

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 17 (1944)
Heft: II

Artikel: Kernphotoeffekt unter Abspaltung eines Protons : $\text{Mg}^{26}(\gamma, p)\text{Na}^{25}$
Autor: Huber, O. / Lienhard, O. / Scherrer, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-111499>

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](#)

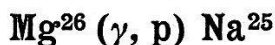
Terms of use

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: 18.01.2026

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

Kernphotoeffekt unter Abspaltung eines Protons:



von O. Huber, O. Lienhard, P. Scherrer und H. Wäffler.

(16. II. 1944.)

1. Einleitung.

Die im Prozess $\text{Li}^7 (p, \gamma) \text{Be}^8$ entstehende Gammastrahlung von ~ 17 MeV Quantenenergie induziert in Magnesium zwei Aktivitäten mit den Halbwertszeiten $11,9 \pm 0,6$ sec bzw. $61,3 \pm 2,4$ sec, wie bereits in einer früheren Arbeit¹⁾ beschrieben worden ist. Die kurzlebigere Aktivität gehört dem Mg^{23} ²⁾ an, sie entsteht durch einen (γ, n) -Prozess aus Mg^{24} . Die bis anhin unbekannte langlebige Periode konnte bei Abschluss der unter ¹⁾ zitierten Arbeit noch keinem bestimmten Isotop zugeordnet werden. Um Ausgangsisotop und Entstehungsprozess dieser 61sec-Aktivität zu bestimmen, wurden deshalb die im folgenden beschriebenen Versuche unternommen.

2. Zuordnungsmöglichkeiten.

In Fig. 1 sind die Isotope des Magnesiums und seiner Nachbar-elemente zusammengestellt. Die stabilen Isotope sind als Rechtecke eingezeichnet und die eingeschriebenen Zahlen bedeuten ihre relativen Häufigkeiten. Bei den radioaktiven Isotopen (durch Ovale angedeutet) sind jeweils Halbwertszeit und Art der Strahlung angegeben.

Durch einen (γ, n) -Prozess an Magnesium könnten die folgenden Kerne entstehen:

$$\begin{array}{lll} \text{Mg}^{23}: \beta^+ & T = 11,6 \text{ sec} & E_{\beta_{\max}} = 2,82 \text{ MeV} \\ \text{Mg}^{24}: \text{stabil} & & \\ \text{Mg}^{25}: \text{stabil} & & \end{array}$$

¹⁾ O. HUBER, O. LIENHARD, P. SCHERRER und H. WÄFFLER: H. P. A. XVI (1943), 33. In dieser Arbeit wurde die Halbwertszeit noch mit 62 ± 3 sec angegeben.

²⁾ M. G. WHITE, L. A. DELSASSO, J. G. FOX und E. C. CREUTZ: Phys. Rev. 56 (1939) 512.

Die Abspaltung eines Protons (γ, p)-Prozess, würde auf die Natriumisotope

Na^{23} : stabil

Na^{24} : β^- $T = 14,8 \text{ h}$ $E_{\beta_{\max}} = 1,4 \text{ MeV}$

Na^{25} : unbekannt

führen.

Die Abspaltung eines α -Teilchens schliesslich, (γ, α)-Prozess, ergäbe die drei stabilen Neonisotope:

Ne^{20} , Ne^{21} und Ne^{22} .

	20	21	22	23	24	25	26	27
$_{10}\text{Ne}$	90,00	0,27	9,73	β^- 41 s				
$_{11}\text{Na}$				100	β^- 14,8 h	β^- 61 s		
$_{12}\text{Mg}$				β^+ 11,9 s	77,4	11,5	11,1	β^- 10,0 m
$_{13}\text{Al}$								100

Fig. 1.

Tabelle der Isotope von Magnesium und seinen Nachbarelementen.

Für die Zuordnung der neuen 61sec-Aktivität kommen somit die folgenden drei Möglichkeiten in Frage:

a) Der 61sec-Körper entsteht durch einen (γ, n)-Prozess, den einzigen beim Kernphotoeffekt bis jetzt beobachteten Umwandlungstypus. Dann muss es sich um einen *metastabilen* Anregungszustand des einen der beiden stabilen Magnesiumisotope Mg^{24*} oder Mg^{25*} handeln, der unter Emission von γ -Strahlen in den Grundzustand übergeht.

b) Die 61-sec-Aktivität gehört zu einem gewöhnlichen β -Strahler. Dann bleibt als einzig mögliche Zuordnung die Annahme eines (γ, p)-Prozesses an Mg^{26} . Nach der Voraussage von Dickson und Konopinski¹⁾ auf Grund ihrer empirischen Kurven soll das dabei

¹⁾ G. R. DICKSON und E. J. KONOPINSKI: Phys. Rev. **58** (1940), 949.

entstehende Na^{25} eine Halbwertszeit in der Größenordnung von 20 sec haben.

c) Die 61-sec-Aktivität rührt von einem (γ, α) -Prozess her. Dann müsste ein metastabiler Anregungszustand eines der drei stabilen Neon-Isotope vorliegen.

3. Absorptionsmessung.

Bei der Erzeugung radioaktiver Isotope unter Einwirkung von γ -Strahlen müssen die betreffenden Präparate aus Intensitätsgründen in *dicker* Schicht (Schichtdicke \geq Reichweite der β -Teilchen) bestrahlt und gemessen werden. Um sich auch in diesem Falle ein Bild von der Energie der emittierten β -Strahlung machen zu können, haben wir die Schwächungskurven einiger mit Neutronen in dicker Schicht erzeugter β -Strahler bekannter Energie hinter Al-Absorbern gemessen. Der aus diesen Messungen gewonnene empirische Zusammenhang zwischen Halbwertsdicke und oberer Grenze des β -Spektrums liefert eine brauchbare Eichkurve zur Bestimmung unbekannter β -Energien aus der gemessenen Halbwertsdicke ihrer Absorptionskurven¹⁾. In unserer Anordnung erhalten wir für den 61-sec-Körper eine Halbwertsdicke von 0,227 g/cm² Al. Falls es sich dabei um einen β -Strahler handelt, Zuordnungsmöglichkeit b), so ergibt sich für seine Maximalenergie ein Wert von $\sim 3,4$ MeV. Unter Annahme der Zuordnungsmöglichkeit a) oder c) folgt dagegen aus den bekannten²⁾ Absorptionswerten für Röntgenstrahlen in Aluminium eine Röntgenstrahlung mit einer Quantenenergie von 35 keV. Wir haben es bei unserem 61-sec-Körper also entweder mit einem β -Strahler von 3,4 MeV Grenzenenergie oder mit einem metastabilen Zustand zu tun, der durch Aussendung von 35 KV Lichtquanten in den Grundzustand übergeht.

4. Wirkungsquerschnitt.

Die Kenntnis von Absorption und Art der Strahlung eines radioaktiven Körpers gestattet nun, aus der gemessenen Anfangsaktivität den Wirkungsquerschnitt des Prozesses zu berechnen, in welchem er entstanden ist. Im folgenden soll hier immer der relative Wirkungsquerschnitt angegeben werden, wobei als Bezugssubstanz Kupfer dient, und der Wirkungsquerschnitt für den Kernphotoeffekt an Cu^{63} gleich 100 gesetzt wird. (BOTHE und GENTNER³⁾)

¹⁾ Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode erscheint demnächst in den H. P. A.

²⁾ Siehe z. B. HEITLER: Quantum Theory of radiation.

³⁾ W. BOTHE und W. GENTNER: Zs. Phys. **106**, 1937, 236.

geben den *absoluten* Wirkungsquerschnitt für diesen Prozess mit der Li- γ -Strahlung zu $\sigma \approx 5 \cdot 10^{-26} \text{ cm}^2 \text{ an.}$ Unter der Annahme a) oder c) erhält man bei Berücksichtigung der Ansprechwahrscheinlichkeit des verwendeten Zählrohrs¹⁾ für eine γ -Strahlung von 35 keV den Wert $\sigma \approx 1100$. Für die Annahme b) ergibt sich $\sigma = 3,8$ mit einer Genauigkeit von etwa 20 %.

Im Verlauf unserer Messungen mit der Li- γ -Strahlung haben wir bei den leichten Kernen N^{14} , O^{16} , F^{19} , Mg^{24} , Al^{27} , Si^{28} , S^{32} , Cl^{35} , K^{39} , Ca^{40} die Wirkungsquerschnitte für den Kernphotoeffekt²⁾ bestimmen können. Die dafür gefundenen Werte schwanken zwischen 0,4 für N^{14} und 4,8 für S^{32} . Ein Wert von 1100 würde also etwa mit einem Faktor 500 aus der Reihe herausfallen. Deshalb glauben wir die Annahmen a) und c), nach welchen die 61sec-Aktivität einen isomeren Zustand des Mg^{24} oder Mg^{25} , bzw. der Neon-Isotope Ne^{20} , Ne^{21} oder Ne^{22} darstellt, ausschliessen zu können, und schreiben diese Aktivität dem bis anhin unbekannten Na^{25} zu. (Annahme b).

Falls der β -Übergang des Na^{25} direkt auf den Grundzustand des Mg^{25} führt, so stellt die von uns gemessene β -Energie von 3,4 MeV die gesamte, bei diesem Übergang freiwerdende Energie dar. Für die Differenz der Atommassen Na^{25} — Mg^{25} erhält man nach BARKAS³⁾ 2,7 MeV. Diese gute Übereinstimmung macht es wahrscheinlich, dass der beobachtete β -Übergang tatsächlich auf den Grundzustand des Mg^{25} führt. Es ist jedoch zu bemerken, dass eine allfällig neben dem β -Zerfall auftretende γ -Strahlung mit unserer Absorptionsmethode nicht nachgewiesen werden könnte.

5. Erzeugung der 61sec-Aktivität durch Neutronen.

Wie Fig. 1 zeigt, sollte Na^{25} auch durch einen (n,p)-Prozess aus Mg^{25} entstehen.

Bei Bestrahlung von Magnesium mit Neutronen sind die folgenden *bekannten* Aktivitäten zu erwarten:⁴⁾

- | | | |
|---|------------------------------|--|
| 1. $\text{Mg}^{26} (\text{n}, \gamma) \text{Mg}^{27}$: | $T = 10.0 \pm 0.1 \text{ m}$ | $E_{\beta_{\text{max}}} = 1,8 \text{ MeV}$ |
| 2. $\text{Mg}^{26} (\text{n}, \alpha) \text{Ne}^{23}$: | $T = 43 \pm 5 \text{ sec}$ | $E_{\beta_{\text{max}}} = 4,1 \text{ MeV}$ |
| 3. $\text{Mg}^{24} (\text{n}, \text{p}) \text{Na}^{24}$: | $T = 14,8 \text{ h}$ | $E_{\beta_{\text{max}}} = 1,4 \text{ MeV}$ |

Falls also unsere Deutung der mit γ -Strahlen erzeugten 61sec-Aktivität richtig ist, sollte ausser den drei angegebenen Perioden auch noch eine solche von 61sec auftreten.

¹⁾ P. WEBER: H. P. A. X, 1937, 32.

²⁾ Erscheint demnächst in den H. P. A.

³⁾ W. H. BARKAS: Phys. Rev. 55, 1939, 691.

⁴⁾ J. MATTAUCH und S. FLÜGGE: Kernphysikal. Tabellen, Berlin 1942.

Um dies abzuklären, haben wir den Abfall der durch schnelle Neutronen in Magnesium induzierten Aktivität sorgfältig gemessen.

Eine Entscheidung darüber, ob eine Zerfallskurve komplex ist oder nicht, kann nur dann getroffen werden, wenn die durch die statistischen Schwankungen bedingte Unsicherheit der einzelnen Messpunkte relativ klein ist. Dies gilt um so mehr, je weniger verschieden die zu trennenden Halbwertszeiten sind. Deshalb mussten mit der uns zur Verfügung stehenden Ra + Be-Neutronenquelle von 78 mC eine grosse Zahl von Einzelbestrahlungen durchgeführt werden. Ein Zylinder aus reinem Mg-Blech

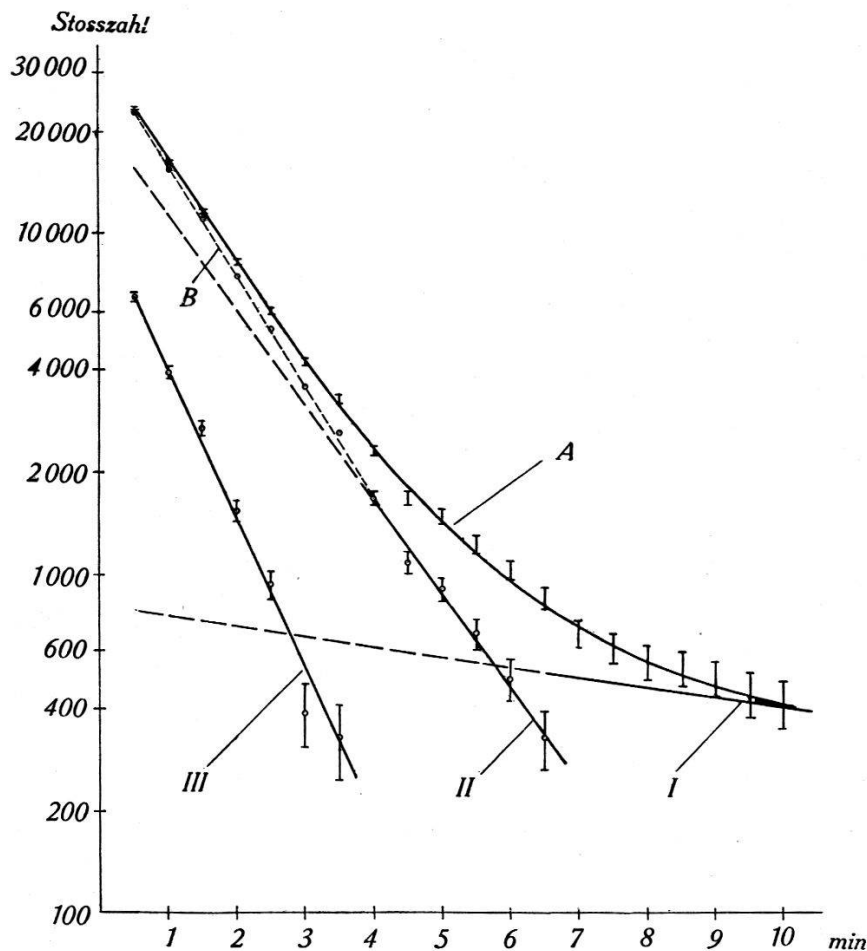


Fig. 2.

Zerfallskurve der in Magnesium mit Neutronen induzierten Aktivitäten. Die gemessene Kurve A setzt sich zusammen aus den drei Aktivitäten I: $T = 10$ m, II: $T = 64 \pm 6$ sec und III: $T = 42 \pm 5$ sec.

wurde jeweils während 4 min bestrahlt und dann, eine Minute nach Ende Aktivierung, die induzierte Aktivität in Intervallen von 30 sec während 10 min gemessen. Um bei der sukzessiven Bestrahlung ein zu starkes Anwachsen der 14,8 Stunden-Aktivität, die während der Messung als konstant angenommen werden kann,

zu vermeiden, benützten wir sieben gleiche Magnesiumzylinder, welche abwechselnd bestrahlt wurden.

Das Ergebnis von über 600 Einzelmessungen wird durch die Zerfallskurve A in Fig. 2 dargestellt. Nulleffekt des Zählrohrs und Anteil der 14,8h-Aktivität des Na^{24} sind dabei bereits abgezogen.

Die Zerlegung dieser komplexen Zerfallskurve A in ihre Komponenten wurde folgendermassen durchgeführt: Bei der langlebigensten Komponente muss es sich um die 10min-Aktivität des Mg^{27} handeln¹⁾. Da sich aus den vorliegenden Messpunkten ihre Halbwertszeit nur sehr ungenau bestimmen liesse, wurde für sie der Literaturwert von 10,0 min²⁾ angenommen, und damit die Lage der entsprechenden logarithmischen Geraden I aus der Summe der Messpunkte von der siebenten Minute an berechnet. Dabei wurde berücksichtigt, dass die kurzlebigeren Aktivitäten noch nicht vollständig abgeklungen waren, indem ihr Anteil der Extrapolation des anfänglichen Verlaufs der Kurve A entnommen wurde. Die gesamte Stosszahl, welche für die drei Minuten 2979 betrug, musste infolge dieser Korrektur um 506 reduziert werden. Es ist zu bemerken, dass die Genauigkeit dieses einfachen Verfahrens durchaus genügt, da der Anteil der 10min-Aktivität im ersten Messintervall (von 0 bis 30 sec) nur 3 % der totalen Stosszahl beträgt.

Versucht man die nach Abzug der 10min-Aktivität (I) verbleibende Kurve B durch eine *einfache* Zerfallskurve darzustellen, so erhält man eine Halbwertszeit von 57 ± 2 sec. Diese wäre also, wenn man nur die eingangs erwähnten bekannten Prozesse in Betracht zieht, dem Ne^{23} zuzuschreiben: $\text{Mg}^{26} (n, \alpha) \text{Ne}^{23}$.

Da nun in der Literatur für die Halbwertszeit von Ne^{23} lediglich der ungenaue Wert von $T = 43 \pm 5$ sec angegeben wird²⁾, bestimmten wir diese Halbwertszeit mit der Reaktion $\text{Na}^{23} (n, p) \text{Ne}^{23}$ nochmals und erhielten für dieselbe (Fig. 3):

$$T = 40,7 \pm 0,8 \text{ sec.}$$

Der angegebene Fehler von 0,8 sec entspricht dem *dreifachen* Wert des nach PEIERLS³⁾ berechneten *mittleren* Fehlers, so dass wir ihn als Fehlergrenze betrachten.

¹⁾ Die Aktivität wird durch Paraffin verstärkt. Ihre Intensität war aber immer noch so gering, dass wir auf eine genaue Halbwertszeitbestimmung mit unserer Neutronenquelle verzichteten, um so mehr als eine solche für die weitere Auswertung im Rahmen der angegebenen Ungenauigkeiten nicht benötigt wurde.

²⁾ J. MATTAUCH und S. FLÜGGE: loc. cit.

³⁾ R. PEIERLS: Proc. Roy. Soc. London (A), **149**, 1935, 467.

Daraus geht hervor, dass Kurve B nicht als einfache Zerfallskurve angesprochen werden kann. Bei genauerem Zusehen erkennt man auch, dass die Neigung der Kurve B etwa von der vierten Minute an abnimmt, und dass dieser untere Teil sich am besten durch eine Gerade entsprechend einer Halbwertszeit von 64sec darstellen lässt (II). Zieht man nun die der Geraden II entsprechende Aktivität von Kurve B ab, so bleiben die Punkte der Kurve III, für die man eine Halbwertszeit von 42 sec erhält.

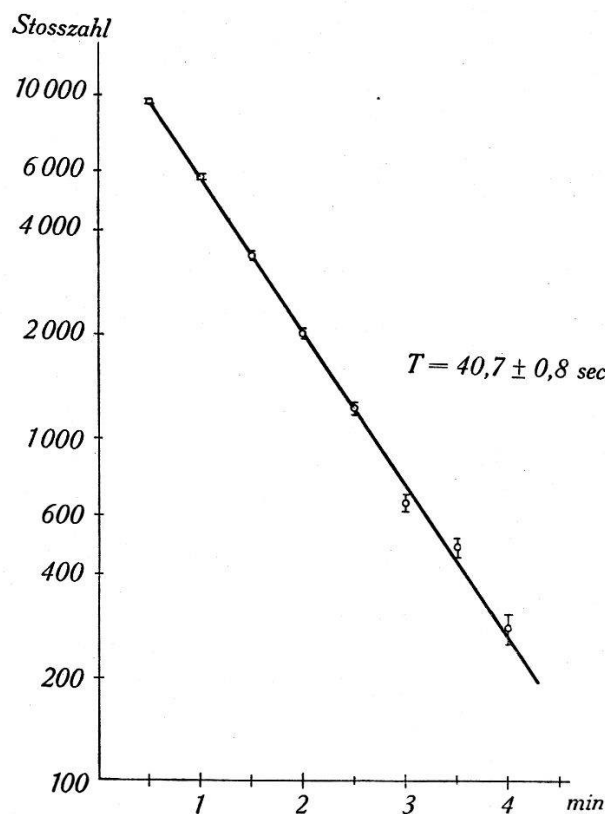


Fig. 3.

Zerfallskurve von Ne^{23} aus $\text{Na}^{23}(n, p)\text{Ne}^{23}$.

Wir finden also, dass sich die gemessene Zerfallskurve A aus den drei Aktivitäten I, II und III mit Halbwertszeiten von 10 min, 64 ± 6 sec und 42 ± 5 sec zusammensetzt. Innerhalb der Fehlergrenzen stimmt die für die Aktivität III in Fig. 2 gefundene Halbwertszeit mit der des Ne^{23} (Fig. 3) überein. Die Übereinstimmung der 64 ± 6 sec für die Halbwertszeit der Aktivität II mit der durch die γ -Strahlung induzierten $61,3 \pm 2,4$ sec-Periode ist so gut, dass wir ihre Identität als erwiesen betrachten.

Ein Blick auf Fig. 1 zeigt, dass prinzipiell bei Bestrahlung von Magnesium mit Neutronen auch Na^{26} auftreten könnte. Unsere Messungen haben jedoch keine Andeutung einer weiteren Aktivität ergeben.

6. Zusammenfassung.

1. Für die von der Lithium- γ -Strahlung in Magnesium induzierte 61sec-Aktivität wird eine Absorptionsmessung durchgeführt. Ein Vergleich der Wirkungsquerschnitte des Kernphotoeffekts an leichten Kernen führt zum Ergebnis, dass diese Aktivität dem Na^{25} zuzuschreiben ist, dass also ein (γ, p) -Prozess an Mg^{26} vorliegt. Für die maximale β -Energie des Na^{25} ergibt sich ein Wert von 3,4 MeV.

2. Diese Deutung wird dadurch erhärtet, dass es gelungen ist, die gleiche Halbwertszeit auch bei Bestrahlung von Magnesium mit Neutronen nachzuweisen, wobei das Na^{25} durch einen (n, p) -Prozess aus Mg^{25} entsteht.

3. Die Halbwertszeit von Ne^{23} wird neu bestimmt zu $40,7 \pm 0,8$ sec.

Herrn Dr. E. JACOBI danken wir für seine Mithilfe bei den Messungen. Die Überlassung von sehr reinem Magnesiumblech verdanken wir den Aluminiumwerken Rorschach A.-G. Der Aluminiumfonds Neuhausen hat durch finanzielle Beihilfe die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht, was auch an dieser Stelle bestens verdankt sei.

Zürich, Physikalisches Institut der E. T. H.
