Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 33 (1960)
Heft: [5]: Supplementum 5. Beiträge zur Entwicklung der Physik

Artikel: Kernspaltung und Reaktoren
Autor: Zünti, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-513249

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: 10.12.2025

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

Kernspaltung und Reaktoren

Von W. ZÜNTI, Reaktor AG, Würenlingen

1. Einleitung

Kein Gebiet der Physik hat je die Öffentlichkeit so sehr beschäftigt wie die Kernspaltung des Urans und ihre Anwendungen. Die Geschichte der Irrungen und Wirrungen auf dem Weg zu ihrer Entdeckung soll uns hier nicht beschäftigen, obschon sie ein bezeichnendes Licht auf die Psychologie des Forschens wirft. Auf die lange Latenzzeit folgte eine um so rapidere Entwicklung. Von entscheidender Bedeutung war die Beobachtung, dass zur Auslösung der Kernspaltung zwar ein Neutron verbraucht wird, gleichzeitig aber zwei bis drei Neutronen freigesetzt werden. Damit war wenigstens theoretisch die Möglichkeit einer divergenten Kettenreaktion offensichtlich; das bedeutete für die Kernphysik den erstmaligen Schritt von mikroskopischen zu makroskopischen Effekten. Wie die nun allenthalben lebhaft einsetzende Forschung, durch den Beginn des Zweiten Weltkrieges aufs nachhaltigste beeinflusst, zu ungeahnten Resultaten führte, ist schon oft genug dargestellt worden. Es sei nur vermerkt, dass der Aufwand zur Verwirklichung der ersten nuklearen Kettenreaktion den herkömmlichen Rahmen eines physikalischen Institutes sprengte und dass hinter der ersten divergenten Kettenreaktion mit schnellen Neutronen eine industrielle Operation grössten Stiles stand. Der berühmte SMYTH-Report [1][1]) gibt ein anschauliches Bild von dieser Pionierzeit. Eine umfassende theoretische Behandlung der Kettenreaktion mit Neutronen findet sich bei WEINBERG und WIGNER [2].

2. Beitrag der Reaktoren zur Grundlagenforschung

Heute gibt es weit über hundert Kernreaktoren, oft von imponierender Leistungsfähigkeit, die ihre Existenz dem Wissensdrang der Kernphysiker verdanken. Nun möchten wir fragen, welchen Nutzen die Grundlagenforschung ihrerseits aus diesen Reaktoren ziehen konnte.

Da mag der Blick vielleicht zuerst auf die radioaktiven Isotope fallen, die nun oft in wägbaren Mengen herstellbar sind. ^{14}C, Tritium und dessen Folgeprodukt ^{3}He haben weite Gebiete in Kernphysik, Chemie und Bio-

[1]) Die Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis, Seite 215.

logie erschlossen. Dazu kommen fast hundert bisher unbekannte radioaktive Isotope, die in der Natur nicht vorkommenden Elemente Technetium ($Z = 43$) und Promethium ($Z = 61$), oder solche mit ungewöhnlichen Eigenschaften, wie ^{135}Xe, dessen riesiger Einfangquerschnitt für thermische Neutronen, $3{,}5 \cdot 10^6$ barn, sich bei der Inbetriebsetzung des ersten Grossreaktors in dramatischer Weise bemerkbar machte.

Aus dem Uran entstehen durch sukzessiven Neutroneneinfang abwechselnd mit β-Zerfall die Transurane, welche die Liste der Elemente um sechs Einheiten bis zur Ordnungszahl $Z = 98$ verlängert haben. Sie bilden die Freude der Chemiker, die in ihnen den Anfang einer neuen Serie analog den Seltenen Erden erkannt haben (Aktinide). Die Physiker finden darunter ^{240}Pu und ^{252}Cf, welche zu einem merklichen Teil infolge spontaner Spaltung zerfallen und deshalb ideale Neutronenquellen darstellen.

Am meisten aber schätzt der Physiker die Neutronenbündel, welche mit Hilfe der Kernreaktoren erzeugt werden können. Ihre Intensität übertrifft bei weitem alle anderen Quellen; es gibt deshalb eine Reihe wichtiger Experimente, welche erst durch den Betrieb von Reaktoren ausführbar geworden sind.

An erster Stelle ist der Nachweis des Zerfalls des freien Neutrons in Proton, Elektron und Neutrino zu nennen. Da die Neutronen mit unerhörter Leichtigkeit durch alle Wände diffundieren, kann der Effekt nur an frei fliegenden Neutronen eines Bündels beobachtet werden [3, 4]. Ausser der Halbwertszeit, die zu 12,6 Minuten ermittelt wurde, lassen sich auch die Winkelkorrelationen zwischen den Zerfallsprodukten untersuchen, so dass sich im Prinzip fast alle Gesetze des Beta-Zerfalles am Neutron ermitteln lassen.

Stand in den bisherigen Erörterungen der Partikelaspekt völlig im Vordergrund, so wenden wir uns nun Experimenten zu, wo mit Hilfe scharf gerichteter Bündel die Wellennatur des Neutrons zum Ausdruck kommt. Dieses Gebiet, heute allgemein Neutronenoptik genannt, hat theoretisch wie experimentell engste Beziehungen zur Optik der Röntgenstrahlen, weil die Wellenlänge der thermischen Neutronen etwa ein Ångström beträgt. Statt der Hüllenelektronen wirken aber die Atomkerne als Streuzentren. An der Grenze zweier verschiedener Medien resultiert entweder Reflexion und Brechung oder Totalreflexion. Daraus können exakte Werte der kohärenten Streulänge der beteiligten Kerne abgeleitet werden, welche für die Theorie der Proton-Neutron-Wechselwirkung und der Elektron-Neutron-Wechselwirkung von grosser Bedeutung sind.

In kristallinen Medien kommt es wie bei den Röntgenstrahlen zum Kollektivphänomen der Beugung. Zwar wurde die Beugung langsamer Neutronen schon 1936 nachgewiesen, brauchbare Ergebnisse konnte man aber erst mit Hilfe der Kernreaktoren erzielen. Die wesentlichen Vor-

teile gegenüber der Röntgenstrahlung liegen in der meist viel geringeren Absorption und in der Befreiung von der starren Z^2-Abhängigkeit der Streuintensität. Damit verfügen wir endlich über ein Mittel zur Bestimmung der Lage von Protonen in Kristallgittern. Die bekanntesten Erfolge sind die Aufklärung der Struktur des Eises und der Wasserstoffbrücken im Kaliumphosphat.

Völlig neue Effekte ergeben sich zufolge Spin und magnetischem Moment des Neutrons, denn die Wechselwirkung mit dem magnetischen Moment der Elektronenhülle ist von derselben Grössenordnung wie die Kernstreuung. Die Neutronenbeugung ist deshalb das vorzüglichste Mittel zur Untersuchung der merkwürdigen antiferromagnetischen Stoffe.

Anderseits kann mit gerichteten Ferromagnetika eine fast vollständige Polarisierung des Neutronenbündels erreicht werden. Dies war eine der Voraussetzungen zum kürzlich gelungenen Nachweis der Invarianz bezüglich Zeitumkehr bei einem Elementarprozess [5, 6].

Den wohl schönsten Beitrag zur fundamentalen Kernphysik leisteten die Kernreaktoren beim Nachweis des 1933 von PAULI postulierten Neutrinos, dessen Eigenschaften eine experimentelle Erfassung lange Zeit als aussichtslos erscheinen liessen. Der günstigste Prozess, $p + \nu = n + e^+$, hat einen Wirkungsquerschnitt von weniger als 10^{-43} cm^2. Weil die mächtigsten Kernreaktoren aber pro Sekunde beinahe 10^{20} Neutrinos (in der heutigen Terminologie genauer als Antineutrinos zu bezeichnen) ausstrahlen, haben REINES und COWAN [7] mit ihrer Anordnung doch eine messbare Reaktionsrate erreicht, wenn auch mit erheblichem Aufwand. Der mit dem Antipartikel erwartete, zum gewöhnlichen K-Einfang inverse Prozess wurde von DAVIS [8] mittels der Reaktion $^{37}\mathrm{Cl} + \nu' = {}^{37}\mathrm{A} + e^-$ untersucht. Aus dem Resultat kann mit ziemlicher Sicherheit auf die Verschiedenheit von Neutrino und Antineutrino geschlossen werden, was ein wichtiges Faktum für die Theorie der Elementarteilchen darstellt.

In dieser raschen Aufzählung sind nur jene Gebiete berührt worden, die einzig oder weitaus am besten mit Hilfe der Kernspaltung erschlossen werden konnten. Natürlich haben Kernreaktoren auch prächtige Beiträge geliefert auf Gebieten, wo andere Methoden zu konkurrieren vermögen; es sei nur an Neutronenquerschnitte und Einwirkung von Strahlung auf Materie erinnert.

3. Beiträge des Physikalischen Institutes der ETH

Welchen Anteil hat nun das Physikalische Institut der ETH an dieser Entwicklung? In Anbetracht der gegebenen äusseren Umstände ist es kaum verwunderlich, dass er recht bescheiden ist.

Zwar teilt das Physikalische Institut der ETH mit anderen das Schicksal, ganz nahe an der Entdeckung der Kernspaltung vorbei-

gegangen zu sein. In der Tat haben BRAUN, PREISWERK und SCHERRER [9] beim Versuch, den n,α-Prozess am Thorium in einer Ionisationskammer nachzuweisen, grosse Impulse gefunden, die sie als α-Teilchen mit mehr als 9 MeV Energie deuteten. Heute ist klar, dass es sich dabei um die Spaltung des Thoriums mit schnellen Neutronen handelte.

Kurz nach Bekanntwerden der Kernspaltung unternahm BRADT [10] im Rahmen einer Diplomarbeit die Bestimmung der mittleren Zahl ν der Spaltneutronen als Differenz der integrierten Neutronendichte im Wasser, wenn U_3O_8 durch eine streuäquivalente Menge PbO ersetzt wird. Die effektiv ermittelte Grösse $(\nu - 1)\, N_U \sigma_f$ liegt nahe dem heute akzeptierten Wert.

In den nun folgenden schwierigen Jahren wurde das Gebiet nicht weiter bearbeitet, bis die Perspektiven einer friedlichen Verwendung der Kernenergie einen neuen Impuls gaben. In unermüdlicher Aufklärungstätigkeit bereitet nun Herr Professor SCHERRER die Behörden, Wirtschaft und Öffentlichkeit auf die kommenden Aufgaben vor. Die Beschaffung der Unterlagen wird unter den verschiedenen physikalischen Instituten der Schweiz aufgeteilt. Von den Themen, die an der ETH bearbeitet wurden, seien genannt:

Spaltung von Elementen der Ordnungszahl 73 bis 83.

Radiometrische Bestimmung des Urangehaltes von Mineralproben.

Schnelle Methode zur Bestimmung des Verhältnisses $^{235}U/^{238}U$.

Einfangquerschnitt von ^{238}U für thermische Neutronen.

Änderung der thermischen Leitfähigkeit von Graphit bei Bestrahlung mit schnellen Protonen.

An diesen unveröffentlichten Arbeiten waren in wechselnder Gruppierung BLEULER, JORDAN, MARTIN, MEIER, WALTER und ZÜNTI beteiligt. Mit zunehmender Lockerung der Geheimhaltung verringerte sich die Dringlichkeit solcher Untersuchungen, während die kernphysikalischen Berechnungen für Reaktorprojekte grösseren Umfang annahmen. Daraus ging ein Vorschlag für einen Schwerwasser-Versuchsreaktor hervor, zu dessen Realisierung 1955 die REAKTOR AG gegründet wurde, welche die begonnene Arbeit weiterführte.

Seit einiger Zeit steht in Würenlingen der Swimmingpool-Reaktor SAPHIR der ETH für kernphysikalische Untersuchungen zur Verfügung. Eine Gruppe unter Leitung von P. STOLL hat dort ein Paar-Spektrometer zur Untersuchung von Einfang-γ-Strahlungen eingerichtet und hat bereits schöne Ergebnisse erzielt [11–13].

4. Ausblick

Bei einem Ausblick in die Zukunft darf man sich von der Breitenentwicklung in den grossen Reaktorforschungszentren nicht zu sehr beeindrucken lassen. Gerade auf dem Gebiet der Grundlagen sind noch

eine Reihe von Problemen offen, die sehr wohl im Rahmen eines Hochschulinstitutes aufgegriffen werden könnten. Ist es nicht verwunderlich, dass keines von den vielen Modellen des Spaltprozesses die auffällige Asymmetrie befriedigend zu erklären vermag? Ebenso weist der detaillierte Verlauf der Einfang- und Spaltquerschnitte der spaltbaren Materialien Züge auf, die mit unsern heutigen Anschauungen nicht immer in Einklang zu bringen sind. Ein Rätsel blieb bis jetzt auch die Diskrepanz zwischen theoretischer und experimenteller mittlerer Bremslänge für schnelle Neutronen in gewöhnlichem Wasser.

Bei mittleren und schweren Kernen kann die Theorie meist nur statistische Aussagen machen. Man darf deshalb nie erlahmen, zur Prüfung immer neue und bessere experimentelle Daten beizubringen. Dazu eignet sich das Studium der Einfang-Gammastrahlung und der Neutronenresonanzen ganz hervorragend.

Die Festkörperphysik scheint eine Sparte zu sein, die in besonderem Masse von Kernreaktoren profitieren könnte, sei es im Zusammenhang mit der Neutronenbeugung, der Wechselwirkung des Gitters mit sehr langsamen Neutronen, oder der Kenntnis der Fehlstellen und ihrer Kinetik.

Man möchte zunächst annehmen, dass solche Arbeiten am besten gedeihen, wenn ein Institut selbst über einen Kernreaktor verfügt. Fast immer drängt sich aber das triviale Problem der Neutronenintensität in den Vordergrund. Der Betrieb eines Reaktors mit hohem Neutronenfluss erfordert aber einen organisatorischen und finanziellen Aufwand, der in völligem Missverhältnis zur Grösse schweizerischer physikalischer Institute steht. Diese Überlegungen haben dazu geführt, dass in den Anlagen von Würenlingen zahlreiche Einrichtungen für die Arbeit der Hochschulinstitute vorgesehen sind.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] H. D. Smyth, *Atomic Energy* (Princeton University Press 1946).

[2] A. M. Weinberg und E. P. Wigner, *The Physical Theory of Neutron Chain Reactors* (The University of Chicago Press 1958).

[3] A. H. Snell und L. C. Miller, Phys. Rev. *74*, 1217 (1948).

[4] J. M. Robson, Phys. Rev. *83*, 349 (1951).

[5] M. A. Clark, J. M. Robson und R. Nathans, Phys. Rev. Letters *1*, 100 (1958).

[6] M. T. Burgy, V. E. Krohn, T. B. Novey, G. R. Ringo und V. L. Telegdi, Phys. Rev. Letters *1*, 324 (1958).

[7] F. Reines und C. L. Cowan, Phys. Rev. *90*, 492 (1953).

[8] R. Davis, Unesco/NS/Ric/223 (1957).

[9] A. Braun, P. Preiswerk und P. Scherrer, Nature *90*, 682 (1937).

[10] H. Bradt, Helv. phys. Acta *12*, 553 (1939).

[11] R. Balzer, H. Knoepfel, P. Stoll und W. Wölfli, Helv. phys. Acta *31*, 328 (1958).

[12] H. Knoepfel, Ch. Menoud und P. Stoll, Helv. phys. Acta *31*, 330 (1958).

[13] R. Balzer, H. Knoepfel, J. Lang, R. Müller und P. Stoll. Il nuovo Cimento X *11*, 609 (1958).