

Lineare Beziehungen zwischen Energieniveaus von Atomkernen

Von F. EVERLING

Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

(Z. Naturforschg. 13 a, 900–902 [1958]; eingeg. am 17. September 1958)

Zur Zuordnung von Niveaus *isobarer* Nuklide ist es üblich, ihre Niveauschemata nach wachsendem Neutronenüberschuß nebeneinander aufzutragen. Hierbei werden die Grundzustände nicht auf gleicher Höhe, sondern gemäß ihrer auf die COULOMB-Energie korrigierten Bindungsenergie-Differenz eingetragen. Dann findet man bekanntlich auf etwa gleicher Höhe die Komponenten von Isotopenspin-Multipletts.

Um auch Beziehungen zwischen Niveauschemata von Kernen *gleichen Neutronenüberschusses* ($T_z = \text{const}$) aufzuzeigen, haben wir $C \cdot A - B$ in Abhängigkeit von der Massenzahl A aufgetragen. C ist eine willkürliche Konstante und $B = B_0 - E_i$ die Bindungsenergie des jeweiligen Nuklids im Grund- bzw. i -ten Anregungszustand, wenn $B_0 = Z \cdot {}^1H + N \cdot {}^1n - M$ die (positive)

Bindungsenergie im Grundzustand und E_i die jeweilige Anregungsenergie bedeuten, wobei $E_0 = 0$ sei. Diese Art der Darstellung hat als erster CAPPELLER¹ benutzt, um den Verlauf der Bindungsenergie der Grundzustände (für $A < 100$) und einiger erster Anregungsenergien zu untersuchen. Sie hat gegenüber der Auftragung des Bindungsanteils B/A den Vorteil, daß lineare Zusammenhänge zwischen den B erhalten bleiben. Die Konstante C wird so gewählt, daß die Gerade $C \cdot A$ das Ansteigen der Bindungsenergie B mit der Massenzahl ungefähr kompensiert.

Abb. 1 zeigt als Beispiel ein derartiges Niveau-Diagramm für die Selbstspiegelkerne ($T_z = 0$) im Bereich $A = 10$ bis 30 mit $C = 9$ MeV. Die Bindungsenergien der Grundzustände sind als Kreise mit ihren Fehlergrenzen gezeichnet. Die Werte entstammen dem Ergebnis eines Ausgleichs der Q -Werte und β -Energien von MATTAUCH et al.^{2, 3}. In Abb. 1 wurden die Anregungsenergien über den Grundzuständen mit ihren *eigenen* Fehlergrenzen eingezeichnet. Sie sind Berichten von AJZENBERG und LAURITSEN⁴ sowie ENDT und BRAAMS⁵ entnommen, ergänzt durch neue Nuclear Data Cards⁶ und ein von PHILLIPPS⁷ mitgeteiltes Niveau-

¹ U. CAPPELLER, „Nuclear Masses and their Determination“, herausgeg. v. H. HINTENBERGER, Pergamon Press, London 1957, S. 23–38.

² J. MATTAUCH, L. WALDMANN, R. BIERI u. F. EVERLING, Ann. Rev. Nucl. Sci. **6**, 179 [1956]; Z. Naturforschg. **11 a**, 525 [1956].

³ J. MATTAUCH u. F. EVERLING, Progr. Nucl. Phys. **6**, 233 [1957].

⁴ F. AJZENBERG u. T. LAURITSEN, Rev. Mod. Phys. **27**, 77 [1955].

⁵ P. M. ENDT u. C. M. BRAAMS, Rev. Mod. Phys. **29**, 683 [1957].

⁶ G. ANDERSSON, G. H. FULLER, C. L. MCGINNIS, D. N. KUNDA, J. B. MARION, M. K. RAMASWAMY, K. WAY u. M. YAMADA, Nuclear Data Cards resp. Sheets, National Research Council, Washington D. C. 1956, 1957 und 1958.

⁷ W. R. PHILLIPPS, Phys. Rev. **110**, 1408 [1958].

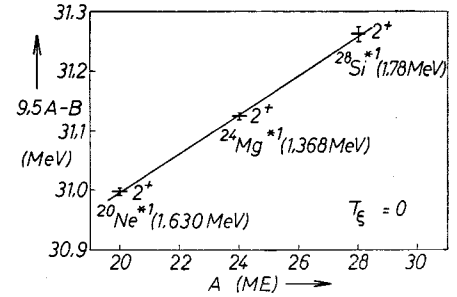
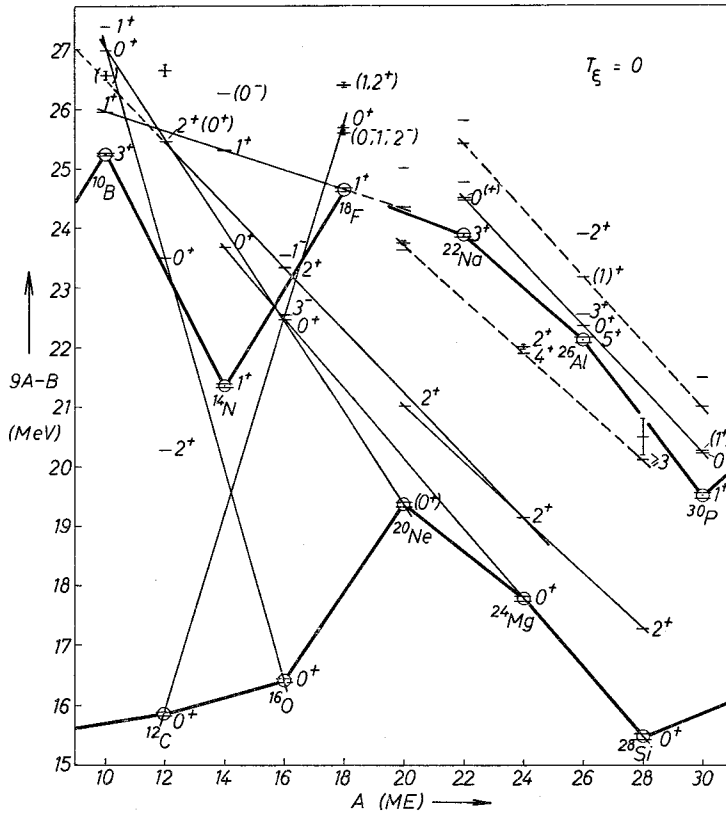


Abb. 2. Beispiel eines vergrößert dargestellten linearen Zusammenhanges. Die verwendeten Bindungsenergien B_0 sind aus Massen von QUISENBERRY und JOHNSON¹⁰ berechnet. Der Anstieg hat sich gegenüber Abb. 1 geändert, weil hier $C=9,5$ MeV gewählt wurde.

Abb. 1. Niveau-Diagramm der Selbstspiegelkerne von $A=10$ bis 30 mit Bindungsenergien B_0 nach MATTAUCH et al.^{2, 3} und $C=9$ MeV in der Ordinate $C \cdot A - B$.

schema. Bei den Anregungsstufen ohne sichtbare Fehlergrenzen ist der Fehler ≤ 10 keV, d. h. kleiner als die Dicke des Striches. Die Fehler der Bindungsenergien

$$B = B_0 - E_i$$

ergeben sich aus den Einzelfehlern zu

$$b = \sqrt{b_0^2 + e_i^2}.$$

Die Niveauschemata sind der Übersichtlichkeit halber nur so weit gezeichnet, wie es hier notwendig ist. Drehimpulsquantenzahl („Spin“) und Parität sind in der Form J^π angegeben.

Abb. 1 zeigt, daß in 8 Fällen drei oder mehr Punkte auf einer Geraden liegen, die gleiche Drehimpulsquantenzahl und Parität haben. Das ist bedeutend öfter, als man es durch Zufall erwarten könnte. Diese Geraden sind dünn ausgezogen, während die dickeren Linien nur die um 4 Masseneinheiten verschiedenen Grundzustände verbinden. Vier weitere Geraden sind gestrichelt gezeichnet, da hier J und π noch unvollständig sind, zwei davon bilden die Verlängerung ausgezogener Geraden. Beim $^{12}\text{C}^* - 9,61$ -Zustand ist nach einer Messung von FREGEAU⁸ $J^\pi = 2^+$ oder 0^+ . Wir haben hier von der entsprechenden Nuclear Data Card⁹ die Bezeichnung 2^+ , (0^+) übernommen und daher dieses Niveau, bei dem sich eine 2^+ - mit einer 0^+ -Geraden schneidet, der 2^+ -Geraden zugeordnet.

In der folgenden Zusammenstellung der 8 linearen

Beziehungen, die in Abb. 1 durch ausgezogene Geraden dargestellt sind, bedeutet der Stern, daß der betreffende Kern angeregt ist; die Zahl dahinter besagt, um den wievielten Anregungszustand es sich handelt.

	J				
1	0^+	$^{10}\text{B}^{*3}$	$^{12}\text{C}^{*2}$	^{16}O	
2	0^+	$^{10}\text{B}^{*3}$	$^{16}\text{O}^{*1}$	^{20}Ne	
3	0^+	^{12}C	$^{16}\text{O}^{*1}$	$^{18}\text{F}^{*2}$	
4	0^+	$^{14}\text{N}^{*1}$	$^{16}\text{O}^{*1}$	^{24}Mg	^{28}Si
5	0^+	$^{22}\text{Na}^{*2}$	$^{26}\text{Al}^{*1}$	$^{30}\text{P}^{*1}$	
6	1^+	$^{10}\text{B}^{*1}$	$^{14}\text{N}^{*2}$	^{16}F	
7	2^+	$^{12}\text{C}^{*3}$	$^{16}\text{O}^{*3}$	$^{24}\text{Mg}^{*1}$	
8	2^+	$^{20}\text{Ne}^{*1}$	$^{24}\text{Mg}^{*1}$	$^{28}\text{Si}^{*1}$	

Um zu prüfen, ob es sich innerhalb der Meßgenauigkeit um Geraden handelt, haben wir die Beziehungen 1 bis 8 jeweils mit einer geeigneteren Konstanten ($C=10,7; 9,75; 7,4; 9,6; 9,5; 9,15; 9,5; 9,5$ MeV) in zehnfach vergrößertem Ordinatenmaßstab aufgetragen, so daß die Fehler deutlich sichtbar wurden. Dabei hat sich gezeigt, daß in allen Fällen innerhalb der mittleren Fehler eine Gerade gezeichnet werden kann. 7 von den 8 Fällen wurden außerdem durch neuere Nuklidmassen von QUISENBERRY und JOHNSON¹⁰ geprüft. Diese entstammen zwar nicht einer Ausgleichsrechnung, basieren aber auf sehr genauen massenspektroskopischen

⁸ J. H. FREGEAU, Phys. Rev. **104**, 225 [1956].

⁹ G. H. FULLER, C. L. MCGINNIS, D. N. KUNDU, K. WAY u. M.

YAMADA, Nuclear Data Card 57-1-11, National Research Council, Washington D. C.

Messungen der stabilen Nuklide. Abb. 2 zeigt als Beispiel die Beziehung 8. In diesem und zwei weiteren Fällen liegt die Gerade innerhalb der mittleren Fehler, in 3 Fällen ist die Abweichung der Punkte kleiner bzw. gleich dem 2,2-fachen Fehler und in einem Fall gleich dem 3,5-fachen Fehler.

Hierbei sowie zuvor bei der Benutzung der Werte von MATTAUCH et al.^{2,3} wurde jede einzelne Gerade unabhängig von den übrigen geprüft. Die Tatsache, daß ein Teil der experimentellen Werte $B_0 \pm b_0$ und $E_i \pm e_i$ zugleich in mehreren Beziehungen vorkommt, verschlechtert wahrscheinlich das Resultat etwas, so daß mit den Werten von MATTAUCH et al.^{2,3} in einigen Fällen die Geraden leicht außerhalb der mittleren Fehler verlaufen werden und mit den Werten von QUISENBERRY und JOHNSON¹⁰ sich die Abweichungen ebenfalls z. Tl. etwas vergrößern. Es können aber dadurch keine zusätzlichen Abweichungen auftreten, die größer als ein kleines Vielfaches des mittleren Fehlers sind. Deshalb kann man im Rahmen der heutigen Meßgenauigkeit nichts anderes feststellen, als daß in den genannten 8 Fällen *lineare* Beziehungen zwischen den Bindungsenergien von Nukliden bestehen, die sich im Grund- oder Anregungszustand befinden.

Auch bei anderen Werten von T_ζ , d. h. auch bei schwereren Massen, ließen sich zahlreiche lineare Zusammenhänge finden, deren Veröffentlichung geplant ist.

Die Interpretation der angegebenen 8 Zusammenhänge soll ebenfalls einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben.

Hier seien nur einige kurze Hinweise beigefügt.

Die Geraden bedeuten, daß beim Fortschreiten vom ersten Punkt zum zweiten die gleiche (bzw. 2-, 1/2- oder 1/4-fache) Bindungsenergie frei wird wie vom zweiten zum dritten usw. Nach Abb. 1 kommen solche in ganzzahligem Verhältnis stehenden Energiebeträge auch über Schalenabschlüsse hinweg zustande. Es muß allerdings damit gerechnet werden, daß manchmal die auf einer Geraden liegenden Punkte in der Kernstruktur *keine* entsprechend fortlaufende Beziehung zueinander haben, sondern solche Energiebeträge auf verschiedene Weise („durch Zufall“) zustandekommen.

Von den Anregungszuständen der Geraden 5 hat $^{22}\text{Na}^{*2}$ wahrscheinlich und $^{26}\text{Al}^{*1}$ sowie $^{30}\text{P}^{*1}$ nach experimenteller Bestimmung den Isotopenspin $T=1$. Diese Zustände sind also die $T_\zeta=0$ -Komponenten von 3 Isotopenspin-Triplets. Die drei $T_\zeta=+1$ -Komponenten dazu sind die 0^+ -Grundzustände der Kerne ^{22}Ne , ^{26}Mg und ^{30}Si . Diese bilden ihrerseits innerhalb der mittleren Fehler eine Gerade.

Eine einfache Interpretation nach dem Schalenmodell ergibt sich, wenn z. B. der Einbau zweier Protonen und Neutronen in die *gleiche* Unterschale erfolgt, so wie es CAPPELLER¹ bei Grundzuständen höherer Massen zeigen konnte. Über die Schalenmodell-Konfigurationen der Anregungszustände weiß man jedoch so wenig, daß man eher geneigt ist, diese versuchsweise mit Hilfe der linearen Beziehungen zu erschließen.

¹⁰ K. S. QUISENBERRY u. W. H. JOHNSON, „Atomic Mass Table“, Juni 1957, private Mitteilung.