

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 25 (1952)  
**Heft:** V

**Artikel:** Relative Wirkungsquerschnitte für die Anregung von Isomeren- und Grundzuständen durch die (pn)-Reaktion  
**Autor:** Boehm, F. / Marmier, P. / Preiswerk, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-112326>

### **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:** 16.01.2026

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

## Relative Wirkungsquerschnitte für die Anregung von Isomeren- und Grundzuständen durch die (pn)-Reaktion

von F. Boehm<sup>1)</sup>, P. Marmier<sup>2)</sup> und P. Preiswerk.

(24. V. 1952.)

Bei den (pn)-Reaktionen mit der Protonenenergie von rund 7 MeV treten die speziellen Kerneigenschaften im allgemeinen nicht stark in Erscheinung, und die Voraussetzungen, die bei der Beschreibung der Reaktion mit der statistischen Kerntheorie gemacht werden, scheinen recht gut erfüllt zu sein. So haben die systematischen Untersuchungen der (pn)-Reaktion gezeigt, dass die Wirkungsquerschnitte für 6,7 MeV Protonen in Funktion der Ordnungszahl einen glatten Verlauf haben<sup>3)</sup>. Ausnahmen treten nur bei Kernen, deren Protonen- und Neutronenschalen zugleich abgeschlossen sind, auf. Ferner geht aus den Anregungskurven hervor, dass, sofern die Protonenenergie genügend hoch über dem Schwellenwert der Reaktion liegt, es für die Grösse des Wirkungsquerschnittes nicht mehr speziell auf den Spin des Endkernes ankommt<sup>4)</sup>. Das ist verständlich: die Reaktion verläuft zur Hauptsache über angeregte Niveaux des Endkernes, und es stehen dem Zerfall des Zwischenkernes zahlreiche Kanäle offen.

Immerhin zeigen gerade die erwähnten Ausnahmefälle, dass die Voraussetzungen der statistischen Theorie nur bedingt erfüllt sind. Es schien uns daher nützlich, noch auf eine etwas andere Weise zu prüfen, wie weit diese Näherungsbetrachtung angewandt werden kann. Man wird nach dem, was wir über den Spin des Endkernes sagten, erwarten können, dass der Wirkungsquerschnitt für die Anregung der tiefsten Niveaux des Endkernes nicht wesentlich verschieden sein wird von dem für die Bildung des Endkernes im Grundzustand, natürlich nur, wenn die Anregungsenergie gegenüber der den Neutronen zur Verfügung stehenden Energie klein ist.

<sup>1)</sup> Jetzt: Pupin Physics Laboratories, Columbia University, New York, N. Y.

<sup>2)</sup> Jetzt: California Institute of Technology, Pasadena 4, Cal.

<sup>3)</sup> J. P. BLASER, F. BOEHM, P. MARMIER und P. SCHERRER, *Helv. Phys. Acta* **24**, 441, 1951.

<sup>4)</sup> J. P. BLASER, F. BOEHM, P. MARMIER und D. C. PEASLEE, *Helv. Phys. Acta* **24**, 3, 1951.

Diese Vermutung lässt sich bei der Anregung isomerer Zustände prüfen. Eine Reihe von Isomeren kann durch die (pn)-Reaktion erzeugt und der Wirkungsquerschnitt derselben bestimmt werden. Wir haben die relativen Wirkungsquerschnitte für die Bildung des isomeren und des Grundzustandes durch monochromatische Protonen von 6,7 MeV gemessen. Als Target wurden dünne Folien, in welchen der Energieverlust der Protonen weniger als 100 keV betrug, verwendet.

**Tabelle 1.**

Relative Wirkungsquerschnitte für die Anregung von Isomeren durch die (pn)-Reaktion mit 6,7 MeV Protonen.

Iso- mer	$\sigma^*/\sigma \text{ exp.}$	Übergangs- energie $E$ (keV)	Spinzuordnung <sup>1)</sup>		
			Aus- gangs- kern	Endkern $I_{I_s}$ $I_{f_1}$ $I_{f_2}$	
<sup>44</sup> <sub>21</sub> Sc	0,077 ± 0,010	271	0	(6 <sup>+</sup> , 7 <sup>+</sup> )	(2 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup> )
<sup>52</sup> <sub>25</sub> Mn	12 ± 3	390	0	(1 <sup>+</sup> , 2 <sup>+</sup> )	(5 <sup>+</sup> , 6 <sup>+</sup> )
<sup>80</sup> <sub>35</sub> Br	0,35 ± 0,05	49/37	0	5 <sup>-</sup> 2 <sup>-</sup>	1 <sup>+</sup>
<sup>79</sup> <sub>36</sub> Kr	0,5 ± 0,2	127	3/2	$p \ 1/2$	7/2 <sup>+</sup>
<sup>85</sup> <sub>38</sub> Sr	0,25 ± 0,15	7,5/225	5/2	$p \ 1/2$	7/2 <sup>+</sup> $g \ 9/2$
<sup>87</sup> <sub>39</sub> Y	0,42 ± 0,06	384	9/2	$g \ 9/2$	$p \ 1/2$
<sup>89</sup> <sub>40</sub> Zr	0,42 ± 0,06	588	1/2	$p \ 1/2$	$g \ 9/2$
<sup>95</sup> <sub>43</sub> Tc	0,55 ± 0,15	39	5/2	$p \ 1/2$	$g \ 9/2$
<sup>104</sup> <sub>45</sub> Rh	0,45 ± 0,08	52	0	(4 <sup>-</sup> )	(1 <sup>+</sup> )
<sup>110</sup> <sub>47</sub> Ag	0,85 ± 0,15	116	0	(5 <sup>-</sup> )	(1 <sup>+</sup> )
<sup>114</sup> <sub>49</sub> In	0,76 ± 0,25	192	0	(5 <sup>+</sup> )	(1 <sup>+</sup> )
<sup>121</sup> <sub>52</sub> Te	1,33 ± 0,30	82/213	5/2	$h \ 11/2$	$d \ 3/2 \ s \ 1/2$
<sup>127</sup> <sub>54</sub> Xe	1,2 ± 0,2	175/96	5/2	$h \ 11/2$	$d \ 5/2 \ s \ 1/2$
<sup>197</sup> <sub>80</sub> Hg	0,27 ± 0,06	164/133	3/2	$i \ 13/2$	$f \ 5/2 \ p \ 1/2$

In Tabelle 1 sind die erhaltenen relativen Wirkungsquerschnitte eingetragen, und zwar  $\sigma^*/\sigma$ , das Verhältnis des Wirkungsquerschnittes für die Bildung des Isomers zu dem des Grundzustandes. Ausserdem wurde die Energie des isomeren Überganges und die Spinzuordnung aufgeführt.

$\sigma^*/\sigma$  ist ferner als Funktion der Kernladungszahl  $Z$  in Figur 1 aufgetragen.

<sup>1)</sup> Vgl. M. GOLDHABER, R. D. HILL, Rev. mod. Phys. 1952.

Beim Vergleich der Verhältnisse wäre streng genommen zu beachten, dass bei einigen Kernen – wir haben sie in Figur 1 besonders markiert – ein weiteres Niveau zwischen dem Isomeren- und dem Grundzustand liegt. Dadurch erhöht sich das effektive Gewicht des Grundzustandes, weil dieser auch über das Zwischenniveau gebildet werden kann.

Bei den leichteren Kernen wurde das Verhältnis  $\sigma^*/\sigma$  für  $^{44}\text{Sc}$  und  $^{52}\text{Mn}$  gemessen. Beim  $^{52}\text{Mn}$  wird der isomere Zustand gegenüber

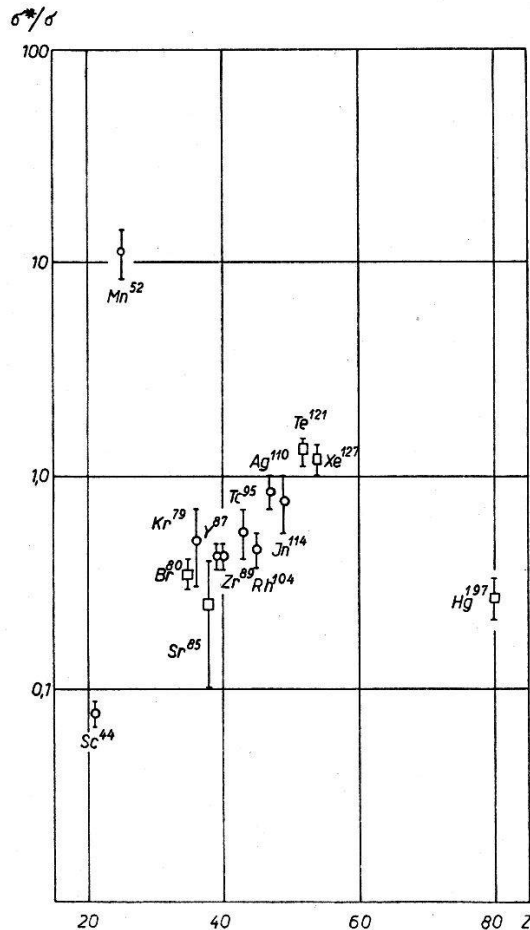


Fig. 1.

Relative Wirkungsquerschnitte für die Anregung von Isomeren- und Grundzuständen durch die (pn)-Reaktion mit 6,7 MeV Protonen.

- Kerne mit einem Niveau zwischen dem isomeren und dem Grundniveau.
- Kerne ohne Niveau zwischen dem isomeren und dem Grundniveau.

dem Grundzustand sehr stark bevorzugt. Für eine Erklärung hat man die Spinverhältnisse näher anzusehen und zu berücksichtigen, dass es sich um eine Reaktion mit einem sehr hohen Schwellenwert handelt. Das heisst: Grundzustand und isomerer Zustand werden durch direkte Anregung aus dem Zwischenkern gebildet. Für die Bildung über höher angeregte Zustände des Endkernes reicht die vorhandene Protonenenergie nicht aus. In diesem Fall wirkt sich

die grosse Spindifferenz der beiden Zustände sehr stark aus. Aus dem Zerfallsschema ist beim  $^{52}\text{Mn}$  auf einen hohen Spin, 5 oder 6, für den Grundzustand, auf einen niedrigen, 1 oder 2, für den isomeren Zustand zu schliessen. Da der Anfangskern ein Kern mit gerader Protonen- und gerader Neutronenzahl ist und somit den Spin 0 hat, steht bei der Reaktion der Kanal nach dem Grundzustand nur für einfallende Protonen- und weggehende Neutronen, die relativ hohe Drehimpulse haben, offen. Im Gegensatz dazu ist die Reaktion, die nach dem isomeren Zustand führt „erlaubt“. Dieser Unterschied kommt auch in der Anregungskurve sehr deutlich zum Ausdruck.

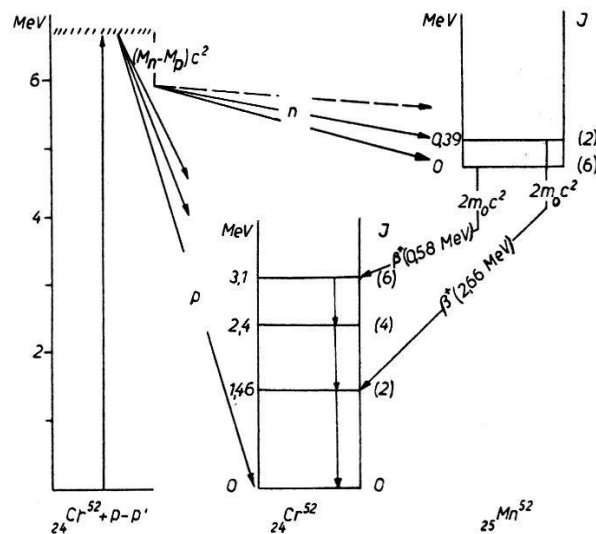


Fig. 2.

Niveauschema des  $^{52}\text{Cr}$  und des  $^{52}\text{Mn}$ .

Die Anregung für die Bildung des isomeren  $^{52}\text{Mn}$  zeigt einen „normalen“ Verlauf mit raschem Anstieg des Wirkungsquerschnittes oberhalb des Schwellenwertes der Reaktion. Der Wirkungsquerschnitt für die direkte Bildung des  $^{52}\text{Mn}$  im Grundzustand steigt dagegen mit wachsender Protonenenergie sehr langsam an und weicht bei  $E_p = 6,7$  MeV immer noch um einen Faktor 30 vom Sättigungswert ab.

Man kann versuchen, die Anregungskurve zu analysieren und in die Beiträge, die die verschiedenen Protonen- und Neutronenwellen beisteuern, zu zerlegen. Für die Bildung des Zwischenkerns — bei  $A = 52$  und einer Protonenenergie um 6 MeV — ist der Partialwirkungsquerschnitt für eine einfallende  $p$ -Welle am grössten, etwas grösser als für eine  $d$ - und eine  $s$ -Welle und fast zehnmal grösser als der einer  $f$ -Welle. Der Zwischenkern wird also vorwiegend in Zuständen mit Spin kleiner als  $5/2$  gebildet werden. Das zeigt schon, dass der Wirkungsquerschnitt für die nach dem Grundzustand mit

hohem Spin führende Reaktion wesentlich kleiner sein muss als für diejenige, die zum Isomer führt. Während beim Zerfall des Zwischenkernes die den Neutronen zur Verfügung stehende Energie kaum ausreicht, höhere Niveaux als den isomeren Zustand anzuregen, sind beim Konkurrenzprozess mit Reemission eines Protons mehr Niveaux im Ausgangskern anregbar. Die Zahl der in Betracht zu ziehenden Übergänge ist zu gross, als dass eine genauere Analyse sehr sinnvoll

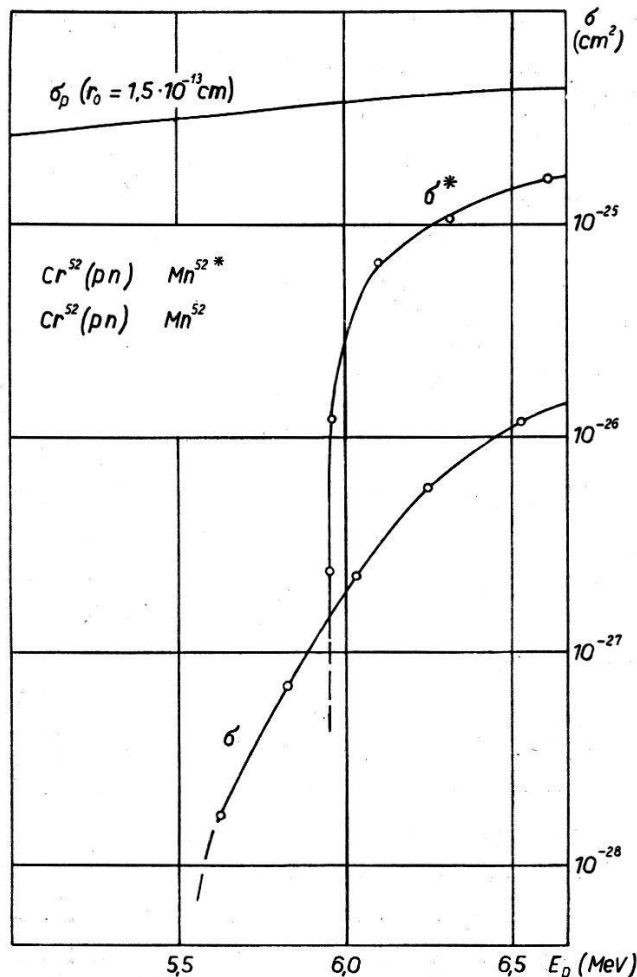


Fig. 3.

Anregungskurven der Reaktionen  $^{52}\text{Cr}(pn)^{52}\text{Mn}$  und  $^{52}\text{Cr}(pn)^{52}\text{Mn}^*$ .

wäre. Immerhin lässt sich grob abschätzen, dass die allgemeine Beschreibung der Reaktion im Einklang mit der Grösse und dem Verlauf der gemessenen Wirkungsquerschnitte steht.

Beim  $^{44}\text{Sc}$  ist — nach dem Zerfallsschema zu schliessen — der Spin des Isomers grösser als derjenige des Grundzustandes. Nach den Überlegungen, die wir beim  $^{52}\text{Mn}$  anstellten, ist in diesem Fall ein kleiner Wert für  $\sigma^*/\sigma$  zu erwarten, was auch tatsächlich der Fall ist.

Wenn der Schwellenwert der Reaktion tiefer liegt und die Zahl der im Endkern anregbaren Niveaux grösser ist, tritt die direkte

Bildung des isomeren und des Grundzustandes vom Zwischenkern aus zurück gegenüber der Bildung über die höheren Niveaux. Dabei kann ein Drehimpulsunterschied ausgeglichen werden durch die  $\gamma$ -Strahlung.

Bei den mittleren Kernen, bei denen diese Bedingungen erfüllt sind, ist das Verhältnis  $\sigma^*/\sigma$  erwartungsgemäss weniger von 1 verschieden. Die Abweichung von  $\sigma^*/\sigma$  von 1 nimmt mit wachsendem  $Z$  ab von  $\left| \log \frac{\sigma^*}{\sigma} \right| \simeq 0,5$  bei  $Z=35$  bis  $\left| \log \frac{\sigma^*}{\sigma} \right| \simeq 0,1$  bei  $Z=54$ . Diese Tatsache scheint mit der wachsenden Niveaudichte bei grösser werdendem  $Z$  im Zusammenhang zu stehen. Führen viele Mehrfachkaskaden von den höheren zu den tieferen Zuständen im Endkern, so ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass der Grundzustand und der isomere Zustand gleich stark angeregt werden.

Nach diesen Überlegungen wäre beim  $^{197}\text{Hg}$  ein grösserer Wert des Verhältnisses  $\sigma^*/\sigma$  zu erwarten gewesen.  $\sigma^*/\sigma$  liegt um einen Faktor 4 (Zwischenniveau nicht berücksichtigt) tiefer als die Werte der Kerne mit  $Z$  um 50. Leider war bei den schweren Kernen kein weiteres Beispiel zugänglich, so dass sich nicht sagen lässt, ob hier allgemein die  $\sigma^*/\sigma$ -Werte tiefer liegen. Wir vermuten eher, dass der niedrige Wert von  $\sigma^*/\sigma$  durch die hohe Spindifferenz zwischen dem Ausgangskern  $^{197}\text{Au}$  ( $I = 3/2$ ) und dem isomeren Zustand  $^{197}\text{Hg}$  ( $I = 13/2$ ) bedingt ist und ein Ausgleich in den Kaskaden nicht mehr erfolgen kann.

Allgemein lässt sich wohl schliessen, dass die Voraussetzungen für eine statistische Beschreibung der Kernreaktionen doch nur sehr bedingt erfüllt sind. Bei den (pn)-Reaktionen mit 6,7 MeV Protonen ist der Abstand der Niveaux im Endkern nicht vernachlässigbar klein gegenüber der den Neutronen zur Verfügung stehenden Energie. Die Spindifferenz zwischen Ausgangs- und Endkern und die spezielle Niveaufolge können sich unter Umständen noch sehr stark auswirken.

Herrn Prof. Dr. P. Scherrer möchten wir für sein stetes Interesse an dieser Arbeit danken. Herrn Dr. D. C. PEASLEE danken wir für interessante Diskussionen.

Physikalisches Institut der ETH., Zürich.