

# 1. Periodická soustava prvků

Chemický svět do konce 18. století znal pouze 32 prvků. Poznatky o vlastnostech těchto prvků byly srovnatelné s dnešními znalostmi o prvcích od protonového čísla 108 a výše. Nebyl tedy zvlášť naléhavý důvod k jejich systemizaci a třídění. Tento důvod nastal s poznáváním a objevováním dalších a dalších chemických prvků. Do poloviny 19. století už se počet známých prvků zdvojnásobil a s rozvojem fyzikálně chemických metod narůstaly i poznatky o jejich vlastnostech. Byly pozorovány některé podobnosti a vztahy mezi nimi.

## 2. Historie objevů chemických prvků

V přírodě se vyskytuje 90 prvků od vodíku  ${}^1_1\text{H}$  –  ${}^{92}_{92}\text{U}$ .  ${}^{43}_{43}\text{Tc}$  a  ${}^{61}_{61}\text{Pm}$  se v přírodě nevyskytuje pro krátký poločas rozpadu. Transurany, které byly připraveny uměle, se v přírodě také nevyskytují, avšak v radioaktivním spadu po termojaderném výbuchu byly objeveny izotopy neptunia  ${}^{93}_{93}\text{Np}$  a dokonce i velmi těžké izotopy plutonia  ${}^{244}_{94}\text{Pu}$  a  ${}^{246}_{94}\text{Pu}$ .

### Historie objevování chemických prvků

	1	Starověk		
Pořadí	Název	Rok	Objevitel	
1	Uhlík	Starověk	????	15 000 let př. n. l.
2	Měď	Starověk	????	8 000 – 7 000 let př. n. l.
3	Olovo	Starověk	????	6 500 let př. n. l.
4	Zlato	Starověk	????	6 000 – 5 000 let př. n. l.
5	Cín	Starověk	????	5 000 let př. n. l.
6	Železo	Starověk	????	4 480 let př. n. l.
7	Stříbro	Starověk	????	4 000 let př. n. l.
8	Rtuť	Starověk	????	3 500 let př. n. l.
9	Síra	Starověk	????	1 000 let př. n. l.
	<b>2</b>	<b>13. století</b>		
10	Arsen	1250	Albertus Magnus	
	<b>3</b>	<b>15. století</b>		
11	Antimon	1450	Poprvé popsal Tholden	
12	Bismut	15. století?	Basil Valentinus, François Geoffroy	1753
	<b>4</b>	<b>16. století</b>		
13	Zinek	1526	Paracelsus	
	<b>5</b>	<b>17. století</b>		
14	Fosfor	1669	Hennig Brand, později Robert Boyle	
	<b>6</b>	<b>18. století</b>		
15	Kobalt	1732	Georg Brandt	
16	Platina	ca. 1741	Antonio de Ulloa a Charles Wood	
17	Nikl	1751	Axel Fredrik Cronstedt	
18	Hořčík	1755	Joseph Black. Izoloval Humphry Davy	1808
19	Vodík	1766	Izoloval Henry Cavendish, název Antoine Lavoisier	
20	Kyslík	1771	Joseph Priestley	
21	Dusík	1772	Daniel Rutherford	

22	Chlor	1774	Carl Wilhelm Scheele
23	Mangan	1774	Johan Gottlieb Gahn
24	Molybden	1778	Carl Wilhelm Scheele
25	Tellur	1782	Franz-Joseph Müller von Reichenstein
26	Wolfram	1783	Juan José Elhuyar a Fausto Elhuyar
27	Uran	1789	Martin Heinrich Klaproth
28	Zirkonium	1789	Martin Heinrich Klaproth
29	Stroncium	1793	Martin Heinrich Klaproth
30	Yttrium	1794	Johan Gadolin
31	Titan	1797	Martin Heinrich Klaproth
32	Chrom	1797	Louis Nicolas Vauquelin
<b>7</b>	<b>19. století</b>		
33	Vanad	1801	Andrés Manuel del Río, název N. G. Sefström
34	Niob	1801	Charles Hatchett
35	Tantal	1802	Anders Gustaf Ekeberg
36	Cer	1803	Martin Heinrich Klaproth; Jöns Jakob Berzelius a Wilhelm Hisinger
37	Rhodium	1803	William Hyde Wollaston
38	Palladium	1803	William Hyde Wollaston
39	Osmium	1803	Smithson Tennant
40	Iridium	1803	Smithson Tennant
41	Draslík	1807	Humphry Davy
42	Sodík	1807	Humphry Davy
43	Vápník	1808	Humphry Davy
44	Baryum	1808	Humphry Davy
45	Bor	1808	Joseph Louis Gay-Lussac & Louis-Jacques Thenard
46	Jod	1811	Bernard Courtois
47	Lithium	1817	Johan August Arfwedson
48	Kadmium	1817	Friedrich Strohmeyer, nezávisle K. S. L. Hermann
49	Selen	1817	Jöns Jakob Berzelius
50	Křemík	1823	Jöns Jakob Berzelius
51	Hliník	1825	Hans Christian Oersted
52	Brom	1826	Antoine Jérôme Balard
53	Thorium	1828	Jöns Jakob Berzelius
54	Beryllium	1828	Friedrich Wöhler, nezávisle Antoine Bussy
55	Lanthan	1839-41	Carl Gustaf Mosander
56	Terbium	1843	Carl Gustaf Mosander
57	Erbium	1843	Carl Gustaf Mosander
58	Ruthenium	1844	Karl Klaus
59	Cesium	1860	Robert Bunsen a Gustav Kirchhoff
60	Rubidium	1860	Robert Bunsen a Gustav Kirchhoff
61	Thallium	1861	Sir William Crookes
62	Indium	1863	Ferdinand Reich a Theodor Richter
63	Helium	1868	Nezávisle Jansen a Norman Lockyer
64	Gallium	1875	Paul Emile Lecoq de Boisbaudran
65	Ytterbium	1878	Jean Charles Galissard de Marignac
66	Thulium	1879	Per Teodor Cleve
67	Skandium	1879	Lars Fredrik Nelson
68	Holmium	1879	Marc Delafontaine, Jacques-Louis Soret a Per Teodor Cleve

69	Samarium	1879	Paul Emile Lecoq de Boisbaudran
70	Gadolinium	1880	Jean Charles Galissard de Marignac
71	Praseodym	1885	Carl Auer von Welsbach
72	Neodym	1885	Carl Auer von Welsbach
73	Dysprosium	1886	Paul Emile Lecoq de Boisbaudran
74	Germanium	1886	Clemens Winkler
75	Fluor	1886	Joseph Henri Moissan
76	Argon	1894	Lord Rayleigh & Sir William Ramsay
77	Neon	1898	Sir William Ramsay
78	Krypton	1898	Sir William Ramsay
79	Xenon	1898	Sir William Ramsay
80	Radium	1898	Pierre Curie a Marie Curie
81	Polonium	1898	Pierre Curie a Marie Curie
82	Radon	1898	Friedrich Ernst Dorn
83	Aktinium	1899	André-Louis Debierne
<b>8 20. století</b>			
84	Europium	1901	Eugene Demarcay
85	Lutecium	1907	Georges Urbain
86	Protaktinium	1917	Otto Hahn a Lise Meitner
87	Hafnium	1923	Dirk Coster a György Hevesy
88	Rhenium	1925	Walter Karl Noddack a Ida Eva Tacke
89	Technecium	1937	Carlo Perrier a Emilio Segre
90	Francium	1939	Marguerite Perey
91	Astat	1940	Dale R. Corson, K. R. Mackenzie, Emilio Segre
92	Neptunium	1940	E. M. McMillan & Philip H. Abelson
93	Plutonium	1941	Glenn T. Seaborg, Arthur C. Wahl, Joseph W. Kennedy, Emilio Segre.
94	Americium	1944	Glenn T. Seaborg
95	Curium	1944	Glenn T. Seaborg
96	Promethium	1945	Jacob A. Marinsky
97	Berkelium	1949	Albert Ghiorso, Glenn T. Seaborg, Stanley G. Thompson, Kenneth Street Jr.
98	Kalifornium	1950	Albert Ghiorso, Glenn T. Seaborg, Stanley G. Thompson, Kenneth Street Jr.
99	Einsteinium	1952	Argonne Laboratory, Los Alamos Laboratory a University of California
100	Fermium	1953	Argonne Laboratory, Los Alamos Laboratory a University of California
101	Mendelevium	1955	Glenn T. Seaborg, Evans G. Valens
102	Nobelium	1958	Albert Ghiorso, Glenn T. Seaborg, John R. Walton a Torboern Sikkeland
103	Lawrencium	1961	Albert Ghiorso, Torbjoern Sikkeland, Almon Larsh a Robert M. Latimer
104	Rutherfordium	1964	Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, SSSR
105	Dubnium	1967	Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, SSSR
106	Seaborgium	1974	Joint Institute for Nuclear Research a University of California, Berkeley
107	Bohrium	1976	Y. Oganessian et al, Dubna
108	Meitnerium	1982	Peter Armbruster a Gottfried Münzenberg, GSI
109	Hassium	1984	Peter Armbruster a Gottfried Münzenberg, GSI

110	Darmstadtium	1994	S. Hofmann, V. Ninov et al, GSI
111	Roentgenium	1994	S. Hofmann, V. Ninov et al, GSI
112	112	1996	S. Hofmann, V. Ninov et al, GSI

Jednotlivým objevovaným prvkům byly dávány **názvy** a přidělovány **značky**, většinou zkratky jejich názvů.

Pokus o ryze české názvy prvků provedl český lékař:

**Jan Svatopluk Presl** (1791 – 1849).

Názvosloví vydal r. 1828 ve spise Lučba a znovu pak r. 1835. Některé názvy se vžily a používají se dodnes. Např.:

barvík – chrom

bořík – bor

d'asík – kobalt

**draslík** – kalium

**hliník** – aluminium

**hořčík** – magnezium

chaluzík – jod

chasoník – titan

jermík – mangan

kazík – fluor

kostík – fosfor

**křemík** – silicium

luník – selen

nebesík – uran

**sodík** – natrium

solík – chlor

**uhlík** – carboneum

žestík – molybden.

Podívejme se na dobovou elektrochemickou řadu chemických prvků a zkusme odhalit jejich současné české názvy:

**Elektrochemická řada (19. století)**

Západ (katoda –)

Východ (anoda +)

japík, **draslík**, **sodík**, merotík, strontík, vápník, **hořčík**, **hliník**, sladík, cirkoník, ytřík, živěník, buřík, železo, zynek, ladík, **nebesník**, **d'asík**, měď, broník, olovo, stříbro, rtuť, paladík, rumeník

vodík

zlato, rusík, platík, duzík, cín, kalík, strabík, **chasoník**, kolumbík, voník, župel, chvořík, **barvík**, **žestík**, otrušík, **křemík**, **bořík**, **uhlík**, dusík, **kostík**, švábel, síra, **chaluzík**, brudík, **solík**, **kazík**, kyslík.

### 3. Historie vývoje podob periodické soustavy prvků (tabulky)

Nejjednodušší kvalitativní klasifikace podle **kovových** a **nekovových** vlastností (Francouz Antoine laureát de Lavoisier – 1789) brzy nepostačovala. Ani **soustava elektrochemická** (Švéd Jacob Jöns Berzelius – 1818), kdy elektricky nejpozitivnější byl K, ....., O jako elektricky nejnegativnější, nebyla zcela vyhovující. Proto se v souladu s rozvojem kvantitativních metod začalo přihlížet ke kvantitativním charakteristikám chemických prvků.

Ideálním kritériem tehdejší doby pro systemizaci prvků se stala atomová hmotnost (váha). Podle atomové hmotnosti vznikají první pravidla a systémy v uspořádání prvků:

#### **Základní prvek**

Anglický lékař a chemik **Wiliam Prout** (1815) usuzoval, že všechny prvky jsou složeny ze základního prvku a to vodíku (hmotnost  $H = 1$ ), ostatní prvky jsou jeho násobky (téměř celistvé).

#### **Pravidlo triád**

**Johann Wolfgang Döbereiner** v r. 1829 zařadil tehdy známé prvky do tzv. triád, kde kritériem byla podobnost chemických vlastností (nejprve u Sr jako aritmetický průměr Ca, Ba). V těchto triádách je atomová hmotnost středního prvku přibližně dána aritmetickým průměrem atomových hmotností prvního a třetího prvku. Tímto způsobem byl sestaven velký počet triád, z nichž některé byly sestaveny do tzv. aeneád (devítky).

#### **Šroubovice**

**Alexandre Emile Béguyer de Chancourtois** v r. 1862 uspořádal prvky podle atomových hmotností na šroubovici, kterou vedl kolem válce tak, že prvky s podobnými vlastnostmi se nacházely pod sebou. V té souvislosti byla poprvé vyslovena myšlenka periodicity.

#### **Zákon oktáv**

**John Alexander Reina Newlands** r. 1864 de facto podruhé objevil zákon periodicity, když zjistil, že vlastnosti prvků uspořádaných podle stoupajících atomových hmotností se opakují u každého osmého prvku. Což připomíná osmou notu v hudební oktávě a další magické číslo 8.

#### **Periodický systém**

##### **Julis Lothar Meyer a Dmitrij Ivanovič Mendělejev**

V roce 1869 vydal D. I. Mendělejev svou periodickou tabulku, v následujícím roce (1870) uveřejnil J. L. Meyer svou tabulku, v základních

rysech shodnou s Mendělejevovou (její vznik je datován však o 2 roky dříve než byla zveřejněna, tedy v r. 1868).

Tabulky J. L. Meyera a D. I. Mendělejeva obsahovaly ještě mnoho mezer (v té době bylo známo 63 prvků). Neobsazená místa zůstala zejména u prvků s dnešními protonovými čísly 21, 31, 32 a 89. Z těchto prázdných míst Mendělejev usoudil, že musí existovat dosud neznámé prvky, které na tato místa patří, pojmenoval je ekabor, ekaaluminium, ekasilicium, ekamangan a určil jejich přibližné atomové hmotnosti. Pozdější objev galia  ${}_{22}\text{Ga}$  (1875), skandia  ${}_{21}\text{Sc}$  (1879) a germania  ${}_{32}\text{Ge}$  (1886), popř. i technecia  ${}_{89}\text{Tc}$  (1937), přinesl potvrzení názorů, na nichž je periodické uspořádání prvků založeno, a Mendělejevovi **slávu** a na 50 let měli vědci vodítka, jaký prvek s jakými vlastnostmi mají objevovat.

Zásadní rozdíl v periodických systémech J. L. Meyera a D. I. Mendělejeva spočívá v tom, že Meyer vztahoval atomový objem (podíl relativní atomové hmotnosti a hustoty) k relativní atomové hmotnosti. Z toho vyplynulo, že atomový objem je periodickou funkcí relativní atomové hmotnosti.

D. I. Mendělejev za rozhodující kritérium považoval nejen relativní atomové hmotnosti, ale i chemické vlastnosti prvků, např. nejvyšší oxidační číslo prvků v hydridech a oxidech. Výsledky tohoto studia tvoří závěr, že „vlastnosti prvků závisí na jejich atomové hmotnosti (váze)“. Přesto, nebo právě proto, rozpoznal, že atomová hmotnost není jednoznačným kritériem pro vytvoření soustavy prvků. Z toho důvodu každému prvku podle jeho umístění v tabulce přiřazuje pořadové číslo, jehož hodnota je shodná s později zjištěným protonovým číslem. V důsledku toho musel v tabulce některé sousední prvky **přehodit** (dát prvek s vyšší atomovou hmotností před prvek s nižší atomovou hmotností):

${}^{39,948}\text{Ar} - {}^{39,098}\text{K}, {}^{58,933}\text{Co} - {}^{58,693}\text{Ni}, {}^{127,60}\text{Te} - {}^{126,90}\text{I}$  (nyní ještě  ${}^{232,04}\text{Th} - {}^{231,04}\text{Pa}$ ).

### Zařazení lanthanoidů a aktinoidů

O úpravu periodické tabulky zařazením lanthanoidů se zasloužil český chemik profesor **Bohuslav Brauner** (1902). O tom, že to nebyla jednoduchá záležitost svědčí skutečnost, že v době, kdy Brauner upravoval tabulku, nebyl přesně znám jejich počet a navíc lanthanoidy jsou si po chemické stránce velmi podobné. O aktinoidy rozšířil periodickou tabulku tým amerických vědců, zejména nositel Nobelovy ceny prof. **Glenn Theodore Seaborg**.

## 4. IUPAC a jeho doporučení ke sjednocení podob PSP

V dnešní době existují desítky až stovky modifikací periodické tabulky prvků. Ze všech těchto úprav jsou nejčastěji prezentovány modifikace tzv. **Wernerovy** úpravy periodické tabulky prvků (také tzv. dlouhá periodická tabulka), v níž jsou lanthanoidy a aktinoidy zařazeny samostatně.

Původní **krátké** periodické tabulky prvků (uváděné přibližně do r. 1974) byly rozděleny na devět skupin označených 0 až VIII, z nichž každá ze sedmi skupin (I až VII) byla rozdělena do dvou podskupin A a B (v rámci jedné skupiny) a to dvěma rozdílnými způsoby (podle dřívějšího značení IUPAC nebo podle časopisu Chemical Abstracts – CAS, příp. ACS – American Chemical Society).

**Dlouhá** (novější) úprava periodické tabulky prvků má jednotlivé podskupiny A, B již rozděleny do samostatných podskupin, které jsou označovány opět oběma výše uvedenými rozdílnými způsoby. Oba způsoby označení, zejména ve starší literatuře, dodnes přetrvávají, i když více používaný způsob označení v 80. a 90. letech (zejména v Evropě) byl způsob podle CAS (podskupiny bóru až fluoru označeny III.A – VII.A). Lanthanoidy a aktinoidy jsou každé zvlášť vyčleněny samostatně pod tabulkou.

**Rozšířená** periodická tabulka má lanthanoidy zařazeny v 6. periodě mezi Ba a Hf a aktinoidy v 7. periodě mezi Ra a Rf.

Vzhledem k tomu, že vznikaly **velké rozdíly** mezi jednotlivými periodickými tabulkami prvků a to zejména:

- a) v různém značení (číslování skupin)
- b) v odlišném zařazení vnitřně přechodných prvků (lanthanoidů a aktinoidů)
- c) ve zcela nejednotné symbolice prvků od protonového čísla 104

přijal IUPAC (the International Union of Pure and Applied Chemistry – Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii) v roce 1989 úpravu, podle níž se:

- a) periodická tabulka rozděluje na **18 skupin** označených arabskými číslicemi. Podle vedlejšího kvantového čísla obsahuje 4 bloky: s, p, d, f. Značením skupin podle IUPAC (1 – 18) se napravuje a sjednocuje dosavadní nejednotnost v různých označení podskupin tabulek.
- b) lanthanoidy a aktinoidy jsou z tabulky **vyčleněny**
- c) podobu názvů prvků periodické soustavy od prvku s protonovým číslem 104 schválil s konečnou platností IUPAC v roce 1997 na svém zasedání:

104 Rf Rutherfordium	(Ku Kurčatovium, Du Dubnium)
105 Db Dubnium	(Ns Nielsbohrium, Ha Hahnium, JI Joliotium)
106 Sg Seaborgium	(Rf Rutherfordium)
107 Bh Bohrium	(Ns Nielsbohrium)
108 Hs Hassium	(Hn Hahnium)
109 Mt Meitnerium.	

Na dalších zasedáních se komise IUPAC usnesla, že bude podporovat trend nadále pojmenovávat další nově syntetizované a komisí IUPAC schválené prvky zejména po význačných vědcích, případně městech, v nichž byly prvky syntetizovány, takže pravidla tvorby systematických názvů prvků s vyššími protonovými čísly než 100 použitím šesti latinských a čtyř řeckých číslovkových morfémů se považují pouze za alternativní.

Tak byl 15. 8. 2003 (kongres IUPAC, Ottawa, Kanada) pojmenován prvek s protonovým číslem 110

110 Ds Darmstadtium

a 1. 11. 2004 (kongres IUPAC, Bled, Slovinsko) prvek s protonovým číslem 111

111 Rg Roentgenium.

Přesto se dosud v mnoha periodických tabulkách na Internetu používají pro řadu zmíněných prvků pouze jejich systematické názvy a symboly nebo komisí IUPAC jejich názvy a symboly neschválené. Dále se v tabulkách neustále používá starší označování jednotlivých podskupin PSP, např. podle CAS aj. To svědčí o značné nejednotnosti až zmatečnosti v poskytovaných údajích a o ostudné neznalosti a neinformovanosti autorů a o nepřijatelném **nerespektování** nařízení a doporučení mezinárodní unie IUPAC.

## 5. Periodické soustavy prvků na Internetu

Na Internetu je možné najít nejen rozmanitou ukázkou různě graficky a obsahově zpracovaných tabulek, ale i interaktivních periodických tabulek chemických prvků a to od historických, přes jednoduché bez grafiky až po krásné graficky zpracované tabulky, od veselých komiksových obrázků prvků až po přehledné tabulky s uvedením významných fyzikálně-chemických vlastností chemických prvků. Bohatost, různorodost a originální grafické zpracování periodických tabulek chemických prvků určitě vyvolává u žáků, studentů i pedagogů značný zájem o toto téma.



Nejnovější platná verze (podoba) periodické soustavy prvků (anglicky) schválená komisí IUPAC je uvedena na www stránkách komise IUPAC na adrese:

<http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/AtWt/table.html>

Tato tabulka je neustále upravována a doplňována, zejména jsou zpřesňovány molární atomové hmotnosti prvků.

Nejzajímavější a současně asi nejvíce propracovaná a nejpoužívanější zahraniční periodická tabulka prvků (anglicky) s možností velmi podrobného popisu jednotlivých prvků, s historií jejich objevování a dlouhou řadou dalších informací a zajímavostí je na www stránkách na adrese:

<http://www.webelements.com>

V českém vyhledávači www.seznam.cz bylo dne 20. 3. 2008 při zadání sousloví:

**periodická tabulka** (česky)

nalezeno 16 934 odkazů, což svědčí o nepřeborném množství různých tabulek.

Interaktivní a pěkné periodické soustavy prvků (česky) jsou uvedeny např. na adresách:

<http://www.piskac.cz/Pavel/PT>

<http://www.tabulka.cz>

<http://www.muweb.cz/www/lachemi>

<http://home.worldonline.cz/~cz382002/index.html>

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Periodická\\_tabulka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Periodická_tabulka)

## 6. Chemické a fyzikální zákonitosti v periodické soustavě prvků

Periodicita atomových poloměrů prvků

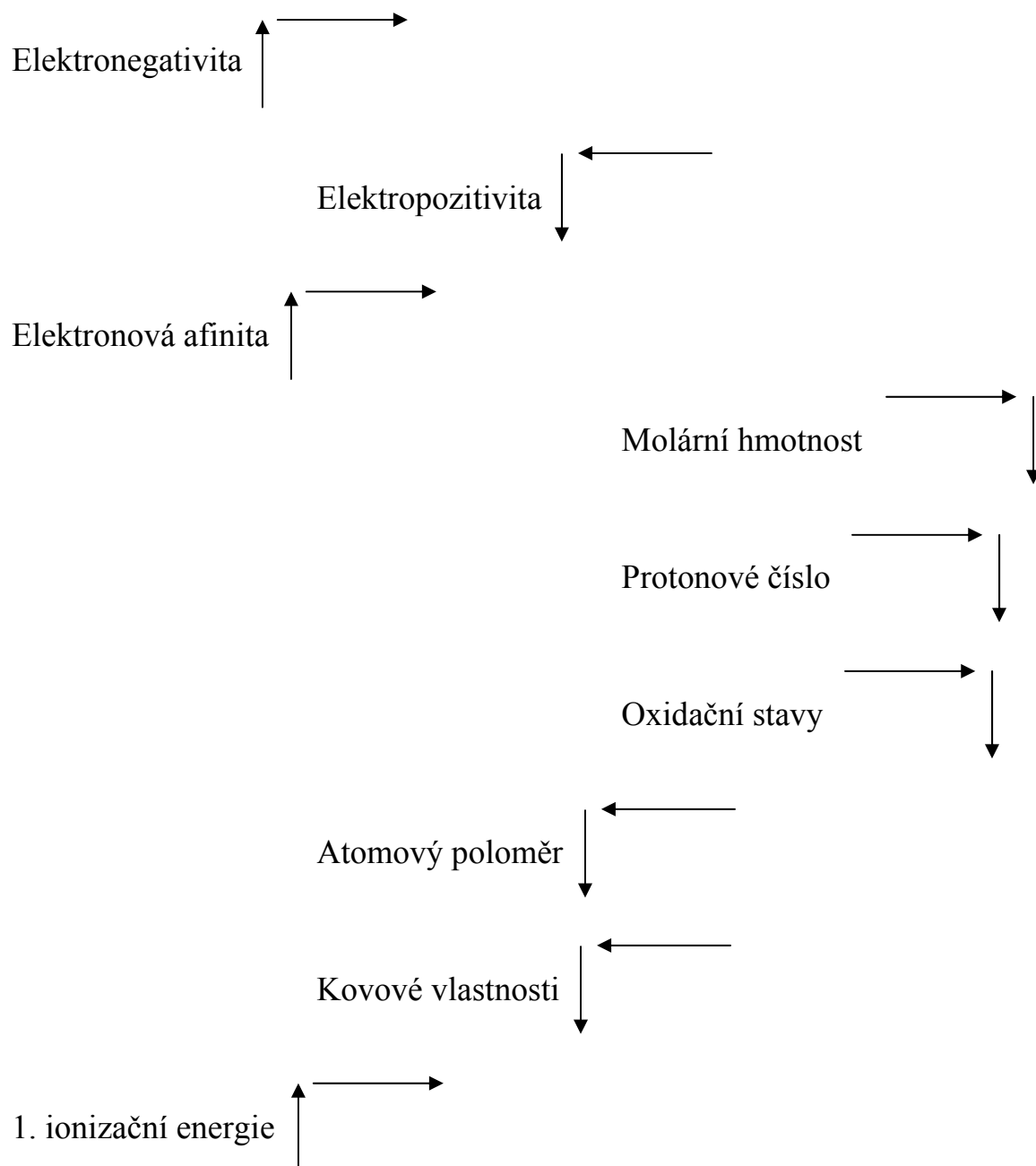
Periodicita teploty varu a teploty tání

Periodicita molární a tepelné kapacity, stlačitelnosti

Periodicita atomového objemu

Periodicita počtu valenčních elektronů na protonovém čísle

Periodicita hodnoty první ionizační energie na protonovém čísle



## 7. Ostrov stability, magická čísla, tabulka izotopů

Prvky s protonovými čísly 90 – 103 jsou nazývány **aktinoidy** a patří jim v periodické soustavě prvků zvláštní místo podobně jako lanthanoidům. Prvky od protonového čísla 93, tzv. **transurany**, se v přírodě nevyskytují a byly připraveny uměle.

Prvky, resp. izotopy prvků, s protonovými čísly vyššími než 100 mají poločasy rozpadu řádově zlomky sekundy a s rostoucím protonovým číslem se zpravidla zmenšují. Existují však teoretické představy, podle nichž je možné očekávat větší stabilitu u některých těžších jader (tzv. **ostrov stability**). Zvláště

vysoká stabilita se předpokládá u prvku s protonovým číslem 114, zejména u jeho izotopu se 114 protony a 184 neutrony (dvojí magická čísla) a izotopů jemu blízkých, případně u prvku 118, resp. 116.

### Počet nuklidů

Z teorie plyne existence asi 5 400 nuklidů.

V roce 2000 bylo známo již asi 2 975 (syntetizovány buď cíleně nebo při přípravách různých izotopů supertěžkých elementů při hledání extrémně stabilního).

1985 (2002):

V přírodě se vyskytuje 329 nuklidů, 273 stabilních (asi 300 s uměle připravenými) a 56 radioaktivních.

Většina prvků je polynuklidických, existuje však 20 mononuklidických prvků:

Be, F, Na, Al, P, Sc, Mn, Co, As, Y, Nb, Rh, I, Cs, Pr, Tb, Ho, Tm, Au

### Magická čísla

Stabilita jader je dána magickými čísly pro počet protonů a neutronů v jádře atomů. Magická čísla tedy určují značnou stabilitu nuklidů a jsou vlastně analogií počtu nukleonů v jádře k počtu valenčních elektronů v elektronovém obalu.

Magická čísla objevili Maria Geppert-Mayerová (Německo) a Hans D. Jensen (Dánsko) v roce 1948:

2, 8, 20, 50, 82, 114, 126 (pro počet protonů, příp. neutronů), resp. 152 a 184 (pro neutrony).

Velmi stabilní jsou zejména dvojmagické nuklidy, např.:  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  $^{208}_{82}\text{Pb}$ ,  $^{298}_{114}\text{114}$  (poločas rozpadu možná až 100 milionů let).

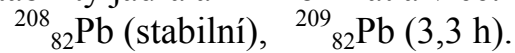
Stabilitě odvozené od magických čísel však konkuruje:

- $\alpha$  rozpad (při nedostatku neutronů)
- spontánní dělení (při nadbytku neutronů).

Proto se možná stabilita u supertěžkých prvků může posouvat o něco níž, popř. výš než 114, tj. k prvkům o protonovém čísle 106 – 116 a počtu neutronů 174 – 192 (zejména  $^{294}_{110}\text{110}$  – teoreticky 100 milionů až 10 mld. let).

Samozřejmě se bude očekávat také velká stabilita u prvku magického protonového čísla 126.

Stabilita jádra záleží na počtu neutronů a již existence např. 1 neutronu navíc způsobí pokles stability jádra až milionkrát a více:



## 8. Supertěžké prvky a jejich příprava od roku 1940, centra výzkumu

### Centra syntézy a výzkumu vlastností supertěžkých prvků

Historicky 5 center výzkumu:

Berkeley (severně od San Francisca, USA) Lawrence Berkeley (Livermore) National Laboratory

- 40. a 50. léta 20. století: Glenn Theodore Seaborg, Albert Ghirso
- konec 20. století: Darleane C. Hoffman (vedoucí), Ken Gregorich, Victor Ninov (hlavní spolupracovníci)
- nyní (2007): Dr. T. James Symons (vedoucí)
- [www.lbl.gov](http://www.lbl.gov)

Dubna (100 km severně od Moskvy, Rusko), Flerov Laboratory of Nuclear Reactions

- 40. a 50. léta 20. století: Akademik Igor Vasiljevič Kurčatov
- 60. a 70. léta 20. století: Akademik Georgij Nikolajevič Flerov
- 80. a 90. léta a po r. 2000: Akademik Prof. Jurij T. Oganjesjan
- nyní (2007): Prof. Sergej Nikolajevič Dmitriev (vedoucí), akademik Oganjesjan (vedoucí vědeckého výzkumu)
- [www.jinr.ru](http://www.jinr.ru)

Darmstadt (Německo), Ústavu pro výzkum těžkých iontů (SGI)

- konec 20. století: Sigurd Hofmann (Nuclear and Hadron Physics, SHIP)
- nyní (2005): Nuclear physics II - Gottfried Münzenberg (vedoucí)
- [www.gsi.de/ship/research](http://www.gsi.de/ship/research)

Stockholm (Nobelův institut fyziky, Švédsko)

- syntéza prvku s protonovým číslem 102 v roce 1958 (na počest 125 let od narození Alfreda Nobela), přivezeny přístroje a zařízení z Berkeley.

Saitama – Tokyo, Riken Lab (Japonsko)

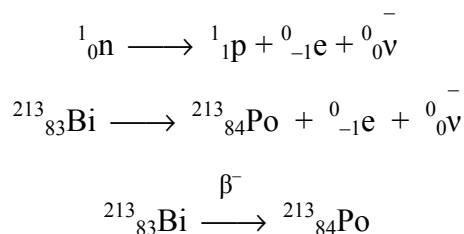
- ověřovací syntézy.

## 9. Moderní metody a budoucnost v objevování nových prvků

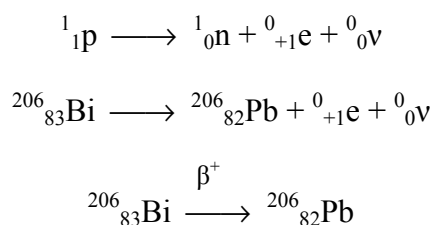
### Základní principy

- čím větší náboj jádra, tím jsou vnitřní elektrony silněji přitahovány jádrem a při určitém protonovém čísle jsou staženy jádrem (dřívějšímu zhroucení elektronového obalu do jádra brání jejich pohyb, resp. neurčitý výskyt v orbitalech – princip neurčitosti a stínění neutrony)
- poslední výzkumy však ukazují, že hranici určuje navíc především i stabilita jádra (rychlost rozpadu vyšší než syntézy)
- neustále probíhají zpřesňující výpočty o maximálním protonovém čísle (170 – 180). Poslední prvek je už předem symbolicky pojmenován jako Kosmium Ko.

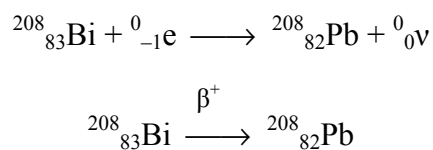
V jádrech přesycených neutrony se jeden z nich lehčeji mění v proton:



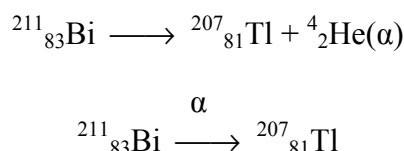
Naopak v jádrech s nedostatkem neutronů je tendence ke zmenšení počtu protonů a probíhá:



nebo elektronový záchyt:



nebo  $\alpha$  rozpad:



Čím větší je nadbytek či nedostatek neutronů, tím jsou jádra samozřejmě méně stabilní a náchylné k rozpadu  $\alpha$ ,  $\beta$  nebo k elektronovému záchytu, popř. i k jadernému štěpení.

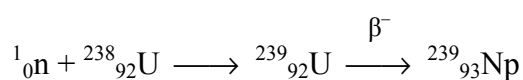
V přírodě nebo ve vesmíru neexistují těžší elementy než uran, protože mají malý poločas rozpadu (< 10 milionů let).

### Neutronová syntéza transuranů

První transuran 93 chtěl syntetizovat už Enrico Fermi v r. 1934, ale nebyl úspěšný. Podařilo se mu to až později v jaderných reaktorech (Enrico Fermi r. 1942, USA; Igor Vasiljevič Kurčatov r. 1946, SSSR).

Při štěpení jader mimo dva štěpy vylétává obrovské množství neutronů (na 1 cm<sup>2</sup> 10<sup>15</sup> neutronů / s).

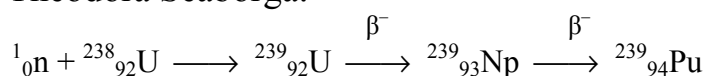
Dopadají-li neutrony na uran, dochází k reakci:



Provádí-li se to dlouhou dobu (rok) dostaneme i další transurany:



První taková syntéza Np a Pu rychlými neutrony byla provedena pod vedením Glenna Theodora Seaborga:



(touto reakcí z 1 kg jaderného paliva uranu lze získat 1,6 kg Pu).

Za Cf už ale tímto způsobem další supertěžké prvky vznikat nechtěly.

Zachytí-li však uran větší množství neutronů (15 – 17 neutronů), potom β<sup>-</sup> rozpady může vzniknout až <sup>253</sup><sub>99</sub>Es a <sup>255</sup><sub>100</sub>Fm.

Dále tato cesta syntézy supertěžkých prvků však už skutečně nevedla, v důsledku vedlejších reakcí, k cíli a to i při několika násobných po sobě jdoucích jaderných výbuších.

### Ostřelování terčů těžkých a supertěžkých prvků lehkými a středně těžkými prvky (ionty)

Další vývoj syntézy se už ubíral jinou cestou. Byly vypracovány a použity moderní metody ostřelování terčů těžkých a supertěžkých prvků lehkými a středně těžkými prvky (ionty).

### Detekce nově syntetizovaného supertěžkého prvku

Detektor senzorický

Vletí-li bombardující částice o jisté energii na terčik a proběhne-li reakce, zablokuje se sensoricky dané místo terčíku. Po jistém čase pak z něho vyletí částice (většinou  $\alpha$ ) o známé energii (pokles energie daného místa). Vše (každé místo terčíku – senzory) je napojeno na detektor – počítač, který registruje a okamžitě vyhodnocuje každou změnu energie. Pokles (změna) energie se opakuje do doby, kdy se dostaneme ke známému a poměrně stabilnímu nuklidu supertěžkého prvku. Zpětně se pak vypočítá, který supertěžký prvek byl na počátku rozpadu.

Kalibrace přístroje (detektoru) je nesmírně složitá záležitost. Případná nesprávná a nepřesná kalibrace potom může být zdrojem nepřesností a chybných výsledků.

### **Antihmota a antičástice**

1928 – antihmota a její popis, britský fyzik Paul Adrien Maurice Dirac

1932 – objeven pozitron (v kosmickém záření), Carl David Anderson

1955 – objeven antiproton

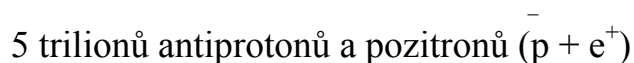
1956 – objeven antineutron

### **Prvek s protonovým číslem –1 (antivodík)**

Syntéza prvních 11 atomů antivodíku se podařila v roce 1995 v Centru evropského jaderného výzkumu (Central European Research Nucleare – CERN) u Ženevy ve Švýcarsku.

– [www.cern.ch](http://www.cern.ch)

Mezinárodní vědecký tým (vedoucí německý jaderný fyzik Walter Ölert), vycházel z výpočtů, podle kterých při interakci



je možné očekávat vznik 9 atomů antivodíku. Ve skutečnosti se podařilo syntetizovat 11 atomů prvku s protonovým číslem –1, a tak tento prvek by měl být zařazen na první místo periodické soustavy prvků.

### **Prvek s protonovým číslem –2 (antihelium)**

I když podle posledních zpráv je syntéza prvku s protonovým číslem –2 (antihelia) nad technické možnosti současné vědy a techniky a byla na delší dobu přerušena, všichni věří, že se v budoucnu bude periodická soustava prvků rozšiřovat i v opačném směru.