

Novinky v periodické tabulce prvků

Zdeněk Moravec, hugo@chemi.muni.cz

IUPAC Periodic Table of the Elements																	
1 H hydrogen weight 1.008 1.008	2 He helium	3 Li lithium 6.940 6.940	4 Be beryllium 9.012	5 B boron 10.811 10.811	6 C carbon 12.011 12.011	7 N nitrogen 14.012 14.012	8 O oxygen 15.999 15.999	9 F fluorine 18.998 18.998	10 Ne neon 20.180 20.180	11 Na sodium 22.990 22.990	12 Mg magnesium 24.302 24.302	13 Al aluminum 26.982 26.982	14 Si silicon 28.085 28.085	15 P phosphorus 30.973 30.973	16 S sulfur 32.065 32.065	17 Cl chlorine 35.453 35.453	18 Ar argon 39.948 39.948
19 K potassium 39.098	20 Ca calcium 40.078	21 Sc scandium 44.959	22 Ti titanium 47.867	23 V vanadium 50.942	24 Cr chromium 51.989	25 Mn manganese 54.938	26 Fe iron 55.845(2)	27 Co cobalt 58.959	28 Ni nickel 58.693	29 Cu copper 63.546(3)	30 Zn zinc 65.456(3)	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.610(3)	33 As arsenic 74.922	34 Se selenium 78.911(3)	35 Br bromine 79.901(3)	36 Kr krigon 83.798(3)
37 Rb rubidium 81.908	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.905	40 Zr zirconium 91.224(3)	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybdenum 95.96	43 Tc technetium 98.073(3)	44 Ru ruthenium 102.931	45 Rh rhodium 103.931	46 Pd palladium 106.47	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60(3)	53 I iodine 131.29	54 Xe xenon 131.30
55 Cs cesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 La lanthanoids 138.81	72 Hf hafnium 170.93	73 Ta tantalum 178.49	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.20(3)	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.21(3)	78 Pt platinum 195.07	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Bi bismuth 201.99	82 Po polonium 201.99	83 Bi bismuth 201.99	84 Po polonium 201.99	85 At astatine 210.00	86 Rn radon 222.00
87 Fr francium 223.02	88-103 Ra radioactives 166.93	104 Db dubnium 164.93	105 Bh bohrium 169.93	106 Sg seaborgium 170.93	107 Nh nihonium 171.93	108 Mt mendelevium 172.93	109 Ds darmstadtium 173.93	110 Rg roentgenium 174.93	111 Nh nihonium 175.93	112 Cn copernicium 176.93	113 Nh nihonium 177.93	114 Fl flamevium 178.93	115 Mc meitnerium 179.93	116 Lv livensium 180.93	117 Ts tennessine 181.93	118 Og oganesson 182.93	
126 Ac actinium 227.04	127 Th thorium 232.04	128 Pa protactinium 231.04	129 U uranium 238.03	130 Np neptunium 237.03	131 Pu plutonium 244.03	132 Am americium 243.03	133 Cm curium 247.03	134 Bk berkelium 247.03	135 Dy dysprosium 243.03	136 Ho holmium 164.93	137 Er erbium 167.26	138 Tm thulium 169.93	139 Yb ytterbium 173.05	140 Lu lutetium 174.93	141 Hf hafnium 178.49	142 Lr lawrencium 175.93	

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



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, ⁴	Pt = 197, ⁴
Fe = 56	Rn = 104, ⁴	Ir = 198.
Ni = Co = 59	Pt = 106, ⁸	O = 199.
H = 1	Cu = 63, ⁴	Ag = 108
Ba = 9, ⁴	Mg = 24	Zn = 65, ²
B = 11	Al = 27, ¹	? = 68
C = 12	Si = 28	? = 70
N = 14	P = 31	As = 75
O = 16	S = 32	Se = 79, ⁴
F = 19	Cl = 35, ⁶	Br = 80
Li = 7	Na = 23	K = 39
Ca = 40	Sr = 87, ⁸	Rb = 85, ⁴
? = 45	Ba = 137	Cs = 133
?Er = 56	La = 94	Tl = 204.
?Yt = 60	Dy = 95	
?In = 75	Th = 118?	

Д. Менделеев

Periodická tabulka prvků
z roku 1869.¹

¹Zdroj: Dmitrij Ivanovič Mendělejev/Commons

²Zdroj: IUPAC

IUPAC Periodic Table of the Elements																		
1	H	Hydrogen	(1.008)	He	Helium	(4.003)												
2	Li	Lithium	(6.941)	Be	Boron	(9.012)												
3	Na	Sodium	(22.989)	Mg	Magnesium	(24.312)												
4	K	Potassium	(39.098)	Ca	Calcium	(40.078)												
5	Rb	Rubidium	(84.912)	Sr	Samarium	(83.800)												
6	Cs	Ce	(168.04)	Fr	Rutherfordium	(191.962)												
7	La	Gadolinium	(138.91)	Lu	Lanthanum	(131.902)												
8	Ce	Praseodymium	(140.91)	Db	Dysprosium	(160.902)												
9	Pr	Neodymium	(141.90)	Sg	Samarium	(151.902)												
10	Pm	Promethium	(141.902)	Bh	Berkelium	(147.902)												
11	Sm	Curium	(150.902)	Hs	Hahnium	(161.902)												
12	Gd	Europium	(152.902)	Mt	Martensium	(158.902)												
13	Tb	Terbium	(154.902)	Ds	Darmstadtium	(269.902)												
14	Dy	Holmium	(157.902)	Rg	Rutherfordium	(223.902)												
15	Ho	Erbium	(159.902)	Cn	Copernicium	(257.902)												
16	Er	Thulium	(161.902)	Nh	Nihonium	(287.902)												
17	Tm	Dysprosium	(162.902)	Fl	Flerovium	(294.902)												
18	Yb	Ytterbium	(164.902)	Mt	Moscovium	(268.902)												
19	Lu	Lu	(165.902)															

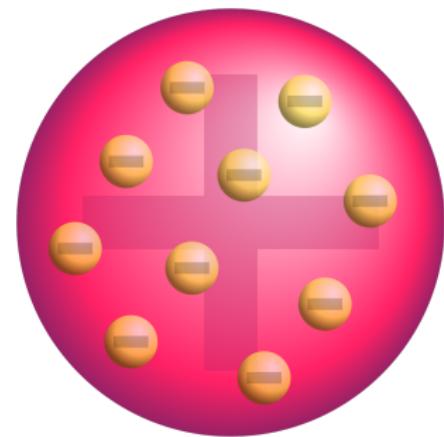
For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 28 November 2016.
Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Periodická tabulka prvků.²

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.³



Thompsonův pudinkový model atomu.⁴

³Corpuscles to Electrons

⁴Zdroj: Fastfission/Commons

Historie

Historický vývoj atomové teorie

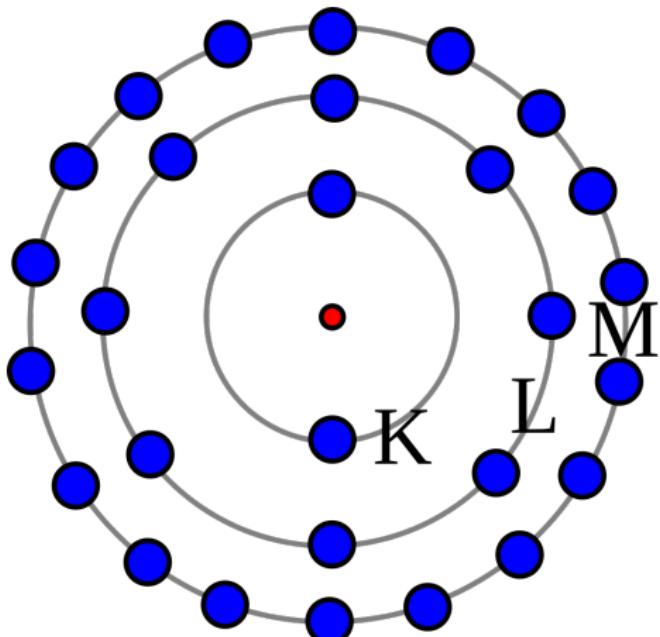
- ▶ Niels Bohr (1885–1962) — dánský fyzik, nositel Nobelovy ceny za fyziku z roku 1922.⁵
- ▶ V letech 1911–1918 vytvořil tzv. *Bohrův model atomu*.
- ▶ Zavedl tři postuláty:⁶
 1. Atom je stabilní soustava složená z kladně nabitého jádra, v němž je soustředěna téměř celá hmotnost atomu, a z elektronového 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.

⁵The Nobel Prize in Physics 1922

⁶Bohr model

Historie

Historický vývoj atomové teorie



Bohrův model atomu.⁷

⁷Zdroj: 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.⁸
- ▶ V roce 1869 publikoval periodický zákon, závislost chemického chování prvků na atomové hmotnosti.



Dmitrij Ivanovič Mendělejev.⁹

⁸Dmitrij Ivanovič Mendělejev

⁹Zdroj: 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, ⁴	Pt = 197, ⁴
	Fe = 56	Rn = 104, ⁴	Ir = 198.
H = 1	Ni = Co = 59	Pt = 106, ⁴	O = 199.
	Cu = 63, ⁴	Ag = 108	Hg = 200.
	Be = 9, ⁴	Mg = 24	Zn = 65, ⁴
	B = 11	Al = 27, ⁴	? = 68
	C = 12	Si = 28	? = 70
	N = 14	P = 31	As = 75
	O = 16	S = 32	Se = 79, ⁴
	F = 19	Cl = 35, ⁴	Br = 80
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85, ⁴
		Ca = 40	Sr = 87, ⁴
		?	= 45
		Ce = 92	
		?Er = 56	La = 94
		?Y = 60	Di = 95
		?In = 75, ⁴	Th = 118?
			Tl = 204.
			Cs = 133
			Ba = 137
			Pb = 207.

Д. Менделеевъ

PSP z roku 1869.¹⁰

¹⁰Zdroj: Commons

Historie

Dmitrij Ivanovič Mendělejev

Reihen	Gruppe I. — R ² O	Gruppe II. — RO	Gruppe III. — R ² O ³	Gruppe IV. RH ⁴ RO ²	Gruppe V. RH ³ R ² O ⁵	Gruppe VI. RH ² RO ³	Gruppe VII. RH R ² O ⁷	Gruppe VIII. — RO ⁴
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 1871.¹¹

¹¹ 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	Cæsium 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	—	—	Osmium Os=191 Iridium Ir=193 Platinum Pt=194·9 (Au)
12	—	—	Radium Rd=224	—	Thorium Th=232	—	Uranium U=239	—	

PSP z roku 1904.¹²

¹²Zdroj: Commons

Historie

Dmitrij Ivanovič Mendělejev

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

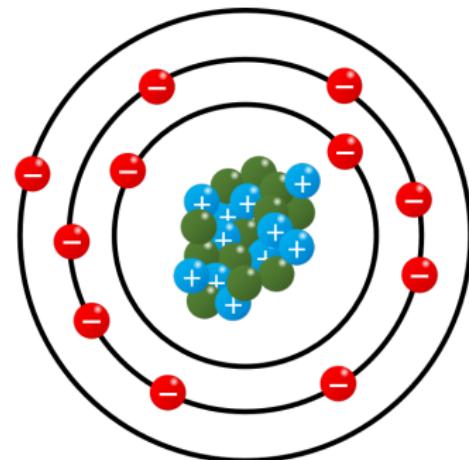
	Eka-aluminium	Gallium	Eka-silicon	Germanium
At. hmotnost	68	69,723	72	72,630
Hust. [g.cm⁻³]	6,0	5,91	5,5	5,323
T. tání [°C]	nízká	29,76	Vysoká	938
Oxid	Ea_2O_3	Ga_2O_3	Žáruvzdorný dioxid	
Hust. oxidu	5,5	5,88	4,7	4,23

¹³Mendeleev'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

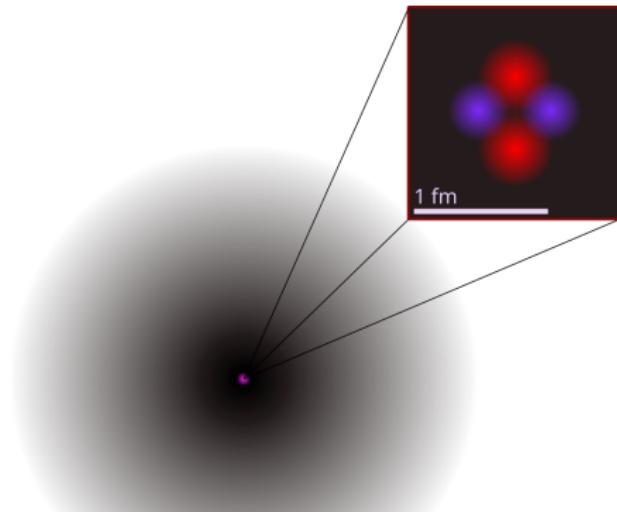


Model atomu sodíku.¹⁴

¹⁴Zdroj: Plazmi/Commons

Atom

Struktura atomu



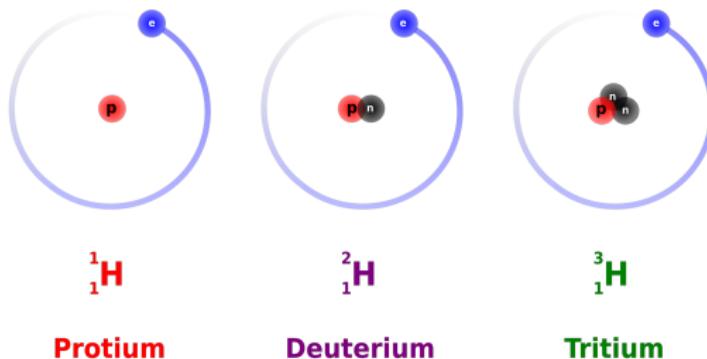
$$1 \text{ \AA} = 100 \text{ pm}$$

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

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.¹⁶



Izotopy vodíku.¹⁷

¹⁶The Nobel Prize in Chemistry 1921

¹⁷Zdroj: 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 β^- (${}^0_{-1}\text{e}^-$)
 - ▶ ${}^{32}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^0_{-1}\text{e}$
 - ▶ V případě nadbytku protonů může dojít k rozpadu protonu na neutron a pozitron, během přeměny se uvolňuje částice β^+ (${}^0_{+1}\text{e}^+$)
 - ▶ ${}^{11}_{6}\text{C} \longrightarrow {}^{11}_{5}\text{B} + {}^0_{+1}\text{e}$
 - ▶ 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.¹⁸
- ▶ Alotropy prvku jsou rozdílné strukturní modifikace daného prvku, mají odlišné fyzikální i chemické vlastnosti.¹⁹
- ▶ S allotropy se setkáváme např. u uhlíku, fosforu, síry a mnoha dalších prvků.
 - ▶ *Uhlík*:²⁰ diamant, grafit, grafen, fullereny, uhlíkové nanotrubice, ...
 - ▶ *Fosfor*: bílý, červený, černý, fialový
 - ▶ *Selen*: červený, šedý, černý



Černý a červený selen.²¹

¹⁸The Origin of the Term Allotrope

¹⁹Allotropes

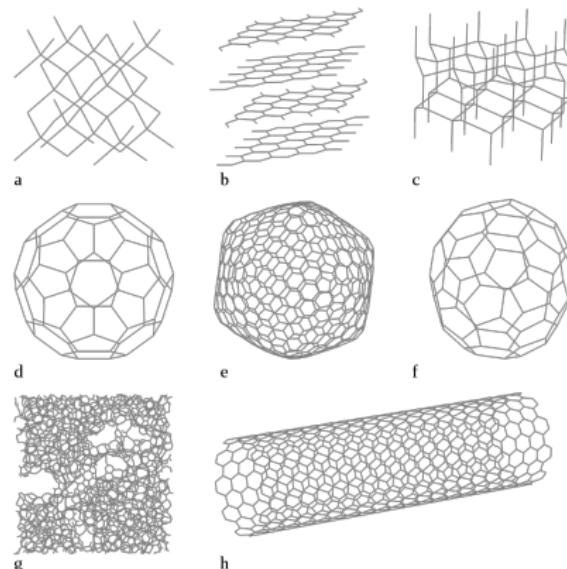
²⁰KSICHT, seriál, ročník 2024/25

²¹Zdroj: W. Oelen/Commons

Atom

Alotropie prvků

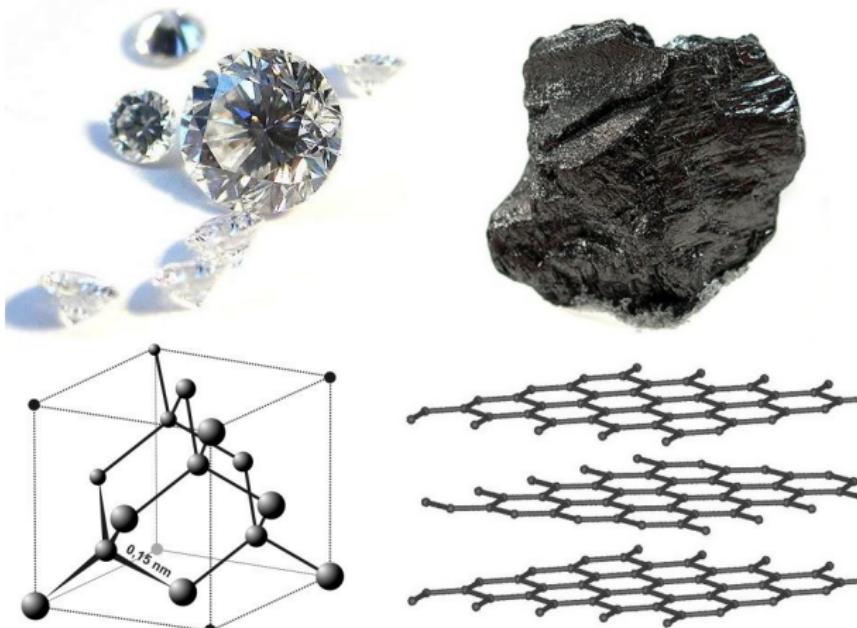
V současnosti probíhá intenzivní výzkum v oblasti *2D allotropických modifikací některých prvků*.



Allotropické modifikace uhlíku.²²

Atom

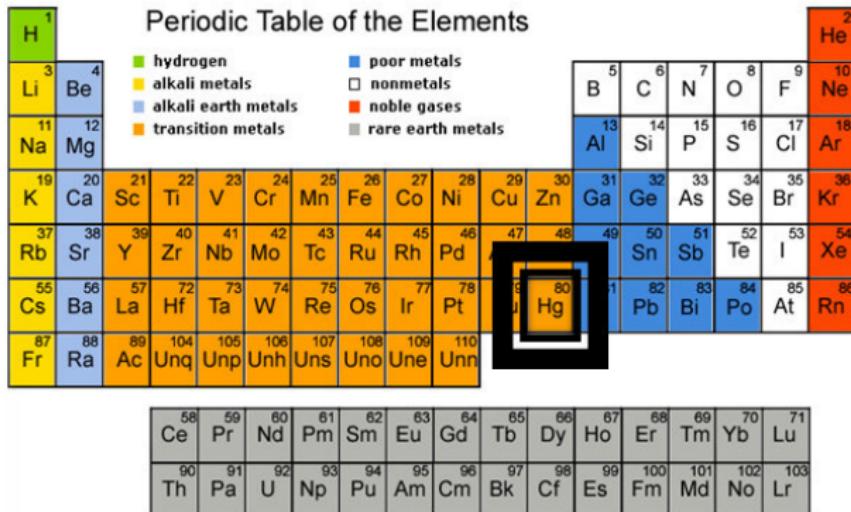
Alotropie prvků



Srovnání diamantu a grafitu.²³

²³Zdroj: Itub/Commons

Současnost



PSP, stav před rokem 1997.²⁴

²⁴Zdroj: NPGallery/Commons

Současnost

IUPAC Periodic Table of the Elements

1 H hydrogen (1.008) (1.008)	2 He helium (4.003) (4.003)																							
3 Li lithium (6.941) (6.941)	4 Be beryllium (9.012)																							
5 B boron (10.811)	6 C carbon (12.011)																							
7 N nitrogen (14.012)	8 O oxygen (15.999)																							
9 F fluorine (18.998)	10 Ne neon (20.180)																							
11 Na sodium (22.989)	12 Mg magnesium (24.307)																							
13 Al aluminum (26.982)	14 Si silicon (28.085)																							
15 P phosphorus (30.974)	16 S sulfur (32.06)																							
17 Cl chlorine (35.457)	18 Ar argon (39.962)																							
19 K potassium (38.965)	20 Ca calcium (40.978)	21 Sc scandium (44.958)	22 Ti titanium (47.867)	23 V vanadium (50.942)	24 Cr chromium (51.988)	25 Mn manganese (54.938)	26 Fe iron (55.845)	27 Co cobalt (58.933)	28 Ni nickel (58.693)	29 Cu copper (63.548)	30 Zn zinc (65.382)	31 Ga gallium (69.723)	32 Ge germanium (72.033)	33 As arsenic (74.922)	34 Se selenium (78.875)	35 Br bromine (79.901)	36 Kr krypton (83.795)							
37 Rb rubidium (85.448)	38 Sr strontium (87.62)	39 Y yttrium (88.908)	40 Zr zirconium (91.242)	41 Nb niobium (92.306)	42 Mo molybdenum (95.95)	43 Tc technetium (101.072)	44 Ru ruthenium (102.91)	45 Rh rhodium (106.42)	46 Pd palladium (107.87)	47 Ag silver (112.41)	48 Cd cadmium (114.82)	49 In indium (116.71)	50 Sn tin (121.76)	51 Sb antimony (127.693)	52 Te tellurium (138.90)	53 I iodine (131.20)								
55 Cs cesium (132.91)	56 Ba barium (137.33)	57-71 lanthanoids 72 Hf hafnium (177.402)	73 Ta tantalum (183.08)	74 W tungsten (183.84)	75 Re rheneium (186.21)	76 Os osmium (190.270)	77 Ir iridium (192.22)	78 Pt platinum (195.08)	79 Au gold (196.97)	80 Hg mercury (208.9)	81 Tl thallium (214.30)	82 Pb lead (214.78)	83 Bi bismuth (217.2)	84 Po polonium (208.98)	85 At astatine (216.09)	86 Rn radon (222.01)								
87 Fr francium (223.01)	88 Ra radioactive (226.04)	89-103 actinoids 104 Rf rutherfordium (232.04)	105 Db dubnium (234.05)	106 Sg seaborgium (238.03)	107 Bh bohrium (239.03)	108 Hs hassium (239.03)	109 Mt meitnerium (240.03)	110 Ds darmstadtium (243.03)	111 Rg roentgenium (244.03)	112 Cn copernicium (247.03)	113 Nh nihonium (247.03)	114 Fl florium (247.03)	115 Mc moscovium (250.03)	116 Lv livensium (251.03)	117 Ts tennessine (252.03)	118 Og oganesson (253.03)								
57 La lanthanum (138.91)	58 Ce cerium (140.12)	59 Pr praseodymium (140.91)	60 Nd neodymium (144.24)	61 Pm promethium (147.91)	62 Sm samarium (150.86)	63 Eu europium (151.96)	64 Gd gadolinium (157.26)	65 Tb terbium (158.93)	66 Dy dysprosium (162.50)	67 Ho holmium (164.93)	68 Er erbium (167.28)	69 Tm thulium (169.93)	70 Yb ytterbium (173.95)	71 Lu lutetium (174.97)										
89 Ac actinium (227.06)	90 Th thorium (232.04)	91 Pa protactinium (231.04)	92 U uranium (238.03)	93 Np neptunium (239.03)	94 Pu plutonium (244.03)	95 Am americium (243.03)	96 Cm curium (247.03)	97 Bk berkelium (247.03)	98 Cf californium (251.03)	99 Es einsteinium (252.03)	100 Fm fermium (253.03)	101 Md mendelevium (255.03)	102 No nobelium (257.03)	103 Lr lawrencium (259.03)										



For notes and updates to this table, see 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 2016.²⁵

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.²⁶

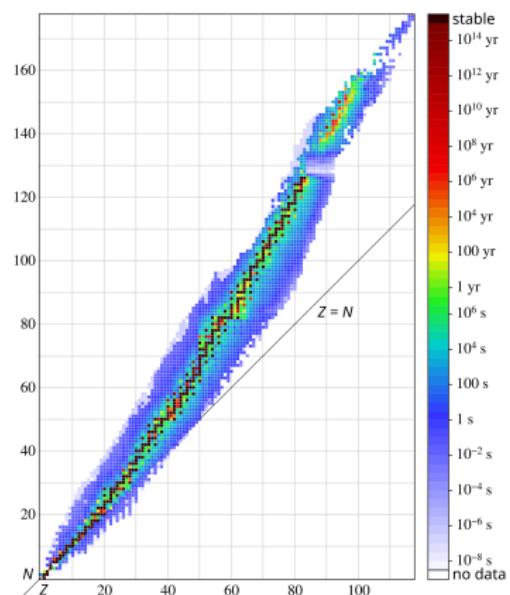
²⁶Zdroj: MikeRun/Commons

Současnost

Bismut

Stabilita jader

- ▶ Z prvních 82 prvků má 80 stabilní izotopy. ^{43}Tc a ^{61}Pm stabilní izotopy ne má.
- ▶ 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}Te , $2,2 \times 10^{24}$ let.



Poločas přeměny izotopů.²⁷

²⁷Zdroj: BenRG/Commons

Současnost

Bismut

- ▶ Dlouho byl za stabilní (a zároveň nejtěžší stabilní jádro) považován izotop ^{209}Bi , ale v roce 2003 bylo prokázáno, že se rozpadá za uvolnění částice α .²⁸
- ▶ $^{209}_{83}\text{Bi} \longrightarrow ^{205}_{81}\text{Tl} + ^4_2\alpha$
- ▶ 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}Bi	31,55 let	β^+
^{208}Bi	$3,7 \cdot 10^5$ let	β^+
^{209}Bi	$2,01 \cdot 10^{19}$ let	α
^{210}Bi	5,012 dne	β^-/α
^{210m}Bi	$3,04 \cdot 10^6$ let	α

²⁸Experimental 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 118.²⁹
- ▶ 28. 11. 2016 byly tyto názvy schváleny.^{30,31}
- ▶ 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.³²

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)

²⁹IUPAC is naming the four new elements nihonium, moscovium, tennessine, and oganesson

³⁰IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117, and 118

³¹Další čtyři supertěžké prvky mají svá jména

³²Five 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:
- ▶
$$^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{291}_{115}\text{Mc}^* \longrightarrow ^{288}_{115}\text{Mc} + 3\text{n} \longrightarrow ^{284}_{113}\text{Nh} + ^4_2\text{He}$$
- ▶
$$^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{291}_{115}\text{Mc}^* \longrightarrow ^{287}_{115}\text{Mc} + 4\text{n} \longrightarrow ^{283}_{113}\text{Nh} + ^4_2\text{He}$$
- ▶ Pojmenován byl po Japonsku – „země vycházejícího slunce“.
- ▶ Známe osm izotopů ^{278}Nh – ^{290}Nh , nejdelší poločas rozpadu má ^{286}Nh , $t_{\frac{1}{2}} = 9,5$ s.
 - ▶
$$^{286}_{113}\text{Nh} \longrightarrow ^{282}_{111}\text{Rg} + ^4_2\text{He}$$
- ▶ Chemické vlastnosti nihonia nebyly zatím detailně prozkoumány.³³
- ▶ Očekává se, že bude méně reaktivní než thallium a bude se podobat ušlechtilým kovům.

³³First foot prints of chemistry on the shore of the Island of Superheavy Elements



Současnost

Dokončení 7. periody

Moscovium

- ▶ Umělý prvek, protonové číslo 115, Mc.³⁴
- ▶ Dřívější název tohoto prvku byl *ununpentium*.
- ▶ Poprvé byl připraven v roce 2004:³⁵
- ▶ $^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{288}_{115}\text{Mc} + 3^1_0\text{n}$
- ▶ $^{243}_{95}\text{Am} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{287}_{115}\text{Mc} + 4^1_0\text{n}$
- ▶ Předpokládaná elektronová konfigurace: [Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p³.

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

³⁴IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117, and 118

³⁵Experiments on the synthesis of element 115

Současnost

Dokončení 7. periody

Tennessin

- ▶ Umělý prvek, protonové číslo 117, Ts.³⁶
- ▶ Název byl zvolen podle Tennessee (státu USA).³⁷
- ▶ Poprvé byl připraven v dubnu 2010:³⁸
- ▶ $^{249}_{97}\text{Bk} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{294}_{117}\text{Ts} + 3 ^1_0\text{n}$
- ▶ $^{249}_{97}\text{Bk} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{294}_{117}\text{Ts} + 4 ^1_0\text{n}$

Izotop	Poločas rozpadu	Typ přeměny
^{293}Ts	25 ms	α
^{294}Ts	51 ms	α

³⁶IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117, and 118

³⁷The Discovery of Tennessine

³⁸Synthesis of a New Element with Atomic Number Z = 117

Současnost

Dokončení 7. periody

Ogganesson

- ▶ Umělý prvek, protonové číslo 118, Og.³⁹
- ▶ Pojmenován byl podle ruského fyzika Yuri Oganessiana, jde o druhý prvek pojmenovaný po žijící osobě.⁴⁰
- ▶ Poprvé byl připraven v roce 2002:⁴¹
- ▶
$$^{249}_{98}\text{Cf} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{294}_{118}\text{Og} + 3^1_0\text{n}$$



Yuri Oganessian.⁴²

Izotop	Poločas rozpadu	Typ přeměny
^{294}Og	0,58 ms	α

³⁹IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117, and 118

⁴⁰Mr Element 118: The only living person on the periodic table

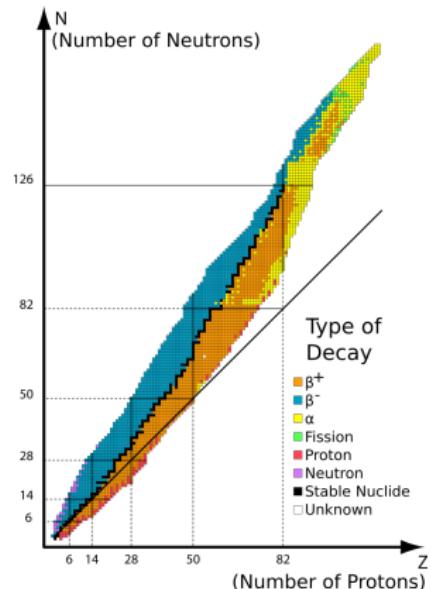
⁴¹Scientists Announce Creation of Atomic Element, the Heaviest Yet

⁴²Zdroj: 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, 126⁴³
- ▶ 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.⁴⁴

⁴³Magic numbers of nucleons

⁴⁴Zdroj: Nappykenobi/Commons

Budoucnost

Hledání dalších supertěžkých prvků

- ▶ V oblasti okolo magických čísel se očekávají tzv. *ostrovy stability*.⁴⁵
- ▶ Přesnou polohu těchto ostrovů je obtížné určit, každé nově objevené jádro pomáhá zpřesnit modely.⁴⁶
- ▶ 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.⁴⁷

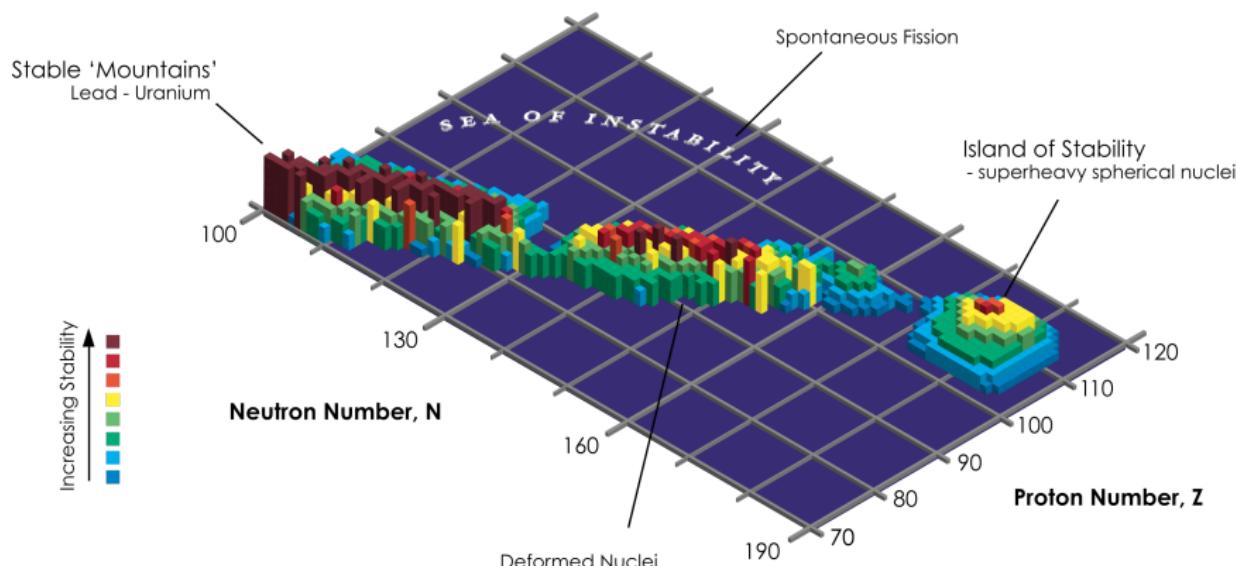
⁴⁵ Novinky ve studiu velmi těžkých a supertěžkých prvků

⁴⁶ Meze periodické tabulky

⁴⁷ Investigation of the stability of superheavy nuclei around Z=114 and Z=164

Budoucnost

Hledání dalších supertěžkých prvků



Ostrovy stability.⁴⁸

⁴⁸Zdroj: InvaderXan/Commons

Budoucnost

Hledání dalších supertěžkých prvků

- ▶ Nová supertěžká jádra lze produkovat několika způsoby:⁴⁹
 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 Dubně⁵⁰
 - ▶ Riken v Japonsku⁵¹
 - ▶ GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research v Darmstadtu⁵²

⁴⁹ Jak se produkují a studují supertěžké prvky

⁵⁰ Joint Institute for Nuclear Research

⁵¹ RIKEN

⁵² 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 1985⁵³
 - ▶ $^{254}_{99}\text{Es} + ^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow ^{302}_{119}\text{Uue}^*$
 - ▶ Nadějnější se zdá experiment z roku 2020 (Riken, Japonsko):⁵⁴
 - ▶ $^{248}_{96}\text{Cm} + ^{51}_{23}\text{V} \longrightarrow ^{299}_{119}\text{Uue}^*$
- ▶ **Unbibium**, Ubb, prvek 122
 - ▶ V roce 2000 se o syntézu pokoušeli v GSI:⁵⁵
 - ▶ $^{238}_{92}\text{U} + ^{65}_{29}\text{Cu} \longrightarrow ^{303}_{121}\text{Ubu}^*$
- ▶ Cesta k těžším prvkům zatím není zcela zřejmá.
- ▶ Jednou z exotičtějších možností je studium prvků vyvržených během exploze supernovy.⁵⁶

⁵³Search for superheavy elements using the $^{48}\text{Ca} + ^{254}\text{Es}^g$ reaction

⁵⁴Extreme chemistry: experiments at the edge of the periodic table

⁵⁵Investigations of the synthesis of the superheavy element Z = 122

⁵⁶Superheavy Elements Are Breaking the Periodic Table

Děkuji za pozornost

Zdeněk Moravec
hugo@chemi.muni.cz