Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 74 (1956)
Heft: 25

Artikel: Spezielle Ergebnisse der Neutronenphysik
Autor: Huber, P.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-62660

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

In Bild 4 ist das ganze Projekt, so wie es sich einem Betrachter im Jahre 1959 aus der Luft darstellen wird, gezeigt.

Die Aufgaben der Reaktor AG. können nur erfüllt werden, wenn in den höheren Schulen und Universitäten unseres Landes eine möglichst grosse Anzahl von jungen Schweizerbürgern als Physiker, Chemiker und Ingenieure in die Theorie der Kernphysik eingeführt werden und sich damit diejenigen Kenntnisse und Voraussetzungen erwerben, die für die Entwicklung und den Bau der neuesten Krafterzeugungsmaschinen notwendig sind. Neben der Beschaffung von Unterlagen für die Industrie besteht die Aufgabe der Reaktor AG. darin, bei der Ausbildung und Schulung dieser wichtigen Arbeitskräfte mitzuhelfen. Darüber hinaus ist ihr die Abklärung derjenigen Massnahmen und Vorkehren übertragen, die notwendig sind, um das Personal und die Bevölkerung vor den Auswirkungen und den Begleiterscheinungen der Atomenergie zu schützen sowie auch den Behörden diejenige Unterlagen zu liefern, die für eine zweckmässige und sinnvolle Ueberwachung zukünftiger Kraftwerke und Unternehmungen benötigt werden, die aus der Kernreaktion Energie gewinnen. Insbesondere erscheint es wesentlich, dass alles getan wird, die Ausnützung der Kernenergie auf privatwirtschaftlicher Basis aufzubauen und auch für die Zukunft zu erhalten.

Adresse des Verfassers: Dr. *R. Sontheim*, Direktor der Reaktor AG., Würenlingen.

Spezielle Ergebnisse der Neutronenphysik

DK 539.185

Von Prof. Dr. **P. Huber**, Basel

1. Einleitung

Die experimentelle Bestimmung von Reaktionsquerschnitten für Kernprozesse ist heute noch unerlässlich, da die bisherigen Kenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Nukleonen so mangelhaft sind, dass sie keineswegs eine Berechnung von Querschnitten ermöglichen [1]). Es ist umgekehrt sogar notwendig, dass die experimentell ermittelten Daten dem Theoretiker Anhaltspunkte liefern für die Ansätze zu einer theoretischen Beschreibung von Kernprozessen. Dabei erhalten die mit Neutronen erzielten Messungen eine besondere Bedeutung, weil hier wegen der fehlenden Coulombkräfte einfachere Wechselwirkungen vorhanden sind. Neutronen liefern aber experimentelle Schwierigkeiten, da sie sich schlecht abschirmen lassen und mit Hilfe von Kern-Reaktionen hergestellt werden müssen.

Das auffallendste Merkmal für die Wechselwirkung von schnellen Neutronen mit Kernen in Abhängigkeit von der Neutronenenergie ist das Auftreten von Resonanzen [2]). Von Kern zu Kern zeigen sich grosse Unterschiede. Im Resonanzgebiet, welches bei leichten Kernen unterhalb einiger MeV, bei schweren Kernen dagegen unter einigen 10^5 eV liegt, zeigen totaler und differentieller elastischer Streuquerschnitt [3]) grosse Aenderungen bei kleinen Verschiebungen der einfallenden Neutronenenergie. Zwei Beispiele sind auf den Bildern 1 und 2 dargestellt. Diese Aenderungen sind durch die Art des für die Resonanz verantwortlichen Zwischenkerns bestimmt. Abgesehen vom Schalenmodell, das wenige Resonanzen verständlich macht, ist heute noch keine Theorie imstande, diese Querschnittsverläufe, die man allgemein als Feinstruktur bezeichnet, befriedigend zu erklären. Benutzt man aber Neutronen mit einer so grossen Energieverschmierung ΔE, dass die Resonanzen nicht mehr einzeln aufgelöst werden, so zeigen die beobachteten Wirkungsquerschnitte nur noch langsame Aenderungen mit der Energie. Man spricht dann von der Grobstruktur der Resonanzen. Hier kommen

[1]) Schiesst man schnelle Teilchen auf Kerne, so werden Kernreaktionen ausgelöst. Zur Angabe der Häufigkeit einer bestimmten Reaktion dient ihr Wirkungsquerschnitt. Darunter versteht man eine den Kern umgebende Kreisfläche, die senkrecht zur einfallenden Teilchengeschwindigkeit gestellt wird. Ihre Fläche ist so bemessen, dass alle Teilchen, die die Kreisfläche treffen, Reaktionen vom betreffenden Typus auslösen. Wirkungsquerschnitte werden daher in cm^2 angegeben. Eine übliche Einheit ist 1 barn = 10^{-24} cm^2. Dies entspricht der Grössenordnung des geometrischen Querschnittes eines Kernes.

[2]) Als Resonanz wird die Eigenschaft bezeichnet, dass der Querschnitt einer Reaktion innerhalb eines bestimmten Energieintervalles einen buckelartigen Verlauf aufweist.

[3]) Elastische Reaktionen sind solche, bei denen der Kern nur Rückstossenergie, aber keine Anregungsenergie aufnimmt. Im totalen Querschnitt sind sämtliche möglichen Reaktionen enthalten. Der differentielle Querschnitt bezieht sich auf Reaktionen, für die das wegfliegende Teilchen den Kern in einer bestimmten Raumrichtung verlässt. Diese Querschnitte werden immer auf das Schwerpunktsystem der Reaktion bezogen.

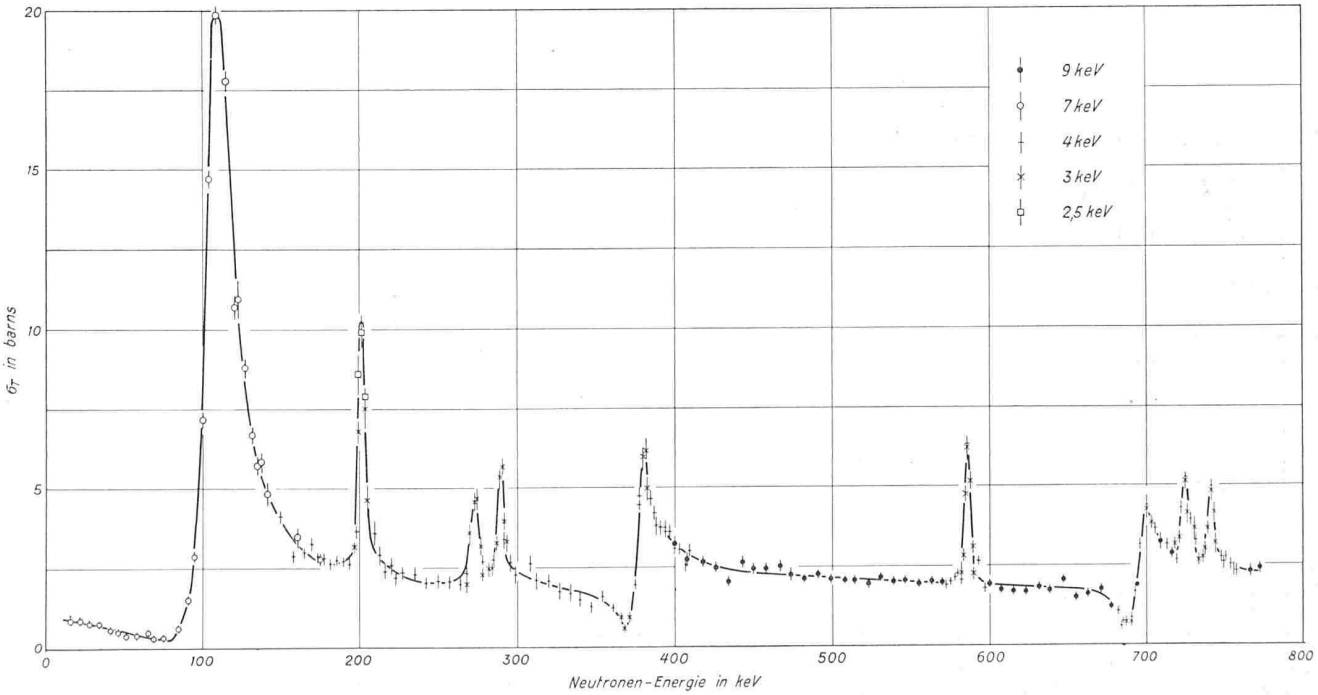


Bild 1. Totaler Wirkungsquerschnitt für Schwefel in Abhängigkeit von der Neutronenenergie. (Nach *R. E. Peterson, H. H. Barschall* und *C. K. Bockelman*, «Phys. Rev.» 79, S. 594, 1950).

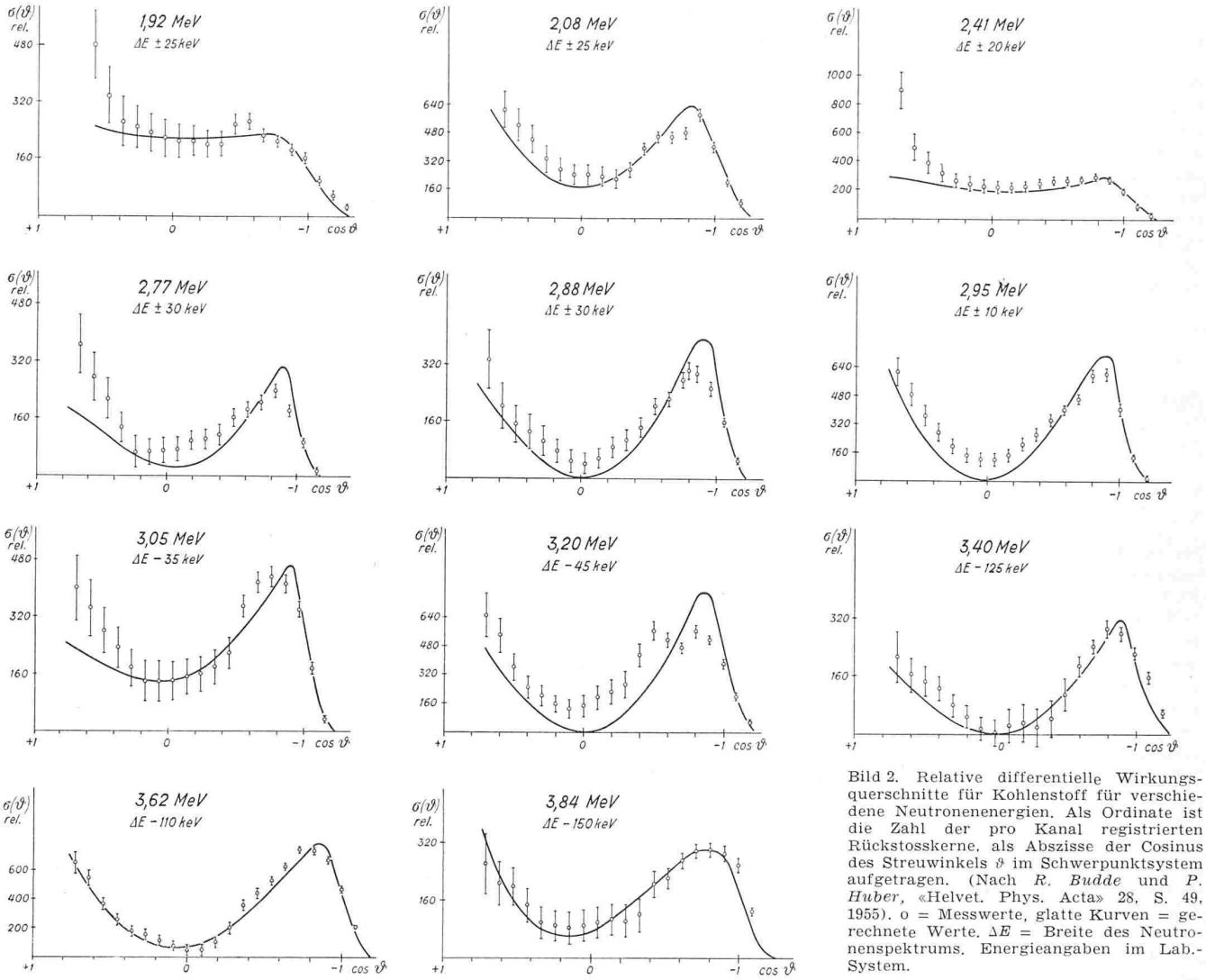
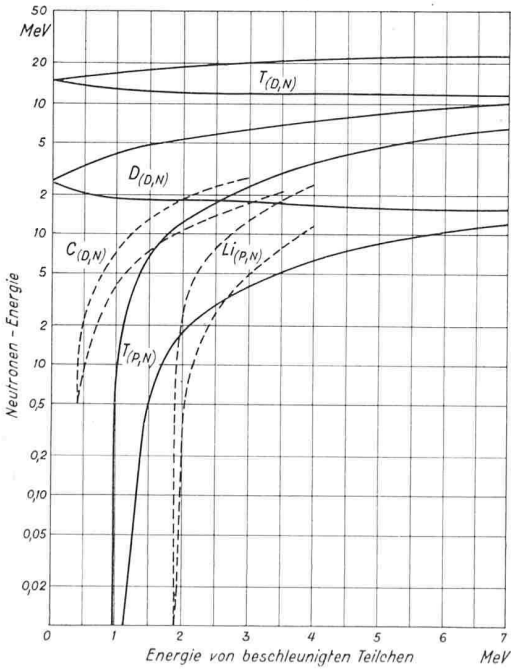


Bild 2. Relative differentielle Wirkungsquerschnitte für Kohlenstoff für verschiedene Neutronenenergien. Als Ordinate ist die Zahl der pro Kanal registrierten Rückstosskerne, als Abszisse der Cosinus des Streuwinkels ϑ im Schwerpunktsystem aufgetragen. (Nach *R. Budde* und *P. Huber*, «Helvet. Phys. Acta» 28, S. 49, 1955). o = Messwerte, glatte Kurven = gerechnete Werte. ΔE = Breite des Neutronenspektrums. Energieangaben im Lab.-System.

Mittelungen über die individuellen Kerneigenschaften zum Ausdruck. So weit die bisherigen Untersuchungen reichen, ändert sich die Grobstruktur in systematischer Art mit der Massenzahl des Targetkernes [4]), was als eine sehr interessante Feststellung angesehen werden muss.

[4]) Mit Targetkerne bezeichnet man die von den auffallenden Teilchen beschossenen Kerne.



2. Experimentelles zur Neutronenphysik

Nach den unter 1. gemachten Ausführungen stehen heute zwei Messanordnungen für Neutronen im MeV-Gebiet im Vordergrund: a) Messungen mit möglichst monochromatischen Neutronen, die es gestatten, Feinstrukturen zu bestimmen. b) Messungen mit verschmierter Neutronenenergie zur Festlegung der Grobstruktur. Es ist offensichtlich, dass die

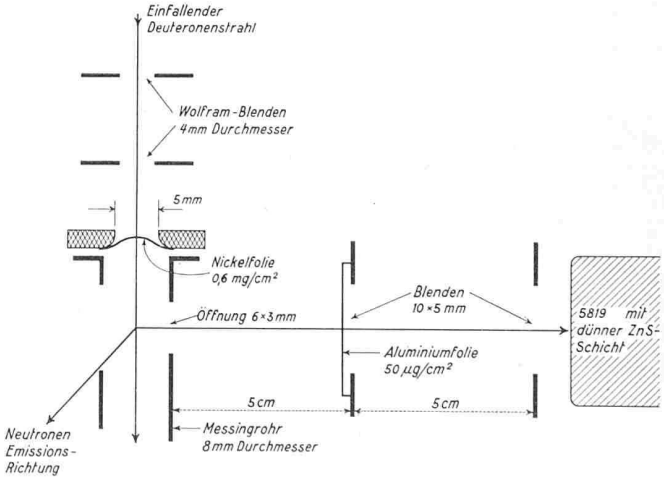


Bild 4. Schema der Koinzidenzanordnung

Bild 3 (links). Energiebereich der Neutronen aus verschiedenen Reaktionen in Funktion der Energie der auslösenden Teilchen. Zu jeder Reaktion sind zwei Kurven angegeben: Die obere entspricht emittierten Neutronen bei 0°, die untere bei 180° im Laborsystem. «Rev. of mod. Physics» 21, 1949, S. 336.

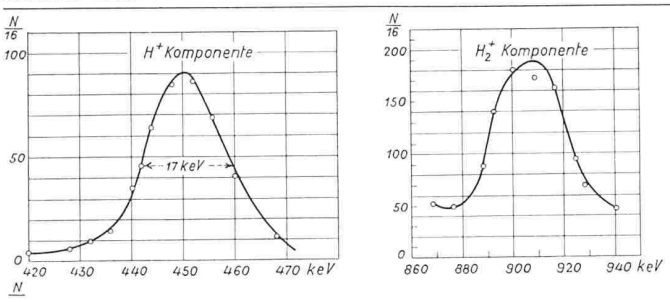


Bild 5. F (p, α) O^{16}-Resonanz unterhalb Ni-Folie (340 keV-Resonanz). Links Reaktion mit Protonen, rechts mit H_2^+-Molekülionen

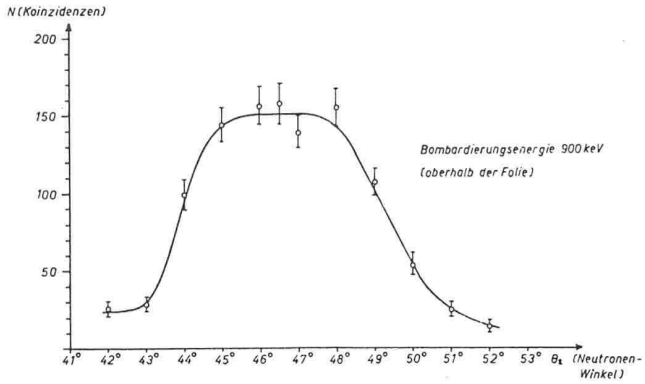


Bild 6. Neutronen-He^3-Koinzidenzen in Abhängigkeit vom Emissionswinkel der Neutronen

zweite Anordnung experimentell wesentlich leichtere Bedingungen stellt als die erste. Ich möchte hier eine Methode erläutern, die in Basel verwirklicht wurde und zur Herstellung von Neutronen von 3 bis 4 MeV mit Hilfe der (d,d)-Reaktion und einer Energiebreite von nur 15 keV dient [1]. Es liegt ihr eine Idee zu Grunde, die 1949 von *Hansen, Taschek* und *Williams* vorgeschlagen wurde. Mit Hochspannungsanlagen bis zu 2 MeV sind Neutronen im Energiegebiet von 2 bis 4 MeV nur mit Hilfe der (d,d)-Reaktion möglich (Bild 3). Die (d,d)-Reaktion [5]) als Neutronenquelle besitzt aber den unvermeidbaren Nachteil, dass neben der eigentlichen Target alle jene Teile des Beschleunigungsrohres Neutronenquellen darstellen, die von den Deuteronen getroffen werden. Diese Störquellen lassen sich ausschalten, wenn die Neutronen in Koinzidenz [6]) mit den He^3-Reaktionsprodukten der Target registriert werden. Die Koinzidenzanordnung macht es ausserdem möglich, durch den Oeffnungswinkel der He^3-Kerne die Energie der Neutronen festzulegen, da durch die Richtung des He^3-Kernes Richtung und Energie des entsprechenden n-Partners eindeutig bestimmt sind. Bild 4 zeigt schematisch die ausgeführte Anordnung. Um den He^3-Zähler weitgehend von anderen Teilchen zu schützen, die die zufälligen Koinzidenzen erhöhen würden, ist eine D_2-Gastarget gewählt worden. Ausserdem wählte man die Beobachtungsrichtung für die He^3-Kerne rechtwinklig zum einfallenden Strahl. Die am Targetgas gestreuten Deuteronen haben so unter 90° keine Energie und werden vom He^3-Zähler nicht registriert. Der Oeffnungswinkel für den He^3-Zähler wird durch zwei Blenden festgelegt. Eine dritte dient zur Verminderung der Mehrfachstreuung. Der He^3-Zähler besteht aus einer dünnen ZnS-Schicht, die sich auf der Oberfläche eines RCA-5819 Multipliers [7]) befindet. Der ganze Raum zwischen Target und He^3-Zähler ist mit Deuteriumgas gefüllt, da es wenig aussichtsreich war, für die He^3-Teilchen durchlässige Folien zu machen, die auch noch genügend Druck aushalten. Gegen das Beschleunigungsrohr zu ist die Target durch eine 0,5 mg/cm² dicke Ni-Folie abgeschlossen. Die Oeffnung besitzt einen Durchmesser von 5 mm. Die Folien halten Drücke aus bis 0,2 at und vertragen bei 1 MeV Ströme bis zu 8 μA, ohne durchzubrennen. Im Betrieb werden gewöhnlich Ströme von 5 μA und Gasdrücke von 3 cm Hg benutzt. Das Bremsvermögen der benutzten Ni-Folien wird mit Hilfe von γ-Resonanzen der F^{19} (p, α) O^{16*} Reaktionen bestimmt, indem die Resonanzen oberhalb und unterhalb der Folien gemessen werden (Bild 5). Bei 1 MeV Deuteronen-Energie beträgt der Energieverlust der Deuteronen für die benutzten Folien etwa 90 keV und das Straggling etwa 6 keV.

Es ist unerlässlich, den He^3-Zähler gegen Licht aus dem Targetraum abzuschirmen. Dies wird mit Hilfe einer lichtdichten Al-Folie von 0,05 mg/cm² Dicke erreicht. Durch dieses Hindernis und das Targetgas wird bei 1 MeV Deuteronenenergie die He^3-Energie am Ort des Zählers auf etwa 100 keV reduziert.

Der Nachweis der Neutronen geschieht mit einer Sintilon-Plastik und einem RCA-Multiplier 5819. Der Neutronenzähler ist auf einem beweglichen Gestell montiert, dessen Drehachse durch das Zentrum der Gastarget führt. Die Energiebreite des Neutronenstrahles beruht auf folgenden Ursachen: *a)* Energiebreite der in die Gastarget einfallenden Deuteronen, *b)* Reaktionsort in der Gastarget, *c)* Emissionswinkel der Neutronen. Tabelle 1 zeigt die berechnete Energieverschmierung ΔE der Neutronen für verschiedene Deuteronenenergien E_1°. Unter den verwendeten Bedingungen beträgt sie etwa 10 keV. Ebenfalls angegeben ist die theoretisch berechnete totale Zahl N_2 der Koinzidenz-Neutronen. Man stellt fest, dass sich keine intensive Neutronenquelle ergibt. Wie unsere Erfahrung gezeigt hat, kann sie aber sehr gut gebraucht werden für Transmissionsexperimente mit gutem Auflösungsvermögen.

Die Anlage ist seit etwa acht Monaten in Betrieb. Bild 6 zeigt die Koinzidenzzahl in Abhängigkeit des Neutronenemissionswinkels bei fester He^3-Richtung. Wie zu erwarten war, lassen sich Koinzidenzen nur in einem beschränkten Winkelintervall beobachten. Die Halbwertsbreite des Koinzidenzbereiches beträgt etwa 5°. Die beobachtete Kurve kann als Abbildung der den He^3-Strahl bestimmenden Blenden im «Neutronenraum» betrachtet werden.

Folgende Zahlenangaben geben eine Vorstellung der erreichten Verhältnisse: Bei einer Deuteronenenergie von 700 keV, einem Strom von 5 μA und einem D_2-Druck von 3,5 cm Hg betragen die Koinzidenzimpulse 1 s^{-1}. Dies entspricht nach den berechneten Koinzidenzneutronen einer Empfindlichkeit der gesamten Zählanordnung von etwa 7 %. Es sollte möglich sein, durch Vergrösserung und Verbesserung des Neutronenzählers die Koinzidenzimpulse noch etwa um einen Faktor 10 zu erhöhen. Die Zahl der zufälligen Koinzidenzen ergibt sich unter diesen Bedingungen zu etwa 5 % der wahren Koinzidenzen.

3. Transmissionsexperimente an N^{15}

Mit Hilfe der monochromatisierten Neutronen der (d, d)-Reaktion ist nun ein Programm im Gange, das die Messung von totalen Neutronen-Wirkungsquerschnitten — und insbesondere solche von Isotopen-Kernen — zum Ziele hat. Mit Ausnahme der Wasserstoffisotope sind heute noch keine totalen Querschnitte an reinen Isotopen der leichten Elemente bestimmt. Unsere Messungen haben wir begonnen mit N^{15}, der uns von der Eastman Kodak zu 63 % angereichert geliefert wurde. Total stehen 5,44 g N^{15} zu Verfügung. Zur

[5]) Die (d,d)-Reaktion ist eine Reaktion zwischen Deuteronen mit den beiden Möglichkeiten

$$D_1^2 + D_2^2 \rightarrow He_2^3 + n_0 \text{ und } D_1^2 + D_1^2 \rightarrow H_1^3 + H_1^1.$$

[6]) Als Koinzidenz bezeichnet man das gleichzeitige Eintreffen eines Neutrons im Neutronenzähler und eines He^3-Rückstossteilchens im He^3-Zähler. Die Koinzidenzanordnung besteht in einer elektronischen Schaltung, die es gestattet, dieses gleichzeitige Eintreffen der beiden Partner zu registrieren.

[7]) Der RCA-5819 Multiplier ist ein von der Radio Corporation of America gelieferter Elektronenvervielfacher mit Photokathode.

Tabelle 1. Variation der Energiebreite der Neutronen (Δ E) und der Intensität der Koinzidenz-Neutronen (N_2) mit der Deuteronen-Energie (E_1°). D_2-Gasdruck in der Target 0,05 at.; Deuteronenstrom 10 μ Amp.

E_1° MeV	ΔE keV	N_2 Neutronen/sec
1,0	9,6	90
0,8	8,7	72
0,6	7,7	57
0,4	8,4	41
0,2	9,6	22

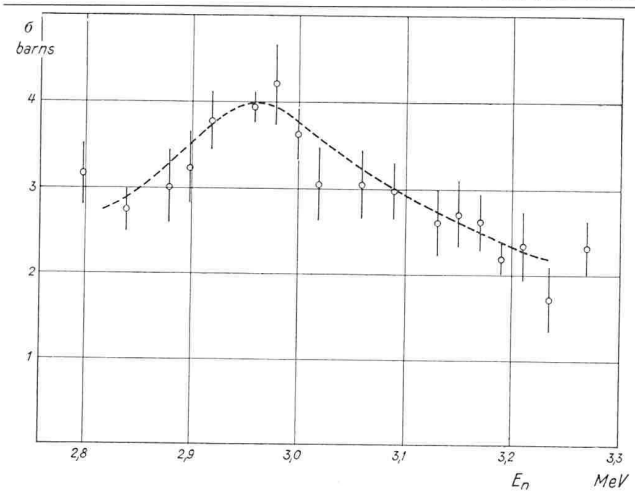


Bild 7. Totaler Wirkungsquerschnitt von N^{15} in Abhängigkeit der Neutronenenergie. (Nach *E. Baumgartner, W. Franzen, P. Huber, L. Schellenberg* und *F. Seiler.*)

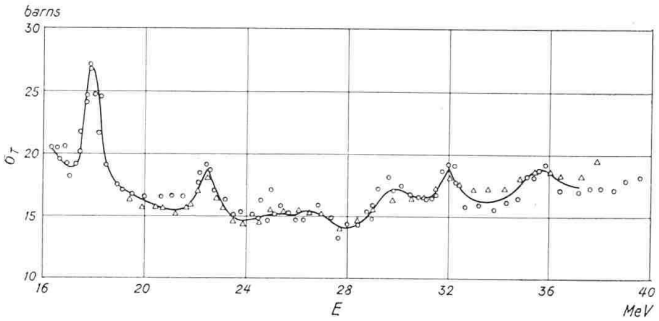


Bild 8. Totaler Wirkungsquerschnitt von N^{14} (nach «Neutron Cross-section» 1955). Die Kreise betreffen Messungen im Oak Ridge National Laboratory, die Dreiecke solche von *Meier, Ricamo, Scherrer* und *Zünti*, «Helv. Phys. Acta» 26, S. 451, 1953

Bestimmung des totalen Querschnittes benutzen wir die Transmissionsmethode. Dazu wird das Gemisch $N^{14} + N^{15}$ in einen dünnwandigen Stahlzylinder eingefüllt, dessen Länge 30 cm und dessen Durchmesser 1,3 cm betragen. Der Durchmesser musste so klein als möglich gehalten werden, damit mit der zur Verfügung stehenden kleinen Gasmenge im Absorbergefäss ein genügend grosser Druck erreicht wird, der eine gut messbare Transmission ergibt. Im Absorberrohr beträgt der Druck 185 at. Der relativ kleine Durchmesser des Stahlgefässes verlangt eine gute Zentrierung von Neutronenquelle, Absorber und Neutronenzähler. Die gesamte Anordnung wurde optisch justiert. Drei Messungen sind notwendig zur Querschnitt-Bestimmung von N^{15}. Bezeichnen Z_G die Zählrate mit dem Stickstoffgemisch in Position, Z_{St} jene, bei der nur der N^{14}-Gehalt des Gemisches und ein identischer Stahlzylinder als Absorber wirken, und Z_0 den Neutronenuntergrund, der mit Hilfe eines Plexiglasabsorbers bestimmbar ist, so gilt

$$\sigma(N^{15}) = \frac{1}{nt} \ln \frac{1}{T}$$

Darin bedeuten $T = \frac{Z_G - Z_1}{Z_{St} - Z_2}$, nt = Gesamtzahl der N^{15}-Kerne pro cm² im Absorber und Z_1 und Z_2 die zufälligen Koinzidenzen für die Messung am Gemisch, bzw. an N^{14}. Sie lassen sich aus Z_0 und den Stosszahlen des Neutronenzählers während der betreffenden Messung berechnen. T wird als Transmission bezeichnet. Um die drei Messgrössen Z_G, Z_{St} und Z_0 kurz nacheinander messen zu können, wurde ein automatischer Probenwechsler gebaut, der es erlaubt, aufeinanderfolgend je eine Minute die verschiedenen Z-Werte zu bestimmen. Durch einen Steuerimpuls vom Messraum aus kann die Probe um eine Stellung gewechselt werden. Die Messung dauert für eine Neutronenenergie etwa elf Minuten, wobei die verschiedenen Z-Werte nacheinander mehrmals gemessen werden, um einerseits den statistischen Fehler klein zu halten, anderseits eventuelle Aenderungen in der Neutronenintensität auszugleichen. Die folgenden Zahlenwerte illustrieren eine Messreihe für eine Neutronenenergie E_n = 3,15 MeV:

Z_G	Z_{St}	Z_0	T
284	425	19	0,653

Bild 7 zeigt die ersten Messergebnisse. Sie sind insofern bemerkenswert, als im Vergleich zu N^{14} (Bild 8) und benachbarter Kerne die totalen Wirkungsquerschnitte wesentlich grössere Werte aufweisen. Es wäre möglich, dass in diesem Gebiet bereits eine hohe Zahl von nicht auflösbaren Resonanzen existierte, oder dass die Potentialstreuung grosse Werte annähme. Die erste Voraussetzung ist aber sicher nicht erfüllt. Bei der von uns benutzten Neutronenenergie sind wir nur 5 MeV über dem Grundzustand von N^{16}, so dass die Dichte der Resonanzen noch klein ist. Der mittlere Abstand zweier Niveaus ist bestimmt grösser als die benutzte Energiebreite der Neutronen von etwa 18 keV. Die Potentialstreuung ist gegeben durch

$$\sigma_1 = 4\pi \lambda_n^2 \sum_l (2l+1) \sin^2 \delta_l$$

Es ist kaum anzunehmen, dass sie grösser ist als im Falle der Nachbarkerne N^{14} und O^{16}. Die beste Annahme ist die einer breiten Einteilchenresonanz mit einem Bahndrehimpuls l = 2 oder 3.

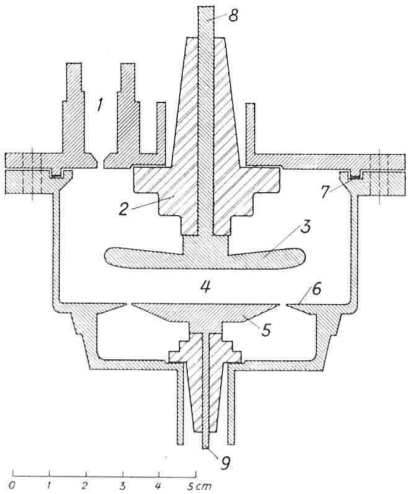


Bild 9. Plattenionisationskammer für die Messungen der *(n, α)*-Reaktionen an O^{16}, Masstab 1:2

Legende zu Bild 9 (links)
1 Nadelventil
2 Hochspannungsisolator aus Steatit (mit Araldit gekittet)
3 Hochspannungsplatte (positiv)
4 Zählvolumen
5 Auffängerplatte
6 Schutzring
7 Bleidichtung
8 Hochspannungsdurchführung (mit aufschraubbarem Stecker)
9 Durchführung zum Verstärker

Legende zu Bild 11 (rechts)
1 Richtung der einfallenden Neutronen
2 Hochspannungselektrode
3 Polyäthylenschicht
4 Poloniumpräparat
5 Glasisolatoren
6 Gitter
7 Sammelelektrode
8 Durchführung zum Vorverstärker
9 Hochspannungsdurchführung
10 Steatit-Isolation
11 Bleidichtung

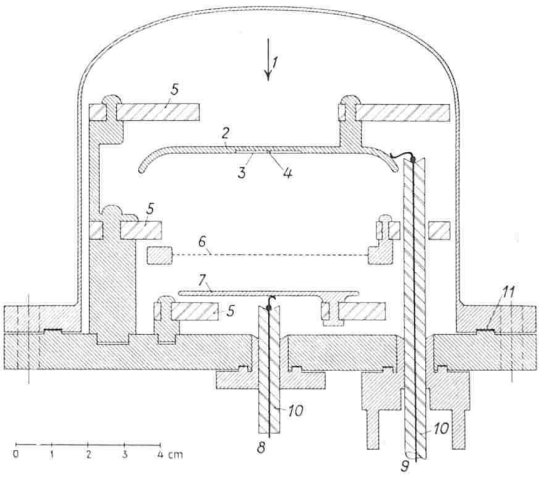


Bild 11. Schnitt durch die Wasserstoffrückstosskammer, Masstab 1:2

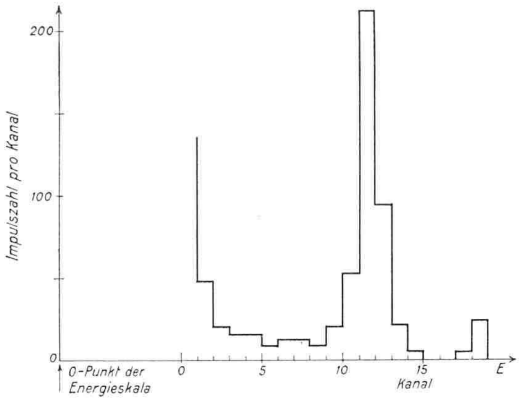
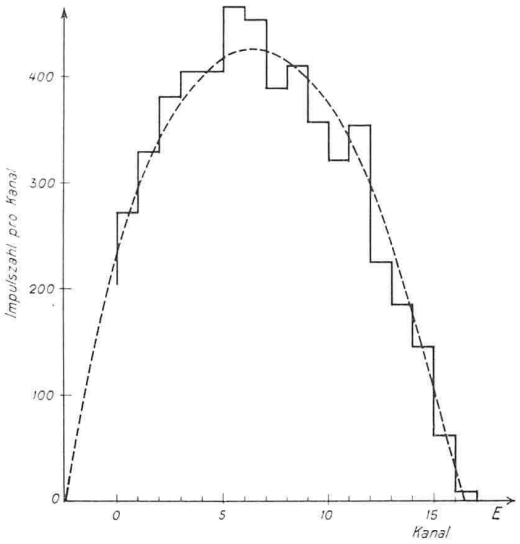


Bild 10 (links). Impulsspektrogramm der O^{16} (n, α) C^{13}-Reaktion bei 4,11 MeV Neutronenenergie. Jeder Knanal entspricht einer bestimmten Energie

Bilder 10, 12 und 13 nach *J. Seitz* und *P. Huber*

Bild 12 (rechts). Theoretisches (gestrichelte Kurve) und experimentell bestimmtes (Stufenkurve) H-Rückstosspektrum



4. O^{16} (n, α) C^{13}-Reaktion im Energiegebiet 3,6 bis 4,2 MeV

Im Folgenden möchte ich einiges ausführen über Teilchenreaktionen, was anhand der O^{16} (n, α)-Reaktion geschehen soll [2]. Ueber diese Reaktionen war bisher nur ein einziger Querschnitt bei $E_n = 14{,}1$ MeV bekannt: $\sigma(n, \alpha) = 310$ mb. Für praktische Zwecke ist die Kenntnis dieses Querschnittes nützlich, wenn Wasser als Moderator für schnelle Neutronen dient. Die (n, α)-Reaktion in O^{16} ist z. B. dafür verantwortlich, dass Quellstärkebestimmungen von Ra-Be-Neutronenquellen zu verschiedenen Resultaten führen, je nachdem Wasser oder Paraffinöl als Moderator Verwendung finden. Mit Wasser wird ein um 2,5 % kleinerer Wert gefunden als im Paraffin. Die gemessenen Wirkungsquerschnitte stehen im Einklang mit diesem Unterschied.

Die (n, α)-Reaktion wird in einer mit Sauerstoff gefüllten Ionisationskammer (Bild 9) ausgelöst. Die Kammer wird mit 99,96prozentigem Sauerstoff bei einem Gasdruck von 2886 ± 5 mm Hg gefüllt. Das Kammervolumen ist ebenfalls auf 2 % genau bekannt. Die Neutronen entstammen der (d, d)-Reaktion, die an dünner D_2O-Eisschicht ausgelöst wird. Das Neutronenspektrum weist eine Breite von etwa 40 keV auf. Die von der (n, α)-Reaktion erzeugten elektrischen Impulse werden verstärkt und in einem 19-Kanal-Impulsspektograph registriert. Bild 10 zeigt ein Impulsspektrogramm bei einer Neutronenenergie von 4,11 MeV. Die gut ausgeprägte Gruppe entspricht den (n, α)-Reaktionen, der Anstieg bei kleiner Energie den Sauerstoff-Rückstosskernen. Aus diesem Spektrogramm und einer Korrektion wegen des Randeffektes kann die absolute Zahl der erzeugten Reaktionen ermittelt werden.

Um hieraus den Wirkungsquerschnitt zu erhalten, muss die Anzahl der pro Zeiteinheit auf die Kammer einfallenden Neutronen noch bekannt sein. Diese bestimmen wir mit Hilfe einer Wasserstoffrückstosskammer, wobei als Radiator eine dicke Schicht von Polyäthylen benutzt wird. Wasserstoff als Radiator ist am geeignetsten, da der Querschnitt für die benutzten Neutronenenergien ziemlich gross und bis auf 1 bis 2 % genau bekannt ist.

Für den Nachweis der Rückstossprotonen verwendeten wir die in Bild 11 angegebene Ionisationskammer. Ihre Hauptbestandteile sind die Hochspannungsplatte 2, auf der sich eine dicke Schicht 3 aus Polyäthylen (C_nH_{2n}) befindet, ein Gitter 6 für Elektronensammlung und die Sammelelektrode 7. Alle Isolationen bestehen aus Glas. Elektronensammlung wird benutzt, um hohe Zählgeschwindigkeiten zu ermöglichen. Da die Beziehung zwischen Reichweite und Energie der Protonen in Polyäthylen bekannt ist, lässt sich das Spektrum der im Radiator ausgelösten Protonen berechnen, und damit kann das einwandfreie Funktionieren der Kammer kontrolliert werden. Legen wir die gut verifizierte Gleichung für die Energie-Reichweite für C_nH_{2n}

$$R(E) = R(E_n)\left(\frac{E}{E_n}\right)^{\frac{7}{4}}$$

zu Grunde, so ergibt sich das Protonenspektrum zu

$$W(E) = \text{konst}\left(\frac{E}{E_n}\right)^{\frac{3}{4}}\left[1 - \left(\frac{E}{E_n}\right)^{\frac{3}{2}}\right],$$

wo E_n die maximale Neutronen- und damit auch Protonen-Energie bedeutet. Für die Anzahl A der in der Kammer pro Zeiteinheit registrierten Impulse im Energiebereich von 0 bis E_n ergibt sich hieraus die einfache Beziehung

$$A = \int_0^{E_n} W(E)\,dE = \frac{24}{91}\cdot \text{konst}\cdot E_n = \frac{4}{13}\,\nu\, n\, F\, R(E_n)\,\sigma_s(E_n)$$

Darin bedeuten

ν = Neutronenfluss
n = Anzahl Atomkerne pro cm^3 der Radiator-Substanz
F = Fläche des Radiators
$\sigma_s(E_n)$ = Totaler Streuquerschnitt für Wasserstoff bei der Neutronenenergie E_n
$R(E_n)$ = Maximale Reichweite der Protonen im Radiator.

Die Formel für A zeigt, dass mit Hilfe der Rückstosskammer der Neutronenfluss genau bestimmt werden kann. Bild 12 gibt als Stufenkurve ein Energiespektrum der Protonen für eine Neutronenenergie $E_n = 3{,}65$ MeV wieder. Die gestrichelte Kurve entspricht dem berechneten Verlauf.

Noch einige Angaben über die Kammer: Die Polyäthylenschicht ist $5 \cdot 10^{-2}$ cm dick und misst 1,8 cm im Durchmesser. Die Folie ist mit einer dünnen (etwa $3 \cdot 10^{-7}$ cm dicken) Silberschicht versehen, die störende Oberflächenladungen verhindert. Vor jeder Füllung wird die Kammer bei 120° C während 12 Stunden evakuiert, mehrmals mit reinem Argon gespült und schliesslich mit 10 ata reinem Argon (99,8 %), dem 2 % CO_2 zugefügt wird, gefüllt.

Die Wasserstoff-Rückstosskammer ist räumlich ziemlich ausgedehnt. Dieser Umstand macht es unmöglich, dass der

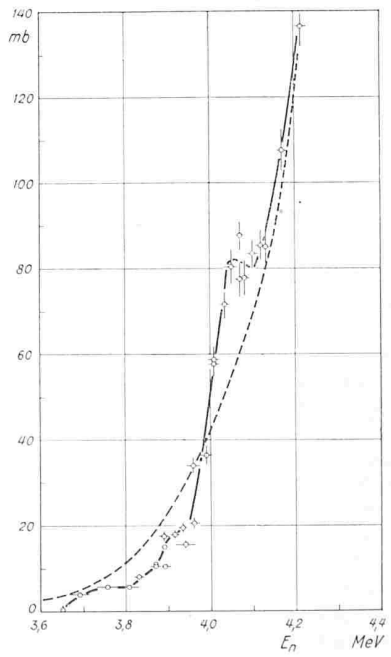


Bild 13. Wirkungsquerschnitt für die O^{16} (n, α) C^{13}-Reaktion.
——— gemessener Wirkungsquerschnitt
– – – Durchdringungswahrscheinlichkeit des α-Teilchens durch die Coulomb-Barriere des Kernes

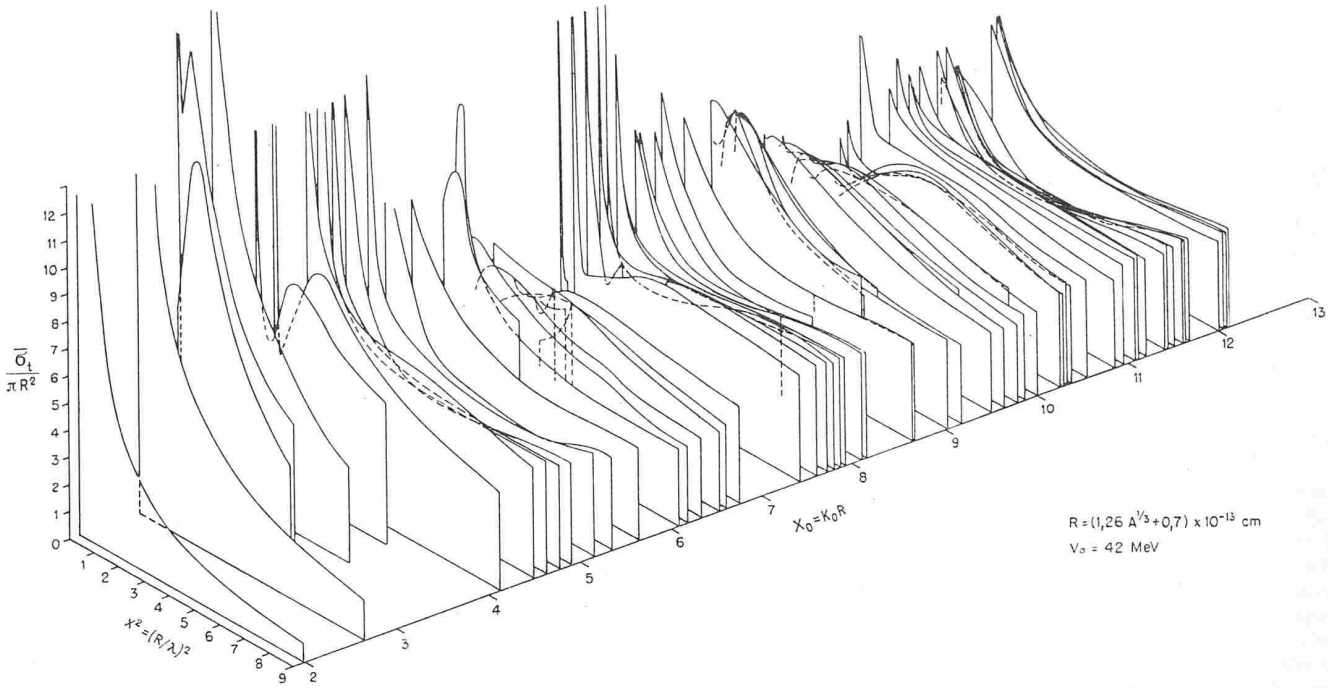


Bild 14a. Grobstruktur des totalen Querschnittes für verschiedene Kerne und Neutronenenergien (nach Barschall und Mitarbeiter, «Peaceful uses of atomic energy» 1955 Vol. 2, S. 26)

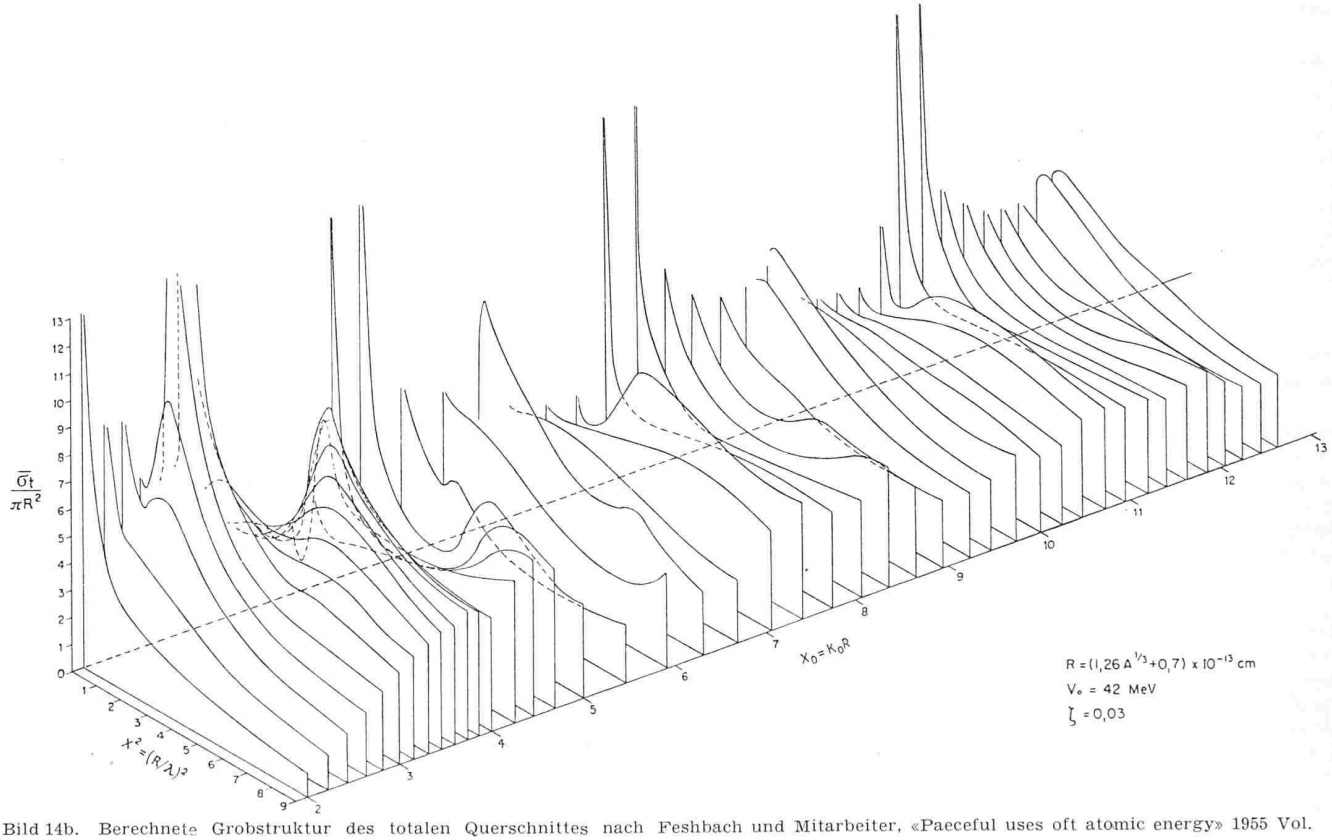


Bild 14b. Berechnete Grobstruktur des totalen Querschnittes nach Feshbach und Mitarbeiter, «Paeceful uses oft atomic energy» 1955 Vol. 2, S. 26)

Neutronenfluss gleichzeitig mit den Reaktionen bestimmt werden konnte. Wir haben deshalb mit der Rückstosskammer zunächst einen Hornyak-Zähler (das ist ein Lucit-ZnS-Szintillationszähler) absolut geeicht. Dieser Zähler lässt sich sehr klein ausführen und direkt auf der Ionisationskammer anbringen, so dass sich mit seiner Hilfe der Neutronenfluss am Ort der Ionisationskammer feststellen lässt. Die Empfindlichkeit des von uns benutzten Hornyak-Zählers steigt langsam mit der Neutronenenergie an und beträgt bei 4 MeV etwa 5 %.

Bild 13 zeigt die gemessenen Wirkungsquerschnitte der (n, α)-Reaktion. Eingezeichnet sind die Messpunkte mit den statistischen Fehlern und der jeweiligen Breite des Neutronenspektrums. Der Q-Wert der Reaktion beträgt $Q = -2{,}2$ MeV. Der allgemeine Verlauf der σ-Kurve legt die Vermutung nahe, dass er im hier untersuchten Energiegebiet im wesentlichen von der Coulomb-Barriere des emittierten α-Teilchens bestimmt ist. Es wurde die Durchdringungswahrscheinlichkeit des α-Teilchens berechnet unter der Annahme, dass die Emission des α-Teilchens mit dem Drehimpuls $l = 0$ erfolge und der Radius des C^{13}-Kernes $R = (1{,}2 \cdot A^{1/3} + 1{,}2)\,10^{-13}$ cm betrage. Die punktierte Linie gibt diesen Anstieg wieder. Die σ-Kurve zeigt ausserdem bei 3,90 und 4,05 MeV je eine Resonanzstelle. Sie müssen angeregten Zuständen von O^{17} ent-

sprechen, da die Uebergänge in den Grundzustand von C^{13} erfolgen.

5. Grobstrukturen

Die bisherigen Messungen haben sich ausnahmslos mit Feinstrukturen der Kerne abgegeben. Wie ich anfangs sagte, lassen sich heute nur wenige Eigenschaften theoretisch erörtern, die mit Feinstrukturproblemen zusammenhängen. Zum Schluss möchte ich noch kurz berichten über interessante Messungen an Grobstrukturen. Prof. *H. Barschall* und seine Mitarbeiter haben zuerst systematische Untersuchungen von Grobstrukturen ausgeführt. Bild 14a zeigt totale Wirkungsquerschnitte [3] dividiert durch die geometrische Querschnittsfläche des Kernes in Funktion der Kernradien R und der Energie E. Die Energie ist angegeben in einem relativen Mass

$$X^2 = \frac{R^2}{\lambda^2} = R^2 \frac{2m}{\hbar^2} E .$$

Im Gegensatz zu den individuellen Einzelresonanzen zeigen sich hier nur langsame Aenderungen sowohl als Funktion der Energie als auch von Kern zu Kern. Man ist sogar versucht, zu sagen, dass gewisse benachbarte Kerne eine ähnliche Grobstruktur aufweisen. Aehnliche Erscheinungen zeigen sich auch für die Grobstrukturen von differentiellen Querschnitten. Bild 15a zeigt Messungen von *Walt* und *Barschall* [4] für Grobstrukturen der elastischen differentiellen Querschnitte in Abhängigkeit des Atomgewichtes der Kerne für 1 MeV. Auch hier zeigt sich, dass Elemente mit ähnlichem Atomgewicht ähnliche differentielle Querschnitte aufweisen. Mit zunehmendem Atomgewicht werden die Kurven komplizierter, das Maximum für kleine Streuwinkel steigt an und das zweite Maximum verschiebt sich gegen kleinere Streuwinkel. Aehnliche Verhältnisse zeigen sich auch bei hohen Neutronenenergien.

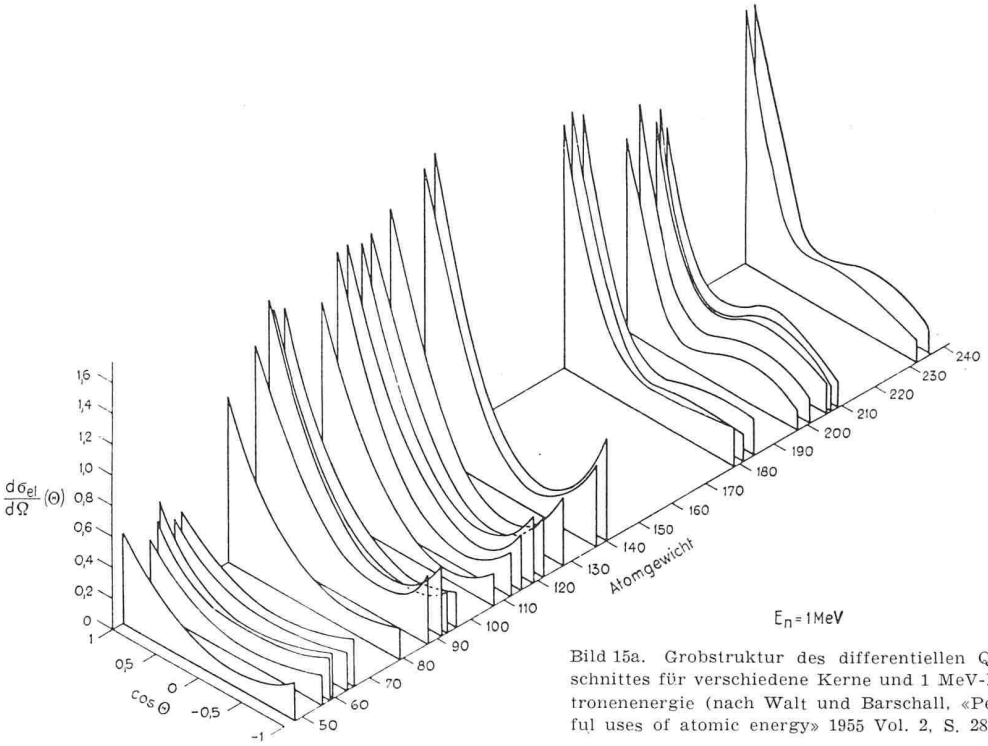


Bild 15a. Grobstruktur des differentiellen Querschnittes für verschiedene Kerne und 1 MeV-Neutronenenergie (nach Walt und Barschall, «Peaceful uses of atomic energy» 1955 Vol. 2, S. 28)

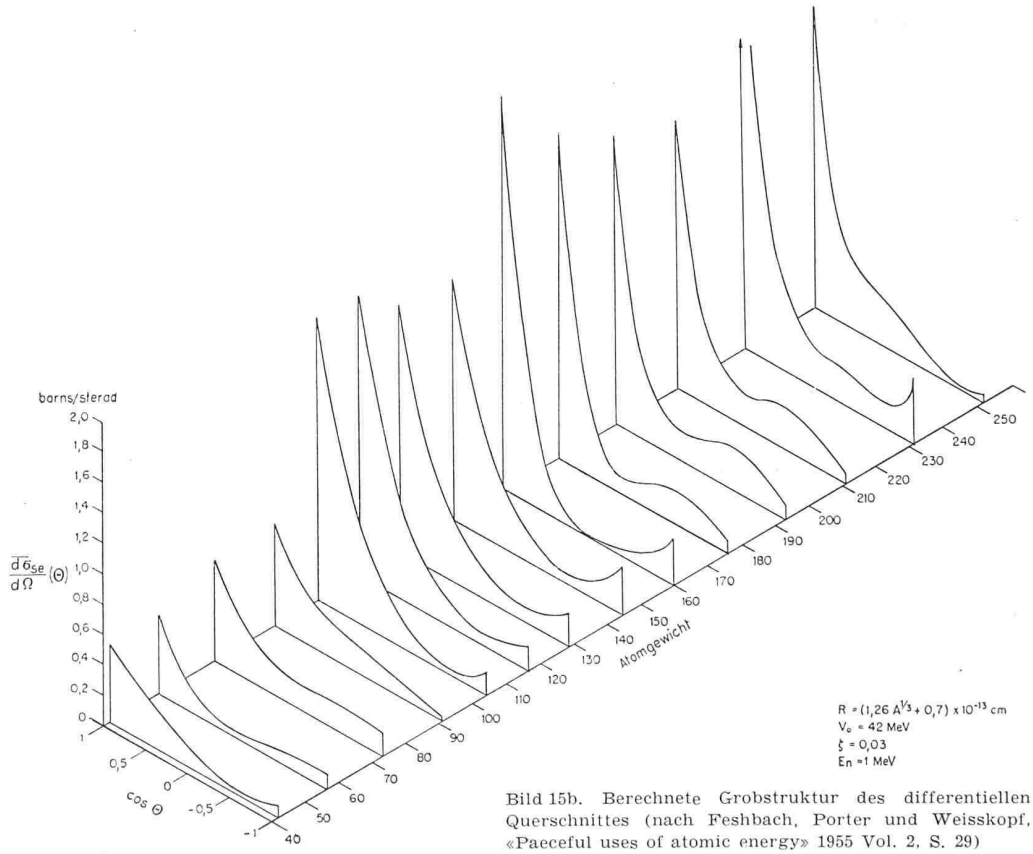


Bild 15b. Berechnete Grobstruktur des differentiellen Querschnittes (nach Feshbach, Porter und Weisskopf, «Paeceful uses of atomic energy» 1955 Vol. 2, S. 29)

Feshbach, Porter und *Weisskopf* [5] haben auf Grund eines optischen Kernmodelles die Grobstruktur zu berechnen versucht. Es besteht in einem komplexen Ansatz für das Kernpotential:

$$V = V_0 (r) + i V_1 (r).$$

Die oben angeführten Autoren haben als erste erkannt, dass durch ein solches einfaches Potential nicht die wirklichen Querschnitte, sondern Mittelungen über viele Resonanzzustände, d. h. die Grobstruktur der Querschnitte erhalten wird. Ihre Ergebnisse sind in den Bildern 14b und 15b wiedergegeben, wobei für die Konstanten folgende Werte gewählt wurden (R = Kernradius):

$$V_0 = -42 \text{ MeV} \qquad \text{für } r < R$$
$$V_0 = 0 \qquad r > R$$
$$V_1 = 0{,}03 \cdot V_0$$
$$R = (1.26\, A^{1/3} + 0{,}7) \cdot 10^{-13} \text{ cm.}$$

Die Rechnungen geben im allgemeinen Verlauf den experimentellen Gang der σ_t-Kurven überraschend gut wieder (Bild 14b). In Einzelheiten dagegen gibt es grössere Abweichungen. Dies war auch für dieses einfache Modell zu erwarten. Berechnungen sind von *Weisskopf* im Gange, bei

denen das Kastenpotential durch ein mehr abgerundetes Potential ersetzt wird, was sicher der Wirklichkeit besser entspricht.

Das oben Gesagte gilt auch für die Uebereinstimmung von Experiment und Theorie für die Grobstruktur der differentiellen Querschnitte (Bild 15b). Qualitativ ist auch hier die Uebereinstimmung sehr gut.

Abschliessen möchte ich mit einer Bemerkung von Wigner [6]: In view of the repeated success of the complex potential representation, it is natural to seek a deeper understanding of it, that is to determine what it is a substitution for; one would like be able to relate the imaginary part of the potential to the internucleon interactions, the density of nucleons etc.

Obwohl die bisherigen Erfolge sehr schön sind, braucht es noch manche Anstrengungen, bis wir sagen dürfen, dass die Kernstruktur verstanden sei. Die Kernphysik der kleinen Energien hat auch in der Zukunft aktuelle Probleme zu erforschen.

Literaturverzeichnis:

[1] W. Franzen, P. Huber und L. Schellenberg, «Z. f. Naturforschung» 10a, 11, 1955.
[2] J. Seitz und P. Huber, «Helvetica physica acta», 28, 227, 1955.
[3] «Peaceful uses of atomic energy» 1955, Vol 2, S. 26.
[4] «Peaceful uses of atomic energy» 1955, Vol 2, S. 28.
[5] «Peaceful uses of atomic energy» 1955, Vol 2, S. 23.
[6] A. M. Lane, R. G. Thomas and E. P. Wigner, «Phys. Rev.» 98, 693, 1955, Giant Resonance Interpretation of the Nucleon-Nucleons Interaction

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *P. Huber*, Vorsteher des Physikalischen Institutes der Universität Basel, Klingelbergstrasse 82, Basel.

Die Hundertjahrfeier des VDI in Berlin

DK 061.2

Es war ein grosses Wagnis, eine so bedeutende Vereinsversammlung im zerteilten und gefährdeten Berlin anzuberaumen, bei der weitaus die meisten Teilnehmer aus dem Westen einreisen mussten. Trotzdem kamen rd. 4000 Ingenieure in Berlin zusammen, und es zeigte sich, dass die Feier dank der hervorragenden Organisation reibungslos und zur vollen Zufriedenheit aller Beteiligten durchgeführt werden konnte. Programmgemäss fand am Freitag, den 11. Mai, eine Mitgliederversammlung statt, an der der Direktor des VDI den Geschäftsbericht verlas. Unter den Ereignissen des abgelaufenen Jahres ist die Aufnahme einer neuen Satzung durch die Mitgliederversammlung in Münster (s. SBZ 1955, Nr. 29) am bedeutendsten, in der der Zweck des VDI den heutigen Begebenheiten entsprechend ausführlicher als bisher umrissen worden ist. Neben der Pflege der Beziehung zu den geistigen Kräften anderer Bereiche menschlichen Schaffens sind in der neuen Satzung die Förderung der Forschung, die Pflege der Gemeinschaftsarbeit und des Erfahrungsaustausches, die Schaffung anerkannter Regeln der Technik, die Mitwirkung im Bildungswesen, die Fortbildung der Ingenieure und die Hebung des Ingenieurstandes in Wirtschaft, Staat und Gesellschaft besonders aufgeführt worden.

Ueber die VDI-Hauptgruppen und Fachgruppen haben wir an früherer Stelle schon berichtet (s. SBZ 1956, Nr. 13). Von grosser Bedeutung sind die Sondertagungen des VDI, so vor allem die Tagungen mit dem Thema «Mensch und Technik», über die hier schon verschiedentlich berichtet worden ist. Sehr erfreulich hat sich auch die Arbeit der Bezirksvereine entwickelt sowie auch die Zusammenarbeit mit befreundeten Verbänden, unter denen jene des Bodensee-Bezirksvereins mit der Sektion Winterthur des S. I. A. besonders hervorgehoben werden. Die Zahl der persönlichen Mitglieder betrug Ende 1955 31 461. Neu aufgenommen wurden 2603 Mitglieder, darunter 446 Diplomingenieure, 887 Ingenieure von Ingenieurschulen, 264 Personen, die eine Lehranstalt für Ingenieur-Ausbildung nicht oder nur teilweise besucht haben und 1006 Studierende (wovon 183 von technischen Hochschulen und 823 von Ingenieurschulen). Am 31. August 1955 fand in Düsseldorf in einer kleinen Feierstunde die Uebergabe der Amtsgeschäfte von Reg.-Baumeister a. D. *Erich Kothe* an Dr.-Ing. *Heinrich Grünewald* statt. Der Max-Eyth-Preis wurde wie folgt verteilt: 1. Preis (500 DM) Dipl. Ing. *Hermann Jobst*, Liestal; Arbeit: «Die Seilbahn». Ferner wurden zwei 2. Preise (je 350 DM) und drei 3. Preise (je 200 DM) fünf weiteren Bearbeitern zuerkannt.

Schon vor Beginn des Festaktes, am Sonntagmorgen, war die Ostpreussenhalle am Berliner Funkturm, eine der grössten Hallen Berlins, bis zum letzten Patz besetzt. Der Vorsitzende des Vereins Deutscher Ingenieure, Bundesminister a. D. Dr.-Ing. *H. P. Schuberth*, gab in seiner Begrüssungsansprache zunächst einen Ueberblick über das Werden des VDI in den vergangenen hundert Jahren. Dann begrüsste der regierende Bürgermeister von Berlin, Prof. Dr. *Suhr*, die Versammlung, und anschliessend übermittelte der Vizekanzler der Bundesrepublik Deutschland, *Franz Blücher*, die Grüsse der Bundesrepublik und fügte seinen Glückwünschen herzliche Grüsse an die ausländischen Gäste an. Die Grüsse aller ausländischen Ingenieure übermittelte der Präsident des S. I. A., Dr. *E. Choisy*, Genf.

Mit dem sich an die Begrüssungsansprachen anschliessenden Festvortrag «Der Mensch und seine Technik» erreichte der Festakt seinen Höhepunkt. Wie Prof. Dr. Ing. *M. Pfender* ausführte, vermehrt die Technik die Lebensmöglichkeiten, fördert aber auch das Streben nach Macht. Der erste und entscheidenste Bereich für die Entwicklung der modernen Technik beginnt mit der Möglichkeit, grosse und billige Energiemengen zu erzeugen, die Energieform zu wandeln und sie nach Bedarf verteilen oder sammeln zu können. Der zweite Bereich umfasst das Transport- und Fernmeldewesen und der dritte das Finden und Fördern natürlicher Stoffe und die Synthese von Stoffen mit bestimmten Eigenschaften. Die damit in Zusammenhang stehende Entwicklung der materiellen Lebensbasis ist unvermeidbar verbunden mit einer durchgreifenden Aenderung des ganzen Lebens in allen diesen Bereichen. Die grossen Möglichkeiten, die das technische Schaffen bietet, können der Menschheit nur dann zum Segen gereichen, wenn der Egoismus des Einzelnen und der von Gemeinschaften und Völkern der Rücksichtnahme auf eine schöpfungsgerechte Entfaltung menschlichen Seins untergeordnet wird. Der heutige Mensch ist vielfach im Stofflichen verstrickt und hat sich Ersatzgötter geschaffen. Seine Aufgabe ist es aber, sich auf sein wahres Wesen zu besinnen. Den Machthunger müssen wir ablösen durch Gerechtigkeit und die Menschheit als schicksalverbundene Familie ansehen. Nur gegenseitige Hilfsbereitschaft eröffnet uns eine gedeihliche Zukunft.

Grosse Aufgaben stehen uns bevor, denn noch hungern von vier Menschen drei. Gegenseitige Hilfeleistung tut not. Leider werden noch weite Bereiche der Welt von der Gier nach Macht überschattet. Wir müssen diesen Notzustand wenden, und dies kann nur geschehen durch Pflege des seelischen Potentials. So lassen sich die im materiellen Bereich gebotenen Möglichkeiten für eine in ihrer Anzahl wachsende und im Verlangen anspruchsvollere Menschheit ohne bleibenden Schaden im geistigen Bereich und ohne immer wiederkehrende und immer gefährlicher werdende Erschütterungen nur nutzen, wenn Lebensinhalt und Lebensziel des Einzelnen und sein Denken und Handeln in der Gemeinschaft an gültigen Wertordnungen orientiert sind. Die Person muss über der Sache und das Volk über der Staatsform stehen; die verwaltende Macht ist besser gegründet auf Autorität denn auf Gewalt. Die Bindung an den Schöpfer steht vor der Philosophie und diese vor der Technik. Zur Frage des Woher tritt die des Wohin und damit die Frage der Verantwortung aller an der Technik. Auch in diesem Bereich und verbunden mit allen anderen Bereichen des Lebens bleibt die Bewährung des Einzelnen dem Nächsten gegenüber das ewig gleiche Problem auf dem verantwortungsvollen Wege zum Schöpfer.

Dem mit grosser Begeisterung aufgenommenen Vortrag von Prof. Dr. Pfender folgte die Bekanntgabe der Ehrungen. Die höchste vom Verein Deutscher Ingenieure zu verleihende Auszeichnung, die Grashof-Denkmünze, wurde verliehen an