



Radioaktivita a ionizující záření

Karel Katovský

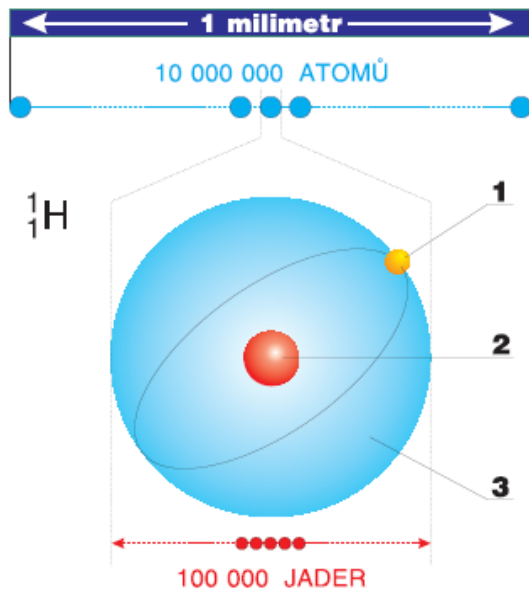
*Ústav elektroenergetiky
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Vysoké učení technické v Brně*

PŘEDNÁŠKA

- Motivace
- Historie objevování radioaktivity
- Struktura jádra, radioaktivní přeměny
- Ionizující záření – alfa, beta, gama, neutrony...
- Zdroje ionizujícího záření
- Přirozené ionizující záření

FYZIKA ATOMOVÉHO JÁDRA

- Atomový obal, atomové jádro (100 000 : 1 = Brno : puk)
- Prvky, izotopické složení prvků
(periodická tabulka je 3D! – Table of nuclides)
- Stabilní vs. nestabilní izotopy (uhlík, draslík: $^{12}\text{C}/^{14}\text{C}$, $^{39}\text{K}/^{40}\text{K}$)
- Fyzikální vs. chemické vlastnosti (uran – $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$)
- Slupkový model jádra, energetické hladiny → gama
- Elektronový obal, energetické hladiny → RTG záření X



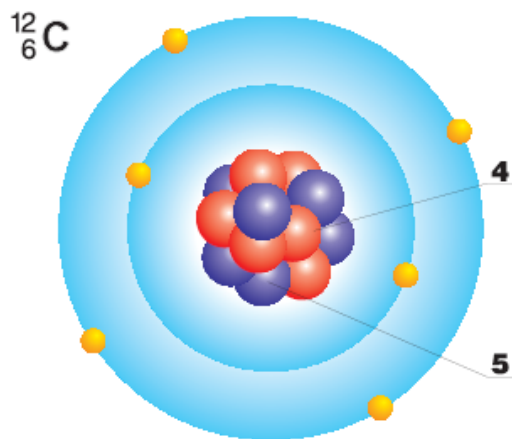
ATOM VODÍKU

1. ELEKTRON
2. JÁDRO ATOMU
3. ELEKTRONOVÝ OBAL

$$A = 1$$

$$Z = 1$$

$$N = 0$$



ATOM UHLÍKU

4. PROTON
5. NEUTRON

$$A = 12$$

$$Z = 6$$

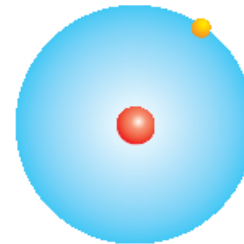
$$N = 6$$

$$^A_Z\text{X} \quad A = Z + N$$

A = HMOTNOSTNÍ ČÍSLO
Z = PROTONOVÉ ČÍSLO
N = NEUTRONOVÉ ČÍSLO

Izotopy vodíku

VODÍK

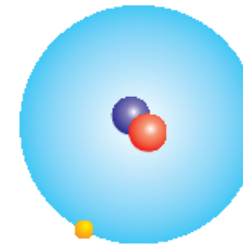


$$A = 1$$

$$Z = 1$$

$$N = 0$$

DEUTERIUM

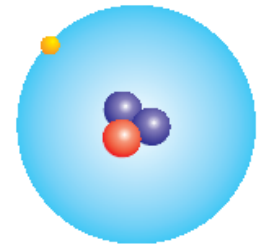


$$A = 2$$

$$Z = 1$$

$$N = 1$$

TRITIUM



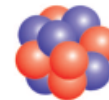
$$A = 3$$

$$Z = 1$$

$$N = 2$$

Izotopy uhlíku

$^{12}_6\text{C}$



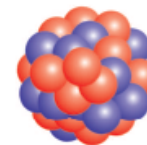
$^{14}_6\text{C}$



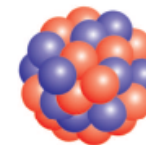
SLOUŽÍ K URČOVÁNÍ
STÁŘÍ ARCHEOLOGICKÝCH
PAMÁTEK

Izotopy uranu

$^{235}_{92}\text{U}$



$^{238}_{92}\text{U}$



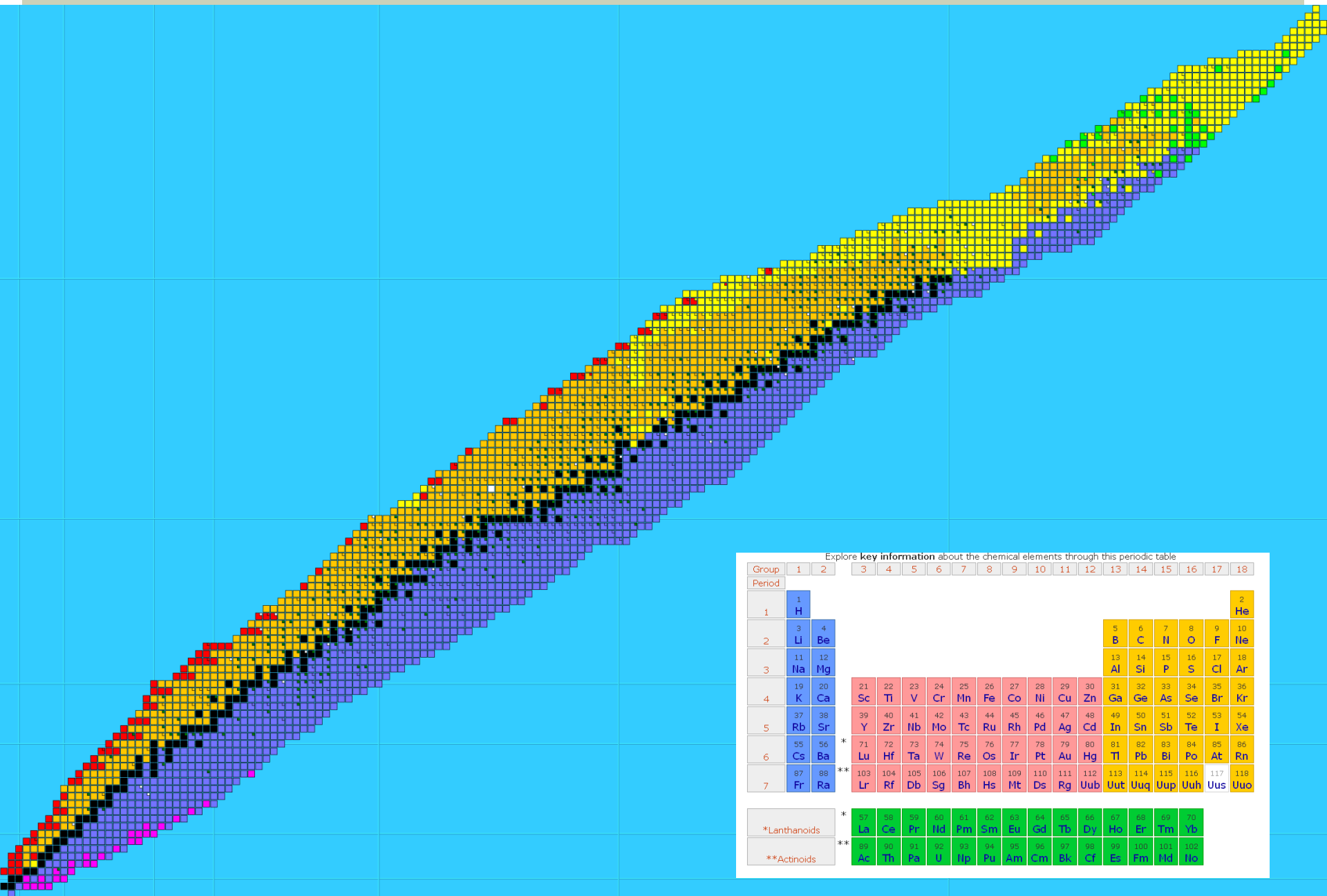
POUŽÍVAJÍ SE
V JADERNÉM
PRŮMYSLU

VZNIK PRVKŮ

- Nukleosyntéza
- Proces vedoucí od volných elementárních částic po složitá atomová jádra
- Atomy a molekuly

Explore **key information** about the chemical elements through this periodic table

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
*Lanthanoids	* 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				
**Actinoids	** 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				



Explore key information about the chemical elements through this periodic table

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Period	1	2																	
1	H																		He
2	Li	Be											B	C	N	O	F		Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar
4	K	Ca	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Kr
5	Rb	Sr	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	Xe
6	Cs	Ba	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	Rn
7	Fr	Ra	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	Uuo
			*Lanthanoids																
			57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70			
			**Actinoids																
			89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102			

RADIOAKTIVITA

- Fyzikální vlastnost nestabilního přírodního nebo umělého radionuklidu (prvku, izotopu)
- Doprovázena „transmutací“ vznikem chemicky odlišného prvku s jinými vlastnostmi (hovoříme o jaderné přeměně, slangově rozpadu)
- Doprovázena přeměnou energie (uvolněním energie)
- Doprovázena emisí částic a energetických kvant elektromagnetického pole (fotonů)
- Pozor na „Radioaktivní záření“!

RADIOAKTIVITA

Radioaktivita je jev, kdy dochází k samovolné vnitřní přeměně atomových jader, přičemž je emitováno vysokoenergetické záření.

Jádra vykazující tuto vlastnost se nazývají radionuklidy.

HISTORIE JADERNÉ FYZIKY



Karel Katovský, Vysoké učení technické v Brně

ZÁLEŽÍ NA TOM, JAK SE DO TOHO TŘÍSKNE

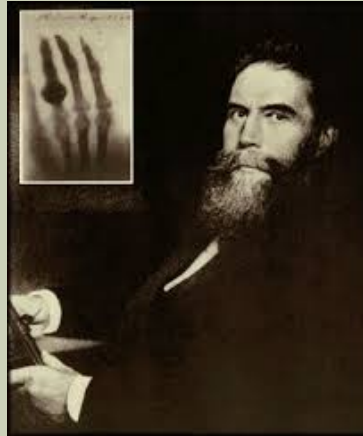
Explore **key information** about the chemical elements through this periodic table

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

*Lanthanoids	* 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
**Actinoids	** 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

HISTORIE

- Historie objevování atomů, prvků, elektromagnetismu, vesmíru, spekter...



- Henry Bequerel

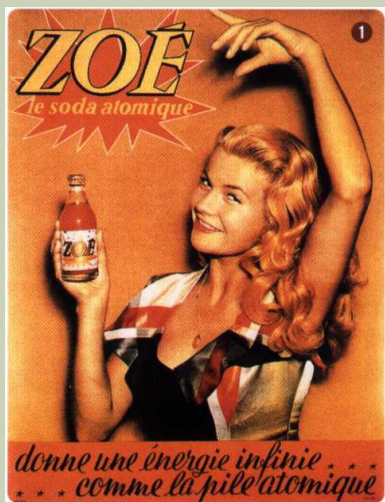
- Konrad Roentgen

- Marie Curie-Skłodowská, Pierre Curie (Irene Curie-Joliot...)

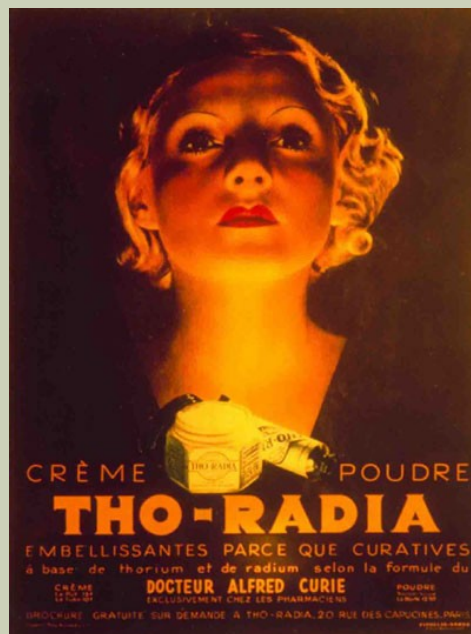
- Planck, Einstein, de Broglie, Rutherford, Bohr...

- František Běhounek, Čestmír Šimáně

RADIOFOBIE VS. RADIOFILIE



Soda atomique –
zdraví které chutná



Zářivě
krásná!



Oblečení IRADIA a už
vám nikdy zima
nebude



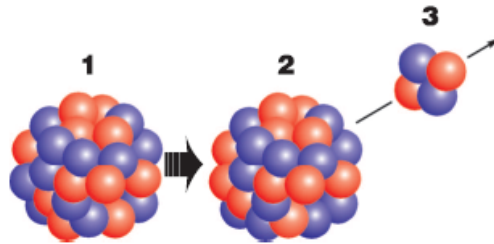
- Atomová oblačná komora
- Zábavné, snadné, vzrušující
- Obsahuje pouze bezpečný radioaktivní materiál



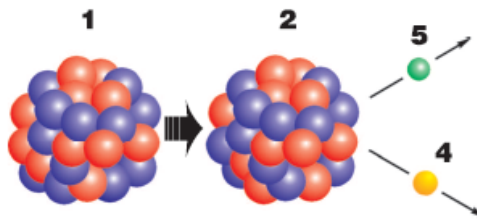
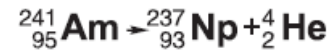
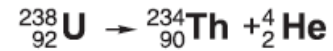
PŘEMĚNY JADER, RADIOAKTIVITA

- Přeměna alfa
- Přeměna beta (β^- , β^+ , EC)
- Přeměna gama
- Exotické přeměny
- Doprovodné jaderně-fyzikální jevy, emise gama záření, emise roentgenovského X-záření, brzdné Brehmsstrahlung záření

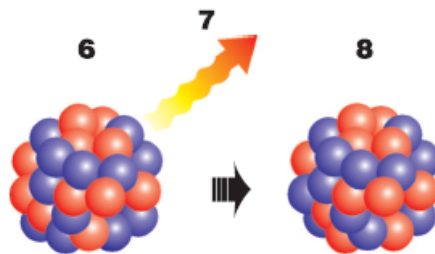
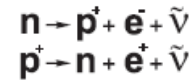
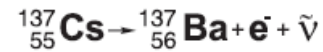
RADIOAKTIVITA



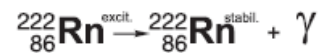
PŘEMĚNA ALFA



PŘEMĚNA BETA

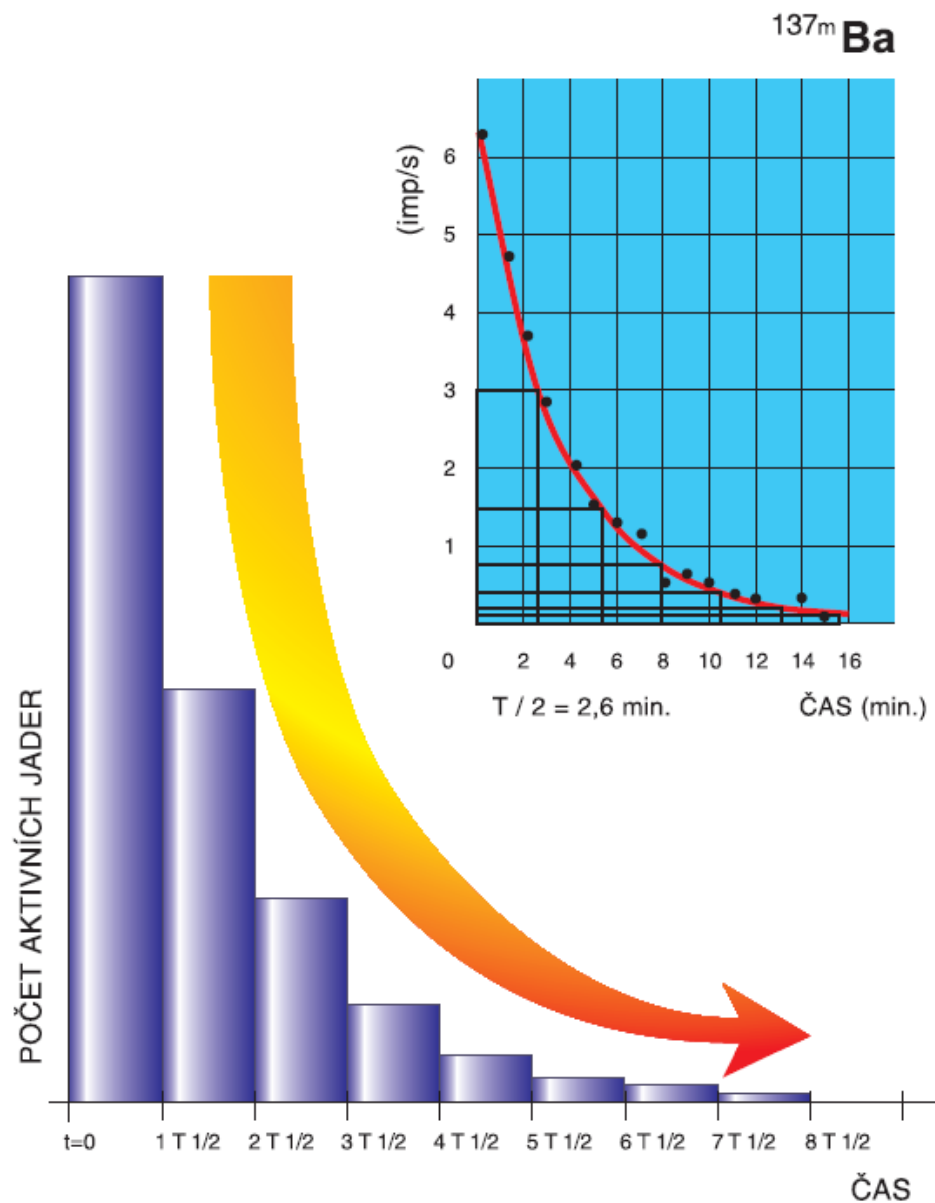


PŘEMĚNA GAMA



- | | | |
|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. MATEŘSKÉ JÁDRO | 4. ELEKTRON (β^-) | 7. γ ZÁŘENÍ (fotony) |
| 2. DCEŘINÉ JÁDRO | 5. ANTINEUTRINO ($\bar{\nu}$) | 8. STABILIZOVANÉ JÁDRO |
| 3. α ČÁSTICE | 6. EXCITOVANÉ JÁDRO | |

POLOČAS PŘEMĚNY (ROZPADU)



IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

- **Přímo ionizující**
 - Proton, nabitá částice, přímo „vytrhává“ elektrony z atomových obalů

- **Nepřímo ionizující**
 - Neutron, musí nejdříve reagovat s jádrem a poté nabitě produkty reakce „vytrhnou“ elektrony z atomových obalů

Explore **key information** about the chemical elements through this periodic table

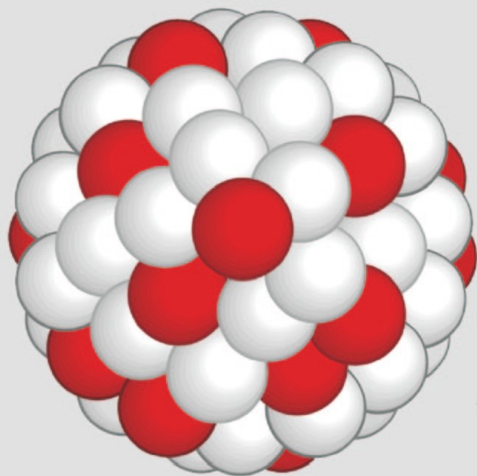
Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
*Lanthanoids	* 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				
**Actinoids	** 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				

ALFA

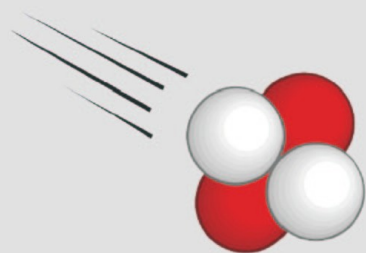
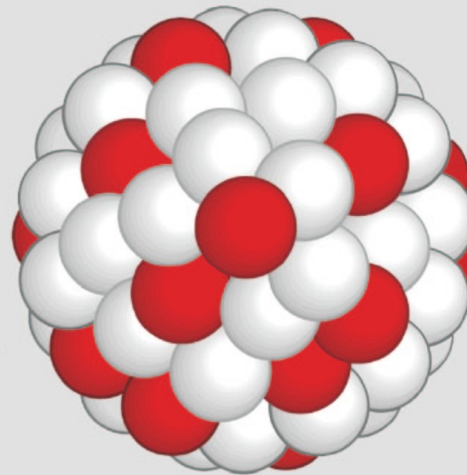


ALFA

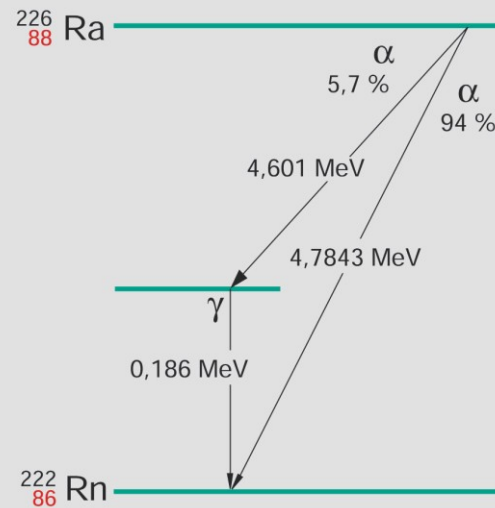
$^{226}_{88}\text{Ra}$



$^{222}_{86}\text{Rn}$



^4_2He



VLASTNOSTI ZÁŘENÍ ALFA

- silně ionizující záření
- těžké nabitě částice (náboj $+2e$, hmotnost $4u$)
- krátký dolet závisující na energii
- alfa částice z rozpadu cca 5 MeV

- dolet
 - jednotky cm ve vzduchu
 - desetiny mm v pevných látkách

- „Podobně“ se chovají všechny těžké nabitě částice i protony – Braggova křivka

- Využití např. v požárních hlásičích, vybíjení statické elektřiny...

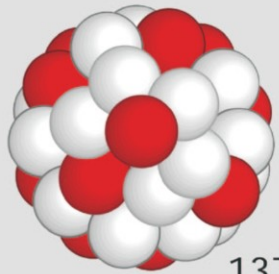
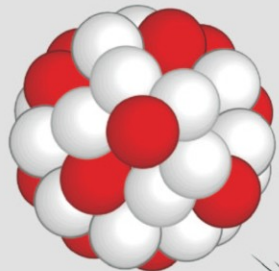
Explore **key information** about the chemical elements through this periodic table

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
*Lanthanoids	* 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				
**Actinoids	** 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				

BETA

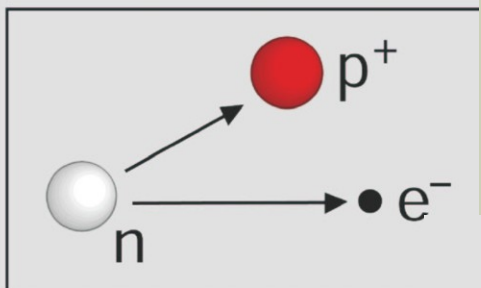
BETA

$^{137}_{55}\text{Cs}$



$^{137}_{56}\text{Ba}$

Beta⁻-Teilchen
(Elektron)



Quelle:
Informationskreis
KernEnergie

$^{60}_{27}\text{Co}$

0,15%
β₂⁻
1,5 MeV

99,85%
β₁⁻ 0,3 MeV

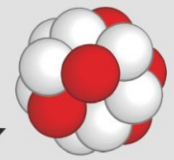
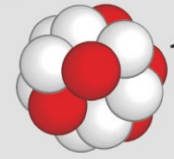
γ₁
1,173 MeV

γ₂
1,332 MeV

$^{60}_{28}\text{Ni}$

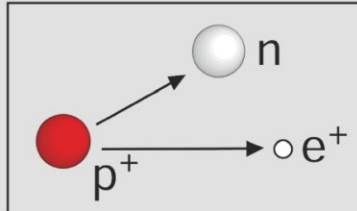
Quelle:
Informationskreis
KernEnergie

$^{22}_{11}\text{Na}$



$^{22}_{10}\text{Ne}$

Beta⁺-Teilchen
(Positron)



Quelle:
Informationskreis
KernEnergie

VLASTNOSTI ZÁŘENÍ BETA

- lehká nabitá částice (náboj $1e$, hmotnost $1/2000u$)
- spojité spektrum (různé energie)
- v rozpadech stovky keV, urychlovače $>MeV$
- brždění v materiálem - „cik-cak“ zákon
- v blízkosti jádra intenzivní **brzdné záření** (nabitá částice v el.-mag. poli) a záření X
- dolet závisí na čísle Z a hustotě materiálu
 - až desítky cm ve vzduchu
 - desetiny až jednotky mm v materiálech

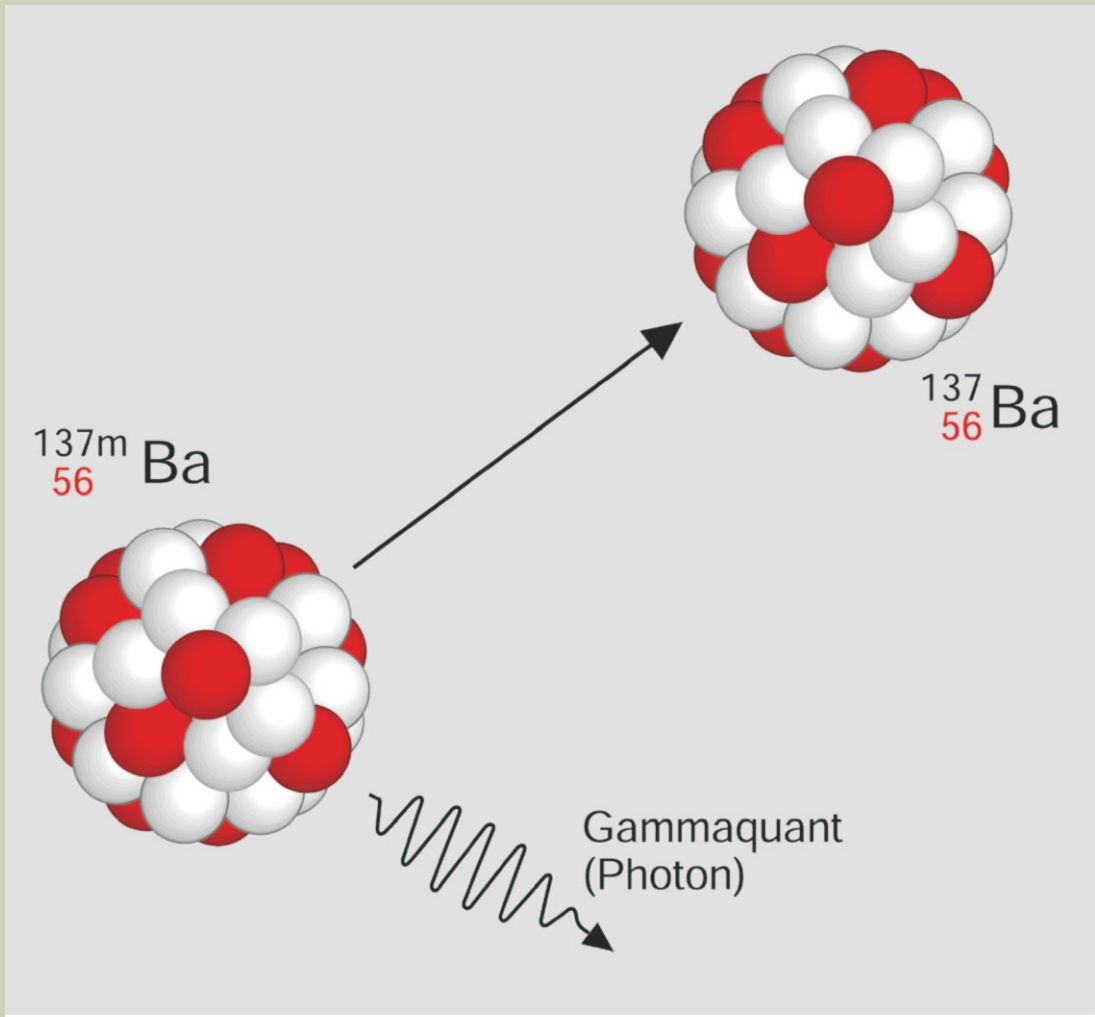
VLASTNOSTI ZÁŘENÍ BETA

- elektrony
- pozitrony
- doprovodné záření gama
- Využití
 - PET – pozitronová emisní tomografie
 - Produkce záření X
 - Tloušťkoměry

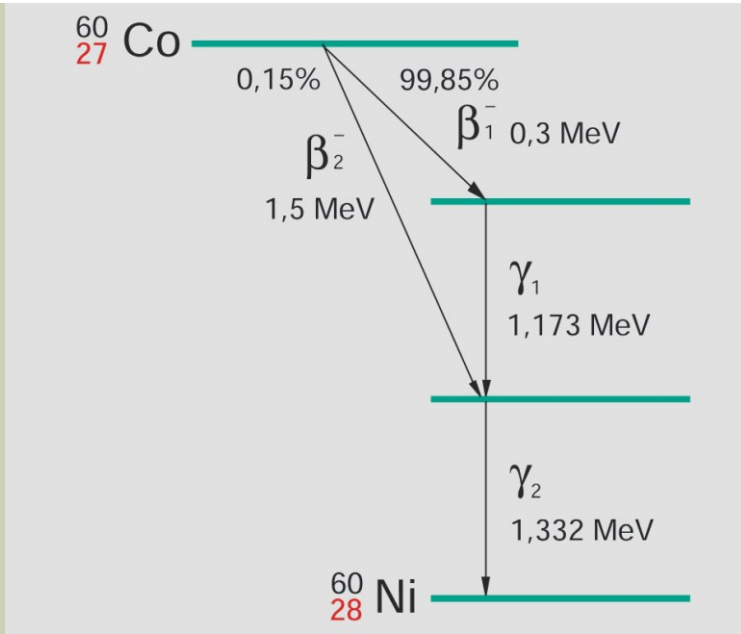
Explore **key information** about the chemical elements through this periodic table

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
*Lanthanoids	* 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				
**Actinoids	** 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				

GAMA



Quelle: 
Informationskreis
KernEnergie



Quelle: 
Informationskreis
KernEnergie

VLASTNOSTI ZÁŘENÍ GAMA

- silně pronikavé, elektricky neutrální záření
- pronikavost závisí na energii
- a velmi silně na **Z** materiálu – čím větší, tím lepší stínění

- koeficient zeslabení (attenuation factor)

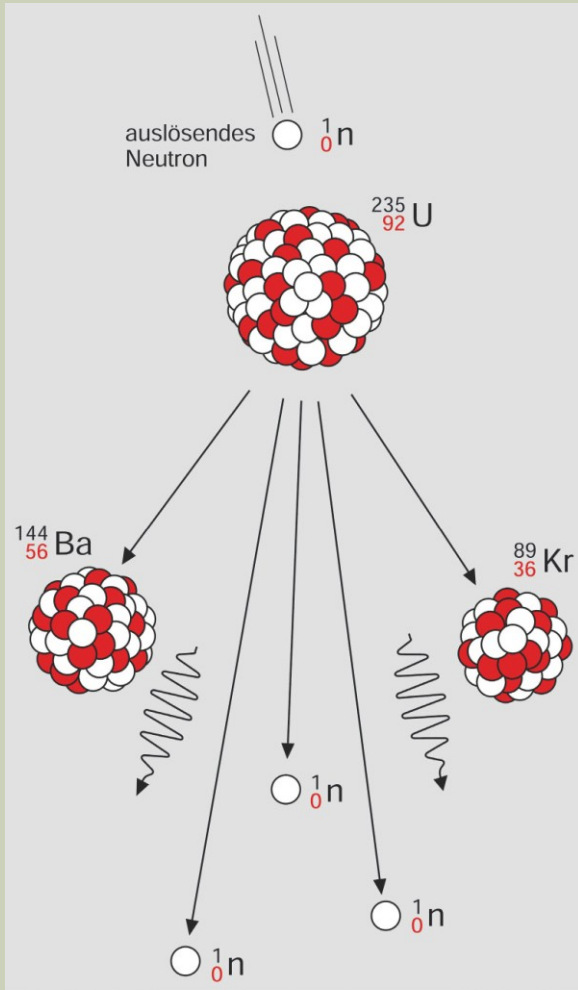
- Velice široké využití
 - Lekselův gama nůž
 - Defektoskopie, radiografie, radiometrie, hladinoměry, karotáže
 - Sterilizace zdravotnického materiálu, potravin; tvrzení um. hmot

Explore **key information** about the chemical elements through this periodic table

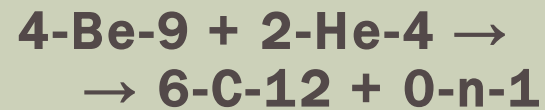
Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
*Lanthanoids	* 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				
**Actinoids	** 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				

NEUTRONY

NEUTRONOVÉ „ZÁŘENÍ“



Quelle: 
Informationskreis
KernEnergie



Reakce
(alfa,n)
(gama,n)
(p,n)
(n,štěpení)
d+t – fúze

VLASTNOSTI NEUTRONOVÉHO ZÁŘENÍ

- neutrony nemají elektrický náboj (hmotnost $\sim 1u$ jako proton)
- nepřímo ionizující záření – ionizuje až produkt reakce s neutronem, ne sám neutron
- reaguje rozptylem nebo absorpcí
- ve vodě až desítky rozptylů před absorpcí – při každém rozptylu může předávat energii
- pronikavost závisí na energii, materiálu a hustotě
 - složitá závislost, liší se materiál od materiálu – většinou desítky cm (i metry a desítky m)

ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

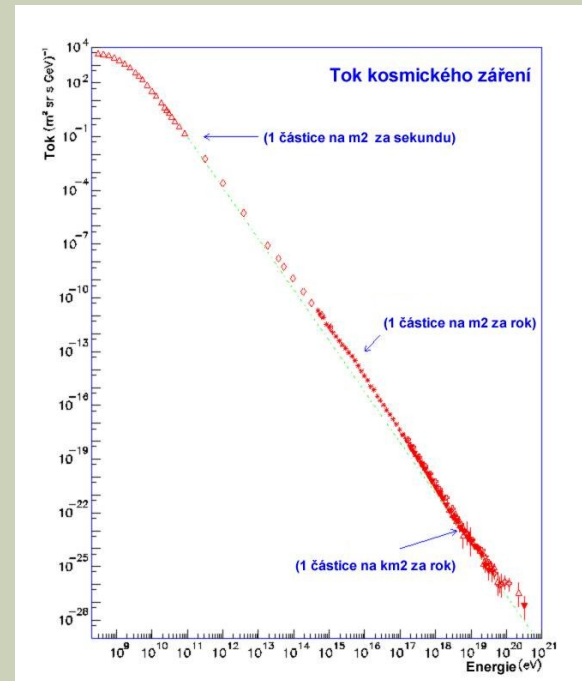
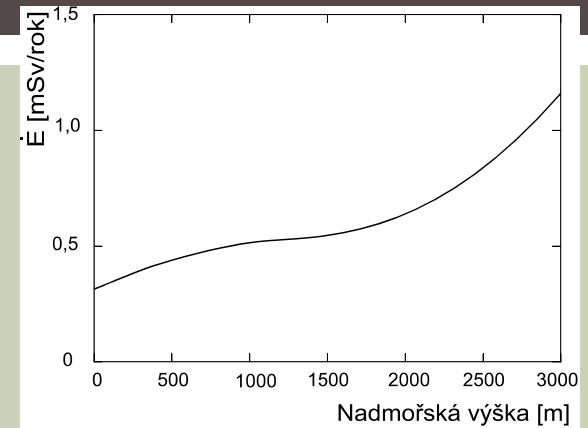
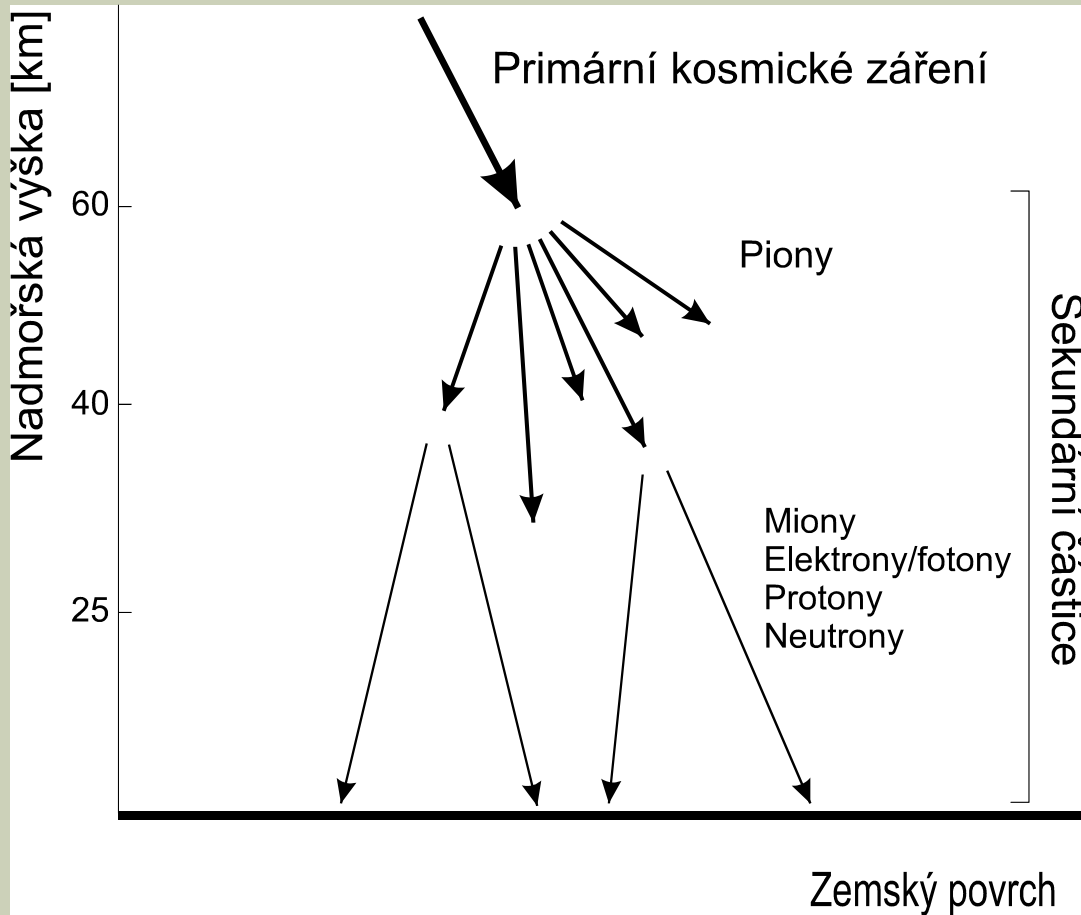
■ Přírodní

- kosmické záření (+indukované např. C-14, H-3, tzv. kosmogenní)
- záření zemské kůry (rozpadové řady)
- primordiální radionuklidy

■ Umělé

- jaderné reaktory
- urychlovače
- radionuklidové zdroje
- neptuniová rozpadová řada

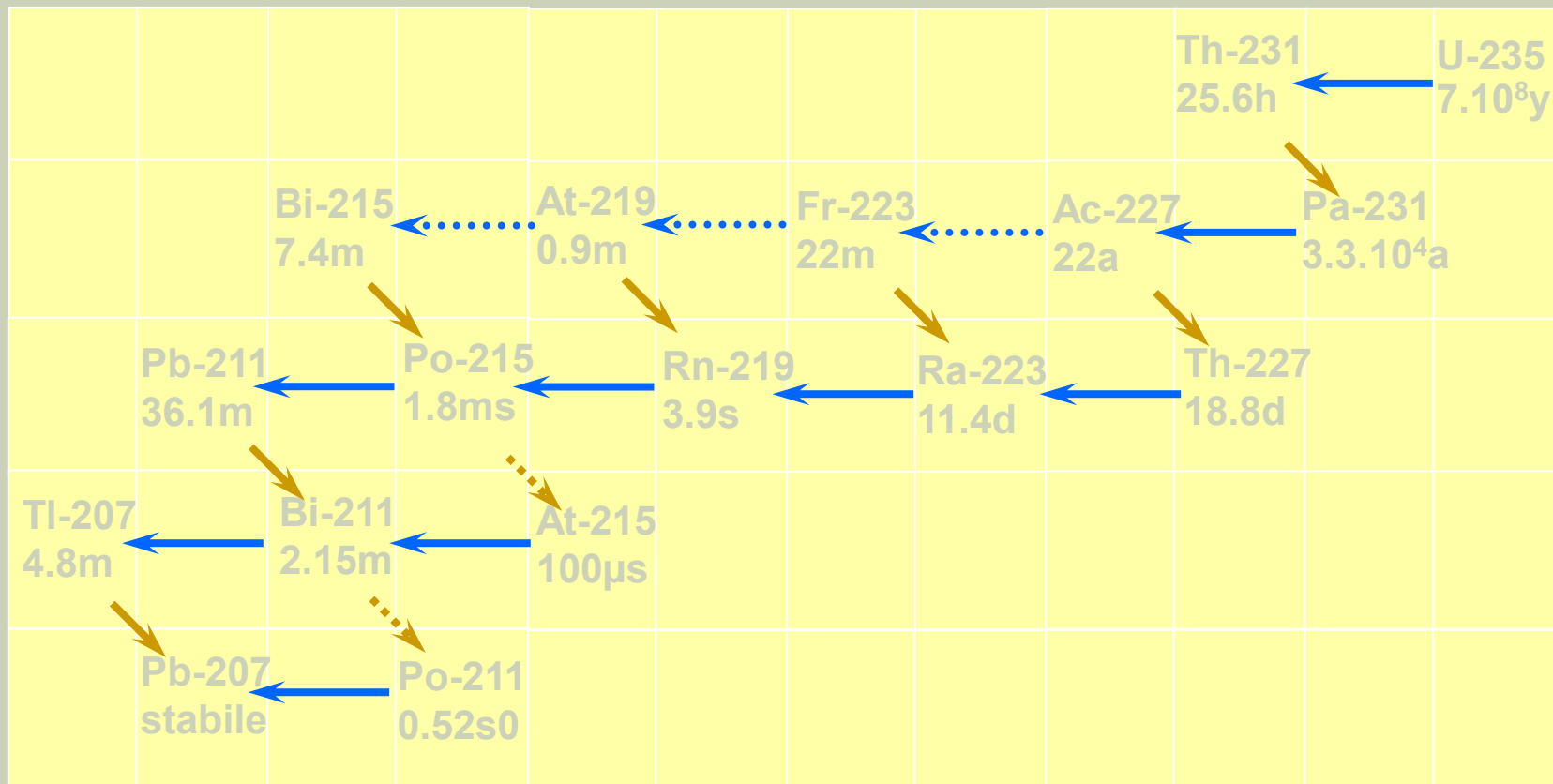
KOSMICKÉ ZÁŘENÍ



URAN-RADIOVÁ ŘADA

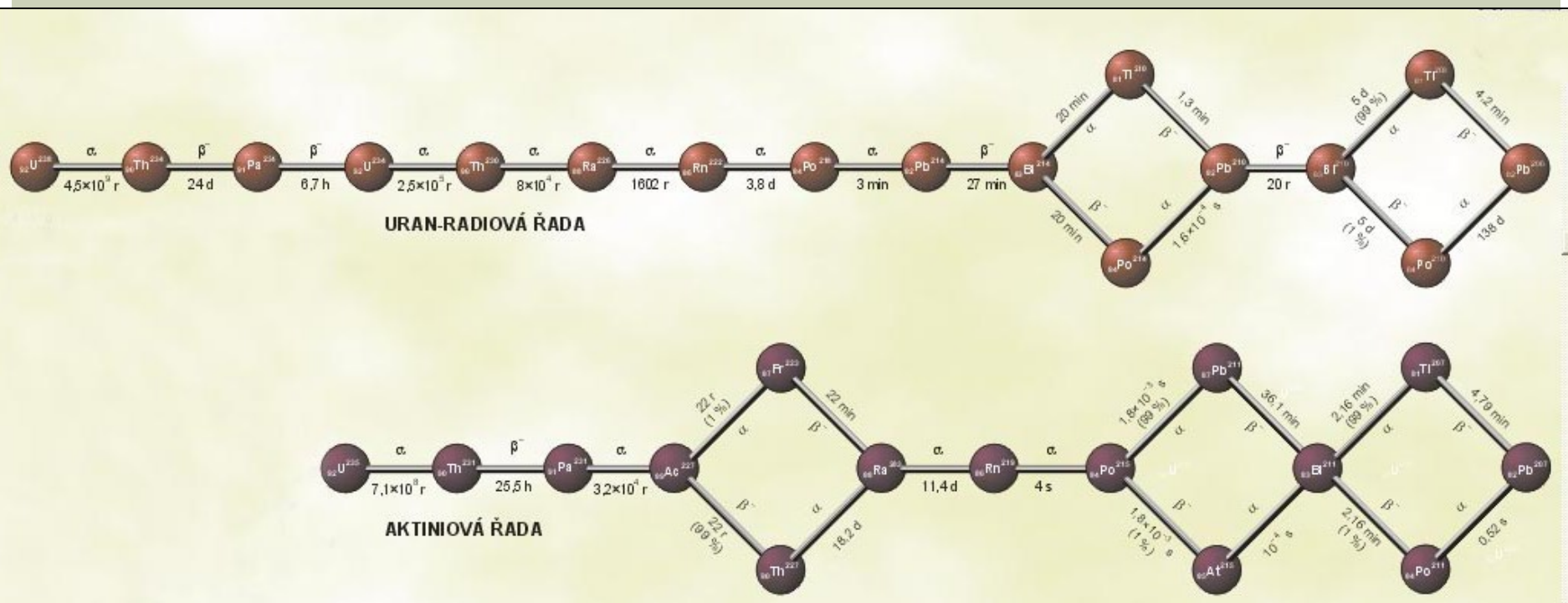
								Th-234 24.1d	←	U-238 4.5.10 ⁹ y
										Pa-234 1.2m
Pb-214 26.8 m	←	Po-216 3.05 m	←	Rn-222 3.82 d	←	Ra-226 1600 y	←	Th-230 7.7.10 ⁴ y	←	U-234 2.5.10 ⁵ y
		Bi-214 19.9 m								
Pb-210 22.3 y	←	Po-214 164 μs								
		Bi-210 5.01 d								
Pb-206 stable	←	Po-210 138d								

URAN-AKTINIOVÁ ŘADA

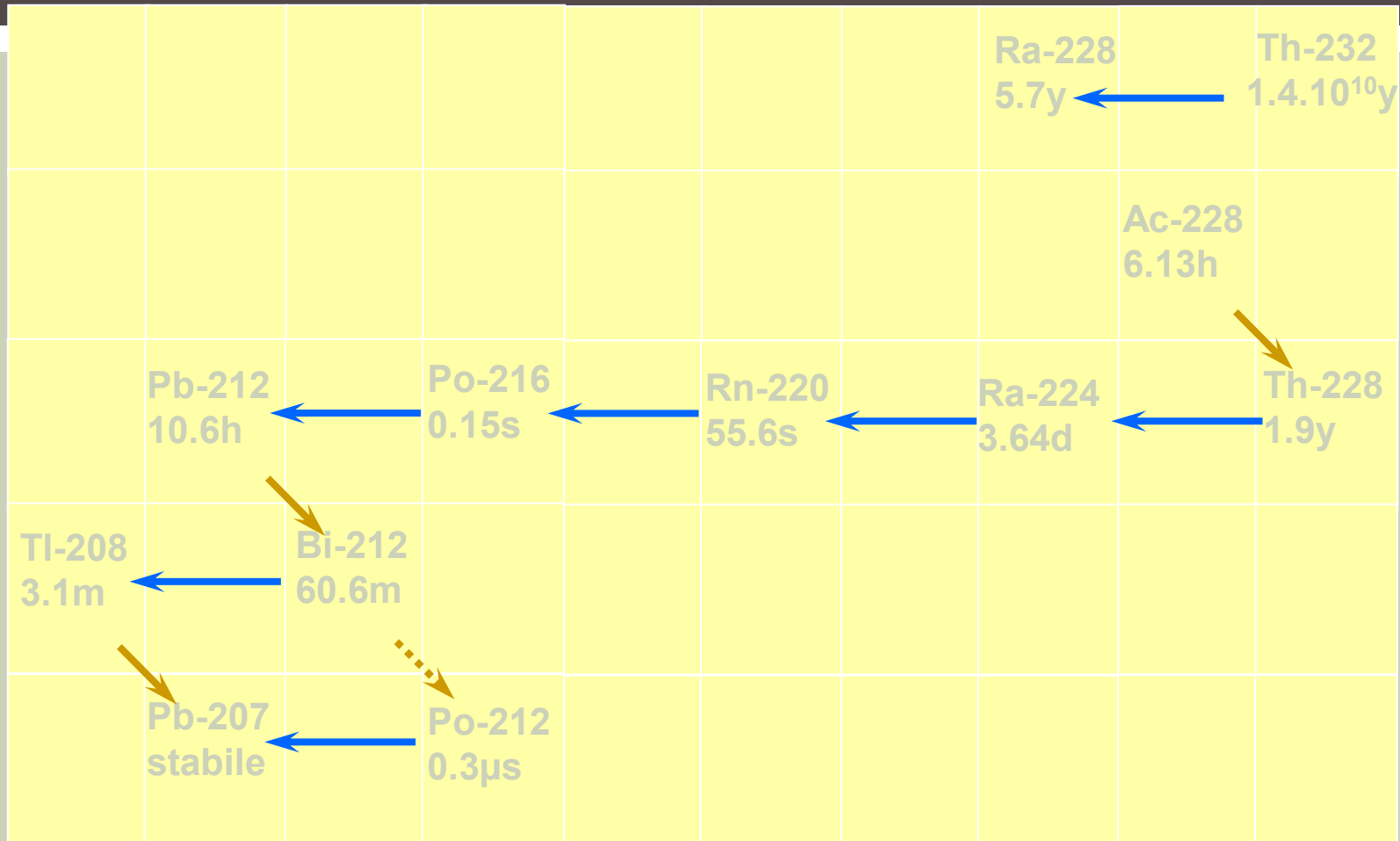


Tl Pb Bi Po At Rn Fr Ra Ac Th Pa U

URANOVÉ ŘADY

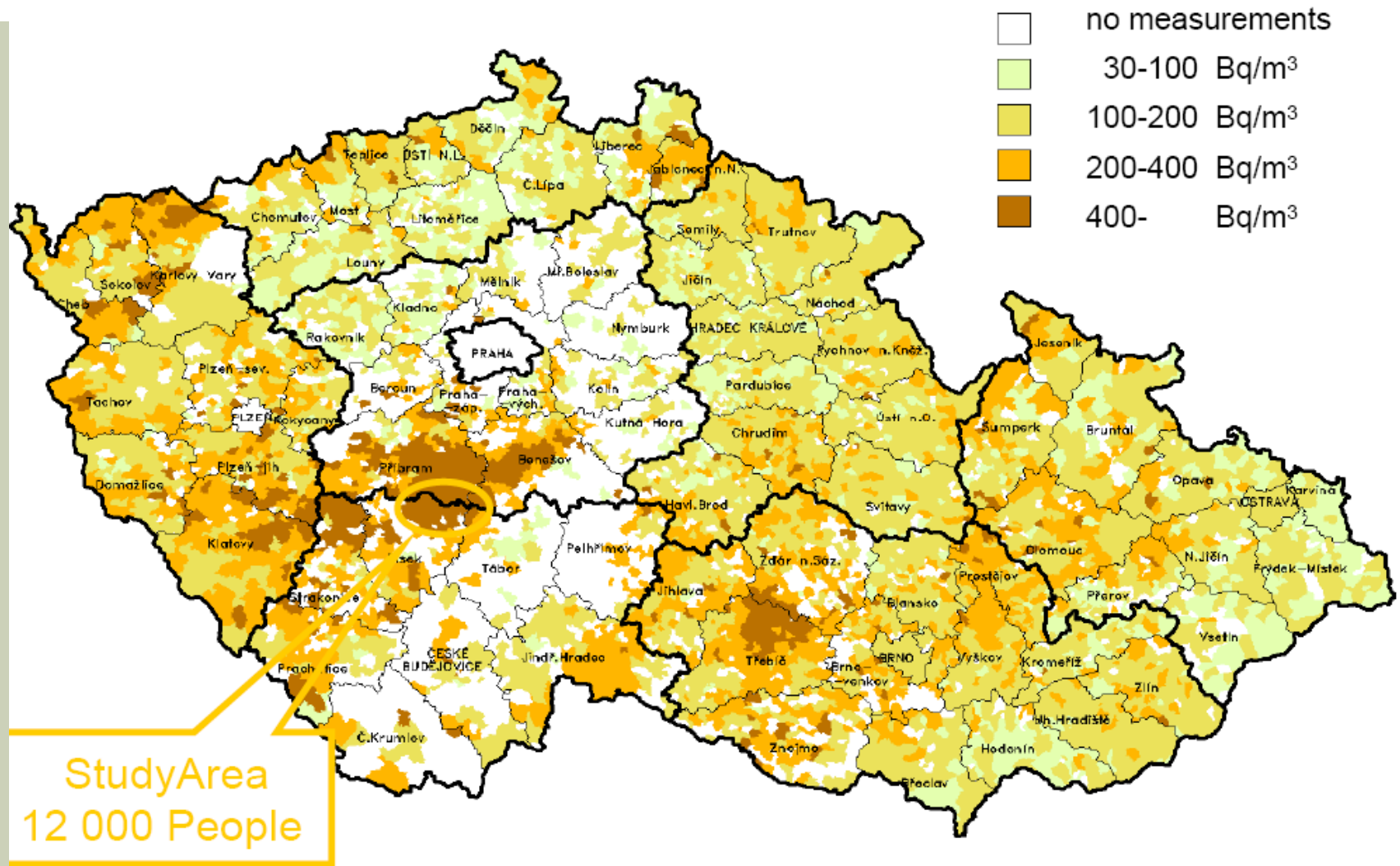


THORIOVÁ ŘADA



TI Pb Bi Po At Rn Fr Ra Ac Th

RADON



PRIMORDÁLNÍ (PRIMÁRNÍ) RADIONUKLIDY

Naturally Occurring Primordial Radionuclides

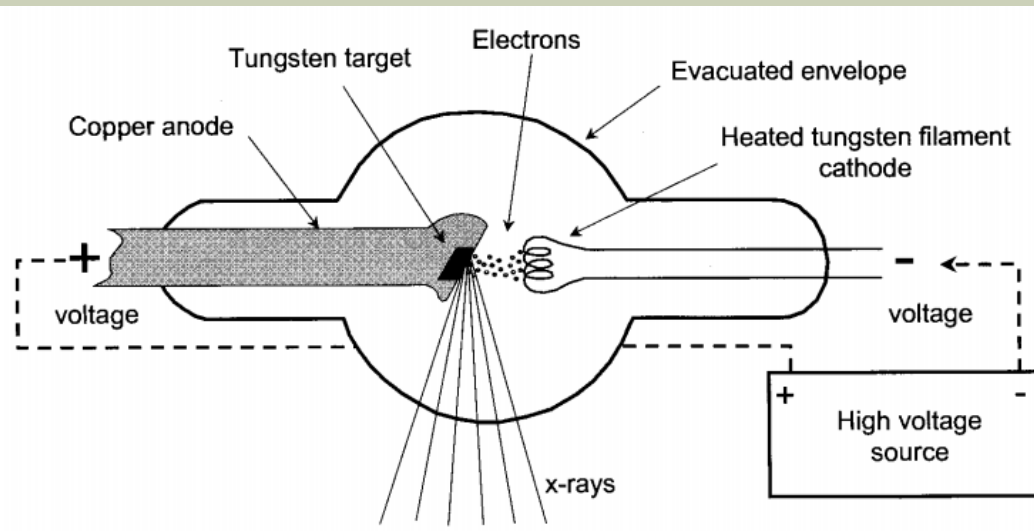
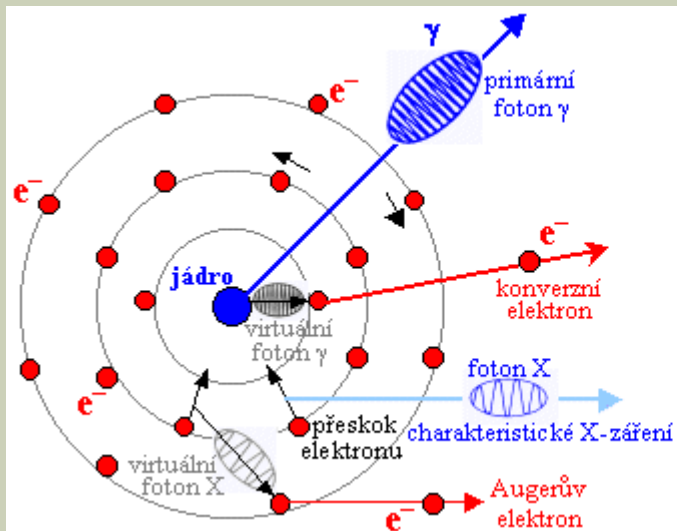
Nuclide	% Abundance	$T_{1/2}$ y	Emissions	Q (MeV)
^{40}K	0.0117	1.27×10^9	β^- , EC, γ	1.505, 1.311
^{50}V	0.25	1.4×10^{17}	β^- , EC, γ	2.208
^{87}Rb	27.25	4.9×10^{10}	β^-	0.283
^{113}Cd	12.22	9.3×10^{15}	β^-	0.316
^{115}In	95.7	4.4×10^{14}	β^-	0.495
^{123}Te	0.91	$> 1.3 \times 10^{13}$	EC	0.052
^{130}Te	33.87	1.25×10^{20}	$\beta^- \beta^-$	0.42
^{138}La	0.09	1.05×10^{11}	EC, β^- , γ	1.737, 1.044
^{142}Ce	11.13	5.0×10^{16}	α	?
^{144}Nd	23.8	2.1×10^{15}	α	1.905
^{147}Sm	15	1.06×10^{11}	α	2.31
^{152}Gd	0.2	1.08×10^{14}	α	2.205
^{174}Hf	0.162	2.0×10^{15}	α	2.496
^{176}Lu	2.59	3.8×10^{10}	β^- , γ	1.192
^{180}Ta	0.012	$> 1.2 \times 10^{15}$	EC, β^+ , γ	0.853, 0.708
^{186}Os	1.58	2.0×10^{15}	α	2.822
^{187}Re	62.6	4.4×10^{10}	β^-	0.00264
^{190}Pt	0.01	6.5×10^{11}	α	3.249

KOSMOGENNÍ RADIONUKLIDY

nuklid	symbol	poločas	zdroj	Přírodní aktivita
Uhlík 14	^{14}C	5730 let	Interakce kosmického záření s atomy dusíku	0.22 Bq/g v organických materiálech
Tritium	^3H	12.3 let	Interakce kosmického záření s atomy dusíku, kyslíku a lithia	1.2×10^{-3} Bq/kg
Beryllium 7	^7Be	53.28 dní	Interakce kosmického záření s atomy dusíku a kyslíku	0.01 Bq/kg

ZÁŘENÍ X (RTG A BRZDNÉ ZÁŘENÍ)

- Záření vzniká díky procesům v elektronovém obalu atomu
 - Na rozdíl od záření gama, které má vždy původ v atomovém jádře
- Charakteristické rentgenové záření
- Brzdné „rentgenové“ záření (Bremsstrahlung)



URYCHLOVAČE ČÁSTIC

- Primárně výzkumná, ale stále častěji průmyslová a medicínská zařízení (elektronové urychlovače, protonová-hadronová terapie, terapie těžkými ionty)



ZDROJE

- Vojtěch Ullmann – AstroNuklFyzika
- Marie Dufková a materiály ČEZ, a.s.
- prof. Hála (VUT): Radioaktivita
- doc. Švec (VŠB): IZ a ochrana před IZ

DĚKUJI ZA POZORNOST

