

formel für diese Polyacroleine vorgeschlagen. Die Umsetzungsprodukte sind in geeigneten Lösungsmitteln löslich. Die polymeren Acetale und Mercaptale könnten fraktiniert und viscosimetrische und osmotische Messungen ausgeführt werden. Die Polymerisationsgrade lagen zwischen 800 und 2000.

Durch Polymerisation des monomeren vinylsulfonsauren Natriums mittels UV-Licht lassen sich polyvinylsulfonsaure Natriumsalze erhalten, die mit Hilfe von Basenaustauschern in die freien Polyvinylsulfonsäuren übergeführt werden können. Diese sind wasserlösliche, starke, polyvalente Säuren. Sie hydrolysieren Peptide und Proteine wesentlich schneller als Salzsäure oder Schwefelsäure entspr. H<sup>+</sup>-Konzentration; dagegen verläuft die Hydrolyse von Rohrzucker normal. Die spezifische Wirkung auf Peptide oder Proteine erinnert an die Spezifität von Enzymen.

Zur Gewinnung von Polyvinylsulfochloriden wurde monomeres Vinylsulfochlorid polymerisiert. Die Polymerisation ergibt Polymere mit Molgewichten bis etwa 7000. Polyvinylsulfochloride reagieren mit prim. und sek. Aminen unter Bildung polymerer Sulfamide.

Die Reaktionen eines polymeren Carbonsäure-anhydrids wurden an Styrol-Maleinsäureanhydrid-Copolymeren studiert. Die Polymeren reagieren in Lösung und im festen Zustand mit gelösten bzw. gasförmigen aliphatischen prim. oder sek. Aminen. Aromatische prim. Amine reagieren schwieriger, sek. Amine überhaupt nicht. Durch Umsetzung mit Aminen, die reversibel oxydierbare und reduzierbare Gruppen enthalten (z. B. β-Aminoanthrachinon, Thionolin, Amino - bis - dimethylamino - triphenylmethan), werden Polymere mit Redox-Eigenschaften erhalten.

Durch Umsetzungen an reaktiven Gruppen von Makromolekülen werden viele neue makromolekulare Stoffe zugänglich, die durch Polyreaktionen nicht erhalten werden können.

*Für die Unterstützung der Arbeiten sind wir nicht nur der Deutschen Forschungsgemeinschaft, dem Fonds der Chemischen Industrie und der Verwaltung der ERP-Mittel zu Dank verpflichtet, sondern auch der Badischen Anilin- und Soda-fabrik, der Deutschen Gold- und Silberscheideanstalt, den Farbwerken Hoechst und der Röhm und Haas Ges.*

Eingegangen am 18. Dezember 1956 [A 785]

## Das Antineutron

Von Prof. Dr. K. H. LAUTERJUNG, Heidelberg

Institut für Physik im Max-Planck-Institut für medizinische Forschung<sup>1)</sup>

Nachdem die Teilchen — Antiteilchen — Paare Elektron/Positron und Proton/Antiproton bereits bekannt waren, gelang es nun, auch das Anti-Teilchen des Neutrons, das Antineutron, zu erzeugen und nachzuweisen. Die entsprechenden Versuchsanordnungen werden beschrieben.

Die überraschendste Folgerung aus der Diracschen Theorie des Elektrons war die Existenz eines Antiteilchens. Dieses Teilchen mit Elektronenmasse, aber positiver Ladung wurde später von Anderson in der Höhenstrahlung als Positron experimentell nachgewiesen. Nach der Diracschen Vorstellung kann es als „Loch“ in der Verteilung der negativen Energiezustände des Elektrons aufgefaßt werden. Wenn demnach ein Elektron durch Energiezufuhr von γ-Strahlung aus der Verteilung der negativen Energiezustände in die positiven Energiezustände angehoben wird, entstehen somit gleichzeitig ein Elektron (Teilchen) und ein Positron (Antiteilchen). Dieser Prozeß der „Paarerzeugung“ benötigt eine γ-Energie, die > der doppelten Ruhenergie des Elektrons ist. Umgekehrt bedeutet Auffüllen eines Loches in der Verteilung der negativen Energiezustände durch ein Elektron aus den positiven Energiezuständen gleichzeitiges Verschwinden eines Positrons und eines Elektrons unter Aussenden von γ-Energie im Betrage der doppelten Ruhenergie des Elektrons. Das ist die „Vernichtungsstrahlung“.

Die Anwendung der Diracschen Theorie auf das Proton forderte die Existenz des Antiprotons mit Protonenmasse, Spin 1/2 und negativer Elementarladung. Es sollte stabil sein gegen spontanen Zerfall, mit einem Nukleon unter Freiwerden der Energie 2 M<sub>o</sub> · c<sup>2</sup> (M<sub>o</sub> Ruhemasse des Nukleons) verschwinden und nur zusammen mit einem Nukleon als Paar erzeugt werden. Gleich dem Proton muß das Antiproton ein magnetisches Moment haben, zwar vom gleichen Betrage, aber mit negativem Vorzeichen. Bis zum experimentellen Nachweis des Antiprotons im Jahre 1955 war es fraglich, ob das Proton ein Dirac-Teilchen im gleichen Sinne wie das Elektron ist. So zeigt sein anomales

magnetisches Moment, daß die einfache Dirac-Gleichung keine vollständige Beschreibung des Protons liefert.

Damit lag es nahe, auch beim Neutron nach seinem Antiteilchen zu suchen. Allerdings entfällt beim Antineutron der beim Antiproton experimentell am leichtesten ausnutzbare Unterschied, nämlich die entgegengesetzte elektrische Ladung. Unterscheidbar ist das Antineutron von einem Neutron durch das entgegengesetzte Vorzeichen seiner Parität und seines Isotopenspins. Außerdem hat das Antineutron ein positives magnetisches Moment. Der erste experimentelle Nachweis gelang B. Cork, G. R. Lambertson, O. Piccioni und W. A. Wenzel im September 1956 mit dem Bevatron des Radiation Laboratory der University of California in Berkeley.

### Erzeugung

Beim Beschuß von Beryllium mit 6,2 BeV-Protonen entstehen u. a. Antiprotonen  $\bar{p}$ . Diese werden auf einem ungefähr 30 m langen Weg durch ein magnetisches Ablenk-System von positiven Teilchen getrennt. Da ein solches System nach dem Impuls und nicht nach der Masse der Teilchen trennt, laufen auch die ebenfalls entstehenden leichteren  $\pi^-$ -Mesonen vom gleichen Impulswert durch das Ablenk-System. Die Trennung der  $\bar{p}$  von den  $\pi^-$  ist nach der Flugzeit-Methode möglich, da die schwereren  $\bar{p}$  eine längere Flugzeit als die  $\pi^-$  vom gleichen Impuls haben.

Der so ausgesonderte  $\bar{p}$ -Strahl trifft auf einen Flüssigkeits-Szintillations-Zähler L (Bild 1). In diesem können die Antiprotonen entweder Ionisationsverluste von genau angebarem Betrage erleiden, oder durch Vernichtungsstrahlung verschwinden, dabei einen großen Energiebetrag freimachen und einen entsprechend großen Lichtblitz erzeugen. Oder aber die Antiprotonen gehen Ladungsaustausch mit den Protonen p der Kerne ein. Dabei entstehen

<sup>1)</sup> Vorgetragen im Physikalischen Kolloquium der Universität Heidelberg am 9. Nov. 1956.

Antineutronen  $\bar{n}$  und Neutronen  $n$  gemäß der Gleichung

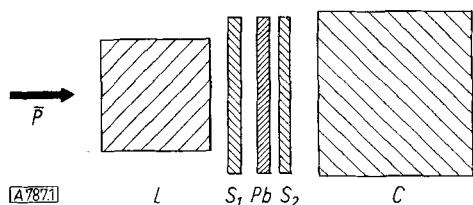
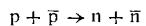


Bild 1  
Nachweisanordnung.  
 $\bar{p}$  = Antiprotonenstrahl, L = Ladungsaustauscher, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> = Szintillationszähler, Pb = Bleikonverter, C = Cerenkov-Zähler

Dieser Prozeß des Ladungsaustauschs läßt im Vergleich zur Vernichtung der Antiprotonen nur geringe Energie freiwerden. Er liefert damit einen schwachen Lichtblitz im Szintillationszähler, der weiterhin als „Ladungsaustauscher“ bezeichnet werde.

Es gilt nun, die aus dem Ladungsaustauscher austretenden Antineutronen gegenüber einem relativ hohen Untergrund von geladenen und anderen neutralen Partikeln nachzuweisen.

### Nachweis

Da ein Antineutron mit einem Nukleon unter Erzeugung von Vernichtungsstrahlung im Betrage der doppelten Ruheenergie des Nukleons, also 1880 MeV verschwindet, kann, falls dieser Prozeß in einem genügend ausgedehnten Cerenkov-Zähler C (Bild 1) abläuft, der dabei in diesem entstehende große Lichtblitz zum Nachweis des Antineutrons benutzt werden.

Die geladenen Partikel des Untergrundes (z. B. Antiprotonen) bringen auf dem Wege vom Ladungsaustauscher zum Cerenkov-Zähler zwei zwischengeschaltete dünne Szintillationszähler S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> zum Ansprechen. Durch diese werden sie von der Registrierung der interessierenden Ereignisse ausgeschlossen. Die zwischengeschalteten Szintillationszähler sprechen dagegen nicht auf die Antineutronen und die neutralen Partikel des Untergrundes an. Eine zwischen den beiden Szintillationszählern angebrachte Bleiplatte Pb hat die Aufgabe, hochenergetische  $\gamma$ -Strahlung in geladene Partikel umzuwandeln, da jene sonst ohne Ansprechen der Szintillationszähler große Lichtblitze (ähnlich denen von Antineutronen) im Cerenkov-Zähler erzeugen könnten. Die anderen neutralen Teilchen des Untergrundes, insbes. Neutronen und neutrale K-Mesonen sind durch ihre viel schwächeren Lichtblitze im Cerenkov-Zähler von den Antineutronen unterscheidbar.

In der entscheidenden Messung wird nun die Impulshöhenverteilung der Lichtblitze im Cerenkov-Zähler gemessen, die von eintretenden neutralen Partikeln herrühren und mit schwachen Lichtblitzen im Ladungsaustauscher koinzidieren. Diese letztere Einschränkung ist nach dem oben gesagten ein Kriterium für das Entstehen eines Antineutrons. Die so gewonnene Impulshöhenverteilung (Treppe-Kurve, Bild 2), die durch Koinzidenzforderung von der Vernichtungsstrahlung der Antineutronen herröhrt

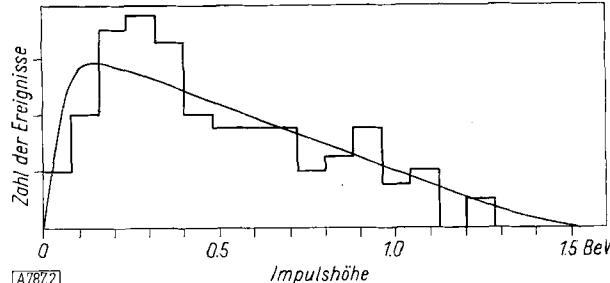


Bild 2  
Impulshöhenverteilung der Antineutronen. Glatte Kurve: Eichkurve für Vernichtungsstrahlung im Cerenkov-Zähler (bestimmt mit Antiprotonen). Treppen-Kurve: Impulshöhenverteilung der Lichtblitze im Cerenkov-Zähler, die von eintretenden neutralen Partikeln herrühren und mit schwachen Lichtblitzen im Ladungsaustauscher koinzidieren

sollte, wird verglichen mit der in einem Nebenversuch aufgenommenen Impulshöhenverteilung der Vernichtungsstrahlung von Antiprotonen (glatte Kurve). Da Antiproton und Antineutron praktisch die gleiche Masse haben, sollten sie unter gleichen geometrischen Bedingungen im Cerenkov-Zähler die gleiche Impulshöhenverteilung liefern. Tatsächlich besteht ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen den beiden Verteilungen. In einem weiteren Versuch, bei dem der Cerenkov-Zähler C durch einen ausgedehnten Flüssigkeits-Szintillationszähler ersetzt war, wurde eine ähnliche Verteilung wie in Bild 2 erhalten. Mit diesen Ergebnissen ist der Nachweis für die Existenz des Antineutrons erbracht.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß außer den Teilchen, aus denen die Materie besteht, die zugehörigen Antiteilchen bekannt sind. Man könnte nun daran die Spekulation anschließen, daß ähnlich unserer Welt der Elektronen, Protonen und Neutronen irgendwo im Weltall eine „Antiwelt“ der Positronen, Antiprotonen und Antineutronen existiere.

Eingegangen am 17. Januar 1957 [A 787]

## Papierchromatographie von mehrkernigen Aromaten

Von Prof. Dr. TH. WIELAND und Dipl.-Chem. W. KRACHT\*)

Institut für organische Chemie an der Universität Frankfurt a. M.

Zur Trennung mehrkerniger Aromaten eignet sich aufsteigende Chromatographie an partiell acetyliertem Filterpapier. Mit dieser Methode lassen sich sogar Isomere trennen wie Perylen und 3,4-Benzpyren.

Der Analyse von Gemischen anellierter aromatischer Verbindungen, unter denen sich bekanntlich auch krebserregende Substanzen befinden, kommt heute große Bedeutung zu. Man macht hierfür von der Säulenchromatographie Gebrauch, die jedoch einen größeren apparativen Aufwand und nicht unbeträchtliche Substanz-Mengen erfordert<sup>1)</sup>. Deshalb erschien es uns nützlich, ein papierchromatographisches Verfahren auszuarbeiten.

Bei der lipophilen Natur der zu trennenden Stoffklasse kam nur ein hydrophobes Papier in Betracht. Deshalb ver-

suchten wir zunächst, Filterpapier mit wasserschwerlöslichen Substanzen zu imprägnieren und fanden nach vergeblichen Versuchen, auf dem Wege der „inversed phase“-Chromatographie zum Erfolg zu kommen, im Polystyrol ein geeignetes Material, das sich durch Baden in verdünnter benzolischer Lösung in feiner Verteilung auf die Papier-

H. Vetter, ebenda 230, 158 [1934]; A. Winterstein u. H. Vetter, ebenda 230, 169 [1934]; I. Beerenblum, Nature [London] 156, 601 [1945]; I. Beerenblum u. R. Schoental, Cancer Res. 6, 699 [1946]; J. W. Cook u. R. Schoental, Nature [London] 167, 725 [1951]; M. B. Newworth, J. Amer. chem. Soc. 69, 1653 [1947]; R. J. Moore, R. E. Thorp u. C. L. Mahoney, ebenda 75, 2259 [1953]; G. G. Wanless, L. T. Eby u. J. Rehner, Analytic. Chem. 23, 563 [1951]; R. J. Clue, C. B. Kincannon u. T. F. Wier, ebenda 22, 864 [1950].

\*) Aus der Dissertation, W. Kracht, Frankfurt/M. 1956/57.  
1) Vgl. hierzu u. a.: A. Winterstein u. K. Schön, Hoppe-Seylers Z. physiol. Chem. 230, 146 [1934]; A. Winterstein, K. Schön u.