

# Kernphotoeffekt unter Abspaltung eines Protons : Mg26 (, p) Na25

Autor(en): **Huber, O. / Lienhard, O. / Scherrer, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **17 (1944)**

Heft II

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-111499>

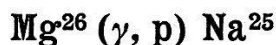
## **Nutzungsbedingungen**

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.

## Kernphotoeffekt unter Abspaltung eines Protons:



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

(16. II. 1944.)

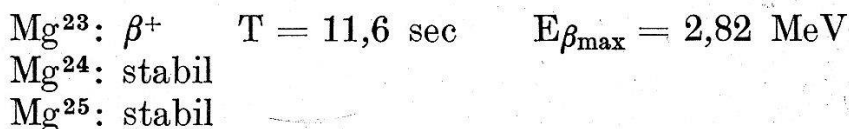
### 1. Einleitung.

Die im Prozess  $\text{Li}^7 (p, \gamma) \text{Be}^8$  entstehende Gammastrahlung von  $\sim 17$  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 Arbeit<sup>1)</sup> beschrieben worden ist. Die kurzlebige Aktivität gehört dem  $\text{Mg}^{23}$ <sup>2)</sup> an, sie entsteht durch einen  $(\gamma, n)$ -Prozess aus  $\text{Mg}^{24}$ . Die bis anhin unbekannte langlebige Periode konnte bei Abschluss der unter <sup>1)</sup> 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  $(\gamma, n)$ -Prozess an Magnesium könnten die folgenden Kerne entstehen:



<sup>1)</sup> O. HUBER, O. LIENHARD, P. SCHERRER und H. WÄFFLER: H. P. A. XVI (1943), 33. In dieser Arbeit wurde die Halbwertszeit noch mit  $62 \pm 3$ sec angegeben.

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

Die Abspaltung eines Protons ( $\gamma, p$ )-Prozess, würde auf die Natriumisotope

Na<sup>23</sup>: stabil

Na<sup>24</sup>:  $\beta^-$  T = 14,8 h  $E_{\beta_{\max}} = 1,4$  MeV

Na<sup>25</sup>: unbekannt

führen.

Die Abspaltung eines  $\alpha$ -Teilchens schliesslich, ( $\gamma, \alpha$ )-Prozess, ergäbe die drei stabilen Neonisotope:

Ne<sup>20</sup>, Ne<sup>21</sup> und Ne<sup>22</sup>.

	20	21	22	23	24	25	26	27
<sup>10</sup> Ne	90,00	0,27	9,73	$\beta^-$ 41 s				
<sup>11</sup> Na				100	$\beta^-$ 14,8 h	$\beta^-$ 61 s		
<sup>12</sup> Mg				$\beta^+$ 11,9 s	77,4	11,5	11,1	$\beta^-$ 10,0 m
<sup>13</sup> Al								100

Fig. 1.

Tabelle der Isotope von Magnesium und seinen Nachbar-elementen.

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

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

b) Die 61-sec-Aktivität gehört zu einem gewöhnlichen  $\beta$ -Strahler. Dann bleibt als einzig mögliche Zuordnung die Annahme eines ( $\gamma, p$ )-Prozesses an Mg<sup>26</sup>. Nach der Voraussage von Dickson und Konopinski<sup>1)</sup> auf Grund ihrer empirischen Kurven soll das dabei

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

entstehende  $\text{Na}^{25}$  eine Halbwertszeit in der Grössenordnung von 20 sec haben.

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

### 3. Absorptionsmessung.

Bei der Erzeugung radioaktiver Isotope unter Einwirkung von  $\gamma$ -Strahlen müssen die betreffenden Präparate aus Intensitätsgründen in *dicker* Schicht (Schichtdicke  $\geq$  Reichweite der  $\beta$ -Teilchen) bestrahlt und gemessen werden. Um sich auch in diesem Falle ein Bild von der Energie der emittierten  $\beta$ -Strahlung machen zu können, haben wir die Schwächungskurven einiger mit Neutronen in dicker Schicht erzeugter  $\beta$ -Strahler bekannter Energie hinter Al-Absorbern gemessen. Der aus diesen Messungen gewonnene empirische Zusammenhang zwischen Halbwertsdicke und oberer Grenze des  $\beta$ -Spektrums liefert eine brauchbare Eichkurve zur Bestimmung unbekannter  $\beta$ -Energien aus der gemessenen Halbwertsdicke ihrer Absorptionskurven<sup>1)</sup>. In unserer Anordnung erhalten wir für den 61-sec-Körper eine Halbwertsdicke von 0,227 g/cm<sup>2</sup> Al. Falls es sich dabei um einen  $\beta$ -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 bekannten<sup>2)</sup> 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  $\beta$ -Strahler von 3,4 MeV Grenzenergie 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  $\text{Cu}^{63}$  gleich 100 gesetzt wird. (BOTHE und GENTNER<sup>3)</sup>)

<sup>1)</sup> Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode erscheint demnächst in den H. P. A.

<sup>2)</sup> Siehe z. B. HEITLER: Quantum Theory of radiation.

<sup>3)</sup> W. BOTHE und W. GENTNER: Zs. Phys. **106**, 1937, 236.

geben den *absoluten* Wirkungsquerschnitt für diesen Prozess mit der Li- $\gamma$ -Strahlung zu  $\sigma \approx 5 \cdot 10^{-26} \text{ cm}^2$  an.) Unter der Annahme a) oder c) erhält man bei Berücksichtigung der Ansprechwahrscheinlichkeit des verwendeten Zählrohrs<sup>1)</sup> für eine  $\gamma$ -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- $\gamma$ -Strahlung haben wir bei den leichten Kernen  $\text{N}^{14}$ ,  $\text{O}^{16}$ ,  $\text{F}^{19}$ ,  $\text{Mg}^{24}$ ,  $\text{Al}^{27}$ ,  $\text{Si}^{28}$ ,  $\text{S}^{32}$ ,  $\text{Cl}^{35}$ ,  $\text{K}^{39}$ ,  $\text{Ca}^{40}$  die Wirkungsquerschnitte für den Kernphotoeffekt<sup>2)</sup> bestimmen können. Die dafür gefundenen Werte schwanken zwischen 0,4 für  $\text{N}^{14}$  und 4,8 für  $\text{S}^{32}$ . 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  $\text{Mg}^{24}$  oder  $\text{Mg}^{25}$ , bzw. der Neon-Isotope  $\text{Ne}^{20}$ ,  $\text{Ne}^{21}$  oder  $\text{Ne}^{22}$  darstellt, ausschliessen zu können, und schreiben diese Aktivität dem bis anhin unbekanntem  $\text{Na}^{25}$  zu. (Annahme b).

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

### 5. Erzeugung der 61sec-Aktivität durch Neutronen.

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

Bei Bestrahlung von Magnesium mit Neutronen sind die folgenden *bekanntesten* Aktivitäten zu erwarten:<sup>4)</sup>

- |   |                              |                                      |
|---|------------------------------|--------------------------------------|
| 1. $\text{Mg}^{26}$ (n, $\gamma$ ) $\text{Mg}^{27}$ : | $T = 10,0 \pm 0,1 \text{ m}$ | $E_{\beta_{\max}} = 1,8 \text{ MeV}$ |
| 2. $\text{Mg}^{26}$ (n, $\alpha$ ) $\text{Ne}^{23}$ : | $T = 43 \pm 5 \text{ sec}$   | $E_{\beta_{\max}} = 4,1 \text{ MeV}$ |
| 3. $\text{Mg}^{24}$ (n,p) $\text{Na}^{24}$ :          | $T = 14,8 \text{ h}$         | $E_{\beta_{\max}} = 1,4 \text{ MeV}$ |

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

<sup>1)</sup> P. WEBER: H. P. A. X, 1937, 32.

<sup>2)</sup> Erscheint demnächst in den H. P. A.

<sup>3)</sup> W. H. BARKAS: Phys. Rev. 55, 1939, 691.

<sup>4)</sup> 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

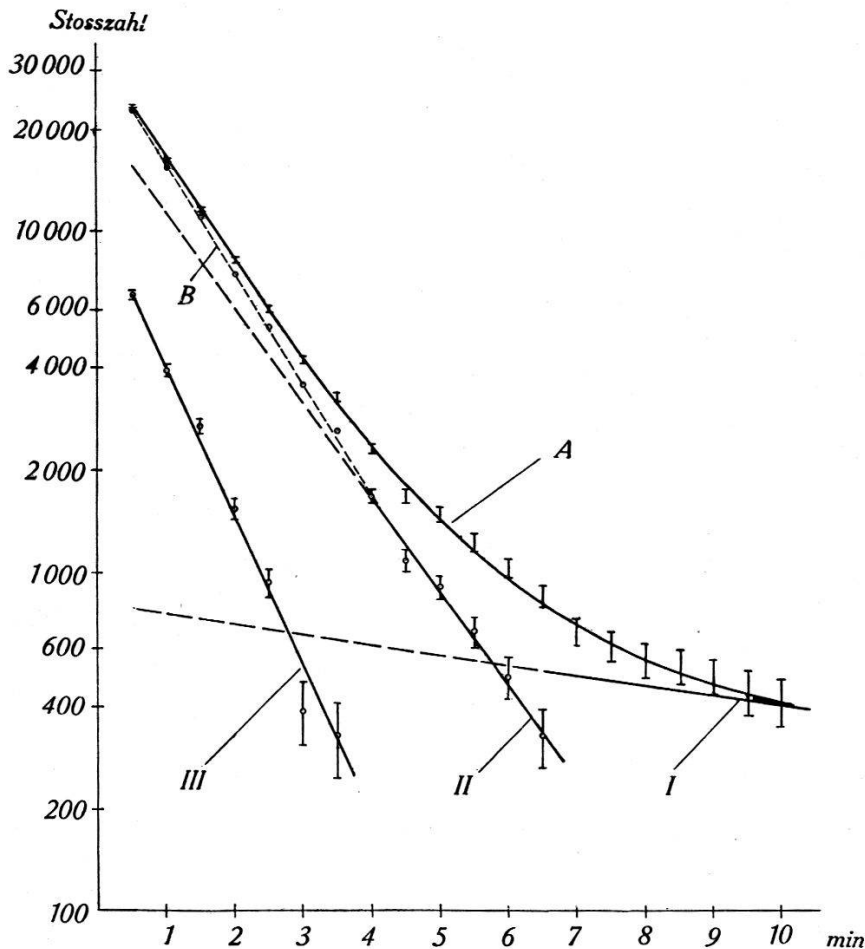


Fig. 2.

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<sup>24</sup> sind dabei bereits abgezogen.

Die Zerlegung dieser komplexen Zerfallskurve A in ihre Komponenten wurde folgendermassen durchgeführt: Bei der langlebigen Komponente muss es sich um die 10min-Aktivität des Mg<sup>27</sup> handeln<sup>1)</sup>. Da sich aus den vorliegenden Messpunkten ihre Halbwertszeit nur sehr ungenau bestimmen liesse, wurde für sie der Literaturwert von 10,0 min<sup>2)</sup> 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  $57 \pm 2$  sec. Diese wäre also, wenn man nur die eingangs erwähnten bekannten Prozesse in Betracht zieht, dem Ne<sup>23</sup> zuzuschreiben: Mg<sup>26</sup> (n,  $\alpha$ ) Ne<sup>23</sup>.

Da nun in der Literatur für die Halbwertszeit von Ne<sup>23</sup> lediglich der ungenaue Wert von  $T = 43 \pm 5$  sec angegeben wird<sup>2)</sup>, bestimmten wir diese Halbwertszeit mit der Reaktion Na<sup>23</sup> (n, p) Ne<sup>23</sup> 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 PEIERLS<sup>3)</sup> 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.

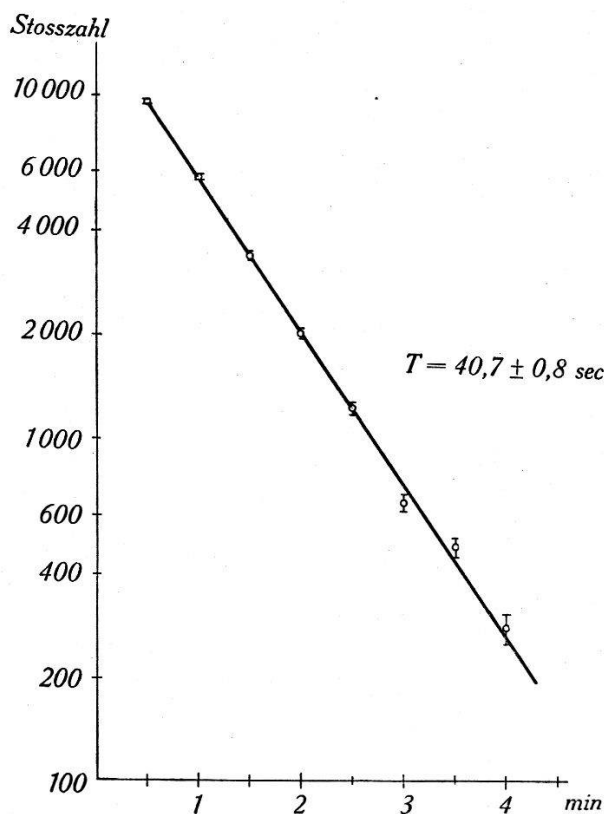


Fig. 3.

Zerfallskurve von  $\text{Ne}^{23}$  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,  $64 \pm 6$  sec und  $42 \pm 5$  sec zusammensetzt. Innerhalb der Fehlergrenzen stimmt die für die Aktivität III in Fig. 2 gefundene Halbwertszeit mit der des  $\text{Ne}^{23}$  (Fig. 3) überein. Die Übereinstimmung der  $64 \pm 6$  sec für die Halbwertszeit der Aktivität II mit der durch die  $\gamma$ -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  $\text{Na}^{26}$  auftreten könnte. Unsere Messungen haben jedoch keine Andeutung einer weiteren Aktivität ergeben.



### 6. Zusammenfassung.

1. Für die von der Lithium- $\gamma$ -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  $\text{Na}^{25}$  zuzuschreiben ist, dass also ein  $(\gamma, p)$ -Prozess an  $\text{Mg}^{26}$  vorliegt. Für die maximale  $\beta$ -Energie des  $\text{Na}^{25}$  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  $\text{Na}^{25}$  durch einen  $(n, p)$ -Prozess aus  $\text{Mg}^{25}$  entsteht.

3. Die Halbwertszeit von  $\text{Ne}^{23}$  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.

---