

Lantanoidy a aktinoidy

Medzi *lantanoidy* (všeobecne označované symbolom **Ln**) zaradujeme štrnásť prvkov nasledujúcich po lantáne, t. j. prvky s atómovými číslami 58 – 71. Podobne, štrnásť prvkov nasledujúcich po aktíniu, t. j. prvky s atómovými číslami 90 – 103, zaradujeme medzi *aktinoidy* (všeobecne označované symbolom **An**).

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
1.	H																	He
2.	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3.	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4.	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5.	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6.	Cs	Ba	La – Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7.	Fr	Ra	Ac – Lr	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une	...	...							
La – Lu			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Ac – Lr			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Temperature -  + 20 °C 68 °F 293 K

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
															Pnictogens	Chalcogens	Halogens	
1	1 H Hydrogen 1.008	Atomic Symbol Name Weight C Solid Hg Liquid H Gas Rf Unknown																
2	3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.0122	Metals Alkali metalsAlkaline earth metalsLanthanoidsActinoidsTransition metalsPost-transition metalsMetalloids Nonmetals Reactive nonmetalsNoble gases										5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
3	11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminium 26.982	14 Si Silicon 28.085	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.948
4	19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
5	37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.91	46 Pd Palladium 106.42	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	53 I Iodine 126.90	54 Xe Xenon 131.29
6	55 Cs Caesium 132.91	56 Ba Barium 137.33	57–71 89–103	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.95	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.21	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.97	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
7	87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)		104 Rf Rutherfordium (267)	105 Db Dubnium (268)	106 Sg Seaborgium (269)	107 Bh Bohrium (270)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (278)	110 Ds Darmstadtium (281)	111 Rg Roentgenium (282)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (290)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)
For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses.																		
	57 La Lanthanum 138.91	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.05	71 Lu Lutetium 174.97			
	89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (266)			

Elektrónová konfigurácia a väzbové vlastnosti lantanoidov a aktinoidov

Pri atómoch lantanoidov sa s určitými nepravidelnosťami zaplňajú orbitály $4f$. Majú teda elektrónovú konfiguráciu valenčnej vrstvy $4f^{1-14}5d^{0-1}6s^2$. V elektrónových konfiguráciách kationov lantanoidov Ln^{3+} a aktinoidov An^{3+} však platí prísna pravidelnosť, počet elektrónov v $4f$ - a $5f$ -orbitáloch pravidelne narastá od 1 do 14.

57La	58Ce	59Pr	60Nd	61Pm	62Sm	63Eu	64Gd	65Tb	66Dy	67Ho	68Er	69Tm	70Yb	71Lu
*[Xe]	[Xe]	[Xe]	[Xe]	[Xe]	[Xe]	[Xe]	*[Xe]	[Xe]	[Xe]	[Xe]	[Xe]	[Xe]	[Xe]	[Xe]
$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$	$6s^2$
$4f^0$	$4f^2$	$4f^3$	$4f^4$	$4f^5$	$4f^6$	$4f^7$	$4f^7$	$4f^9$	$4f^{10}$	$4f^{11}$	$4f^{12}$	$4f^{13}$	$4f^{14}$	$4f^{14}$
$5d^1$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^1$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^0$	$5d^1$

Tabuľka 22.2 Elektrónové konfigurácie aktínia a aktinoidov

89Ac	90Th	91Pa	92U	93Np	94Pu	95Am	96Cm	97Bk	98Cf	99Es	100Fm	101Md	102No	103Lr
*[Rn]	*[Rn]	*[Rn]	*[Rn]	*[Rn]	[Rn]	[Rn]	*[Rn]	[Rn]	[Rn]	[Rn]	[Rn]	[Rn]	[Rn]	[Rn]
$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$	$7s^2$
$5f^0$	$5f^0$	$5f^2$	$5f^3$	$5f^4$	$5f^6$	$5f^7$	$5f^7$	$5f^9$	$5f^{10}$	$5f^{11}$	$5f^{12}$	$5f^{13}$	$5f^{14}$	$5f^{14}$
$6d^1$	$6d^2$	$6d^1$	$6d^1$	$6d^1$	$6d^0$	$6d^0$	$6d^1$	$6d^0$	$6d^0$	$6d^0$	$6d^0$	$6d^0$	$6d^0$	$6d^1$

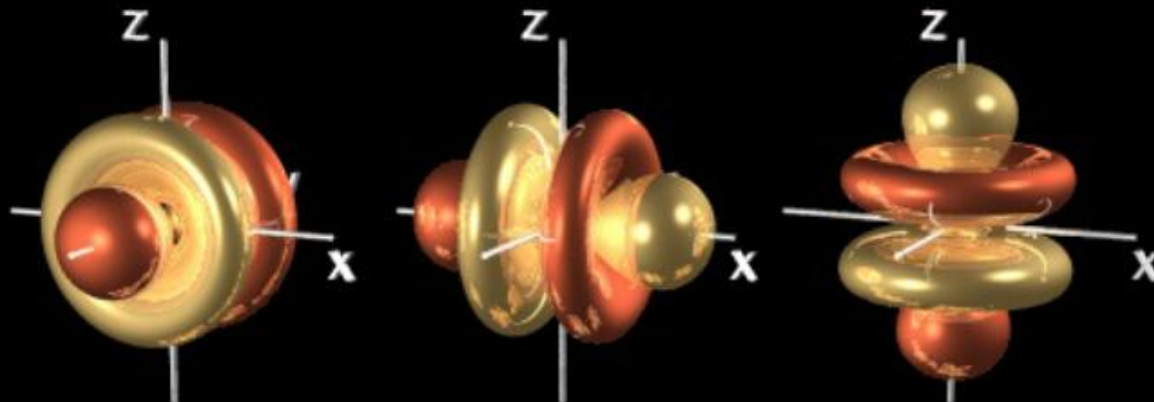
* nezhoda s výstavbovým princípom

Elektrónové konfigurácie lantánu a lantanoidov

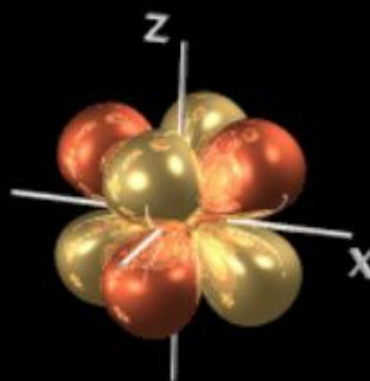
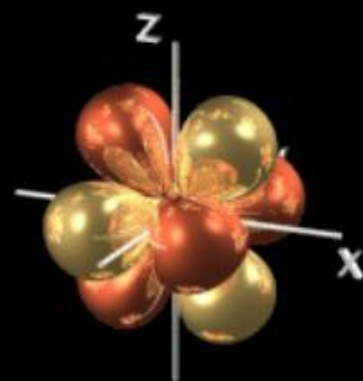
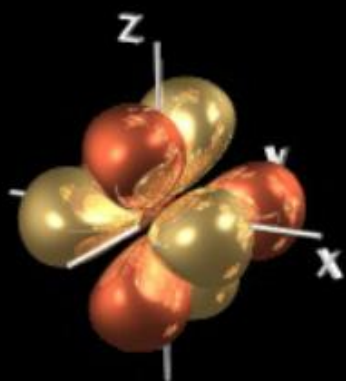
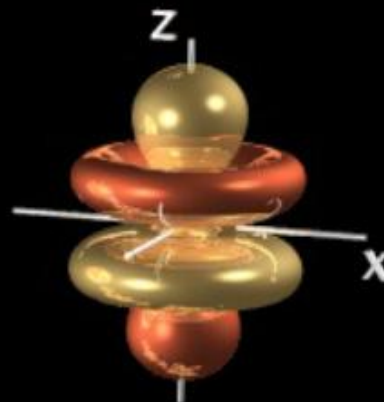
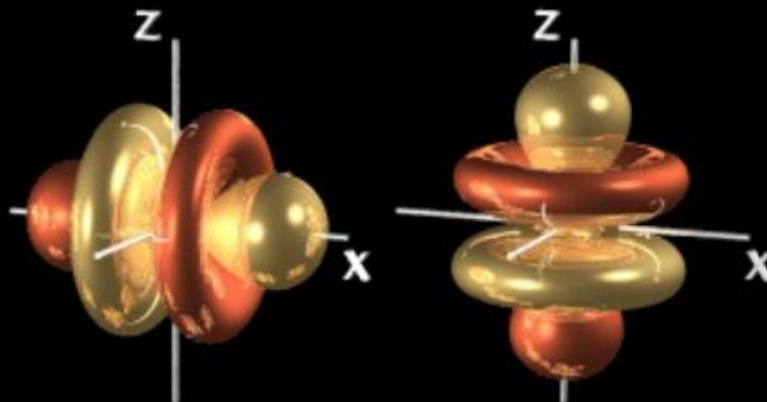
Pretože lantanoidy a aktinoidy zaplňajú postupne svoje f -orbitály, nazývame ich spoločným názvom **f -prvky**.

Prvky vzácných zemín - 3. skupina PSCH + lantanoidy

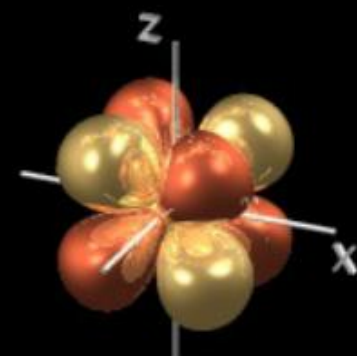
	1																	18
1	1 H 1.008																	2 He 4.003
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16	9 F 19	10 Ne 20.18
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.47	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197	80 Hg 200.5	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	104 Rf (257)	105 Db (260)	106 Sg (263)	107 Bh (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Uub (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)	117 Uus 0	118 Uuo 0
6			58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (147)	62 Sm 150.4	63 Eu 152	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173	71 Lu 175		
7			90 Th 232	91 Pa (231)	92 U (238)	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lr (257)		



$$4f_y^3 \quad 4f_x^3 \quad 4f_z^3$$



$$4f_{x(z^2 - y^2)} \quad 4f_{y(z^2 - x^2)} \quad 4f_{z(x^2 - y^2)}$$



$$4f_{xyz}$$

Zapĺňanie valenčných orbitálov daného atómu elektrónmi vedie vo všeobecnosti k nárastu jeho rozmerov. Keďže elektróny kompenzujúce postupne narastajúci náboj jadra lantanoidov a aktinoidov obsadzujú „vnútorné“ *f*-orbitály, a nie orbitály valenčnej vrstvy, dochádza u nich iba k zväčšovaniu priťahovania elektrónov jadrom a teda naopak, k postupnému zmenšovaniu rozmerov atómov. Tento jav sa nazýva

lantanoidová, resp. aktinoidová kontrakcia.

Vlastnosti lantanoidov a aktinoidov

Lantanoidy sú **striebrobiele mäkké, ťažné a kujné kovy** so **značne zápornými štandardnými elektródovými potenciálmi $E^\circ(\text{Ln}^{n+}|\text{Ln})$** , ktorých hustota a tvrdosť sa zvyšuje s rastúcim atómovým číslom. Výnimkou je len Eu a Yb. Lantanoidy sú reaktívne kovy, na vzduchu alebo v **kyslíku reagujú na oxidy**: cére na CeO_2 , prazeodým a terbium na zložité oxidy približného zloženia Pr_6O_{11} a Tb_4O_7 a ostatné lantanoidy na oxidy Ln_2O_3 . Pri zvýšenej teplote reagujú lantanoidy s väčšinou nekovov. S **halogénmi dávajú príslušné halogenidy** LnX_3 , s vodíkom reagujú na hydridy LnH_2 a LnH_3 .

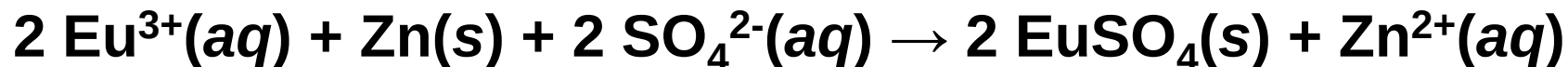
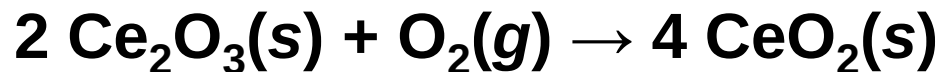
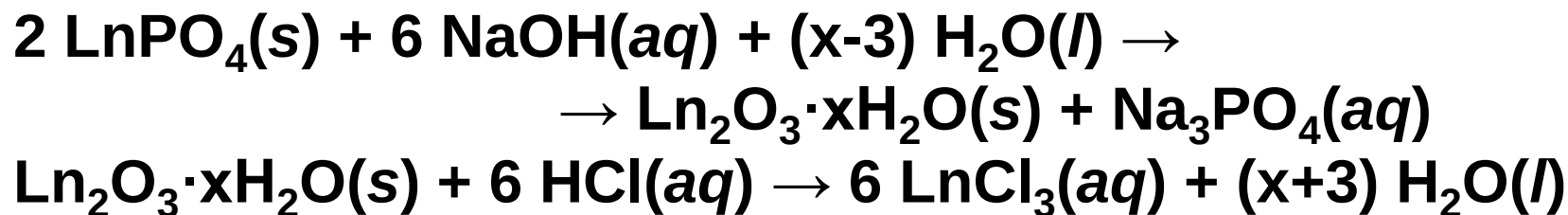
Lantanoidy sa **v prírode vyskytujú vo viac ako sto mineráloch**, a teda nepatria medzi vzácne prvky. Najhojnejšie sa vyskytuje cére, ktorého je asi 26-krát viac ako ostatných lantanoidov.

Čisté kovové lantanoidy sa získavajú ťažko, pretože sa ľahko oxidujú a majú vysoké teploty topenia. Zmesi kovových lantanoidov, céru, samária, euróпия a yterbia sa vyrábajú elektrolýzou roztavenej zmesi chloridov LnCl_3 s chloridom sodným alebo vápenatým. Okrem samária, euróпия a yterbia možno lantanoidy pripraviť aj metalotermickou reakciou bezvodých halogenidov vápnikom, horčíkom alebo sodíkom.

Aktinoidy sú taktiež striebrolesklé kovy, ktoré ochotne reagujú s väčšinou nekovov, predovšetkým pri zvýšenej teplote. **Na vzduchu sa pasivujú**, t. j. pokrývajú sa vrstvičkou oxidov, ktorá ich chráni pred ďalšou oxidáciou. S vodíkom reagujú na hydridy, s chlórrom a brómom dávajú chloridy a bromidy a so sírou sulfidy. **Aktinoidy sú neušľachtilé kovy, ochotne reagujúce aj s vodou, pričom sa pokrývajú vrstvičkou oxidov za súčasného uvoľňovania vodíka.**

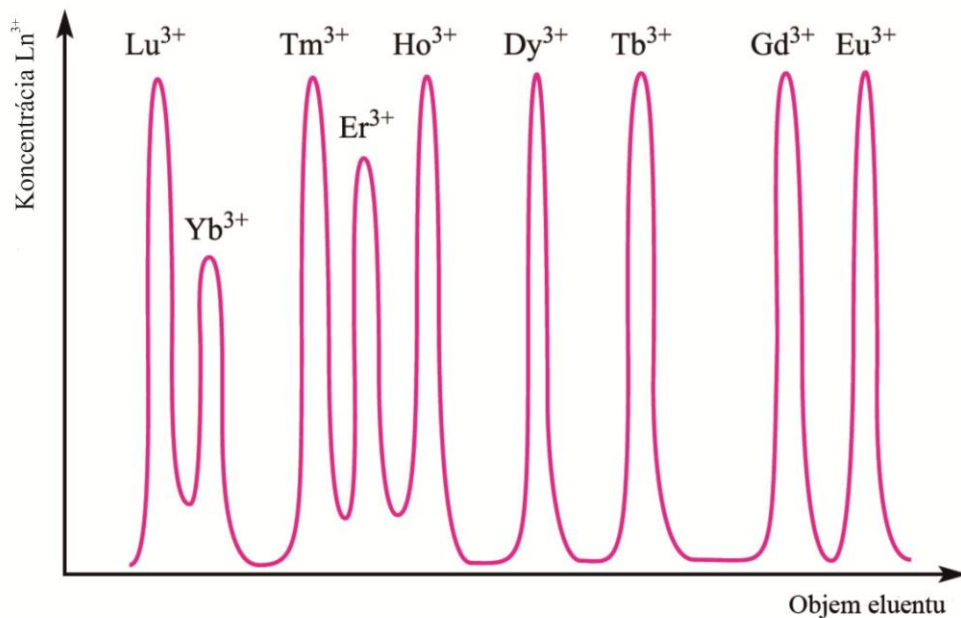
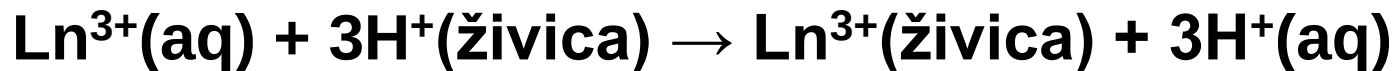
Získavanie z rúd

LnCO_3F – *bastnasite*, $(\text{Ln},\text{Th})\text{PO}_4$ – *monazite*
 $(\text{Y},\text{Ln})\text{PO}_4$ – *xenotime*



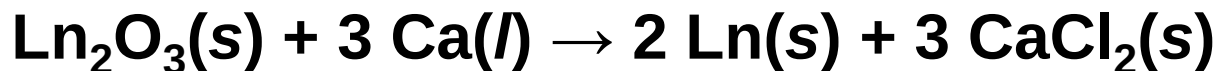
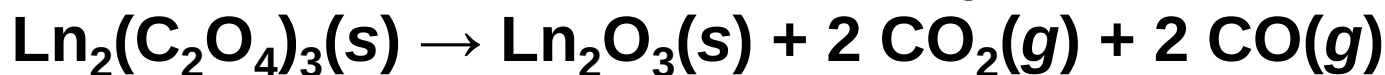
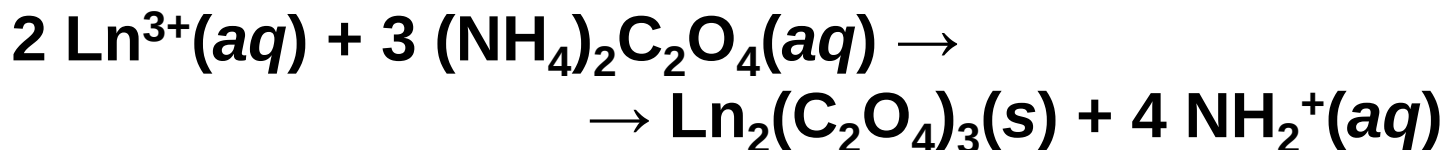
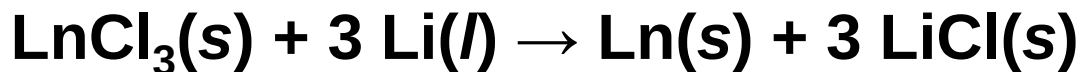
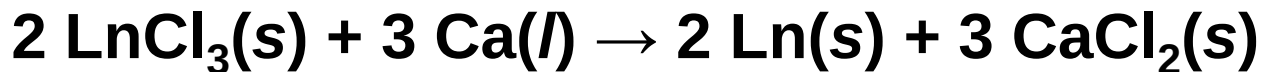
Získavanie z rúd

- Produkcia hlavne oxidov M^{III}
- Úprava rudy, odstránenie PO_4^{3-} – reakcia s NaOH,
- Odstránenie Th – reakcia hydratovaných oxidov s HCl (ThO_2 nereaguje), vznik $LnCl_3$
- Nasleduje extrakcia s $PO(nBuO)_3$, alebo iónomeniče:



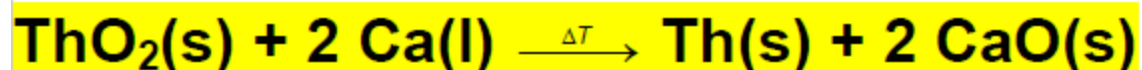
**Poradie elúcie
komplexov
lantanoidov s $EDTA^{4-}$
z kolóny iónomeniča**

Získavanie lantanoidov

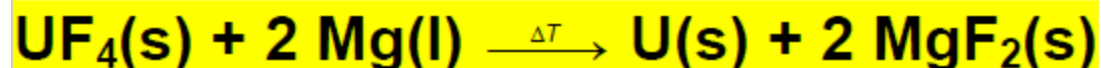


elektrol. v tavenine s NaCl alebo KCl

Tórium a urán, a vo veľmi malom množstve aj protaktínium a plutónium, sa získavajú z nerastov. Väčšie množstvá plutónia sa získavajú z uránu 238 v jadrových reaktoroch. Ostatné aktinoidy sa získavajú výhradne jadrovou syntézou. Kovové tórium možno získať reakciou ThO_2 , alebo ThCl_4 s vápnikom v argónovej atmosfére.



Kovový urán a plutónium sa získavajú z fluoridov reakciou s horčíkom alebo vápnikom



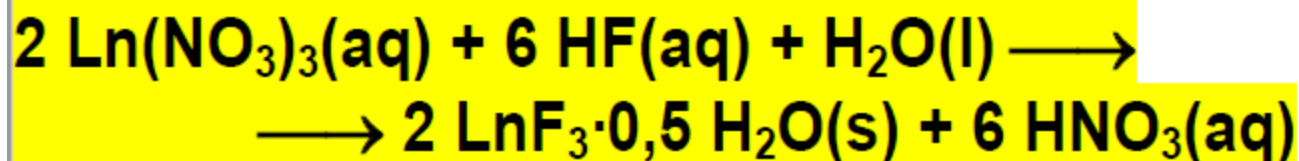
Zlúčeniny lantanoidov

Reakciou lantanoidov s vodíkom pri zvýšenej teplote ($t = 300$ až 350 °C) vznikajú reaktívne, pevné, čierne *hydridy* všeobecného vzorca LnH_2 . Pri veľkých tlakoch sa do ich štruktúry dostávajú ďalšie atómy vodíka, čím vznikajú hydridy LnH_3 . Výnimkou sú len Eu a Yb, ktoré ochotnejšie vystupujú v stavoch s oxidačným číslom II.

S kyslíkom tvoria lantanoidy *oxidy* LnO , LnO_2 , Ln_2O_3 a „nestechiometrické“ oxidy LnO_n . Všetky známe oxidy lantanoidov typu Ln_2O_3 sú dobre preskúmané. Dajú sa pripraviť spaľovaním lantanoidov v kyslíku, alebo žíhaním príslušných hydroxidov, uhličitanov, príp. dusičnanov. Výnimkou sú oxidy Ce_2O_3 , Pr_2O_3 a Tb_2O_3 , ktoré sa získavajú zo stabilnejších oxidov (CeO_2 , Pr_6O_{11} , Tb_4O_7) kontrolovanou redukciou vodíkom. Oxidy Ln_2O_3 majú zásadité vlastnosti, sú ťažko taviteľné, schopné reagovať s vodou za vzniku *hydroxidov* $\text{Ln}(\text{OH})_3$.

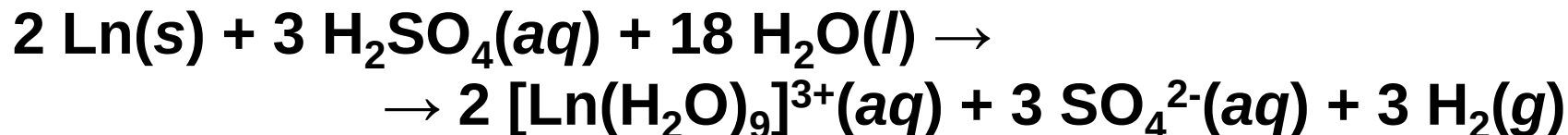
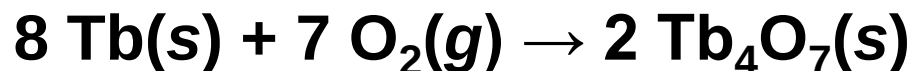
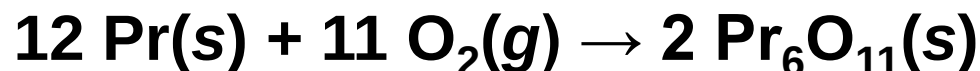
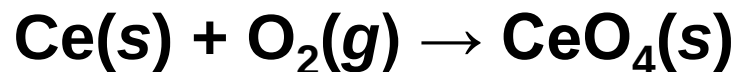
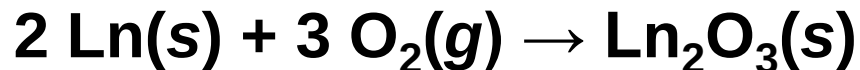
Chalkogenidy lantanoidov v nižšom oxidačnom stave, s podobnou stechiometriou ako majú oxidy, sú známe pri väčšom počte lantanoidov, ich charakterizácia je však dosť ťažká, pretože majú prevažne nestechiometrické zloženie a v mnohých prípadoch u nich dochádza k fázovým premenám. Vo všeobecnosti sú však chalkogenidy lantanoidov stále na suchom vzduchu, ale vplyvom vlhkosti hydrolyzujú.

Lantanoidy tvoria **halogenidy** LnX_2 , LnX_3 , LnX_4 a LnX_n . Halogenidy LnX_3 sú známe pri všetkých lantanoidoch okrem prométiá. Bezvodé halogenidy LnX_3 sú ťažko tavitel'né kryštalické látky s iónovou štruktúrou. Málorozpustné trifluoridy $\text{LnF}_3 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ možno získať reakciou fluorovodíka s dusičnanmi príslušných lantanoidov vo vodnom roztoku.

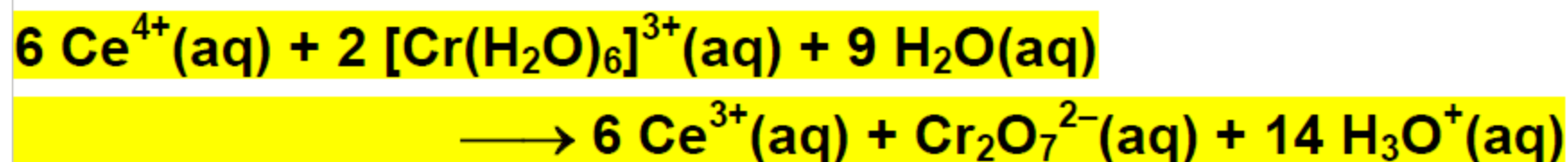
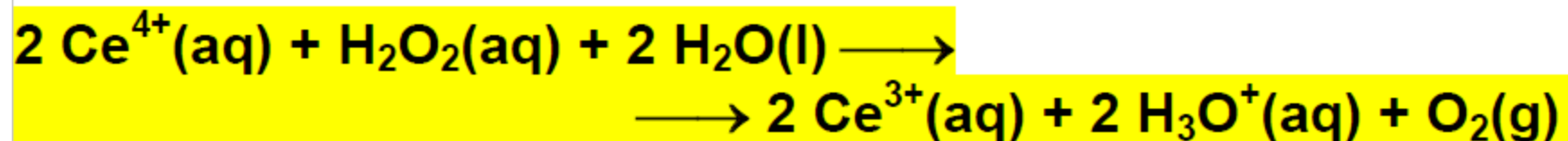


Chloridy, bromidy a jodidy LnX_3 možno pripraviť reakciami oxidov alebo uhličitanov s halogénovodíkmi vo vodných roztokoch, z ktorých kryštalizujú ako hydráty.

Reakcie lantanoidov

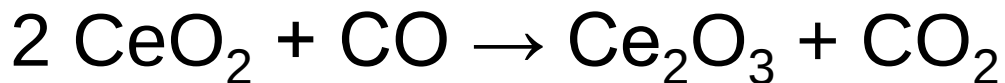
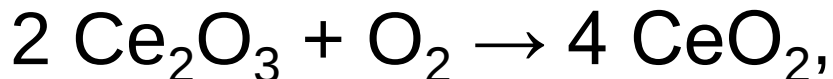


Zo **solí oxokyselín** lantanoidov Ln^{III} sú **vo vode rozpustné len dusičnany**. Sírany, uhličitany a fosforečnany sú prakticky nerozpustné. Soli a roztoky obsahujúce hydratované ióny $\text{Ln}^{3+}(\text{aq})$ majú pozoruhodné magnetické a spektrálne vlastnosti. **Ceričité soli sú účinnými oxidovadlami, pričom sa redukujú na soli cerité**. Využívajú sa napr. v kvantitatívnej odmernej analýze (**cerimetria**), napr. pri stanovovaní peroxidu vodíka, železnatých, chromitých, arzenitých, antimonitých a cínatých solí



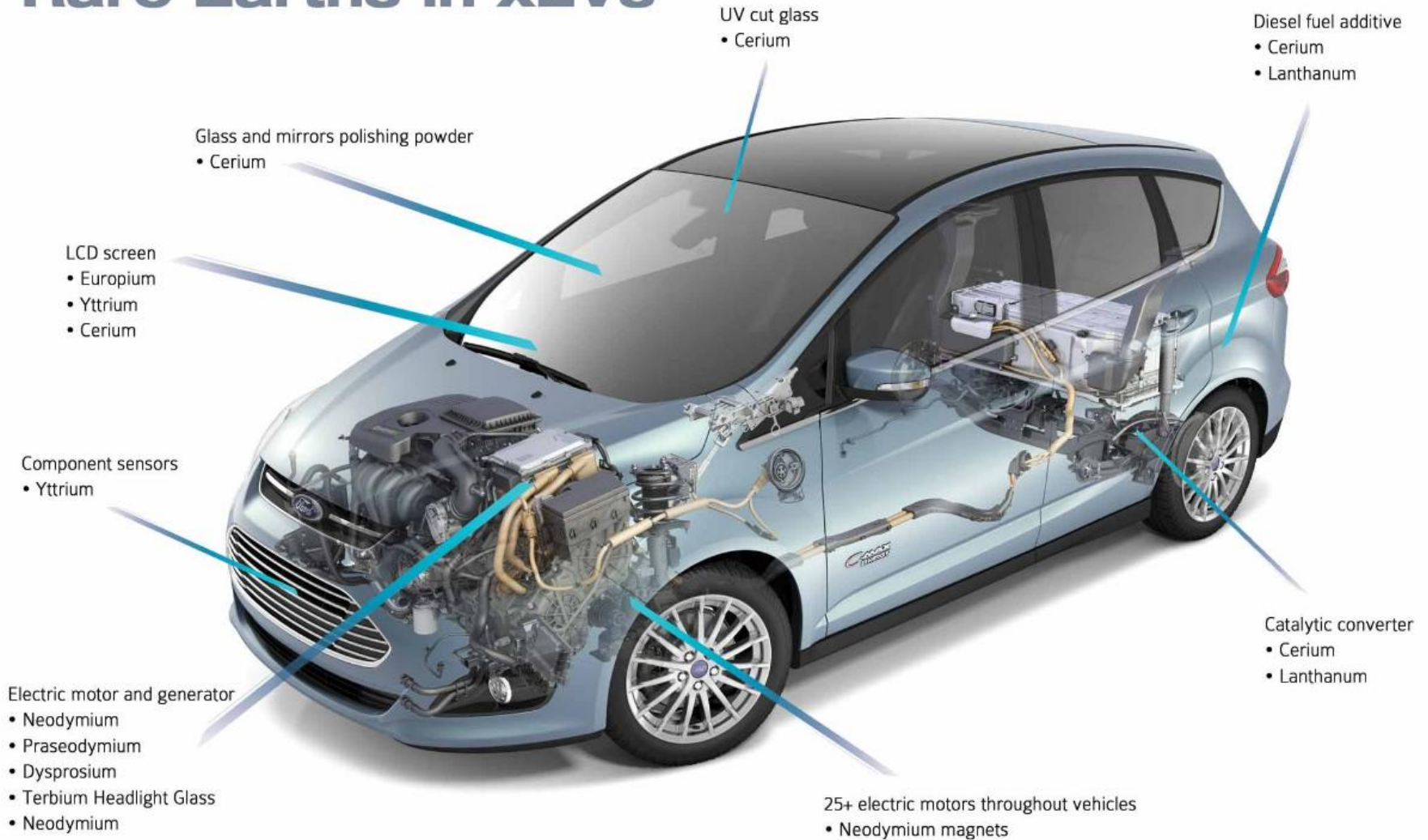
Využitie

- Katalyzátory v autách – oxidy céru



- Lumínofóry v eurobankovkách – komplexy Eu
- Kontrastné látky v MRI – komplexy Gd^{III} (7 nesp. e^-)
- Obrazovky (CRT, LCD) – Eu, Tb
- Povrch CD, DVD – Tb-Fe-Co, Dy
- Halogénové lampy na štadiónoch, pódiách... (ScI_3 , TmI_3 , DyI_3 , HoI_3)

Rare Earths in xEVs



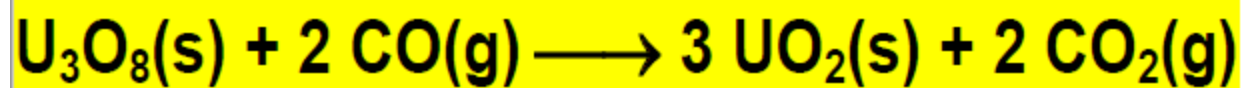
Zlúčeniny aktinoidov

Zlúčeniny aktinoidov s väčšinou nekovov možno jednoducho pripraviť zahriatím zmesí týchto prvkov. Takýmto spôsobom boli získané napr. **hydridy** AnH_2 tória, neptúnia, plutónia, amerícia a curia a AnH_3 protaktínia až amerícia, ktoré nie sú termicky príliš stálie a proti vzduchu a vlhkosti sú úplne nestálie.

Všetky **oxidy** aktinoidov sú žiaruvzdorné látky. ThO_2 , jediný známy oxid tória, má dokonca najvyššiu teplotu topenia spomedzi všetkých oxidov ($t = 3390\text{ }^{\circ}C$). Oxidy aktinoidov **bežne vykazujú nestechiometrické zloženie** a existujú v podobe prechodných fáz, preto sú to mimoriadne zložité systémy.

Zahrievaním **oxidu uránového** UO_3 na teplotu $t = 800$ až 900 °C vzniká U_3O_8 (minerál *smolinec*), a redukciou vodíkom, alebo sulfánom **vzniká celý rad nestechiometrických oxidov**.

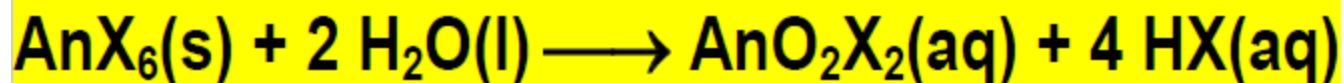
Oxid uraničitý UO_2 , používaný ako jadrové palivo v termálnych jadrových reaktoroch, možno pripraviť redukciou oxidu U_3O_8 oxidom uhoľnatým.



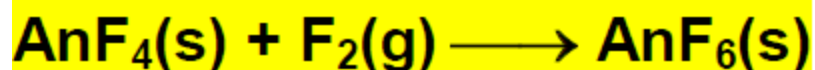
Počínajúc plutóniom, rastie aj stabilita oxidov An_2O_3 , ktoré sú štruktúrnymi analógmi oxidov lantanoidov Ln_2O_3 .

Hydroxidy aktinoidov sú väčšinou ťažko definovateľné gélovité zrazeniny, rozpustné v kyselinách. Pripravujú sa prídavkom alkalického hydroxidu k vodným roztokom solí aktinoidov.

Zloženie **halogenidov** aktinoidov sa mení od **AnX₂** do **AnX₆**. Z halogenidov AnX₆ sú známe len fluoridy uránu, neptúnia a plutónia a UCl₆, ktorý sa pripravuje reakciou AlCl₃ s UF₆. Sú to silné oxidovadlá a sú mimoriadne citlivé na vlhkosť.

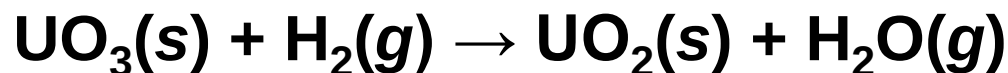
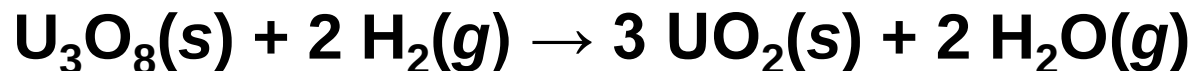
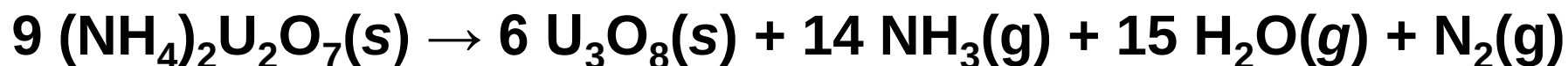
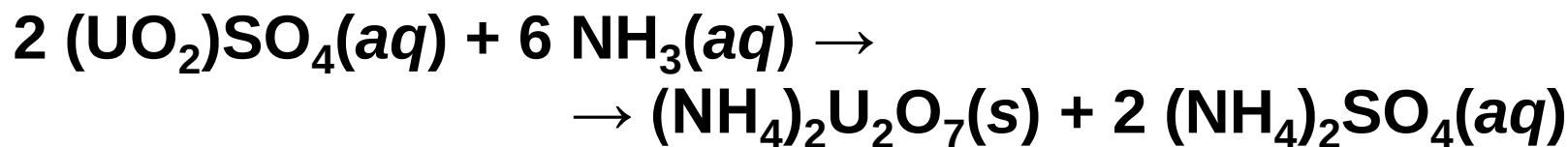
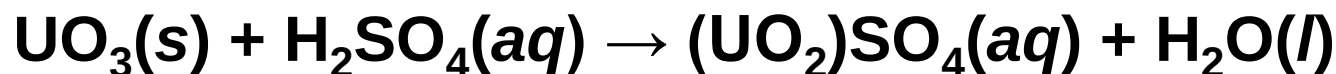
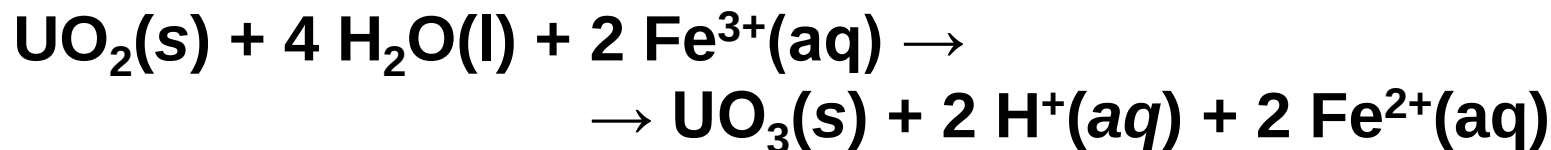


Fluoridy AnF_6 sa pripravujú reakciou fluoridov AnF_4 s fluórom.

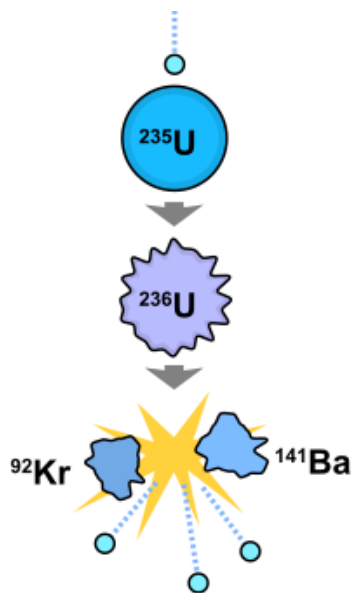


Halogenidy aktinoidov typu AnX_3 sú najviac zastúpenými halogenidmi aktinoidov a v mnohom sa podobajú na halogenidy lantanoidov LaX_3 . Fluoridy aktinoidov AnF_3 sú vo vode málorozpustné látky s vysokou teplotou topenia. Z vodných roztokov kryštalizujú ako monohydráty. Ostatné halogenidy aktinoidov sú vo vode rozpustné a z vodných roztokov kryštalizujú ako hexahydráty. Boridy, karbidy, silicidy a nitrídy aktinoidov sú väčšinou chemicky menej reaktívne.

Výroba a čistenie uránu



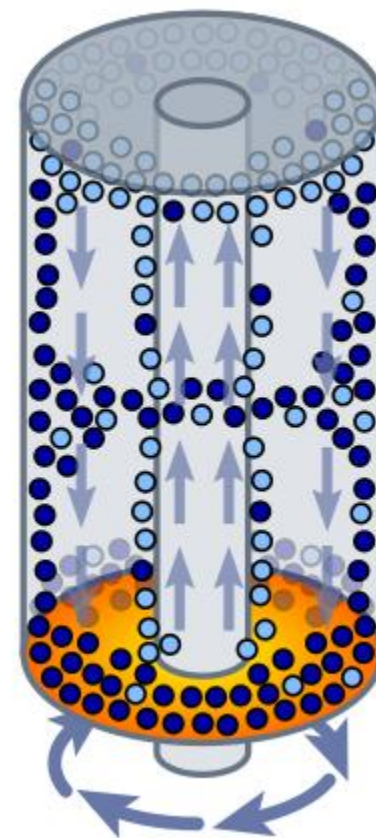
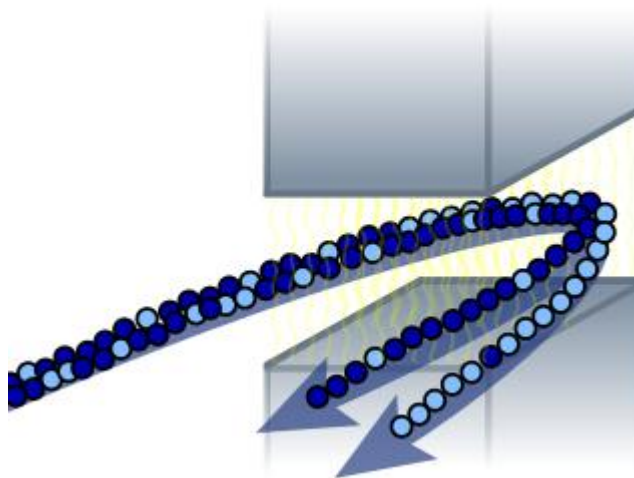
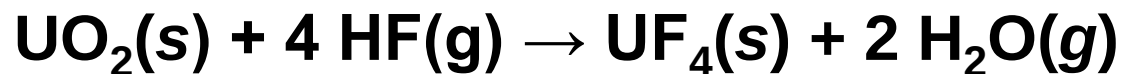
Separácia ^{235}U a ^{238}U



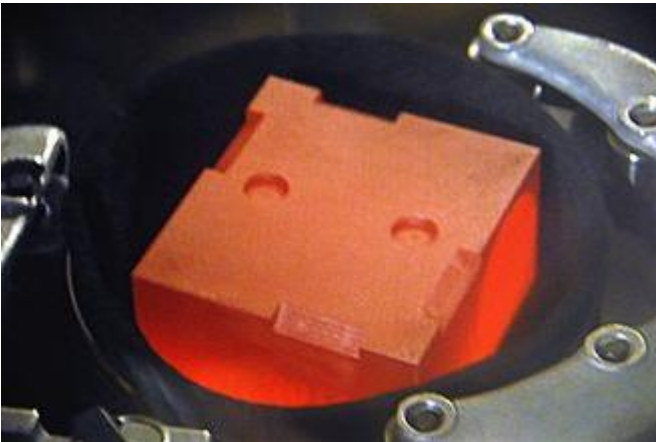
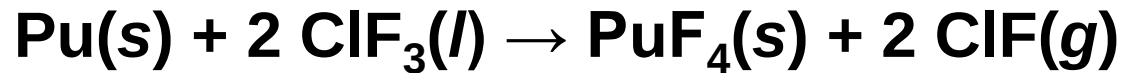
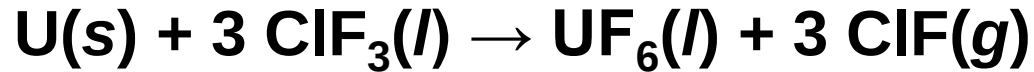
Isotope			Decay	
	abundance	half-life ($t_{1/2}$)	mode	product
^{232}U	syn	68.9 y	SF	—
			α	^{228}Th
^{233}U	trace	1.592×10^5 y	SF	—
			α	^{229}Th
^{234}U	0.005%	2.455×10^5 y	SF	—
			α	^{230}Th
^{235}U	0.720%	7.04×10^8 y	SF	—
			α	^{231}Th
^{236}U	trace	2.342×10^7 y	SF	—
			α	^{232}Th
^{238}U	99.274%	4.468×10^9 y	α	^{234}Th
			SF	—
			$\beta^- \beta^-$	^{238}Pu



Separácia ^{235}U a ^{238}U



Delenie U a Pu



Ukladanie rádioaktívneho odpadu je v súčasnosti veľmi vážny ekologický problém. Ak sú odpady skladované v kvapalnom stave, hrozí nebezpečie, že pri porušení obalu kontajnera dôjde k úniku rádioaktívneho odpadu. Nebezpečenstvo je hlavne u odpadov s vysokou úrovňou rádioaktivity, ktoré **vykazujú niekoľko stoviek Curie/liter**, čo **vyžaduje skladovanie až 100 000 rokov**, kým rádioaktivita klesne na úroveň uránovej rudy.



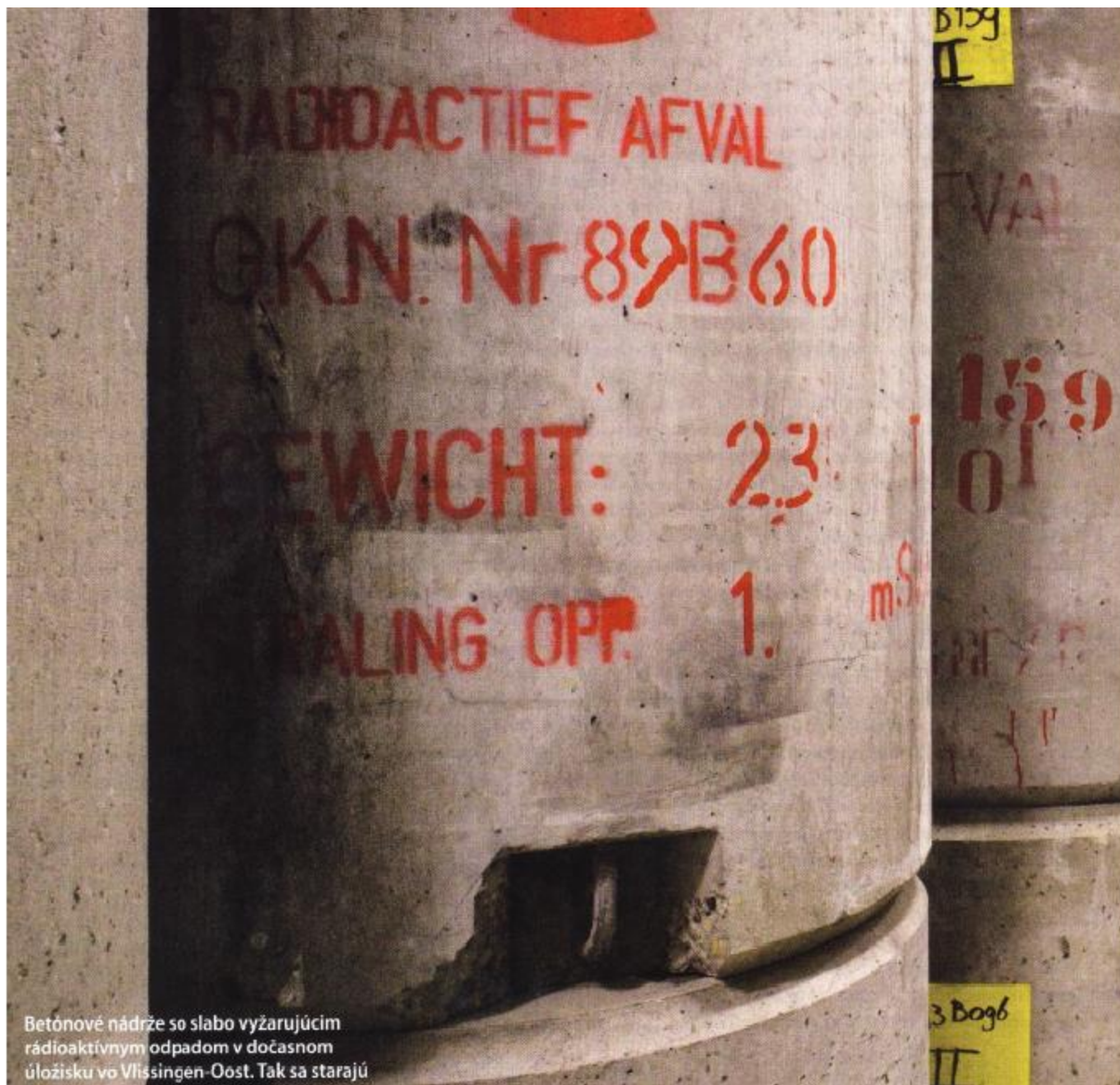
Kam s ním?

Už viac ako 50 rokov sa hromadí odpad z atómových elektrární a výroby atómových zbraní a vytvára najnebezpečnejšiu skládku na svete. Riešenie definitívneho bezpečného uloženia sa však nečrtá v nijakej krajine.

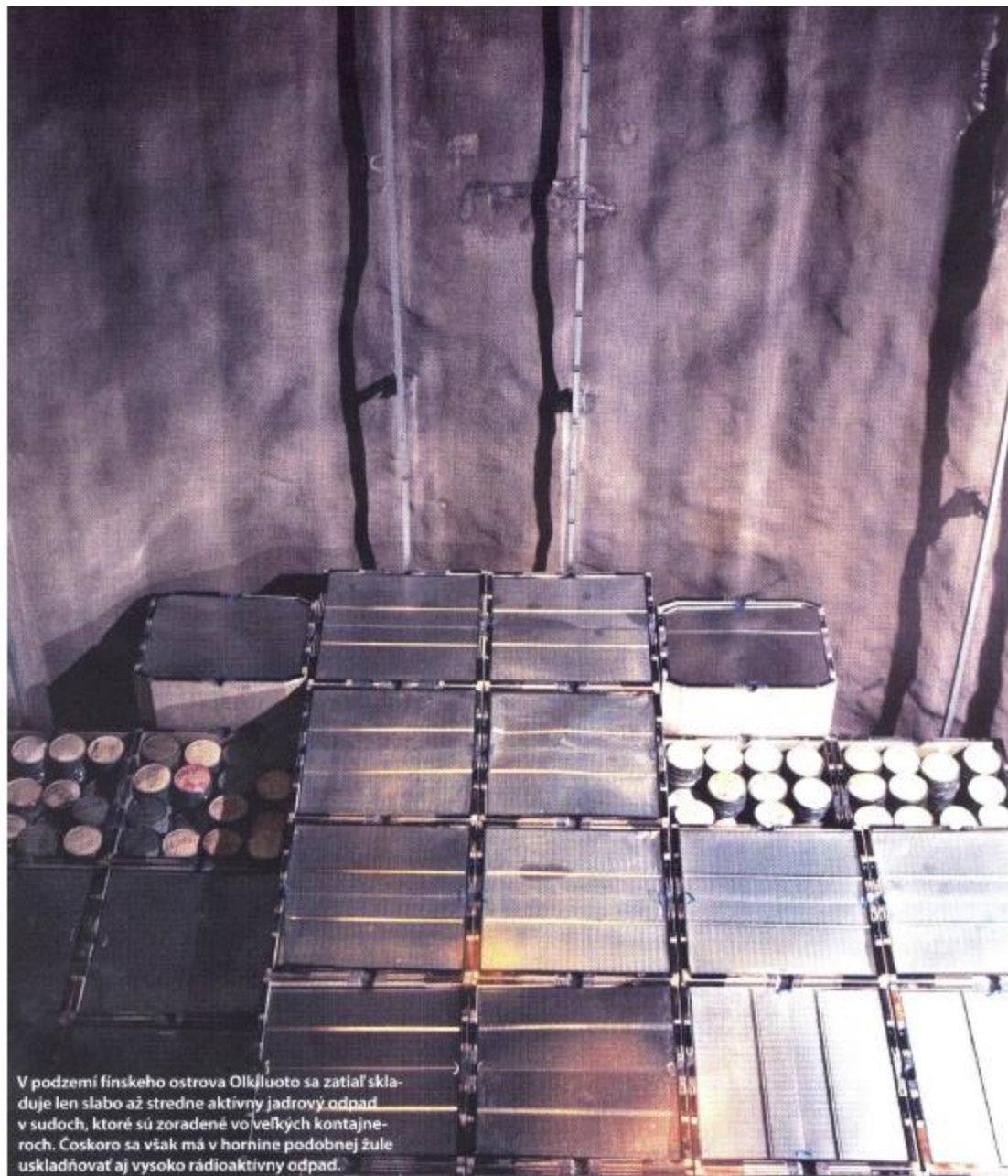
1. jadrová elektráreň	Obninsk (110 km od Moskvy)
súčasnosť (2011):	31 krajín 435 reaktorov (104 v USA)



... a takto to robia Nemci: rádioaktívny odpad z jadrovej elektrárne a výskumných reaktorov uložený v soľnej bani Asse pri Wolfenbütteli.



Betónové nádrže so slabo vyžarujúcim
rádioaktívnym odpadom v dočasnom
úložisku vo Vlissingen-Oost. Tak sa starajú



V podzemí finského ostrova Olkiluoto sa zatiaľ skladuje len slabý až stredne aktívny jadrový odpad v sudoch, ktoré sú zoradené vo veľkých kontajneroch. Čoskoro sa však má v hornine podobnej žule uskladiť aj vysoko rádioaktívny odpad.



Sudy s atómovým odpadom v britskom Capenhurste vyrovnané v rade a pripravené na prepravu na konečnú skládku, ktorá zatiaľ neexistuje.

Množstvo radioaktívneho odpadu

Okolo roku 2006	250 000 ton
Rok 2010	345 000 ton
Predpoklad v roku 2022	450 000 ton



Ešte pred 15 rokmi sa nukleárny odpad pri francúzskom zariadení na opätovné spracovanie vyhoreného jadrového paliva La Hague dočasne skladoval pod holým nebom.



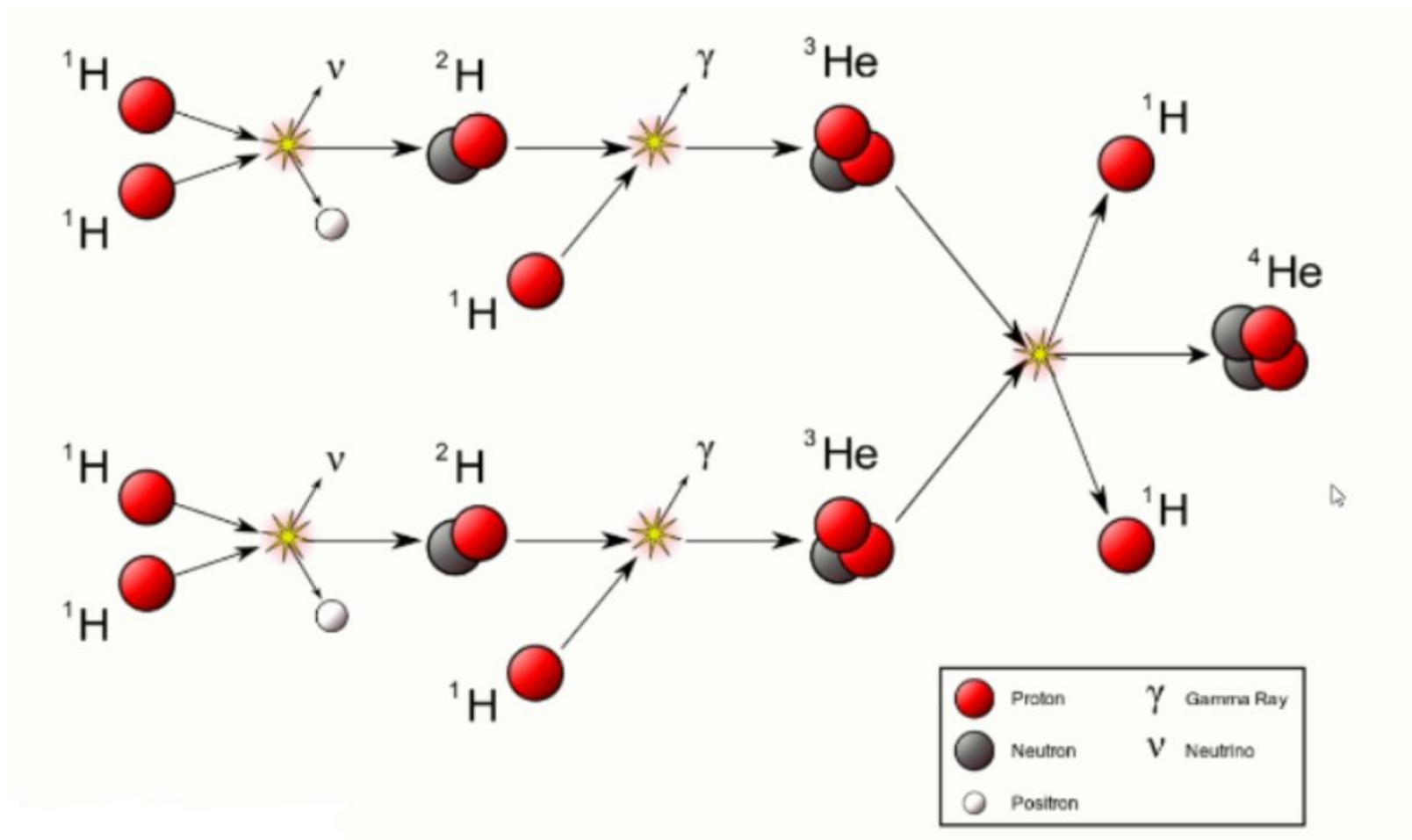
Hanford Site v americkom štáte Washington: v obrovských nádržiach sa tu skladuje okolo 200 000 kubických metrov odpadu z výroby atómových bômb.



Bunker na 300 rokov: nad zemou, za 1,7 metra silným betónom, skladuje Holandsko svoj vysoko rádioaktívny nukleárny odpad.

➤ ODHAD CELOSVETOVÝCH ZÁSOB JADROVÝCH HLAVÍC





Jednou z ciest pre bezpečné uskladnenie vysokoradioaktívnych odpadov sú nové **solidifikačné technológie**. Vhodnými solidifikačnými činidlami sú napr. **sklá borokremičitánové**, ktoré vykazujú dobrú chemickú odolnosť. Mimo vysokej chemickej stability, je dôležitá i mechanická pevnosť, tepelná vodivosť a stálosť. Je to preto, lebo **počas uskladnenia rádioaktívneho odpadu sa môže teplota odpadu zvýšiť až na 600°C**. Z týchto dôvodov použitie sklene kryštalických materiálov je výhodné, lebo predčia klasické materiály v chemickej odolnosti, mechanickej pevnosti a tepelnej stálosti. **Príklad takéhoto sklene kryštalického materiálu, ktorý je stabilný do 1300°C** a je vhodný na výrobu kontajnerov na ukladanie rádioaktívneho odpadu má nasledovné zloženie: $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$.