

# Novinky v periodické tabulce prvků

Zdeněk Moravec, hugo@chemi.muni.cz

**IUPAC Periodic Table of the Elements**

The table includes the following elements:

- Hydrogen (H)
- Helium (He)
- Lithium (Li)
- Boron (B)
- Carbon (C)
- Nitrogen (N)
- Oxygen (O)
- Fluorine (F)
- Neon (Ne)
- Magnesium (Mg)
- Silicon (Si)
- Phosphorus (P)
- Sulfur (S)
- Chlorine (Cl)
- Argon (Ar)
- Aluminum (Al)
- Silicon (Si)
- Phosphorus (P)
- Sulfur (S)
- Chlorine (Cl)
- Argon (Ar)
- Iron (Fe)
- Manganese (Mn)
- Nickel (Ni)
- Copper (Cu)
- Zinc (Zn)
- Gallium (Ga)
- Germanium (Ge)
- As (arsenic)
- Se (selenium)
- Br (bromine)
- Kr (krypton)
- Titanium (Ti)
- Vanadium (V)
- Chromium (Cr)
- Manganese (Mn)
- Iron (Fe)
- Nickel (Ni)
- Copper (Cu)
- Zinc (Zn)
- Gallium (Ga)
- Germanium (Ge)
- As (arsenic)
- Se (selenium)
- Br (bromine)
- Kr (krypton)
- Rubidium (Rb)
- Sr (strontium)
- Yttrium (Y)
- Zirconium (Zr)
- Nobium (Nb)
- Molybdenum (Mo)
- Tungsten (W)
- Rhenium (Re)
- Ruthenium (Ru)
- Rhodium (Rh)
- Palladium (Pd)
- Pt (platinum)
- Au (gold)
- Hg (mercury)
- Tl (thallium)
- Pb (lead)
- Bi (bismuth)
- Po (polonium)
- At (astatine)
- Rn (radon)
- Francium (Fr)
- Ba (barium)
- Europium (Eu)
- Terbium (Tb)
- Dysprosium (Dy)
- Neodymium (Nd)
- Praseodymium (Pr)
- Cerium (Ce)
- Lanthanum (La)
- Hafnium (Hf)
- Tantalum (Ta)
- Rhenium (Re)
- Ruthenium (Ru)
- Rhodium (Rh)
- Palladium (Pd)
- Pt (platinum)
- Au (gold)
- Hg (mercury)
- Tl (thallium)
- Pb (lead)
- Bi (bismuth)
- Po (polonium)
- At (astatine)
- Rn (radon)
- Rutherfordium (Rf)
- Dubnium (Db)
- Singeenium (Sg)
- Bh (bohrium)
- Hs (hassium)
- Mt (meitnerium)
- Ds (darmstadtium)
- Rg (roentgenium)
- Cn (cncium)
- Nh (nihonium)
- Fl (florium)
- Mc (moscovium)
- Lv (livium)
- Ts (tsimane)
- Og (oganesson)
- Ac (actinium)
- Th (thorium)
- Pa (protactinium)
- U (uranium)
- Np (neptunium)
- Pu (plutonium)
- Am (americium)
- Cm (curium)
- Bk (berkelium)
- Cf (californium)
- Es (eserrium)
- Fm (fermium)
- Md (mendelevium)
- No (nobelium)
- Lr (lawrencium)

Source: International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 28 November 2016.  
Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

# Úvod

1869

2016

## ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕНЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
Mn = 55	Rh = 104, <sup>4</sup>	Pt = 197, <sup>4</sup>
Fe = 56	Rn = 104, <sup>4</sup>	Ir = 198.
Ni = Co = 59	Pt = 106, <sup>6</sup>	O = 199.
H = 1	Cu = 63, <sup>4</sup>	Ag = 108
Ba = 9, <sup>4</sup>	Mg = 24	Zn = 65, <sup>2</sup>
B = 11	Al = 27, <sup>1</sup>	? = 68
C = 12	Si = 28	? = 70
N = 14	P = 31	As = 75
O = 16	S = 32	Se = 79, <sup>4</sup>
F = 19	Cl = 35, <sup>6</sup>	Br = 80
Li = 7	Na = 23	K = 39
Ca = 40	Sr = 87, <sup>8</sup>	Rb = 85, <sup>4</sup>
? = 45	Ba = 137	Cs = 133
?Er = 56	La = 94	Tl = 204.
?Yt = 60	Dy = 95	
?In = 75, <sup>6</sup>	Th = 118?	

Д. Менделеев

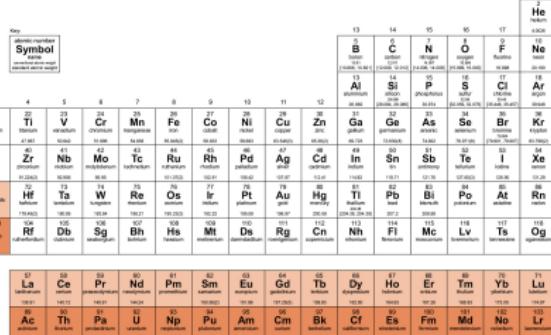
Periodická tabulka prvků  
z roku 1869.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zdroj: Dmitrij Ivanovič Mendělejev/Commons

<sup>2</sup>Zdroj: IUPAC



IUPAC Periodic Table of the Elements



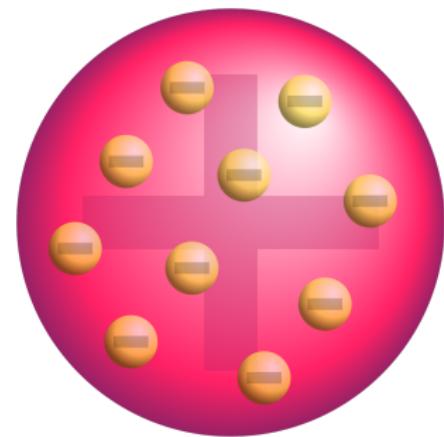
For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 26 November 2016.  
Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Periodická tabulka prvků.<sup>2</sup>

# Historie

## Historický vývoj atomové teorie

- ▶ Démokritos (460–370 př. n. l.) — všechno jsoucí se skládá ze dvou prvků, „plného“ a „prázdného“, které do sebe nikdy ne-přecházejí. „Plné“ tvoří nedělitelné (řecky atomoi) a nekonečně rozmanité částečky, které se pohybují v „prázdném“.
- ▶ Nedělitelnost atomu byla vyvrácena až v roce 1897 fyzikem J. J. Thompsonem, který objevil a charakterizoval elektron.<sup>3</sup>



Thompsonův pudinkový model atomu.<sup>4</sup>

<sup>3</sup>Corpuscles to Electrons

<sup>4</sup>Zdroj: Fastfission/Commons

# Historie

## Historický vývoj atomové teorie

- ▶ Niels Bohr (1885–1962) — dánský fyzik, nositel Nobelovy ceny za fyziku z roku 1922.<sup>5</sup>
- ▶ V letech 1911–1918 vytvořil tzv. *Bohrův model atomu*.
- ▶ Zavedl tři postuláty:<sup>6</sup>
  1. Atom je stabilní soustava složená z kladně nabitého jádra, v němž je soustředěna téměř celá hmotnost atomu, a z elektronového obalu. Elektrony obíhají kolem jádra po kružnicových drahách, na nichž nevyzařují žádnou energii.
  2. Atom se může nacházet pouze v kvantových stacionárních stavech s určitou hodnotou energie (na určitých energetických hladinách).
  3. Při přechodu mezi energetickými hladinami elektron absorbuje (při přechodu na hladinu s vyšší energií) nebo emituje (při přechodu na hladinu s nižší energií) právě jeden foton, jehož energie odpovídá energetickému rozdílu hladin.

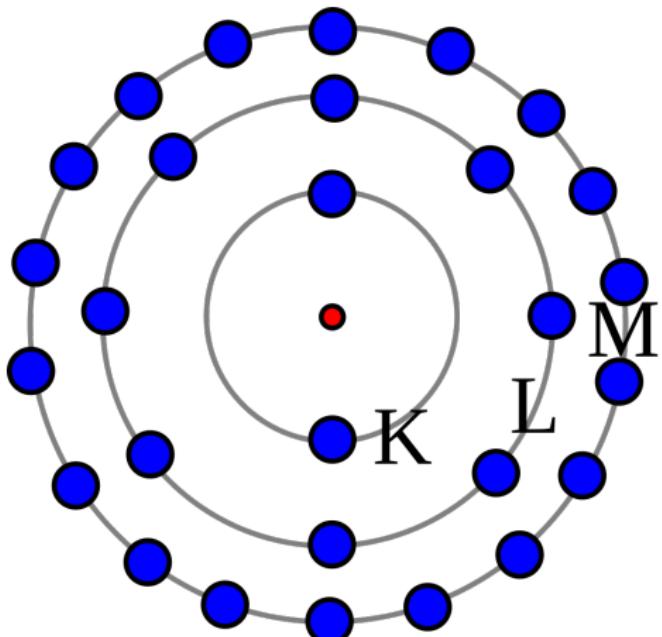
---

<sup>5</sup>The Nobel Prize in Physics 1922

<sup>6</sup>Bohr model

# Historie

## Historický vývoj atomové teorie



Bohrův model atomu.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup>Zdroj: Cdang/Commons

# Historie

## Dmitrij Ivanovič Mendělejev

- ▶ Ruský chemik a fyzik (8. února 1834–20. ledna 1907)
- ▶ Působil především jako chemik, fyzik, geolog, metrolog, meteorolog, ekonom a technolog chemických, těžebních i zemědělských procesů. Mimo jiné byl objevitelem kritické teploty, kterou nazval absolutním bodem varu a poprvé formuloval stavovou rovnici pro ideální plyny s konstantou, u níž prokázal univerzálnost pro všechny plyny. Následně stanovil velmi přesnou hodnotu této konstanty.<sup>8</sup>
- ▶ V roce 1869 publikoval periodický zákon, závislost chemického chování prvků na atomové hmotnosti.



Dmitrij Ivanovič Mendělejev.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup>Dmitrij Ivanovič Mendělejev

<sup>9</sup>Zdroj: Commons

# Historie

Dmitrij Ivanovič Mendělejev

## ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА НѢ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

	Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
	V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
	Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
	Mn = 55	Rh = 104,	Pt = 197,
	Fe = 56	Ru = 104,	Ir = 198.
H = 1	Ni = Co = 59	Pt = 106,	O = 199.
	Cu = 63,	Ag = 108	Hg = 200.
	Be = 9,	Zn = 65,	Cd = 112
	B = 11	Al = 27,	? = 68
	C = 12	Si = 28	? = 70
	N = 14	P = 31	As = 75
	O = 16	S = 32	Se = 79,
	F = 19	Cl = 35,	Br = 80
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,
		Ca = 40	Sr = 87,
			? = 45
			Sc = 92
		?Er = 56	La = 94
		?YI = 60	Di = 95
		?In = 75,	Th = 118?
			Tl = 204.
			Cs = 133
			Ba = 137
			Pb = 207.

Д. Менделеевъ

PSP z roku 1869.<sup>10</sup>

<sup>10</sup>Zdroj: Commons

# Historie

Dmitrij Ivanovič Mendělejev

Reihen	Gruppe I. — R <sup>2</sup> O	Gruppe II. — RO	Gruppe III. — R <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	Gruppe IV. RH <sup>4</sup> RO <sup>2</sup>	Gruppe V. RH <sup>3</sup> R <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	Gruppe VI. RH <sup>2</sup> RO <sup>3</sup>	Gruppe VII. RH R <sup>2</sup> O <sup>7</sup>	Gruppe VIII. — RO <sup>4</sup>
1	H=1							
2	Li=7	Be=9.4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27.3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35.5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	— — — —

PSP z roku 1871.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Zdroj: Commons

# Historie

Dmitrij Ivanovič Mendělejev

Series	Zero Group	Group I	Group II	Group III	Group IV	Group V	Group VI	Group VII	Group VIII
0	x								
1	y	Hydrogen H=1·008							
2	Helium He=4·0	Lithium Li=7·08	Beryllium Be=9·1	Boron B=11·0	Carbon C=12·0	Nitrogen N=14·04	Oxygen O=16·00	Fluorine F=19·0	
3	Neon Ne=19·9	Sodium Na=23·05	Magnesium Mg=24·1	Aluminium Al=27·0	Silicon Si=28·4	Phosphorus P=31·0	Sulphur S=32·06	Chlorine Cl=35·45	
4	Argon Ar=38	Potassium K=39·1	Calcium Ca=40·1	Scandium Sc=44·1	Titanium Ti=48·1	Vanadium V=51·4	Chromium Cr=52·1	Manganese Mn=55·0	Iron Fe=55·9 Cobalt Co=59 Nickel Ni=59 (Cu)
5		Copper Cu=63·6	Zinc Zn=65·4	Gallium Ga=70·0	Germanium Ge=72·3	Arsenic As=75·0	Selenium Se=79	Bromine Br=79·95	
6	Krypton Kr=81·8	Rubidium Rb=85·4	Strontrium Sr=87·6	Yttrium Y=89·0	Zirconium Zr=90·6	Niobium Nb=94·0	Molybdenum Mo=96·0	—	Ruthenium Ru=101·7 Rhodium Rh=103·0 Palladium Pd=106·5 (Ag)
7		Silver Ag=107·8	Cadmium Cd=112·4	Indium In=114·0	Tin Sn=119·0	Antimony Sb=120·0	Tellurium Te=127	Iodine I=127	
8	Xenon Xe=128	Ceasium Cs=132·9	Barium Ba=137·4	Lanthanum La=139	Cerium Ce=140	—	—	—	— — — (—)
9		—	—		—	—	—	—	
10	—	—	—	Ytterbium Yb=173	—	Tantalum Ta=183	Tungsten W=184	—	
11		Gold Au=197·2	Mercury Hg=200·0	Thallium Tl=204·1	Lead Pb=206·9	Bismuth Bi=208	—	—	
12	—	—	Radium Rd=224	—	Thorium Th=232	—	Uranium U=239	—	

PSP z roku 1904.<sup>12</sup>

<sup>12</sup>Zdroj: Commons

# Historie

Dmitrij Ivanovič Mendělejev

- ▶ Na základě periodicity chemických vlastností Mendělejev dokázal velmi přesně určit vlastnosti několika, v té době, neznámých prvků.<sup>13</sup>

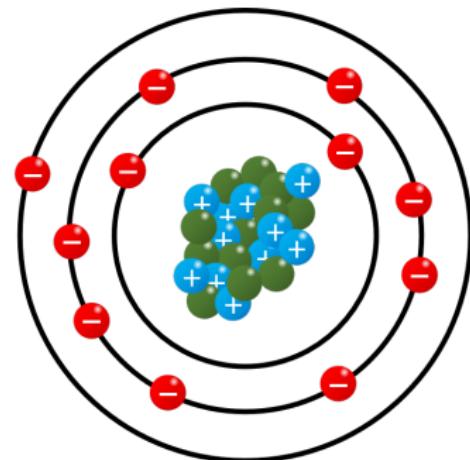
	Eka-aluminium	Gallium	Eka-silicon	Germanium
<b>At. hmotnost</b>	68	69,723	72	72,630
<b>Hust. [g.cm<sup>-3</sup>]</b>	6,0	5,91	5,5	5,323
<b>T. tání [°C]</b>	nízká	29,76	Vysoká	938
<b>Oxid</b>	$\text{Ea}_2\text{O}_3$	$\text{Ga}_2\text{O}_3$	Žáruvzdorný dioxid	
<b>Hust. oxidu</b>	5,5	5,88	4,7	4,23

<sup>13</sup>Mendeleev's predictions: success and failure

# Atom

## Struktura atomu

- ▶ Atom – skládá se z elektronového obalu a atomového jádra
- ▶ Elektronový obal – tvoří většinu objemu atomu, ale je skoro prázdný
- ▶ Atomové jádro – malý objem, ale obsahuje většinu hmoty atomu
- ▶ Periodická tabulka prvků – atomy (prvky) seřazené podle hmotnosti (počtu protonů)
- ▶ Periode – skupina prvků, které mají shodnou valenční slupku elektronového obalu
- ▶ Skupina – prvky, které mají shodný počet elektronů ve valenční slupce

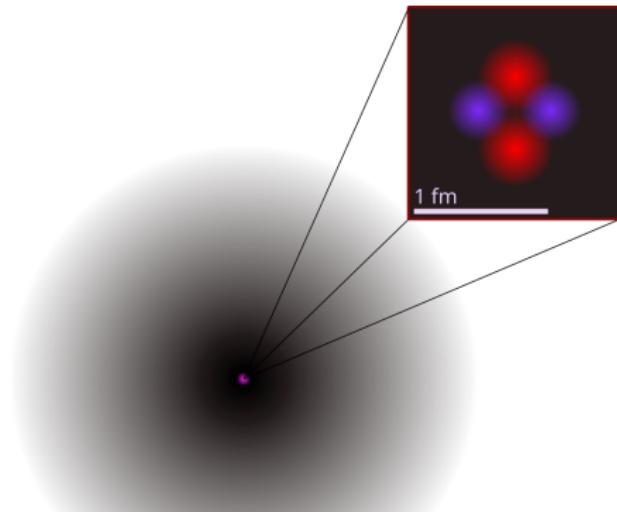


Model atomu sodíku.<sup>14</sup>

<sup>14</sup>Zdroj: Plazmi/Commons

# Atom

## Struktura atomu



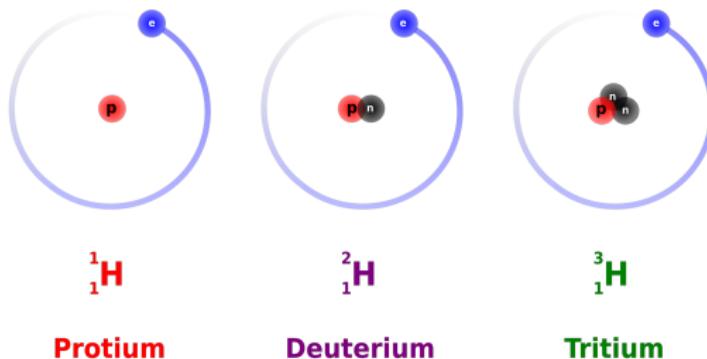
$$1 \text{ \AA} = 100 \text{ pm}$$

Model atomu helia;  $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$ ;  $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$ .<sup>15</sup>

# Atom

## Izotopy

- ▶ Nuklid – látka z atomů jednoho prvku, které mají stejný počet neutronů.
- ▶ Izotop – konkrétní nuklid jednoho chemického prvku.
- ▶ Existenci izotopů prokázal v roce 1913 Frederick Soddy, který za tento objev získal v roce 1921 Nobelovu cenu za chemii.<sup>16</sup>



Izotopy vodíku.<sup>17</sup>

<sup>16</sup>The Nobel Prize in Chemistry 1921

<sup>17</sup>Zdroj: Dirk Hünniger/Commons

# Atom

## Stabilita atomových jader

- ▶ Na stabilitu má vliv velikost vazebné energie jádra a poměr mezi počtem protonů a neutronů. U lehkých jader je poměr zhruba 1:1, se vzrůstajícím protonovým číslem dochází ke zvyšování přebytku neutronů
- ▶ Nejvíce stabilních jader má protonové i neutronové číslo sudé, např.  $^{12}_6C$ ,  $^{16}_8O$ , ...
- ▶ Naopak kombinace lichého protonového a neutronového čísla je u stabilních jader vzácná, známe pouze čtyři:  $^1_1H$ ,  $^6_3Li$ ,  $^{10}_5B$  a  $^{14}_7N$
- ▶ **Poločas rozpadu** - doba, za kterou dojde k rozpadu poloviny jader v systému
- ▶ Charakteristika nestabilních jader, pohybuje se od zlomků sekund až po milióny let
- ▶  $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$
- ▶  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$
- ▶  $t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2$

# Atom

## Radioaktivní rozpady

- ▶ Pokud je v jádru nadbytek neutronů nebo protonů, jádro se přemění na stabilnější.
  - ▶ α rozpad - rozpad charakteristický pro těžší jádra, dojde k uvolnění α-částice ( jádro  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  ), vzniklé jádro má protonové číslo menší o 2 a nukleonové o 4
  - ▶  ${}^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$
  - ▶ V případě nadbytku neutronů může dojít k rozpadu neutronu na proton a elektron, během přeměny se uvolňuje částice  $\beta^-$  ( ${}^0_{-1}\text{e}^-$ )
  - ▶  ${}^{32}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^0_{-1}\text{e}$
  - ▶ V případě nadbytku protonů může dojít k rozpadu protonu na neutron a pozitron, během přeměny se uvolňuje částice  $\beta^+$  ( ${}^0_{+1}\text{e}^+$ )
  - ▶  ${}^{11}_{6}\text{C} \longrightarrow {}^{11}_{5}\text{B} + {}^0_{+1}\text{e}$
  - ▶ Nadbytek protonů v jádře může být kompenzován i pomocí *elektro-nového záchytu*, kdy proton pohltí elektron a vznikne neutron
  - ▶  ${}^7_4\text{Be} + {}^0_{-1}\text{e} \longrightarrow {}^7_3\text{Li}$

# Atom

## Alotropie prvků

- ▶ Koncept *alotropie* navrhl v roce 1841 Jöns Jakob Berzelius, termín je odvozen z řeckého výrazu pro variabilitu.<sup>18</sup>
- ▶ Alotropy prvku jsou rozdílné strukturní modifikace daného prvku, mají odlišné fyzikální i chemické vlastnosti.<sup>19</sup>
- ▶ S allotropy se setkáváme např. u uhlíku, fosforu, síry a mnoha dalších prvků.
  - ▶ *Uhlík*:<sup>20</sup> diamant, grafit, grafen, fullereny, uhlíkové nanotrubice, ...
  - ▶ *Fosfor*: bílý, červený, černý, fialový
  - ▶ *Selen*: červený, šedý, černý



Černý a červený selen.<sup>21</sup>

<sup>18</sup>The Origin of the Term Allotrope

<sup>19</sup>Allotropes

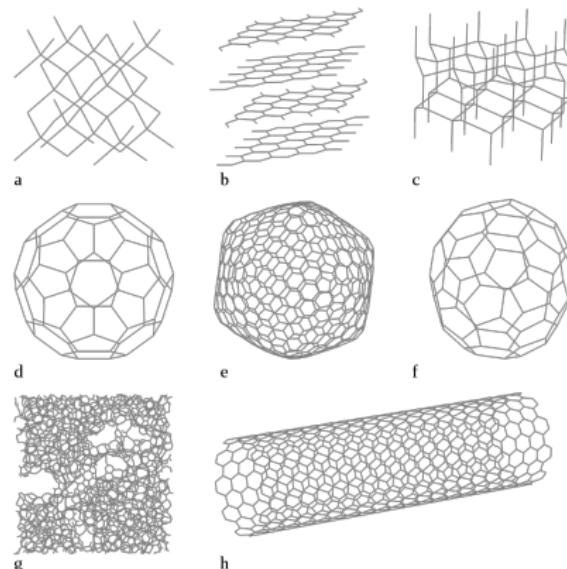
<sup>20</sup>KSICHT, seriál, ročník 2024/25

<sup>21</sup>Zdroj: W. Oelen/Commons

# Atom

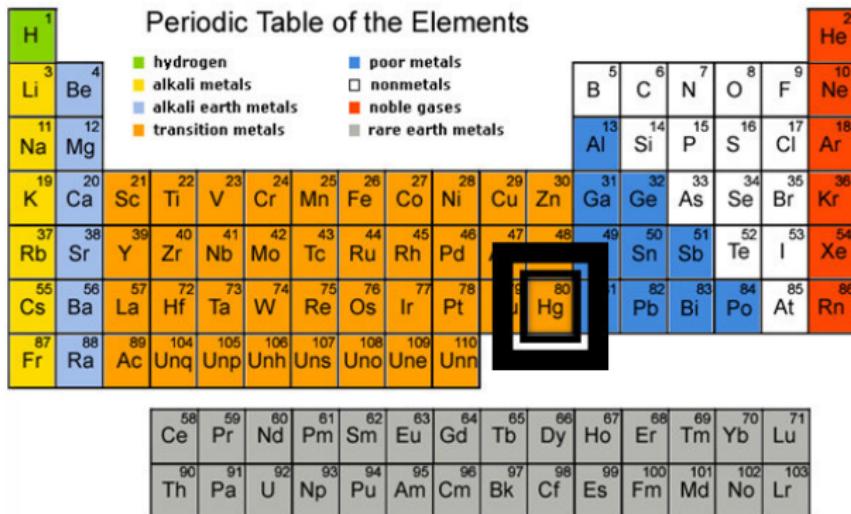
## Alotropie prvků

V současnosti probíhá intenzivní výzkum v oblasti *2D allotropických modifikací některých prvků*.



Allotropické modifikace uhlíku.<sup>22</sup>

# Současnost



PSP, stav před rokem 1997.<sup>23</sup>

<sup>23</sup>Zdroj: NP Gallery/Commons

# Současnost

## IUPAC Periodic Table of the Elements

1 H hydrogen 1.008 (1.008, 1.008)	2 Li lithium 6.94 (6.94, 6.94)	4 Be beryllium 9.0122	3 Na sodium 22.99 (22.99, 24.307)	5 Mg magnesium 24.31 (24.31, 24.31)	6 Cr chromium 51.996 51.996	7 Mn manganese 54.938 54.938	8 Fe iron 55.845(2) 55.845(2)	9 Co cobalt 58.933 58.933	10 Ni nickel 58.693 58.693	11 Cu copper 63.548(2) 63.548(2)	12 Zn zinc 65.38(2) 65.38(2)	13 Al aluminum 26.982 26.982	14 Si silicon 28.084 28.084	15 P phosphorus 30.974 30.974	16 S sulfur 32.06 32.06	17 Cl chlorine 35.45 (35.45, 35.45)	18 Ar argon 39.96 39.96	
19 K potassium 38.98 38.98	20 Ca calcium 40.078(4) 40.078(4)	21 Sc scandium 44.956 44.956	22 Ti titanium 47.867 47.867	23 V vanadium 50.942 50.942	24 Cr chromium 51.996 51.996	25 Mn manganese 54.938 54.938	26 Fe iron 55.845(2) 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933 58.933	28 Ni nickel 58.693 58.693	29 Cu copper 63.548(2) 63.548(2)	30 Zn zinc 65.38(2) 65.38(2)	31 Ga gallium 69.723 69.723	32 Ge germanium 72.03(8) 72.03(8)	33 As arsenic 74.922 74.922	34 Se selenium 78.87(8) 78.87(8)	35 Br bromine 79.901 79.901	36 Kr krypton 83.79(2) 83.79(2)	
37 Rb rubidium 85.468 85.468	38 Sr strontium 87.62 87.62	39 Y yttrium 88.908 88.908	40 Zr zirconium 91.24(2) 91.24(2)	41 Nb niobium 92.306 92.306	42 Mo molybdenum 95.95 95.95	43 Tc technetium 101.07(2) 101.07(2)	44 Ru rhodium 102.91 102.91	45 Rh rhodium 106.42 106.42	46 Pd palladium 107.87 107.87	47 Ag silver 112.41 112.41	48 Cd cadmium 114.82 114.82	49 In indium 118.71 118.71	50 Sn tin 121.76 121.76	51 Sb antimony 127.69(2) 127.69(2)	52 Te tellurium 136.90 136.90	53 I iodine 131.26 131.26	54 Xe xenon 131.90 131.90	
55 Cs cesium 132.91 132.91	56 Ba barium 137.33 137.33	57-71 lanthanoids 177.46(2) 177.46(2)		72 Hf hafnium 183.08 183.08	73 Ta tantalum 183.84 183.84	74 W tungsten 186.21 186.21	75 Re rhenium 190.27(2) 190.27(2)	76 Os osmium 192.22 192.22	77 Ir iridium 195.08 195.08	78 Pt platinum 196.97 196.97	79 Au gold 208.93 208.93	80 Hg mercury 214.50 (214.50, 214.50)	81 Tl thallium 217.2 217.2	82 Pb lead 208.98 208.98	83 Bi bismuth 216.09 216.09	84 Po polonium 218.08 218.08	85 At astatine 219.08 219.08	86 Rn radon 222.08 222.08
87 Fr francium 223.06 223.06	88 Ra radium 226.06 226.06	89-103 actinoids 231.06(2) 231.06(2)		104 Rf rutherfordium 240.06 240.06	105 Db dubnium 244.06 244.06	106 Sg seaborgium 247.06 247.06	107 Bh bohrium 250.06 250.06	108 Hs hassium 251.06 251.06	109 Mt meitnerium 252.06 252.06	110 Ds darmstadtium 253.06 253.06	111 Rg roentgenium 254.06 254.06	112 Cn copernicium 255.06 255.06	113 Nh nihonium 257.06 257.06	114 Fl florium 258.06 258.06	115 Mc moscovium 259.06 259.06	116 Lv livermorium 260.06 260.06	117 Ts tennessine 261.06 261.06	118 Og oganesson 262.06 262.06



For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 28 November 2016.  
Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

## Periodická tabulka prvků, rok 2016.<sup>24</sup>

<sup>24</sup>Zdroj: IUPAC

# Současnost

Period	Group																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H																		
2	3 Li	4 Be																	
3	11 Na	12 Mg																	
4	19 K	20 Ca	21 Sc																
5	37 Rb	38 Sr	39 Y																
6	55 Cs	56 Ba	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	72 Hf	
7	87 Fr	88 Ra	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	104 Rf	105 Db
																	106 Sg	107 Bh	108 Hs
																	109 Mt	110 Ds	111 Rg
																	112 Cn	113 Nh	114 Fl
																	115 Mc	116 Lv	117 Ts
																	118 Og		

Dlouhá periodická tabulka prvků.<sup>25</sup>

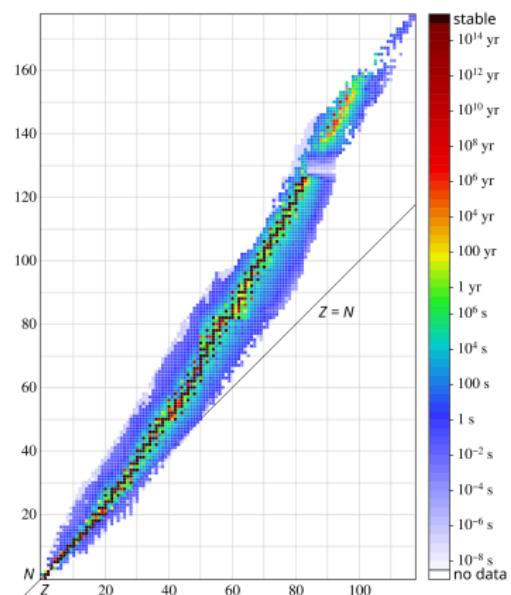
<sup>25</sup>Zdroj: MikeRun/Commons

# Současnost

## Bismut

### Stabilita jader

- ▶ Z prvních 82 prvků má 80 stabilní izotopy. Tc (43) a Pm (61) stabilní izotopy nemá.
- ▶ Z 251 známých stabilních izotopů se předpokládá, že 90 je opravdu stabilních a 161 má velice dlouhý poločas přeměny.
- ▶ U těžších prvků se neočekává, že by měly stabilní izotopy.
- ▶ V přírodě nacházíme 35 nuklidů, které mají poločas přeměny delší než je stáří Země (primordiální jádra).
- ▶ Nejdelší změřený poločas rozpadu má  $^{128}\text{Te}$ ,  $2,2 \times 10^{24}$  let.



Poločas přeměny izotopů.<sup>26</sup>

<sup>26</sup>Zdroj: BenRG/Commons

# Současnost

## Bismut

- ▶ Dlouho byl za stabilní (a zároveň nejtěžší stabilní jádro) považován izotop  $^{209}\text{Bi}$ , ale v roce 2003 bylo prokázáno, že se rozpadá za uvolnění částice  $\alpha$ .<sup>27</sup>
- ▶  $^{209}_{83}\text{Bi} \longrightarrow ^{205}_{81}\text{Tl} + ^4_2\alpha$
- ▶ Poločas rozpadu je  $2,01 \cdot 10^{19}$  let. Stáří vesmíru je odhadováno na  $13,8 \times 10^9$  let.
- ▶ Za nejtěžší stabilní jádro je nyní považováno jádro  $^{208}_{82}\text{Pb}$ .

Izotop	Poločas rozpadu	Typ rozpadu
$^{207}\text{Bi}$	31,55 let	$\beta^+$
$^{208}\text{Bi}$	$3,7 \cdot 10^5$ let	$\beta^+$
$^{209}\text{Bi}$	$2,01 \cdot 10^{19}$ let	$\alpha$
$^{210}\text{Bi}$	5,012 dne	$\beta^-/\alpha$
$^{210m}\text{Bi}$	$3,04 \cdot 10^6$ let	$\alpha$

<sup>27</sup>Experimental detection of alpha-particles from the radioactive decay of natural bismuth

# Současnost

Dokončení 7. periody

*Supertěžké prvky mají protonové číslo vyšší než 103.*

Protonové číslo	Značka	Název	$T_{\frac{1}{2}}$
104	Rf	Rutherfordium	1,3 h
105	Db	Dubnium	28 h
106	Sg	Seaborgium	14 min
107	Bh	Bohrium	11,5 min
108	Hs	Hassium	110 s
109	Mt	Meitnerium	67 s
110	Ds	Darmstadtium	14 s
111	Rg	Roentgenium	306 s
112	Cn	Copernicium	28 s
113	Nh	Nihonium	9,5 s
114	Fl	Flerovium	19 s
115	Mc	Moscovium	650 ms
116	Lv	Livermorium	57 ms
117	Ts	Tennessee	51 ms
118	Og	Oganesson	181 ms

# Současnost

## Dokončení 7. periody

- ▶ Organizace IUPAC vydala 9. 6. 2016 návrh na pojmenování nových čtyř prvků s protonovými čísly 113, 115, 117 a 118.<sup>28</sup>
- ▶ 28. 11. 2016 byly tyto názvy schváleny.<sup>29,30</sup>
- ▶ Všechny tyto nově připravené prvky jsou nestabilní, jejich poločasy rozpadu se pohybují ve zlomcích sekund.
- ▶ Kromě metod přípravy, jsou studovány i jejich fyzikální a chemické vlastnosti.<sup>31</sup>

Protonové číslo	Původní název	Schválený název
113	Ununtrium (Uut)	Nihonium (Nh)
115	Ununpentium (Uup)	Moscovium (Mc)
117	Ununseptium (Uus)	Tennessine (Ts)
118	Ununoctium (Uuo)	Oganesson (Og)

<sup>28</sup>IUPAC is naming the four new elements nihonium, moscovium, tennessine, and oganesson

<sup>29</sup>IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117, and 118

<sup>30</sup>Další čtyři supertěžké prvky mají svá jména

<sup>31</sup>Five decades of GSI superheavy element discoveries and chemical investigation

# Současnost

## Dokončení 7. periody

### Nihonium

- ▶ Umělý prvek, protonové číslo 113, Nh.
- ▶ Poprvé byl připraven v roce 2003:
- ▶  $^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{291}_{115}\text{Mc}^* \longrightarrow ^{288}_{115}\text{Mc} + 3\text{n} \longrightarrow ^{284}_{115}\text{Nh} + \alpha$
- ▶  $^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{291}_{115}\text{Mc}^* \longrightarrow ^{287}_{115}\text{Mc} + 4\text{n} \longrightarrow ^{283}_{115}\text{Nh} + \alpha$
- ▶ Pojmenován byl po Japonsku – „země vycházejícího slunce“.
- ▶ Známe osm izotopů  $^{278}\text{Nh}$  –  $^{290}\text{Nh}$ , nejdelší poločas rozpadu má  $^{286}\text{Nh}$ ,  $t_{\frac{1}{2}} = 9,5\text{ s}$ .
  - ▶  $^{286}_{113}\text{Nh} \longrightarrow ^{282}_{111}\text{Rg} + \alpha$
- ▶ Chemické vlastnosti nihonia nebyly zatím detailně prozkoumány.<sup>32</sup>
- ▶ Očekává se, že bude méně reaktivní než thallium a bude se podobat ušlechtilým kovům.

<sup>32</sup>First foot prints of chemistry on the shore of the Island of Superheavy Elements



# Současnost

## Dokončení 7. periody

### Moscovium

- ▶ Umělý prvek, protonové číslo 115, Mc.<sup>33</sup>
- ▶ Dřívější název tohoto prvku byl *ununpentium*.
- ▶ Poprvé byl připraven v roce 2004:<sup>34</sup>
- ▶  $^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{288}_{115}\text{Mc} + 3^1_0\text{n}$
- ▶  $^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{287}_{115}\text{Mc} + 4^1_0\text{n}$
- ▶ Předpokládaná elektronová konfigurace: [Rn] 5f<sup>14</sup> 6d<sup>10</sup> 7s<sup>2</sup> 7p<sup>3</sup>.

Izotop	Poločas rozpadu	Typ přeměny
$^{286}\text{Mc}$	20 ms	$\alpha$
$^{287}\text{Mc}$	38 ms	$\alpha$
$^{288}\text{Mc}$	193 ms	$\alpha$
$^{289}\text{Mc}$	250 ms	$\alpha$
$^{290}\text{Mc}$	650 ms	$\alpha$

<sup>33</sup>IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117, and 118

<sup>34</sup>Experiments on the synthesis of element 115

# Současnost

## Dokončení 7. periody

### Tennessin

- ▶ Umělý prvek, protonové číslo 117, Ts.<sup>35</sup>
- ▶ Název byl zvolen podle Tennessee (státu USA).<sup>36</sup>
- ▶ Poprvé byl připraven v dubnu 2010:<sup>37</sup>
- ▶ 
$${}_{97}^{249}\text{Bk} + {}_{20}^{48}\text{Ca} \longrightarrow {}_{117}^{294}\text{Ts} + 3 {}_0^1\text{n}$$
- ▶ 
$${}_{97}^{249}\text{Bk} + {}_{20}^{48}\text{Ca} \longrightarrow {}_{117}^{294}\text{Ts} + 4 {}_0^1\text{n}$$

Izotop	Poločas rozpadu	Typ přeměny
${}_{98}^{293}\text{Ts}$	25 ms	$\alpha$
${}_{98}^{294}\text{Ts}$	51 ms	$\alpha$

<sup>35</sup>IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117, and 118

<sup>36</sup>The Discovery of Tennessine

<sup>37</sup>Synthesis of a New Element with Atomic Number Z = 117

# Současnost

Dokončení 7. periody

## Ogganesson

- ▶ Umělý prvek, protonové číslo 118, Og.<sup>38</sup>
- ▶ Pojmenován byl podle ruského fyzika Yuri Oganessiana, jde o druhý prvek pojmenovaný po žijící osobě.<sup>39</sup>
- ▶ Poprvé byl připraven v roce 2002:<sup>40</sup>
- ▶ 
$$^{249}_{98}\text{Cf} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{294}_{118}\text{Og} + 3^1_0\text{n}$$



Yuri Oganessian.<sup>41</sup>

Izotop	Poločas rozpadu	Typ přeměny
$^{294}\text{Og}$	0,58 ms	$\alpha$

<sup>38</sup>IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117, and 118

<sup>39</sup>Mr Element 118: The only living person on the periodic table

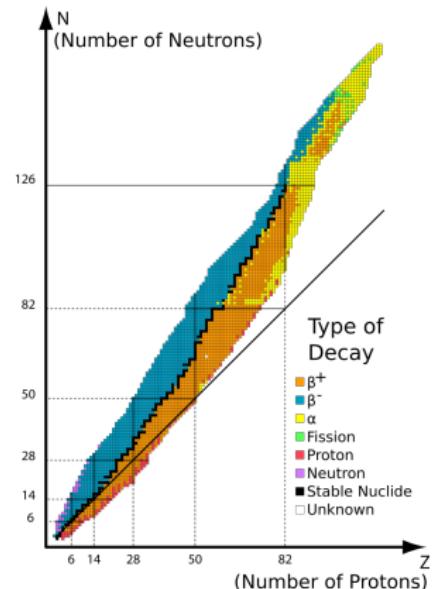
<sup>40</sup>Scientists Announce Creation of Atomic Element, the Heaviest Yet

<sup>41</sup>Zdroj: VPRO/Commons

# Budoucnost

## Hledání dalších supertěžkých prvků

- ▶ Struktura atomového jádra je podobná struktuře elektronového obalu.
- ▶ Protony mají svůj systém hladin, stejně tak neutrony. Z toho důvodu existují velmi stabilní kombinace počtu protonů a neutronů, tzv. *magická čísla*, kdy jsou tyto slupky zcela zaplněny.
- ▶ 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126<sup>42</sup>
- ▶ U těchto číselných kombinací se očekává zvýšená stabilita jader.
- ▶ Stabilitu jader dále zvyšuje sudý počet protonů i neutronů.



Typ rozpadu jádra v závislosti na protonovém čísle.<sup>43</sup>

<sup>42</sup>Magic numbers of nucleons

<sup>43</sup>Zdroj: Nappykenobi/Commons

# Budoucnost

## Hledání dalších supertěžkých prvků

- ▶ V oblasti okolo magických čísel se očekávají tzv. *ostrovy stability*.<sup>44</sup>
- ▶ Přesnou polohu těchto ostrovů je obtížné určit, každé nově objevené jádro pomáhá zpřesnit modely.<sup>45</sup>
- ▶ První ostrov stability se předpokládá v blízkosti jádra  $^{298}_{114}\text{Fl}$ .
- ▶ Příprava těchto jader je ovšem velmi komplikovaná, např.:
  - ▶  $^{248}_{94}\text{Pu} + ^{50}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{298}_{114}\text{Fl}$
  - ▶  $^{248}_{96}\text{Cm} + ^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow ^{298}_{114}\text{Fl} + ^{186}_{74}\text{W} + 2^1_0\text{n}$
- ▶ Druhý ostrov stability se předpokládá až u protonového čísla 164, to je ale se současnou technologií nedosažitelné.<sup>46</sup>

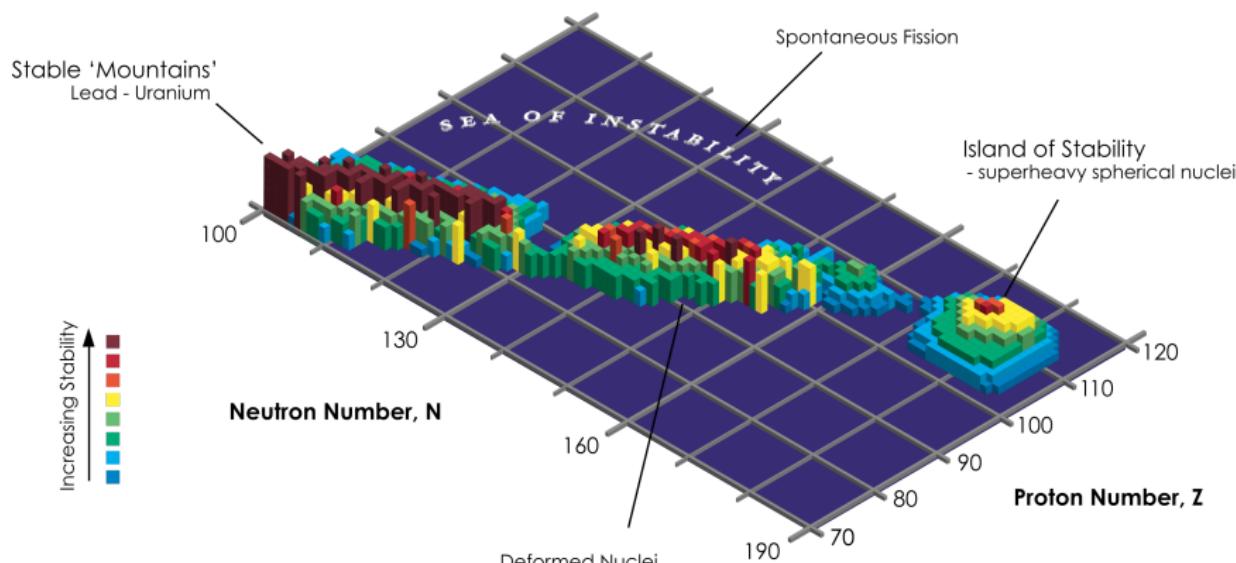
<sup>44</sup> Novinky ve studiu velmi těžkých a supertěžkých prvků

<sup>45</sup> Meze periodické tabulky

<sup>46</sup> Investigation of the stability of superheavy nuclei around Z=114 and Z=164

# Budoucnost

## Hledání dalších supertěžkých prvků



Ostrovy stability.<sup>47</sup>

<sup>47</sup> Zdroj: InvaderXan/Commons

# Budoucnost

## Hledání dalších supertěžkých prvků

- ▶ Nová supertěžká jádra lze produkovat několika způsoby:<sup>48</sup>
  1. Ostřelováním těžkých jader intenzivním proudem neutronů, např.:
    - ▶ 
$$^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{239}_{92}\text{U} \xrightarrow{23\text{ min}} {}^{239}_{93}\text{Np} + \beta^- \xrightarrow{56\text{ hod}} {}^{239}_{94}\text{Pu} + \beta^-$$
    - 2. Ostřelováním terče s obsahem těžkých, stabilních jader jiným těžkým jádrem.
      - ▶ 
$${}^{64}_{28}\text{Ni} + {}^{209}_{83}\text{Bi} \longrightarrow {}^{272}_{111}\text{Rg} + {}^1_0\text{n}$$
      - ▶ 
$${}^{70}_{30}\text{Zn} + {}^{208}_{82}\text{Pb} \longrightarrow {}^{277}_{112}\text{Cn} + {}^1_0\text{n}$$
- ▶ Výzkum nových prvků probíhá v několika laboratořích:
  - ▶ Joint Institute for Nuclear Research v Dubně<sup>49</sup>
  - ▶ Riken v Japonsku<sup>50</sup>
  - ▶ GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research v Darmstadtu<sup>51</sup>

<sup>48</sup> Jak se produkují a studují supertěžké prvky

<sup>49</sup> Joint Institute for Nuclear Research

<sup>50</sup> RIKEN

<sup>51</sup> GSI

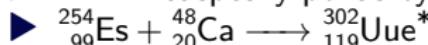
# Budoucnost

## Hledání dalších supertěžkých prvků

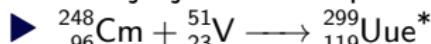
► Syntéza prvních prvků 8. periody je již studována.

► **Ununennium**, Uue, prvek 119

► První neúspěšný pokus byl proveden již v roce 1985<sup>52</sup>

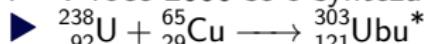


► Nadějnější se zdá experiment z roku 2020 (Riken, Japonsko):<sup>53</sup>



► **Unbibium**, Ubb, prvek 122

► V roce 2000 se o syntéze pokoušeli v GSI:<sup>54</sup>



► Cesta k těžším prvkům zatím není zcela zřejmá.

► Jednou z exotičtějších možností je studium prvků vyvržených během exploze supernovy.<sup>55</sup>

<sup>52</sup>Search for superheavy elements using the  $^{48}\text{Ca} + ^{254}\text{Es}^g$  reaction

<sup>53</sup>Extreme chemistry: experiments at the edge of the periodic table

<sup>54</sup>Investigations of the synthesis of the superheavy element Z = 122

<sup>55</sup>Superheavy Elements Are Breaking the Periodic Table

# Děkuji za pozornost

Zdeněk Moravec  
[hugo@chemi.muni.cz](mailto:hugo@chemi.muni.cz)