Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 12 (1939)
Heft: VII

Artikel: Bestimmung der mittleren Anzahl der bei der Spaltung eines Urankerns freiwerdenden Neutronen
Autor: Bradt, Helmut
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-110954

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: 11.07.2025

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

Copyright 1939 by Schweizerische Physikalische Gesellschaft.
Société Suisse de Physique. — Società Fisica Svizzera.
Nachdruck verboten. — Tous droits réservés. — Printed in Switzerland.

Bestimmung der mittleren Anzahl der bei der Spaltung eines Urankerns freiwerdenden Neutronen*)

von **Helmut Bradt.**

(28. X. 39.)

Im Januar dieses Jahres entdeckten HAHN und STRASSMANN[1]), dass der Urankern unter der Einwirkung einer Neutronenbestrahlung in grosse Bruchstücke zerplatzt. Diese Autoren wiesen auch auf die Möglichkeit hin, dass bei der Aufspaltung des Kerns gleichzeitig eine Anzahl freier Neutronen emittiert werden könnte. Der erste Nachweis der Entstehung sekundärer Neutronen im bestrahlten Uran wurde von HALBAN, JOLIOT und KOWARSKI ausgeführt[2]). Aus ihren Versuchsergebnissen berechneten sie die Anzahl der im Mittel beim Zerplatzen eines Urankerns freiwerdenden Neutronen zu

$$\nu = 3{,}5 \pm 0{,}7^{3}).$$

Nach ihnen haben eine Reihe anderer Autoren Experimente zur Bestimmung der Zahl ausgeführt, so HAENNY und ROSENBERG[4]), ROTBLAT[5]), MICHIELS, PARRY und THOMSON[6]), ANDERSON, FERMI und HANSTEIN[7]) und SZILLARD und ZINN[8]).

Da nun die Kenntnis der Zahl ν sehr wichtig ist, um die Möglichkeit einer Kettenreaktion beurteilen zu können, da aber andererseits die in letzter Zeit unternommenen Arbeiten zur Bestimmung dieser Zahl recht wenig genaue und teilweise widersprechende Ergebnisse gehabt hatten, wurde versucht, diese Zahl nach einer von FERMI 1936 entwickelten Methode zu bestimmen.

I. Methode der Messung.

Um die Gesamtzahl der von einer Neutronenquelle pro Zeiteinheit emittierten Neutronen zu ermitteln, wird nach FERMI[9]) folgendermassen verfahren:

Die Quelle, die Q schnelle Neutronen pro sec. emittieren möge, befindet sich in einem grossen Wassertank. Durch elastische Zusammenstösse mit den praktisch gleich schweren Wasserstoffkernen werden die Neutronen bis auf die thermische Geschwindig-

*) Auszug aus einer Diplomarbeit (im Juli abgeschlossen).

keit der Wasserstoffkerne verlangsamt, da bei jedem elastischen Stoss im Mittel die Hälfte der kinetischen Energie übertragen wird. Die thermischen Neutronen diffundieren durch das Wasser, bis sie von einem Proton eingefangen werden: die mittlere Lebensdauer beträgt für ein solches Neutron thermischer Geschwindigkeit $T = 2 \cdot 10^{-4}$ sec. Im stationären Gleichgewicht zwischen Diffusion, Absorption durch Einfangen an den Protonen und Nachlieferung von Neutronen durch die Quelle wird die Gesamtzahl der im Wassertank vorhandenen Neutronen sich zu

$$N = Q \cdot T$$

bestimmen, falls der Tank gross genug ist, sodass kein nennenswerter Bruchteil der Neutronen aus ihm entweichen kann. Denn im Mittel verschwinden pro sec N/T Neutronen und Q Neutronen werden durch die Quelle nachgeliefert.

Die Zahl N können wir auf folgende Weise bestimmen:

Ist $n(r)$ die Dichte der thermischen Neutronen in der Distanz r von der Quelle, so ist

$$N = 4\,\pi \int_0^\infty n(r) \cdot r^2 dr\,.$$

Die Dichte $n(r)$ wird mit Hilfe einer Detektorsubstanz gemessen.

Wird nun die Neutronenquelle mit einer Substanz umgeben, die, wenn sie bestrahlt wird, selber Neutronen produziert, so wird der Abfall der Neutronendichte $n(r)$ mit der Distanz modifiziert werden und — falls $\nu > 1$ ist — das Integral N vergrössert werden. Aus der relativen Vergrösserung von N im Vergleich zu einer Leermessung kann auf die Anzahl der sekundär produzierten Neutronen geschlossen werden.

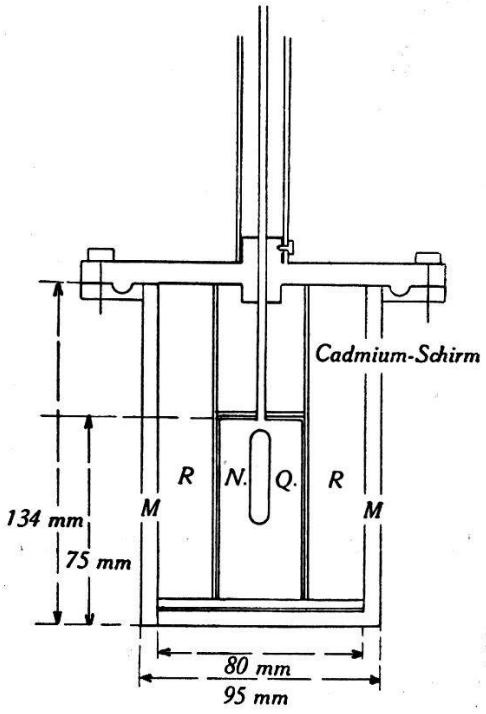
II. Versuchsanordnung und Ergebnis der Messung.

Neutronenquelle und die zu bestrahlende Substanz sind in einem wasserdicht verschlossenen Messinggefäss untergebracht (Fig. 1). Die Neutronenquelle ist eine Ra-Be-Quelle von 56 mc*); als uranhaltige Substanz wird das Oxyd U_3O_8 verwendet, als Vergleichssubstanz PbO. Das Mengenverhältnis dieser Stoffe wurde so gewählt, dass der gesamte Streuquerschnitt in beiden Fällen nahezu der gleiche ist. Das Messinggefäss ist in der Mitte eines Wassertanks von 90 cm Durchmesser und 120 cm Tiefe angebracht.

*) Für die freundliche Überlassung von 56 mg Ra möchten wir der Schweiz. Radiumstiftung herzlichst danken.

Als Neutronendetektor diente eine metallische Indiumfolie, deren Aktivität praktisch homogen mit einer Halbwertszeit von 54 min abfällt. Die Aktivität wurde mit Zählrohr, Verstärker und mechanischem Zählwerk gemessen.

Bei einer ersten Messreihe wurde der Hohlraum R mit Bleioxyd angefüllt, bei der zweiten Messreihe mit 2 kg U_3O_8 und bei einer dritten Messreihe wieder mit Bleioxyd. Die erste und die dritte Messung ergaben das gleiche Resultat, so dass eine Fälschung der Ergebnisse durch eventuelle Veränderung der Indiumfolie oder ähnliches nicht in Betracht kommt. Die Bestrahlung dauerte



$N.Q.$ = Neutronenquelle
M = Messinggehäuse
R = zylindrischrer Hohlraum für die Aufnahme des Blei- resp. Uranoxyds.

Fig. 1.

Die Anordnung von Neutronenquelle und dem Uranoxyd.

jeweils nie weniger als 6 Stunden, so dass praktisch immer Sättigung erreicht war. Die Aktivität $a(r)$ — die Anzahl der Zählwerkausschläge pro min bei einer festen Position von Detektor und Zählrohr — wurde während mehreren Stunden gemessen, auf das endliche Auflösungsvermögen der Zählapparatur korrigiert und auf den Zeitpunkt des Endes der Bestrahlung extrapoliert. In Fig. 2 ist als Abszisse der Abstand r des Neutronendetektors von der Quelle aufgetragen, als Ordinate das Produkt aus dem Quadrat dieses Abstandes und der Aktivität $a(r)$ in willkürlichen Einheiten. Die gestrichelte Kurve bezieht sich auf die Messung mit Bleioxyd, die ausgezogene auf diejenige mit Uranoxyd. Die Aktivität $a(r)$ wird der Dichte $n(r)$ der thermischen Neutronen direkt proportional

gesetzt*). Das Verhältnis der Differenz der Flächeninhalte der beiden Kurven zum Flächeninhalt der gestrichelten Kurve — also die relative Vermehrung der im Wassertank vorhandenen Neutronen — ergibt sich zu

$$\frac{\Delta N}{N} = 5{,}6 \pm 0{,}7\%^{**}).$$

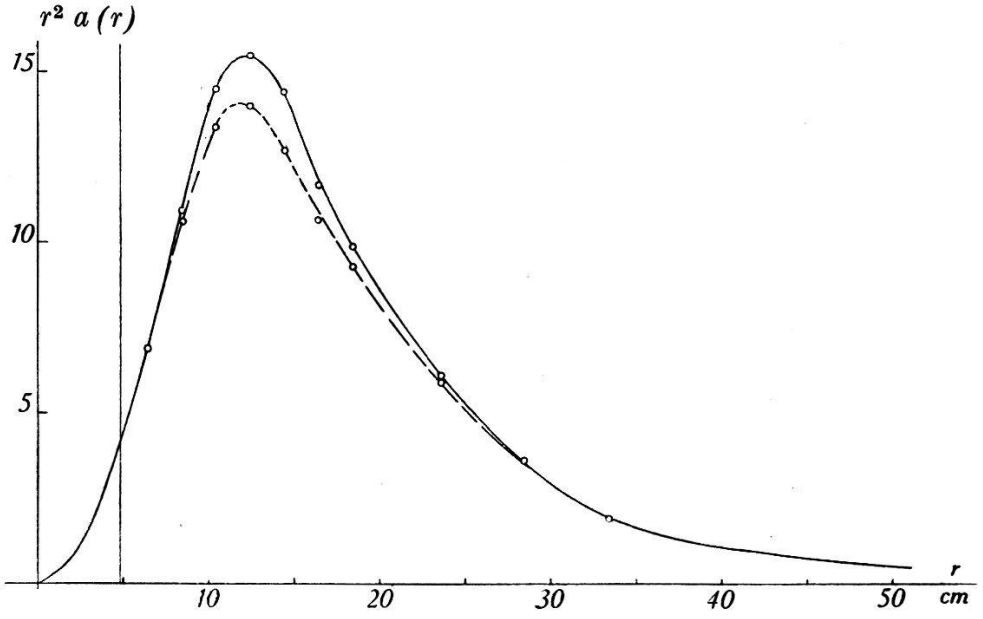


Fig. 2.

III. Auswertung der Resultate.

a) Erste Berechnung der Zahl ν bei ausschliesslicher Berücksichtigung des Effektes der thermischen Neutronen.

Im Folgenden bedeutet:

n_0 ..... die annähernd konstante Dichte der thermischen Neutronen in der U_3O_8-Schicht.

*) Dies gibt Anlass zu einem systematischen Fehler: die Indiumfolie spricht nicht nur auf thermische Neutronen stark an, sondern auch auf Neutronen, die in die Resonanzbande fallen und für die der Wirkungsquerschnitt der Erzeugung der 54-min Aktivität nicht mehr der reziproken Geschwindigkeit proportional ist. Doch zeigt eine Abschätzung, dass dieser Fehler klein sein dürfte; seine Berücksichtigung würde den Differenzeffekt zwischen den Messreihen mit Blei und mit Uran vergrössern, da die Resonanzneutronen des Indium bei der Uranspaltung wenig wirksam sind und so die nach obiger Voraussetzung berechnete Dichte der thermischen Neutronen in der Uranschicht — die als konstant betrachtet wird — verkleinert werden müsste.

**) Herr Bleuler vom hiesigen Institut hat mir Messungen über den Abfall von $n(r)$ für Distanzen grösser als 35 cm, welche unter Benützung der gleichen Neutronenquelle und des gleichen Behälters in einem noch grösseren Wassertank gemacht wurden, freundlicherweise überlassen; diese konnten zur Extrapolation für $r > 35$ cm verwendet werden.

N_U ..... die Anzahl der in R vorhandenen Uranatome

$$N_U = 4{,}44 \cdot 10^{24}.$$

σ_{th} ..... der Wirkungsquerschnitt für die Uranspaltung durch thermische Neutronen:

$$\sigma_{th} = 2 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$$

v_{th} ..... die mittlere Geschwindigkeit der Neutronen bei Zimmertemperatur:

$$v_{th} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = 2{,}5 \cdot 10^5 \text{ cm/sec}.$$

Q ..... die Anzahl der von der Neutronenquelle pro sec erzeugten Neutronen.

ΔQ ..... die pro sec im Uran erzeugten Sekundärneutronen:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta N}{N} = 5{,}6 \pm 0{,}7\%.$$

T ..... die mittlere Lebensdauer der thermischen Neutronen im Wasser:

$$T = 2 \cdot 10^{-4} \text{ sec.}$$

$N = 4\pi \int_0^\infty n(r) \cdot r^2 \, dr$ bei der Messung mit Bleioxyd.

Dann ist

$$\frac{\Delta Q}{Q} = N_U (\nu - 1) \, \sigma_{th} \cdot v_{th} \cdot T \cdot \frac{n_0}{N},$$

wenn wir annehmen, dass der Wirkungsquerschnitt für die Uranspaltung im Gebiet langsamer Neutronen proportional zu $1/v$ ist*).

n_0 wird in den gleichen Einheiten gemessen wie N, so dass die willkürliche Konstante herausfällt. Es ist somit

$$\nu = 1 + \frac{\frac{\Delta Q}{Q} \cdot N}{N_U \cdot \sigma_{th} \cdot v_{th} \cdot n_0 \cdot T}$$

was mit den numerischen Werten ergibt

$$\nu = 3{,}2_4 \pm 0{,}5,$$

wenn die Unsicherheit im Wert von σ_{th} mit 10% in Rechnung gestellt wird.

*) Die Gültigkeit des $1/v$-Gesetzes ist nachgewiesen worden in einer Arbeit von Anderson-Booth-Dunning-Fermi-Glasoe und Slack[10]).

b) Berücksichtigung der Wirkung der schnellen Neutronen:

Die relative Vermehrung der Neutronenzahl, hervorgerufen durch die Wirkung der schnellen Neutronen auf das Uran ist

$$\frac{\Delta Q'}{Q} = n_U \cdot 1 \cdot \sigma' \cdot (\nu' - 1) ,$$

wenn n_U die Anzahl der Uranatome pro cm^3, 1 der mittlere Weg der Neutronen im Uran, $\sigma' = 1 \cdot 10^{-25}$ cm^2 der Wirkungsquerschnitt der Uranspaltung für schnelle Neutronen und ν' die pro Spaltung eines Urankerns durch ein schnelles Neutron im Mittel entstehende Zahl von Sekundärneutronen bedeuten. Nehmen wir $\nu' = \nu$ am., so ergibt sich

$$\frac{\Delta Q'}{Q} = 0{,}5\,\% .$$

Diese Korrektur, am obigen Wert für $\Delta Q/Q$ angebracht, ergibt

$$\underline{\nu = 2{,}9_5 \pm 0{,}5 .}$$

Die Absorption von Neutronen im Uran durch den capture-Prozess

$$U^{238} + n \longrightarrow U^{239*} \xrightarrow[23-\text{min}]{} Eka\,Re^{239} + e^-$$

ist bei dieser Rechnung nicht berücksichtigt worden.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Scherrer, bin ich für viele Ratschläge sehr zu Dank verpflichtet.

Zürich, Physikalisches Institut der E. T. H.

Literatur.

[1]) Naturwiss. **27**, 10. Februar 1939, 89.
[2]) Nature **143**, 18 März 1939, 470.
[3]) Nature **143**, 22. April 1939, 680.
[4]) Comptes Rendus **208**, 20. März 1939, 898.
[5]) Nature **143**, 20. Mai 1939, 852.
[6]) Nature **143**, 6. Mai 1939, 760.
[7]) Phys. Rev. **55**, 15. April 1939, 797.
[8]) Phys. Rev. **55**, 15. April 1939, 799.
[9]) Ric. Scient. **72**, 1936, 13.
[10]) Phys. Rev. **55**, 1939, 510.