

Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse
vom 27. Juni 1969

Sonderabdruck aus dem Anzeiger der math.-naturw. Klasse der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1969, Nr. 9

(Seite 158 bis 165)

Das korr. Mitglied O. Hittmair übersendet eine kurze Mitteilung, und zwar:

„Über die Möglichkeit von Proton-Neutron Wechselwirkungen in den Cern Speicherringen.“ Von W. Bartl, M. Regler, M. Steuer, Institut für Hochenergiephysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien und K. Hübner, CERN, Genf.

Zusammenfassung.

Es wird die Möglichkeit betrachtet, Experimente zur Messung von Proton-Neutron Reaktionen mit den CERN-Speicherringen (ISR) durchzuführen. Von Interesse erscheint die Reaktion $p + d \rightarrow p + n_d + p_d$, wobei entweder p_d oder n_d das „spectator“-Nukleon ist. Die Verwendung eines auf der Deuteronsenseite strahlabwärts der Wechselwirkungsregion gelegenen Analysiermagneten erlaubt es, beide Nukleonen des Deuterons bis zu kleinster Impulsübertragung festzustellen. Probleme der Beschleunigung und Speicherung von Deuteronen werden diskutiert.

I. Theoretische Gesichtspunkte.

Es ist von Bedeutung, Aussagen über die Isospinabhängigkeit der elastischen Nukleon-Nukleon Streuung bei hohen Energien, wie sie mit Protonen-Speicherringen erzielt werden können, zu erhalten. Um Proton-Neutron Reaktionen zu bekommen, füllt man einen der beiden Speicherringe mit Protonen und den anderen mit Deuteronen.

Die Glauber-Theorie [1] berücksichtigt die Anwesenheit des „spectator“-Protons bei der Reaktion $p + d \rightarrow p + n_d + p_d$. Dies ergibt eine Korrektur von wenigen Prozent bei den zur

Zeit mit Beschleunigern erreichbaren Energien. Um die Größe der Glauber-Korrektur zu erhalten, mißt man auch elastische Proton-Proton Streuung bei Proton-Deuteron Reaktionen und vergleicht den elastischen Wirkungsquerschnitt mit einem direkt aus Proton-Proton Reaktionen erhaltenen. Das Resultat würde dann einen Aufschluß über die Energieabhängigkeit der Glauber-Korrektur bringen. Diese Energieabhängigkeit kann eine Überprüfung der Zweckmäßigkeit des Regge-Pol-Modells bei der Beschreibung von hochenergetischen Reaktionen erlauben [2]. Unter der Annahme eines zu vernachlässigenden Effekts des Isospins ist es möglich, den aus der Proton-Proton Streuung erhaltenen Glauber-Korrekturfaktor auf die Proton-Deuteron Streuung anzuwenden und somit den elastischen Wirkungsquerschnitt bei Proton-Neutron Streuung zu erhalten.

Es ist wahrscheinlich, daß elastische Streuung bei Proton-Neutron und Proton-Proton Reaktionen eine ähnliche Winkelabhängigkeit und Wechselwirkungsraten bei ISR-Energien hat. Von 5 GeV bis zu den höchsten zur Zeit mit Teilchenbeschleunigern erreichbaren Energien sind die totalen Wirkungsquerschnitte der Proton-Proton und Proton-Neutron Streuung gleich [3]. Außerdem hat bei höheren Energien die Winkelverteilung in der Vorwärtsregion bei elastischer Streuung von Protonen an Protonen oder Neutronen die gleiche Form [4]. Deshalb ist keine drastische Änderung bei elastischer Proton-Neutron Streuung in der Vorwärtsregion bei ISR-Energien zu erwarten [5].

Interessant erscheint es auch, Proton-Neutron Rückwärtsstreuung zu untersuchen, obwohl ein mehrere Größenordnungen geringerer Wirkungsquerschnitt als bei Vorwärtsstreuung zu erwarten ist. Die Rückwärtsstreuung könnte eine Entscheidung über ein Vorherrschen der „conspiracy“ oder der „evasion“ in der Regge-Pol-Theorie bringen [6].

II. Experimenteller Aufbau.

Der experimentelle Aufbau zur Messung der elastischen Proton-Neutron Streuung ist in Abb. 1 (siehe S. 160 dargestellt). Einer der beiden Speicherringe enthält Deuteronen mit einem Impuls von 25 GeV/c, der andere Protonen des gleichen Impulses. Wie oben erwähnt, ist beachtenswert, die Reaktion $p + d \rightarrow p + n + p$ zu messen, wobei entweder das Proton oder das Neutron als „spectator“-Nukleon fungiert. Es wurde eine Wechselwirkungszone angenommen, in der sich das Schwerpunktsystem gegen das Zentrum der Ringe bewegt. Ein Analysiermagnet wird strahlwärts von der Wechselwirkungsregion um den

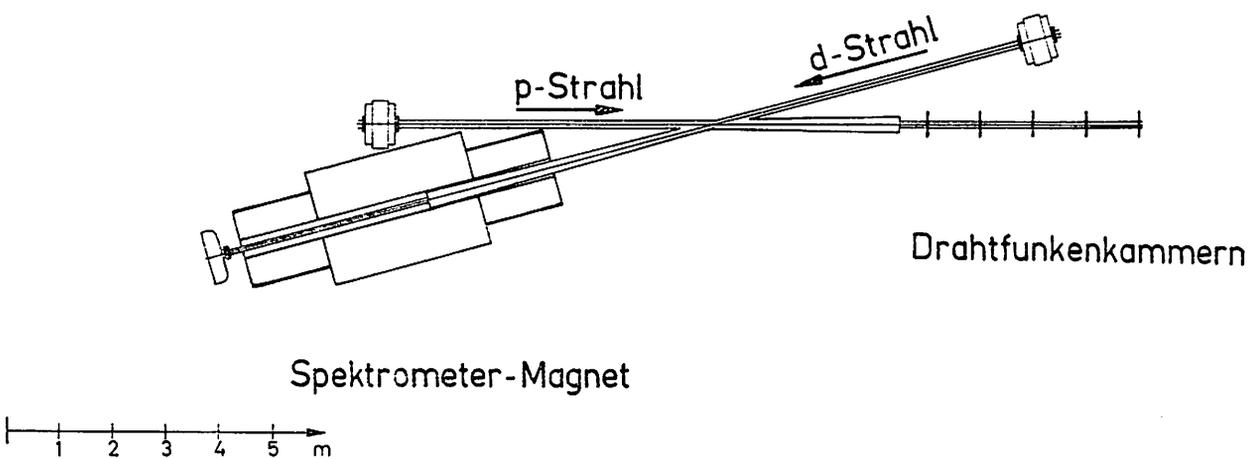


Abb. 1: Allgemeiner Aufbau im Experimentierbereich

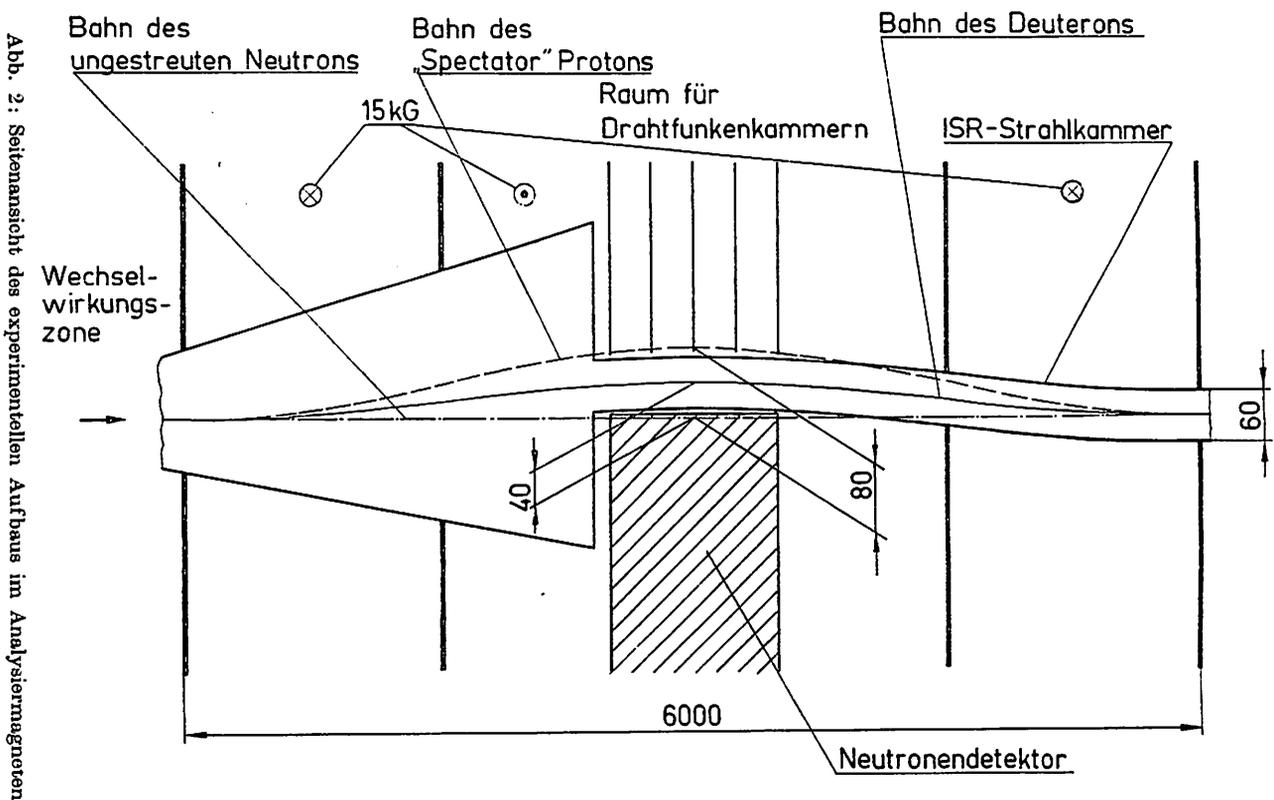


Abb. 2: Seitenansicht des experimentellen Aufbaus im Analysiermagneten

Deuteronenstrahl angeordnet. Der Magnet (Abb. 2) (siehe S. 4) besteht aus drei Einheiten mit alternierendem, horizontalem Feld. Die Gesamtlänge beträgt etwa 600 cm, die Öffnung der zentralen Einheit 30 cm, und die Feldstärke ist etwa 15 Kilogauss.

Drahtfunkenkammern ermöglichen, das abgestreifte Proton bis in die Vorwärtsrichtung zu messen. Da zwei Sätze von Drahtfunkenkammern (der zweite Satz mißt das gestreute ISR-Proton) die Bestimmung des Wechselwirkungspunktes ermöglichen, kann mit Hilfe eines Neutronendetektors die Richtung des Neutrons bestimmt werden.

Mit diesem Aufbau ist eine vollständige Rekonstruktion des elastischen Prozesses möglich, da Impuls und Divergenz des ISR-Strahls bekannt sind. Das elastisch gestreute ISR-Proton behält den Betrag des Impulses bei und der Impuls des abgestreiften Protons wird gemessen. Der Neutronenimpuls beträgt die Hälfte des Deuteronenimpulses und hat eine Verbreiterung auf Grund der Fermibewegung. Benützt man die Hüllhän-Wellenfunktion, so kann diese Verbreiterung abgeschätzt werden. Sie ist kleiner als $\pm 4\%$ im Laborsystem [7].

Die Akzeptanz dieses experimentellen Aufbaus zeigt Abb. 3. Die untere Grenze für den Betrag der Impulsübertragung wird dadurch gegeben, daß das gestreute ISR-Proton die Strahlkammer verlassen muß, wodurch ein horizontaler und vertikaler Mindeststreuwinkel fixiert wird. Die obere Grenze ist durch die Öffnung des Analysiermagneten gegeben. Eine Ausdehnung auf einen größeren Winkelbereich ist möglich.

Die relative Zählrate wird in Abb. 4 gezeigt. Sie wurde mit einer in Ref. 8 angegebenen Winkelverteilung der elastischen Streuung gerechnet. Die Luminosität der p-d-Kollisionen wird rund ein Zehntel der zu erwartenden p-p-Luminosität sein, wodurch der durch Neutronen hervorgerufene Strahlungspegel in Grenzen gehalten wird. Dennoch ergibt sich eine genügend große Zählrate.

Füllt man beide Speicherringe mit Deuteronen und benützt einen zweiten Analysiermagneten, kann auch Neutron-Neutron-Streuung bis zu kleinsten Winkeln gemessen werden. Da der Wechselwirkungspunkt durch die Messung der beiden abgestreiften Protonen bestimmt werden kann, ist eine vollständige Rekonstruktion möglich.

III. Beschleunigung und Speicherung von Deuteronen.

Es ist gezeigt worden [9, 10], daß Deuteronen im Linearbeschleuniger des CERN auf 22,3 MeV beschleunigt werden können.

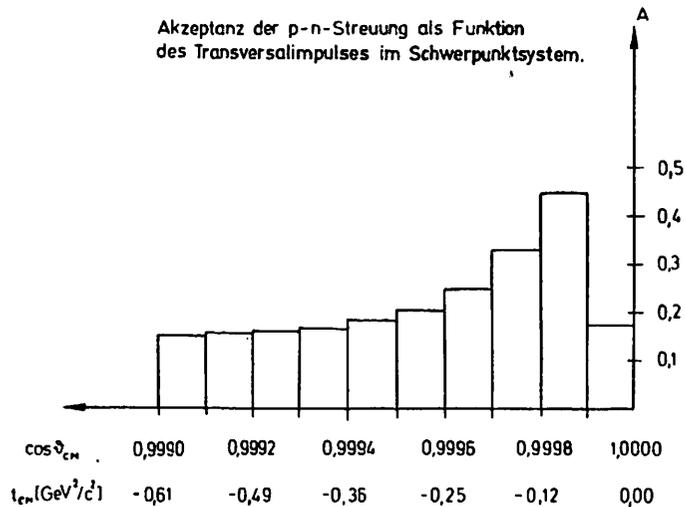


Abb. 3: Akzeptanz für Proton-Neutron Streuung für $1 > \cos \theta$ Schwerpunktsystem $> 0,990$

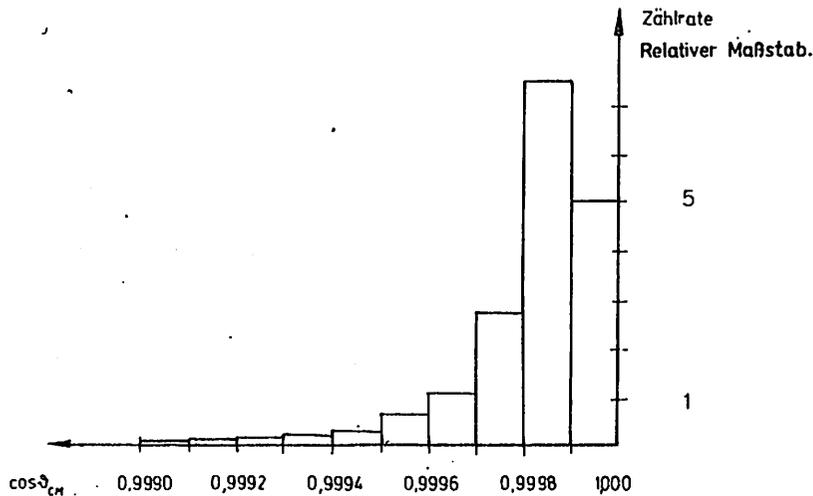


Abb. 4: Relative Zählrate, berechnet mit der in Ref. 8 angegebenen Streuverteilung

Anschließende Beschleunigung im Protonensynchrotron erscheint möglich, wenn einige Modifikationen am Hochfrequenzsystem vorgenommen werden [11]. Wir nehmen an, daß das magnetische Führungsfeld $B(t)$ gleich dem Führungsfeld für die Protonen ist, was gleichen Endimpuls für beide Teilchenarten bedeutet. Daraus folgt auch, daß die Wechselfrequenz, welche an den Hochfrequenzresonatoren liegt, keiner Änderung bedarf.

Die Geschwindigkeitsvariation der Deuteronen während des Beschleunigungszyklus ist doppelt so groß als die der Protonen, da die Änderung des Impulses für beide Teilchen gleich ist. Die Hochfrequenz ist jedoch nur in dem Umfang variierbar, welcher für die Protonenbeschleunigung erforderlich ist. Daher ist es notwendig, die nach der Injektion durch die Hochfrequenzspannung geformten 40 Deuteronengruppen bei $\beta = 0,5$ in 20 Gruppen zu formieren. Dies bedeutet, daß die Hochfrequenz f wieder auf den Wert, den sie bei der Injektion hatte, reduziert werden muß. Hochfrequenzspannung und dB/dt müssen während dieser Manipulation null sein.

Eine weitere Änderung betrifft die Frequenzmodulation, welche sich in dem Verhältnis

$$\frac{df_D}{dt} = \frac{h_D m_P \gamma_P^3}{h_P m_D \gamma_D^3} \frac{df_P}{dt}$$

ändern muß, wobei h die Anzahl der Teilchengruppen im Synchrotron bedeutet, und ferner den Zeitpunkt des Hochfrequenzphasensprunges, der bei $df/dp = 0$ zu erfolgen hat. Der Phasensprung muß bei ungefähr 13,5 GeV. vorgenommen werden.

Die Lebensdauer der Deuteronen ist durch das Ausmaß der Streuung am in der Vakuumkammer befindlichen Restgas gegeben. Es dominiert Klein-Winkel-Coulombstreuung, welche proportional zu $(p\beta)^{-2}$ ist. Daraus folgt, daß die Streuung der Deuteronen bei Injektionsenergie viermal stärker ist als die Streuung der Protonen. Da jedoch β sehr rasch nach der Injektion anwächst, ist zu erwarten, daß der Teilchenverlust innerhalb akzeptabler Grenzen bleibt. Beide Teilchenarten haben die gleiche Lebensdauer bei der Endenergie. Eine detaillierte Analyse zeigte ferner, daß Abstreifreaktionen vernachlässigbar sind.

Alle diese Überlegungen zeigen, daß sich der Akkumulation von Deuteronen in den Speicherringen des CERN keine unüberwindlichen Hindernisse entgegenstellen würden.

IV.

Wir schulden den Herren C. Bovet, E. Keil und C. S. Taylor Dank für wertvolle Diskussionen.

Literatur

- [1] R. J. Glauber, *High Energy Physics and Nuclear Structure* (G. Alexander, editor), North-Holland 1967, p. 311.
- [2] G. H. Burkhardt, 14th International Conference on High Energy Physics, Vienna 1968, p. 364.
- [3] M. N. Kreissler, L. W. Jones, M. J. Longo, J. R. O'Fallon, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 468 (1968).
- [4] G. Bellettini, 14th International Conference on High Energy Physics, Vienna 1968, p. 332.
- [5] D. R. O. Morrison, CERN/TC/Physics 66—20.
- [6] Chang Hong Mo, 14th International Conference on High Energy Physics, Vienna 1968, p. 394.
- [7] L. Hulthén und M. Sugawara, *Handbuch der Physik* **39**, Springer-Verlag, Berlin (1957).
- [8] T. T. Chou and C. N. Yang, *Physical Review* **170**, 1591 (1968).
- [9] Th. Sluyters, CERN 64—22.
- [10] In einer privaten Diskussion erklärte C. S. Taylor, CERN, daß bei den für die nächsten Jahre geplanten Modifikationen und Entwicklungen am P. S.-Linearbeschleuniger dessen Verwendung zur Beschleunigung von Deuteronen im Auge behalten werden wird; dies bedeutet, daß jeder Umbau die derzeit bestehende Verträglichkeit zwischen Proton- und Deuteronbeschleunigung aufrecht erhalten wird.
- Zusätzlich erlaubt elektronische Kontrolle und automatische Einstellung der Parameter ein rasches Wechseln von Proton- auf Deuteronbeschleunigung.
- [11] P. Chamouard, A. Joubert, B. Thevenet, *L'accélération des deutons par Saturne*, SEF, TD/69/20 (Saclay).
- G. Rommel/Paramètres de Saturne pour l'accélération des deutons injectés à 110 MeV, SEFSTD/67/34 — AS 86 (Saclay).