

Physik

Kernphysik: Nuklide

In der Atomphysik, Kernphysik und Chemie ist folgende Bezeichnungsweise eines Nuklids üblich:

${}^A_Z X_N^{(z)}$, wobei X das Elementsymbol ist (H {H⁺ = p}, He, ...; siehe nachfolgend „Das Periodensystem der Elemente“),

Z: Kernladungszahl = Zahl der Protonen = Ordnungszahl (diese Information steckt schon in X),

N: Zahl der Neutronen, A := Z + N: Massenzahl, z: Ionisationsgrad (d.h. Ladung = #p⁺ - #e⁻).

Unter einem Nuklid versteht man eine Atomsorte mit bestimmten Werten von Z, A und (somit auch) N.

Es sind von ca. 5000 erzeugbaren Nukliden ca. 1800 Nuklide untersucht worden [alte Angabe].

Oberhalb von Z = 83 (Bi) sind alle Nuklide instabil (⁸⁴Po, ⁸⁵At, ...), ebenso die Ausnahmen ⁴³Tc und ⁶¹Pm. In merklichen Häufigkeiten treten nur Nuklide bis Z = 92 (U) auf, die Nuklide mit Z > 92 werden Transurane genannt.

Man fasst die Nuklide auf folgende Weise zusammen:

- Isotope: gleiche Kernladungszahl Z (und somit gleiche Stelle im Periodensystem), aber unterschiedliches A und N;
- Isobare: gleiche Massenzahl A, jedoch unterschiedliches Z und N;
- Isotone: gleiche Neutronenzahl N, allerdings unterschiedliches Z und A.

Schließlich teilt man die Nuklide in gg-, gu- und ug-Kerne ein, je nach geradzahlig (g) oder ungeradzahlig (u) Protonenzahl (Z) bzw. Neutronenzahl (N).

gu- und ug-Kerne werden auch als uA-Kerne (ungeradzahlige Massenzahl) bezeichnet.

Die Darstellung der Nuklide erfolgt im Z-über-N-Diagramm, d. h. Isotope sind die Nuklide einer Zeile, Isotone sind diejenigen einer Spalte und Isobare sind die Nuklide, die auf einer Parallelen zur Diagonalen von „links oben“ nach „rechts unten“ liegen.

In diesem Diagramm unterscheidet man zwei ineinanderliegende Gebiete:

- Ein äußeres Gebiet mit Grenzen $E_B^{(p)} = 0$ bzw. $E_B^{(n)} = 0$ [Bindungsenergie p⁺/n verschwindend] oder $E_f = 0$ [verschwindende Spaltbarriere], in dem also jedes Nuklid in der Kernzeit $t_K \approx 4,3 \cdot 10^{-22}$ s zerfällt (gemäß $R = r_0 \cdot \sqrt[3]{A}$, $r_0 \approx 1,42 \cdot 10^{-15}$ m und Nukleonengeschwindigkeit im Kern $v_N \approx \frac{1}{30} \cdot c_0$).
- Ein inneres Gebiet, das als das Stabilitätsband bezeichnet wird, in dem die Kerne nicht zerfallen.

Der Stabilitätsstreifen verläuft nicht diagonal von „links unten“ nach „rechts oben“, wie man es aufgrund des angestrebten Isospin = 0 - Zustandes (Protonenzahl = Neutronenzahl) erwarten würde, da die Coulomb-Wechselwirkung einen mit steigender Protonenzahl immer größer werdenden Neutronenüberschuss für die Stabilität erzwingt. Außerhalb des Stabilitätsstreifens zerfallen die Kerne in Richtung des Streifens (β^+ nach „rechts unten“, β^- nach „links oben“) mit Halbwertszeiten, die i. A. kürzer sind mit zunehmendem Abstand vom Stabilitätsstreifen. Die Zerfälle lassen sich aufgrund ihrer Strahlung einteilen:

- α -Strahlung [$\alpha = (ppnn) = {}^4_2\text{He} = \text{He}^{2+} = \text{He III}$]:
 ${}^A_Z X_N \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y_{N-2} + {}^4_2\text{He}$.
- β -Strahlung [$\beta^{-/+} = e^-/e^+$ -Emission]:
 ${}^A_Z X_N \rightarrow {}^A_{Z+1} Y_{N-1} + e^- + \bar{\nu}_e$: β^- -Zerfall;
 ${}^A_Z X_N \rightarrow {}^A_{Z-1} Y_{N+1} + e^+ + \nu_e$: β^+ -Zerfall;
 ${}^A_Z X_N + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1} Y_{N+1} + \nu_e$: Elektronen-Einfang [‘electron capture’].
- γ -Strahlung [γ : elektromagnetische Strahlung mit $E > 10$ keV]:
 ${}^A_Z X_N^* \rightarrow {}^A_Z X_N + \gamma$ [*: steht für Anregung des Kerns].

Es gibt 4 Zerfallsreihen, wobei die letzte nicht natürlich ist:

Reihe	Mutternuklid	$T_{1/2}/[a]$	Endnuklid	Massenformel
Thorium	²³² ₉₀ Th	$1,39 \cdot 10^{10}$	²⁰⁸ ₈₂ Pb	$4 \cdot n$
Uran-Radium	²³⁸ ₉₂ U	$4,51 \cdot 10^9$	²⁰⁶ ₈₂ Pb	$4 \cdot n + 2$
Uran-Actinium	²³⁵ ₉₂ U	$7,13 \cdot 10^8$	²⁰⁷ ₈₂ Pb	$4 \cdot n + 3$
Neptunium	²³⁷ ₉₃ Np	$2,14 \cdot 10^6$	²⁰⁹ ₈₃ Bi	$4 \cdot n + 1$

Einige wichtige Größen und Gesetze zum Zerfall:

Nuklidzahl: $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ mit λ : Umwandlungskonstante, $N_0 := N(t = 0)$;

mittlere Lebensdauer: $\tau = \frac{1}{\lambda}$, Halbwertszeit: $T_{1/2} = \tau \cdot \ln(2)$, $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} = \frac{0,693147180559\dots}{T_{1/2}} = \tau^{-1}$;

Aktivität: $\mathcal{A} := \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N(t)$, $\mathcal{A}(t) = \mathcal{A}_0 \cdot e^{-\lambda t} = \mathcal{A}_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}$ mit Einheit $s^{-1} \hat{=} \text{Bq} \hat{\approx} 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ci}$;

Zerfallsbreite: $\Gamma = \frac{\hbar}{\tau} = \frac{\hbar \cdot \ln(2)}{T_{1/2}}$.



Das Periodensystem der Elemente

I A 1,00794(7) 2 2,2 1, -1 1 H Wasserstoff	II A 9,012182 2 1,0 1 1,5 3 Li Lithium	II A 9,012182 2 1,0 1 1,5 4 Be Beryllium	III B 22,98976928 1 1,0 1 11 Na Natrium	III B 24,3050 3 2 3 12 Mg Magnesium	III B 44,955908 1 1,2 3 21 Sc Scandium	IV B 47,867 5 1,3 4,3 22 Ti Titan	V B 50,9415 2 1,5 5,4,3,2,0 23 V Vanadium	VI B 51,9961 4 1,6 6,3,2,0 24 Cr Chrom	VII B 54,938044 1 1,6 7,6,4,3,2,0,-1 25 Mn Mangan	VIII B 55,845 4 1,6 6,3,2,0,-2 26 Fe Eisen	VIII B 58,933195 1 1,7 3,2,0,-1 27 Co Cobalt	VIII B 58,6934 5 1,8 3,2,0 28 Ni Nickel	IB 63,546 2 1,8 2,1 29 Cu Kupfer	II B 65,39 5 1,7 2 30 Zn Zink	III A 10,811(7) 2 2,0 2 5 B Bor	IV A 12,0107(8) 2 2,5 2,2,-4 6 C Kohlenstoff	V A 14,0067(2) 2 3,1 5,4,3,2,-3 7 N Stickstoff	VI A 15,9994(3) 3 3,5 2,-1 8 O Sauerstoff	VII A 18,998403163 1 4,1 1 9 F Fluor	VIII A 4,002602(2) 2 2 He Helium	
39,0983 3 0,9 1 19 K Kalium	40,078 6 1,0 2 20 Ca Calcium	88,90585 1 1,1 3 39 Y Yttrium	91,224 1 1,2 4 40 Zr Zirkonium	92,90638 1 1,2 5,3 41 Nb Niobium	95,94 7 1,3 6,5,4,3,2,0 42 Mo Molybdän	(97,9072) 7 1,4 7 43 Tc Technetium	101,07 1 1,4 8,6,4,3,2,0,-2 44 Ru Ruthenium	102,90550 1 1,5 5,4,3,2,1,0 45 Rh Rhodium	106,42 6 1,4 4,2,0 46 Pd Palladium	107,8682 2 1,4 2,1 47 Ag Silber	112,411 8 1,5 2 48 Cd Cadmium	114,818 2 1,5 3 49 In Indium	118,710 10 1,7 4,2 50 Sn Zinn	121,760 2 1,8 5,3,-3 51 Sb Antimon	127,60 8 2,0 6,4,-2 52 Te Tellur	126,90447 1 2,2 7,5,1,-1 53 I Jod	131,293 9 6,4,2 54 Xe Xenon				
132,90545196 1 0,9 1 85 Cs Cäsium	137,327 4 1,0 2 56 Ba Barium	57 - 71 La-Lu Lanthanoide	178,49 6 1,2 4 72 Hf Hafnium	180,94788 2 1,3 5 73 Ta Tantal	183,84 5 1,4 6,5,4,3,2,0 74 W Wolfram	186,207 2 1,5 7,6,4,2,-1 75 Re Rhenium	190,23 7 1,5 8,6,4,3,2,0,-2 76 Os Osmium	192,217 2 1,6 6,4,3,2,1,0,-1 77 Ir Iridium	195,084 6 1,4 4,2,0 78 Pt Platin	196,966569 1 1,4 3,1 79 Au Gold	200,592 7 1,5 2,1 80 Hg Quecksilber	204,3833 2 1,4 3,1 81 Tl Thallium	207,2 4 1,6 4,2 82 Pb Blei	208,98040 1 1,7 5,3 83 Bi Bismut	208,98243 8 1,8 7 (r) 6,4,2 84 Po Polonium	(209,98715) 4 (r) 2,0 7,5,3,1,-1 85 At Astat	(222,01758) 4 (r) 2 86 Rn Radon				
(223,01974) 1 (r) 0,9 1 87 Fr Francium	(226,02541) 4 (r) 1,0 2 88 Ra Radium	89 - 103 Ac-Lr Actinoide	(267,12169) 0 104 Rf Rutherfordium	(268,12567) 0 (Ha) (Hahnium)	(269,12863) 0 (Ns) (Nielsbohrium)	(270,13336) 0 107 Bh Bohrium	(278,1563) 0 108 Hs Hassium	(281,1645) 0 109 Mt Meitnerium	(282,16912) 0 110 Ds Darmstadtium	(286,18221) 0 (Uut) (Ununtrium)	(289,19042) 0 (Uuq) (Ununquadium)	(289,19363) 0 (Uup) (Ununpentium)	(292,2105) 0 (Uuh) (Ununhexium)	(294,2105) 0 (Uus) (Ununseptium)	(294,21392) 0 (Uuo) (Ununoctium)	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tenness	118 Og Oganesson

Lanthanoide:

138,90547 2 1,1 3	140,115 4 1,1 4,3	140,90765 1 1,1 4,3	144,242 7 1,1 3	(144,91276) (r) 1,1 3	150,36 7 1,1 3,2	151,965 2 1,0 3,2	157,25 7 1,1 3	158,92534 1 1,1 4,3	162,50 7 1,1 3	164,93032 1 1,1 3	167,259 6 1,1 3	168,93422 1 1,1 3,2	173,054 7 1,1 3,2	174,9668 2 1,1 3
57 La Lanthan	58 Ce Cer	59 Pr Praseodym	60 Nd Neodym	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium

Actinoide:

(227,02775) 2 (r) 1,0 3	232,03806 2 1,1 4	231,03588 2 1,1 3,4	238,02891 3 1,2 6,5,4,3	(237,04817) (r) 1,2 6,5,4,3	(244,06420) (r) 1,2 6,5,4,3	(243,06138) (r) 1,2 6,5,4,3	(247,07035) (r) 1,2 4,3	(247,07031) 0 1,2 4,3	(251,07959) 0 1,2 4,3	(252,08298) 0 1,2 3	(257,09510) 0 1,2 3	(258,09844) 0 1,2 3	(259,10103) 0 1,2 3,2	(262,10961) 0 1,2 3
89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uran	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium

Beispiel-Element:

Gruppenbezeichnung →	I A
Relative Atommasse →	1,00794(7)
Anzahl natürlicher Isotope [(r): Radioisotope nat. Zerfallsreihen] →	2, 2,2
Oxidationszahlen [wichtigste] →	1, -1
Ordnungszahl Z →	1 H
Deutscher Elementname →	Wasserstoff

← Elektronegativität [nach Allred und Rochow]

← Elementsymbol