

## Prvek

je látka složená ze stejného druhu neutrálních atomů, které mají shodné protonové číslo, avšak jejich nukleonová čísla mohou být různá. Každý chemický prvek má svůj mezinárodní symbol (značku).

## Chemická sloučenina

je chemicky čistá látka, která je tvořena jedním druhem molekul, které obsahují více než jeden druh atomů.

A portion of the periodic table showing elements from Aluminum to Astatine. The elements are arranged in rows and columns, with their atomic numbers, symbols, and names listed. The elements shown include: Al (Aluminum), Si (Silicon), P (Phosphorus), S (Sulfur), Cl (Chlorine), Ar (Argon), K (Potassium), Ca (Calcium), Sc (Scandium), Ti (Titanium), V (Vanadium), Cr (Chromium), Mn (Manganese), Fe (Iron), Co (Cobalt), Ni (Nickel), Cu (Copper), Zn (Zinc), Ga (Gallium), Ge (Germanium), As (Arsenic), Se (Selenium), Br (Bromine), Kr (Krypton), Rb (Rubidium), Sr (Strontium), Y (Yttrium), Zr (Zirconium), Nb (Niobium), Mo (Molybdenum), Tc (Technetium), Ru (Ruthenium), Rh (Rhodium), Pd (Palladium), Ag (Silver), Cd (Cadmium), In (Indium), Sn (Tin), Sb (Antimony), Te (Tellurium), I (Iodine), Xe (Xenon), Ba (Barium), La (Lanthanum), Ce (Cerium), Pr (Praseodymium), Nd (Neodymium), Pm (Promethium), Sm (Samarium), Eu (Europium), Gd (Gadolinium), Tb (Terbium), Dy (Dysprosium), Ho (Holmium), Er (Erbium), Tm (Thulium), Yb (Ytterbium), Lu (Lutetium), Hf (Hafnium), Ta (Tantalum), W (Tungsten), Re (Rhenium), Os (Osmium), Ir (Iridium), Pt (Platinum), Au (Gold), Hg (Mercury), Tl (Thallium), Pb (Lead), Bi (Bismuth), Po (Polonium), At (Astatine), Rn (Radon), Fr (Francium), Ra (Radium), Ac (Actinium), Th (Thorium), Pa (Protactinium), U (Uranium), Np (Neptunium), Pu (Plutonium), Am (Americium), Cm (Curium), Bk (Berkelium), Cf (Californium), Es (Einsteinium), Fm (Fermium), Md (Mendelevium), No (Nobelium), Lr (Lawrencium).

<https://www.webelements.com/>

# Periodický zákon a periodická tabulka

Vlastnosti prvků jsou periodickou funkcí jejich protonových čísel.

**Periodická soustava (tabulka) prvků** = grafické vyjádření periodicity prvků  
nejobvyklejší podoba = *dlouhá tabulka*

- rozdělena na 7 period
- prvek na počátku každé periody se vyznačuje tím, že v jeho atomu bylo zahájeno vytváření nové el. sféry
- každá perioda ukončena vzácným plynem

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period 1	1 1 H																	4 2 He
2	7 3 Li	9 4 Be											11 5 B	12 6 C	14 7 N	16 8 O	19 9 F	20 10 Ne
3	23 11 Na	24 12 Mg											27 13 Al	28 14 Si	31 15 P	32 16 S	35.5 17 Cl	40 18 Ar
4	39 19 K	40 20 Ca	45 21 Sc	48 22 Ti	51 23 V	52 24 Cr	55 25 Mn	56 26 Fe	59 27 Co	59 28 Ni	63.5 29 Cu	65 30 Zn	70 31 Ga	73 32 Ge	75 33 As	79 34 Se	80 35 Br	84 36 Kr
5	85 37 Rb	88 38 Sr	89 39 Y	91 40 Zr	93 41 Nb	96 42 Mo	98 43 Tc	101 44 Ru	103 45 Rh	106 46 Pd	108 47 Ag	112 48 Cd	115 49 In	119 50 Sn	122 51 Sb	128 52 Te	127 53 I	131 54 Xe
6	133 55 Cs	137 56 Ba	57-71	178 72 Hf	181 73 Ta	184 74 W	186 75 Re	190 76 Os	192 77 Ir	195 78 Pt	197 79 Au	201 80 Hg	204 81 Tl	207 82 Pb	209 83 Bi	209 84 Po	210 85 At	222 86 Rn
7	223 87 Fr	226 88 Ra	89-103	267 104 Rf	268 105 Db	270 106 Sg	271 107 Bh	269 108 Hs	278 109 Mt	281 110 Ds	281 111 Rg	285 112 Cn	286 113 Uut	289 114 Fl	289 115 Uup	293 116 Lv	294 117 Uus	294 118 Uuo

139 57 La	140 58 Ce	141 59 Pr	144 60 Nd	147 61 Pm	150 62 Sm	152 63 Eu	157 64 Gd	159 65 Tb	162 66 Dy	165 67 Ho	167 68 Er	169 69 Tm	173 70 Yb	175 71 Lu
227 89 Ac	232 90 Th	231 91 Pa	238 92 U	237 93 Np	244 94 Pu	243 95 Am	247 96 Cm	247 97 Bk	251 98 Cf	252 99 Es	257 100 Fm	258 101 Md	259 102 No	262 103 Lr

## Periodic Table Key

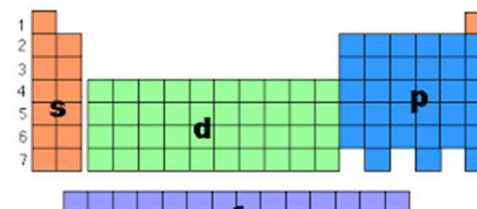
X Synthetic Elements	X Liquids or melt at close	X Solids	X Gases	Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Transition Metals	Other Metals	Metalloids	Other Non Metals	Halogens	Noble Gases	Lanthanides & Actinides
----------------------------	----------------------------------	-------------	------------	---------------	------------------------	----------------------	--------------	------------	---------------------	----------	-------------	----------------------------

<https://www.rsc.org/periodic-table/>

# Periodická soustava prvků (dlouhá forma)



or in a more condensed form



		IUPAC Group → 1															18			
		Main Group → I															VIII			
		Period → 1										13	14	15	16	17	2			
												III	IV	V	VI	VII	He			
1	1											5	6	7	8	9	10			
	I											B	C	N	O	F	Ne			
2	2											13	14	15	16	17	18			
	II											Al	Si	P	S	Cl	Ar			
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	31	32	33	34	35	36				
		Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
4	4	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54			
		Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
5	5	55	56	57 to 70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
		Cs	Ba	[Lanthanoids]	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
6	6	87	88	89 to 102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
		Fr	Ra	[Actinoids]	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Ff	Uup	Lv	Uus	Uuo

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Lanthanoids													
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No
Rare Earth Metals													
Actinoids													

**North American numbering**

IA												IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
H	IIA											B	C	N	O	F	He
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIB	IB	IIB			Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn						

**European numbering**

IA												IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIB
H	IIA											B	C	N	O	F	He
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
Na	Mg	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIA	IB	IIB			Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn						

**IUPAC numbering**

1												13	14	15	16	17	18
H	2											B	C	N	O	F	He
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn						



## Periodická soustava prvků (krátká forma)

Period	Series	Group															
		a I b	a II b	a III b	a IV b	a V b	a VI b	a VII b	a VIII b								
1	I	1 H													2 He		
2	II	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne								
3	III	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar								
4	IV	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni						
	V	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr								
5	VI	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd						
	VII	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe								
6	VIII	55 Cs	56 Ba	57-71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt						
	IX	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn								
7	X	87 Fr	88 Ra	89-103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds						
	XI	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo								
Higher oxides		R <sub>2</sub> O	RO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	RO <sub>4</sub>								
Volatile hydrogen compounds				[(RH <sub>3</sub> ) <sub>x</sub> ]	RH <sub>4</sub>	RH <sub>3</sub>	RH <sub>2</sub>	RH									
57-71		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
89-103		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

## Periodická soustava prvků (krátká forma)

Group 0	I a b	II a b	III a b	IV a b	V a b	VI a b	VII a b	VIII
	H 1							
He 2	Li 3	Be 4	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	
Ne 10	Na 11	Mg 12	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	
Ar 18	K 19 Cu 29	Ca 20 Zn 30	Sc 21 Ga 31	Ti 22 Ge 32	V 23 As 33	Cr 24 Se 34	Mn 25 Br 35	Fe 26, Co 27, Ni 28
Kr 36	Rb 37 Ag 47	Sr 38 Cd 48	Y 39 In 49	Zr 40 Sn 50	Nb 41 Sb 51	Mo 42 Te 52	- I 53	Ru 44, Rh 45, Pd 46
Xe 54	Cs 55 Au 79	Ba 56 Hg 80	57-71* Tl 81	Hf 72 Pb 82	Ta 73 Bi 83	W 74 Po 84	Re 75 -	Os 76, Ir 77, Pt 78
Rn 86	-	Ra 88	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92		

\* Lanthanum and the lanthanons

©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.

# Atomová hmotnost

**Proutova hypotéza (1815):** Atomové hmotnosti prvků jsou celočíselnými násobky hmotnosti atomu vodíku.

Odchytky od Proutovy hypotézy souvisí s existencí **izotopů** (např. neceločíselná hodnota atomové hmotnosti Ne  $A_{r_{\text{Ne}}} = 20.2$  je dána tím, že přírodní neon je směsí 90 %  $^{20}\text{Ne}$  a 10 %  $^{22}\text{Ne}$ ). Další příčinou odchylek od Proutovy hypotézy je existence **hmotnostního defektu**.

**Astonovo pravidlo celých čísel (1920):** Atomové hmotnosti izotopů mají přibližně celočíselné hodnoty.

**Atomová hmotnostní konstanta ( $m_u$ ):**  $u = 1/12$  klidové hmotnosti atomu  $^{12}_6\text{C}$  v základním stavu a nevázaného chemickými vazbami.

$$m_u = 1,660\,539\,066\,60(50) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_u = (1,660\,539\,066\,60 \pm 0,000\,000\,000\,50) \times 10^{-27} \text{ kg}$$



## Příklad

Neutronová hvězda vzniká jako pozůstatek po výbuchu supernovy. Hmotnost neutronové hvězdy je rovna 2.4 násobku hmotnosti Slunce ( $M_{\odot} = 1.99 \times 10^{30}$  kg) a její průměr je 26 km.

(a) Jaká je hustota neutronové hvězdy?

(b) Srovnajte její hustotu s hustotou jádra atomu uranu o průměru 15 fm ( $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$ ).

## Řešení

(a) Poloměr neutronové hvězdy je  $\frac{1}{2} \times 26 \text{ km} = \frac{1}{2} \times 2.6 \times 10^4 \text{ m} = 1.3 \times 10^4 \text{ m}$ ,  
odtud její hustota

$$\rho = m/V = m / \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \right) = \frac{2.4(1.99 \times 10^{30} \text{ kg})}{\left( \frac{4}{3} \pi (1.3 \times 10^4 \text{ m})^3 \right)} = \underline{5.2 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3}$$

(b) Poloměr jádra  $^{235}\text{U}$  je  $12 \times 15 \times 10^{-15} \text{ m} = 7.5 \times 10^{-15} \text{ m}$ ,  
odtud jeho hustota

$$\rho = m/V = m / \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \right) = \frac{235 (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg})}{\left( \frac{4}{3} \pi (7.5 \times 10^{-15} \text{ m})^3 \right)} = \underline{2.2 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3}$$

Hustota jádra uranu je zhruba dvojnásobná.



## Zákon stálých poměrů slučovacích (Proust 1799, Dalton 1799)

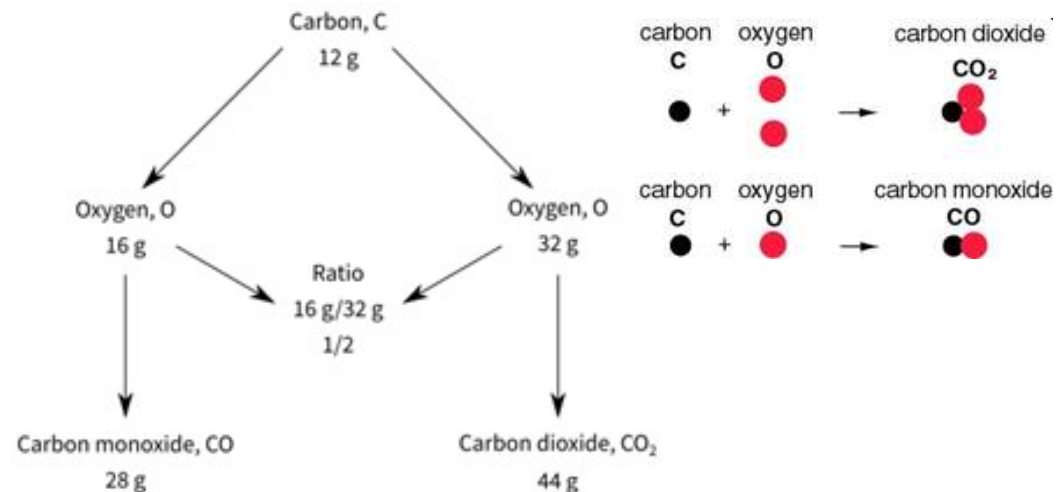
Hmotnostní poměr prvků či součástí dané sloučeniny je vždy stejný a nezávislý na způsobu přípravy sloučeniny.

**Příklad:** Ve vodě je poměr hmotností kyslíku a vodíku přibližně 8 : 1.

## Zákon násobných poměrů slučovacích (Richter 1791, Dalton 1802)

Tvoří-li dva prvky více podvojných sloučenin, pak hmotnosti jednoho prvku slučujícího se vždy se stejným množstvím prvku druhého jsou pro tyto sloučeniny v poměrech, které lze vyjádřit přibližně podílem malých celých čísel.

**Příklad:** Kyslík, který se sloučí beze zbytku s 1 g vodíku na vodu, má hmotnost asi 8 g. Kyslík, který se sloučí beze zbytku s 1 g vodíku na peroxid vodíku, má hmotnost přibližně 16 g. Poměr uvedených hmotností kyslíku je 1:2.



## Relativní atomová hmotnost

**Relativní atomová hmotnost** ( $A_r$ ) udává, kolikrát je klidová hmotnost daného atomu větší než atomová hmotnostní konstanta ( $m_u$ ). Bezrozměrné číslo, někdy se uvádí jako jednotka 1 **Da** (dalton) nebo již nepoužívaná jednotka 1 **a.m.u** (atomic mass unit).

$$A_r = \frac{m_a}{m_u}$$

kde  $m_a$  je klidová hmotnost atomu,  $m_u$  je atomová hmotnostní konstanta ( $1,661 \times 10^{-27}$  kg).

Neceločíselná hodnota relativní atomové hmotnosti ( $A_r$ ) je dána tím, že přírodní prvek je směsí několika izotopů

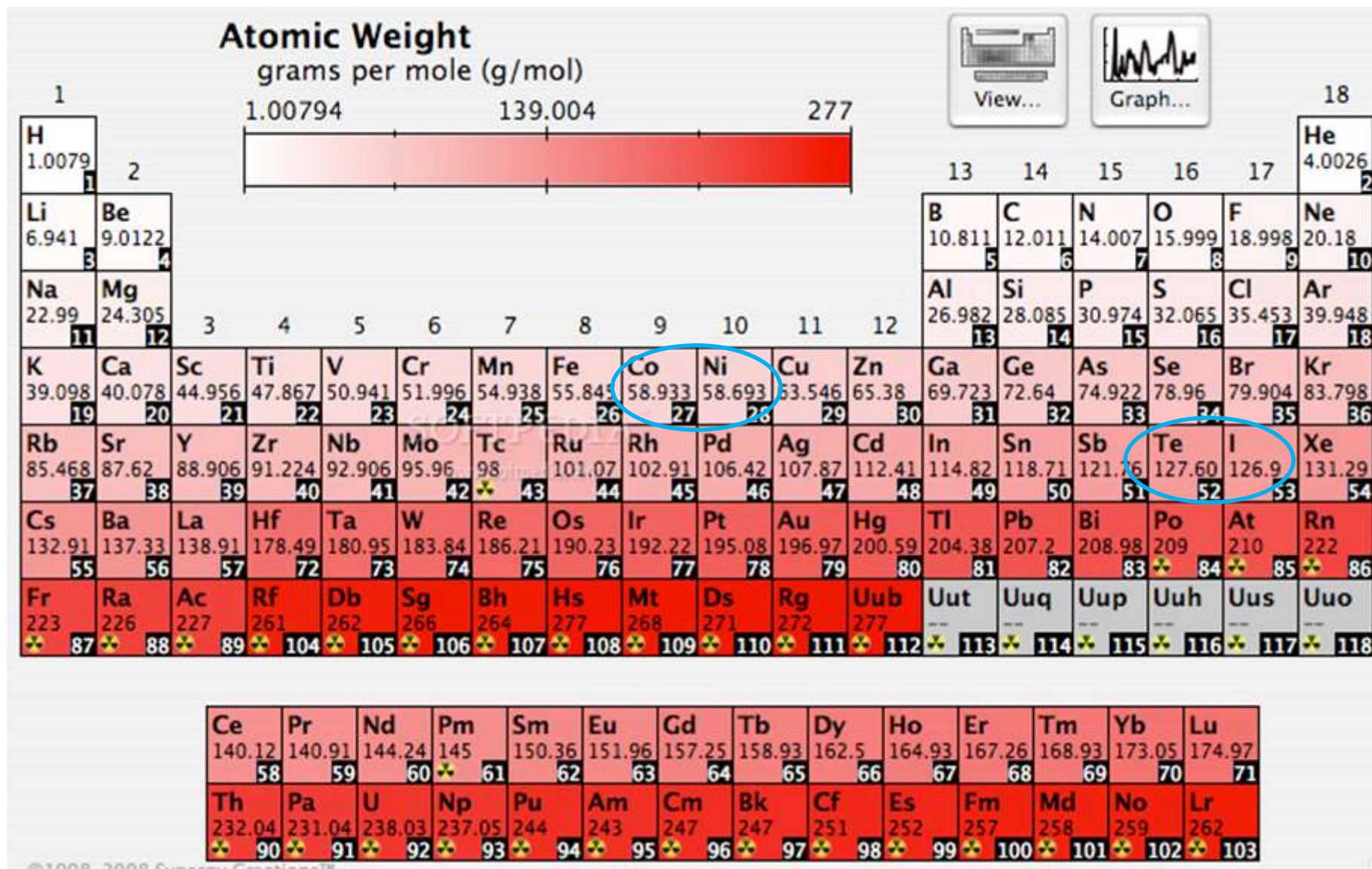
$$\text{Average Atomic Mass} = \sum \left( \text{isotope mass} \times \frac{\text{percent of abundance}}{100 \%} \right)$$

Zaokrouhlená hodnota **Ar** je rovna hodnotě **nukleonového čísla A**.

**Chlor** ( $A_r = 35,453$ )

Isotope	Relative Mass	Abundance
$^{35}\text{Cl}$	34.969	75.80%
$^{37}\text{Cl}$	36.966	24.20%

# Atomová hmotnost



## Příklad

Průzkumem neznámé planety bylo zjištěno následující zastoupení izotopů titanu (viz tabulka):

Isotope	Abundance	Mass (amu)
$^{46}\text{Ti}$	76.300%	45.95263
$^{48}\text{Ti}$	11.900%	47.94795
$^{50}\text{Ti}$	11.800%	49.94479

Jaká je relativní atomová hmotnost titanu na této planetě?

$$M_{\text{Ti}} = 45.95263 \times 76.3/100 + 47.94795 \times 11.9/100 + 49.94479 \times 11.8/100 = \underline{46.66115} \text{ amu.}$$

(relativní atomová hmotnost titanu na Zemi je 47,867 amu)

## Predikce atomových hmotností

1. **Döberainerovy triády** (1817 a 1829): Atomová hmotnost prostředního člena triády je přibližně rovna průměru atomových hmotností obou krajních členů:

Cl: 35.46

S: 32.06

Ca: 40.07

Br: 79.92

Se: 79.2

Sr: 87.63

I: 126.92

Te: 127.5

Ba: 137.37

$(Cl + I)/2$ : 81.19

$(S + Te)/2$ : 79.78

$(Ca + Ba)/2$ : 88.72

Další triády: Fe + Co + Ni, Ru + Rh + Pd, Os + Ir + Pt

Pro nukleonová čísla platí identita:

$$(n - 1 + n + 1)/2 = n$$

2. Atomová hmotnost prvku je přibližně rovna **aritmetickému průměru atomových hmotností** okolních prvků:

$$A_{Cu} = (A_K + A_{Ca} + A_{Rb} + A_{Sr})/4 = 63.05 \quad (\text{skutečnost: } 63.57)$$

Pro nukleonová čísla platí identita:

$$[(n - k) + (n - k + 1) + (n - k + 2) + \dots + (n + k - 2) + (n + k - 1) + (n + k)]/2k = n$$

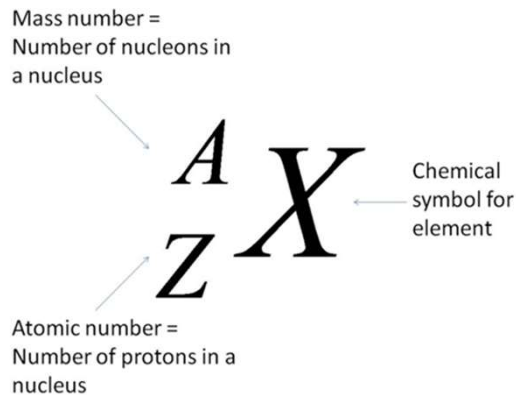
# Periodic Table of Elements

based on Mendeleev's Periodic Law

0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
He 4.00	Li 6.94	Be 9.01	B 10.8	• C 12.0	N 14.0	O 16.0	F 19.0			
Ne 20.2	Na 23.0	Mg 24.3	Al 27.0	Si 28.1	P 31.0	• S 32.1	Cl 35.5			
Ar 40.0	K 39.1	Ca 40.1	Sc 45.0	Ti 47.9	V 50.9	Cr 52.0	Mn 54.9	• Fe 55.9	Co 58.9	Ni 58.7
	• Cu 63.5	Zn 65.4	Ga 69.7	Ge 72.6	As 74.9	Se 79.0	Br 79.9			
Kr 83.8	Rb 85.5	Sr 87.6	Y 88.9	Zr 91.2	Nb 92.9	Mo 95.9	Tc (99)	Ru 101	Rh 103	Pd 106
	• Ag 108	Cd 112	In 115	• Sn 119	Sb 122	Te 128	I 127			
Xe 131	Ce 133	Ba 137	• La 139	Hf 179	Ta 181	W 184	Re 180	Os 194	Ir 192	Pt 195
	• Au 197	• Hg 201	Tl 204	• Pb 207	Bi 209	Po (210)	At (210)			
Rn (222)	Fr (223)	Ra (226)	• Ac (227)	• Th 232	• Pa (231)	• U 238				

Dobereiner's triads
  Known to Mendeleev
  Lanthanide series
  Actinide series
  Known to Ancients

# Atomové jádro



Isotopes	Number of protons	Number of neutrons	Number of electrons
$^{28}_{14}\text{Si}$	14	$28 - 14 = 14$	14
$^{29}_{14}\text{Si}$	14	$29 - 14 = 15$	14
$^{30}_{14}\text{Si}$	14	$30 - 14 = 16$	14

**Protonové číslo** (atomové číslo,  $Z$ ) = počet protonů v atomovém jádře daného prvku.

**Nukleonové číslo** (hmotnostní číslo,  $A$ ) = celkový počet protonů + neutronů (tzn. všech nukleonů) v atomovém jádře.

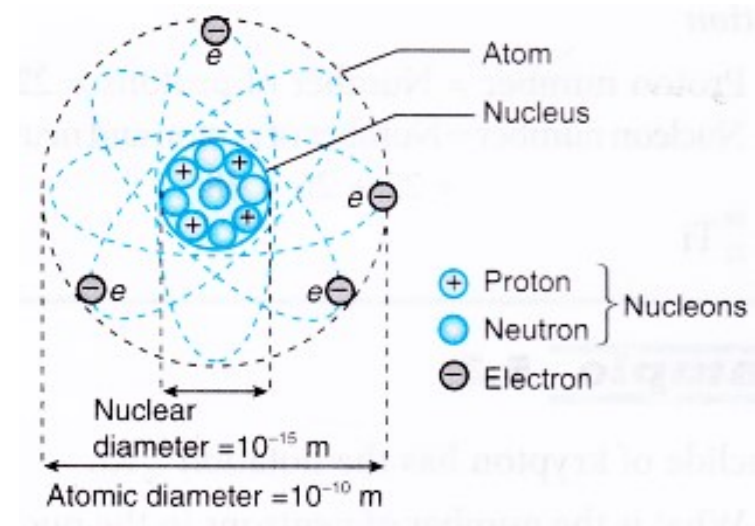
**Neutronové číslo** ( $N$ ) = počet neutronů v atomovém jádře.

$$N = A - Z$$

V neutrálním atomu se počet protonů rovná počtu elektronů, tzn. **protonové číslo označuje také základní počet elektronů** v atomech daného prvku.



- **proton:**  $m = 1.672 \times 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m/m_u = 1.0072$
- **neutron:**  $m = 1.674 \times 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m/m_u = 1.0086$
- **elektron:**  $m = 9.1091 \times 10^{-31} \text{ kg}$   
 $m/m_u = 5.486 \times 10^{-4}$



Hmotnost atomu je soustředěna do jádra, kde je silná interakce proton-neutron.

Efektivní průměr atomu- cca 100-600 pm

Efektivní průměr jádra- cca 0.01 pm  $\Rightarrow$

$10^4 \times$  menší  $\Rightarrow$  obrovská  $\rho \sim 10^{12} \text{ g/cm}^3$

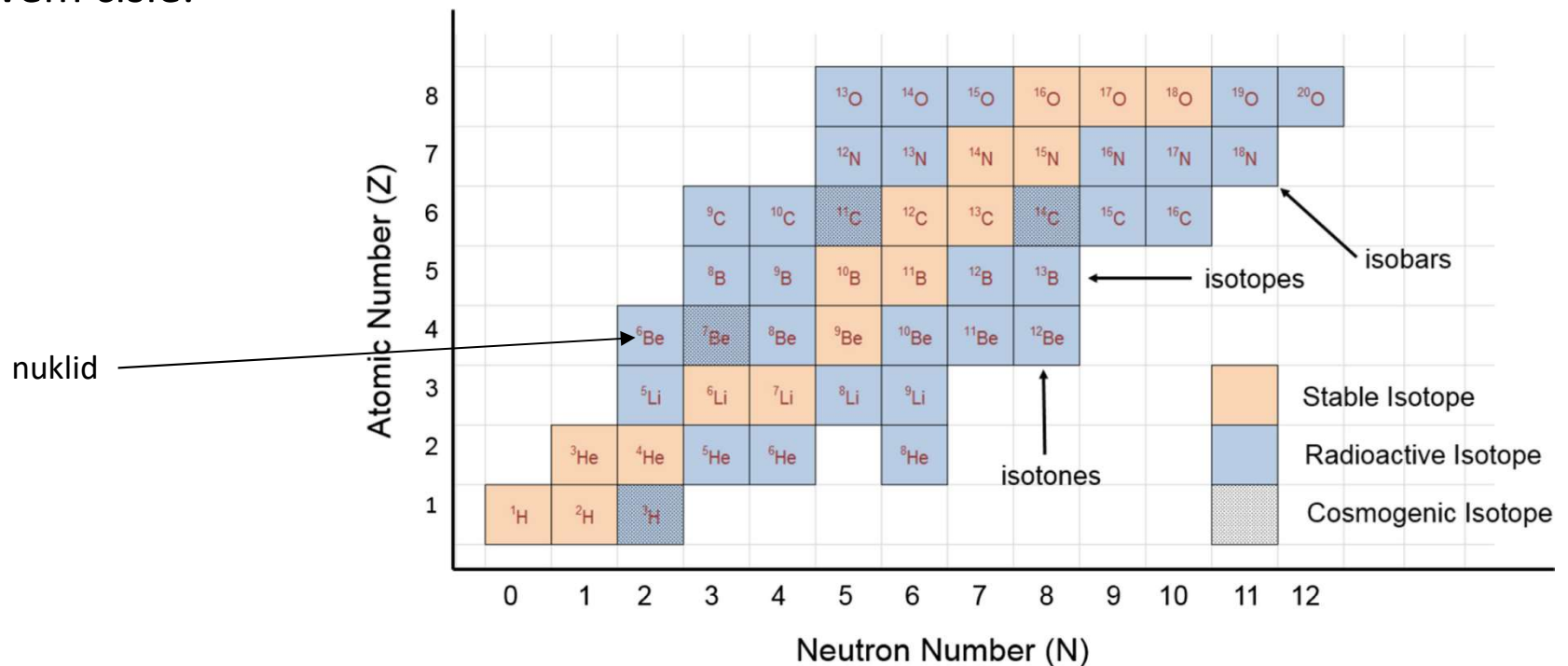
**Klidová hmotnost atomu:**  $m = 10^{-27} - 10^{-25} \text{ kg}$

**Nuklid** – látka, která je složena z atomů které mají shodné protonové číslo (= stejný prvek) i nukleonové číslo.

**Izotopy** – nuklidy stejného prvku, které mají stejné protonové číslo, ale odlišné nukleonové číslo, tzn. liší se počtem neutronů v jádře.

**Izobary** – nuklidy různých prvků, které mají shodné nukleonové číslo a (samozřejmě) odlišné protonové číslo.

**Izotony** – nuklidy různých prvků se stejným neutronovým číslem, tzn. obsahují v atomovém jádře stejný počet neutronů. Izotony se liší v nukleonovém čísle i protonovém čísle.



# Astonovo pravidlo

Prvky s lichým Z mají maximálně 2 stabilní izotopy, prvky se sudým Z mají 2 a více stabilních izotopů (výjimkou je Be: jen 1 stabilní izotop).

1 <b>H</b> Hydrogen																	2 <b>He</b> Helium
3 <b>Li</b> Lithium	4 <b>Be</b> Beryllium											5 <b>B</b> Boron	6 <b>C</b> Carbon	7 <b>N</b> Nitrogen	8 <b>O</b> Oxygen	9 <b>F</b> Fluorine	10 <b>Ne</b> Neon
11 <b>Na</b> Sodium	12 <b>Mg</b> Magnesium											13 <b>Al</b> Aluminium	14 <b>Si</b> Silicon	15 <b>P</b> Phosphorus	16 <b>S</b> Sulfur	17 <b>Cl</b> Chlorine	18 <b>Ar</b> Argon
19 <b>K</b> Potassium	20 <b>Ca</b> Calcium	21 <b>Sc</b> Scandium	22 <b>Ti</b> Titanium	23 <b>V</b> Vanadium	24 <b>Cr</b> Chromium	25 <b>Mn</b> Manganese	26 <b>Fe</b> Iron	27 <b>Co</b> Cobalt	28 <b>Ni</b> Nickel	29 <b>Cu</b> Copper	30 <b>Zn</b> Zinc	31 <b>Ga</b> Gallium	32 <b>Ge</b> Germanium	33 <b>As</b> Arsenic	34 <b>Se</b> Selenium	35 <b>Br</b> Bromine	36 <b>Kr</b> Krypton
37 <b>Rb</b> Rubidium	38 <b>Sr</b> Strontium	39 <b>Y</b> Yttrium	40 <b>Zr</b> Zirconium	41 <b>Nb</b> Niobium	42 <b>Mo</b> Molybdenum	43 <b>Tc</b> Technetium	44 <b>Ru</b> Ruthenium	45 <b>Rh</b> Rhodium	46 <b>Pd</b> Palladium	47 <b>Ag</b> Silver	48 <b>Cd</b> Cadmium	49 <b>In</b> Indium	50 <b>Sn</b> Tin	51 <b>Sb</b> Antimony	52 <b>Te</b> Tellurium	53 <b>I</b> Iodine	54 <b>Xe</b> Xenon
55 <b>Cs</b> Cesium	56 <b>Ba</b> Barium	57 <b>La</b> Lanthanum	72 <b>Hf</b> Hafnium	73 <b>Ta</b> Tantalum	74 <b>W</b> Tungsten	75 <b>Re</b> Rhenium	76 <b>Os</b> Osmium	77 <b>Ir</b> Iridium	78 <b>Pt</b> Platinum	79 <b>Au</b> Gold	80 <b>Hg</b> Mercury	81 <b>Tl</b> Thallium	82 <b>Pb</b> Lead	83 <b>Bi</b> Bismuth	84 <b>Po</b> Polonium	85 <b>At</b> Astatine	86 <b>Rn</b> Radon
87 <b>Fr</b> Francium	88 <b>Ra</b> Radium	89 <b>Ac</b> Actinium	104 <b>Rf</b> Rutherfordium	105 <b>Db</b> Dubnium	106 <b>Sg</b> Seaborgium	107 <b>Bh</b> Bohrium	108 <b>Hs</b> Hassium	109 <b>Mt</b> Meitnerium	110 <b>Ds</b> Darmstadtium	111 <b>Rg</b> Roentgenium	112 <b>Uub</b> Ununbium	113 <b>Uut</b> Ununtrium	114 <b>Fl</b> Flerovium	115 <b>Uup</b> Ununpentium	116 <b>Lv</b> Livermorium	117 <b>Uus</b> Ununseptium	118 <b>Uuo</b> Ununoctium
+		58 <b>Ce</b> Cerium	59 <b>Pr</b> Praseodymium	60 <b>Nd</b> Neodymium	61 <b>Pm</b> Promethium	62 <b>Sm</b> Samarium	63 <b>Eu</b> Europium	64 <b>Gd</b> Gadolinium	65 <b>Tb</b> Terbium	66 <b>Dy</b> Dysprosium	67 <b>Ho</b> Holmium	68 <b>Er</b> Erbium	69 <b>Tm</b> Thulium	70 <b>Yb</b> Ytterbium	71 <b>Lu</b> Lutetium		
++		90 <b>Th</b> Thorium	91 <b>Pa</b> Protactinium	92 <b>U</b> Uranium	93 <b>Np</b> Neptunium	94 <b>Pu</b> Plutonium	95 <b>Am</b> Americium	96 <b>Cm</b> Curium	97 <b>Bk</b> Berkelium	98 <b>Cf</b> Californium	99 <b>Es</b> Einsteinium	100 <b>Fm</b> Fermium	101 <b>Md</b> Mendelevium	102 <b>No</b> Nobelium	103 <b>Lr</b> Lawrencium		

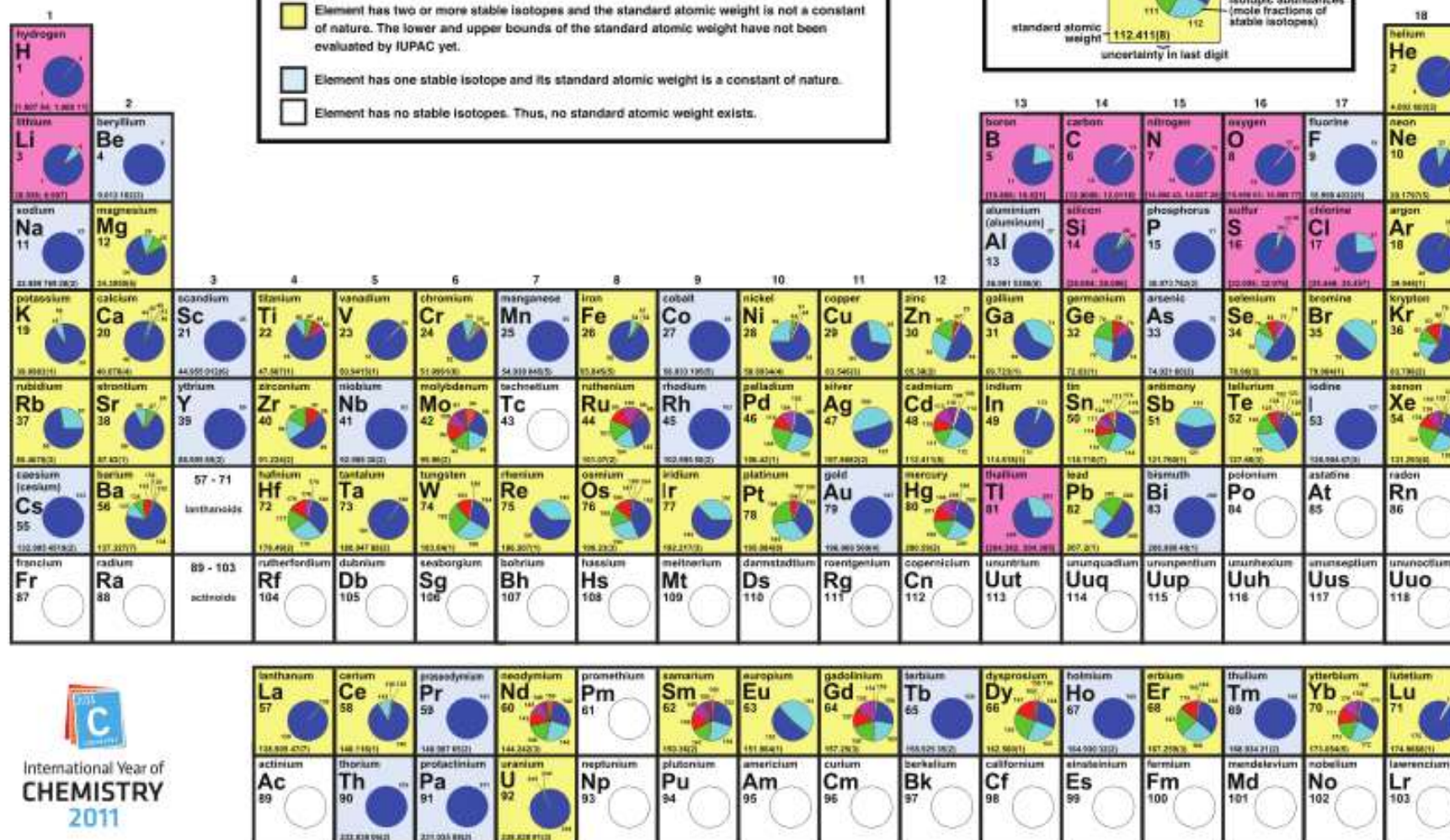
# IUPAC Periodic Table of the Isotopes

- Element has two or more stable isotopes. Atomic weight and isotopic abundances of element vary in naturally occurring materials. The lower and upper bounds of atomic weight have been assessed by IUPAC and are presented as the standard atomic weight within square brackets, [ ].
- Element has two or more stable isotopes and the standard atomic weight is not a constant of nature. The lower and upper bounds of the standard atomic weight have not been evaluated by IUPAC yet.
- Element has one stable isotope and its standard atomic weight is a constant of nature.
- Element has no stable isotopes. Thus, no standard atomic weight exists.

element name: cadmium  
 element symbol: Cd  
 atomic number (number of protons): 48  
 standard atomic weight: 112.411(8)  
 uncertainty in last digit

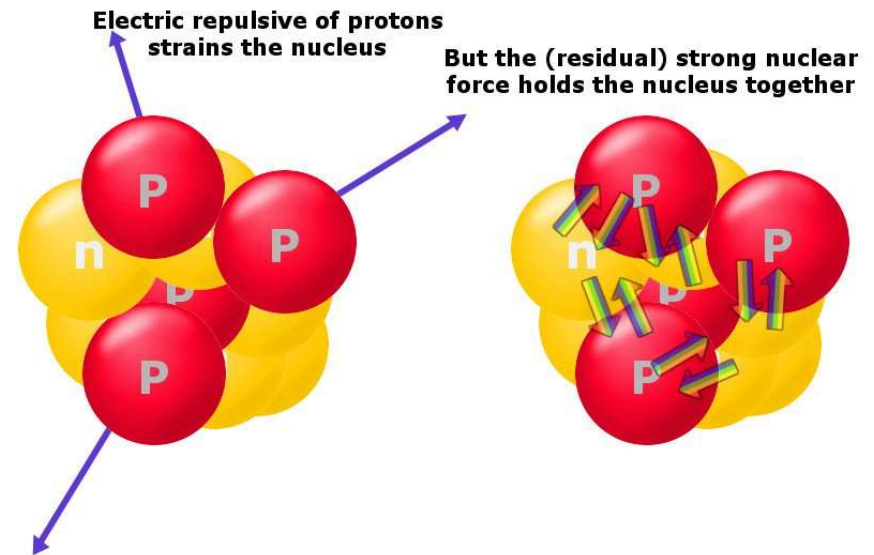
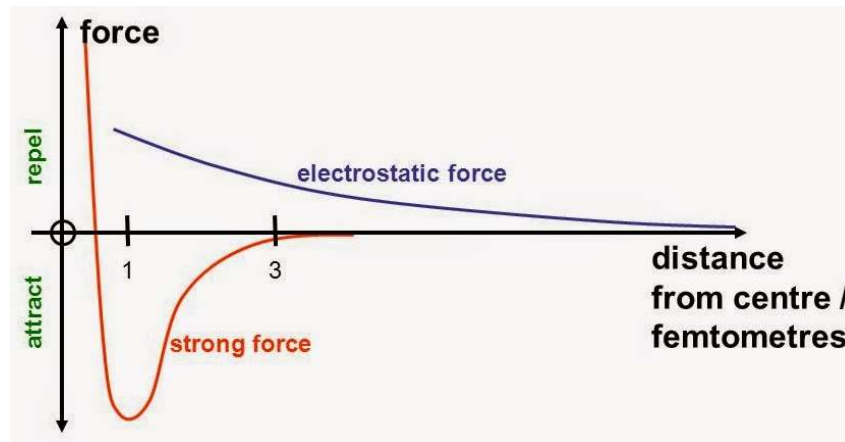
stable isotope mass numbers (number of protons + neutrons): 106, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 116

isotopic abundances (mole fractions of stable isotopes): [Pie chart showing relative proportions of stable isotopes]



# Struktura atomového jádra, vazebné síly

**Nukleony** (protony a neutrony) jsou velmi těsně vázány v jádře. Udržení pozitivně nabitých, navzájem se odpuzujících, protonů ve velmi malém objemu jádra vyžaduje velmi velmi silné přitažlivé síly – **silné jaderné interakce**. Tyto síly působí mezi protony, mezi neutrony a mezi protony and neutrony. Jsou velmi odlišné od elektrostatických sil poutající záporně nabitý elektron ke kladně nabitému jádru. Jejich dosah je méně než  $10^{-15}$  m, omezují se tedy pouze na samotné jádro.



Repulzní energie mezi 2 protony:

$$U_{p-p} = +\frac{ke^2}{r} = \frac{1.44 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{1 \times 10^{-6} \text{ nm}} = 1.44 \text{ MeV}$$

# Struktura atomového jádra

**Poloměr jádra** je cca  $10^{-15}$  m

**Poloměr atomu** je cca  $10^{-10}$  m

Jádra mají obrovskou **hustotu**, v průměru asi  $1.8 \times 10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>.

**Hmotnost** jádra se často vyjadřuje pomocí atomové hmotnostní jednotky  $u$  ( $u \approx 1.66 \times 10^{-27}$  kg), která je přibližně rovna hmotnosti jednoho nukleonu. Hmotnost jádra charakterizuje počet jeho nukleonů daný nukleonovým číslem  $A$ .

**Poloměr jádra:**  $R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$  kde  $R_0 = 1,2 \times 10^{-15}$  m

**Objem jádra:**  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$

**Hustota jádra:**  $\rho = \frac{M}{V} \Rightarrow \rho = \frac{Am}{\frac{4}{3} \pi r_0^3 A} \Rightarrow \rho = \frac{3m}{4\pi r_0^3}$   
 $R_0 = r_0$

Obvykle se jádro považuje za kouli. Ve skutečnosti se však tvar jádra od ideální koule často mírně odlišuje. Jádra tak mohou mít nejen tvar koule, ale i zploštělého elipsoidu, protáhlého elipsoidu nebo i složitějších těles.

**Příklad:** Pokud by Země měla průměrnou hustotu atomového jádra, byl by při stejné hmotnosti její poloměr pouze asi 200 m (skutečný poloměr Země je asi  $6.4 \times 10^6$  m, tj. asi 30 000x větší).

**Příklad:** Jaký je průměr atomového jádra  $^{16}\text{O}$ ?

$$\begin{aligned}R_{\mathbf{0}} &= r_0 A_0^{\frac{1}{3}} = (1.2 \times 10^{-15})(16)^{\frac{1}{3}} \\ &= (1.2 \times 10^{-15}) \times (2.5198) \\ &= 3.0238 \times 10^{-15}\end{aligned}$$

$$\text{diameter} = 2 \times 3.0238 \times 10^{-15} = 6.0476 \times 10^{-15}$$

Ans. diameter of an oxygen nucleus is  $6.05 \times 10^{-15}$  m

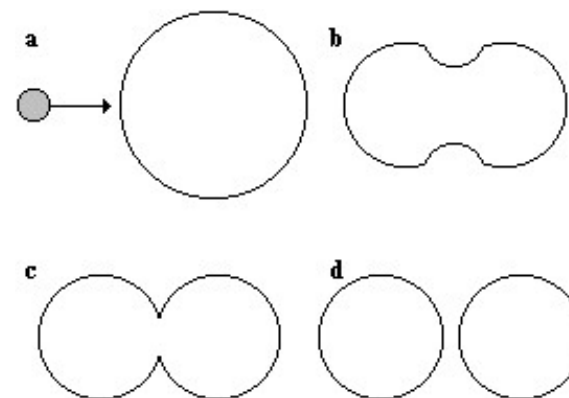
**Příklad:** Kolikanásobně je větší jádro  $^{64}\text{Cu}$  než jádro  $^{16}\text{O}$ ?

$$\frac{R_{\mathbf{Cu}}}{R_{\mathbf{0}}} = \left(\frac{A_{\mathbf{Cu}}}{A_{\mathbf{0}}}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{64}{16}\right)^{\frac{1}{3}} = (4)^{\frac{1}{3}} = 1.59$$

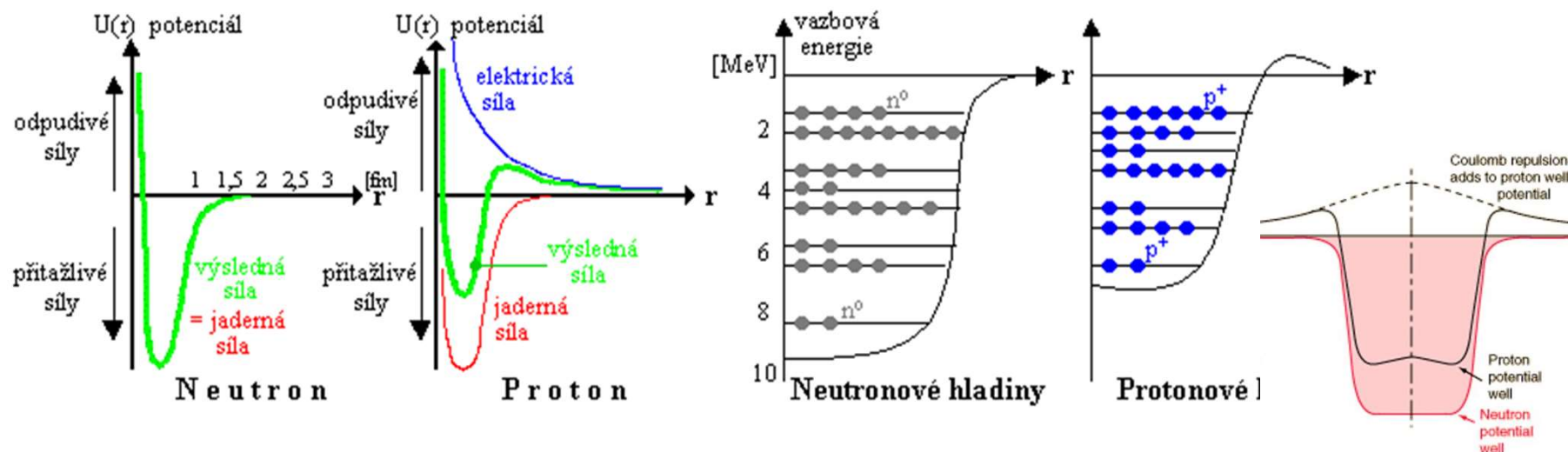
Jádro  $^{64}\text{Cu}$  je 1.59x větší než jádro  $^{16}\text{O}$ .

# Struktura atomového jádra

**Kapkový model:** chování jádra odpovídá chování nestlačitelné kapaliny s velkou a konstantní hustotou. Objem jádra a vazebná energie jsou přímo úměrné nukleonovému číslu  $A$ . Pomocí tohoto modelu lze též vysvětlit průběh jaderné reakce.



**Slupkový (hladinový) model:** nukleony zaujímají určité kvantové stavy (energetické hladiny), které tvoří „slupky“. Při přechodech mezi jednotlivými energetickými hladinami vyzařují nukleony fotony **záření  $\gamma$** . Energie těchto fotonů se pohybuje v rozmezí  $10^4$ - $10^7$ , jedná se o elektromagnetické vlny s nejkratšími známými vlnovými délkami.

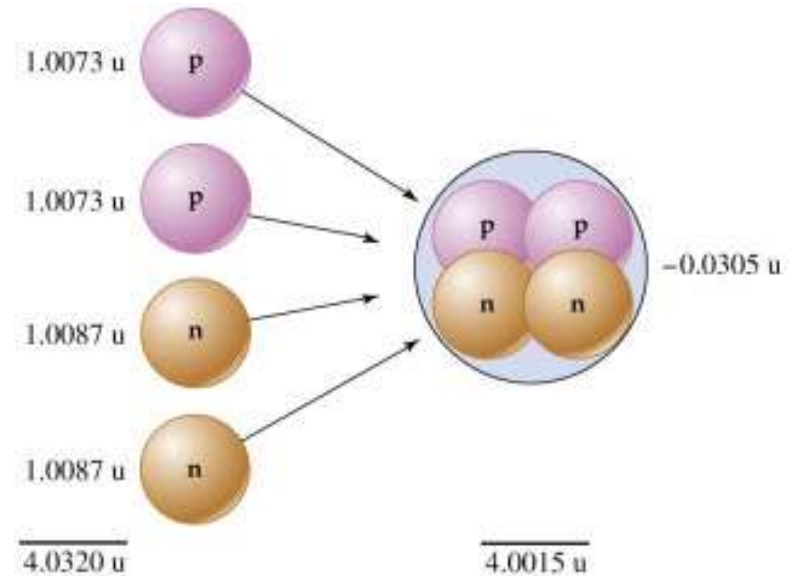




# Hmotnostní defekt a vazebná energie jádra

**Hmotnostní defekt** je rozdíl mezi sumou hmotností protonů a neutronů jimiž je jádro tvořeno a skutečnou hmotností jádra:

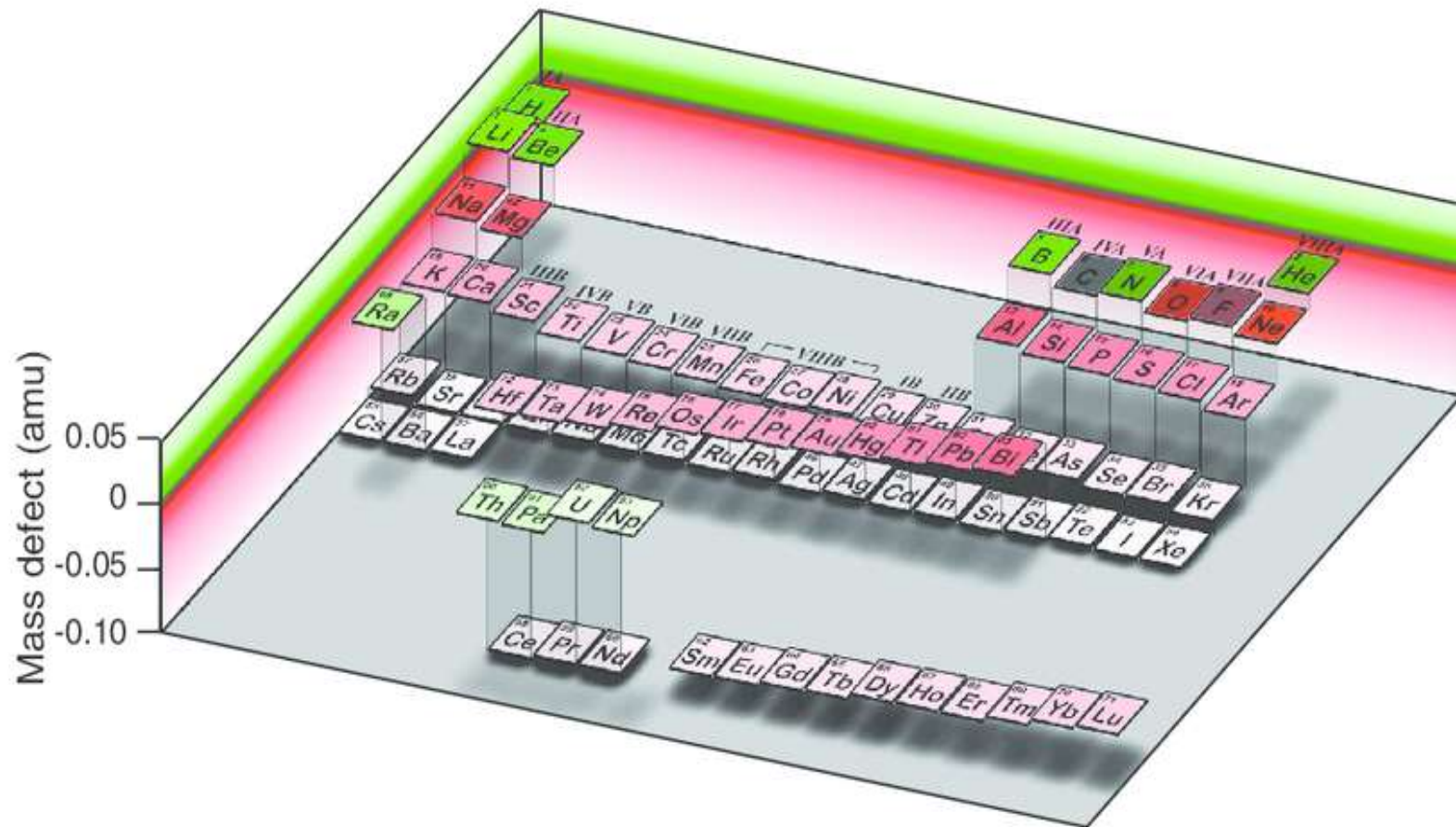
$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_A$$



Vazebnou energii jádra lze vypočítat z **Einsteinovy rovnice**:

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Nucleus	Mass of Nucleus (amu)	Mass of Individual Nucleons (amu)	Mass Defect (amu)	Binding Energy (J)	Binding Energy per Nucleon (J)
${}^4_2\text{He}$	4.00150	4.03188	0.03038	$4.53 \times 10^{-12}$	$1.13 \times 10^{-12}$
${}^{56}_{26}\text{Fe}$	55.92068	56.44914	0.52846	$7.90 \times 10^{-11}$	$1.41 \times 10^{-12}$
${}^{238}_{92}\text{U}$	238.00031	239.93451	1.93420	$2.89 \times 10^{-10}$	$1.21 \times 10^{-12}$



**Index stěsnání** (podle Astona):

$$\rho = (M - A)/A$$

M = zjištěná hmotnost nuklidu (izotopu)

A = nukleonové číslo

**Příklad:** Vypočtete průměrnou vazebnou energii (v kJ/mol) jádra uranu  $^{235}_{92}\text{U}$ . Experimentálně zjištěná hmotnost jádra  $^{235}_{92}\text{U}$  je 235.04393 amu.  
 $m_p = 1.007825$  amu;  $m_n = 1.008665$  amu;  $m_u = 1.660539 \times 10^{-27}$  kg

**Řešení:**

$^{235}_{92}\text{U}$  obsahuje 92 protonů (Z) a 143 neutronů ( $N = A - Z$ ), experimentálně zjištěná hmotnost jádra ( $M_n$ ) je 235.04393 amu. Odtud hmotnostní pro deficit  $M_d$ :

$$M_d = (m_p \times Z + m_n \times N) - M_n = (92 \times (1.00728 \text{ amu}) + 143 \times (1.00867 \text{ amu})) - 235.0439 \text{ amu}$$

$$M_d = 1.86564 \text{ amu}$$

$$M = M_d \times m_u = 1.86564 \text{ amu} \times 1.660539 \times 10^{-27} = 3.09797 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$E = M \times c^2 = 3.09797 \times 10^{-27} \text{ kg} \times (2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$E = 2.7843 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$E_m = 2.7843 \times 10^{-10} \text{ J/atom} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ atomů/mol} = \underline{1.6762 \times 10^{11} \text{ kJ/mol.}}$$

# Vazebná energie atomového jádra

**Bethe-Weizsäckerova rovnice** (semi-empirická hmotnostní rovnice) je odvozena z kapkového modelu jádra.

$$E_B = a_V A - a_S A^{2/3} - a_A \frac{(A-2Z)^2}{A^{1/3}} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} + \delta(A, Z)$$

Volume term
Surface term
Asymmetry term
Coulomb term
Pairing term

For pairing term:

$$\delta(A, Z) = \begin{cases} +\delta_o & A, Z \text{ even} \\ 0 & \\ -\delta_o & A, Z \text{ odd} \end{cases}$$

where

$$\delta_o = \frac{a_P}{A^{1/2}}$$

Coefficients:

$$\begin{aligned} a_V &= 15.85 \text{ MeV} \\ a_S &= 18.34 \text{ MeV} \\ a_A &= 23.21 \text{ MeV} \\ a_C &= 0.714 \text{ MeV} \\ a_P &= 12.00 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Z	N	A	$\delta$	$E_p$
even	even	even	34	$+\delta / A^{3/4}$
even	odd	odd	0	0
odd	even	odd	0	0
odd	odd	even	35	$-\delta / A^{3/4}$

Použitím **Weizsäckerova vzorce** lze vypočítat i hmotnost atomového jádra:  
 $M(A, Z) = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - E_B / c^2$   
 kde  $m_p$  a  $m_n$  jsou hmotnosti protonu a neutronu,  $E_p$  je vazebná energie jádra,  $c$  je rychlost světla ve vakuu.

	$^{40}_{20}\text{Ca}$	$^{107}_{47}\text{Ag}$	$^{238}_{92}\text{U}$
volume term	630	1686	3751
surface term	-208	-401	-684
coulomb term	-83	-331	-971
symmetry term	0	-37	-290
pairing term	+2	0	+0.6
calculated $E_B$	341	917	1806
measured $E_B$	342	915	1802
measured $E_B/A$	8.6	8.6	7.6

Z Bethe - Weizsäckerovy rovnice lze také odvodit:

1. Pro jádra s **lichým N a Z** je kvůli záporné hodnotě párového členu  $\delta$  vazebná energie nižší, u těchto jader lze očekávat **nižší stabilitu**. Pro jádra se **sudým N a Z** je kvůli kladné hodnotě  $\delta$  vazebná energie vyšší, u těchto jader lze očekávat **vyšší stabilitu**.

2. Nalezení **nejstabilnějšího jádra** v řadě izobarů:

$$\left( \frac{\partial M(A, Z)}{\partial Z} \right)_{A=\text{konst}} = 0 \quad \longrightarrow \quad m_p - m_n + 2Z_0 a_C A^{-1/3} + 2a_A (Z_0 - A/2) A^{-1} = 0$$

$$Z_0 \cong \frac{A}{2} \left( \frac{m_n - m_p + a_A}{a_C A^{2/3} + a_A} \right) = \frac{A}{1,98 + 0,0155 A^{2/3}} \quad \begin{array}{l} a_C = 0.714 \text{ MeV} \\ a_V = 15.85 \text{ MeV} \end{array}$$

3. **Energie získána odštěpením nukleonu nebo částice  $\alpha$** . Kinetická energie částice  $\alpha$  vyletující po rozpadu bude:

$$E_\alpha = [M(A, Z) - M(A-4, Z-2) - m_\alpha] c^2 \quad m_\alpha = \text{hmotnost částice } \alpha$$

4. Derivací  $E_b(A,Z)$  vzhledem k  $Z$  lze nalézt nejlepší poměr  $N/Z$  pro dané  $A$ .

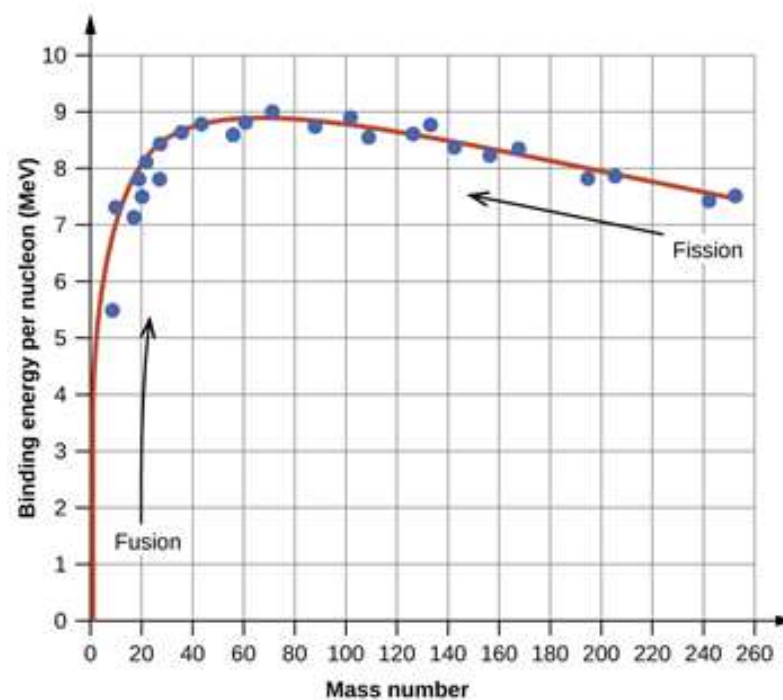
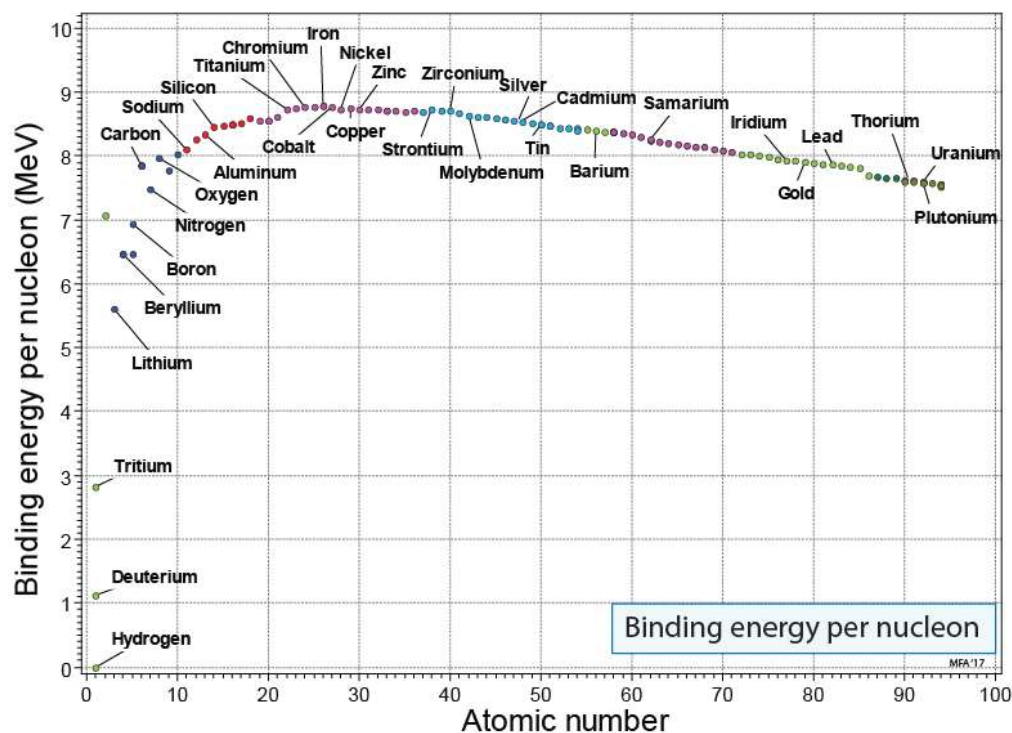
$$N/Z \approx 1 + \frac{a_C}{2a_A} A^{2/3}.$$

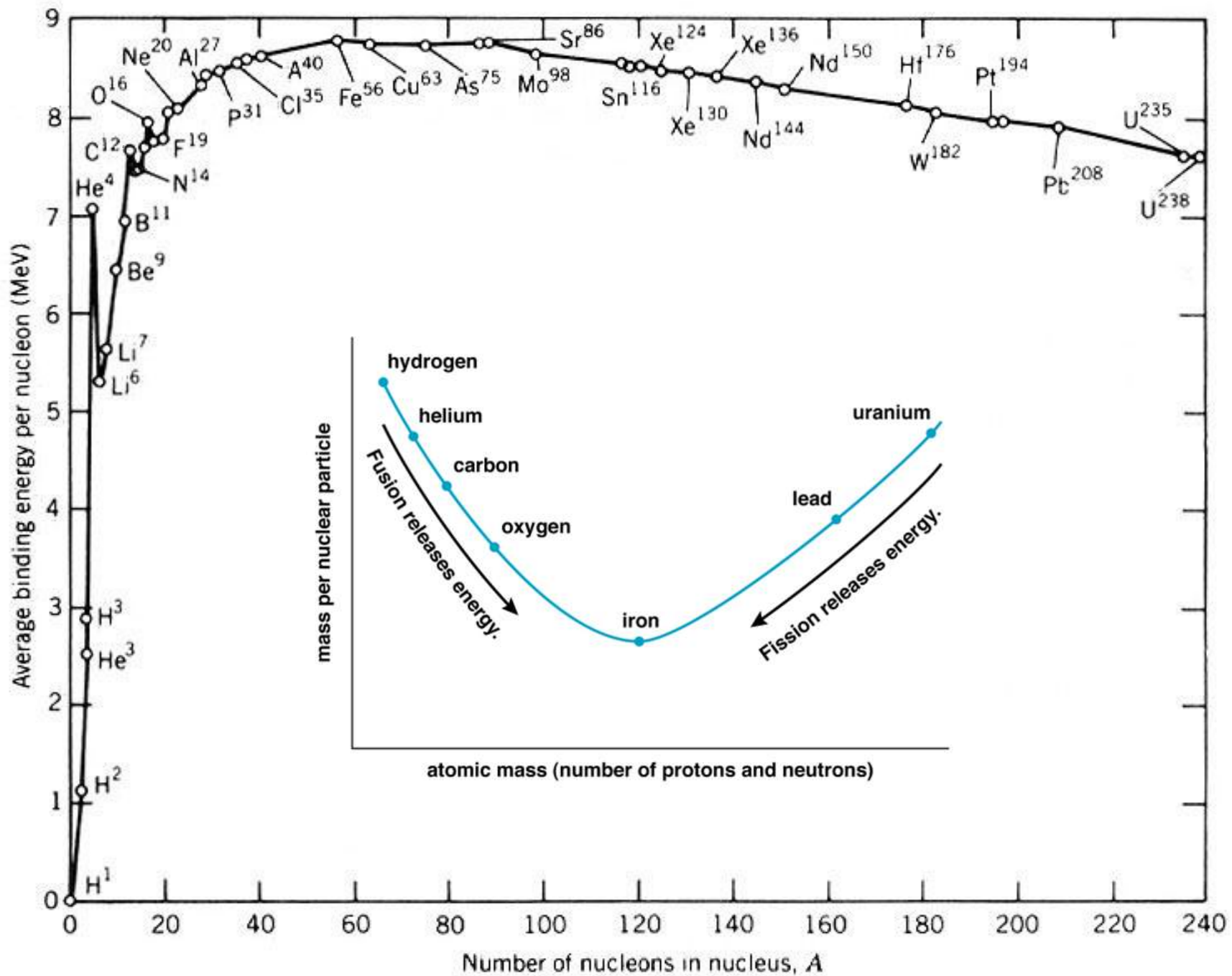
Pro lehká jádra je to zhruba 1, pro těžká jádra tento poměr vyšší. Tento výsledek je potvrzen experimentálně (viz průběh pásu stability).

5. Derivací  $E_b(A,Z)/A$  vzhledem k  $A$  lze určit nuklid s nejvyšší vazebnou energií, tj. nejvíce stabilní. Výpočtem bylo zjištěno  $A = 63$  (Cu), blízké experimentálně zjištěným hodnotám  $A = 62$  (Ni) a  $A = 58$  (Fe).

# Závislost modelovaná pomocí Bethe- Weizsäckerovy rovnice

Aby bylo možno srovnávat vazebnou energii jádra pro různé prvky a různé nuklidy, zavádí se tzv. **vazebná energie jádra vztažená na jeden nukleon**



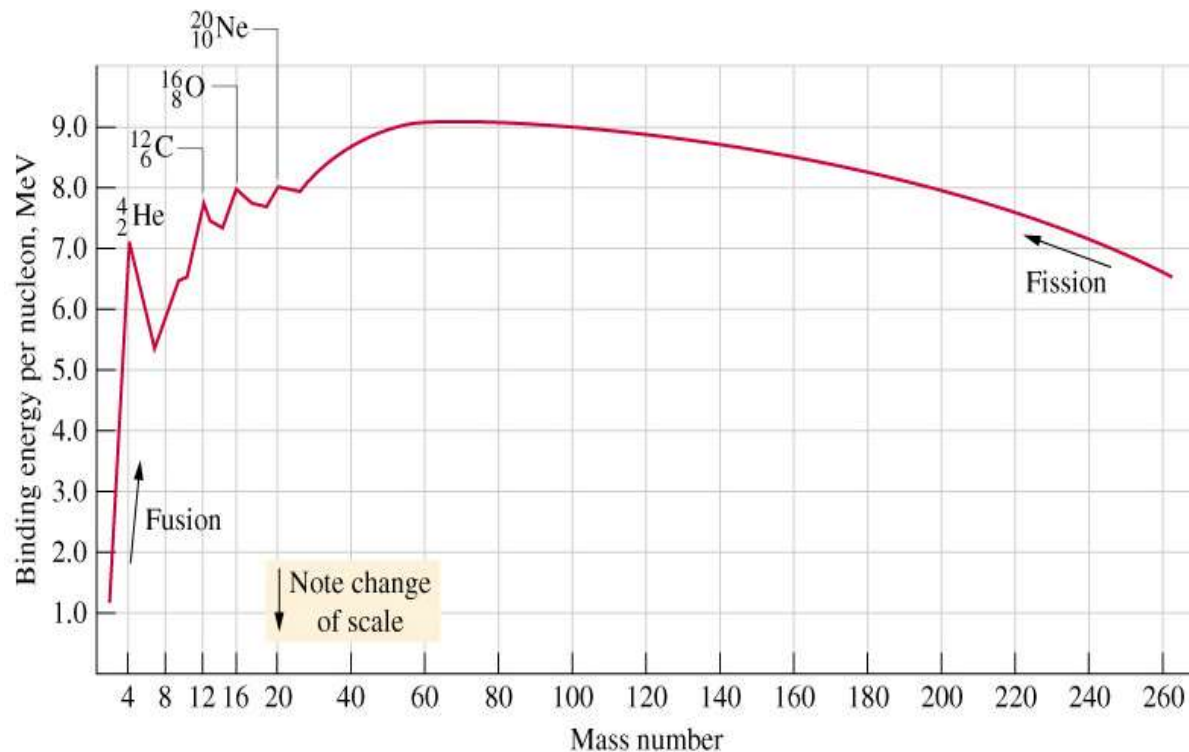




# Stabilita atomových jader

U atomů lehkých prvků ( $Z < 20$ ) jsou stabilní jádra složená z  $\alpha$ -částic:  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ .

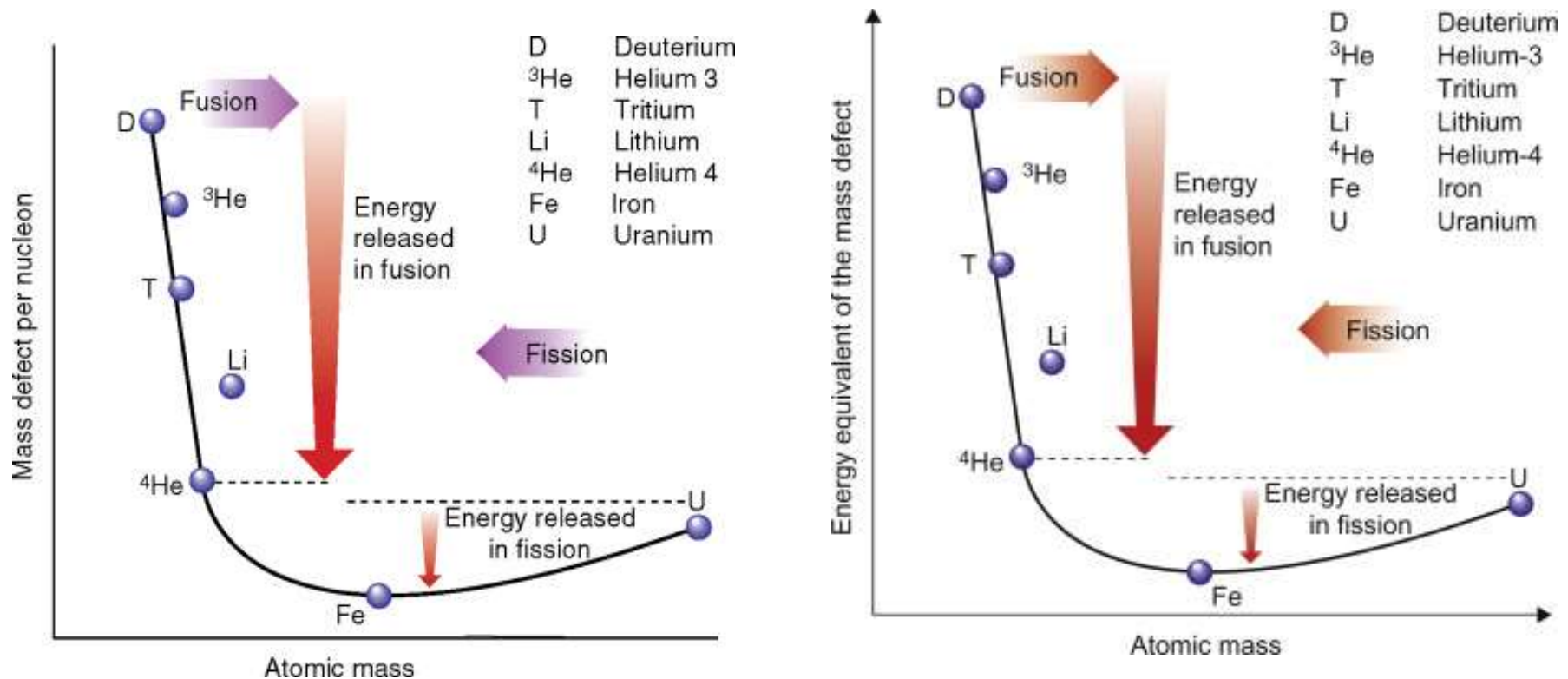
**Výjimka:**  ${}^8_4\text{Be}$  je nestabilní, rozpadá se spontánně na 2 částice  $\alpha$ , což je z energetického hlediska výhodnější.



# Stabilita atomových jader

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Křivka zastoupení jednotlivých prvků ve vesmíru také odhaluje zvýšený výskyt prvků s nukleonovým číslem blízkým 60. Je tomu tak proto, že jejich jádra mají vysokou vazebnou energii. Zastoupení prvků triády železa (železo, kobalt a nikl) je proto větší, protože tyto prvky jsou tedy velmi stabilní a nejnáze přežívají konečná stadia hvězdného vývoje.



# Stabilita atomových jader

## Velikost atomového čísla

Nejtěžší stabilní nuklidy jsou  $^{208}_{82}\text{Pb}$  a  $^{209}_{83}\text{Bi}$ . Všechny nuklidy se  $Z > 83$  jsou radioaktivní.

## Mattauchovo pravidlo

Neexistují 2 stabilní izobary lišící se od sebe v protonovém čísle o 1.

Např. v trojici  $^{40}_{18}\text{Ar}$ ,  $^{40}_{19}\text{K}$  a  $^{40}_{20}\text{Ca}$ , je  $^{40}_{19}\text{K}$  radioaktivní.

**Výjimky:**  $^{113}_{48}\text{Cd}$  a  $^{113}_{49}\text{In}$ ,  $^{115}_{49}\text{In}$  a  $^{115}_{50}\text{Sn}$ ,  $^{123}_{51}\text{Sb}$  a  $^{123}_{52}\text{Te}$ .

Mattauchovo pravidlo formálně objasňuje neexistenci stabilních nuklidů  $^{43}\text{Tc}$  a  $^{61}\text{Pm}$ . Nukleonová čísla, která by měla příslušet nuklidům těchto prvků, patří stabilním izotopům prvků sousedních:  $^{42}\text{Mo}$  a  $^{44}\text{Ru}$ , resp.  $^{60}\text{Nd}$  a  $^{62}\text{Sm}$ .

## Vliv parity atomového a neutronového čísla

Nuklid s lichým (odd) počtem protonů (Z) a lichým počtem neutronů (N) bude pravděpodobně nestabilní.

Nuklid se sudým (even) počtem protonů (Z) a sudým počtem neutronů (N) bude pravděpodobně stabilní.

Composition of the Nucleii of Known Stable Isotopes			
Protons	Neutrons	% Stable Isotopes	Stability Trend
odd	odd	1.5%*	least stable
odd	even	18%	↓
even	odd	20.5%	↓
even	even	60%	most stable

**TABLE 18.1** Number of Stable Nuclides Related to Numbers of Protons and Neutrons

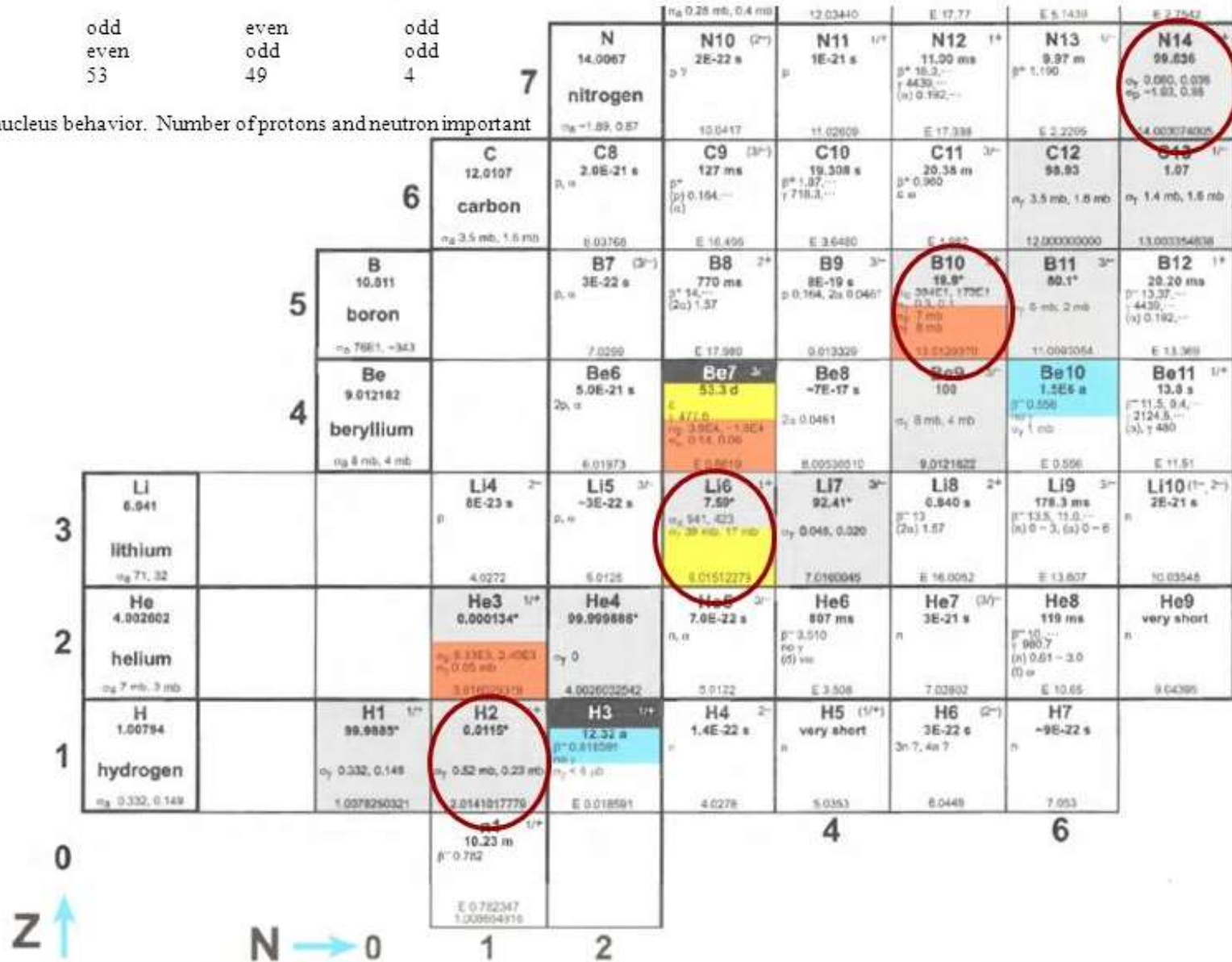
Number of Protons	Number of Neutrons	Number of Stable Nuclides	Examples
Even	Even	168	${}^6_6\text{C}$ , ${}^{16}_8\text{O}$
Even	Odd	57	${}^{13}_6\text{C}$ , ${}^{47}_{22}\text{Ti}$
Odd	Even	50	${}^{19}_9\text{F}$ , ${}^{23}_{11}\text{Na}$
Odd	Odd	4	${}^2_1\text{H}$ , ${}^6_3\text{Li}$

Note: Even numbers of protons and neutrons seem to favor stability.

Simple example: Number of stable nuclei based on neutron and proton number

N	even	odd	even	odd
Z	even	even	odd	odd
Number	160	53	49	4

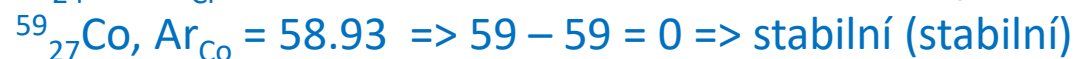
Simple property dictates nucleus behavior. Number of protons and neutron important



## Predikce stability atomových jader

**Pravidla** (nejsou univerzální, mohou se objevit výjimky)

1. Pro jádra s Z/N **liché/sudé a sudé/liché**: pokud se A liší o víc než 1 od zaokrouhlené atomové hmotnosti prvku, je nuklid nestabilní.



2. Pro jádra s Z/N **sudé/sudé**: pokud se A liší o víc než 3 od zaokrouhlené atomové hmotnosti prvku, je nuklid nestabilní.



3. Pro jádra s Z/N **liché/liché**: jsou známy pouze 4 stabilní nuklidy ( ${}^2\text{H}$ ,  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^{10}\text{B}$  a  ${}^{14}\text{N}$ ), ostatní jsou radioaktivní.



$A$	$Z$	$N = A - Z$
Even	Even	Even
Odd	Even	Odd
Odd	Odd	Even
Even	Odd	Odd

## Predikce stability atomových jader

1. Pro **prvky  $Z = 1 - 7$** : každý má 2 stabilní izotopy kromě Be ( ${}^8\text{Be}$  se rozkládá na 2 alfa částice). Hodnoty  $A = 1 - 15$  (s výjimkou 5 a 8) . Stabilní nuklidy jsou tedy  ${}^1\text{H}$ ,  ${}^2\text{H}$ ,  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$ ,  ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^{10}\text{B}$ ,  ${}^{11}\text{B}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{13}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$  a  ${}^{15}\text{N}$ .
2. Pro prvky s **lichým  $Z$  a  $8 < Z \leq 83$**  existují 1 nebo 2 stabilní izotopy, přičemž všechny mají liché  $A$  (tj. relativní atomová hmotnost zaokrouhlená na celé číslo). Pokud je výsledek sudé číslo, existují 2 stabilní izotopy mající  $A$  nad a pod sudým číslem. Metoda selhává při predikci existence  ${}^{37}\text{Cl}$ ,  ${}^{41}\text{K}$  a  ${}^{113}\text{In}$ , protože mají nízké relativní zastoupení (24, 7 a 4 %). Také chybně predikuje existenci  ${}^{187}\text{Re}$  a  ${}^{115}\text{In}$  které, ačkoliv jsou nestabilní, mají vysoké zastoupení v přírodě (63 a 96 %). Tc a Pm nemají stabilní izotopy.
3. Prvky se **sudým  $Z$  a  $8 < Z \leq 83$**  mají stabilní izotopy pro každé  $A$  nepřítomné mezi nejnižším  $A$  prvku s nejbližší nižším  $Z$  a nejvyšším  $A$  prvku s nejbližší vyšším  $Z$ . Stabilní nuklidy prvků se sudým  $Z$  vyplňují „mezery“ v  $A$  nezaplňené nuklidy sousedních prvků s lichým  $Z$ .

4. **Výjimky:**  ${}^{152}\text{Gd}$  a  ${}^{186}\text{Os}$  jsou chybně predikovány jako stabilní.

Blanck, H. P.: *Journal of Chemical Education* 66, 1989, 757-758.

	Periodic Table	Stable Isotopes
Atomic weight rounds to 75. Odd; one nuclide.	33 As 74.92	${}^{75}\text{As}$
Fill in missing $A$ values between adjacent elements.	34 Se 78.96	${}^{74}\text{Se}$ ${}^{76}\text{Se}$ ${}^{77}\text{Se}$ ${}^{78}\text{Se}$ ${}^{80}\text{Se}$
Atomic weight rounds to 80. Even; two nuclides.	35 Br 79.90	${}^{79}\text{Br}$ ${}^{81}\text{Br}$

Prvky s protonovým číslem  $Z < 82$  mají všechny jeden nebo více stabilních izotopů s výjimkou technecia Tc ( $Z = 43$ ) a promethia Pm ( $Z = 61$ ), které nemají žádný stabilní izotop.

## Periodic Table: Radioactive Elements

1																	2						
<b>H</b> 1.008 Hydrogen																	<b>He</b> 4.003 Helium						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>Atomic Number</td></tr> <tr><td><b>SYMBOL</b></td></tr> <tr><td>Atomic Weight*</td></tr> <tr><td>Name</td></tr> </table>																Atomic Number	<b>SYMBOL</b>	Atomic Weight*	Name				
Atomic Number																							
<b>SYMBOL</b>																							
Atomic Weight*																							
Name																							
<b>3</b> <b>Li</b> 6.94 Lithium	<b>4</b> <b>Be</b> 9.012 Beryllium																	<b>5</b> <b>B</b> 10.81 Boron	<b>6</b> <b>C</b> 12.011 Carbon	<b>7</b> <b>N</b> 14.007 Nitrogen	<b>8</b> <b>O</b> 15.999 Oxygen	<b>9</b> <b>F</b> 18.998 Fluorine	<b>10</b> <b>Ne</b> 20.180 Neon
<b>11</b> <b>Na</b> 22.990 Sodium	<b>12</b> <b>Mg</b> 24.305 Magnesium																	<b>13</b> <b>Al</b> 26.982 Aluminium	<b>14</b> <b>Si</b> 28.085 Silicon	<b>15</b> <b>P</b> 30.974 Phosphorus	<b>16</b> <b>S</b> 32.06 Sulfur	<b>17</b> <b>Cl</b> 35.45 Chlorine	<b>18</b> <b>Ar</b> 39.948 Argon
<b>19</b> <b>K</b> 39.098 Potassium	<b>20</b> <b>Ca</b> 40.078 Calcium	<b>21</b> <b>Sc</b> 44.956 Scandium	<b>22</b> <b>Ti</b> 47.867 Titanium	<b>23</b> <b>V</b> 50.942 Vanadium	<b>24</b> <b>Cr</b> 51.996 Chromium	<b>25</b> <b>Mn</b> 54.938 Manganese	<b>26</b> <b>Fe</b> 55.845 Iron	<b>27</b> <b>Co</b> 58.933 Cobalt	<b>28</b> <b>Ni</b> 58.693 Nickel	<b>29</b> <b>Cu</b> 63.546 Copper	<b>30</b> <b>Zn</b> 65.38 Zinc	<b>31</b> <b>Ga</b> 69.723 Gallium	<b>32</b> <b>Ge</b> 72.630 Germanium	<b>33</b> <b>As</b> 74.922 Arsenic	<b>34</b> <b>Se</b> 78.971 Selenium	<b>35</b> <b>Br</b> 79.904 Bromine	<b>36</b> <b>Kr</b> 83.798 Krypton						
<b>37</b> <b>Rb</b> 85.468 Rubidium	<b>38</b> <b>Sr</b> 87.62 Strontium	<b>39</b> <b>Y</b> 88.906 Yttrium	<b>40</b> <b>Zr</b> 91.224 Zirconium	<b>41</b> <b>Nb</b> 92.906 Niobium	<b>42</b> <b>Mo</b> 95.95 Molybdenum	<b>43</b> <b>Tc</b> (98) Technetium	<b>44</b> <b>Ru</b> 101.07 Ruthenium	<b>45</b> <b>Rh</b> 102.906 Rhodium	<b>46</b> <b>Pd</b> 106.42 Palladium	<b>47</b> <b>Ag</b> 107.868 Silver	<b>48</b> <b>Cd</b> 112.414 Cadmium	<b>49</b> <b>In</b> 114.818 Indium	<b>50</b> <b>Sn</b> 118.710 Tin	<b>51</b> <b>Sb</b> 121.760 Antimony	<b>52</b> <b>Te</b> 127.60 Tellurium	<b>53</b> <b>I</b> 126.904 Iodine	<b>54</b> <b>Xe</b> 131.293 Xenon						
<b>55</b> <b>Cs</b> 132.905 Caesium	<b>56</b> <b>Ba</b> 137.327 Barium	<b>57</b> / 71	<b>72</b> <b>Hf</b> 178.49 Hafnium	<b>73</b> <b>Ta</b> 180.948 Tantalum	<b>74</b> <b>W</b> 183.84 Tungsten	<b>75</b> <b>Re</b> 186.207 Rhenium	<b>76</b> <b>Os</b> 190.23 Osmium	<b>77</b> <b>Ir</b> 192.217 Iridium	<b>78</b> <b>Pt</b> 195.084 Platinum	<b>79</b> <b>Au</b> 196.967 Gold	<b>80</b> <b>Hg</b> 200.592 Mercury	<b>81</b> <b>Tl</b> 204.38 Thallium	<b>82</b> <b>Pb</b> 207.2 Lead	<b>83</b> <b>Bi</b> 208.980 Bismuth	<b>84</b> <b>Po</b> (209) Polonium	<b>85</b> <b>At</b> (210) Astatine	<b>86</b> <b>Rn</b> (222) Radon						
<b>87</b> <b>Fr</b> (223) Francium	<b>88</b> <b>Ra</b> (226) Radium	<b>89</b> / 103	<b>104</b> <b>Rf</b> (267) Rutherfordium	<b>105</b> <b>Db</b> (268) Dubnium	<b>106</b> <b>Sg</b> (271) Seaborgium	<b>107</b> <b>Bh</b> (270) Bohrium	<b>108</b> <b>Hs</b> (269) Hassium	<b>109</b> <b>Mt</b> (278) Meitnerium	<b>110</b> <b>Ds</b> (281) Darmstadtium	<b>111</b> <b>Rg</b> (282) Roentgenium	<b>112</b> <b>Cn</b> (285) Copernicium	<b>113</b> <b>Nh</b> (286) Nihonium	<b>114</b> <b>Fl</b> (289) Flerovium	<b>115</b> <b>Mc</b> (289) Moscovium	<b>116</b> <b>Lv</b> (293) Livermorium	<b>117</b> <b>Ts</b> (294) Tennessine	<b>118</b> <b>Og</b> (294) Oganesson						
<b>Lanthanide Series</b>		<b>57</b> <b>La</b> 138.905 Lanthanum	<b>58</b> <b>Ce</b> 140.116 Cerium	<b>59</b> <b>Pr</b> 140.908 Praseodymium	<b>60</b> <b>Nd</b> 144.242 Neodymium	<b>61</b> <b>Pm</b> (145) Promethium	<b>62</b> <b>Sm</b> 150.36 Samarium	<b>63</b> <b>Eu</b> 151.964 Europium	<b>64</b> <b>Gd</b> 157.25 Gadolinium	<b>65</b> <b>Tb</b> 158.925 Terbium	<b>66</b> <b>Dy</b> 162.500 Dysprosium	<b>67</b> <b>Ho</b> 164.930 Holmium	<b>68</b> <b>Er</b> 167.259 Erbium	<b>69</b> <b>Tm</b> 168.934 Thulium	<b>70</b> <b>Yb</b> 173.045 Ytterbium	<b>71</b> <b>Lu</b> 174.967 Lutetium							
<b>Actinide Series</b>		<b>89</b> <b>Ac</b> (227) Actinium	<b>90</b> <b>Th</b> 232.038 Thorium	<b>91</b> <b>Pa</b> 231.036 Protactinium	<b>92</b> <b>U</b> 238.029 Uranium	<b>93</b> <b>Np</b> (237) Neptunium	<b>94</b> <b>Pu</b> (244) Plutonium	<b>95</b> <b>Am</b> (243) Americium	<b>96</b> <b>Cm</b> (247) Curium	<b>97</b> <b>Bk</b> (247) Berkelium	<b>98</b> <b>Cf</b> (251) Californium	<b>99</b> <b>Es</b> (252) Einsteinium	<b>100</b> <b>Fm</b> (257) Fermium	<b>101</b> <b>Md</b> (258) Mendelevium	<b>102</b> <b>No</b> (259) Nobelium	<b>103</b> <b>Lr</b> (266) Lawrencium							

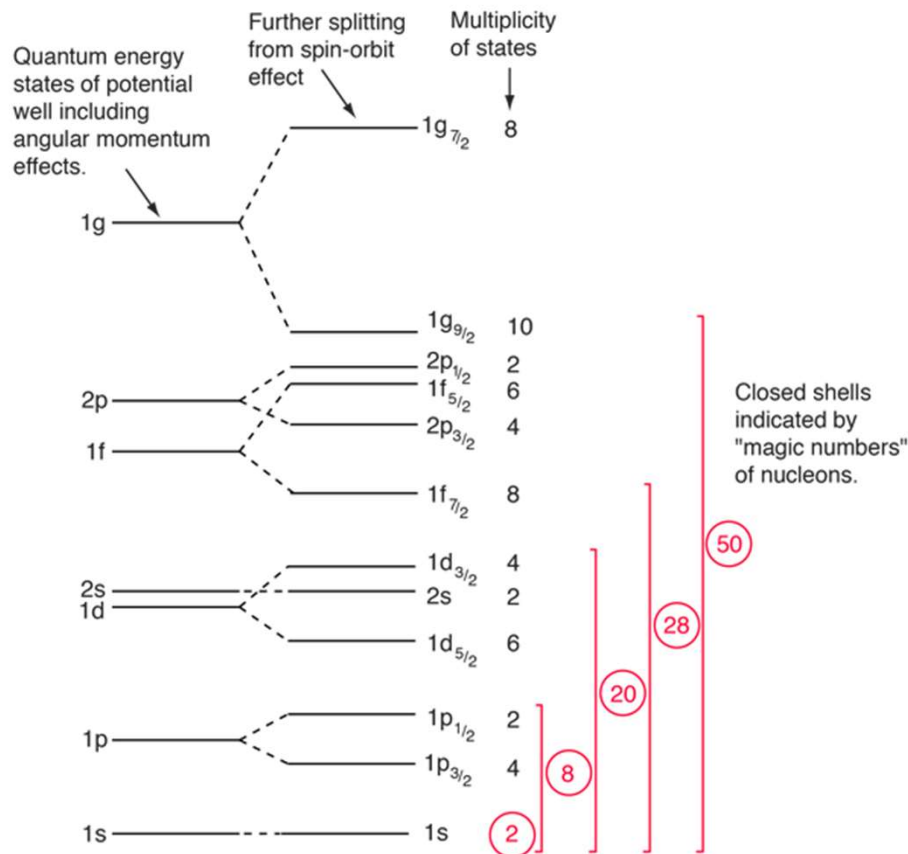
\*() indicates the mass number of the longest-lived isotope.

Based on NIST 2017 Periodic Table

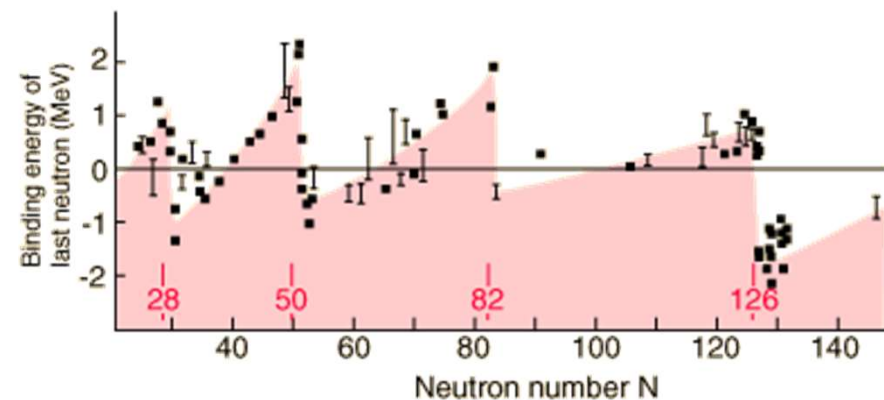


# Magická čísla

Z grafu vazebné energie na nukleon také vyplývá, že vysokou stabilitu vykazují jádra se 2, 8, 20, 28, 50, 82 a 126 nukleonu. Tento jev je způsoben strukturou atomových jader:



n	$\frac{n(n^2 + 3n + 2)}{3}$	Magic Numbers 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 OEIS sequence A018226
1	2	
2	8	
3	20	
<hr/>		
n	$\frac{n(n^2 + 5)}{3}$	
4	28	
5	50	
6	82	
7	126	
8	184	(not listed or recognized as Magic Numbers)
9	258	
10	350	



# Magická čísla

„Magická čísla“ se částečně liší pro počet protonů a počet neutronů:

**Počet protonů:** 2, 8, 20, 28, 50, 82, 114

**Počet neutronů:** 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, 184

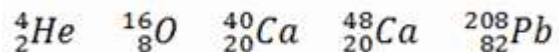
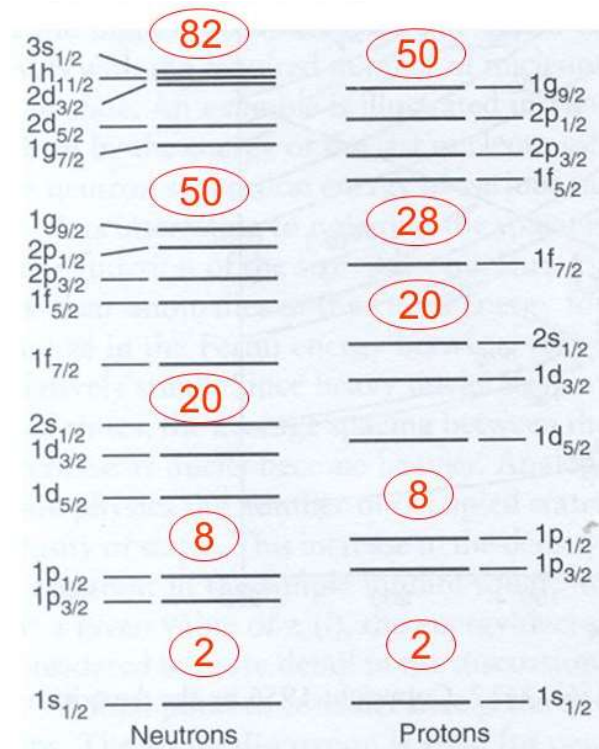
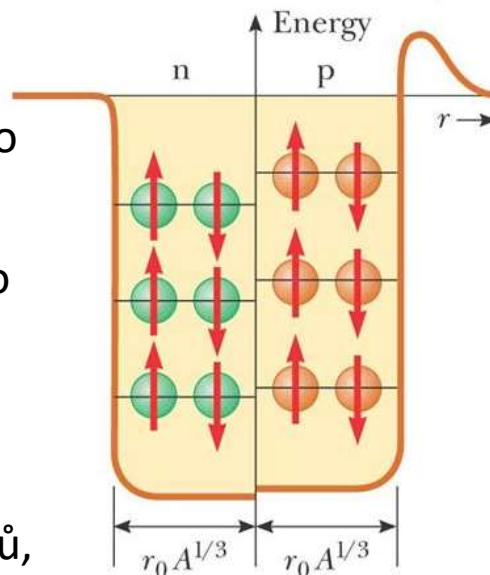
Je zřejmé, že „magická čísla“ jsou vždy sudá, souvisí to se vzájemnou kompenzací spinů protonů, resp. neutronů.

## Příklad:

$^{116}_{50}\text{Sn}$  vykazuje magické číslo pro počet protonů (50).

$^{54}_{26}\text{Fe}$  vykazuje magické číslo pro počet neutronů (28).

Některé nuklidy vykazují „magická čísla“ pro počet protonů i neutronů, nazývají se „**dvojnásobně magické**“.



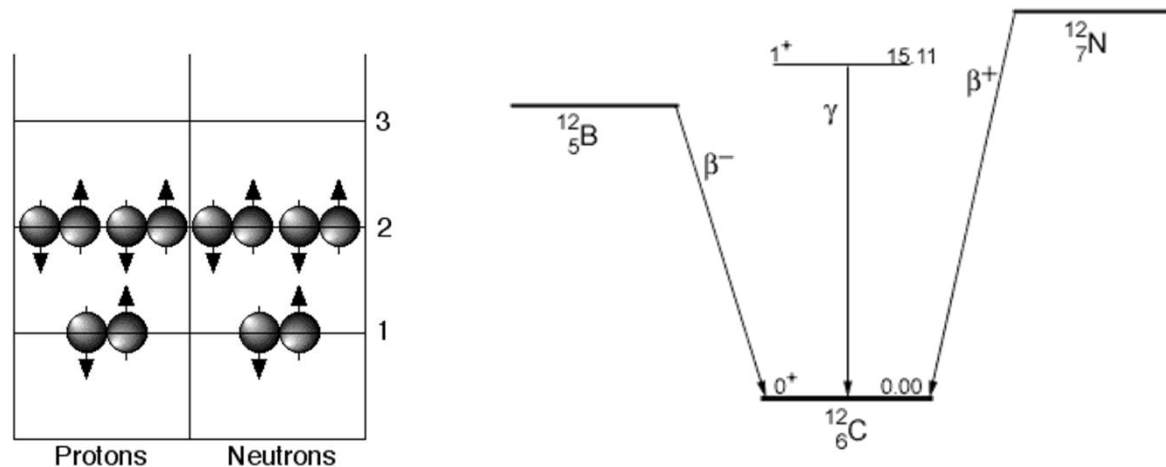
Magic number nuclides

Number of protons	2	8	20	28	50	82	126
	${}^4\text{He}$	${}^{16}\text{O}$	${}^{40}\text{Ca}$	${}^{58}\text{Ni}$	${}^{112}\text{Sn}$	${}^{204}\text{Pb}$	
		${}^{17}\text{O}$	${}^{42}\text{Ca}$	${}^{60}\text{Ni}$	${}^{114}\text{Sn}$	${}^{206}\text{Pb}$	
		${}^{18}\text{O}$	${}^{43}\text{Ca}$	${}^{61}\text{Ni}$	${}^{115}\text{Sn}$	${}^{207}\text{Pb}$	
			${}^{44}\text{Ca}$	${}^{62}\text{Ni}$	${}^{116}\text{Sn}$	${}^{208}\text{Pb}$	
			${}^{46}\text{Ca}$	${}^{64}\text{Ni}$	${}^{117}\text{Sn}$		
			${}^{48}\text{Ca}$		${}^{118}\text{Sn}$		
					${}^{119}\text{Sn}$		
					${}^{120}\text{Sn}$		
					${}^{122}\text{Sn}$		
					${}^{124}\text{Sn}$		
Number of neutrons	2	8	20	28	50	82	126
	${}^4\text{He}$	${}^{15}\text{N}$	${}^{36}\text{S}$	${}^{48}\text{Ca}$	${}^{86}\text{Kr}$	${}^{136}\text{Xe}$	${}^{208}\text{Pb}$
		${}^{16}\text{O}$	${}^{37}\text{Cl}$	${}^{50}\text{Ti}$	${}^{87}\text{Rb}$	${}^{138}\text{Ba}$	${}^{209}\text{Bi}$
			${}^{38}\text{A}$	${}^{51}\text{V}$	${}^{88}\text{Sr}$	${}^{139}\text{La}$	
			${}^{39}\text{K}$	${}^{52}\text{Cr}$	${}^{89}\text{Y}$	${}^{140}\text{Ce}$	
			${}^{40}\text{Ca}$	${}^{54}\text{Fe}$	${}^{90}\text{Zr}$	${}^{141}\text{Pr}$	
					${}^{92}\text{Mo}$	${}^{142}\text{Nd}$	
						${}^{144}\text{Sm}$	

Double Magic

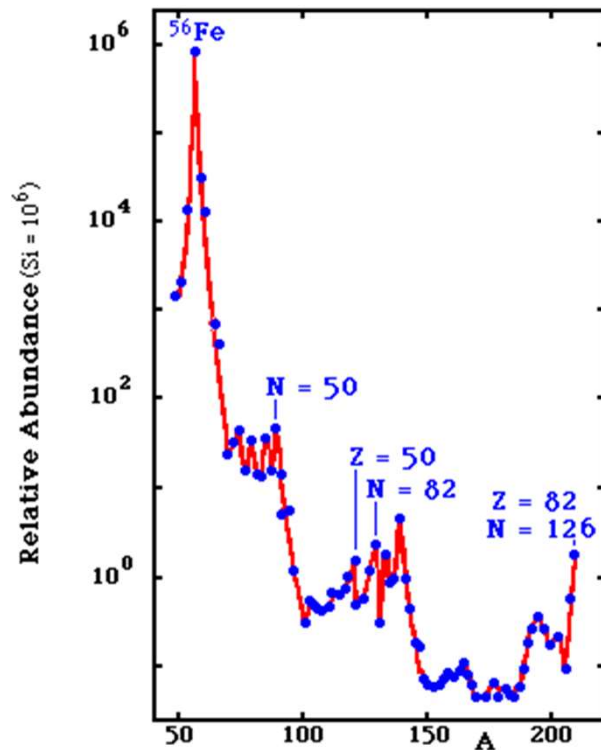
## Příklad:

Základní stav  $^{12}\text{B}$  (5 protonů, 7 neutronů) a  $^{12}\text{N}$  (7 protonů, 5 neutronů) odpovídá zhruba 15.1 MeV excitovanému stavu  $^{12}\text{C}$ . Excitovaný stav  $^{12}\text{C}$ ,  $^{12}\text{B}$  a  $^{12}\text{N}$  mají nukleon na 3. energetické hladině a stabilizují se rozpadem na základní hladinu  $^{12}\text{C}$ . Bor se rozkládá emisí beta záření, dusík se rozkládá emisí pozitronu, přechod uhlíku z excitovaného do základního stavu je doprovázen emisí gama fotonu.

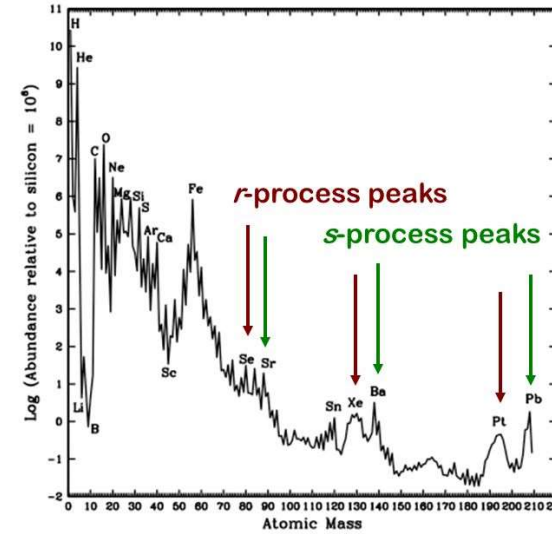


# Magická čísla

Viz R-proces vzniku prvků →

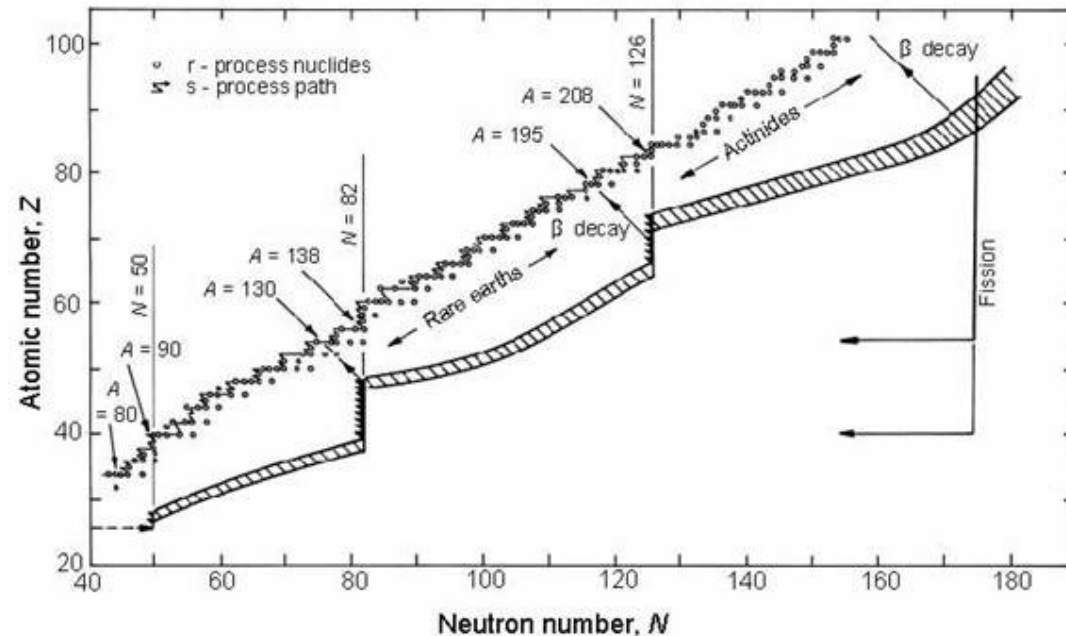


## The Solar System abundances



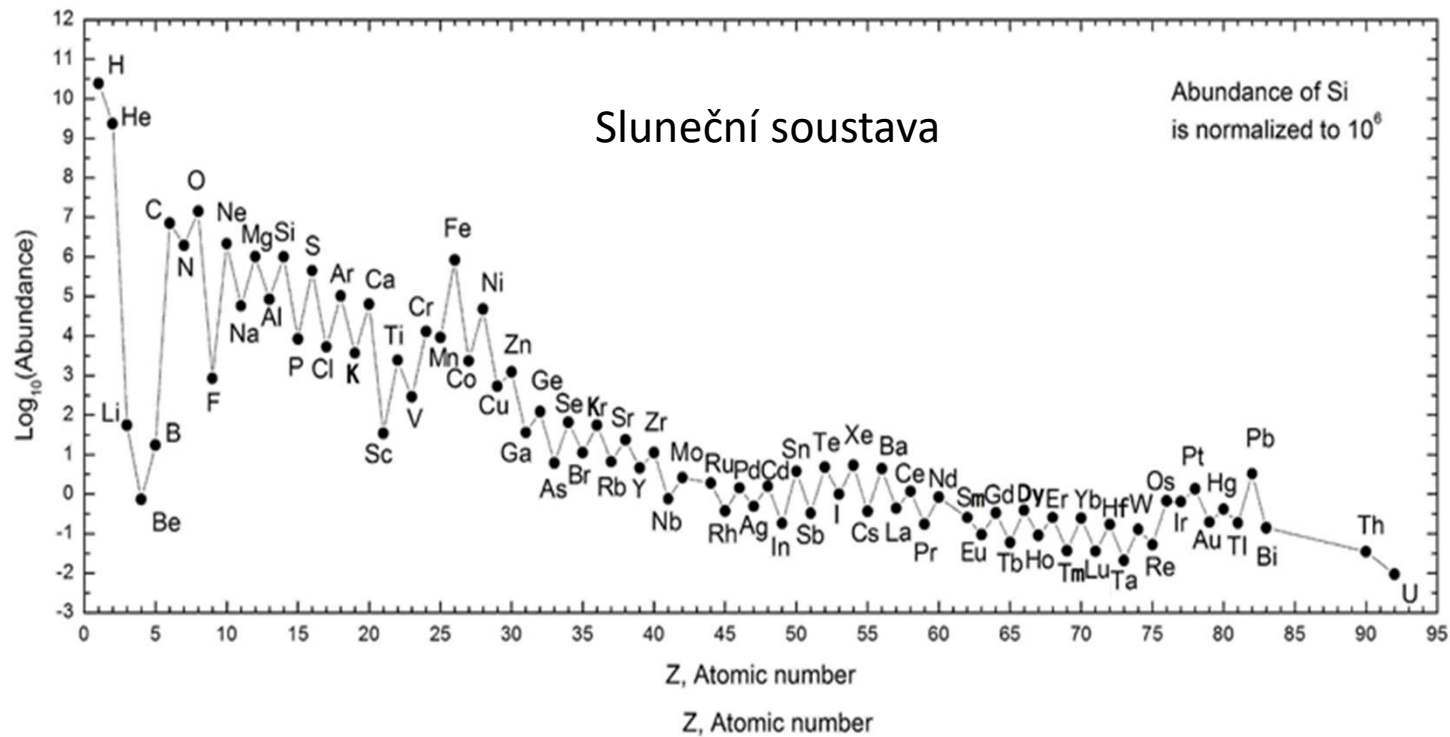
The *s*-process peaks correspond to *stable nuclei* with **Neutron Magic Numbers**  $N=50,82,126$

The *r*-process peaks correspond to *unstable nuclei* with  $N=50,82,126$

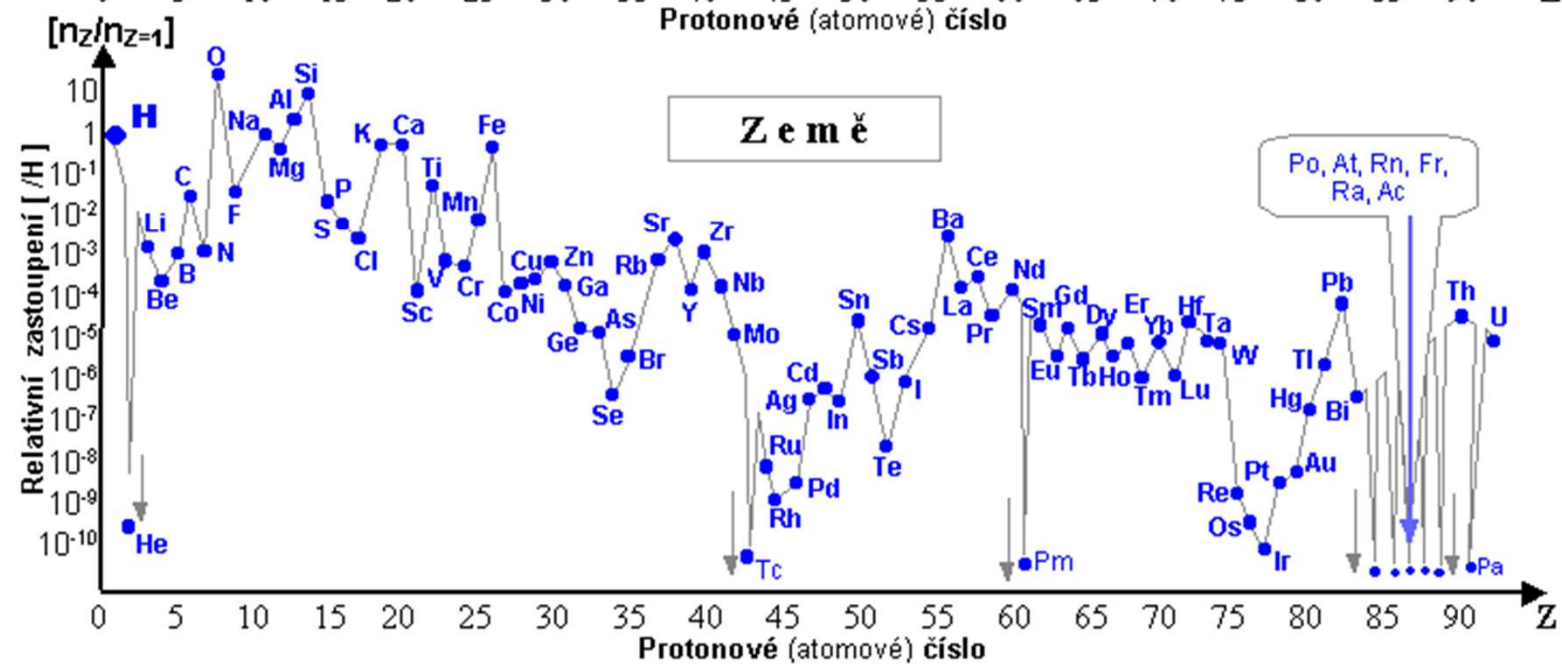
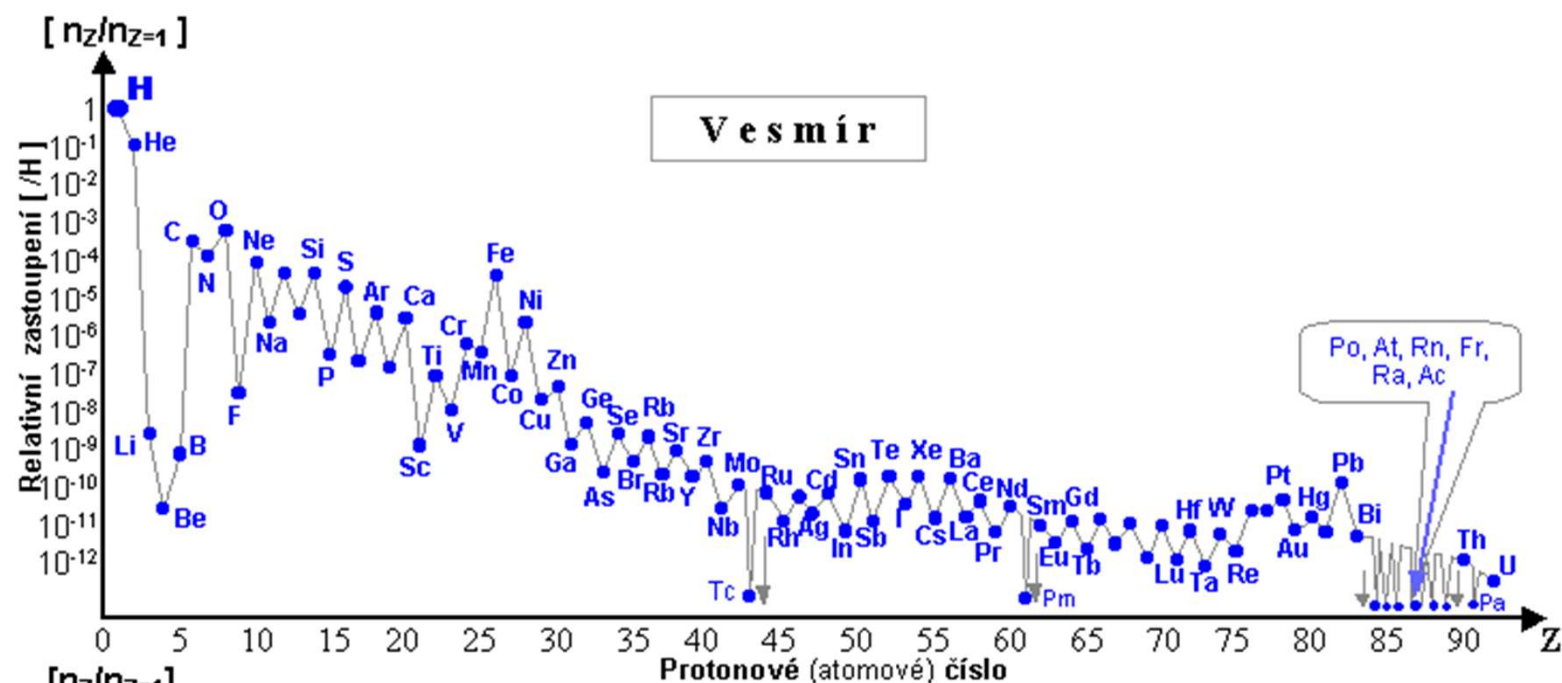


## Oddo-Harkinsonovo pravidlo (pro $Z > 5$ ):

Prvek se sudým atomovým číslem (např.  ${}_6\text{C}$ ) se vyskytuje častěji než předchozí a následující prvek s menším a větším atomovým číslem (bor  ${}_5\text{B}$  a dusík  ${}_7\text{N}$ ).



Prvky s lichými atomovými čísly mají nepárový proton a mají tudíž tendenci zachytit další a tím zvýšit atomové číslo. Je možné, že u prvků se sudými atomovými čísly jsou protony párovány, přičemž členové páru navzájem kompenzují svoje spiny a sudá parita tudíž zvyšuje stabilitu nukleonu.



# Typy radioaktivního rozpadu

**Radioaktivita** je schopnost atomu samovolně se dříve nebo později přeměnit v jiný atom za současného vysílání radioaktivního (jaderného) záření.

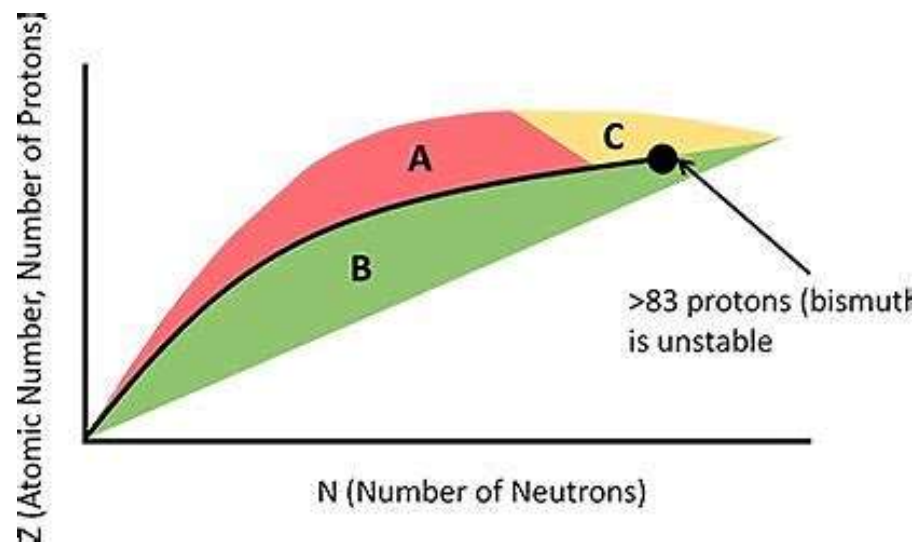
**TABLE 22.1** A Summary of Radioactive Decay Processes

Process	Symbol	Change in Atomic Number	Change in Mass Number	Change in Neutron Number
$\alpha$ emission	${}^4_2\text{He}$ or $\alpha$	-2	-4	-2
$\beta$ emission	${}^0_{-1}\text{e}$ or $\beta^-$	+1	0	-1
$\gamma$ emission	${}^0_0\gamma$ or $\gamma$	0	0	0
Positron emission	${}^0_1\text{e}$ or $\beta^+$	-1	0	+1
Electron capture	E. C.	-1	0	+1

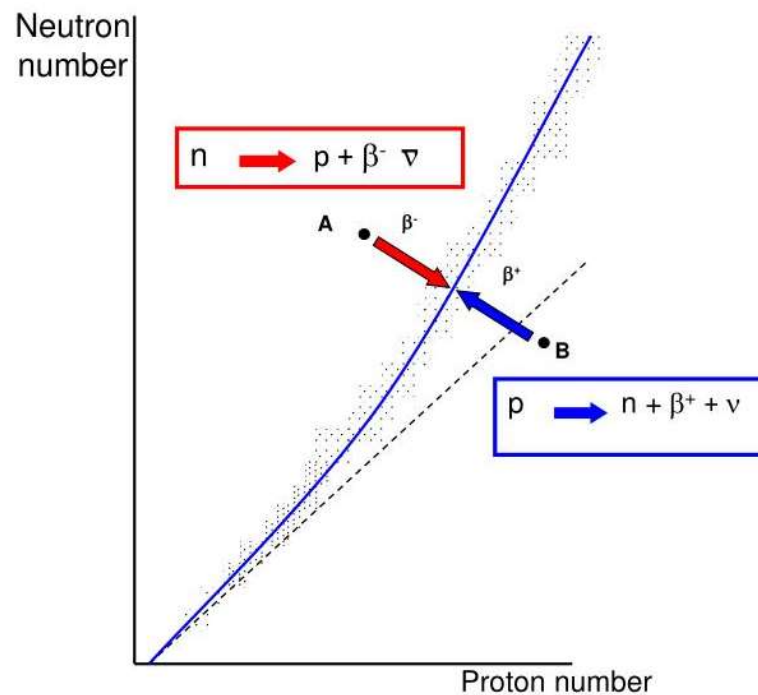
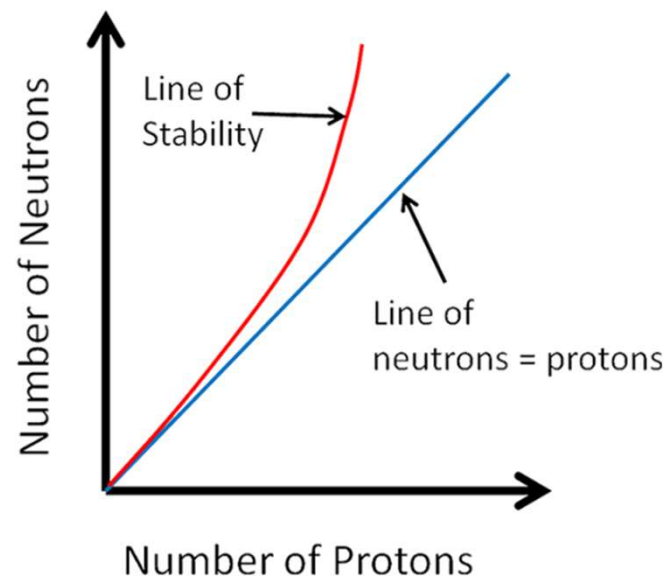
K emisi fotonů  **$\gamma$  záření** dochází, vznikají-li při přeměně jádra, jejichž energie je vyšší než energie v základním stavu. Např. při  $\alpha$  přeměně  ${}^{238}_{92}\text{U}$  vzniká 77% jader  ${}^{234}_{90}\text{Th}$  v základním stavu a 23% v excitovaném stavu. Jejich přechodem do základního stavu se vyzáří fotony  $\gamma$ .



## Segrého graf



V oblasti **A** mají nuklidy velmi málo neutronů, v oblasti **B** mají nuklidy velmi málo protonů, a v oblasti **C** jsou těžké nuklidy s nadbytkem protonů a neutronů.

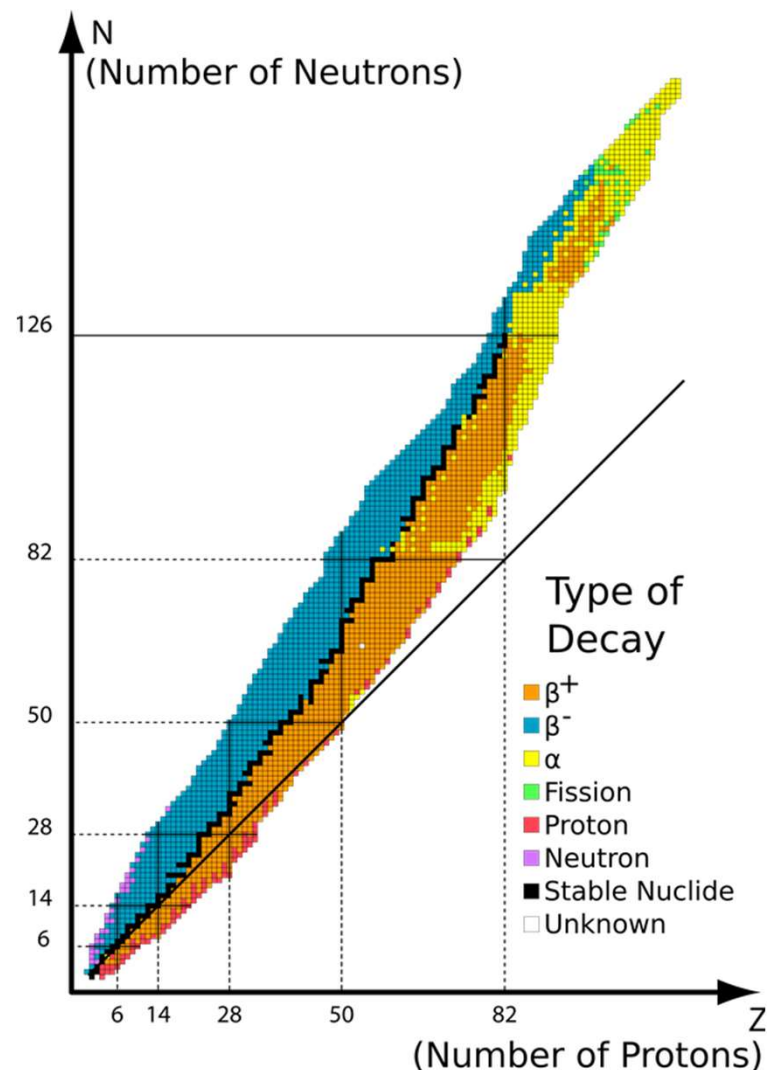


# Predikce typu rozpadu nestabilních nuklidů

Oblast **alfa rozkladu** se nachází v oblasti vysokých hodnot A a Z. Alfa rozkladem klesá hmotnostní číslo o 4 a protonové číslo o 2, čímž dojde ke vzniku stabilnějšího nuklidu doprovázeného alfa částice.

Oblast **beta rozkladu** se v grafu nachází nad pásem stability, protože nuklid obsahuje více neutronů než protonů. Emisí beta záření (elektronu) se zvýší počet protonů o 1 a zároveň se o 1 sníží počet neutronů. Tím dochází ke vzniku stabilnějšího nuklidu (je blíže pásu stability). Hodnota nukleonového čísla se nemění (izobary).

Oblast **positronové emise a záchytu elektronu** se v grafu nachází pod pásem stability, protože nuklid obsahuje více protonů než neutronů. Emisí positronu resp. záchytem elektronu se zvýší počet neutronů o 1 a zároveň se o 1 sníží počet protonů. Tím dochází ke vzniku stabilnějšího nuklidu (je blíže pásu stability). Hodnota nukleonového čísla se nemění (izobary).

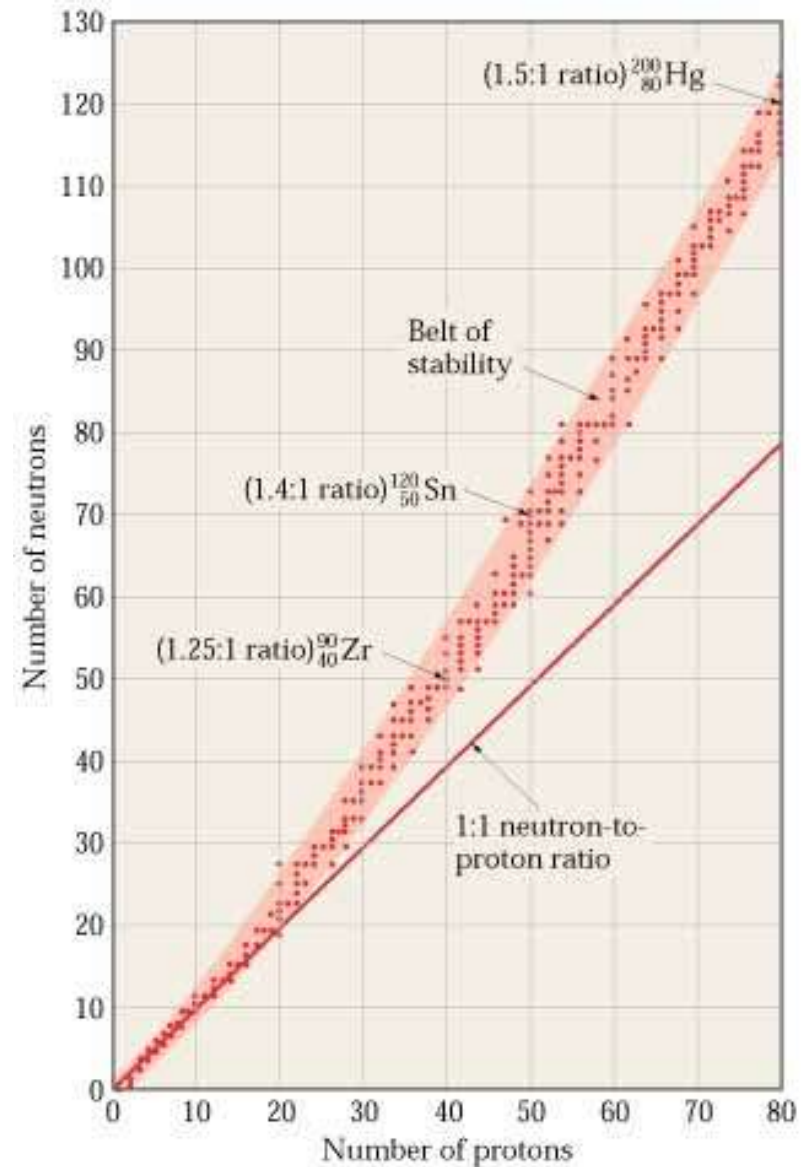


## Poměr hodnot neutronového a protonového čísla

Stabilita atomových jader závisí na poměru hodnot neutronového ( $N = A - Z$ ) a protonového čísla ( $Z$ ).

**Prvky se  $Z < 20$**  jsou lehké, poměr počtu neutronů ( $N$ ) ku počtu protonů ( $Z$ ) je **1:1** a preferují stejný počet protonů a neutronů.

**Prvky se  $Z = 20 - 83$**  jsou těžké, poměr počtu neutronů ( $N$ ) ku počtu protonů ( $Z$ ) je cca **1.5:1**, v důsledku repulzivních sil mezi protony: čím silnější jsou repulzivní síly, tím více neutronů je potřeba ke stabilizaci jader.



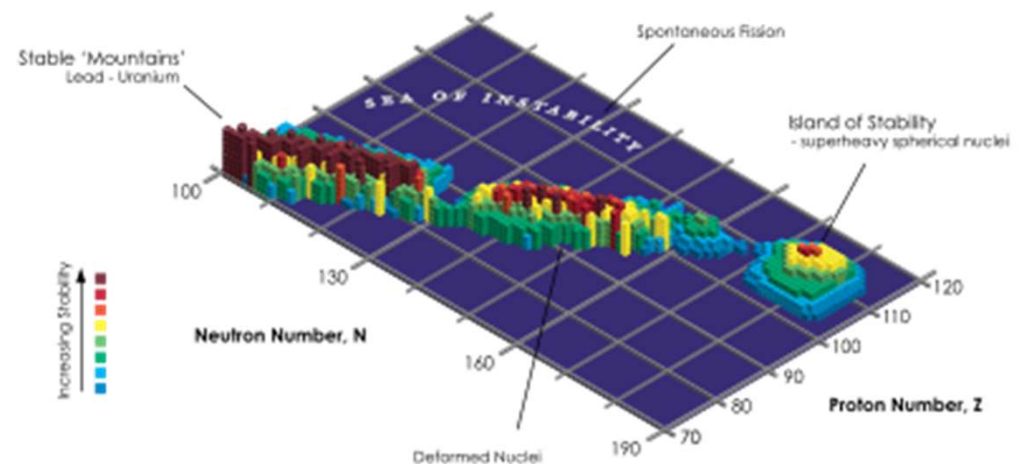
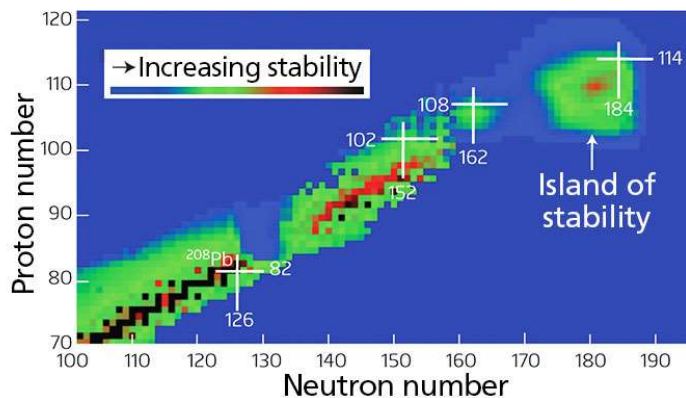
**Výjimky:** Několik radioaktivních nuklidů leží uvnitř pásu stability: např.  ${}^{146}\text{Nd}$  a  ${}^{148}\text{Nd}$  jsou stabilní, ale  ${}^{147}\text{Nd}$  ležící mezi nimi je radioaktivní.

## Ostrov stability

Ostrov stability je v jaderné fyzice předpověď skupiny těžkých izotopů s počtem nukleonů blízkým magickým číslům, která dočasně zvrátí trend klesající stability chemických prvků těžších než uran.

Současné teoretické výzkumy ukazují, že v oblasti protonových čísel  $Z = 106 - 108$  a neutronových čísel  $N = 160 - 164$  může být malý ostrov stability, který může být stabilní s ohledem na  $\beta$ -přeměnu a jehož izotopy mohou podléhat pouze  $\alpha$ -rozpadu.

Příprava těchto jader se ukazuje být velmi obtížnou, protože výchozí jádra nezajišťují dostatečný počet neutronů.



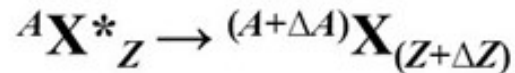


# Pravidla posunu

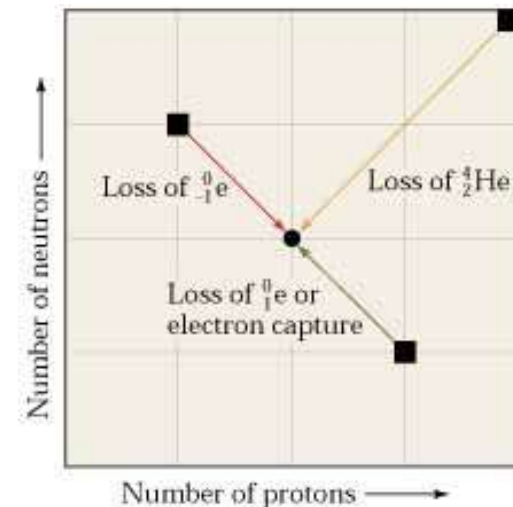
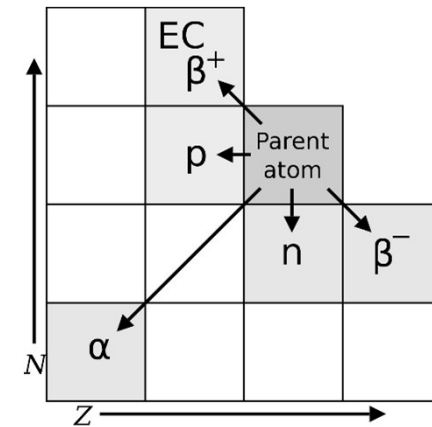
(Soddy 1913, Fajans 1913)

Součet protonových čísel všech částic na levé straně rovnice popisující libovolný jaderný děj se musí rovnat součtu protonových čísel všech částic na pravé straně této rovnice. Totéž platí pro čísla nukleonová.

**A:** mass number = number of nucleons (neutrons and protons) in the nucleus;  
**Z:** atomic number = number of protons in the nucleus.



Radioactive disintegration (radiation)	$\Delta A$	$\Delta Z$
$\alpha$ ( ${}^4\text{He}_2$ )	-4	-2
$\beta^-$ (electron, ${}^0e_{-1}$ )	0	+1
$\beta^+$ (positron, ${}^0e_{+1}$ )	0	-1
$\gamma$ (gamma quantum)	0	0



Type	Nuclear equation	Representation	Change in mass/atomic numbers
Alpha decay	${}^A_ZX \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}Y$		A: decrease by 4 Z: decrease by 2
Beta decay	${}^A_ZX \rightarrow {}^0_{-1}e + {}^A_{Z+1}Y$		A: unchanged Z: increase by 1
Gamma decay	${}^A_ZX \rightarrow {}^0_0\gamma + {}^A_ZY$	<p>Excited nuclear state</p>	A: unchanged Z: unchanged
Positron emission	${}^A_ZX \rightarrow {}^0_{+1}e + {}^A_{Z-1}Y$		A: unchanged Z: decrease by 1
Electron capture	${}^A_ZX + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + \gamma$		A: unchanged Z: decrease by 1

# Predikce typu rozpadu nestabilních nuklidů

1. Pokud je  $A$  nuklidu větší než zaokrouhlená hodnota relativní atomové hmotnosti (zaokrouhlená hodnota  $A_r$  je rovna hodnotě nukleonového čísla  $A$ ), nuklid se rozkládá s emisí beta záření.
2. Pokud je  $A$  nuklidu menší než zaokrouhlená hodnota relativní atomové hmotnosti (zaokrouhlená hodnota  $A_r$  je rovna hodnotě nukleonového čísla  $A$ ), nuklid má tendenci k zachycení elektronu, nebo emisi pozitronu.
3. Nuklidy se  $Z > 83$  mají tendenci k rozkladu s emisí alfa záření

**Výjimky:**  $^{233}\text{Th}$  může podléhat alfa rozpadu, ale zpravidla podléhá beta rozkladu.



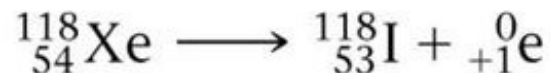
**Příklad:** Určete způsob rozkladu nuklidů  $^{14}\text{C}$  a  $^{118}\text{Xe}$ .

### Řešení

*Uhlík* má atomové číslo  $Z = 6$ . Nuklid  $^{14}\text{C}$  má 6 protonů a  $N = 14 - 6 = 8$  neutronů, poměr  $N/Z = 1.3$ . U prvků s nízkými hodnotami  $Z$  mají stabilní jádra zhruba stejný počet neutronů a protonů ( $N/Z = 1$ ), což odpovídá oblasti pásu stability. Protože  $^{14}\text{C}$  má hodnotu poměru  $N/Z = 1.3$ , nacházející se nad pásem stability, lze tudíž očekávat emisi beta záření.



*Xenon* má atomové číslo  $Z = 54$ . Nuklid  $^{118}\text{Xe}$  má 54 protonů a  $N = 118 - 54 = 64$  neutronů, poměr  $N/Z = 1.2$ . Stabilní jádra v této oblasti pásu stability mají vyšší hodnotu poměru  $N/Z$  (cca 1.5) než  $^{118}\text{Xe}$ . Lze tudíž očekávat emisi pozitronu nebo záchyt elektronu.



# Periodic Table of the Radioactive Elements

1A		2A		3B-10B										11A	12A	13A	14A	15A	16A	17A	18A	
1 H																					2 He	
3 Li	4 Be																					10 Ne
11 Na	12 Mg																					18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr					
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe					
55 Cs	56 Ba	57-71 Lanthanides	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn					
87 Fr	88 Ra	89-103 Actinides	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo					
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu					
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr					

Atomic Number  
Symbol  
# of Isotopes

Half-Life of Most Stable Isotopes

Stable
$t_{1/2} > 10^8$ years
$10^8$ yrs $< t_{1/2} < 10^9$ yrs
$1$ yr $< t_{1/2} < 10^3$ yrs
$1$ day $< t_{1/2} < 10^3$ yrs
$t_{1/2} < 1$ day
unknown

<http://chemistry.about.com>  
©2012 Todd Helmenstine  
About Chemistry

# Rozpadové řady

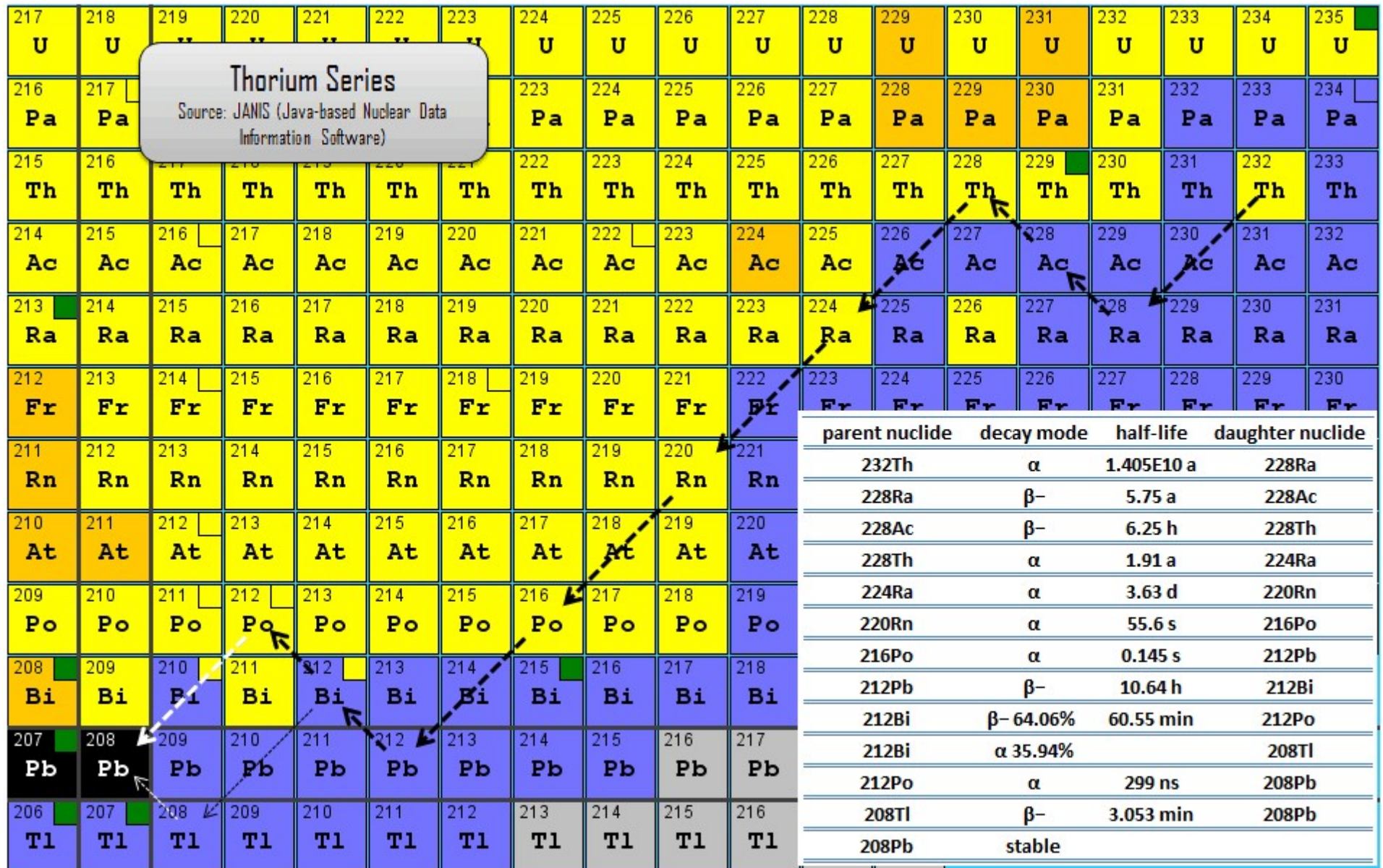
Na základě pravidel posunu pro  $\alpha$  rozpad je zřejmé, že v celé řadě má hmotnostní číslo  $A$  stejný vztah k dělitelnosti číslem 4. Číslo čtyři udává počet nukleonů, které  $\alpha$  částice obsahuje. Hmotnostní číslo  $A$  se přitom mění právě pouze při  $\alpha$  rozpadu.

Podle toho se rozlišují čtyři rozpadové řady ( $n$  je přirozené číslo):

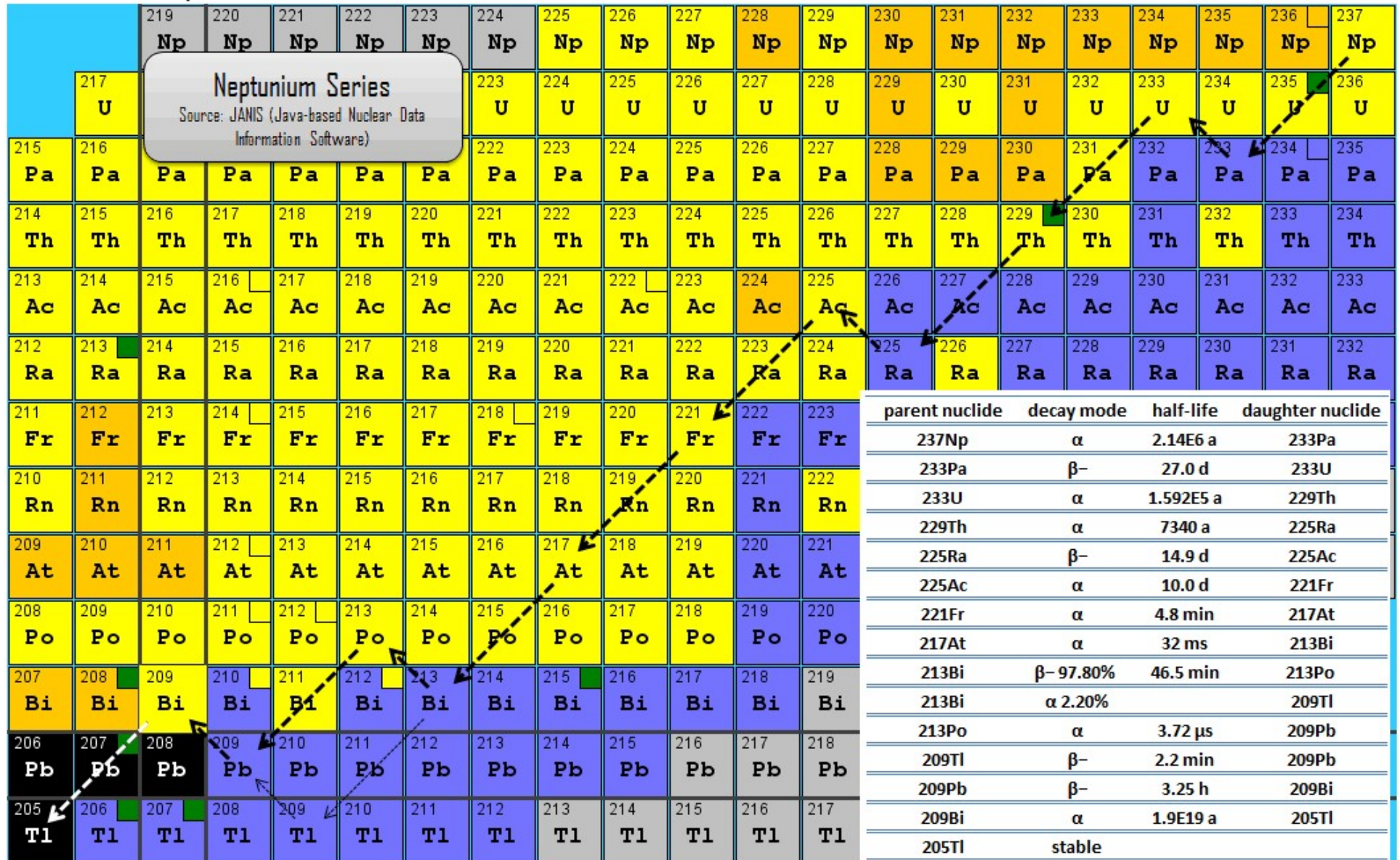
1.  $A = 4n$  - thoriová řada ( $^{232}\text{Th}$ ): poločas 14.0 miliardy let
2.  $A = 4n + 1$  - neptuniová řada ( $^{237}\text{Np}$ ): poločas 2 miliony let
3.  $A = 4n + 2$  - uranová řada ( $^{238}\text{U}$ ): poločas 4.47 miliardy let
4.  $A = 4n + 3$  - aktiniová řada ( $^{235}\text{U}$ ): poločas 0.7 miliardy let

Řada thoriová	$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{208}_{82}\text{Pb}$
Řada uranová	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$
Řada aktinová	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{207}_{82}\text{Pb}$
Řada neptuniová	$^{237}_{93}\text{Np}$	$^{209}_{83}\text{Bi}$

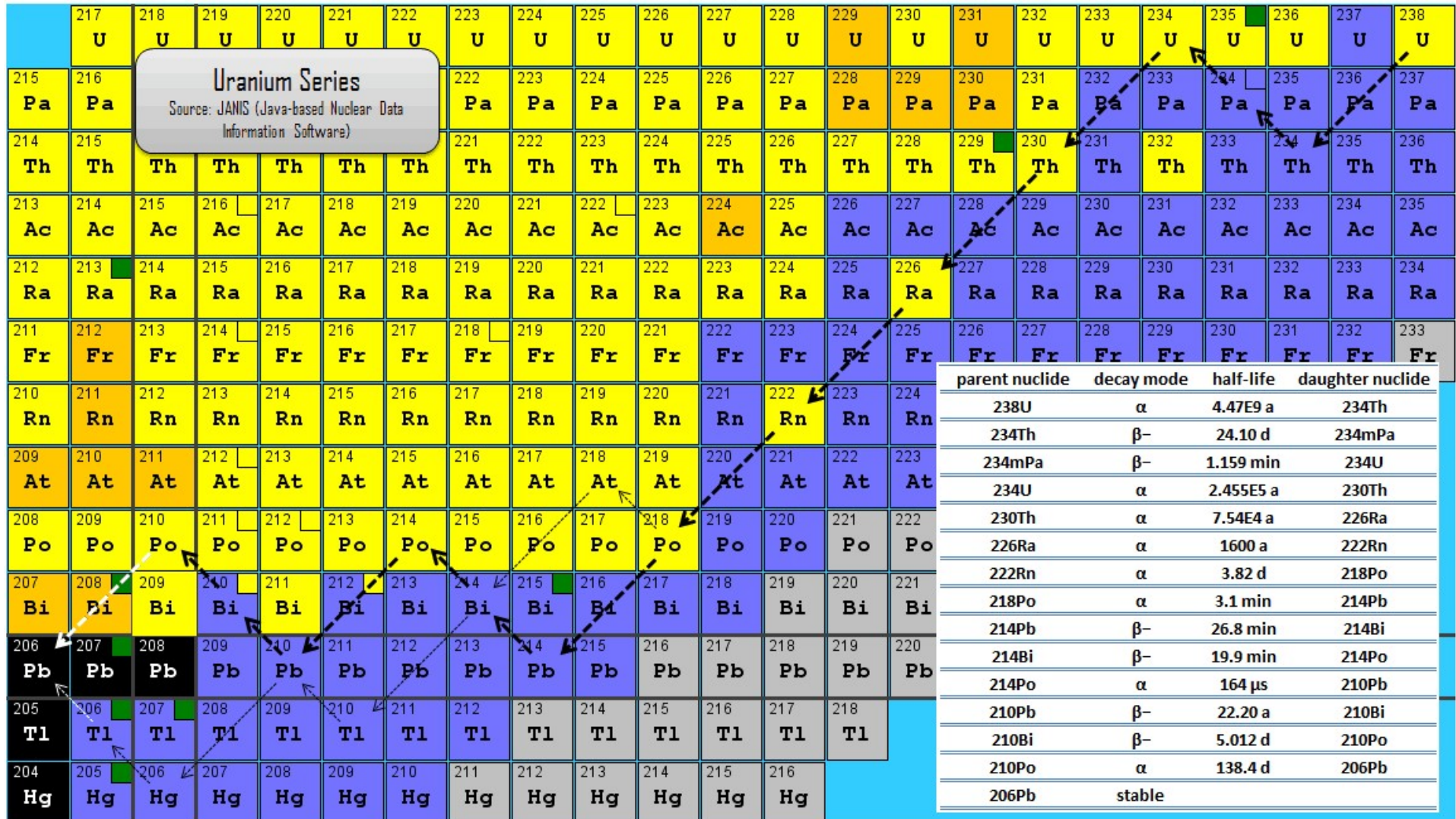
# Thoriová řada



# Neptuniová řada



# Uranová řada



# Aktiniová řada

217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	
U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	
216	217	Actinium Series Source: JANIS (Java-based Nuclear Data Information Software)					223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	234
Pa	Pa						Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
215	216						222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	233
Th	Th						Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	
Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	
213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	
Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	
212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	
Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	parent nuclide    decay mode    half-life    daughter nuclide								
Rn	Rn	Rn	Rn	Rn	Rn	Rn	Rn	Rn	Rn	Rn									
210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	235U    α    7.04E8 a    231Th								
At	At	At	At	At	At	At	At	At	At	At	231Th    β-    25.52 h    231Pa								
209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	231Pa    α    32760 a    227Ac								
Po	Po	Po	Po	Po	Po	Po	Po	Po	Po	Po	227Ac    β- 98.62%    21.772 a    227Th								
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	227Th    α    18.68 d    223Ra								
Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	223Ra    α    11.43 d    219Rn								
207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	219Rn    α    3.96 s    215Po								
Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	215Po    α 99.99%    1.78 ms    211Pb								
206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	211Pb    β-    36.1 min    211Bi								
Tl	Tl	Tl	Tl	Tl	Tl	Tl	Tl	Tl	Tl	Tl	211Bi    α 99.72%    2.14 min    207Tl								
											207Tl    β-    4.77 min    207Pb								
											207Pb    stable								

# Kinetika radioaktivního rozpadu

**Zákon radioaktivních přeměn:** za stejný časový interval se přemění stejný podíl z přítomného počtu radioaktivních jader.

Z hlediska kinetického lze na jadernou přeměnu nahlížet jako na **reakci 1. řádu**.

$$-dn = \lambda n dt$$

$$n = n_0 e^{-\lambda t}$$

$$m = m_0 e^{-\lambda t}$$

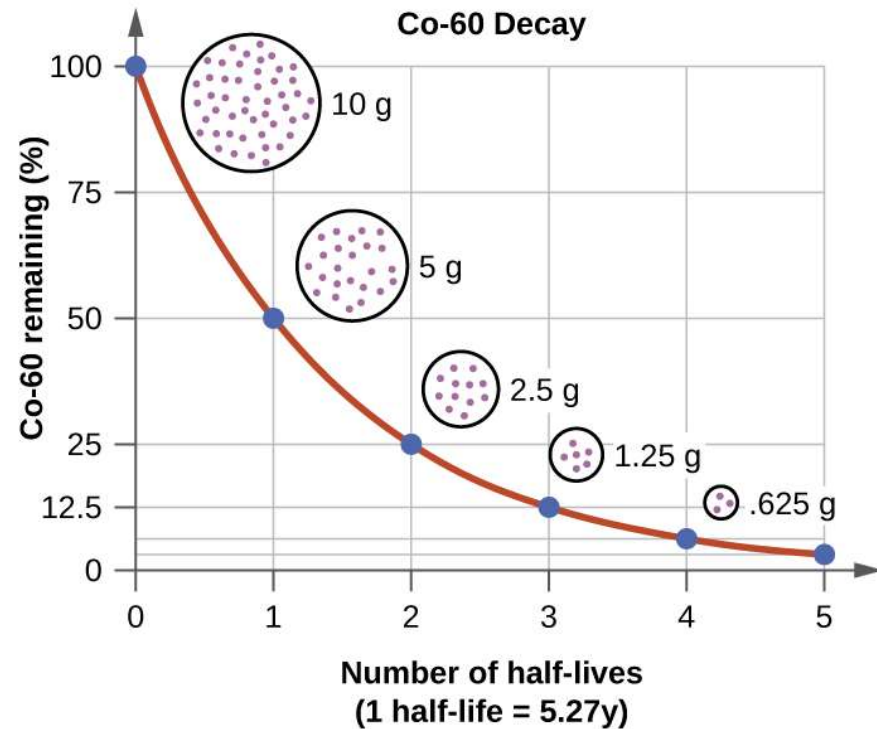
**Poločas přeměny (rozpadu):**

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx 0,693 \cdot \lambda^{-1}$$

Poločas přeměny je měřítkem stability nuklidů.

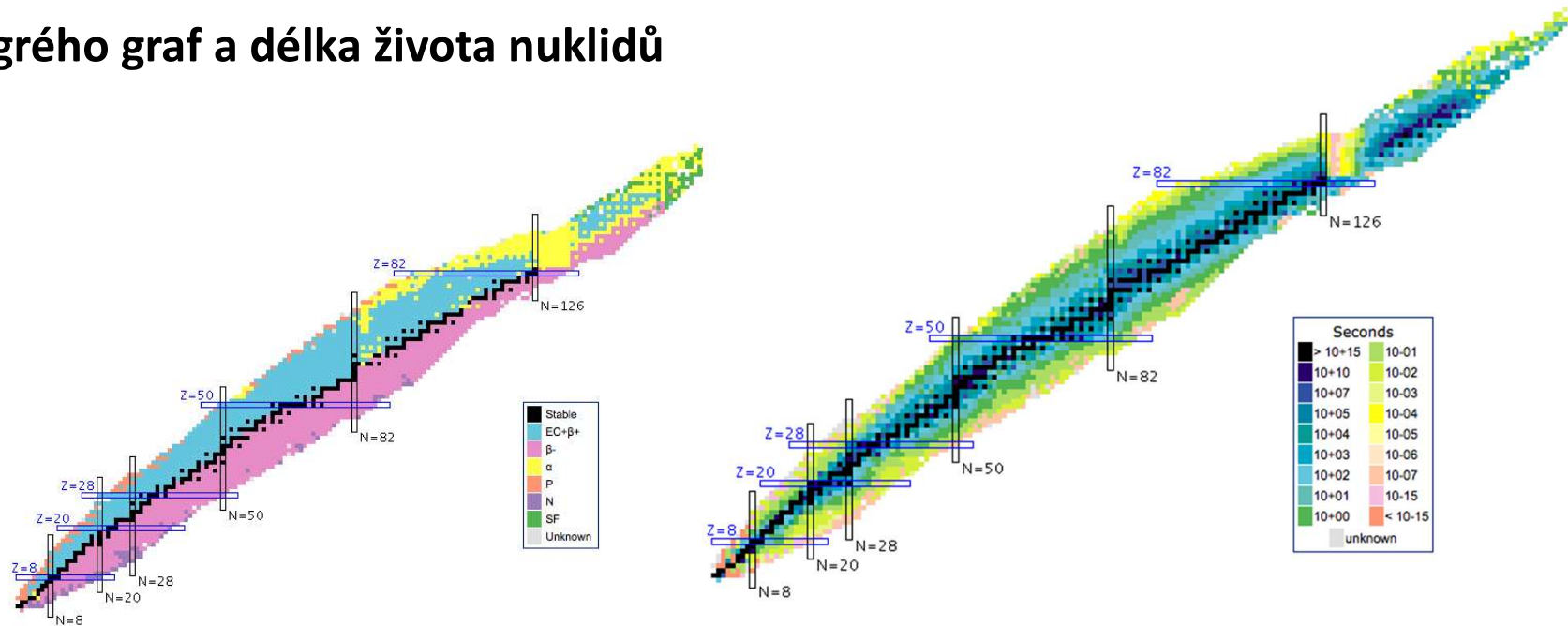
**Příklad:** Je  $^{209}\text{Bi}$ , mající poločas přeměny  $2.01 \times 10^{19}$  let, stabilní?

Předpokládané stáří vesmíru je  $1.37 \times 10^{10}$  let (13.7 miliard let). Poločas přeměny  $^{209}\text{Bi}$  je asi 1000 000 000x delší než je stáří vesmíru.





## Segrého graf a délka života nuklidů



**Příklad:** Stroncium  $^{90}\text{Sr}$  je radioaktivní isotop s poločasem rozpadu 28.8 let. Pokud toto radioaktivní stroncium unikne do životního prostředí, za jak dlouho jeho množství poklesne na 1% původní koncentrace?

**Řešení**

$$\lambda = 0.693/t_{1/2} = 0.693/28.8 \text{ rok}^{-1} = 0.02406 \text{ rok}^{-1}$$

$$\ln[1] - \ln [100] = - (0.02406 \text{ rok}^{-1}) t = - 4.60$$

$$t = \frac{- 4.60}{- 0.0241} = \underline{191 \text{ let}}$$

Proč mají vysoké hodnoty vazebné energie tato jádra?  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ ,  ${}^{120}_{50}\text{Sn}$

Proč mají vápník  ${}_{20}\text{Ca}$  celkem 6 stabilních izotopů a cín  ${}_{50}\text{Sn}$  celkem 10 stabilních izotopů?

Proč existují stabilní izotopy  ${}^{86}_{36}\text{Kr}$ ,  ${}^{88}_{38}\text{Sr}$ ,  ${}^{89}_{39}\text{Y}$ ,  ${}^{90}_{40}\text{Zr}$ ,  ${}^{92}_{42}\text{Mo}$  ?

Určete stabilitu, resp. typ přeměny:

${}^{60}_{27}\text{Co}$ ,  ${}^{24}_{11}\text{Na}$ ,  ${}^{32}_{15}\text{P}$ ,  ${}^{14}_6\text{C}$  (emise beta  $e^-$ )

${}^{22}_{11}\text{Na}$ ,  ${}^7_4\text{Be}$ ,  ${}^{64}_{29}\text{Na}$ ,  ${}^{30}_{15}\text{P}$  (pozitronu  $e^+$ , záchyt  $e^-$ )

${}^{238}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ ,  ${}^{227}_{89}\text{Ac}$  (emise alfa)

${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ ,  ${}^{27}_{13}\text{Al}$ ,  ${}^{35}_{17}\text{Cl}$  (stabilní)

