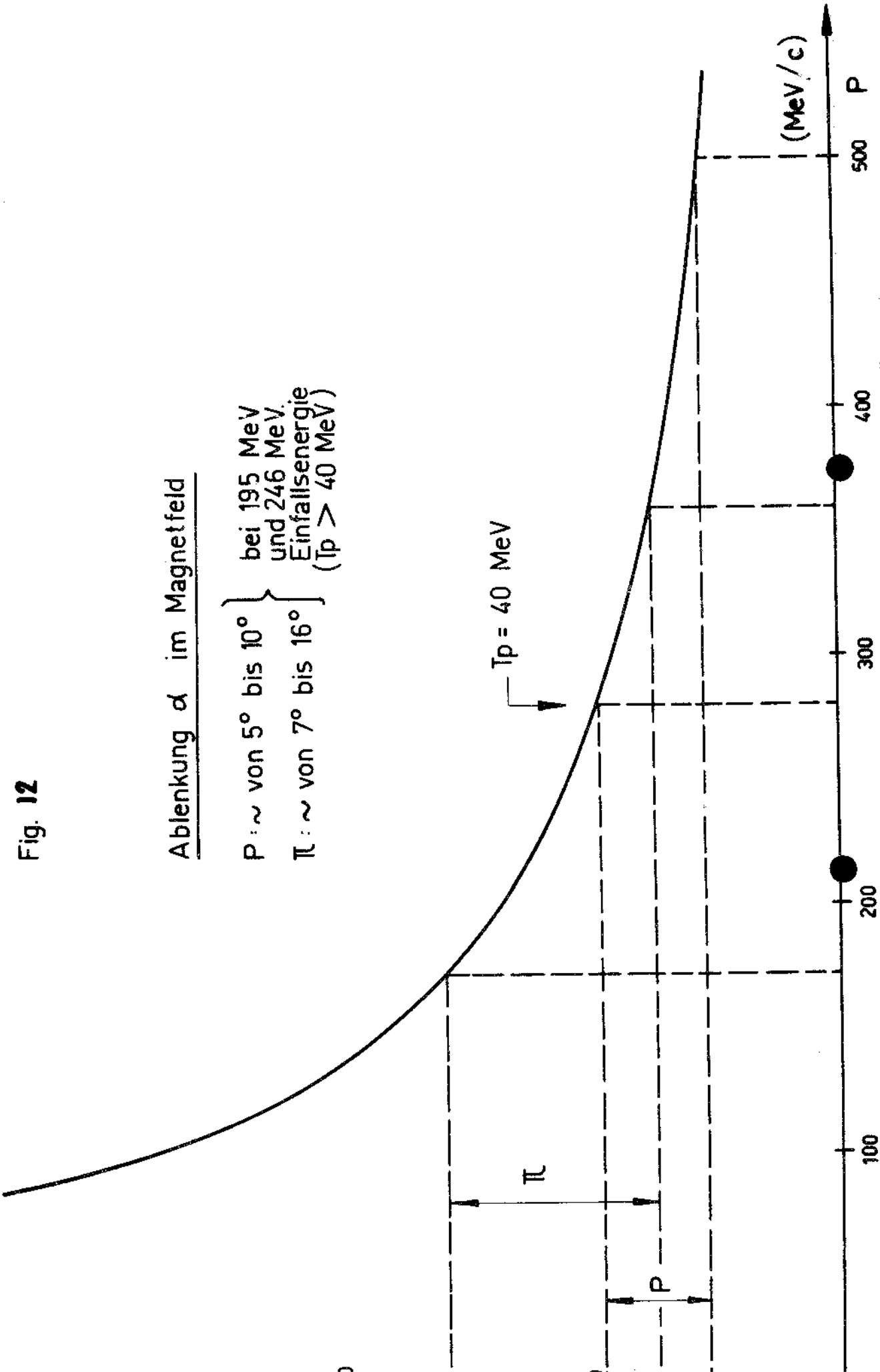
500

400

300

200

100



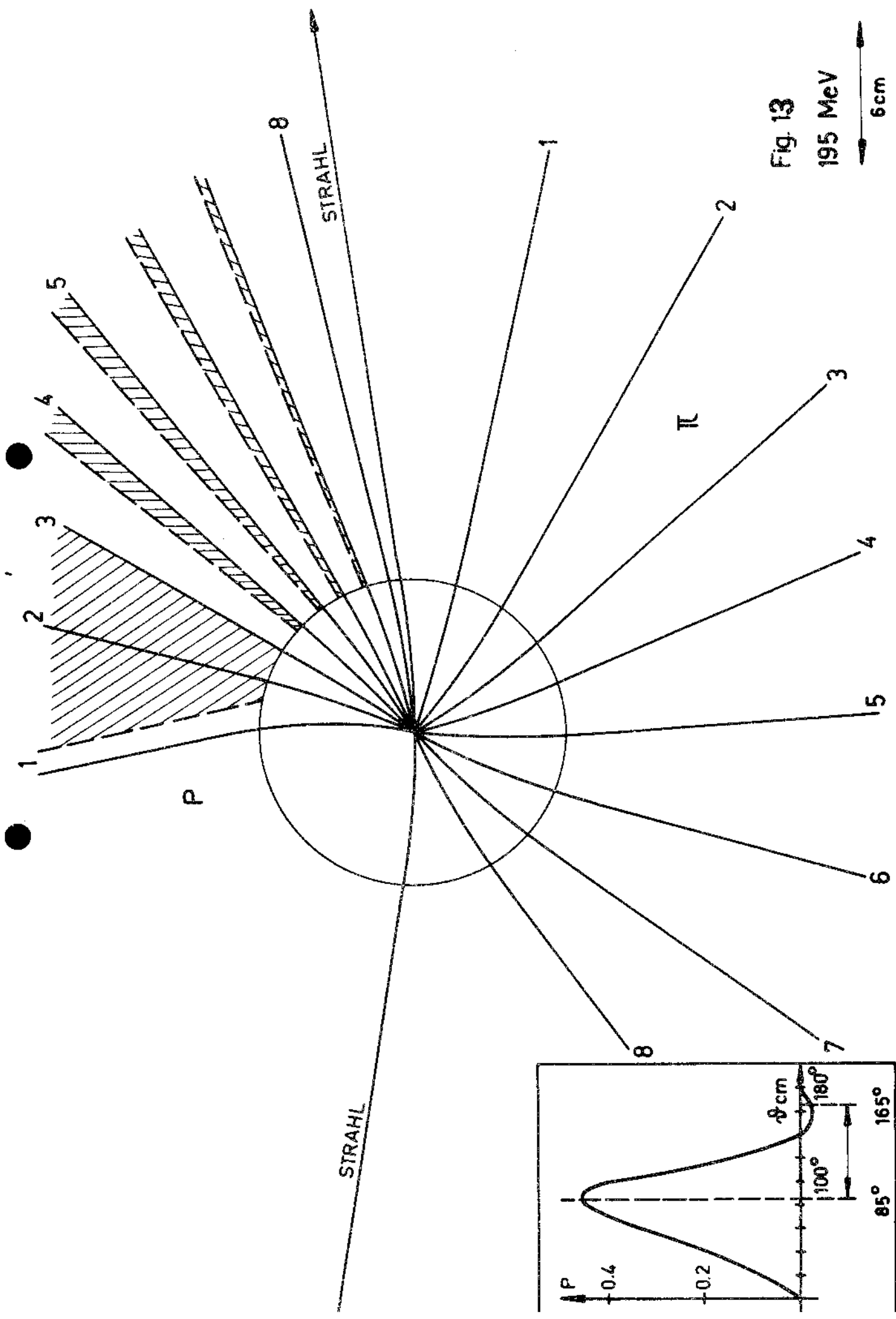
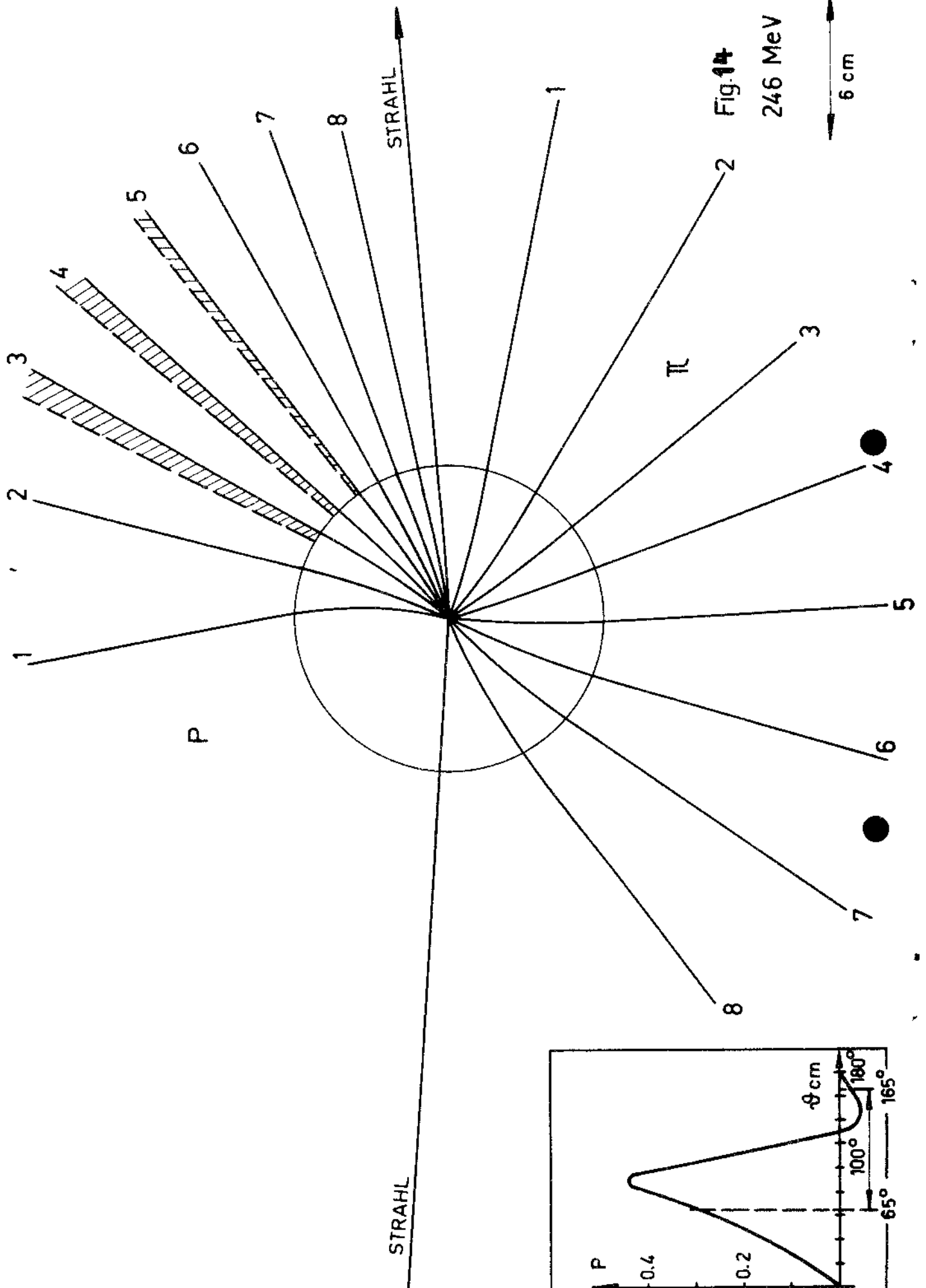


Fig. 13
195 MeV
6 cm



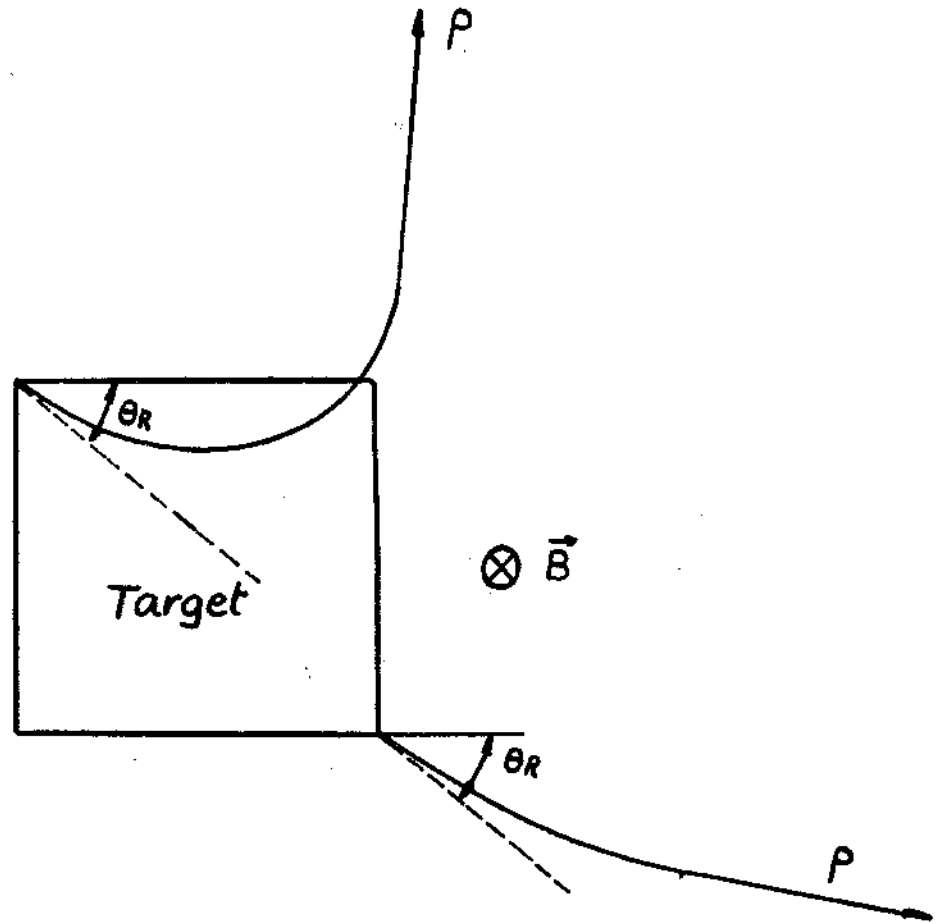


Fig. 15 Protonenbahnen

Fig. 16

Variation von $P(\vartheta)$ mit der Strahlenergie für verschiedene Schwerpunkswinkel

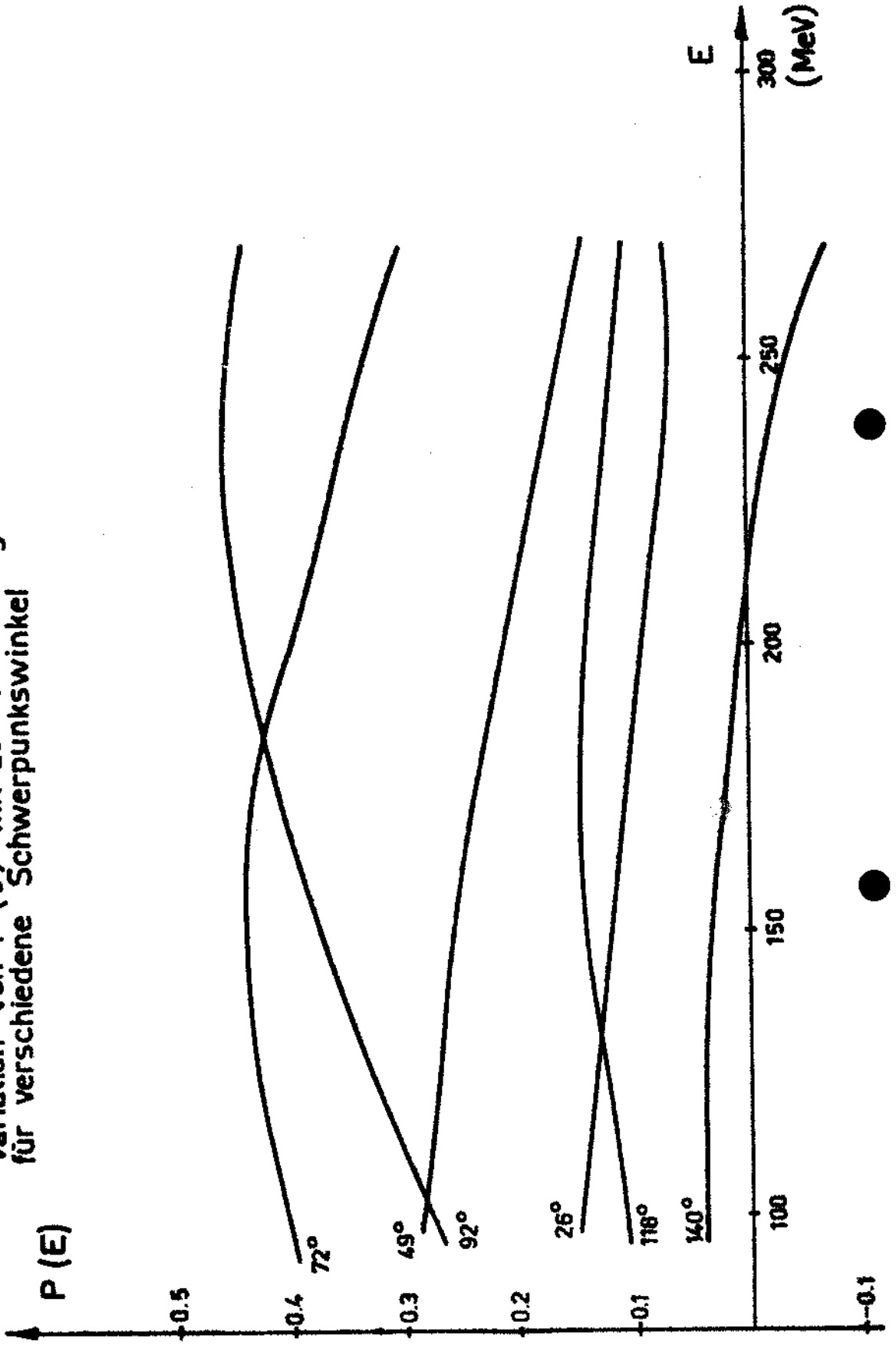


Fig. 17

Differentieller Wirkungsquerschnitt
bei 246 MeV (π^+p) (nach Roper)

