

# Möglichkeiten und Grenzen der kernphysikalischen Forschung

Autor(en): **Huber, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **139 (1959)**

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90522>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# **Möglichkeiten und Grenzen der kernphysikalischen Forschung**

Prof. Dr. P. HUBER, Basel

Trotz der enormen Anstrengungen, die der Klärung des Kernbaus seit den dreißiger Jahren dienen, seither mit unverminderter Intensität andauern und heute auf weltweiter Basis fortgeführt werden, ist das wichtigste Problem dieses Hauptzweiges der Physik keineswegs gelöst. Es zeichnet sich sogar noch kein Weg ab, der eine Klärung herbeizuführen vermöchte. Ungeachtet der großen Forschungserfolge sind wir nach wie vor im tiefen Nebel der Verständnislosigkeit befangen. Wir wissen nicht, und das ist seit Beginn die große Unbekannte, welcher Natur die Kräfte sind, die Neutronen und Protonen so stark in den Kernen zusammenhalten. In der Unwissenheit bezüglich der Kernkräfte unterscheidet sich die Kernphysik grundsätzlich von andern physikalischen Forschungsgebieten, wie Festkörperphysik oder Atomphysik. Die uns bekannten Kräfte, die Gravitationskraft einerseits, die für die Mechanik und viele tägliche Prozesse bedeutungsvoll ist, und die elektrischen Kräfte andererseits, die den Atombau, chemische Vorgänge und die Festkörperphysik regeln, müssen für den Kernbau ausgeschlossen werden, denn ihre Kleinheit genügt keineswegs zur Erklärung der gewaltigen, den Kern zusammenbindenden Kräfte. Denken wir zum Beispiel an das faszinierende Gebiet der künstlichen Erdsatelliten, so läßt sich aus der Gravitationskraft, den auftretenden Reibungskräften und den Anfangsbedingungen der Lauf dieser künstlichen Himmelskörper berechnen. Wäre aber die Gravitationskraft unbekannt, stünden wir einem ähnlichen Problem gegenüber wie es der Atomkern uns darbietet. Vorhersagen wären unmöglich. Alle Details müßten durch spezielle Untersuchungen gefunden werden, wie dies für Wechselwirkungen der Nukleonen heute noch notwendig ist. Das ausgedehnte Wissen über Bindungsenergien, Kernstrukturen, Reaktionen wie Fusion, Atomkernspaltungen oder Streuprozesse, ist auf Grund einzelner Forschungen gefunden worden. Aus Massenbestimmungen der Kerne und der Kenntnis der Nukleonenmassen war es möglich, die Kernbindungs-

energien anzugeben, die aussagen, daß die mittlere Bindungsenergie pro Nukleon zirka 8 MeV beträgt. Ebenfalls lassen sich aus Massenbestimmungen Energietönungen von Reaktionen berechnen. Detaillierte Studien von Reaktionsprodukten als Funktion der einfallenden Geschosenergie ermöglichten, Kernzustände der betreffenden Zwischenkerne zu ermitteln. Die in vielen Aspekten so unglaublich wichtig gewordene Kernspaltung war nicht mit Hilfe von Grundlagenkenntnissen voraus sagbar, sondern mußte experimentell in allen Einzelheiten erschlossen werden. Diese Situation ist immer noch typisch für die Kernphysik, und viele Nichtfachkreise mögen durch die große Zahl der entdeckten Erkenntnisse der Meinung sein, die gegenwärtige Forschung gälte nur mehr noch einem weiteren Ausbau, und doch ist das Zentralproblem nach wie vor in Dunkel gehüllt. Die Situation ist vollständig analog derjenigen auf dem Sektor der chemischen Elemente, bevor die Quantentheorie und das Pauliprinzip Bestandteile unseres Wissens waren, oder der Himmelsmechanik vor der Entdeckung des Gravitationsgesetzes. Aber selbst die vollständige Kenntnis der Kraft, die zwischen zwei Nukleonen existiert, wäre noch nicht ausreichend, um das Verhältnis einer Gesamtheit von Protonen und Neutronen exakt zu berechnen. Da es sich hier um ein Mehrkörperproblem handelt, bestünde die Aufgabe darin, Näherungsrechnungen zu finden, die das exakte, aber unlösbare Problem zu einem lösbaren machen, dessen Lösung aber den Sachverhalt nicht ganz richtig wiedergäbe. Hieraus erhellt die Bedeutung der kernphysikalischen Forschung. Es geht um nichts Geringeres als um die Erfassung einer dritten Fundamentalkraft, die für den Zusammenhalt der Kerne verantwortlich ist. Wenn wir uns in Erinnerung rufen, welche Bereicherung das naturwissenschaftliche Wissen und welchen Nutzen die Praxis durch die Gravitationskraft und die elektrischen Kräfte erfahren haben, so vermögen wir uns auszumalen, vor welcher inhaltsreichen Aufgabe die kernphysikalische Forschung steht.

Auf diesem Hintergrunde ist es klar, daß heute ein so großer Teil der Forschung kernphysikalischen Arbeiten gewidmet wird. Daß unser Land hier regen Anteil nimmt, ist ein gutes Zeichen. Manche Kritiker unserer Verhältnisse huldigen zwar der Ansicht, es müßte mehr Forschungsarbeit der Hochschulen anderen Gebieten zukommen, die der wirtschaftlichen Entwicklung unseres Kleinstaates wesentlich geeignetere und industriell unmittelbar ausnützbare Ergebnisse liefern würden. Diese Ansicht taxiert aber die Grundlagenforschung an den Hochschulen als Zweckforschung und mißt sie nach kommerziellen Maßstäben. Dadurch würde die freie Forschung so eingeengt, daß ihre wichtigste Funktion, ins Neuland der unbekanntenen Natur vorzustoßen und dem menschlichen Geiste Unbekanntes zu offenbaren, verlorenginge. Dies soll nicht heißen, daß alle bei uns aufgenommene Aktivität auf dem Gebiete der Kernphysik unterstützungswürdig ist. Die vermehrt zur Verfügung stehenden Mittel auf diesem Felde haben ab und zu nur eine wissenschaftliche Betriebsamkeit gefördert ohne Intensivierung der wirklichen Forschungsarbeit.

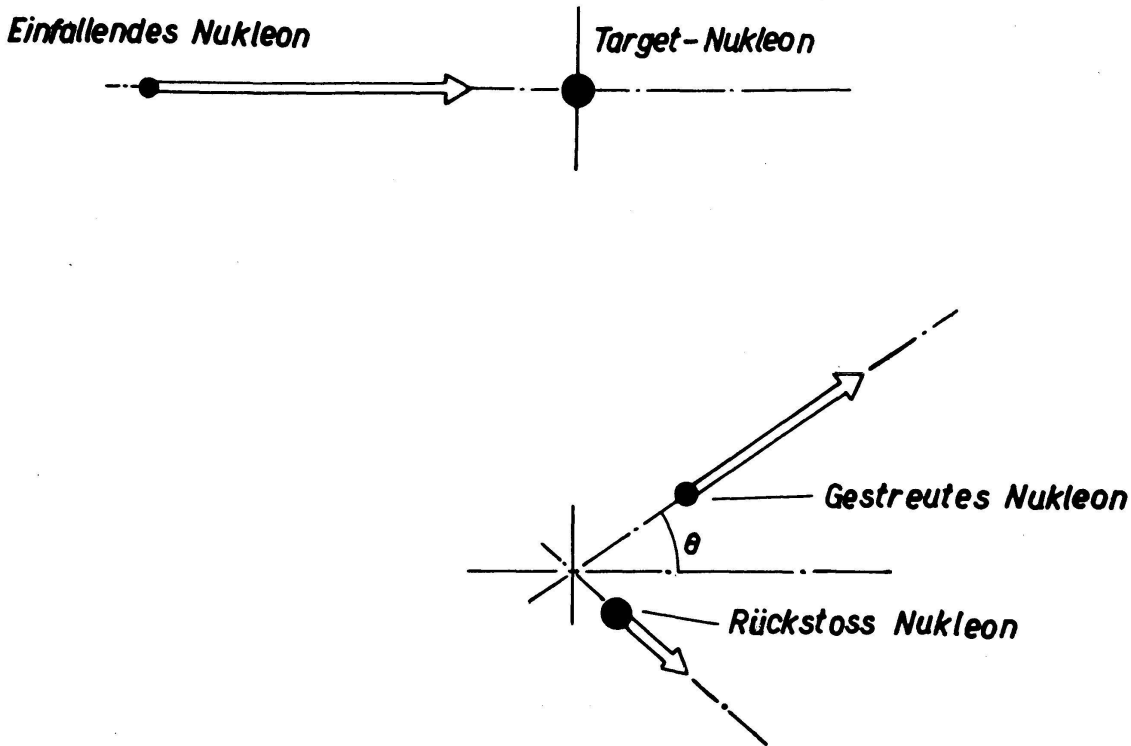


Fig. 1

Streuexperiment. Die Richtungsverteilung des gestreuten Nukleons wird in Funktion des Streuwinkels  $\theta$  gemessen

Die dargelegte Situation bringt es mit sich, daß die kernphysikalische Forschung neben theoretischen Arbeiten ganz wesentlich experimenteller Untersuchungen bedarf. Um aus Kernen, deren mittlere Bindungsenergie pro Nukleon zirka 8 MeV beträgt, einzelne Kernteilchen abzuspalten, braucht es mindestens Energien dieser Größenordnung. Praktisch werden atomare Geschosse zur Zerlegung von Kernen benützt, die mit Hilfe von Beschleunigungsanlagen, wie Kaskadengenerator, Van de Graff oder Zyklotron, auf genügend hohe Geschwindigkeit gebracht werden. Man bezeichnet den Energiebereich, für den die beschleunigten Teilchen aus den Kernen Nukleonen oder Agglomerate davon abspalten, ohne daß sie neue Partikel, wie Mesonen, Hyperonen oder Antinukleonen, zu erzeugen vermögen, als die Kernphysik kleiner und mittlerer Energien. Dieser Bereich reicht bis zirka 100 MeV. Die Hochenergie-Kernphysik dagegen beschäftigt sich mit Reaktionen, bei denen neue Elementarteilchen auftreten, Vorgänge, die zuerst mit Hilfe der kosmischen Strahlung entdeckt wurden.

Auf der Stufe der Kernphysik kleiner Energien steht einmal das Problem der Wechselwirkungen zweier Nukleonen im Vordergrund. Aus solchen Studien hofft man, wesentliche Eigenschaften der Kernkräfte kennen zu lernen. Wichtige Informationen liefern hier sogenannte Streuexperimente, für die Nukleonen verschiedener Energien auf Targetnukleonen geschossen und ihre Intensitäten in Funktion des Streuwinkels gemessen werden (Fig. 1). Resultate solcher Messungen ergeben



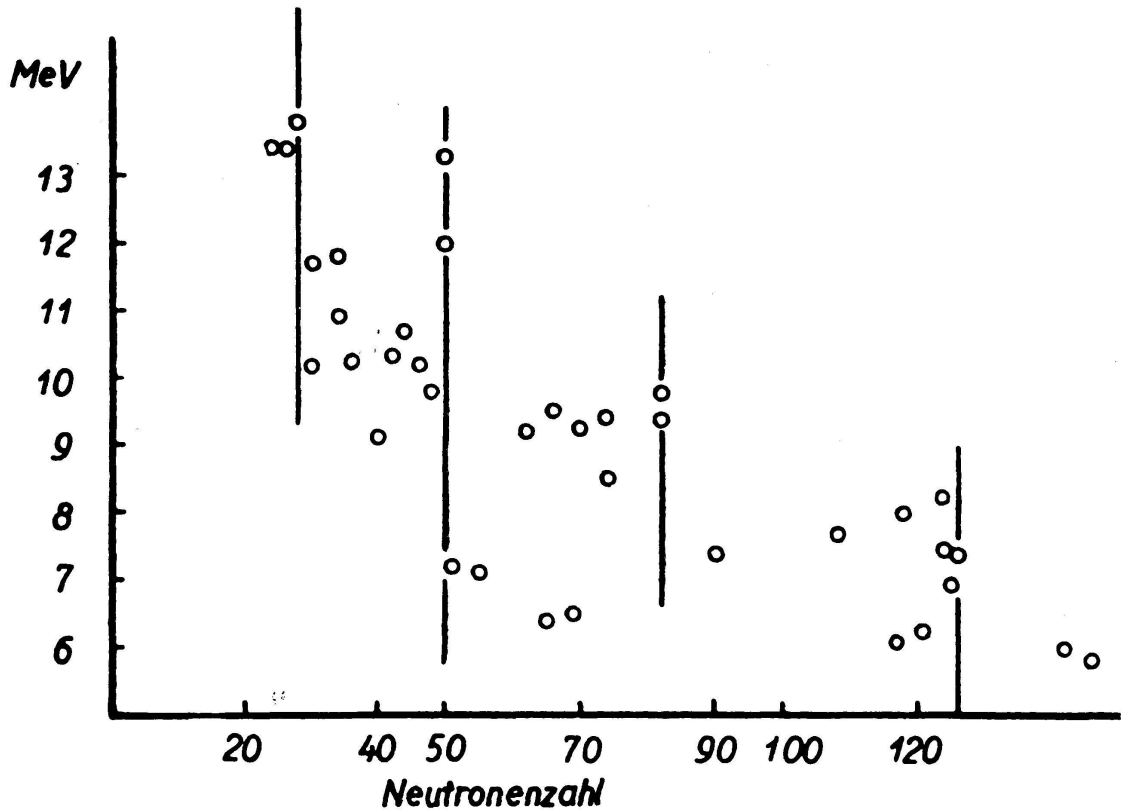


Fig. 2

Bindungsenergie pro Nukleon eines Kernes in Abhängigkeit der Neutronenzahl. Bei den magischen Zahlen 50, 82 und 126 zeigt sich eine erhöhte Bindungsenergie/Nukleon (Erg. d. exakt. Naturwissenschaften, Bd. 26)

die große Stärke und die kurze Reichweite der Kernkraft, die dafür verantwortlich ist, daß die Nukleonen nur innerhalb Distanzen von einigen  $10^{-13}$  cm aufeinander anziehend wirken, im Gegensatz zum Beispiel zu den auf große Distanzen spürbaren elektrischen Kräften. Neben dem Studium dieser Einteilchen-Wechselwirkungen, die die elementare Wechselwirkung in der nuklearen Materie darstellen, waren es statistische Untersuchungen, die wertvolle Kenntnisse der Kerne vermittelten. Hier steht nicht mehr die Wechselwirkung zwischen zwei Nukleonen im Vordergrund, sondern viele Kernzustände sind für das Geschehen verantwortlich. Interessante Kerneigenschaften fand man aus solchen Untersuchungen, die das Verhalten von Nukleonenkomplexen kennzeichnen.

Aus den mannigfaltigen kernphysikalischen Ergebnissen möchte ich drei typische Gebiete erwähnen, die wichtige Züge der Kernmaterie aufweisen. Es sind dies die Schalenstruktur des Kernes, die Kernspaltung und Neutronenwirkungsquerschnitte.

1. *Schalenstruktur.* Eine der interessantesten Feststellungen der neueren Forschung ist die Schalenstruktur des Atomkernes mit den magischen Zahlen 2, 8, 20, 50, 82 und 126. Magisch nannte man diese Zahlen, weil mit ihnen spezielle Eigenschaften von Kernen verbunden sind, deren Ursache zunächst rätselhaft blieb. Eindeutig erwiesen ist die erhöhte

Stabilität von Kernen, die entweder in der Protonen- oder Neutronenzahl magisch sind (Fig. 2). Sie entspricht einer geschlossenen Schale der betreffenden Nukleonen. Eine Analogie mit den geschlossenen Elektronenschalen in der Atomhülle der Edelgase drängt sich auf.

MARIA MAYER<sup>1</sup> und unabhängig von ihr HAXEL, JENSEN und SUESS<sup>2</sup> konnten zeigen, daß für die magischen Zahlen geschlossene Nukleonenschalen auftreten, wenn die Nukleonen sich unabhängig in einem von den anderen Nukleonen erzeugten Kernpotential von bestimmter Form bewegen und zusätzlich einer starken Spin-Bahnkopplung unterworfen sind. Dies bedeutet, daß die Energie des betreffenden Nukleons in starkem Maße vom Bahndrehimpuls und seiner Orientierung zum Spin abhängt. Damit wird jedes Kernniveau in deren zwei aufgespalten, und wegen der Abhängigkeit der Aufspaltungsenergie vom Bahndrehimpuls entstehen Gruppen von Kernniveaus, die energetisch deutlich von den Nachbargruppen getrennt sind, was einem Schalenaufbau des Atomkernes gleichkommt. Diese Annahme der Spin-Bahnkopplung ermöglichte es neben der Klärung der magischen Zahlen, eine unerwartet große Anzahl von Kerndaten zu deuten, wie die Spins, magnetische Momente, Paritäten der meisten Grundzustände mit ungerader Massenzahl und weitere Eigenschaften von Kernniveaus. Das Schalenmodell erwies sich als großer Erfolg.

2. *Kernspaltung*. Bedarf die Schalenstruktur zu ihrer Erklärung eines Einteilchenmodells, so ist für das Verständnis der Kernspaltung eine ganz andere Konzeption der Kernmaterie nötig. Es ist das Tröpfchenmodell von N. BOHR, das eine starke gegenseitige Kopplung aller Nukleonen postuliert. Zwei große Linien weisen heute den Weg für die Entwicklung von Kernmodellen: Kernmodelle mit starker Wechselwirkung, die den Kern als eine Ansammlung von eng gekoppelten Teilchen behandelt, und Einteilchenmodelle, die den einzelnen Nukleonen eine ziemlich individuelle Bewegungsfreiheit einräumen im Feld der übrigbleibenden Kernmaterie. Beide Modelle liefern für gewisse Aspekte des Verhaltens der Kerne zutreffende Aussagen, und es zeigt sich hier eben, wie kompliziert es ist, eine einheitliche Kerntheorie zu finden, die imstande wäre, alle Kerneigentümlichkeiten wiederzugeben. Das Tröpfchenmodell ist wohl das einfachste unter den heutigen Kernmodellen. Die Grundannahme besteht darin, daß die mittlere freie Weglänge der Nukleonen in der Kernmaterie klein ist gegenüber den Kerndimensionen. In diesem Sinn verhält sich der Kern wie ein makroskopisches Flüssigkeitströpfchen, für das die mittlere freie Weglänge der Flüssigkeitsmoleküle klein ist gegenüber dem Tropfendurchmesser. Dieses Modell scheint im Hinblick auf die starken und kurzreichweitigen Kernkräfte evident, und es entspricht auch der Erfahrungstatsache, daß mit Ausnahme der leichtesten Kerne die Dichte und die mittlere Bindungsener-

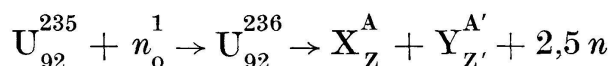
---

<sup>1</sup> M. MAYER, Phys. Rev. 74, 235, 1948.

<sup>2</sup> HAXEL, JENSEN und SUESS, Naturwiss. 35, 376, 1948.

gie pro Nukleon praktisch konstant bleibt. Mit diesem Modell war es BOHR und WHEELER möglich, die wesentlichen Eigenschaften der Kernspaltung aufzuklären. Feinere Details, wie der Zerfall in eine leichtere und eine schwerere Gruppe, und speziellere Eigenschaften der Kernstruktur vermag es nicht zu bestimmen.

Mit der Entdeckung der Kernspaltung im Jahre 1939 durch HAHN und STRASSMANN und der wenige Monate darauf von JOLIOT und seinen Mitarbeitern gefundenen Tatsache, daß bei der Spaltung des Urankernes ebenfalls Neutronen entstehen, hat bekanntlich eine folgenschwere und inhaltsreiche Entwicklung ihren Anfang genommen. Wir stehen heute wohl erst am Anfang aller dieser Auswirkungen, die ja Ausstrahlungen erzeugen, die weit über das engere Forschungsgebiet der Physik hinausreichen. Die Spaltung des Urans 235 in zwei Bruchstücke, die bei Bestrahlung mit langsamen Neutronen entsteht, kann wie folgt beschrieben werden:



Es zeigt sich, daß dieser Kernzerfall auf sehr viele Arten möglich ist, wobei sich eine Gruppe von leichteren (X) und eine Gruppe von schwereren Kernen (Y) bildet. Die eine Gruppe umfaßt Kerne mit der Massenzahl 80 bis 108, die andere von 127 bis 154 (Fig. 3). Am häufigsten entstehen die beiden Bruchstücke mit den Massenzahlen 95 und 139, und zwar in 6% aller Fälle. Es sind bisher mehr als 80 Zerfallsprodukte nachgewiesen worden, so daß mindestens 40 verschiedene Zerfallsmöglichkeiten existieren. Bezüglich des Zerfalls zeigen  $U^{235}$  und  $U^{238}$  einen wesentlichen Unterschied, indem nur  $U^{235}$  mit thermischen Neutronen eine Spaltung vollführt. Dies hängt damit zusammen, daß für den Spaltprozeß eine Aktivierungsenergie notwendig ist. Man kann das anhand des Tröpfchenmodells sehr schön verstehen. Im Ausgangszustand ist der Tropfen kugelförmig. Durch eine kleine Anregung wird er zu einem Ellipsoid deformiert. Wenn keine weitere Anregung erfolgt, bringen die Oberflächenkräfte den Tropfen wieder in die ursprüngliche Form zurück. Erfolgt aber eine größere Anregung, so wird das Tröpfchen noch mehr deformiert, und es kommt der Moment, in dem die abstoßenden Coulombkräfte zwischen den beiden Tropfenteilen größer sind als die Oberflächenkräfte. Dann erfolgt die Spaltung. Man kann den Vorgang auch so darstellen, daß man sagt, es müsse zuerst ein Potentialberg überwunden werden, bevor die Bruchstücke sich voneinander trennen.

3. *Neutronen-Wirkungsquerschnitte.* Als letztes Beispiel seien Messungen über Neutronen-Wirkungsquerschnitte angeführt. Es handelt sich hier um die Bestimmung von totalen und differentiellen Querschnitten. Neutronen sind für die Erforschung von Kerneigenschaften ideale Objekte, da sie im Gegensatz zu Protonen beim Eindringen in die Kerne keine Coulombsche Abstoßungskraft erleiden. Sie erfahren ausschließlich Wechselwirkungen mit dem Atomkern und sind daher

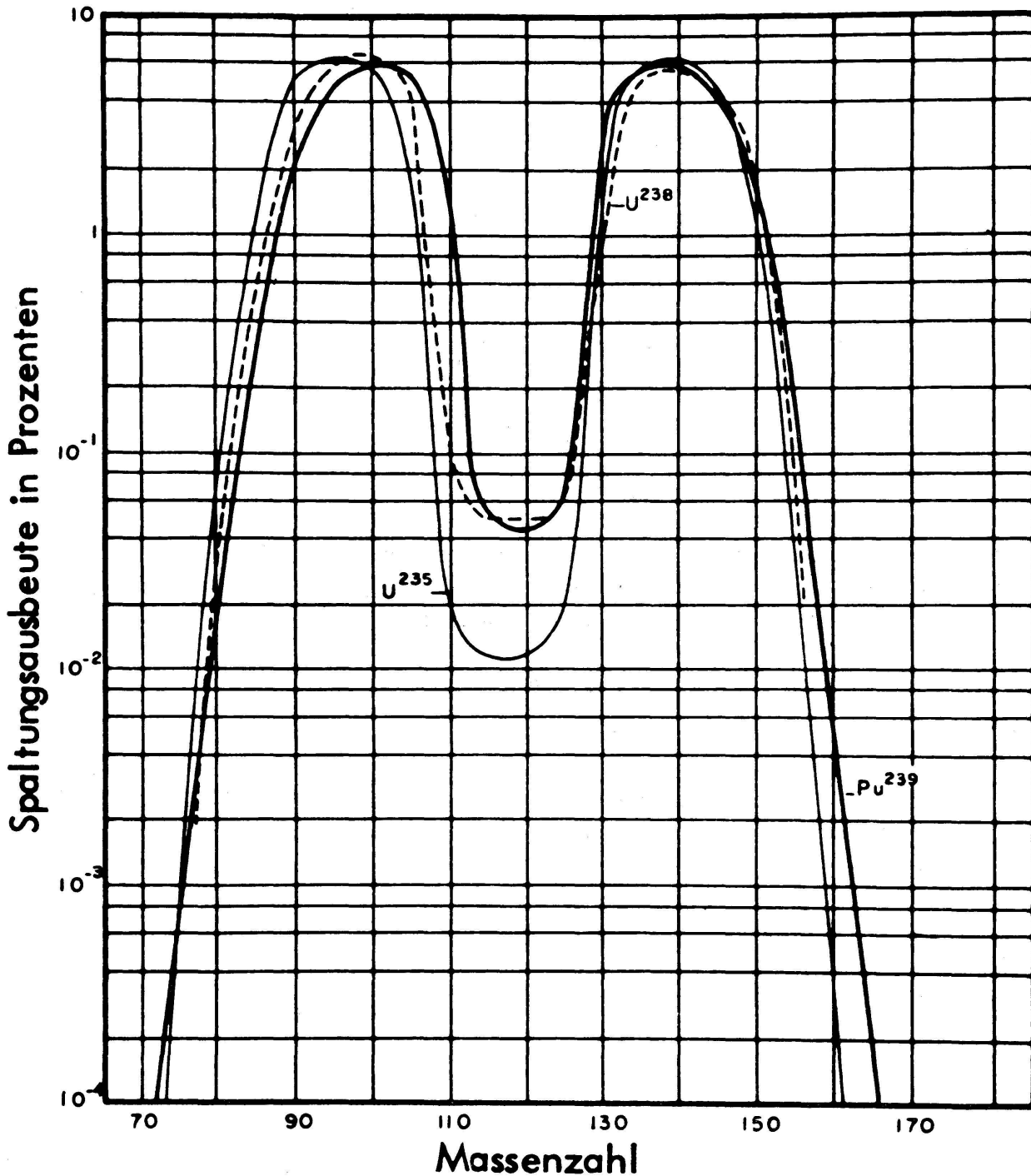


Fig. 3 Häufigkeit der entstandenen Massenzahlen bei der Spaltung von U<sup>235</sup>, U<sup>238</sup> und Pu<sup>239</sup>

ausgezeichnete Sonden für seine Strukturaufklärung. Der Vorzug der Ladungsfreiheit bringt aber auch eine gewisse Erschwerung für den mit Neutronen hantierenden Physiker, was jeder kennt, der einmal mit diesen Partikeln gearbeitet hat. Sie lassen sich außerordentlich schwierig abschirmen. Feine ausgeblendete Neutronenstrahlen herzustellen, wie dies bei Protonen, Deuteronen und  $\alpha$ -Teilchen gelingt, ist ausgeschlossen. Die Auseinandersetzung mit dem Neutronenuntergrund gehört daher zum täglichen Brot des Neutronenphysikers.

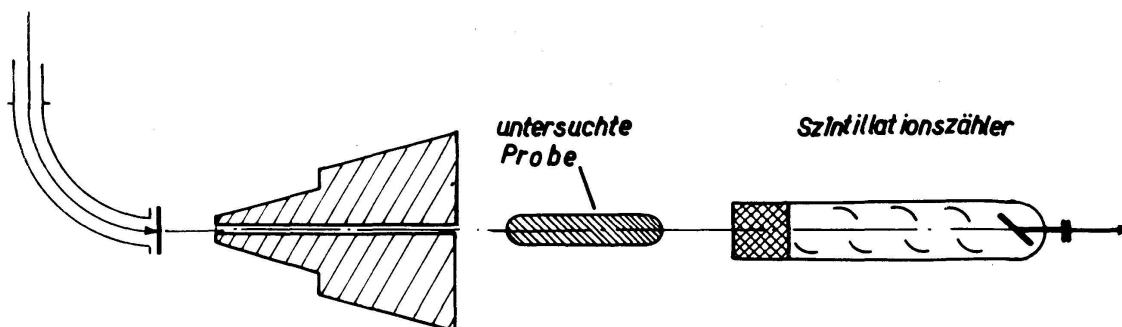


Fig. 4

Anordnung für die Bestimmung von totalen Neutronenquerschnitten mit Hilfe eines Transmissionsexperimentes

Der totale Neutronenwirkungsquerschnitt schließt alle Kernwechselwirkungen ein, die aus einem parallelen Neutronenbündel Neutronen ausscheiden. Zu seiner Messung wird die sogenannte Transmissionmethode benützt. Sie besteht darin, daß die Schwächung eines Neutronenbündels beim Durchgang durch die zu untersuchende Materialprobe gemessen wird (Fig. 4). Ist die Intensität des Bündels ohne Absorber  $I_0$ , mit Absorber I und besitzt der Absorber  $n$  Kerne pro Volumeinheit und eine Länge  $x$ , so gilt:

$$I = I_0 e^{-n\sigma x}$$

wobei  $\sigma$  den totalen Querschnitt angibt. Bei dieser Messung müssen aber ganz wichtige Korrekturen für den Untergrund angebracht werden, die die Arbeit wesentlich erschweren.

Figur 5 stellt die Messung des totalen Querschnittes des Stickstoff-Isotops  $N^{15}$  dar, wie er in Basel<sup>1</sup> bestimmt wurde. Es zeigt sich in dem

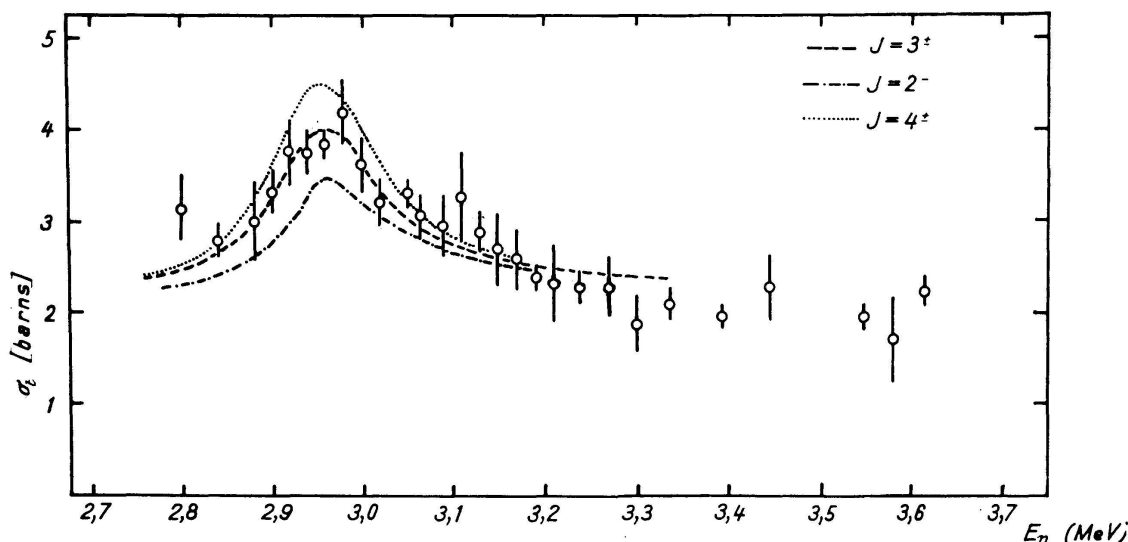


Fig. 5 Totaler Neutronenquerschnitt für das Stickstoff-Isotop  $N^{15}$

<sup>1</sup> SCHELLENBERG, BAUMGARTNER, HUBER und SEILER, HPA Bd. XXXII, 357, 1959.

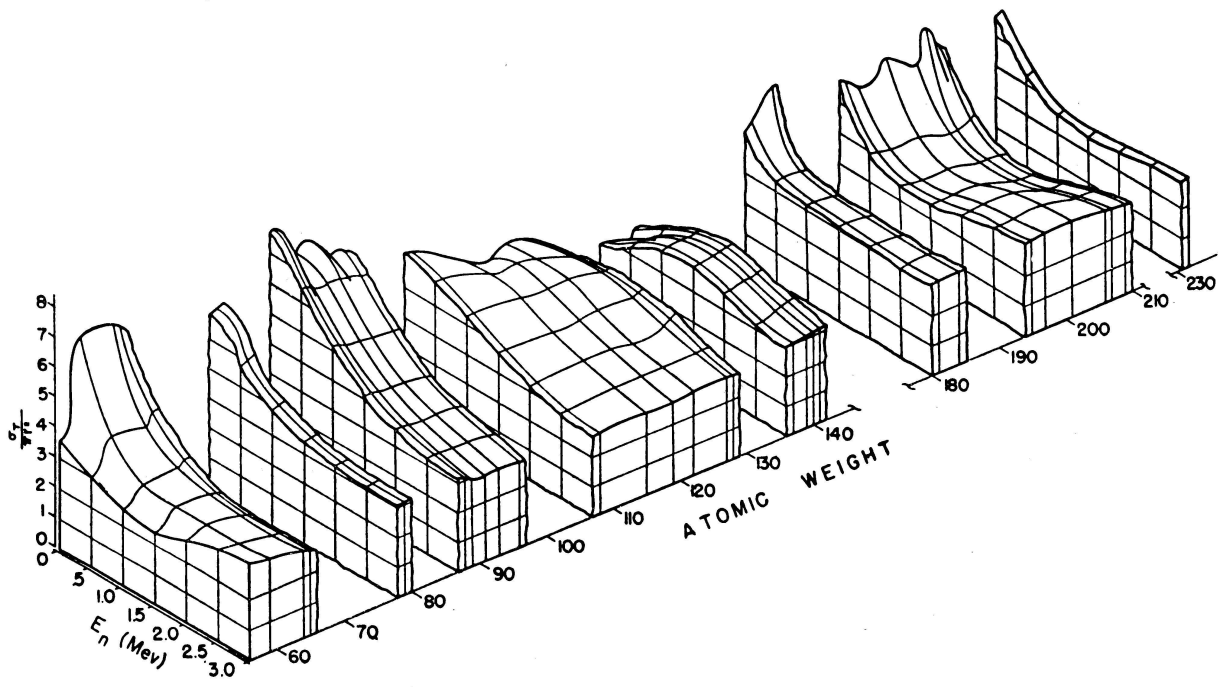


Fig. 6 Totaler Neutronenquerschnitt für verschiedene Massenzahlen und Neutronenenergien  $E_n$  (BARSCHALL und Mitarbeiter)

untersuchten Energieintervall eine breite Resonanz, eine typische Erscheinung solcher Messungen. Je nach der Art des angeregten Niveaus erscheinen breitere oder schmalere Resonanzen. Figur 6 gibt Meßresultate von BARSCHALL<sup>1</sup> und Mitarbeitern über totale Querschnitte an einer großen Zahl von Elementen wieder für Energien von einigen keV bis zu 3 MeV. Ausgeprägte Resonanzen, die von individuellen Eigenschaften spezieller Kerne herrühren, sind bei der Darstellung weggelassen worden, um den allgemeinen Charakter des Querschnittverlaufes herauszuheben. Die theoretische Deutung dieser Messungen war besonders interessant, weil sie zeigte, daß der Kern für schnelle Neutronen nicht vollständig undurchsichtig ist, wie frühere Berechnungen annahmen und was auch den Vorstellungen des Einteilchenmodelles nicht entspricht. Die Erfolge der Schalentheorie beruhten gerade auf der Einsicht, daß der Energieaustausch zwischen den Nukleonen im Kern stark beschränkt ist. Diese Annahme wurde nun ebenfalls in die Theorie für den totalen Wirkungsquerschnitt aufgenommen, so daß der Kern etwas durchsichtig wird für einfallende Nukleonen. Das so entstandene Modell ist das optische Kernmodell. Die nach ihm berechneten totalen Neutronenquerschnitte stimmen qualitativ gut mit den experimentellen Ergebnissen überein.

Neben dem totalen Streuquerschnitt ist auch die Kenntnis des differentiellen Querschnittes für die Klärung von Kernniveaus von größtem Interesse. Hier geht es um die Frage, wie die Winkelverteilung der gestreuten Neutronen gegenüber dem einfallenden Neutronenstrahl aussieht. Figur 7 zeigt differentielle Neutronenquerschnitte von He<sup>4</sup>, wie sie in Madison (USA) und Basel gemessen wurden<sup>2</sup>. Auf der Abszisse ist der Cosinus des Streuwinkels, auf der Ordinate der entsprechende Querschnitt aufgetragen. Man erkennt: bei Neutronenenergien unter 1,4 MeV zeigt sich eine ausgeprägte Rückwärtsstreuung ( $\cos \theta = -1$ ,  $\theta = 180^\circ$ ). Bei höheren Energien dagegen wird die Vorwärtsstreuung überwiegend. Vergleicht man diese Ergebnisse mit solchen der Protonenstreuung an Helium, ergibt sich die wichtige Tatsache, daß bezüglich der Kernkräfte beide Teilchen sich gleich verhalten.

Mit diesen wenigen Beispielen versuchte ich, Ihnen aus den Ergebnissen der Kernphysik kleiner Energien eine Auswahl darzubieten, um damit die Arbeitsweise dieser Forschungsrichtung aufzuzeigen. Zur Ergänzung sollen nun zwei Beispiele aus der Hochenergiephysik kommen. Hier handelt es sich in erster Linie um ein Studium der Eigenschaften der Elementarteilchen. Das Proton, ein typisches Elementarteilchen, besitzt eine elektrische Ladung, bestimmbar durch Messung der elektrostatischen Kraft zwischen zwei Protonen. Wenn ein Proton eine außerordentlich hohe Beschleunigung erfährt, emittiert es  $\pi$ - und K-Mesonen. Im Gegensatz zur elektromagnetischen Strahlung, die bei weniger hohen Beschleunigungen emittiert wird, besitzt die mesonische Strahlung eine

<sup>1</sup> BARSCHALL, Phys. Rev. 86, 431, 1952.

<sup>2</sup> HUBER und BALDINGER, HPA 25, 435, 1952.

STRIEBEL und HUBER, HPA 30, 67, 1957.

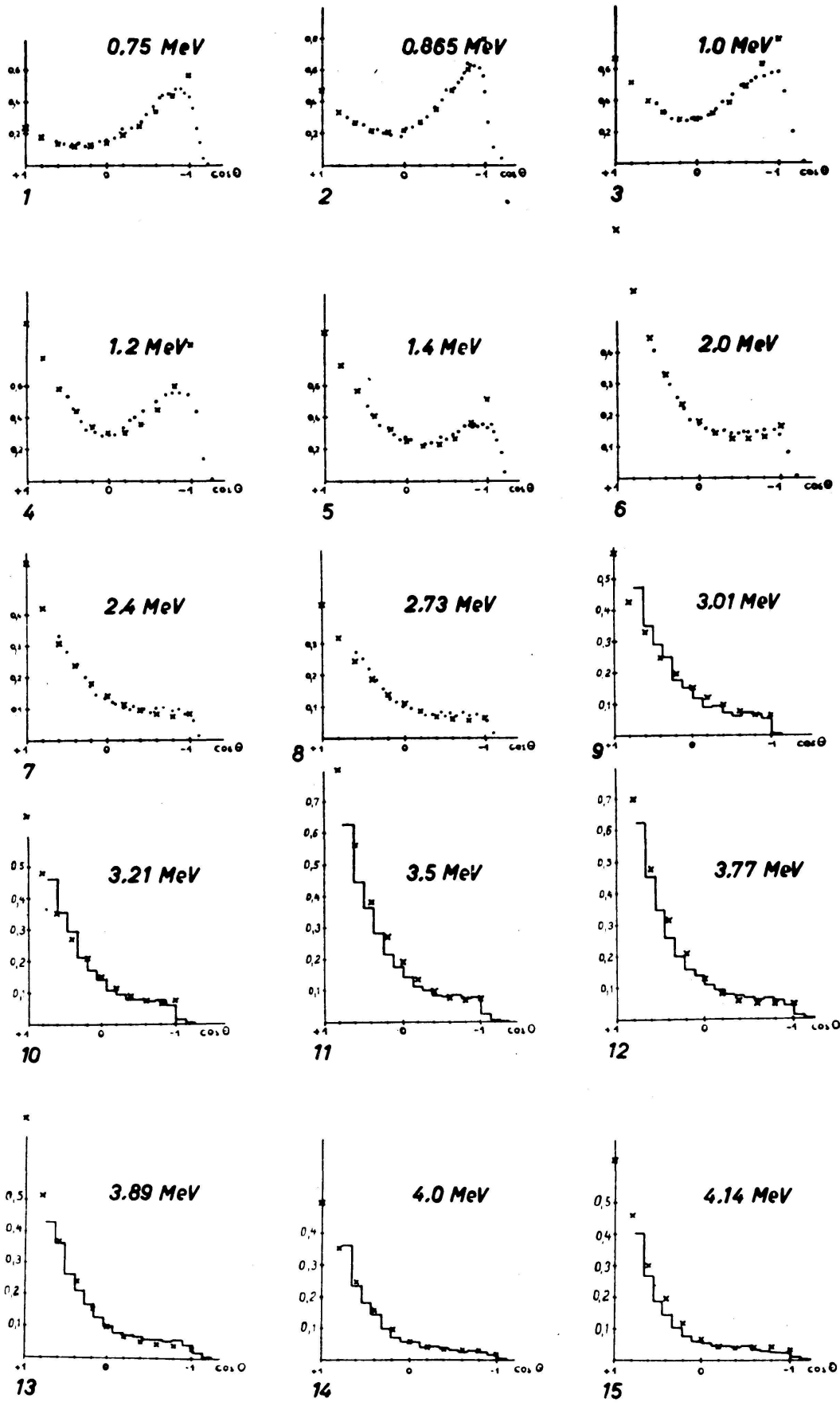


Fig. 7 Differenzieller Querschnitt von Helium für verschiedene Neutronenenergien



Ruhmasse. Daher muß nach der EINSTEINSchen Masse-Energie-Beziehung genügend Energie zur Erzeugung dieser Teilchen zur Verfügung stehen. Für das  $\pi$ -Meson sind 140 MeV, für das K-Meson 700 MeV notwendig. Die Herstellung einer K-mesonischen Strahlung verlangt Teilchen, deren Energie mindestens 1 BeV (= 1000 MeV) beträgt. In Figur 8 sehen wir die am CERN im Bau befindliche 25-BeV-Maschine. Eine wirkungsvolle Methode für die Produktion von K-Mesonen gibt die Bombardierung von Protonen mit  $\pi^-$ -Mesonen. Figur 9 zeigt ein Ereignis, bei dem ein  $\pi^-$ -Meson in eine Blaskammer mit flüssigem Wasserstoff eintritt. Die Spur wird von kleinen Dampfbläschen markiert, die längs des Weges des geladenen Teilchens erzeugt werden. Wenn das Meson ein Proton trifft, können neben anderen Prozessen zwei neutrale Teilchen entstehen. Ihrer Ladungslosigkeit wegen hinterlassen sie keine Spur, da sie den Wasserstoff nicht aufheizen. Das eine Teilchen, ein neutrales K-Meson, zerfällt nach einer gewissen Laufstrecke in ein  $\pi$ -Mesonenpaar, das sich als V-förmige Spur bemerkbar macht. Das andere Teilchen ist ein  $\Lambda^0$ -Teilchen, das nach einer gewissen Strecke in ein Proton und ein  $\pi^-$ -Meson zerfällt, was sich ebenfalls durch eine V-förmige Spur kundtut. Zwei wichtige Tatsachen lassen sich an diesem Ereignis feststellen: 1. Durch Emission des K-Mesons verwandelt sich das Proton in ein  $\Lambda^0$ -Teilchen. 2. Die Laufstrecken des  $K^0$ - und des  $\Lambda^0$ -Teilchens bis zum Zerfall betragen einige Zentimeter, und daher ist die Lebensdauer dieser Teilchen für Kernverhältnisse außerordentlich lang, eine ganz unerwartete Eigenschaft. Sie hängt mit der Tatsache zusammen, daß diese Teilchen nur in Paaren und nie einzeln erzeugbar sind. Als zweites Beispiel sei ein Antiproton-Proton-Ladungsaustausch angeführt (Figur 10). Das Antiproton  $\bar{p}$  trifft von oben in die Blaskammer ein und verschwindet plötzlich in einem durch den Pfeil angegebenen Punkt. Hier findet die Reaktion  $\bar{p} + p \rightarrow \bar{n} + n$  statt, wobei sich das Antiproton  $\bar{p}$  mit einem Proton  $p$  in ein Antineutron  $\bar{n}$  und ein Neutron  $n$  umwandelt. Weiter unten ist die Annihilation des Antineutrons mit einem Proton sichtbar, was Anlaß zu einem fünfzweigigen Stern gibt, entsprechend der Reaktion  $\bar{n} + p \rightarrow 3\pi^+ + 2\pi^-$ .

Diese Beispiele sollen zur Illustration der Hochenergiephysik genügen, die heute ein außerordentlich interessantes Forschungsgebiet darstellt, das Einblick in die eigentliche Struktur der Elementarteilchen und ihrer Wechselwirkungen zu bringen vermag. Zudem glaubt man, diese Einsichten werden zum Verständnis der Kernkräfte wesentlich beitragen.

Nach dem kurzen Überblick sei nun die Frage gestellt, welche Aufwendungen die Forschungen auf dem Gebiet der Kernphysik verlangen. Darunter fallen sowohl wissenschaftliches und technisches Personal als auch finanzielle Mittel zur Durchführung eines Programmes. Der Aufwand für die Kernphysik hoher Energien und derjenige für mittlere und kleine Energien unterscheidet sich um Potenzen. Der Kostenvoranschlag zum Beispiel für die 25-BeV-Maschine am CERN beträgt zirka 70 Millionen Franken. Ein Kaskadengenerator oder ein Van-de-

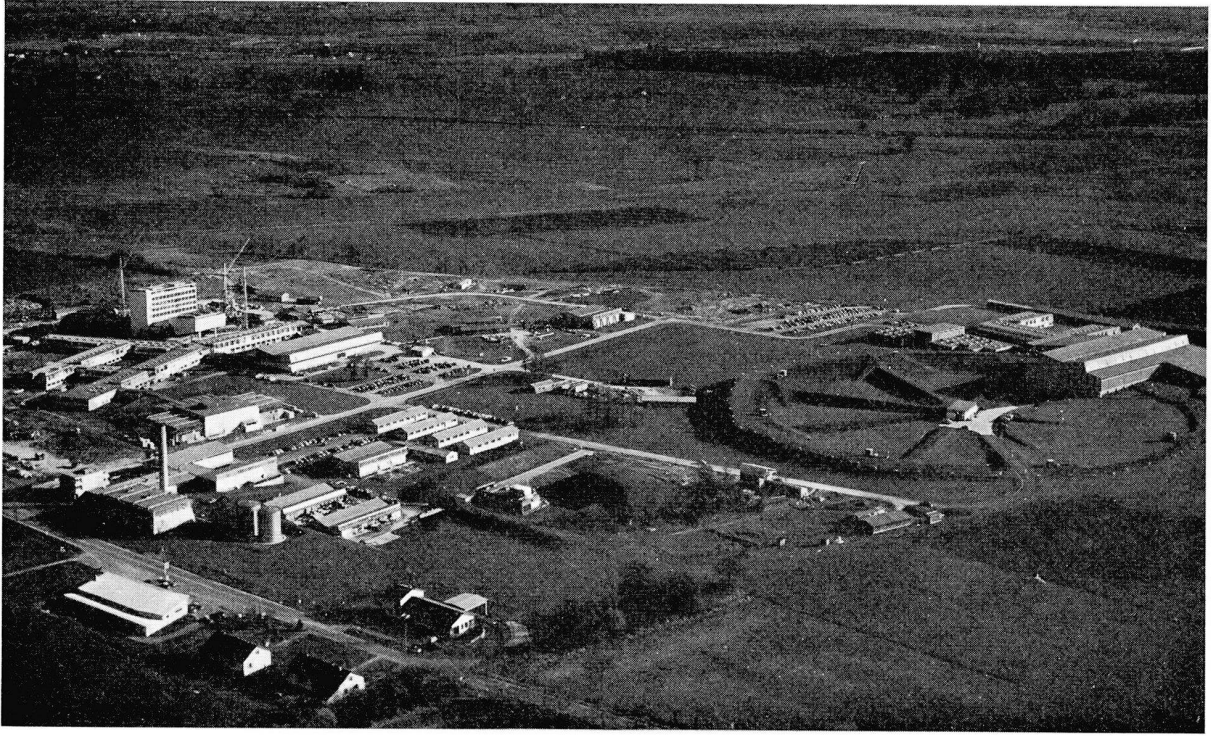


Fig. 8 Ansicht des CERN. Die Anlage für das 25-BeV-Protonensynchrotron ist rechts im Bilde sichtbar mit dem 200 m im Durchmesser messenden Beschleunigungsrohr, das sich unter dem ringförmigen Erdhügel befindet. Die acht radialen Kanäle dienen für geodätische Vermessungskontrollen. Die Experimentierhalle ist rechts oben sichtbar

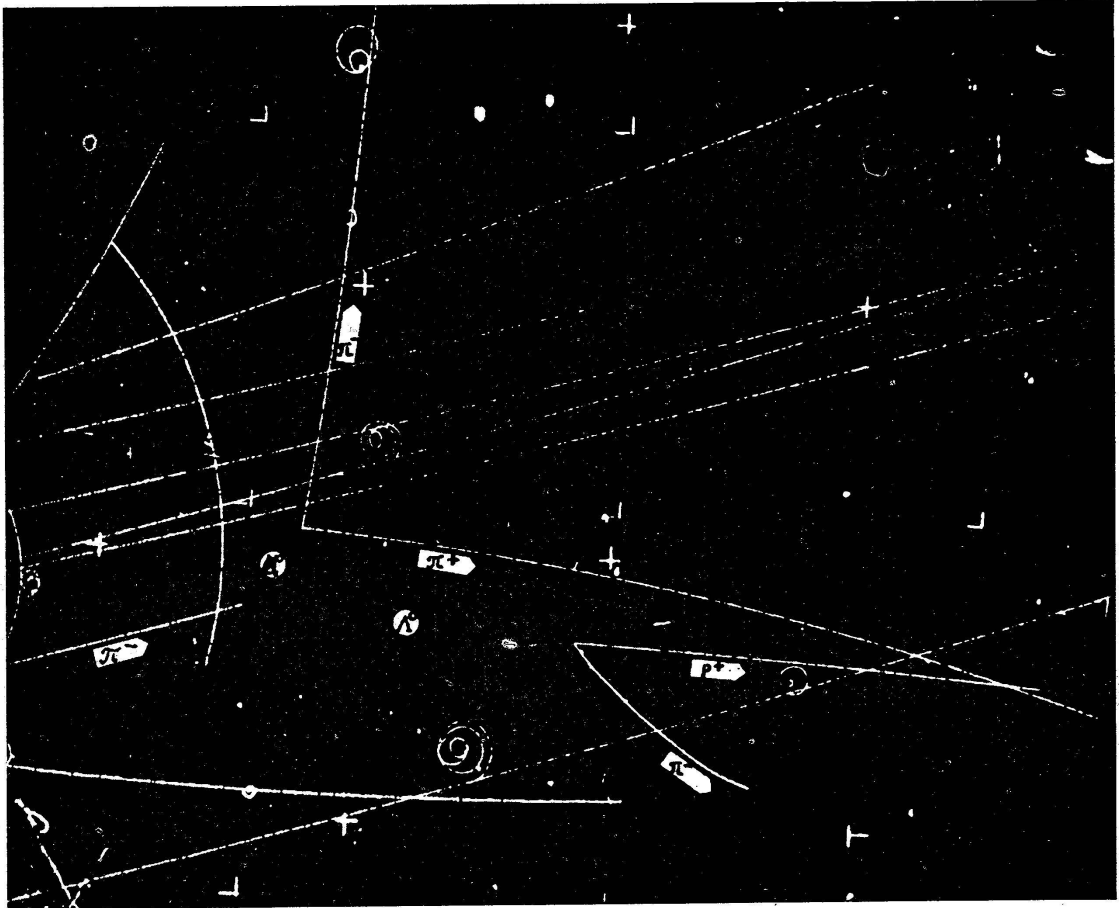


Fig. 9

Wechselwirkung eines  $\pi^-$ -Meson mit einem Proton und Produktion eines neutralen K-Mesons und eines  $\Lambda^0$ -Teilchens. (Radiation Laboratory, University of California, Berkeley)

Graaff-Generator für 4 MeV kostet dagegen zirka 1 000 000 Fr. Dazu kommt, daß die großen Maschinen ein entsprechendes Bedienungspersonal brauchen und daß ein genügend großer wissenschaftlicher Mitarbeiterstab da sein muß, damit die teuren Einrichtungen voll ausgenutzt werden. Es machen sich hier Gesichtspunkte bezüglich Ausnutzungszeit bemerkbar, die bisher nur industriellen Unternehmen eigen waren. Das Budget des CERN zum Beispiel beläuft sich für 1959 auf  $55 \cdot 10^6$  Franken. Im Gegensatz dazu läßt sich ein Projekt aus der Kleinenergie-Kernphysik mit einer Mitarbeiterzahl von 3–4 Physikern und entsprechendem Hilfspersonal für einige 100 000 Fr. durchführen. Daß auch hier die in den dreißiger Jahren üblichen Hilfsmittel vollständig ungenügend geworden sind, soll nicht mit untauglichen Mitteln geforscht werden müssen, ist klar. Die Forschungsarbeit wurde wesentlich komplizierter und viel differenzierter und bedarf teilweise sehr teurer Apparate.

Die Anlagen für Hochenergie-Physik, ihr Betrieb und Unterhalt überschreiten heute die Möglichkeiten einer einzelnen Universität. Es betrifft dies Einrichtungen, die nur noch als größere Gemeinschaftsarbeit realisierbar sind, es sei denn, dem betreffenden Institut stünden

sehr große Hilfsmittel zur Verfügung. Gemeinschaftsunternehmungen für die Hochenergiephysik setzten sich immer mehr durch, und ein Land wie die Schweiz ist bereits eine zu kleine Einheit, um Institutionen im Ausmaße des CERN zu finanzieren.

Mit diesen Feststellungen sind wir mitten drin in den Auseinandersetzungen über die Möglichkeiten und Grenzen der kernphysikalischen Forschung in unserem Lande. Bei der Diskussion über die Unterstützung der kernphysikalischen Forschung wird oft die Frage gestellt, ob es überhaupt möglich sei, im kleinen Rahmen einer Universität gute Grundlagenforschung in Kernphysik zu betreiben, und es wird die Meinung vertreten, die gesamte Forschung sei an einem Ort zu zentralisieren. Solche Überlegungen sind durchaus berechtigt. Sie können aber weder mit Ja noch mit Nein beantwortet werden. Ob größere Gemeinschaftsunternehmen oder mehr individuelle Forschung richtig sei, hängt vom Problem ab. Aufgaben, wie sie vom CERN gelöst werden wollen, sind offensichtlich nur von einem zentralisierten Institut durchführbar. Für die Schöpfung grundlegender Ideen, das Durchdenken von Zusammenhängen und das Auffinden neuer experimenteller Methoden sind Universitäten und Hochschulen dagegen selbst heute noch die besten Stätten. Der Anfang eines guten Einfalles bleibt ein Mysterium, und großangelegte Betriebe mit ihrer unvermeidlichen Bürokratisierung bilden für solche Geheimnisse kaum den trächtigen Nährboden.

Die Koordination von Forschungsarbeiten und das Teamwork, über deren Wert heute sehr viel gesprochen wird, sind unerläßliche Dinge, sofern bereits ein feststehendes Forschungsprogramm zur Verfügung steht. Bis es aber klar ausgearbeitet vorliegt, bis die zu beantwortende Fragestellung scharf herausgeschält ist, läßt sich die Arbeit nicht koordinieren, da sie einem Suchen im Dunkeln gleichkommt. Dem ersten Schritt in der Kette einer Forschungsarbeit kommt grundlegende Bedeutung zu. Er bestimmt die Wegrichtung ins Neuland der Entdeckungen. Die Konzeption der Forschungsidee ist eine nicht koordinierbare schöpferische Leistung. Sie kann in Diskussionen und Auseinandersetzungen gefördert werden, wozu aber ein Gespräch im kleinen Kreise am besten paßt. Wenn heute vielfach für die Gewährung von Forschungskrediten als erste Notwendigkeit Koordination verlangt wird, so müssen sich die Geldgeber der Gefahr bewußt sein, damit gerade das schöpferisch Neue nicht zu fördern. Koordination ist dann am Platze und notwendig, wenn der Forschungsgedanke geboren ist und es um seine Ausführung geht. In dieser Hinsicht liefert uns die Fusionsforschung ein gutes Beispiel. Die beträchtlichen Mittel, die die bisherigen Programme erheischten, machten es klar, daß nur größere Zentren sich diesem Gebiete widmen können. Nach anfänglich großen Hoffnungen, Wege zur Verwirklichung der gewaltigen Energiegewinnung zu finden, mußte eingesehen werden, daß noch zu viele unbekannte Erscheinungen die Aussicht auf eine baldige Realisierung versperrten. Bei dieser Sachlage ist es notwendig, neue Ideen zu schaffen, wie an das Problem heranzukommen ist, und spezielle Erscheinungen der Plasmaphysik zu studieren. Hiezu sind



Fig. 10

Antiproton-Proton-Ladungsaustausch (Radiation Laboratory, University of California, Berkeley)

kleine Forschungsstätten sehr passend, sofern die maßgebenden Ideen auftauchen und der Aufwand zu ihrer Durchführung noch tragbar ist. Kleine Forschungsstätten unter guter Leitung besitzen für solche Aufgaben einen besseren Wirkungsgrad als große Zentren. Es wäre falsch, einfach zu dekretieren: Fusionsforschung läßt sich nur in einem zentralen

Forschungslaboratorium bewerkstelligen. Dies wird später für die Verwirklichung eines Fusionsreaktors notwendig werden, ist es aber heute noch nicht, wo es um die Gewinnung der Grunderkenntnisse geht.

Bezüglich unseres Landes ist die Feststellung, daß kleinere wissenschaftliche Zentren unter Umständen den Forschungszielen besser zu genügen vermögen als ein nationales Institut, nicht durch die föderalistische Struktur bedingt, sondern sie ist ein der Forscherpersönlichkeit eigentümliches Charakteristikum, bedingt durch seine individuelle Prägung. Daß unser Föderalismus es fördert, ist eine erfreuliche Tatsache. Eine Bedingung müssen die Hochschulinstitute jedoch erfüllen: Beschränkung auf wenige, originelle, gut durchdachte, ihren Hilfsmitteln angepaßte Forschungsprojekte. Mit einer Kopierung fremder Ideen ohne eigene Zutaten ist uns wenig geholfen. Daneben ist klar, daß die Forscher mit ihren Ideen und ihrem Können das wichtigste Element sind für die durchzuführenden Arbeiten und ihre Qualität, nicht die teuren gekauften Apparate. Diese bleiben Ballast und eine Dekoration, sofern sie nicht sinnvoll eingesetzt werden. Es ist nicht leicht, die Qualitäten eines Einzelforschers oder einer Gruppe in kurzer Zeit zu erkennen. Die Methoden und Wege, die erfolgreich sein können, sind so verschiedenartig, daß eine objektive Wertung schwerfällt. Es haben schon viele, scheinbar unmögliche Mittel zu großen wissenschaftlichen Erfolgen geführt. Was wissenschaftlichen Fortschritt fördert, ist eine Kontinuität der Forschung. Dank der Schaffung der Kommission für Atomwissenschaft und der vom Bund zur Verfügung gestellten Mittel ist ein wesentlicher Anfang dazu gemacht worden. Unter keinen Umständen darf diese Anstrengung wieder abreißen in der Meinung, daß nun der Nachholbedarf der Kernphysik gedeckt sei und sie mit den bis anhin üblichen Mitteln auskommen soll. Nur fortgesetzte Anstrengungen vermögen auch einen gewissen Erfolg zu garantieren.

Die Kernphysik der mittleren und kleinen Energien, die als Forschungsobjekt für unser Land im Vordergrund steht, bietet heute noch immer sehr interessante Forschungsaufgaben, die die grundlegende Frage der Kernkräfte betreffen. Ich möchte hier nur ein Beispiel erwähnen, das als Repräsentant mancher interessanter Projekte dienen muß. Es betrifft die Herstellung und Beschleunigung von polarisierten Teilchen für die Auslösung von Kernreaktionen. Polarisierte Teilchen besitzen einen parallel gerichteten Eigendrehimpuls. Sie vermögen Kernreaktionen mit Geschossen von bekannter Spinrichtung zu erzeugen. Da wir aus andern Untersuchungen wissen, daß die Kernkräfte von der Orientierung der Spins der reagierenden Nukleonen abhängen, geben uns polarisierte Teilchenquellen ganz neue Untersuchungsmöglichkeiten für die Kernmaterie. Erinnern wir uns der enormen Vorteile, die die Benützung des polarisierten Lichtes in der Bearbeitung optischer Phänomene brachte, so gibt uns dies ein Hinweis für die Vorzüge von polarisierten Teilchenquellen. Noch gesteigert wird die Bedeutung, indem diese Versuche den bisher so unfaß-



baren Kernkräften gelten. Ein praktischer Vorschlag zur Erzeugung polarisierter Teilchen stammt von CLAUSNITZER, FLEISCHMANN und SCHOPPER<sup>1</sup>.

Am CERN wird von KELLER<sup>2</sup> nach diesem Prinzip eine Anordnung gebaut, die aber wesentlich größere polarisierte Teilchenströme zu liefern imstande sein soll. In unserem Institut beschäftigt sich seit über einem Jahr ebenfalls eine Arbeitsgruppe mit diesem Problem. Wir haben uns zunächst darauf beschränkt, partiell polarisierte Teilchenströme herzustellen, was den apparativen Aufwand erheblich vereinfacht und dennoch interessante Versuchsmöglichkeiten gibt.

Damit komme ich zum Schluß. Der Titel meines Vortrages hat vielleicht in manchen von Ihnen die Vorstellung eines programmatischen Referates erweckt. Dies war keineswegs meine Absicht. Sie bestand vielmehr darin, Überlegungen eines an diesen Forschungen Beteiligten kundzutun. Meine Ansicht kristallisiert sich in der Feststellung, daß zu allererst Forscherpersönlichkeiten die Möglichkeiten der wissenschaftlichen Arbeit bestimmen und erst in zweiter Linie die gewählte Organisation. Sie soll ihnen vernünftige Arbeitsmöglichkeiten geben. In der Erhaltung und Förderung eines ausgezeichneten Nachwuchses – wobei die Qualität nicht auf Kosten der Quantität leiden darf – und der wirkungsvollen Unterstützung der bereits ausgewiesenen Forscher liegen die Chancen unseres Kleinstaates. Daß wir dank eines guten Schulsystems immer wieder genügend vorzügliche Leute finden, die an der Forschung großes Interesse besitzen, gibt unserem Land eine gute Basis zur Behauptung eines hohen wissenschaftlichen Niveaus. Dabei dürfen wir aber nicht die Lehrtätigkeit an den Universitäten und den Hochschulen vernachlässigen und sie lediglich als Störung für den Forschungsbetrieb auffassen. In einer Universität gehören Forschung und Lehre untrennbar zusammen, sich gegenseitig ergänzend und befruchtend.

---

<sup>1</sup> A. CLAUSNITZER, R. FLEISCHMANN und H. SCHOPPER, Z. f. Physik Bd. 144, S. 336, 1956.

<sup>2</sup> R. KELLER, CERN-Bericht 57-30.