

Radioaktivita a zdroje ionizující záření

Karel Katovský

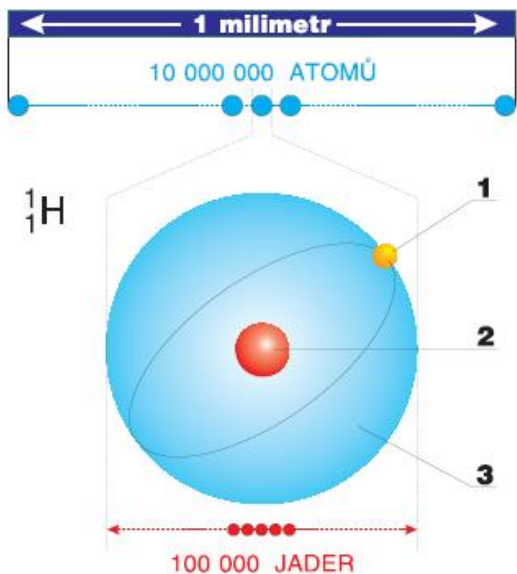
*Ústav elektroenergetiky
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Vysoké učení technické v Brně*

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 – Nuklidová karta)
- 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



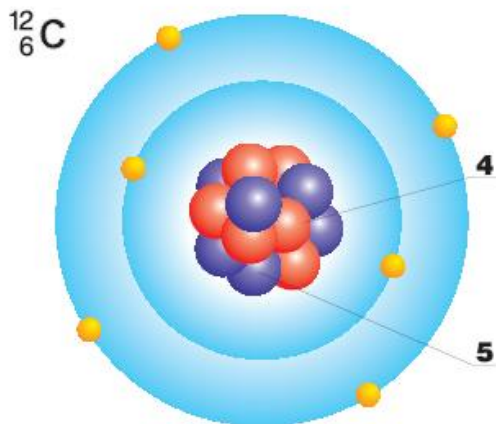
ATOM VODÍKU

1. ELEKTRON
2. JÁDRO ATOMU
3. ELEKTRONOVÝ OBAL

$$A = 1$$

$$Z = 1$$

$$N = 0$$



ATOM UHLÍKU

4. PROTON
5. NEUTRON

$$A = 12$$

$$Z = 6$$

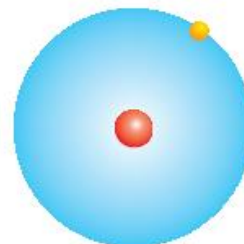
$$N = 6$$

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

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

Izotopy vodíku

VODÍK

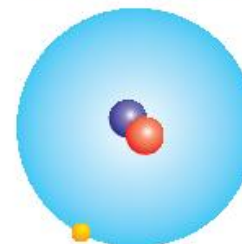


$$A = 1$$

$$Z = 1$$

$$N = 0$$

DEUTERIUM

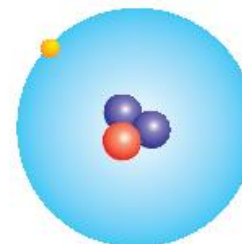


$$A = 2$$

$$Z = 1$$

$$N = 1$$

TRITIUM



$$A = 3$$

$$Z = 1$$

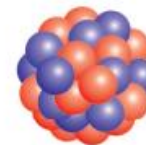
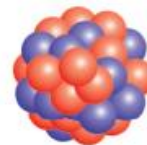
$$N = 2$$

Izotopy uhlíku



SLOUŽÍ K URČOVÁNÍ
STÁŘÍ ARCHEOLOGICKÝCH
PAMÁTEK

Izotopy uranu



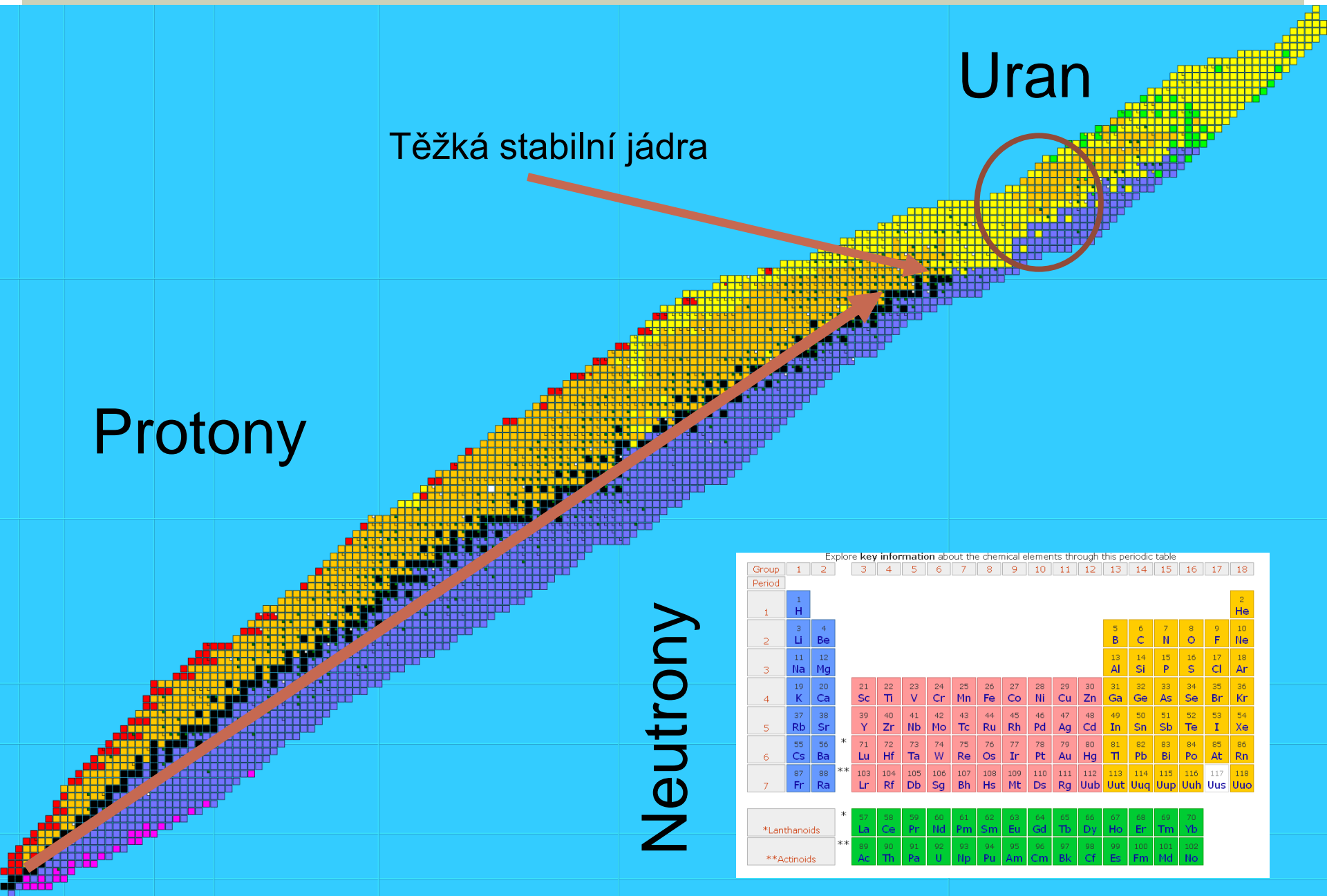
POUŽÍVAJÍ SE
V JADERNÉM
PRŮMYSLU

VZNIK PRVKŮ

- Velký třesk
- Vznik elementárních částic
- Nukleosyntéza – vznik jader a atomů
- Proces vedoucí od volných elementárních částic po složitá atomová jádra
- Atomy a molekuly, hvězdy, galaxie, sluneční soustavy, planety
- Živá hmota

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				



Protony

Těžká stabilní jádra

Uran

Neutrony

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	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	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	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 fyzikální jev (vlastnost nestabilního nuklidu), kdy dochází k samovolné vnitřní přeměně atomových jader, přičemž je emitováno vysokoenergetické ionizující 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

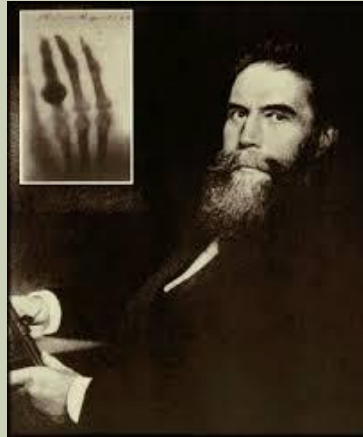
Explore **key information** about the chemical elements through this periodic table

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

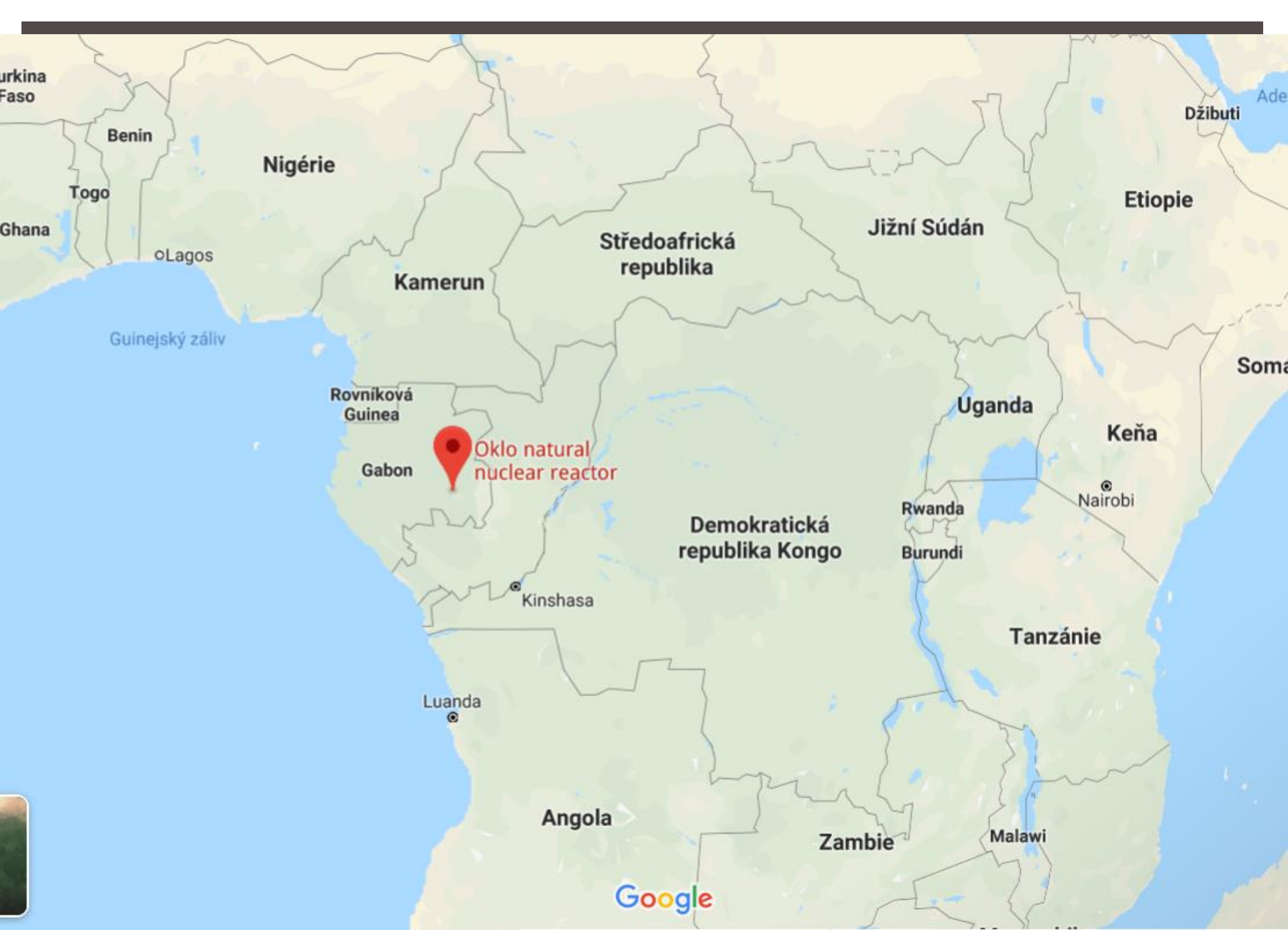
- Marie Curie-Skłodowská, Pierre Curie (Irene Curie-Joliot...)

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

- František Běhounek, Čestmír Šimáně

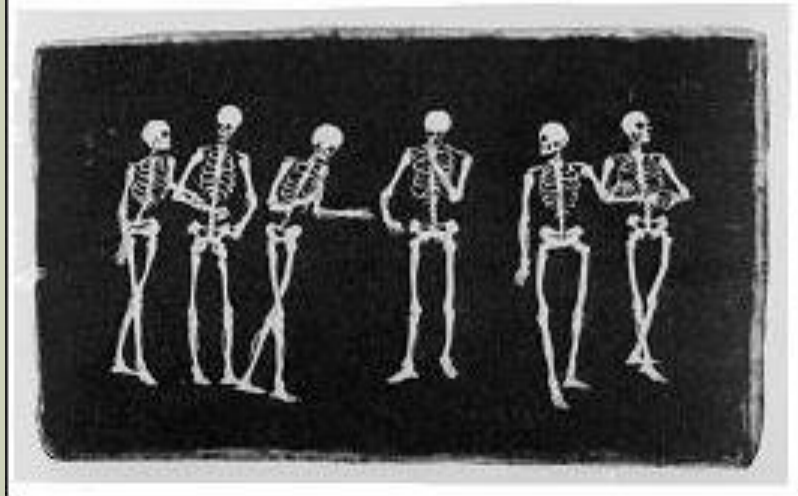
PRVNÍ JADERNÝ REAKTOR NA SVĚTĚ





Oklo natural
nuclear reactor

SLOUŽIL PRO POBAVENÍ HOSTŮ (V RESTAURACI U BÍLÉHO/ČERNÉHO KONĚ)



KONGLIGA SVENSKA
VETENSKAPS-AKADEMIEN

har vid sitt sammanträde den 12 Nov.
1901 i enlighet med foreskrifterna i det af
ALFRED NOBEL

den 27 November 1895 upprättade testa-
mente-beslutat att tilldela det pris som
denna år bortgifves 'åt den som inom su-
sittens område har gjort den viktigaste
upptäckt eller uppfinning' till

**WILHELM CONRAD
RONTGEN**

såsom ett erkännande af den utomordent-
liga förtjenst han månat genom upptäckten

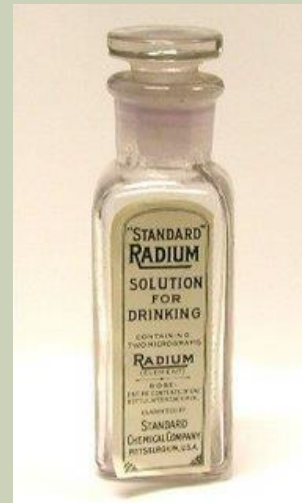
RADIOFOBIE VS. RADIOFILIE



Soda a zdraví k



Zářivě krásná!



Oblečení IRADIA a už vám nikdy zima nebude







BOHUŽEL, JADERNÉ ZBRANĚ MÁ 9 ZEMÍ

World nuclear forces, 2014

Country	Deployed warheads*	Other warheads†	Total 2014	Year of first nuclear test
USA	1920	5380	7300	1945
Russia	1600	6400	8000	1949
UK	160	65	225	1952
France	290	10	300	1960
China		250	250	1964
India		90–110	90–110	1974
Pakistan		100–120	100–120	1998
Israel		80	80	..
North Korea		6–8	6–8	2006
Total	3970	12 350	16 300	

* 'Deployed' means warheads placed on missiles or located on bases with operational forces. All estimates are approximate and are as of January 2014.

† Warheads that are in reserve, awaiting dismantlement or that require some preparation (e.g. assembly or loading on launchers) before they become fully operationally available.

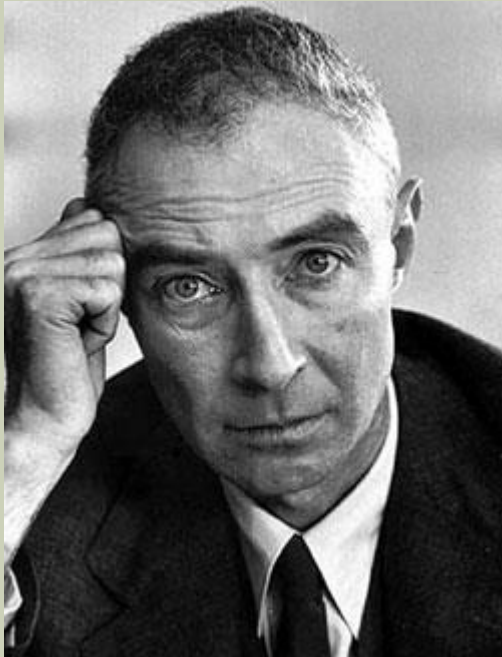
JADERNÁ ENERGETIKA

(NEJNOVĚJŠÍ JE: OSTROVEC, BELARUSSIAN-1, NOV.3, 2020)



JASNĚJŠÍ NEŽ TISÍC SLUNCÍ „ZLÉ ZÁŘENÍ“

- Většina vědců, kteří se podíleli na vývoji jaderné zbraně se pak stala bojovníky za jaderné odzbrojení



- Jacob Robert Oppenheimer: „Nyní se stávám Smrtí, ničitelem světů.“
- Andrej Dmitrijevič Sacharov – Nobelova cena za mír



ROENTGEN A MARIE CURIE „HODNÉ ZÁŘENÍ“

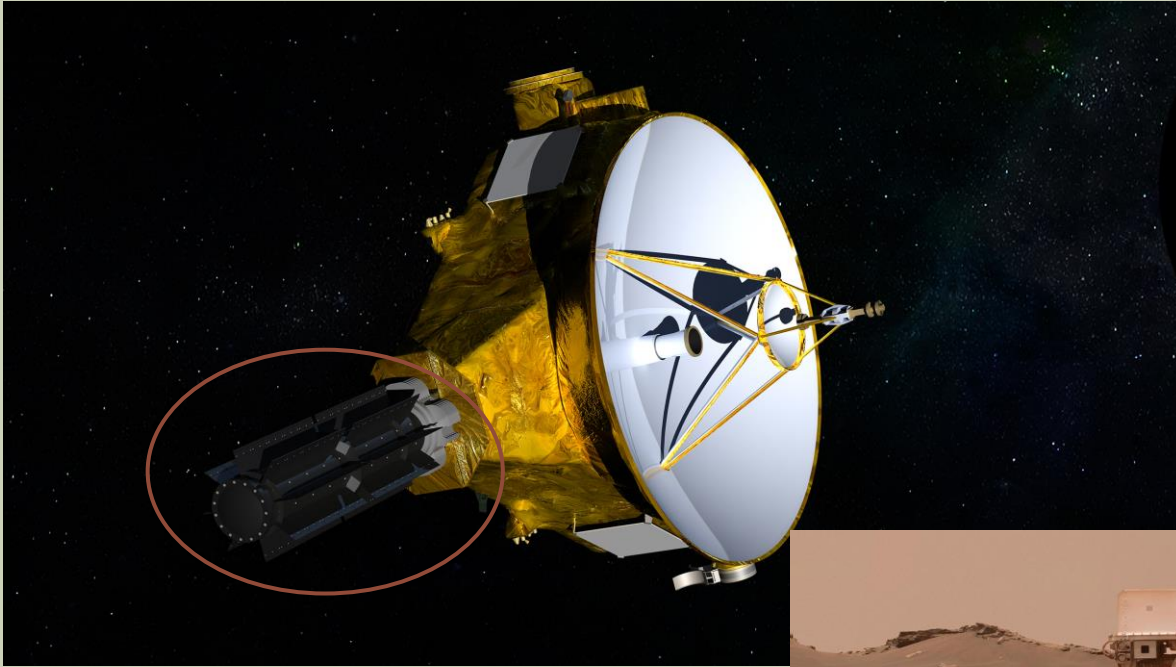


JADERNÁ ENERGIE A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ MŮŽE DOBŘE SLOUŽIT V LÉKAŘSTVÍ

- SKOK DO SOUČASNOSTI:
- PET
- SPECT
- Protonová terapie
- C-12 terapie
- Gama nůž
- Řízená léčba radiofarmaky



DEEP SPACE, MARS...



New Horizons

Karel Katov



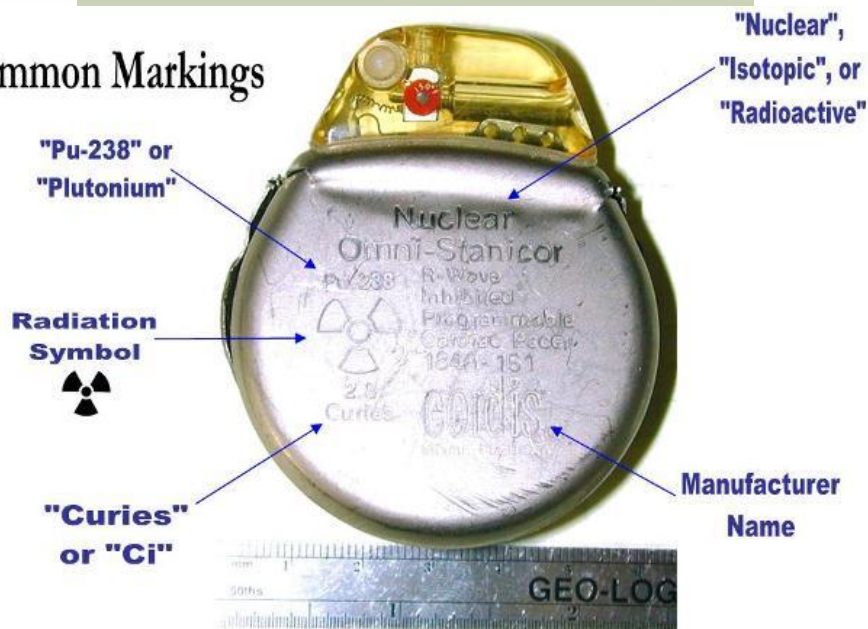
Curiosity

JADERNÝ KARDIOSTIMULÁTOR

Energie z radio-aktivního rozpadu plutonia 238 nahra-
zuje baterie: nikdy
nedojdou!



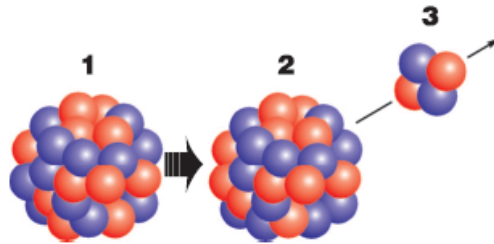
Common Markings



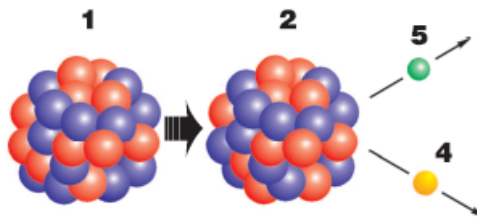
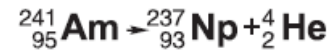
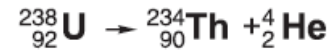
PŘEMĚNY JADER, RADIOAKTIVITA

- Přeměna alfa
- Přeměna beta (β^- , β^+ , EC)
- Přeměna gama
- Exotické přeměny (včetně dvojitého beta rozpadu, samovolné emise neutronu či spontánního štěpení)
- Doprovodné jaderně-fyzikální jevy, emise gama záření, emise roentgenovského X-záření, brzdného (Bremsstrahlung) záření (braking radiation), apod.

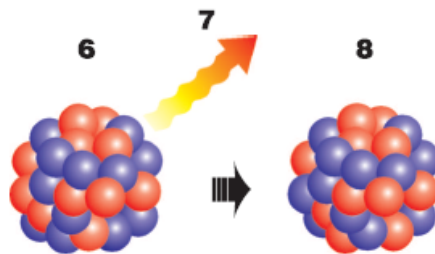
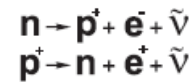
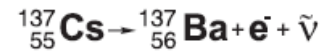
RADIOAKTIVITA



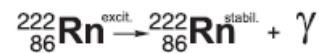
PŘEMĚNA ALFA



PŘEMĚNA BETA

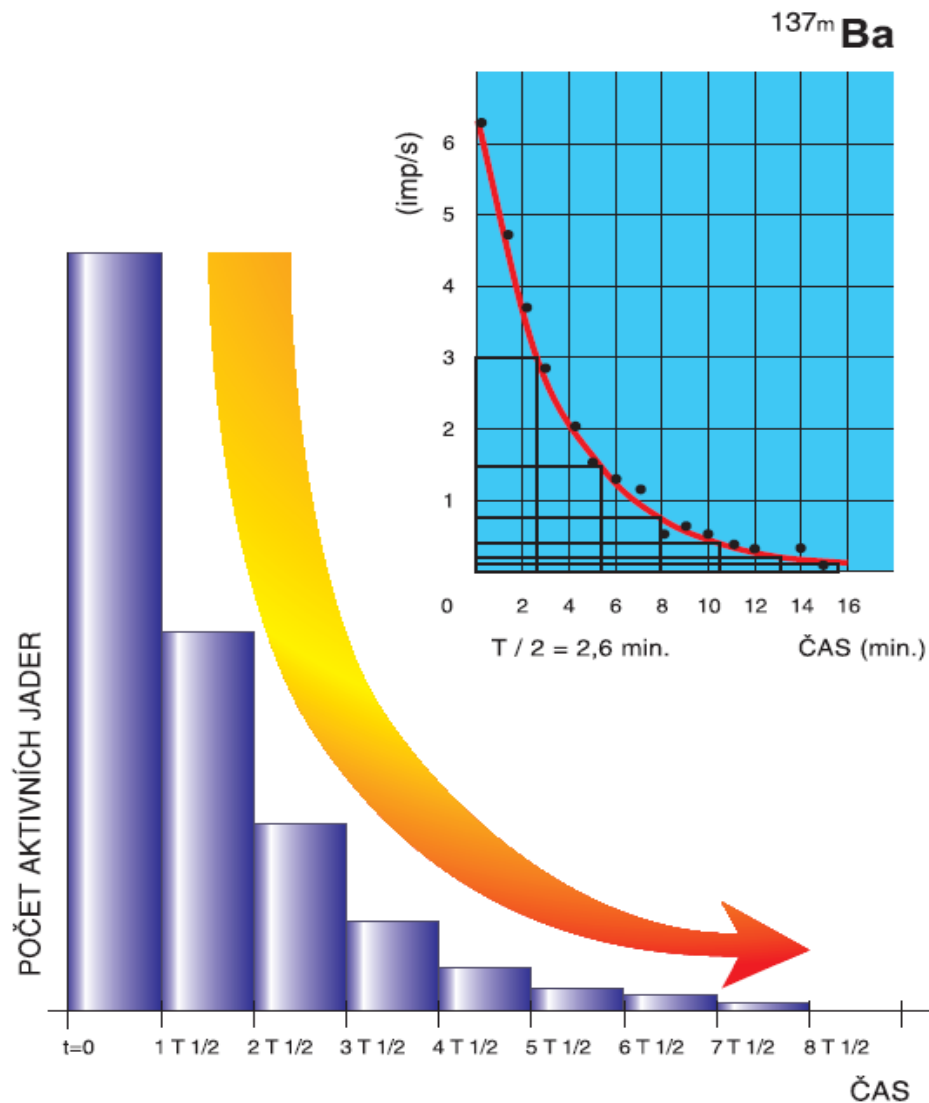


PŘEMĚNA GAMA



- | | | |
|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 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

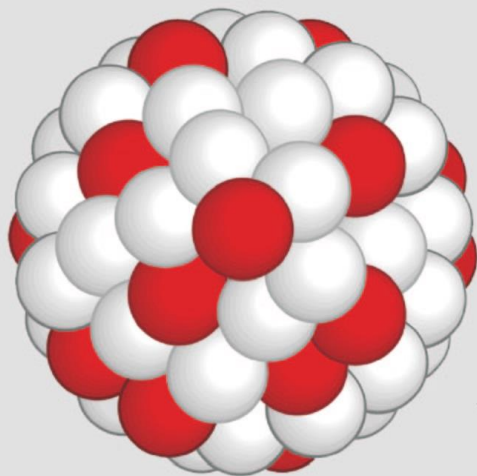
Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
Period																							
1	1 H																	2 He					
2	3 Li	4 Be																5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg																13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 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

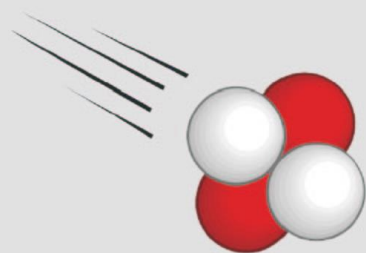
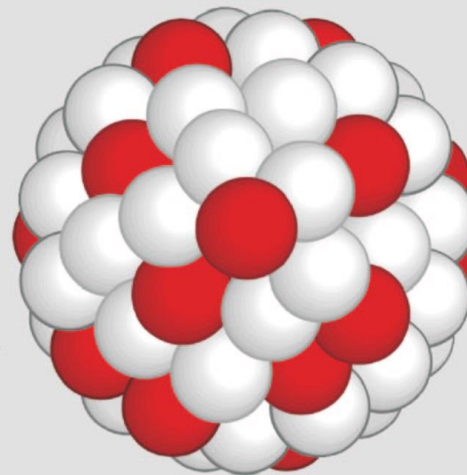


ALFA

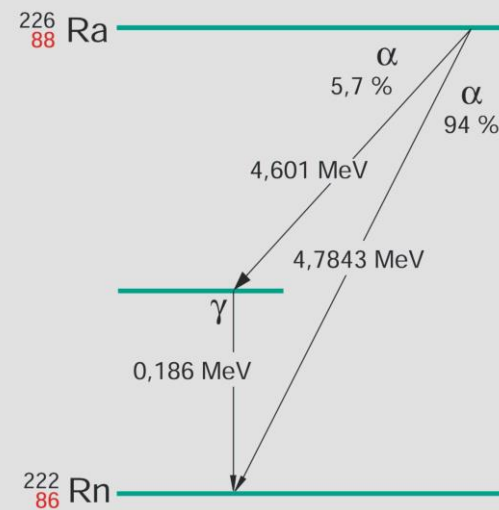
$^{226}_{88}\text{Ra}$

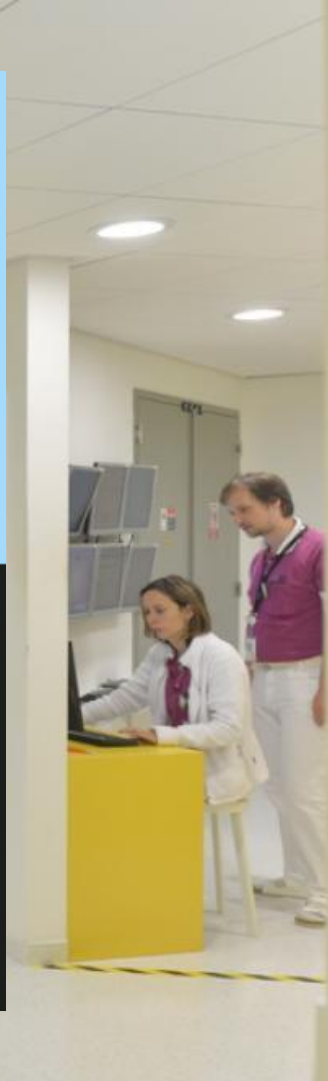
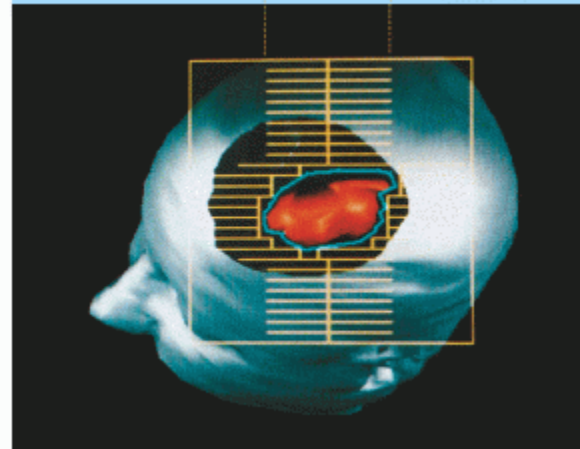
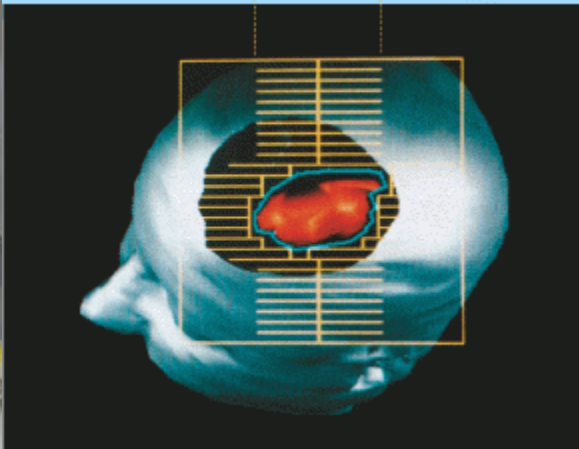
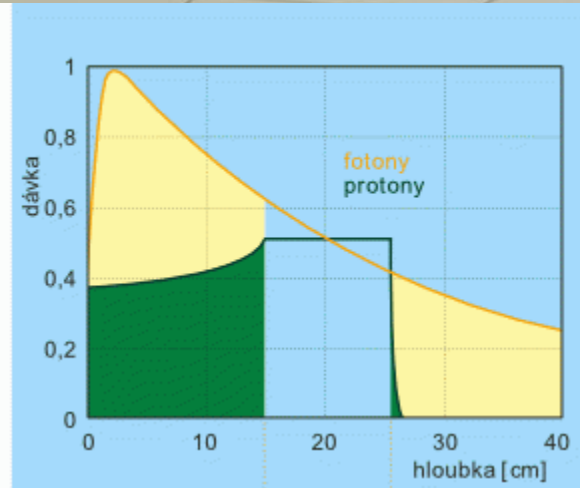
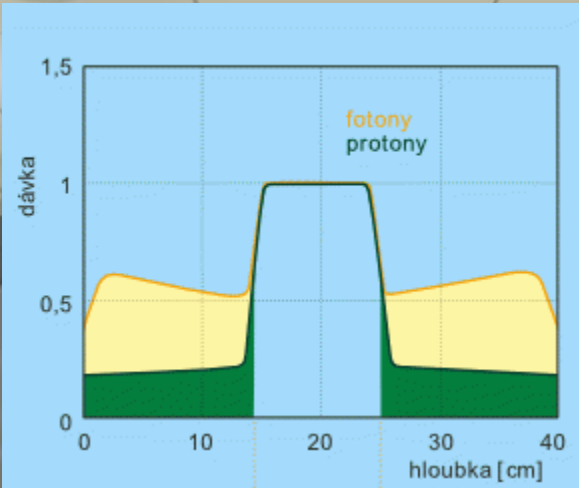


$^{222}_{86}\text{Rn}$



^4_2He





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

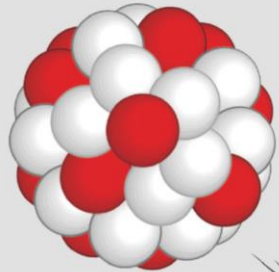
Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 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

BETA
+ nebo -

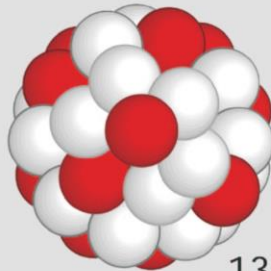
*Lanthanoids	* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
**Actinoids	** 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No

BETA

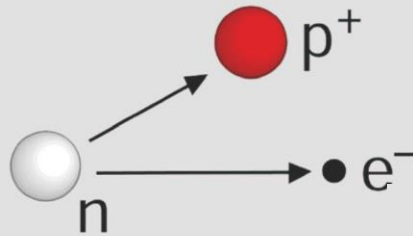
$^{137}_{55}\text{Cs}$



Beta⁻-Teilchen
(Elektron)



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



Quelle: 
Informationskreis
KernEnergie

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

0,15%

99,85%

β_2^-
1,5 MeV

β_1^- 0,3 MeV

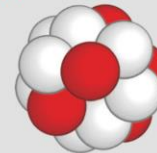
γ_1
1,173 MeV

γ_2
1,332 MeV

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

Quelle: 
Informationskreis
KernEnergie

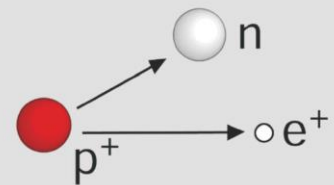
$^{22}_{11}\text{Na}$



Beta⁺-Teilchen
(Positron)



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

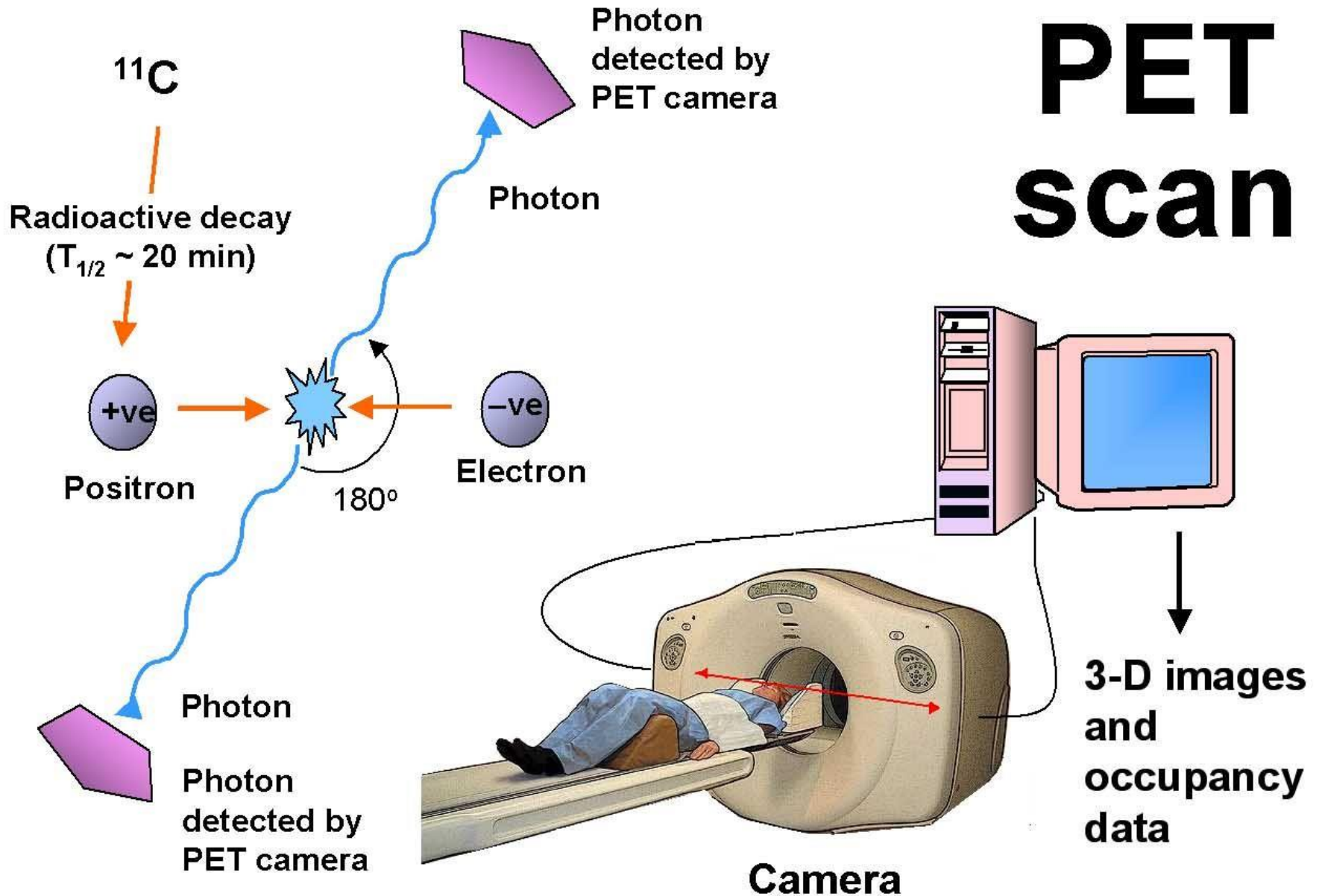


Quelle: 
Informationskreis
KernEnergie

VLASTNOSTI ZÁŘENÍ BETA (MÍNUS)

- 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

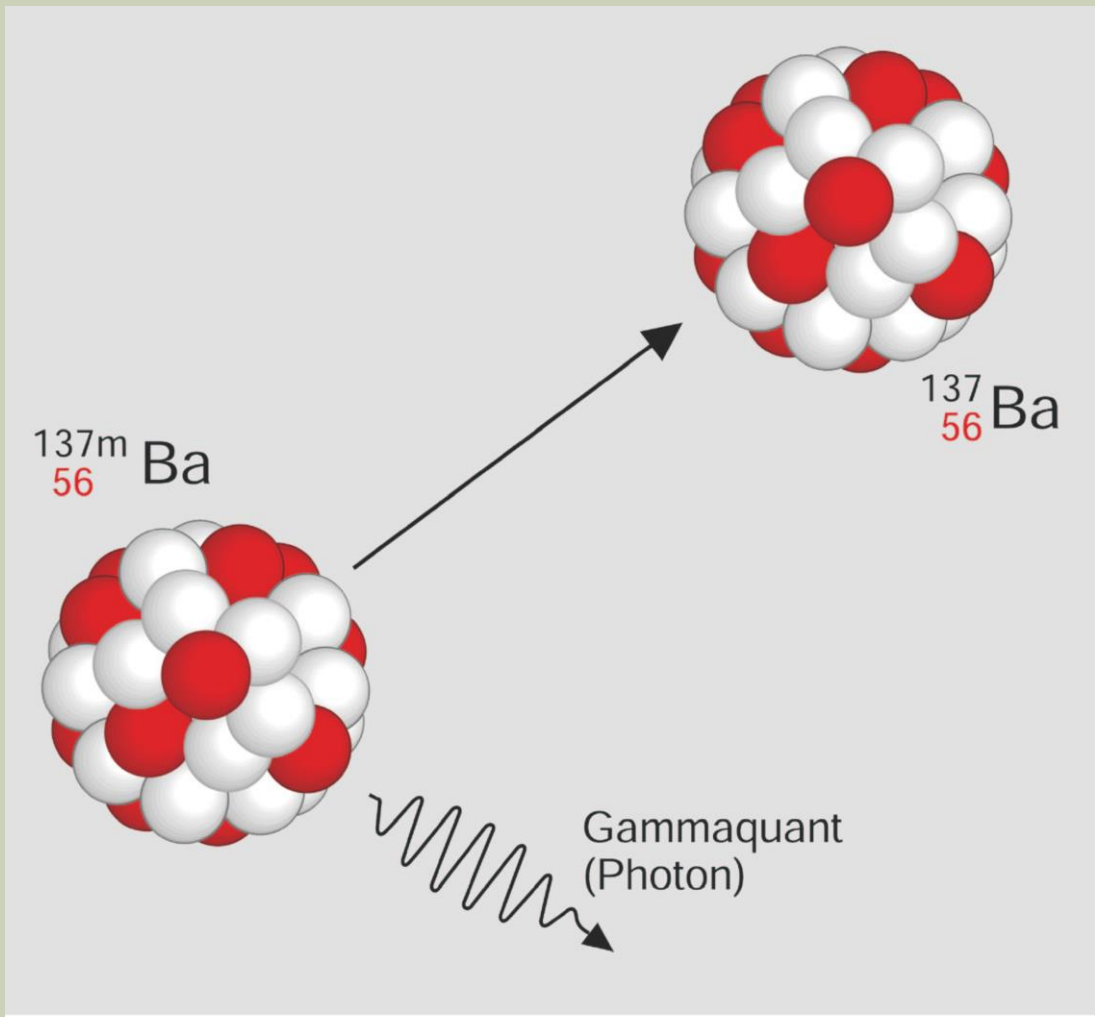
PET scan



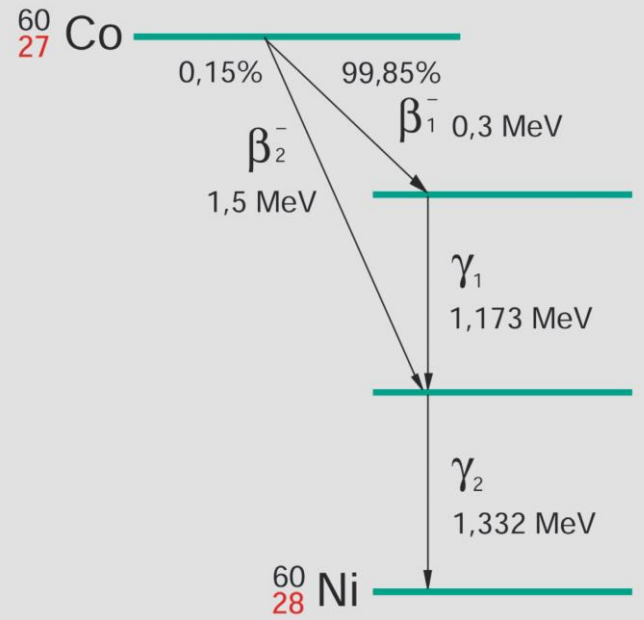
Explore **key information** about the chemical elements through this periodic table

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



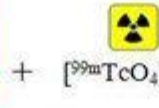
Quelle: 
Informationskreis
KernEnergie



Quelle: 
Informationskreis
KernEnergie



^{99m}Tc
43 **Tc** 56
Technetium
 $T_{1/2}$ 6.01 h
E 142.6833 keV



^{99m}Tc -marked pharmaceutical

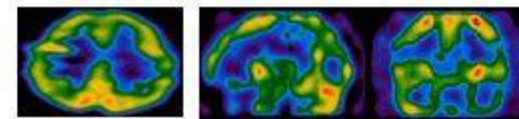
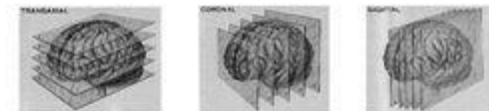
The radiotracer, injected into a vein, emits gamma radiation as it decays. A gamma camera scans the radiation area and creates an image.



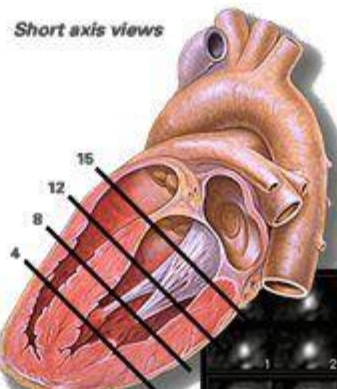
Gamma camera

ADAM

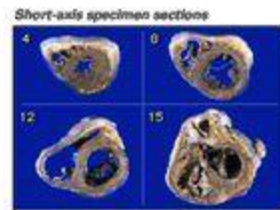
Other organs imaging
Brain Imaging



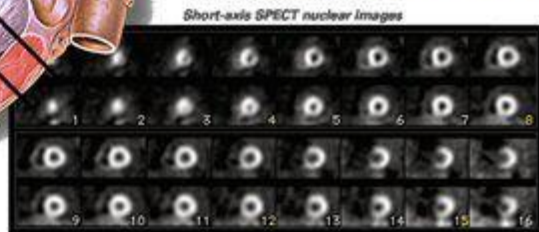
Myocardial Imaging



Slice locations



Short-axis specimen sections



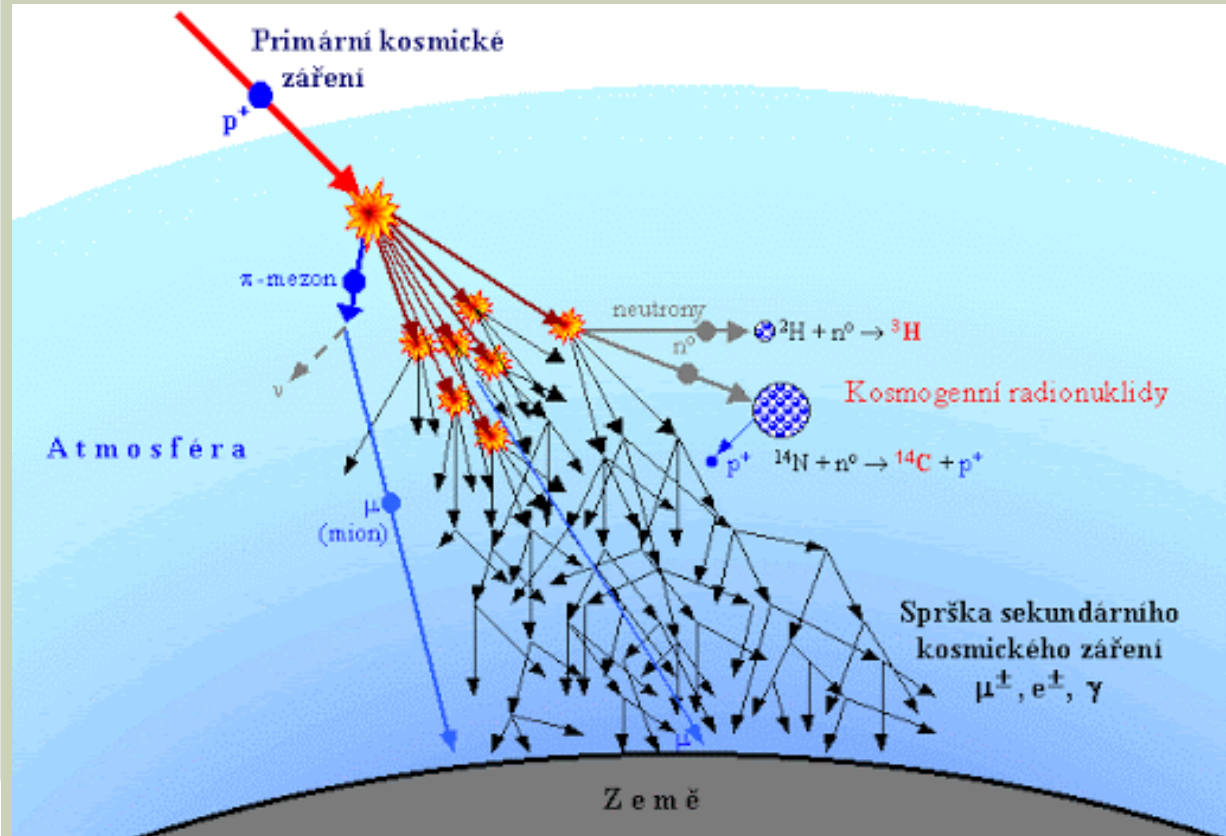
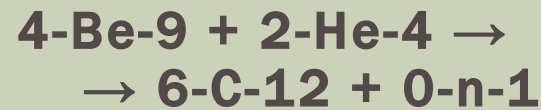
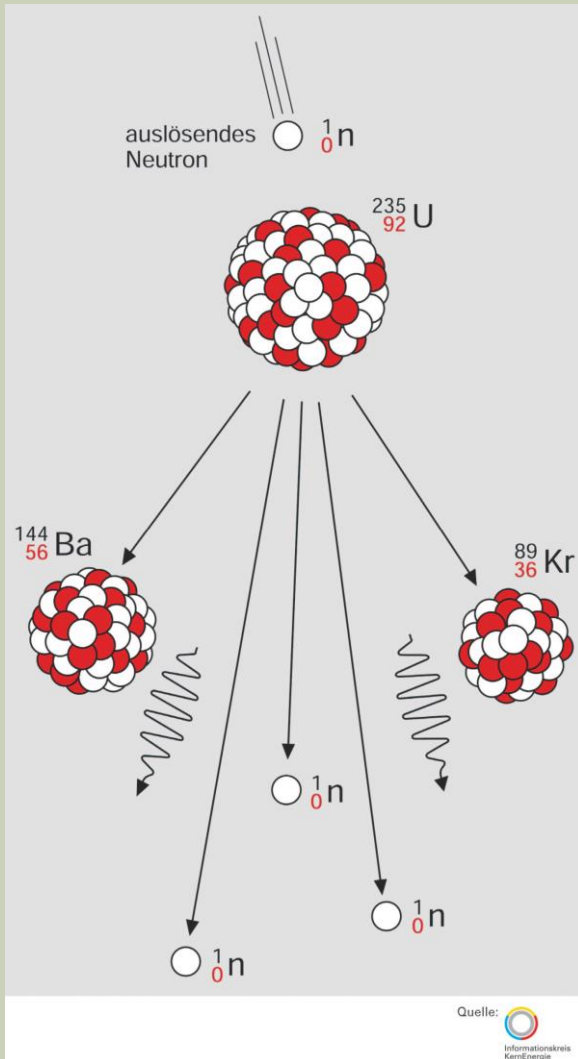
Short-axis SPECT nuclear images

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“



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

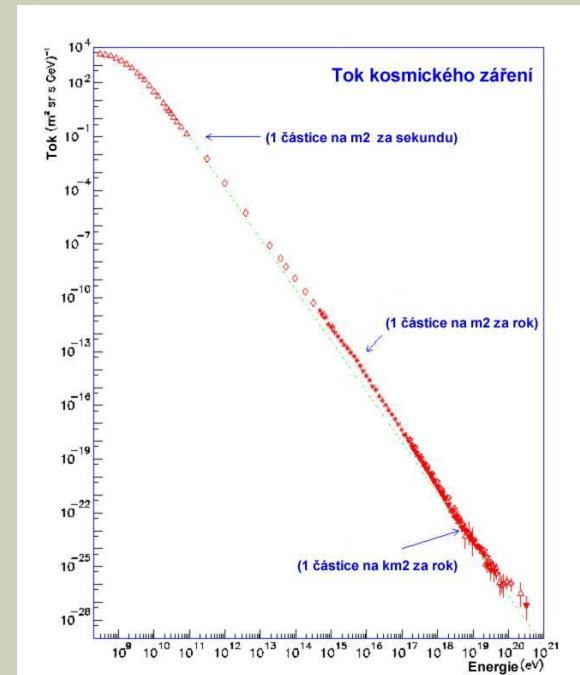
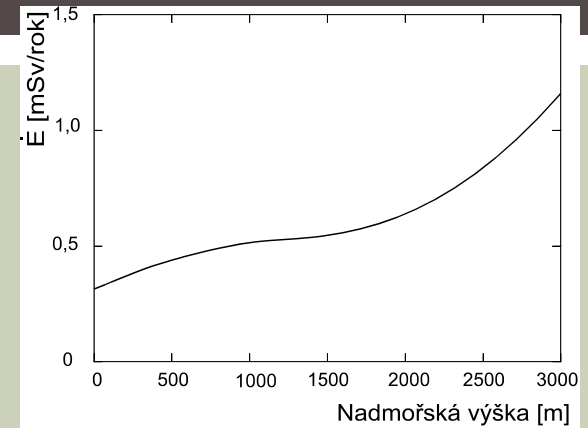
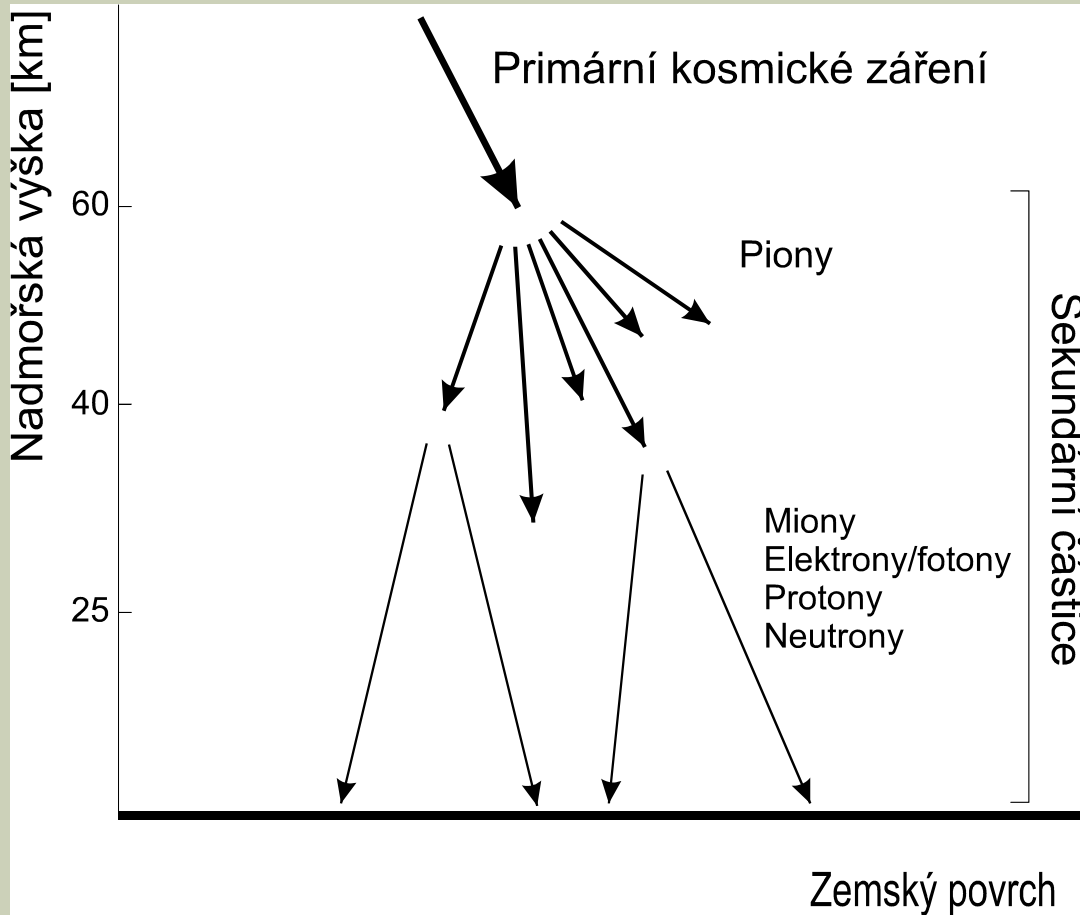
■ Přírodní

- kosmické záření (+indukované např. C-14, H-3, tzv. kosmogenní)
- záření zemské kůry (rozpadové řady)
- primordiální (primární) radionuklidy (od vzniku Země s námi)

■ Umělé

- jaderné reaktory
- urychlovače
- radionuklidové zdroje
- neptuniová rozpadová řada
- pozůstatky zkoušek jaderných zbraní
- pozůstatky jaderných havárií

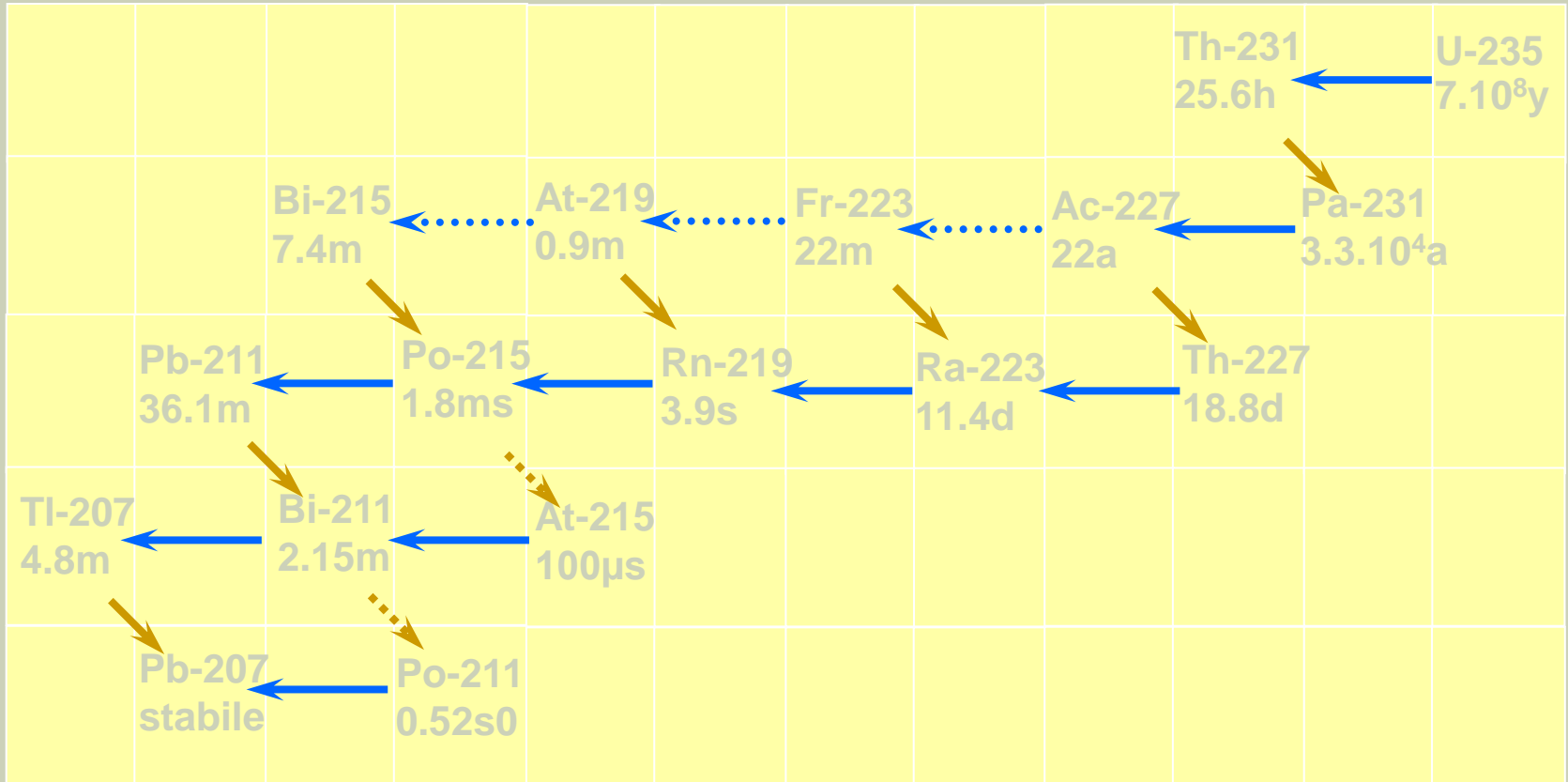
KOSMICKÉ ZÁŘENÍ



URAN-RADIOVÁ ŘADA

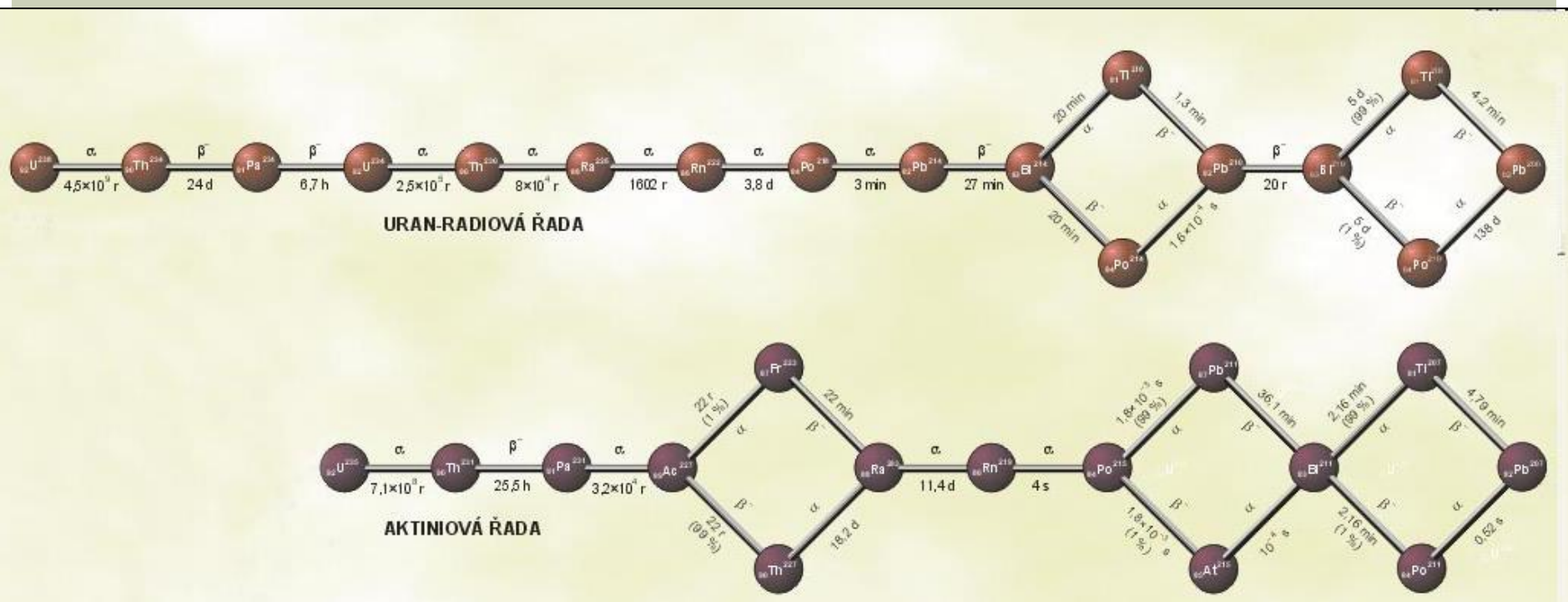
								Th-234 24.1d	←	U-238 4.5.10 ⁹ y
										Pa-234 1.2m
Pb-214 26.8 m	←	Po-216 3.05 m	←	Rn-222 3.82 d	←	Ra-226 1600 y	←	Th-230 7.7.10 ⁴ y	←	U-234 2.5.10 ⁵ y
		Bi-214 19.9 m								
Pb-210 22.3 y	←	Po-214 164 μs								
		Bi-210 5.01 d								
Pb-206 stable	←	Po-210 138d								

URAN-AKTINIOVÁ ŘADA

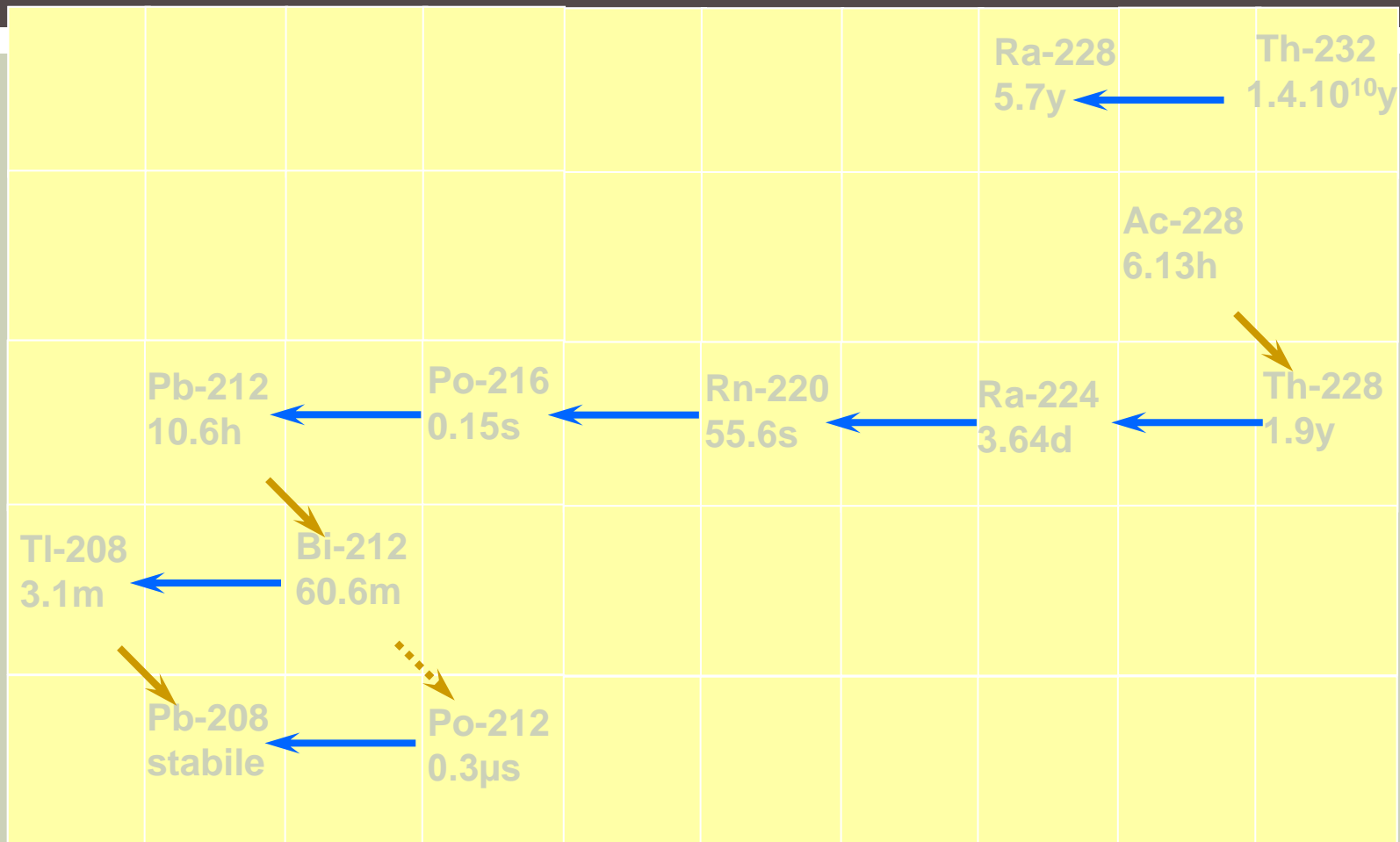


Tl Pb Bi Po At Rn Fr Ra Ac Th Pa U

URANOVÉ ŘADY



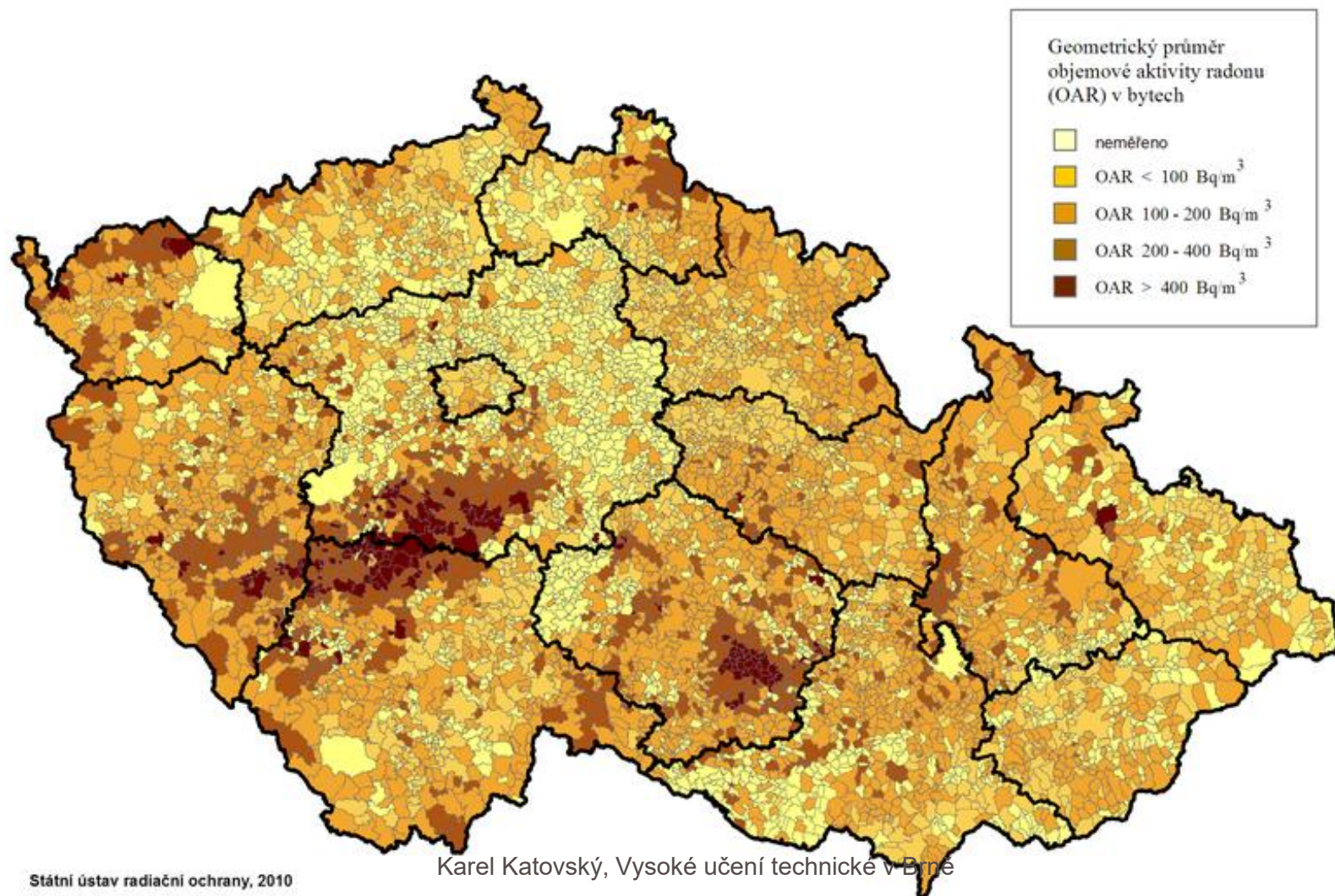
THORIOVÁ ŘADA



TI Pb Bi Po At Rn Fr Ra Ac Th

RADON

Geometrický průměr objemové aktivity radonu (OAR) v obcích České republiky



PRIMORDÁLNÍ (PRIMÁRNÍ) RADIONUKLIDY

Naturally Occurring Primordial Radionuclides

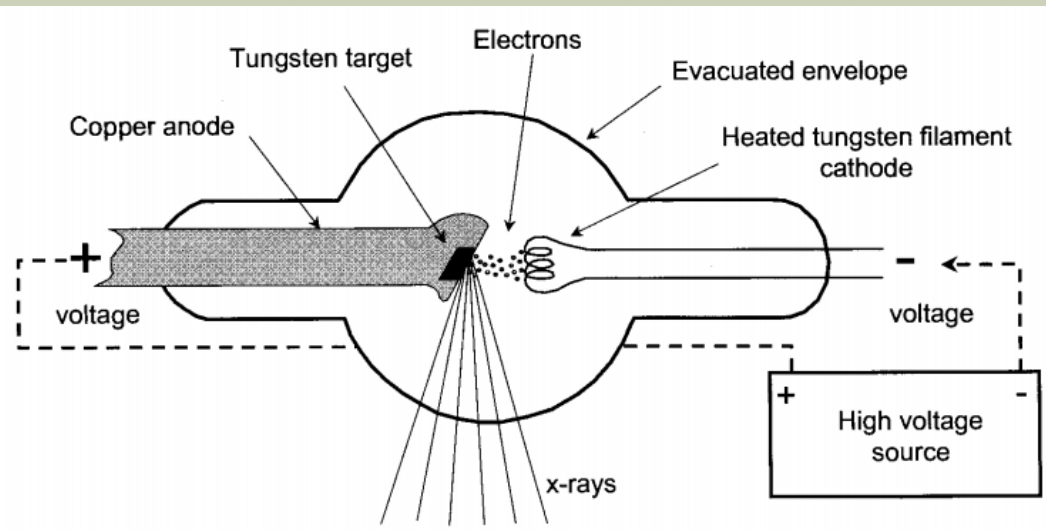
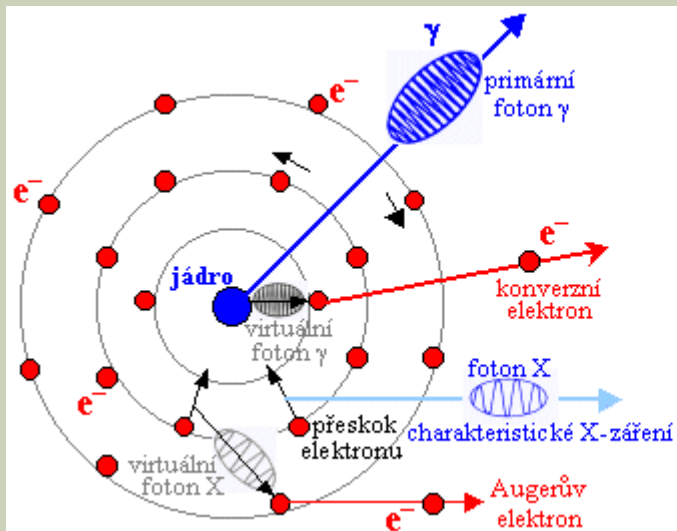
Nuclide	% Abundance	$T_{1/2}$ y	Emissions	Q (MeV)
^{40}K	0.0117	1.27×10^9	β^- , EC, γ	1.505, 1.311
^{50}V	0.25	1.4×10^{17}	β^- , EC, γ	2.208
^{87}Rb	27.25	4.9×10^{10}	β^-	0.283
^{113}Cd	12.22	9.3×10^{15}	β^-	0.316
^{115}In	95.7	4.4×10^{14}	β^-	0.495
^{123}Te	0.91	$> 1.3 \times 10^{13}$	EC	0.052
^{130}Te	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, braking rad.)



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
- různé...

DĚKUJI ZA POZORNOST

