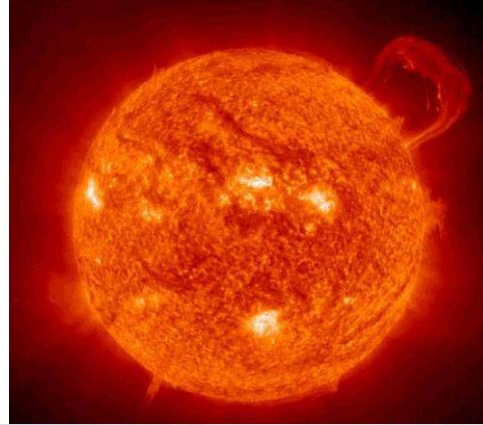
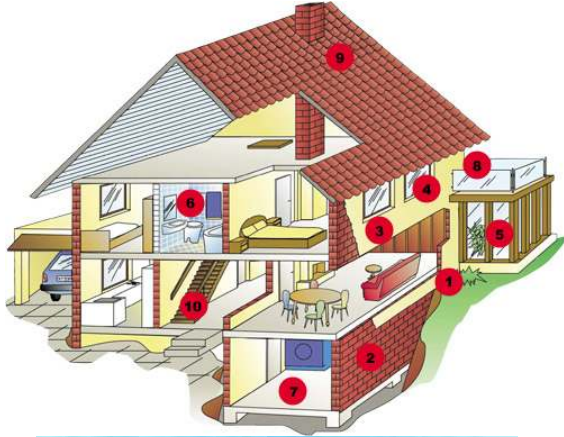
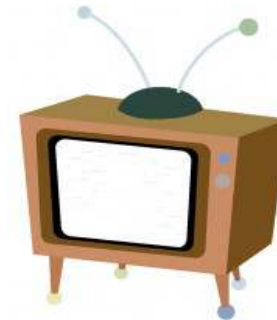


Radioaktivita existuje od počátku vesmíru, radionuklidy jsou v zemi, v nás, v ovzduší, v potravinách, technická civilizace navíc vnáší radiaci uměle připravenou.



Leksellův gama nůž






Co je to radioaktivita?

- Radioaktivita neboli radioaktivní rozpad je samovolná přeměna atomových jader nestabilních nuklidů na jiná jádra, při níž vzniká ionizující záření.
- Radioaktivitu objevil v roce 1896 Henri Becquerel u solí uranu.
- K objasnění podstaty radioaktivity zásadním způsobem přispěli francouzští fyzikové Pierre Curie a Maria Curie-Skłodowska polského původu.

Henri Becquerel

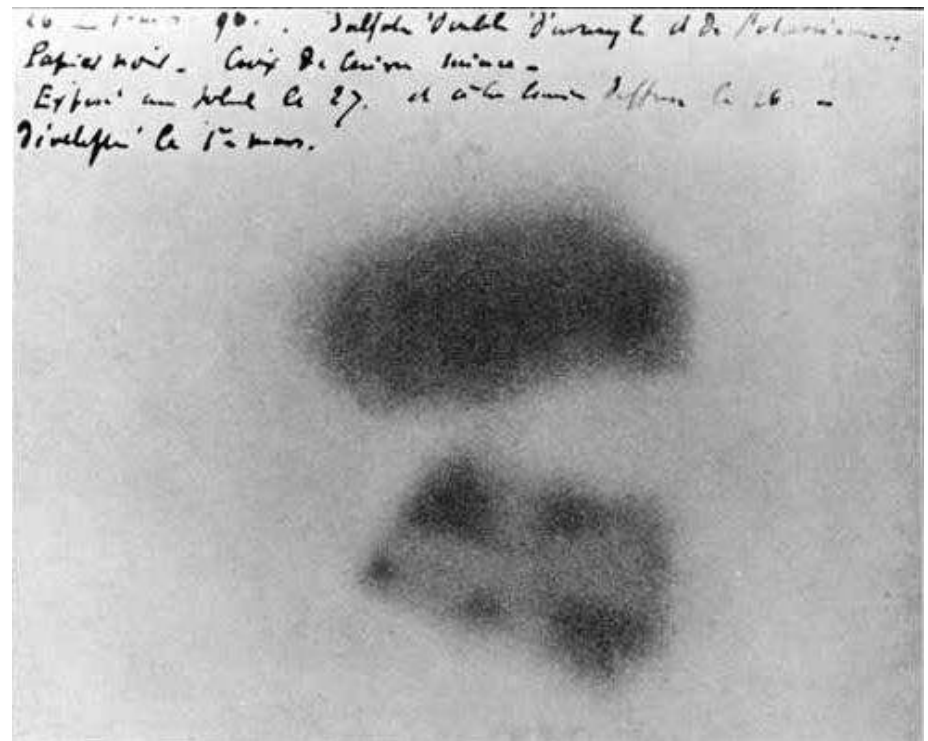
- Francouzský fyzik
- Nositel Nobelovy ceny za fyziku za objev přirozené radioaktivity v roce 1903.
- Radioaktivitu objevil v roce 1893.
- V roce 1896 studoval fluorescenci uranových solí a přitom víceméně náhodou objevil přirozenou radioaktivitu.



- 
- Vložil fluorescenční minerál mezi fotografické desky.
 - Když zkoumal fotografickou desku, která přišla se solemi do styku, zjistil, že na ní došlo k chemickým změnám, ačkoliv nebyla ozářena světlem
 - Z toho usoudil, že soli vyzařují záření jiné než světelné povahy.
 - Studium tohoto nově objeveného záření si následně zvolila za téma disertační práce Marie Curie, žena jeho kolegy Pierre Curie.

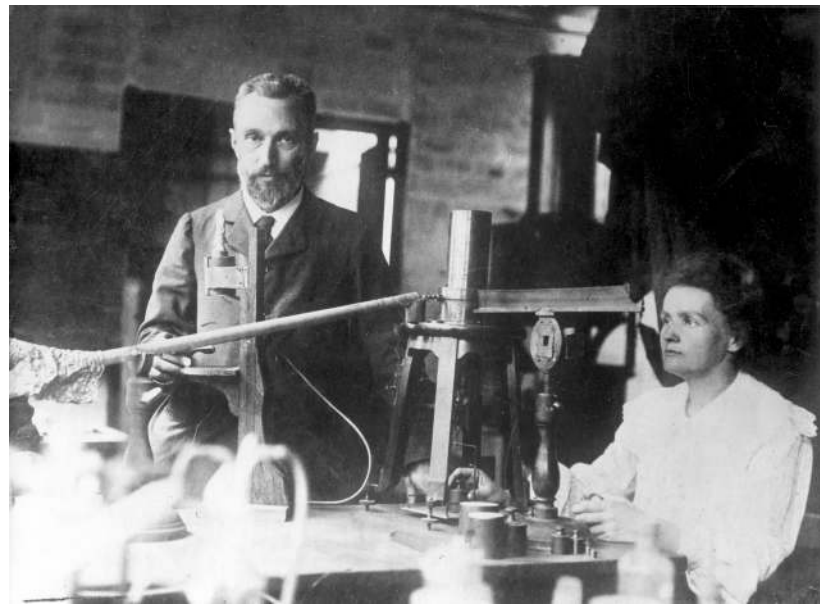
Fotografická deska

- Fotografická deska, která byla vystavena účinkům radioaktivního záření.
- Dole je vidět stín kovového maltézského kříže umístěného mezi deskou a uranovou solí.



Piere Curie a Marie Curie - Sklodowská

- Po několika měsících výzkumu potvrdila Marie, že toto záření je vlastností více chemických prvků.
- Tuto vlastnost nazvala radioaktivitou.
- Manželé Curieovi později objevili ještě prvky polonium a radium.
- V roce 1903 obdrželi všichni tři za tyto objevy Nobelovu cenu za fyziku.



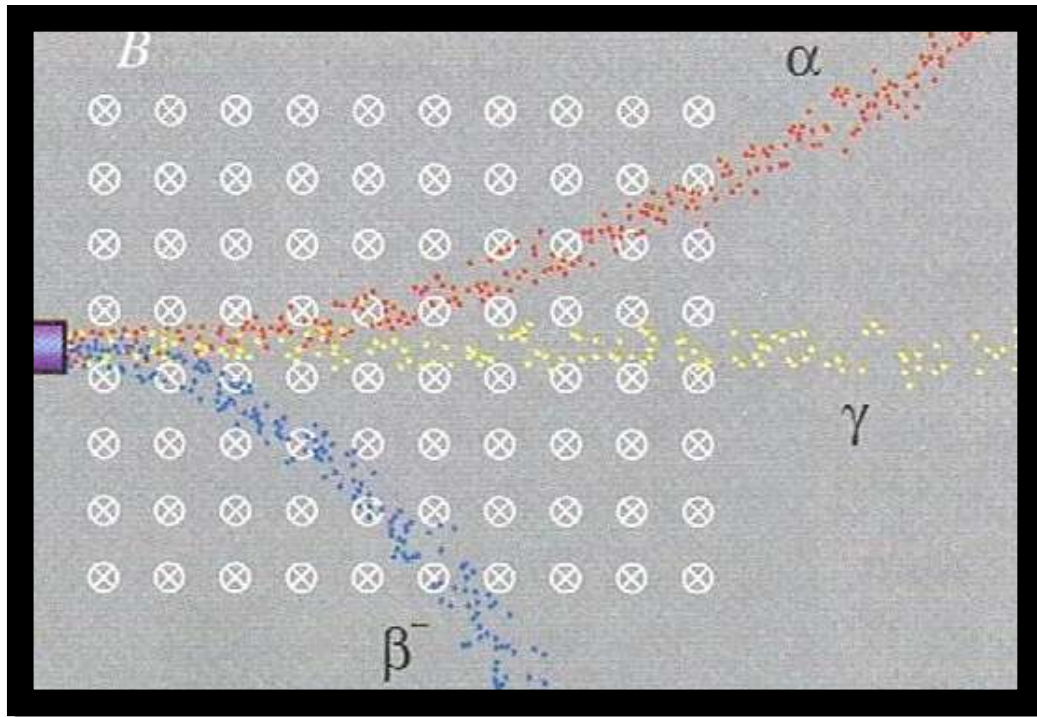
Uraninit

- **Uraninit** - český název **smolinec** je krychlový minerál nazvaný podle prvku, který obsahuje.
- Je nejdůležitější rudou uranu a rádia. Dříve k výrobě uranových barev, jako zdroj rádia na léčebné preparáty. Nyní v energetice na palivové články do jaderných elektráren, vojenství – jaderné hlavice, ochuzený uran jako střelivo. Další užití v lékařství, biologii, metalurgii a v jiných oborech.
- V rudě Jáchymovského smolince objevili roku 1898 Pierre a Marie Curie radium.



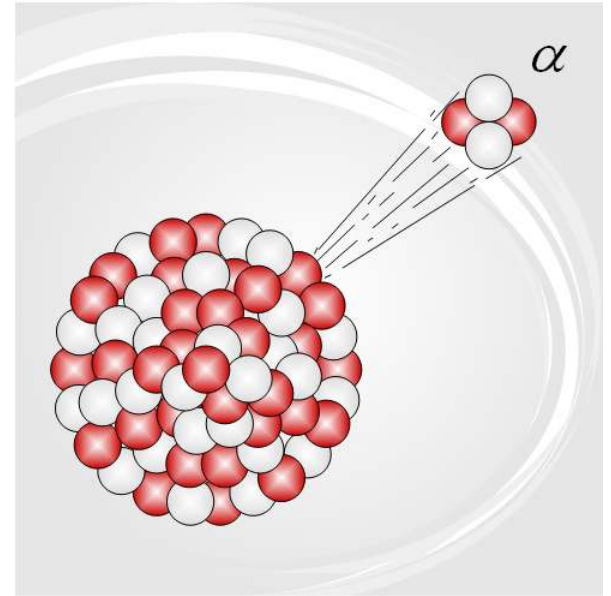
Radioaktivní záření

- Byli to právě Pierre Curie a Marie Curie-Sklodovská, kteří nazvali záření radioaktivním a zjistili, že má tři složky.

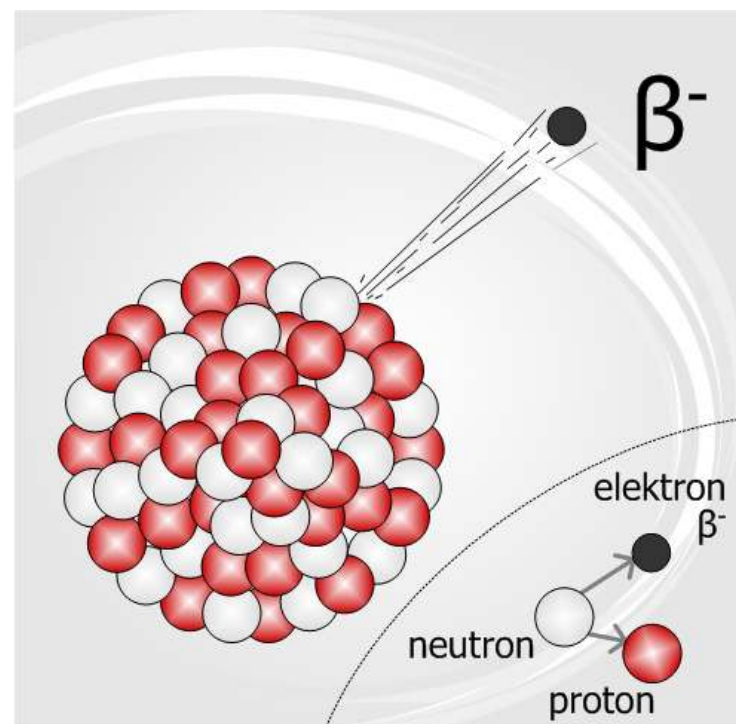


Druhy záření

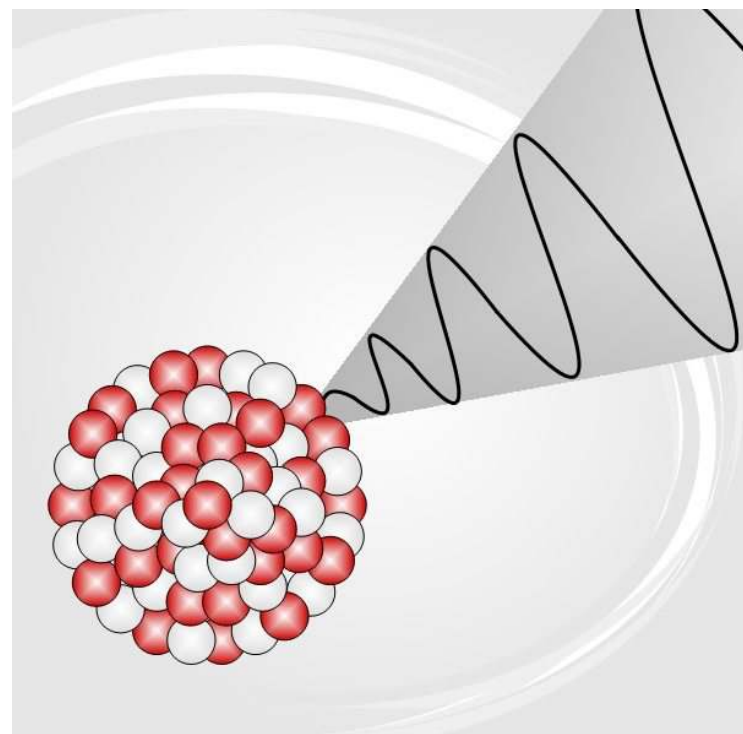
- **Záření ALFA** - Vzhledem k velikosti částic alfa záření jde o nejslabší druh jaderného záření.
- Může být odstíněn i listem papíru.
- Alfa částice se pohybují poměrně pomalu a mají malou pronikavost, ale zato mají silné ionizační účinky na okolí.



- **Záření BETA** - Pohybují se velmi rychle, ale nemohou se pohybovat rychlostí světla, ale pouze nižšími rychlostmi.
- Jejich pronikavost je větší než u alfa částic, mohou pronikat materiály s nízkou hustotou nebo malou tloušťkou.
- K jejich zastavení stačí vrstva vzduchu silná 1 m nebo kovu



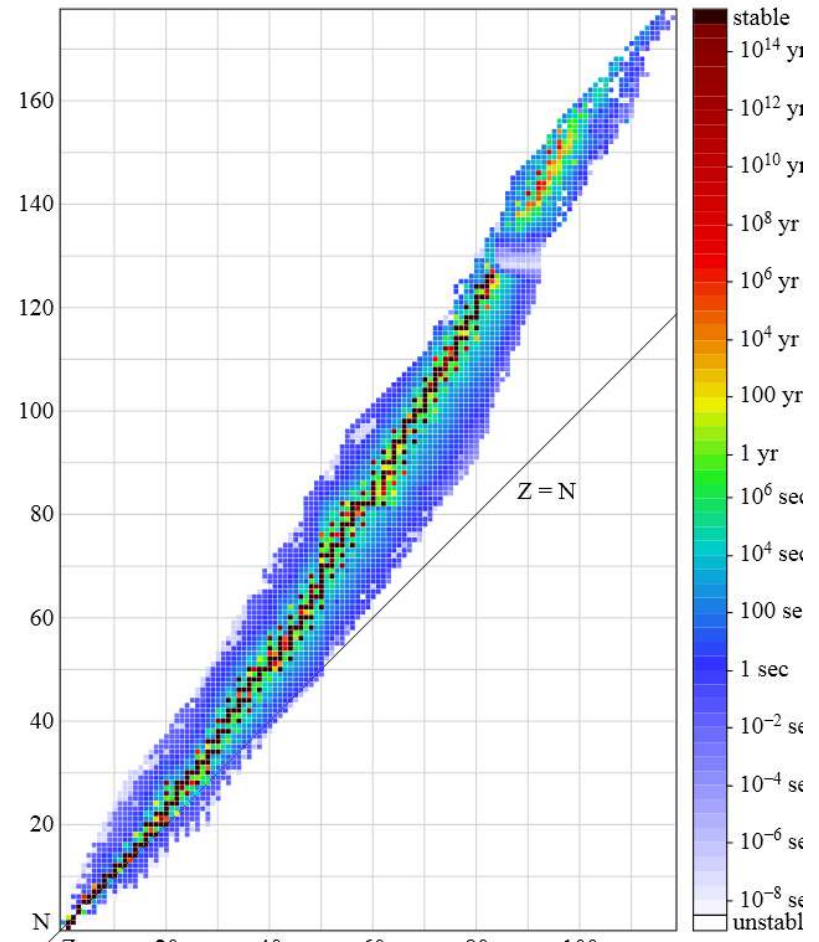
- **Záření GAMA** - je vysoce energetické elektromagnetické záření vznikající při radioaktivních a jiných jaderných dějích.
- Záření gama je druh ionizujícího záření. Do materiálů proniká lépe než záření alfa nebo záření beta, ale je méně ionizující.
- Gama záření často vzniká spolu s alfa či beta zářením při radioaktivním rozpadu jader.



- I když je záření gama méně ionizující než α i β , je pro živé organismy včetně člověka nebezpečné. Způsobuje podobná poškození jako rentgenové záření: popáleniny, rakovinu a genové mutace. Proto je nutno se před jeho účinky chránit.
- Na pohlcení záření γ je třeba velké masy materiálu.
- Například záření γ , jehož intenzitu 1 cm olova zredukuje na 50 %, bude mít poloviční intenzitu také po průchodu 6 cm betonu.

Poločas přeměny

- Je doba, za kterou se přemění polovina původního počtu radioaktivních jader.
- Má hodnotu od zlomku sekundy až po milióny let.



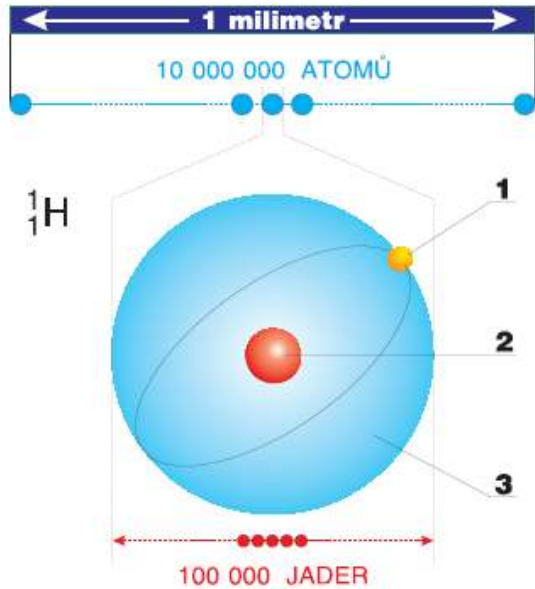
Výstražné symboly



- Mezinárodní výstražný symbol, označující radioaktivní materiál.

- Nový doplňkový výstražný symbol ionizujícího záření schválený v roce 2007.
- Klasický žluto-černý symbol radioaktivity nahrazuje jen v určitých případech.

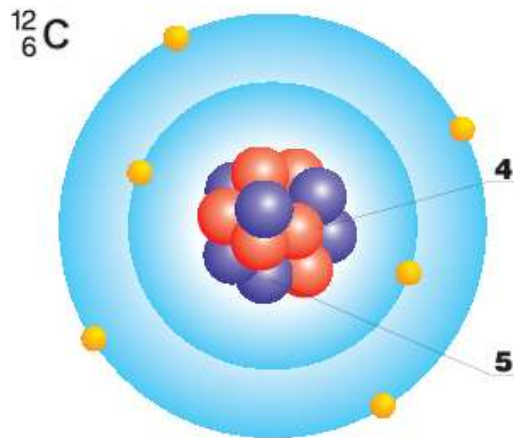
Stavba atomu a vysvětlení velikosti



ATOM VODÍKU

1. ELEKTRON
2. JÁDRO ATOMU
3. ELEKTRONOVÝ OBAL

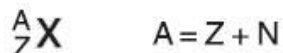
$$A = 1$$
$$Z = 1$$
$$N = 0$$



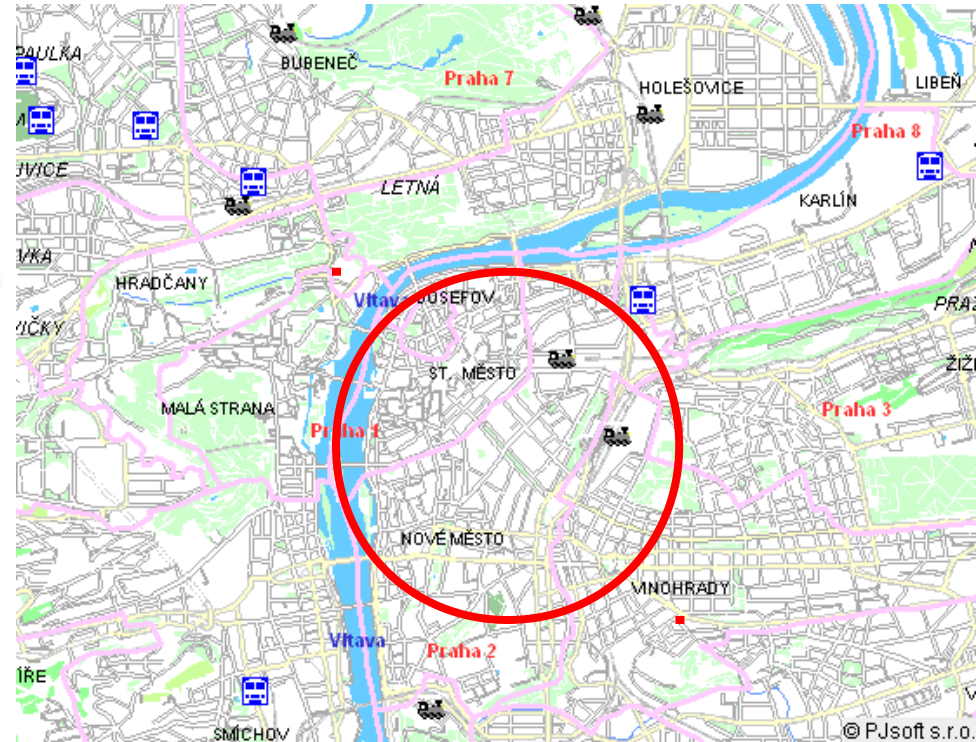
ATOM UHLÍKU

4. PROTON
5. NEUTRON

$$A = 12$$
$$Z = 6$$
$$N = 6$$



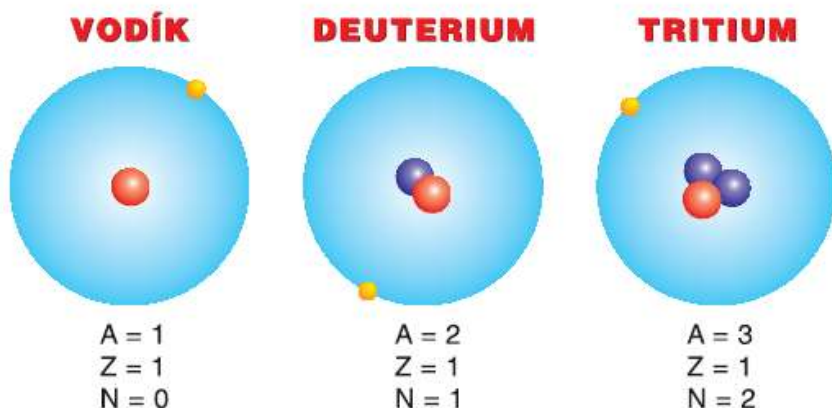
A = HMOTNOSTNÍ ČÍSLO
Z = PROTONOVÉ ČÍSLO
N = NEUTRONOVÉ ČÍSLO



Kdyby bylo atomové jádro velké jako pingpongový míček uprostřed Václavského náměstí, jeho elektronový obal by se koupal ve Vltavě.

Vysvětlení, co je to izotop

Izotopy vodíku



- Izotopy jednoho prvku jsou atomy se stejným počtem protonů a různým počtem neutronů v jádře.
- Většina prvků má několik izotopů. Mohou být přírodní i uměle vyrobené.
- Izotopy jednoho prvku mají stejné chemické vlastnosti, ale různé fyzikální vlastnosti.

Izotopy uhlíku



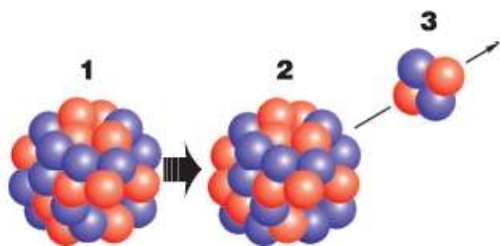
- Některé izotopy jsou nestabilní, samovolně se přeměňují a uvolňují přitom ionizující (radioaktivní) záření. Říká se jim **radioizotopy**.

Izotopy uranu

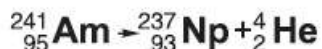
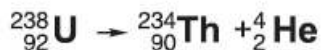


- 95 % známých druhů atomů (izotopů) je radioaktivních

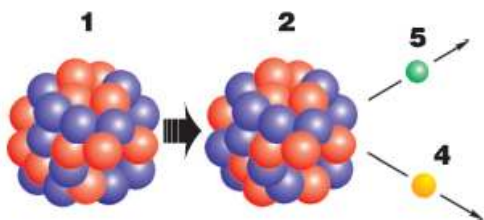
Některé atomy (přírodní i umělé) nejsou stabilní, samovolně se přeměňují na jiné atomy a vyzařují při tom záření.



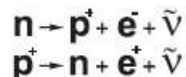
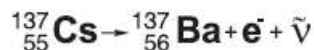
PŘEMĚNA ALFA



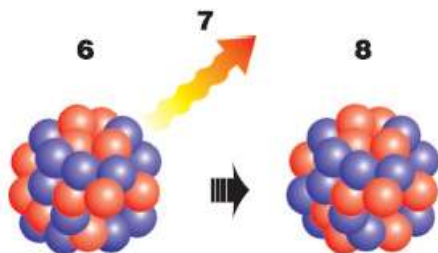
Nestabilní jádro se přemění na jiné a na jádro helia. Zářiče alfa jsou např. ${}^{235}\text{U}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{234}\text{U}$, ${}^{241}\text{Am}$, ${}^{222}\text{Rn}$, ${}^{226}\text{Ra}$



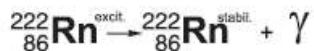
PŘEMĚNA BETA



V jádře atomu se přemění neutron na proton za současného vyzaření elektronu a antineutrína. Zářičem beta minus je např. tritium, ${}^{40}\text{K}$, ${}^{234}\text{Th}$, ${}^{210}\text{Pb}$. Zářičem beta plus (vyzaření pozitronu -antielektronu) je např. ${}^{52}\text{Mn}$, ${}^{11}\text{C}$.



PŘEMĚNA GAMA



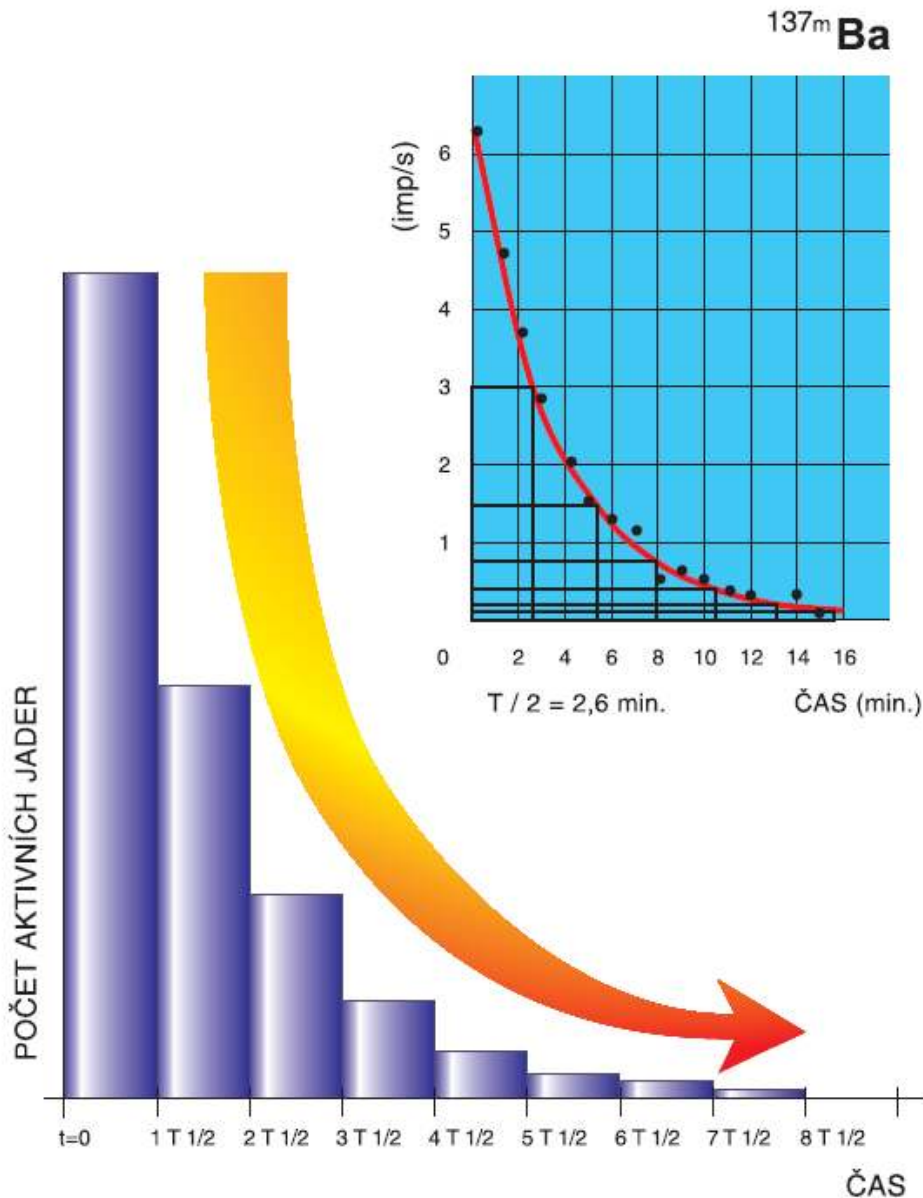
Nestabilní, excitované jádro přechází do stavu s nižší energií vyzařením fotonu - kvanta elektromagnetické energie. Částice gama je elektromagnetické vlnění s velmi krátkou vlnovou délkou.

1. MATEŘSKÉ JÁDRO
2. DCEŘINÉ JÁDRO
3. α ČÁSTICE

4. ELEKTRON (β^-)
5. ANTINEUTRINO ($\bar{\nu}$)
6. EXCITOVANÉ JÁDRO

7. γ ZÁŘENÍ (fotony)
8. STABILIZOVANÉ JÁDRO

Radioaktivita ubývá s časem. Každý radionuklid má charakteristickou konstantu - poločas přeměny.



Ionizující záření není závislé na změnách teploty, tlaku, ani na chemických reakcích radionuklidů. **Ubývá** však s časem.

Poločas přeměny je doba, za kterou se přemění právě polovina všech radioaktivních jader přítomných na začátku děje. Za další poločas přeměny se pak rozpadne opět polovina (tj. zbývá 1/4 původních jader) atd.

Jaderná přeměna je statistický děj a její pravděpodobnost je stejně veliká pro všechny stejně velké časové intervaly.

Za dobu odpovídající 10 poločasům přeměny klesne aktivita na tisícinu původní hodnoty. Za tuto dobu radioizotop prakticky zanikne (vymře). Přeměněné atomy ovšem nezmizí - staly se z nich atomy dceřiného prvku.

Poločasy přeměn se pohybují od zlomků sekundy do milionů let.

Kde se bere radioaktivita

- Kosmogenní radionuklidy
 - Tritium ^3H (poločas 12,5 let)
 - Uhlík ^{14}C (poločas 5730 let)
- Radionuklidy primární
 - Draslík ^{40}K (koncentrace $3 \cdot 10^{-3} \%$, poločas $1,26 \cdot 10^9$ let)
 - Thorium ^{232}Th (koncentrace $8-12 \cdot 10^{-6} \%$, poločas $1,4 \cdot 10^{10}$ let)
 - Uran ^{238}U (konc. $2-4 \cdot 10^{-6} \%$, poločas $4,5 \cdot 10^9$ let) , ^{235}U ($7 \cdot 10^8$ let)
- Radionuklidy sekundární
 - Radionuklidy rozpadových řad - thoriová, uranová, aktinouranová

Ale kde se tu vzaly ty primární?

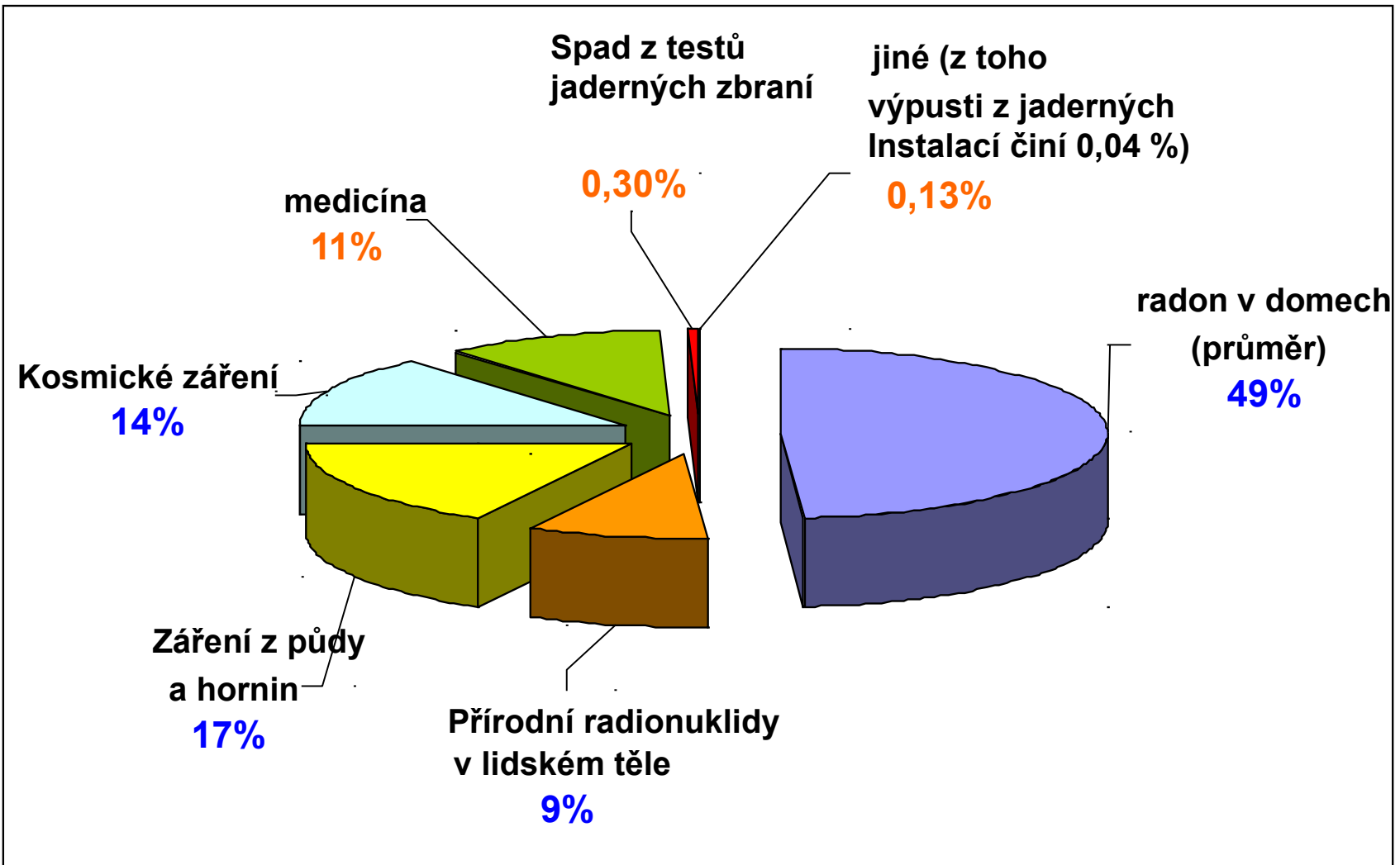
Z výbuchů supernov před miliardami let ve vesmíru.

Veličiny a jednotky

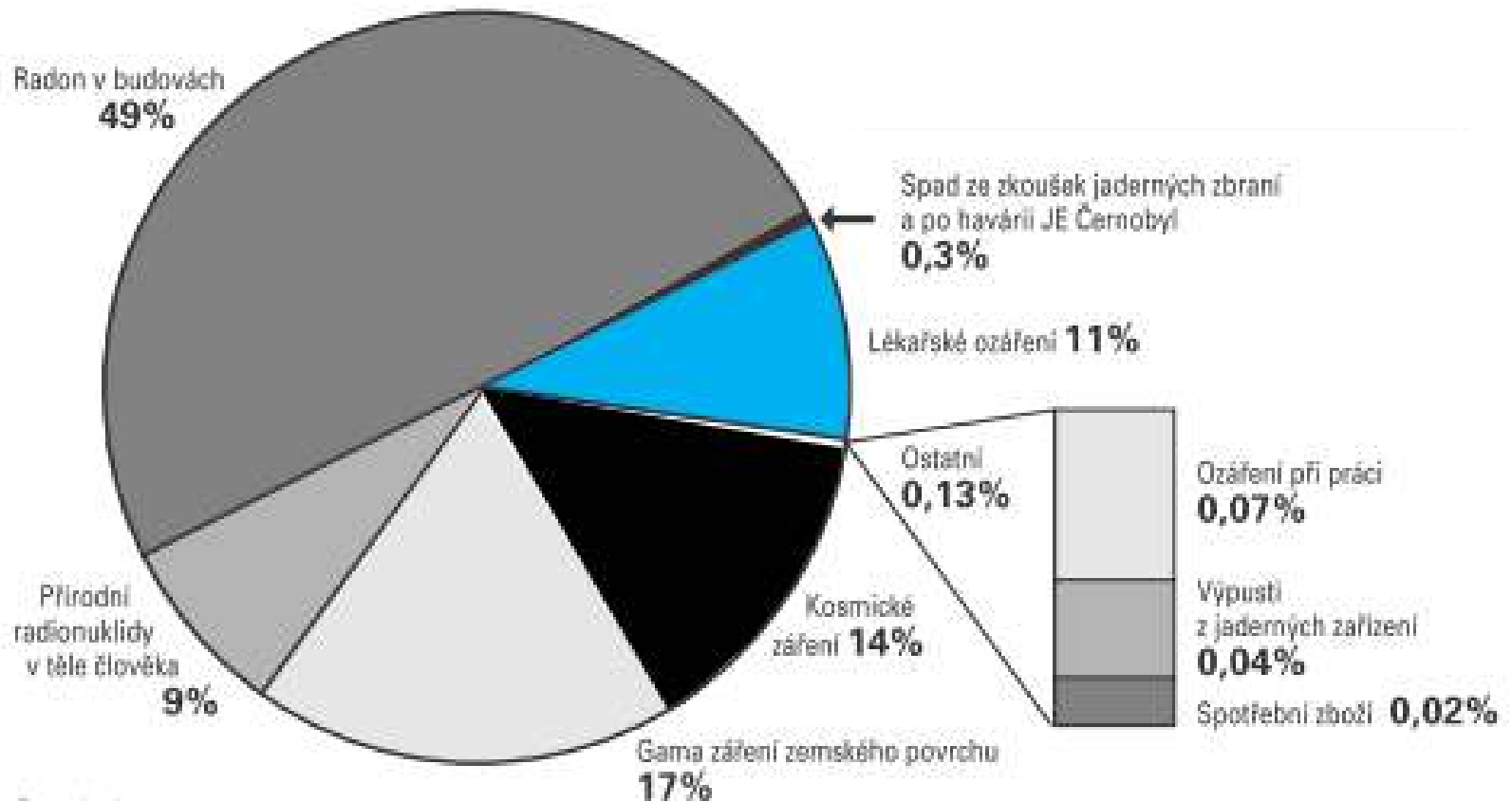
- **Aktivita** - počet jaderných přeměn za jednotku času. Jednotkou je **becquerel (Bq)**.
- **Dávka** – množství energie předané jednotce hmotnosti prostředí. Jednotkou je **gray (Gy)**.
(Přirovnání: absorbovaná dávka 10 Gy způsobí akutní nemoc z ozáření. Pro muže o hmotnosti 80 kg to představuje energii 800 J. Sklenice vody o objemu 3 dcl se touto energií ohřeje o 0,6 stupně C.)
- **Dávkový ekvivalent** – zohledňuje to, že různé druhy záření mají při shodné dávce různý vliv na živou tkáň. Jednotkou je **sievert (Sv)**.
- **Příkon dávkového ekvivalentu** – působení záření v čase (**Sv/h**)

Přirovnání: hrubým odhadem lze říci, že materiál s aktivitou 300 Bq/l nás ozáří dávkovým ekvivalentem 10 μ Sv (záleží na druhu záření).

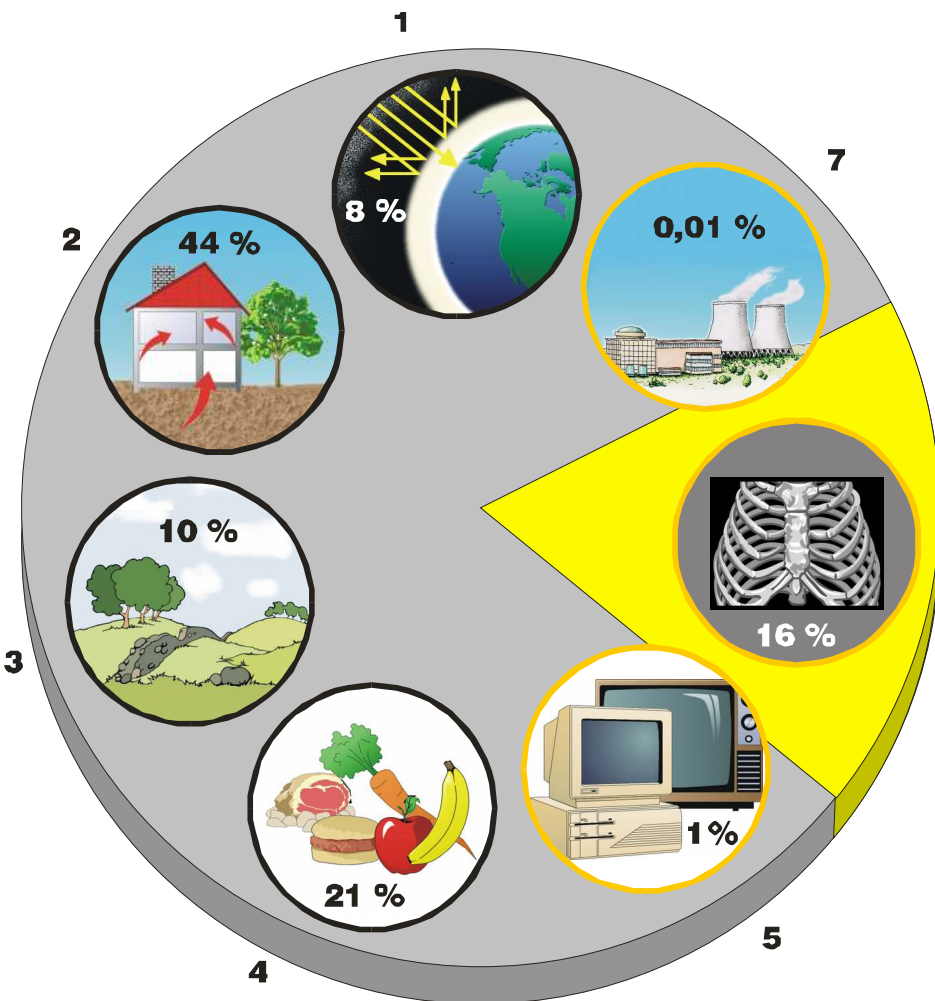
Rozdělení zdrojů ozáření pro průměrného obyvatele světa (Zdroj: UNSCEAR, IAEA)



Rozdělení zdrojů ozáření pro průměrného obyvatele světa (Zdroj: UNSCEAR, IAEA)



Přibližné podíly přírodního a „umělého“ ozáření průměrného lidského jedince.



Přírodní zdroje:

1. **Kosmické záření** - ze Slunce a z hlubin vesmíru. Některé složky vznikají v atmosféře Země srážkami s primárním kosmickým zářením. Dávka od kosmického záření roste s nadmořskou výškou.

2. Rozpadem radia v zemské kůře vzniká radioaktivní plyn **radon**, který z podloží proniká do domů nebo do pitné vody. Radon je zářičem alfa, záření tedy není nebezpečné pro povrch našeho těla. Nebezpečné je vdechování tohoto plynu, neboť dceřiné produkty vzniklé přeměnou radonu se mohou usadit v plicích a způsobit tak ozáření nechráněné plicní tkáně.

3. **Zemská kůra** obsahuje přírodní radioaktivní prvky, nejčastěji uran, thorium, radium.

4. Významným přírodním radioizotopem je **izotop draslíku ^{40}K** . Obsahují ho takřka všechny potraviny i naše vlastní tělo. Přírodní radionuklidy obsahuje i vzduch a voda.

Umělé zdroje:

5. Televizní nebo počítačové obrazovky, svítící ciferníky hodinek a přístrojů, **průmyslové zářiče** používané v defektoskopii, ke sterilizaci nebo ve výzkumu.

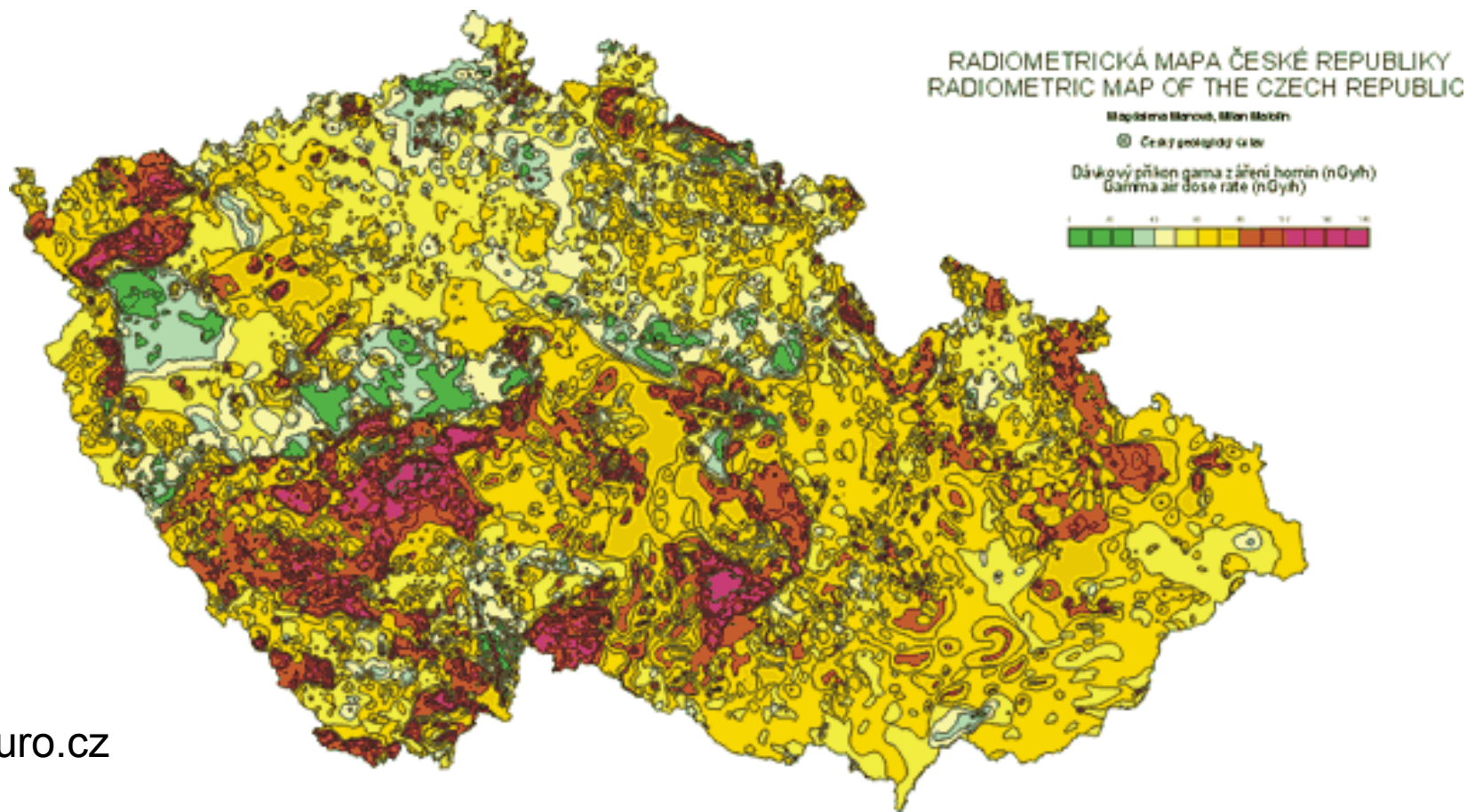
6. Z umělých zdrojů záření představují největší podíl **lékařské aplikace** - použití záření a radionuklidů při vyšetření nebo při léčení např. rakoviny.

7. Jaderné elektrárny, výroby paliva, přepracovací závody a úložiště jaderného odpadu přispívají k celkovému průměrnému ozáření asi setinou procenta.

Pozn.: pokus o rekonstrukci pravděpodobného rozložení v ČR, trochu se liší od údajů UNCSER na předchozím slajdu, které průměrují celý svět. Pro sjednocení doporučuji používat UNSCEAR.

Přírodní radiační pozadí v různých částech světa se liší

Čechy	- cca 3 mSv/rok
Irán (Ramsar)	- až 400 mSv/rok
Indie (Kerala)	- až 17 mSv/rok
Brazílie (Guarapari)	- až 175 mSv/rok



Radionuklid	Přeměna	Poločas přeměny	Energie vyletujících částic (v MeV)
${}^3_1\text{H}$	β^-	1,23 roku	0,018
${}^{14}_6\text{C}$	β^-	5730 let	0,155
${}^{40}_{19}\text{K}$	β^-	$1,3 \cdot 10^9$ let	1,3
${}^{210}_{84}\text{Po}$	α	138 dní	5,3
${}^{222}_{86}\text{Rn}$	α	3,8 dne	5,5
${}^{226}_{88}\text{Ra}$	α	1620 let	4,8
${}^{232}_{90}\text{Th}$	α	$1,4 \cdot 10^{10}$ let	4,0
${}^{235}_{92}\text{U}$	α	$7,1 \cdot 10^8$ let	4,4
${}^{237}_{92}\text{U}$	α	$4,5 \cdot 10^9$ let	4,2

Prapůvodní (primordiální) radionuklidy

nuklid	symbol	poločas	Přírodní aktivita
Uran 235	^{235}U	$7,04 \times 10^8$ let	0,72 % ze všeho přírodního uranu
Uran 238	^{238}U	$4,47 \times 10^9$ let	99,3 % ze všeho přírodního uranu, v běžné hornině 0,5 až 4,7 ppm
Thorium 232	^{232}Th	$1,41 \times 10^{10}$ let	1,6 až 20 ppm v běžné hornině, průměrně v zemské kůře 10,7 ppm
Radium 226	^{226}Ra	$1,6 \times 10^3$ let	16 Bq/kg ve vápenci a 48 Bq/kg ve vyvřelých horninách
Radon 222	^{222}Rn	3,82 dne	Průměrná koncentrace ve vzduchu v USA 0,6 až 28 Bq/m ³
Draslík 40	^{40}K	$1,28 \times 10^9$ let	0,037 až 1,1 Bq/g v půdě

Kosmické záření

- primární - při průchodu atmosférou se pohlcuje, ubývá
- sekundární - vzniká interakcemi v atmosféře tvoří se elektron-pozitronové páry, ty ztrácejí energii srážkami, vzniká záření gama, děj se opakuje.
- na povrch atmosféry dopadají desetitisíce částic/m² každou sekundu
- na povrch Země dopadá 180 částic/m² každou sekundu
- ve výšce 4 500 m. n. m. je jich 2,5 x více
- Druhy záření: ze Slunce protony (90%), alfa částice, z galaxie protony, miony, těžší jádra (Fe, S, Al...)
- tvrdá složka - rychlé protony, heliony (alfa), těžká jádra
- měkká složka - elektrony (beta), fotony (gama)

Přirovnání: bydlet jeden rok v Dukovanech u skladu použitého jaderného paliva znamená stejné zvýšení dávkového ekvivalentu jako přestěhovat se v domě o patro výše.

Kosmogenní radionuklidy (vzniklé působením kosmického záření)

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

Podíl kosmogenních radionuklidů na dávce je zanedbatelný (celosvětový průměr - odhad 0,01 mSv/rok).

Radionuklidy produkované lidmi

nuklid	symbol	poločas	zdroj
Tritium	^3H	12.3 let	Testy jaderných zbraní, výpusti z jaderných zařízení a průmyslových podniků
Iod 131	^{131}I	8.04 dní	Testy jaderných zbraní, výpusti z jaderných zařízení, používá se v medicíně
Iod 129	^{129}I	1.57×10^7 let	Testy jaderných zbraní, výpusti z jaderných zařízení
Cesium 137	^{137}Cs	30.17 let	Testy jaderných zbraní, výpusti z jaderných zařízení
Strontium 90	^{90}Sr	28.78 let	Testy jaderných zbraní, výpusti z jaderných zařízení
Technetium 99	^{99}Tc	2.11×10^5 let	Používá se v medicíně
Plutonium 239	^{239}Pu	2.41×10^4 let	Vzniká z ^{238}U působením neutronů
			($^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + \beta \rightarrow ^{239}\text{Pu} + \beta$)

Radioaktivita některých materiálů

1 dospělý člověk (100 Bq/kg)	7000 Bq
1 kg kávy	1000 Bq
1 kg superfosfátového hnojiva	5000 Bq
Vzduch v průměrném domě (100 m ²) v Austrálii (radon)	3000 Bq
Vzduch v průměrném domě (100 m ²) v Evropě (radon)	až 30 000 Bq
1 domácí požární detektor kouře (obsahuje americium)	30 000 Bq
Radioisotopový zářič pro lékařskou diagnostiku (příklad)	70 millionů Bq
Radioisotopový zářič pro lékařskou terapii (příklad)	100 000 000 millionů Bq (100 TBq)
1 kg vitrifikovaných vysokoaktivních odpadů po 50 letech	10 000 000 millionů Bq (10 TBq)
1 luminiscenční světelné znamení „Exit“ (obsahuje tritium)	1 000 000 millionů Bq (1 TBq)
1 kg uranu	25 millionů Bq
1 kg uranové rudy (naleziště Kanada, 15 %)	25 millionů Bq
1 kg uranové rudy (naleziště Austrálie, 0.3 %)	500 000 Bq
1 kg nízkoaktivních jaderných odpadů (příklad)	1 millionů Bq
1 kg uhelného popílku	2000 Bq
1 kg granitu (žuly)	1000 Bq

Aktinoidy

- **Aktinoidy** jsou (dle IUPAC, 2005) skupinou 15 chem. prvků počínajících aktiniem s protonovými čísly 89 – 103.
- Jsou to stříbrolesklé kovy, na vzduchu se pokrývají oxidy.
- Všechny aktinoidy jsou radioaktivní, obvyklé je větší množství izotopů s různými poločasy rozpadu
- Prvky ležící v periodické tabulce za uranem nazýváme **transurany**, v přírodě se prakticky nevyskytují, jsou připravovány uměle.
- Důležitou rudou uranu je uraninit, thorium přítomno např. v monazitech



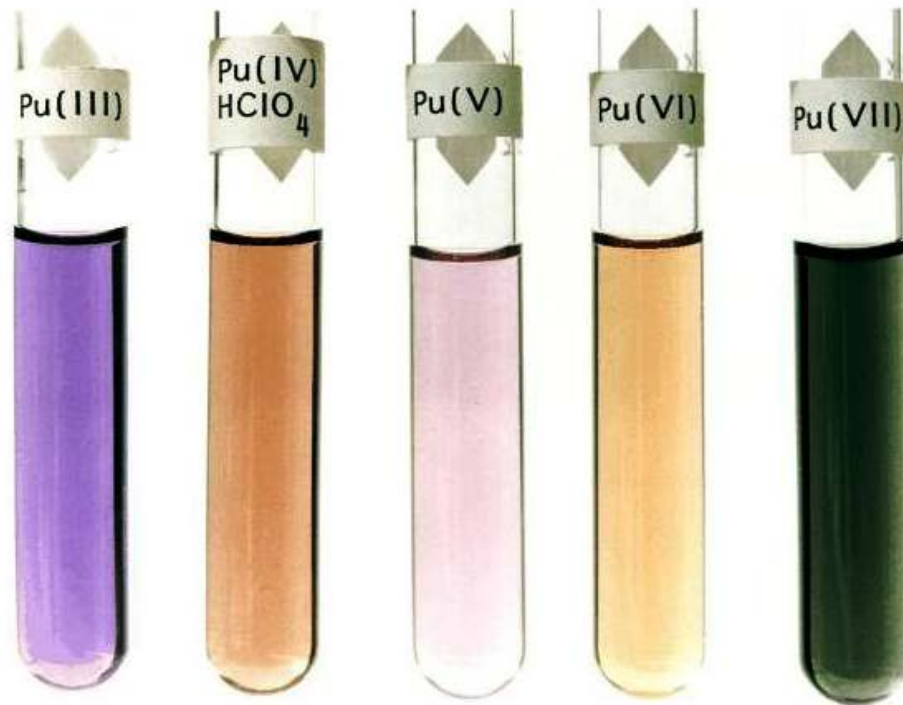
Kovové thorium [1]

Aktinium	Ac
Thorium	Th
Protaktinium	Pa
Uran	U
Neptunium	Np
Plutonium	Pu
Americium	Am
Curium	Cm
Berkelium	Bk
Kalifornium	Cf
Einsteinium	Es
Fermium	Fm
Mendelevium	Md
Nobelium	No
Lawrencium	Lr

Aktinoidy [2]

Sloučeniny aktinoidů

- **Thorium** tvoří stabilní sloučeniny v ox. čísle **IV**
- **Uran** se ve sloučeninách vyskytuje s ox. číslem **III, IV, V, VI** (zejm. **IV a VI**)
- **Plutonium** se vyskytuje v ox. stavech od II do VII, **stabilní zejm. IV, II a VII** málo stabilní



Sloučeniny plutonia v různých oxidačních stavech [2]

Sloučeniny a vlastnosti aktinoidů

- **Thorium** je stříbrolesklý kov, na vzduchu se pokrývá vrstvou šedého oxidu. Je slabě radioaktivní (α rozpad), v přírodě se vyskytuje jako ^{232}Th s poločasem rozpadu 14 mld. let

Oxid thoričitý – bílý krystalický prášek, nerozpustný ve vodě

- **Uran** - stříbrolesklý kov, na vzduchu se pokrývá oxidy, v přírodě jsou nejběžnější izotopy ^{238}U a ^{235}U (^{235}U zastoupen 0,714 %)

Oxid uraničitý - hnědočerný, používá se jako palivo v jaderné energetice

Fluorid uranový - UF_6 bezbarvý, teplota tání 64 °C, těkavý

- **Plutonium** – stříbřitý radioaktivní kov, je silně toxické na vzduchu se pokrývá tmavými oxidy, Pu je uměle vyráběno v jad. reaktorech z ^{238}U , více izotopů

Oxid plutoničitý – žlutohnědý až zelený, nerozpustný ve vodě, toxický



Čisté ^{239}Pu [2]

Peleta $^{238}\text{PuO}_2$ rozžhavená
teplem vznikajícím při
radiokativních rozpadech[2]



Příklady využití

- Chemické uplatnění aktinoidů v technické praxi není s výjimkou některých sloučenin uranu a thoria velké.
- Aktinoidy a jejich sloučeniny nacházejí uplatnění v jaderném inženýrství a energetice, medicíně a dalších oborech vědy a techniky.

Obohacený **uran** se v podobě peletek UO_2 používá jako palivo v lehkovodních jaderných reaktorech. Při obohacování je zvýšen podíl ^{235}U z původních 0,714 na 3–5 %. Pro výrobu jader. zbraní je obohacení >80%.

Sloučeniny **uranu** se využívají také při barvení skla, v analytické chemii aj.



Peletky UO_2 – jaderné palivo [2]



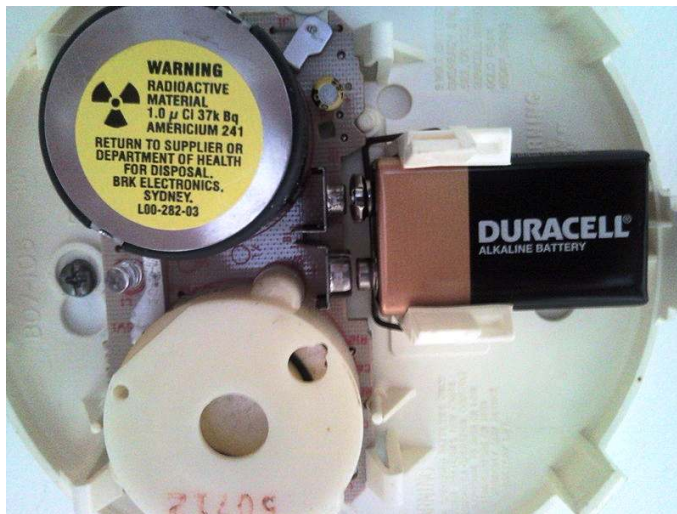
Uranem barvené sklo pod UV zářením [2]

Příklady využití

Thorium může být využito pro produkci ^{233}U , který slouží jako palivo v jaderné energetice. Slitina thoria s hořčíkem se využívá pro konstrukci součástí leteckých motorů, oxid thoričitý se používá např. pro výrobu tavících kelímků a jako katalyzátor.

Plutonium – ^{239}Pu se používá pro výrobu jaderných zbraní, směs $^{239}\text{PuO}_2$ a $^{238}\text{UO}_2$ se používá jako palivo v jad. elektrárnách (MOX palivo), ^{238}Pu se používá v termoelektrických generátorech – zdroj elektřiny pro kardiostimulátory apod.

Americium – měřicí přístroje, medicína, $^{241}\text{AmO}_2$ se používá v detektorech kouře

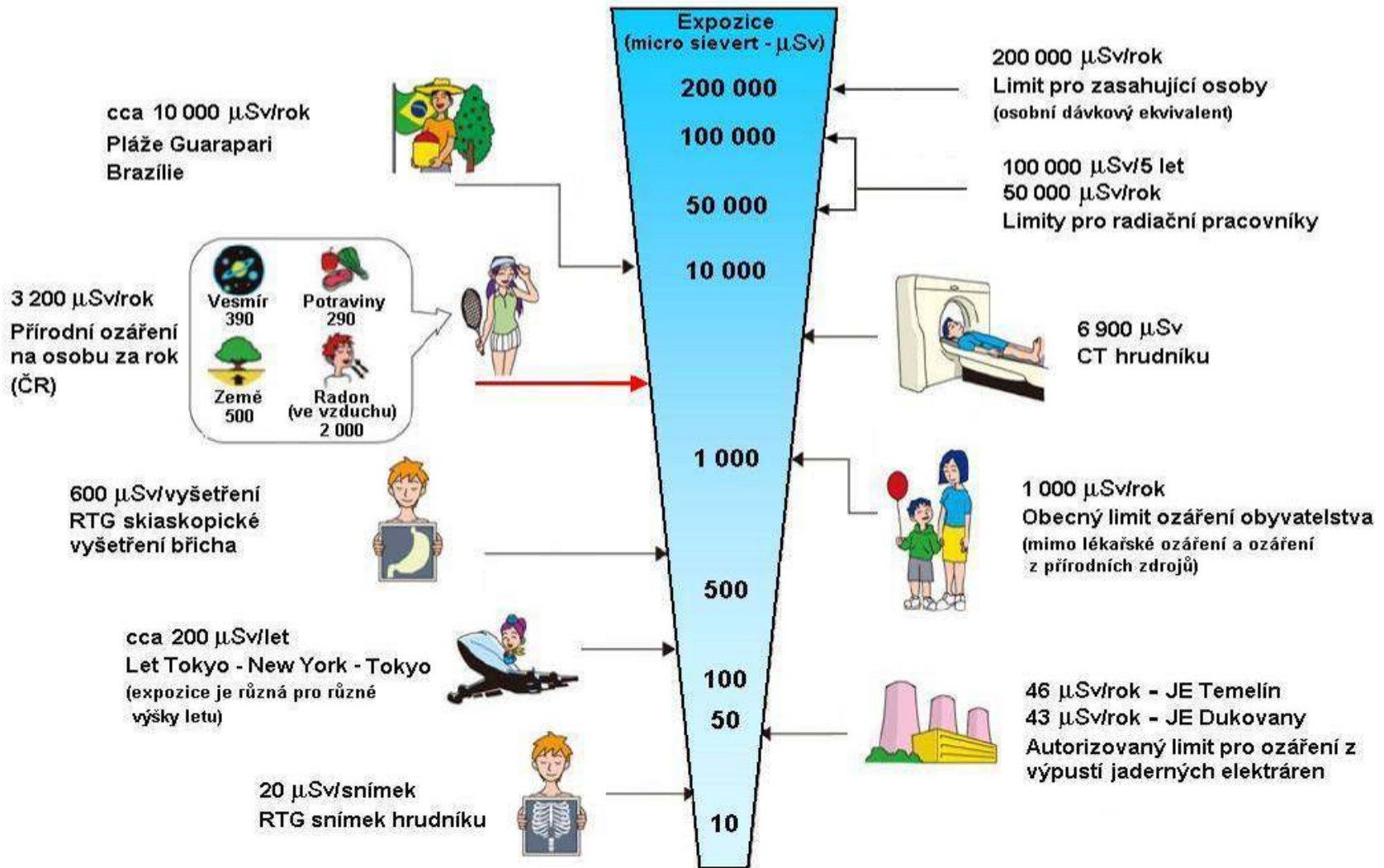


Detektor kouře s ^{241}Am [2]



Bomba svržená na Nagasaki [2]

Příklady expozic ionizujícímu záření včetně limitů platných v ČR



Průměrný dávkový příkon z přírodního pozadí v ČR: $0,14 \mu\text{Sv}/\text{h} = 1226,4 \mu\text{Sv}/\text{rok}$

Porovnání radioaktivity v prostředí ČR

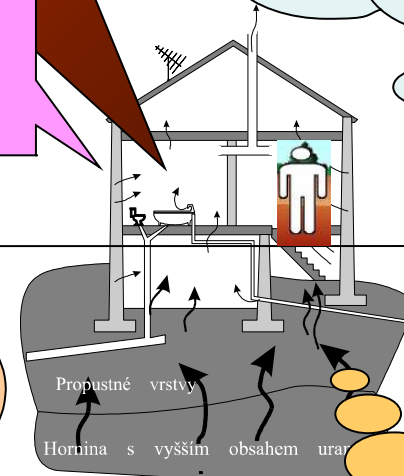
Černobyl
10-100 Bq/m³

Radon v budově
10 -1000 Bq/m³

Radon v
atmosféře 5
-10 Bq/m³

Stavební materiál
10 000-1000 000 Bq/m³
²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K

¹³⁷Cs...5 000 Bq/m²



V těle ⁴⁰K
~ 4000 Bq

Hornina/půda :
10 000-1000 000 Bq/m³
²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K

Radon ve výšce
1m: 10 000 –
100 000 Bq/m³
(ale i >1 000 000
Bq/m³)

přírodní ozáření v ČR
~ 3 mSv/ročně
(max 1000 mSv/ročně)

Lékařské ozáření
Diagnostika (nucl. medicína)
1 000 000 - 100 000 000 Bq

Terapie štítné žlázy
10 000 000 000 Bq (¹³¹I)



Inhalace radionuklidů po havárii v Černobylu vs. inhalace přírodního radonu

Nuklid	vdechnutá aktivita Za 30. 4.-10. 5. 1986 (Bq)
<i>¹³¹I aerosol</i>	~ (600-2200)
¹³¹ I * (všechny formy)	~ (2 000 -7 000)
¹³² Te (¹³² I)	~ (1 300-5 000)
¹³⁴ Cs	~ (100-500)
¹³⁷ Cs	~ (300-1 000)
¹⁰³ Ru	~ (500-900)
....
Radon venku (EOAR)	1000- 1500
Radon v bytě (EOAR)	Průměr 15 000 (max. v ČR až 10 000 000)

Pro porovnání
1 mSv ~ 100 000 Bq
 (<< 1 mSv)



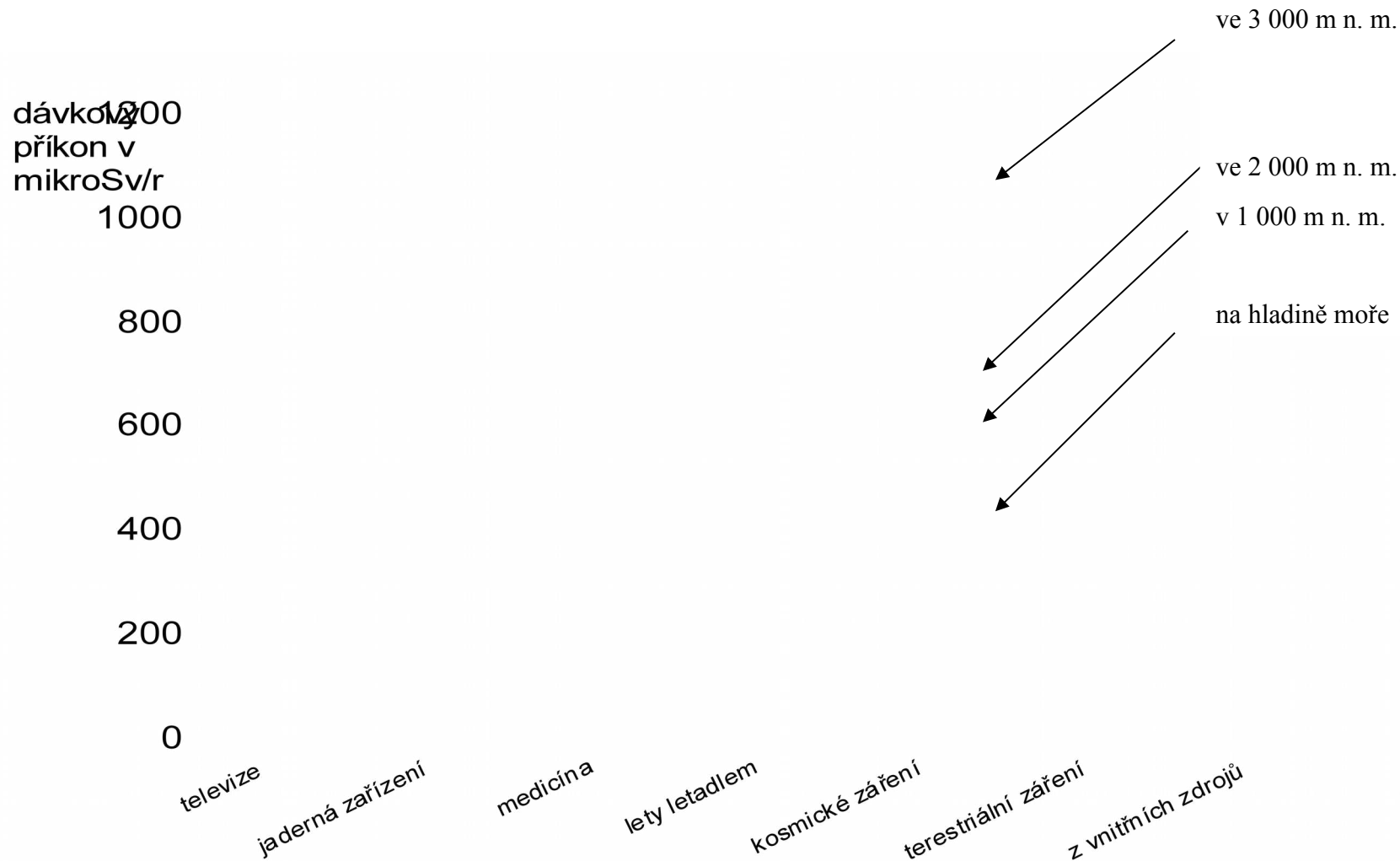
Radon ef.dávka 30.4-10.5.86

venku 0,007-0,01 mSv

uvnitř budov ~ 0,1 mSv

ČR maximum > 50 mSv

Radiační dávky z přírodních a antropogenních zdrojů



Příklady aktivit

Průměrná aktivita v podzemní vodě v ČR

15 Bq/l (Tato aktivita je výrazně vyšší, než aktivita hornin v tomtéž místě z důvodu rozpouštění při dlouhodobém kontaktu).

Radonová voda v Lázních Jáchymov

10 000 Bq/l (0,7-18,5 Bq/m³)

Whisky

2 000 Bq/l

Káva

1000 Bq/kg

Čaj

700 Bq/kg

Para ořechy (Brazílie)

460 Bq/kg

Aktivita ¹⁴C v lidském těle (70 kg)

2 500 Bq

Aktivita ⁴⁰K v lidském těle (70 kg)

2 000 – 7 600 Bq

1 kg zemské kůry (průměr)

70 Bq uranu a 50 Bq thoria

1 kg uhlí (průměr)

50 Bq draslíku 40, 20 Bq thoria, 20 Bq uranu, 20 Bq radia, 20 Bq polonia

1 kg uhelného popele

265 Bq ⁴⁰K, 70 Bq Th, 200 Bq U, 240 Bq Ra, 1 700 Bq Po

1 kg průměrné rostlinné hmoty

0,01 - 0,1 Bq

Vzduch (průměr v m³)

od 0,1 Bq nad mořem po 10 Bq nad pevninou

Radon z půdy uniká do atmosféry průměrnou rychlostí 20 Bq na m² za sekundu

Úrovně aktivity v půdě závisí na typu půdy, minerálovém složení a hustotě. Zde pro výpočet uvažujeme $\sim 1.58 \text{ g/cm}^3$.

Přírodní radioaktivita čtvereční míle vrstvy 30 cm

Nuklid	Aktivita uvažovaná pro výpočet	Hmotnost nuklidu	Aktivita objemu půdy
Uran	25 Bq/kg	2,200 kg	31 GBq
Thorium	40 Bq/kg	12,000 kg	52 GBq
Draslík 40	400 Bq/kg	2000 kg	500 GBq
Radium	48 Bq/kg	1.7 g	63 GBq
Radon	10 kBq/m ³ půdy	11 µg	7.4 GBq
		Celkem:	>653 GBq

Přírodní radioaktivita oceánů

Objemy oceánů dle *1990 World Almanac*: Pacifik = $6.549 \times 10^{17} \text{ m}^3$, Atlantik = $3.095 \times 10^{17} \text{ m}^3$, celkem = $1.3 \times 10^{18} \text{ m}^3$

(E = Exa = trilion = 10^{18} P = peta = biliarda = 10^{15})

Nuklid	Jednotková aktivita pro výpočet	Aktivita v oceánu		
		Pacifik	Atlantik	Všechny oceány
Uran	33 mBq/l	22 EBq	11 EBq	41 EBq
Draslík 40	11 Bq/l	7400 EBq	3300 EBq	14000 EBq
Tritium	0.6 mBq/l	370 PBq	190 PBq	740 PBq
Uhlík 14	5 mBq/l	3 EBq	1.5 EBq	6.7 EBq
Rubidium 87	1.1 Bq/l	700 EBq	330 EBq	1300 EBq

Stručný přehled radionuklidů používaných v nukleární medicíně

Diagnostika			
radionuklid	E (keV)	zářič	T(1/2)
99m Te	140	gama	6,03 h
111 In	127,247	gama	2,83 d
67 Ga	93, 185, 300	gama	78,3 h
123 I	159	gama	13,2 h
131 I	364	gama	8,04 d
81m Kr	190	gama	13 s
201 Tl	75, 167	gama	73,2 h
18F	511	beta +	110 min
11 C	511	beta +	20,4 min
15 O	511	beta +	2,07 min
13 N	511	beta +	10 min
Terapie			
131 I	606	beta -	8,04 d
153 Sm	635, 705, 808	beta -	46,7 h
90 Y	2280	beta -	64 h

vyšetřovací metoda	typické efektivní dávky (mSv)	*přibližná doba, za kterou by člověk obdržel ekvivalentní dávku ozáření z přírodních zdrojů - UK	*přibližná doba, za kterou by člověk obdržel ekvivalentní dávku ozáření z přírodních zdrojů - ČR
rentgenologická vyšetření			
končetiny a klouby vyjma kyčlí	0,01	1,5 dne	1 den
zuby	0,02	3 dny	2 dny
příčnice (jeden PA snímek)	0,02	3 dny	2 dny
lebka	0,07	11 dní	7,3 dne
mamografie (screening)	0,1	15 dnů	10,4 dne
kyčel	0,3	7 týdnů	1 měsíc
pánev	0,7	4 měsíce	2,5 měsíce
hrudní páteř	0,7	4 měsíce	2,5 měsíce
břicho	1	6 měsíců	3,5 měsíce
bederní páteř	1,03	7 měsíců	3,6 měsíců
polykací akt	1,05	8 měsíců	3,6 měsíců
CT hlavy	2,3	1 rok	8 měsíců
IVU	2,5	14 měsíců	8,7 měsíců
vyšetření žaludku	3	16 měsíců	10,5 měsíců
střevní pasáž	3	16 měsíců	10,5 měsíců
irigoskopie	7	3,2 roku	2 roky
CT hrudníku	8	3,6 roku	2,3 roku
CT břicha nebo pánve	10	4,5 roku	3 roky
nukleárně-medicínská vyšetření			
plicní ventilace (133Xe)	0,3	7 týdnů	4,5 týdnů
plicní perfuze (99mTc)	1	6 měsíců	3,8 měsíce
ledviny (99mTc)	1	6 měsíců	3,8 měsíce
štítná žláza (99mTc)	1	6 měsíců	3,8 měsíce
kosti (99mTc)	4	1,8 roku	1,1 roku
PET hlavy (18F)	5	2,3 roku	1,5 roku
dynamická scintigrafie myokardu (99mTc)	6	2,7 roku	1,7 roku

Dávkové ekvivalenty v medicíně

Zdroj: SÚRO

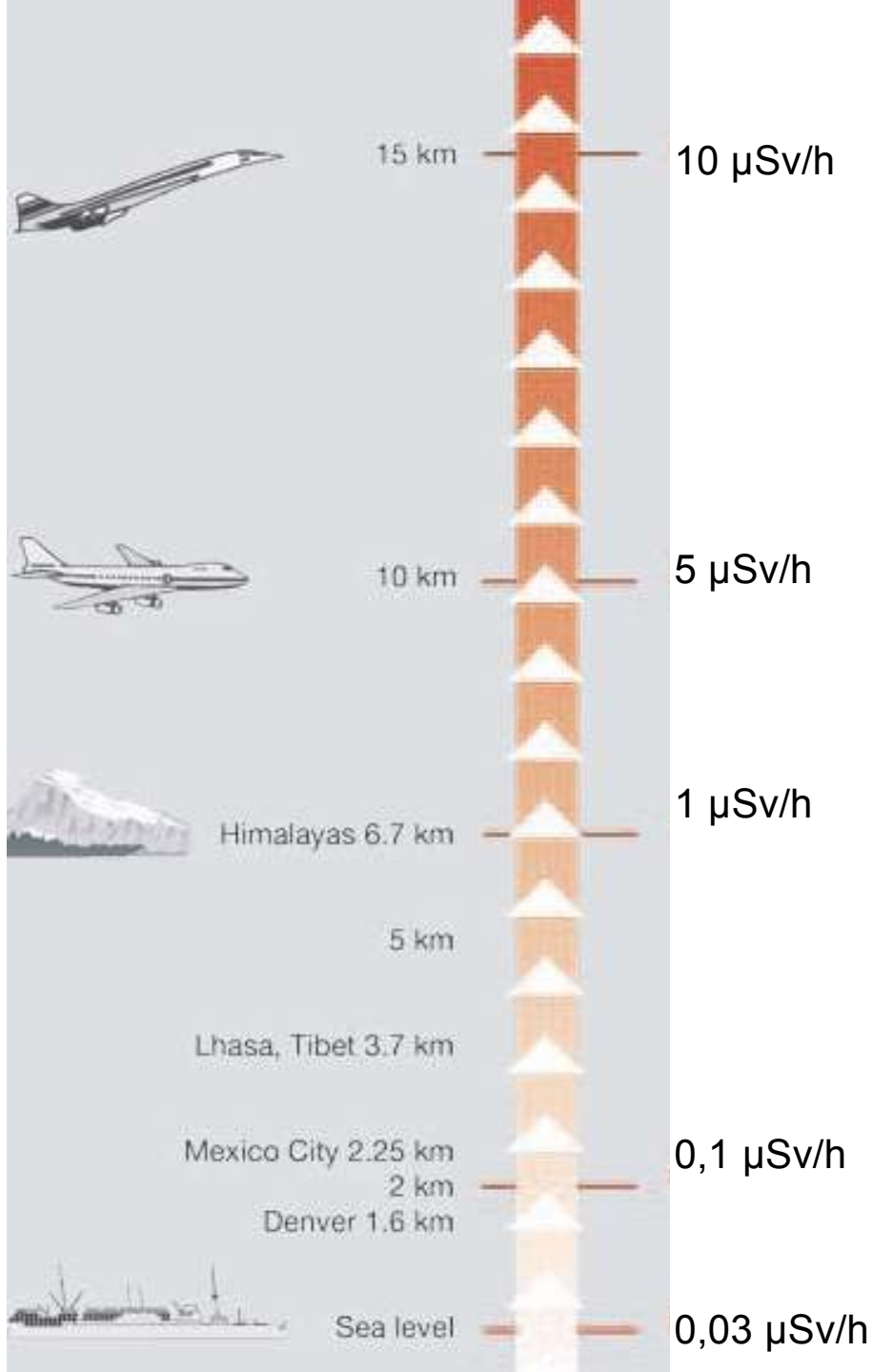
Porovnání radiačních dávek

Spaní vedle druhé osoby	0,05 mikro Sv
Bydlení jeden rok 75 km od jaderné elektrárny	0,09 mikro Sv
Snědení jednoho banánu	0,1 mikro Sv
Bydlení jeden rok 75 km od uhelné elektrárny	0,3 mikro Sv
Rentgen ruky	1 mikro Sv
Roční používání starého monitoru (CRT)	1 mikro Sv
Rentgen zubu	5 mikro Sv
Průměrná denní dávka z přírodního pozadí	10 mikro Sv
Rentgen hrudníku	20 mikro Sv
Let z NY do LA	40 mikro Sv
Bydlení jeden rok v domě z kamene nebo betonu	70 mikro Sv
Celková střední dávka od havárie Three Mile Island pro obyvatele bydlícího 15 km od elektrárny	80 mikro Sv
Roční dávka od draslíku (biogenní prvek obsahující izotop ⁴⁰ K) obsaženého v lidském těle	390 mikro Sv
Povolený roční limit pro ozáření jednotlivce z veřejnosti nad dávku z přírodního pozadí	1 000 mikro Sv = 1 mSv

Porovnání radiačních dávek

Povolený roční limit pro ozáření jednotlivce z veřejnosti nad dávku z přírodního pozadí	1 000 mikro Sv = 1 mSv
Mammogram	3 mSv
Normální celoroční průměrné ozáření průměrného jednotlivce. Cca 85 % z toho je od přírodních zdrojů, zbytek většinou z medicínských aplikací.	3,5 mSv
CT scan hrudníku	5,8 mSv
Celodenní dávka z pobytu v černobylské elektrárně v r. 2010	6 mSv
Průměrná roční dávka pro pilota na pravidelné lince NY – Tokyo	9 mSv
Povolená roční dávka pro profesionálního pracovníka se zářením	50 mSv
Dávkový limit pro pracovníky ve Fukušimě při likvidaci následků tsunami	250 mSv
Dávka, od které se projeví lékařsky zjistitelné změny po ozáření	500 mSv
Smrtelné ozáření jednorázovou dávkou	8 000 m Sv = 8 Sv

Orientační příkony dávkového ekvivalentu v různých nadmořských výškách



Zdroj: IAEA

Orientační dávkové ekvivalenty a příkony

Přírodní pozadí cca	3 mSv/rok
Kosmické záření	0,3 mSv/rok
Rentgen zubů	0,1 mSv
Sledování televize	0,002 mSv/hod
Rentgen vnitř. orgánů	1-2 mSv
Let letadlem Praha - New York a zpět	0,5 mSv
Lékařsky zjistitelné účinky	0,5 Sv
Černobylští hasiči	5,6-13 Sv
Radioterapie nádoru prostaty	až 80 Sv
Spad ze zkoušek N zbraní (70. léta)	0,01 mSv/rok

**Dálkové lety letadlem
ve výšce 10 km představují cca 4 $\mu\text{Sv/hod}$**



Porovnání některých radiačních dávek a jejich účinků

2 mSv/r	Typické přírodní pozadí, liší se v různých zemích. (Např. Austrálie - 1.5 mSv, Severní Amerika 3 mSv).
1.5 to 2.0 mSv/r	Průměrná dávka pro horníka v australských uranových dolech
2.4 mSv/r	Průměrná dávka zaměstnance v jaderném průmyslu v USA.
nad 5 mSv/r	Expozice člena posádky letů ve středních zeměpisných šířkách.
9 mSv/r	Expozice člena posádky na letu New York – Tokyo přes severní pól.
10 mSv/r	Maximální dávka pro horníka v australských uranových dolech.
50 – 400 mSv/r	Dávkový příkon z přírodního pozadí pro obyvatele některých míst v Iránu, Indii a Evropě.
100 mSv/r	Nejnižší úroveň ozáření, od ní lze odvozovat zvýšenou pravděpodobnost onemocnění rakovinou.
250 mSv	Povolená krátkodobá dávka pro zaměstnance Fukušimy v době havárie v březnu 2011.
350 mSv/celoživotně	Kritérium pro přemístění obyvatel po havárii v Černobylu.
1,000 mSv kumulativně	Pravděpodobně způsobí po několika letech rakovinu u 5 % lidí ozářených touto dávkou. (To znamená, že je-li normální pravděpodobnost onemocnění rakovinou 25 %, tato dávka ji zvýší na 30 %).
1,000 mSv jednorázově	Způsobí dočasnou nevolnost, pokles počtu bílých krvinek, nikoliv však smrt. Nad tuto úroveň vážnost stavu roste úměrně zvyšující se dávkou.
5,000 mSv jednorázově	Může do měsíce usmrtit polovinu ozářených touto dávkou.
10,000 mSv jednoráz.	Smrt nastane do několika týdnů.

Fyzikální účinky ionizujícího záření

- změna polohy částic tvořících krystalovou mřížku, vznik vakancí a intersticiálních atomů
- tepelné účinky (kinetická energie)
- elektrické účinky (vznikají nabitě částice)
- „tepelné špičky“ – poruchy, vzniklé krátkodobým lokálním ohřevem při průchodu částice (např. mikrokrystalky orientované jiným směrem než původní krystal)
- vznik atomů jiného druhu v jaderných reakcích

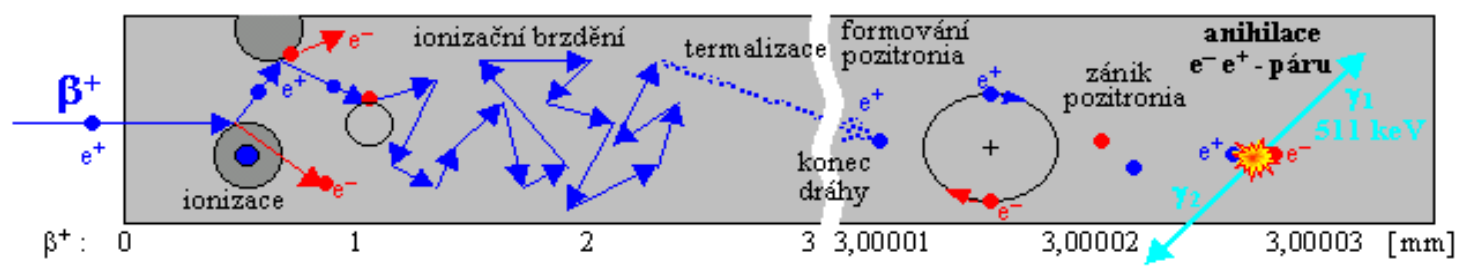
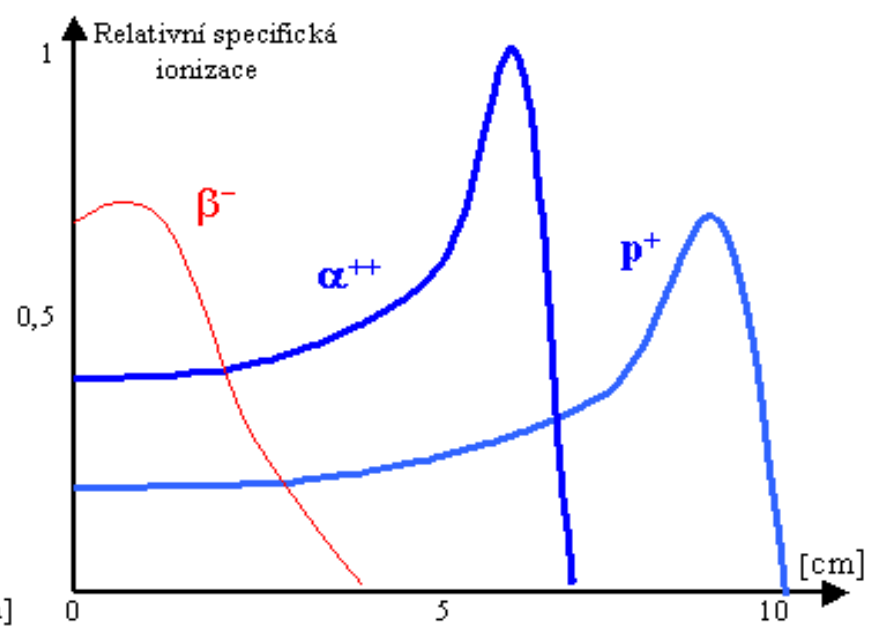
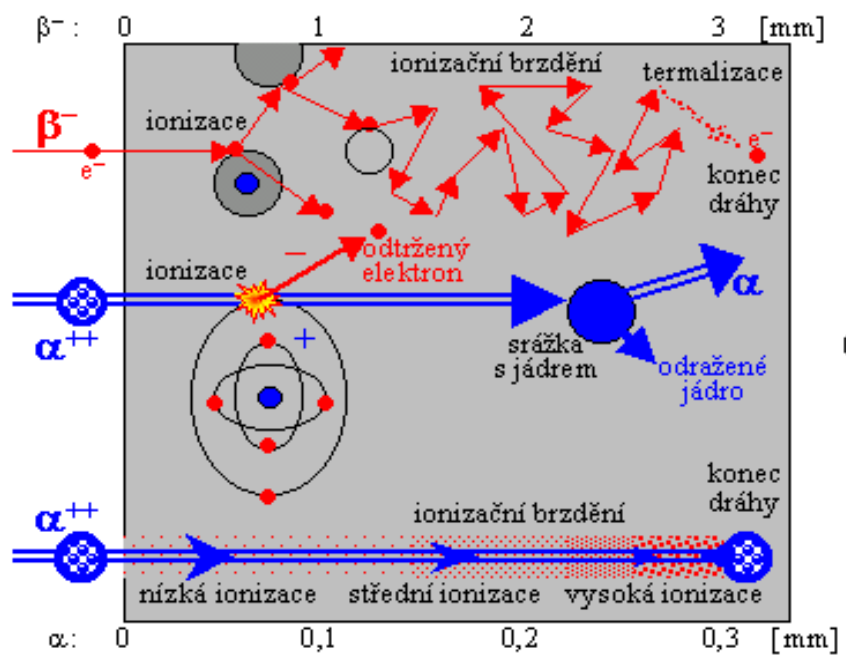
Jejich důsledkem je změna mechanických, elektrických a dalších vlastností látek, jako např. změny objemu, křehnutí materiálů, změna adsorpčních a katalytických vlastností, změny doby života nosičů náboje v polovodičích, vzrůst vodivosti izolátorů, změny barvy.

Příklady využití:

Výroba polovodičů
(monokrystal křemíku dopovaný zářením, aby měl žádané vlastnosti)

Radiační barvení skla
(fasáda Nové scény ND)





Chemické účinky ionizujícího záření

- primární procesy: vznik iontů, volných elektronů, radikálů, případně ve složitějších systémech i různých molekulárních produktů disociace
- sekundární procesy: bimolekulární chemické reakce, záchyt elektronů na částicích s velkou elektronovou afinitou za vzniku záporných iontů, rekombinace elektronů a kladných iontů za vzniku radikálů atp.

Primární procesy jsou bezprostředním důsledkem interakce záření s materiálem, k sekundárním procesům dochází následně mezi produkty primárních procesů. Může dojít k řetězové reakci.

V organických látkách :

- rozrušování a změny uspořádání kovalentních vazeb v molekulách, degradace nebo naopak síťování nebo roubování polymerů,
- polymerace monomerů

Příklady využití:

radiační vulkanizace
vytvrzování laků



Biologické účinky ionizujícího záření

Chemický základ

- excitace, ionizace (do 10^{-14} s po interakci)
- radiolýza vody, vznik radikálů
- štěpení kovalentní vazby
- vznik složitějších molekul

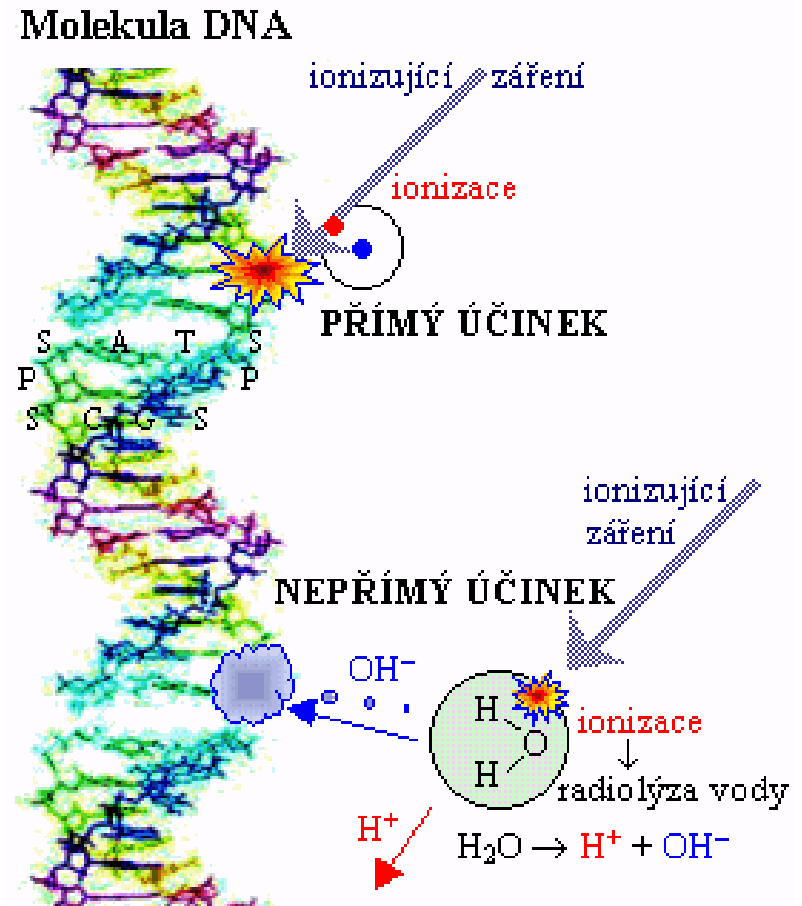
Ve tkáni vzniká peroxid vodíku, atomární vodík a vysoce reaktivní radikály

- (tím více, čím je tkáň více okysličená)

Buňka

- Přímý účinek (změna makromolekuly přímým zásahem nebo sekundárním elektronem)
- Nepřímý účinek (radiolýza, vznik cizích bílkovin, změny propustnosti membrán)

Možnost reparace - stejná dávka rozložená v čase má menší nebo žádné účinky ve srovnání s jednorázovou dávkou



Účinky záření na lidský organizmus

Stochastické (nahodilé) - poškozeno málo buněk, podprahová dávka nebo opakované malé dávky

- Dá se vypočítat pouze pravděpodobnost újmy, žádná újma nemusí nastat
- Lze odhalit (ověřit) jen pozorováním velkého množství osob
- Riziko malých dávek? Vědci se zatím neshodují, nelze potvrdit ani vyvrátit, neexistuje totiž vzorek lidí, kteří by nebyli vystaveni vůbec žádné radiaci.
- Je známo, že existuje „ochranný efekt“ záření (hormeze) – v místech s vyšší radioaktivitou bývá menší výskyt rakoviny (buňky reparují jakékoliv poškození)

Nestochastické účinky (deterministické) - po ozáření velkou dávkou, mnoha buněk, projeví se v krátké době

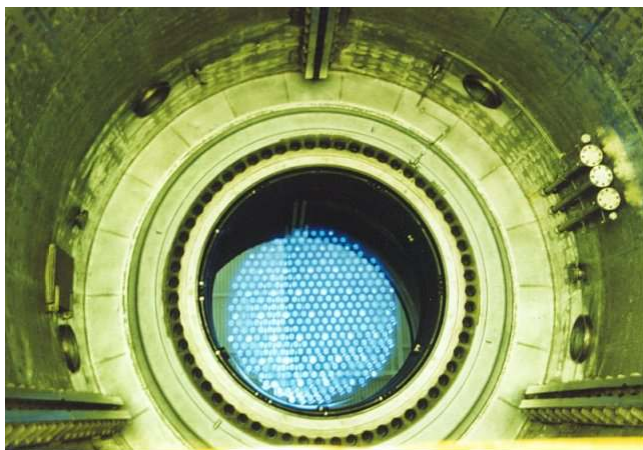
- Příklady
 - Lokální dermatitida
 - Zákal oční čočky

Smrtné dávky (dosis letalis) pro různé organizmy

Organismus	Dávka (kGy)
Vyšší živočichové včetně savců	0,005 - 0,01
Hmyz	0,01-1
Plísně	2,5 - 6
Kvasinky	5 - 20
Nesporulující bakterie	0.5 - 10
Sporulující bakterie	10 - 50
Viry	10 - 1500

Ochrana před zářením

- **Vzdálenost** - intenzita ionizujícího záření ubývá se čtvercem vzdálenosti, tj. po 10 m je 100x nižší, po 100 m je 10000x nižší, po 1 km je milionkrát nižší atd.
- **Čas** - čím kratší ozáření, tím menší je kumulovaná dávka
- **Stínění** - podle druhu záření: alfa záření odstíní pokožka, oděv, papír, beta záření např. hliníkový plech, gama záření beton, vrstva vody, zeminy, neutronové záření voda, polystyrén, parafín



Porovnání některých radiačních dávek

250

Limit pro zaměstnance ve Fukušimě (250 mSv kumulovaně, lékařsky zjiřitelné vlivy na zdraví se projevují až od 500 mSv)

200

Limit pro zaměstnance v ČR (50 mSv/r)

150

Roční dávka pilota na trasách NY – Tokyo (9 mSv/r)

100

Přirodní pozadí v ČR (3 mSv/r)

50

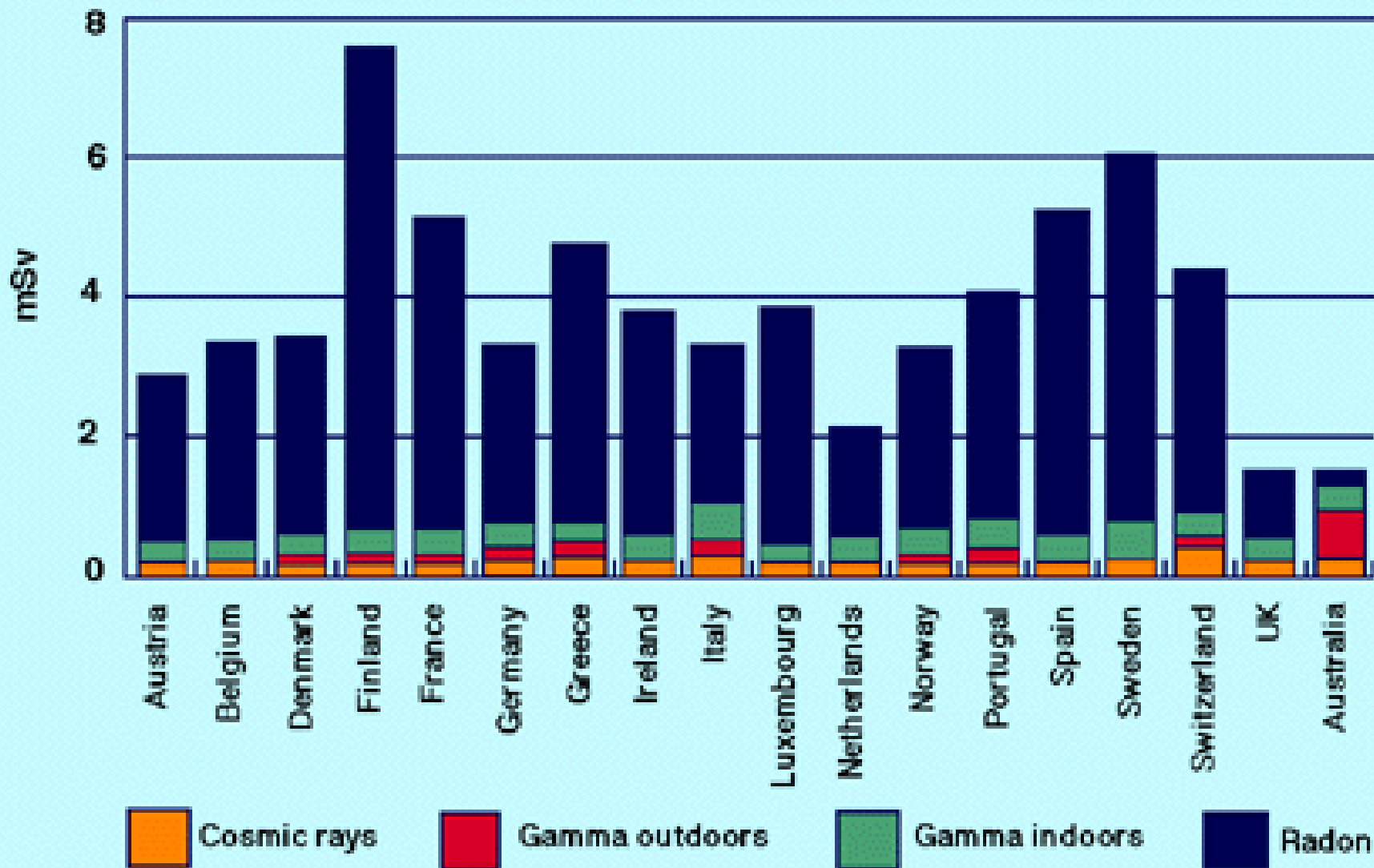
Limit pro jednotlivce v ČR (1 mSv/r)

0

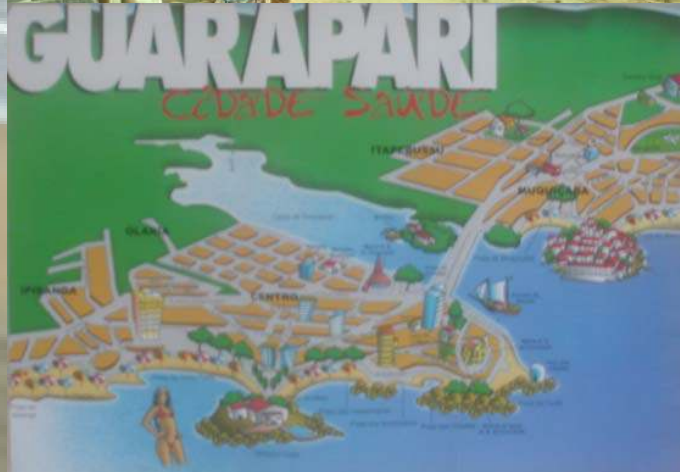
Roční dávka od draslíku přirozeně se vyskytujícího v lidském těle (0,4 mSv/r)

Roční příspěvek z činnosti všech jaderných průmyslových zařízení se pohybuje v setinách mSv

AVERAGE ANNUAL DOSES FROM NATURAL RADIATION SOURCES



Přírodní pozadí 175 mSv/rok – Guaraparí, Brazílie



Prospekt zve návštěvníky do slavných mořských lázní.

Přírodní pozadí 400 mSv/rok – Ramsar, Irán



Pomeranč – 4 mikroSv/h
U obyvatele doma – 121 mikroSv/h
(v ČR je cca 0,2 mikroSv/h)



Hormeze

- Příznivý vliv malých dávek na organismus
- Adaptivní odezva
- Prodloužení života
- Příznivý vliv na metabolismus
- Radiační lázně – léčba pohybového ústrojí
- Příklady z vědeckých výzkumů



Léčebné lázně Jáchymov



Co se sleduje ve vzorcích životního prostředí (např. v okolí jaderných zařízení)

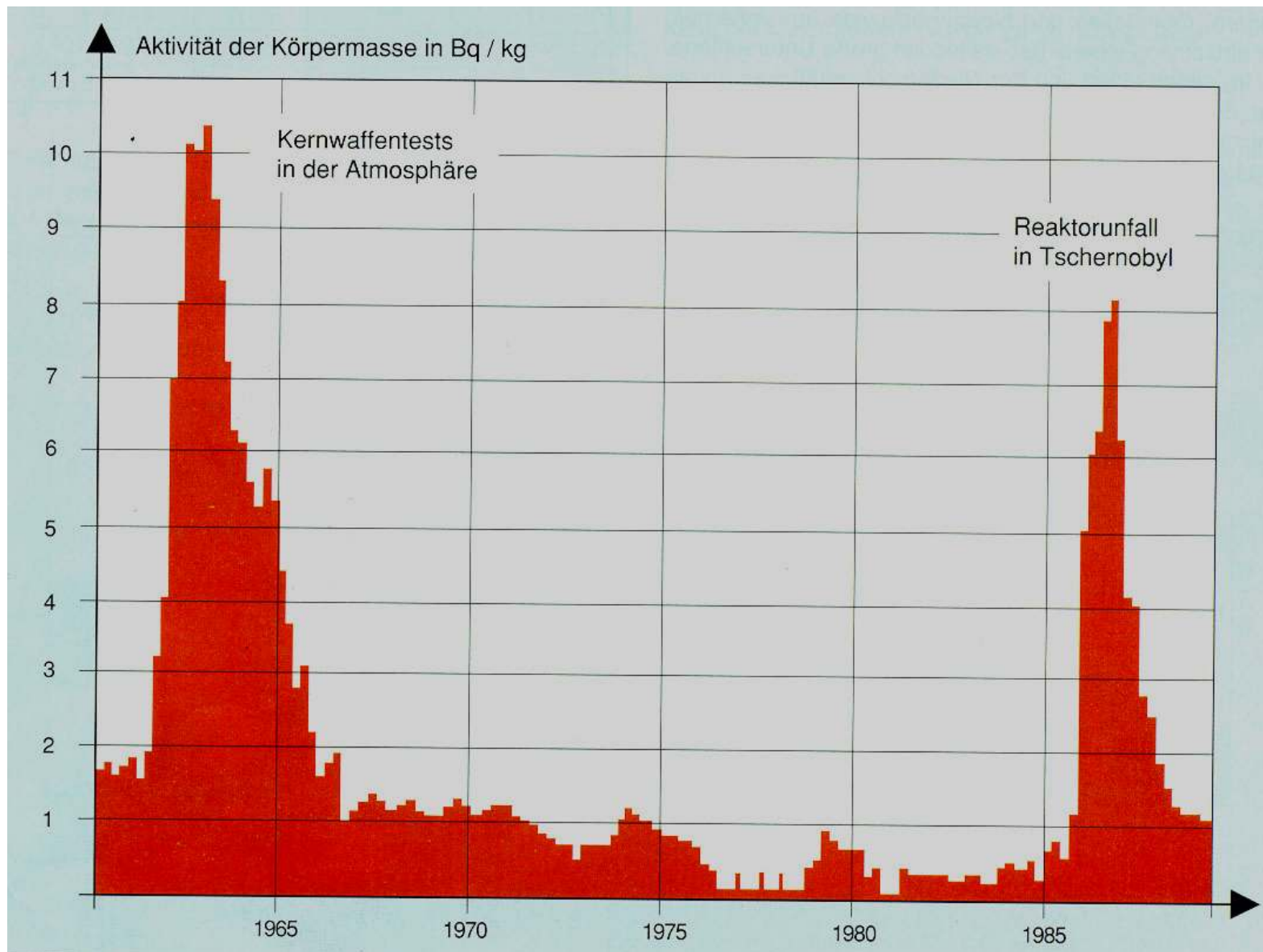
Dávkové příkony gama

Kvalitativní a kvantitativní stanovení radionuklidů:

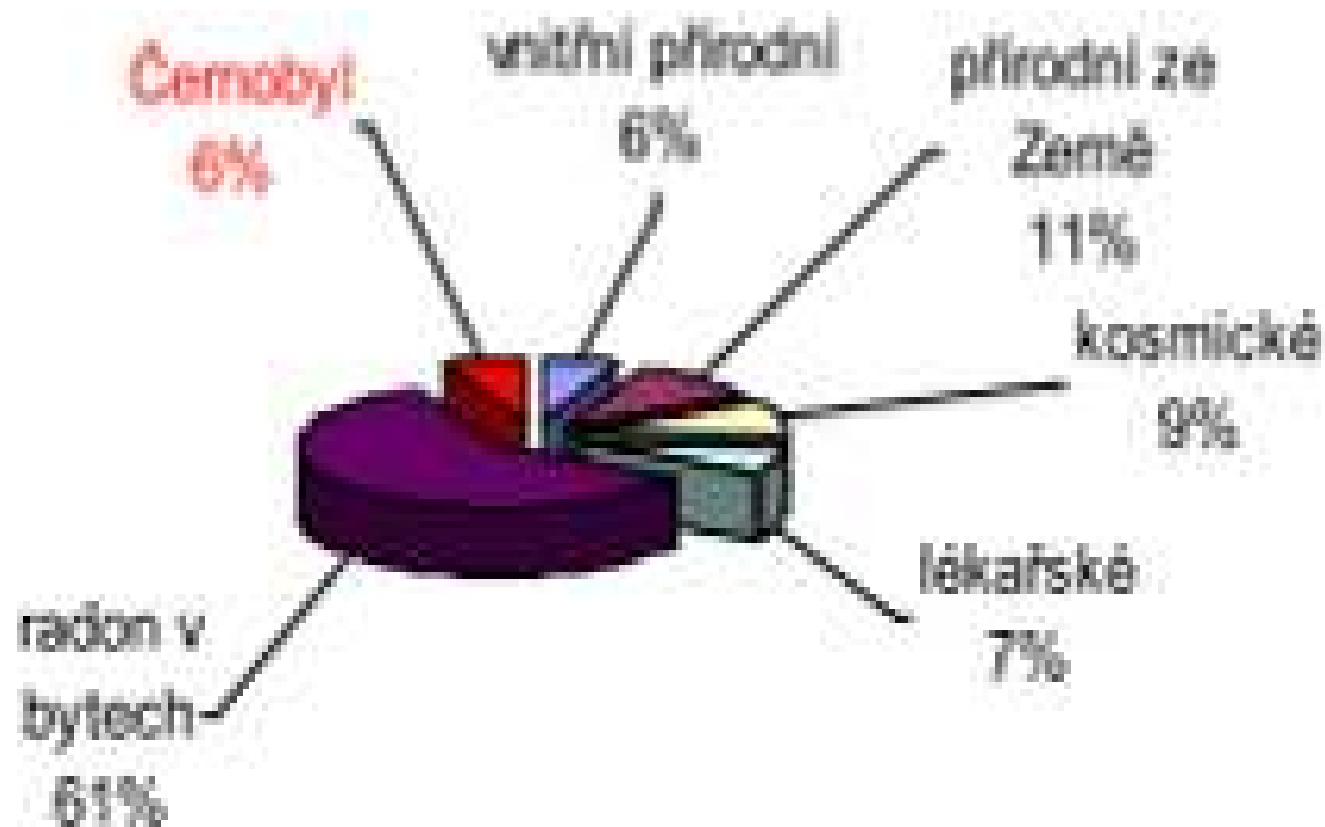
- Vzduch ^{131}J , ^{134}Cs , ^{137}Cs
- Voda ^3H , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{131}J , ^{134}Cs , ^{137}Cs
- Mléko ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{131}J , ^{134}Cs , ^{137}Cs
- Maso ^{134}Cs , ^{137}Cs
- Ostatní potraviny ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs
- Vegetace ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{131}J , ^{134}Cs , ^{137}Cs ,
 ^{141}Ce , ^{144}Ce
- Půda ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{242}Cm

Více než 50 % kolektivního dávkového úvazku je z globálního rozptýlení
 ^{14}C , ^{85}Kr , ^3H

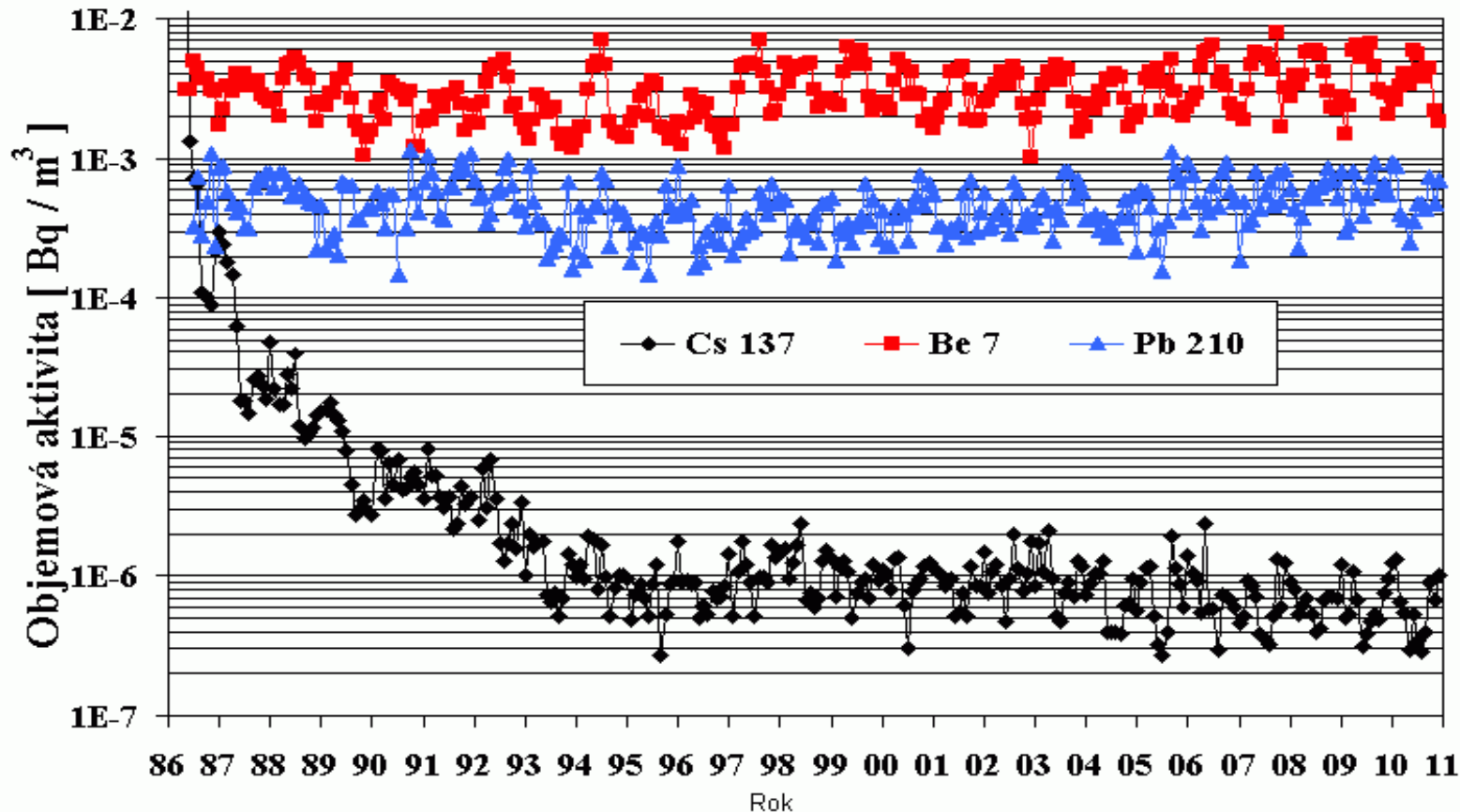
Aktivita akumulovaná z radioaktivního spadu v lidském těle v letech 1960 - 1990



Relativní podíl ozáření průměrného občana ČR v r. 1986 po havárii v Černobylu



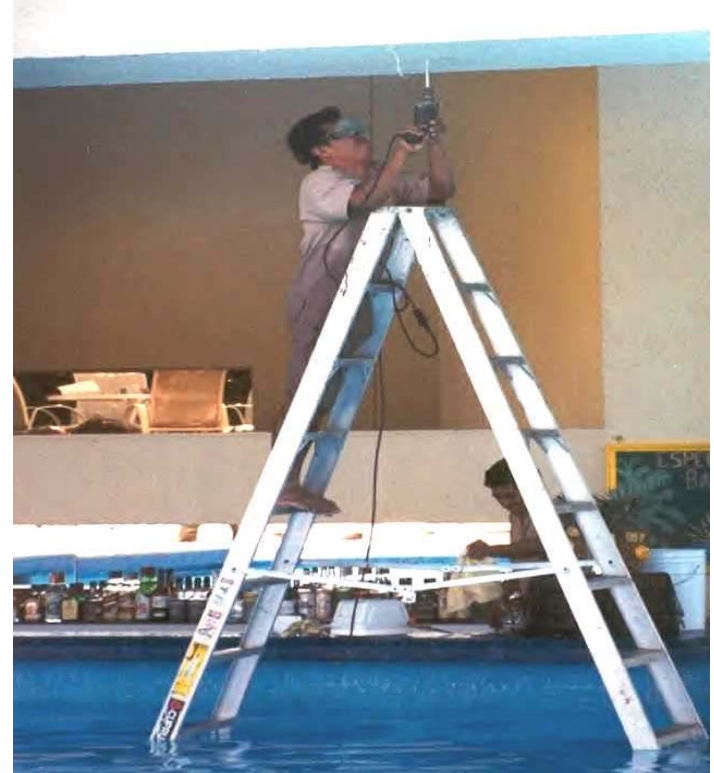
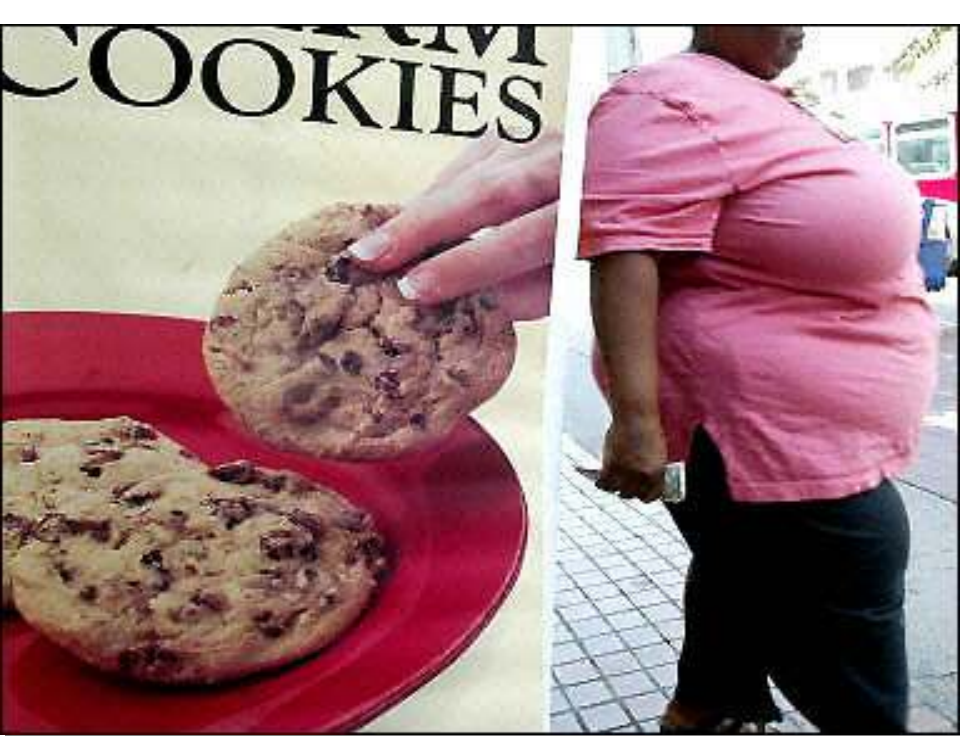
Průměrné měsíční hodnoty objemové aktivity ^{137}Cs , ^7Be a ^{210}Pb ve vzdušném aerosolu naměřené v Praze od r. 1986 do 20. 3. 2011



Objemová aktivita ^{137}Cs je dána přísunem z vyšších vrstev atmosféry z globálního spadu zkušek jaderných zbraní, jen část z havárie JE Černobyl. Současná hodnota je cca $1 \mu\text{Bq/m}^3$. ^7Be je kosmogenního původu. Průměrná hodnota objemové aktivity je okolo $3000 \mu\text{Bq/m}^3$. ^{210}Pb je produktem přeměny radonu. Průměrná dlouhodobá hodnota činí přibližně $500 \mu\text{Bq/m}^3$. Zdroj: SÚRO

Ne vždy, když se mluví o riziku, jde o skutečné riziko...





Srovnání rizik

- Ozáření 1 mSv
- Vykouření 30 cigaret
- Ujetí 5000 km autem v běžném provozu

Riziko je stejné!!!

Porovnání „nebezpečnosti“ energetických zdrojů ve světovém energetickém mixu

(Zdroj: <http://nextbigfuture.com/2011/03/deaths-per-twh-by-energy-source.html>)

Energetický zdroj	Počet úmrtí na TWh
Uhlí (světový průměr)	161
Uhlí (Čína)	278
Uhlí (USA)	15
ropa	36
plyn	4
Biopalivo, biomasa	12
rašelina	12
FV panely na střeše	0.44
vítr	0.15
voda	1.4
jádro	0.04

Statistiky smrtelných úrazů při produkci primární energie (Výroba elektřiny činí cca 40 % z primární energie)

palivo	Přímá úmrtí 1970 - 1992	kdo	Počet úmrtí na TWrok*
uhlí	6 400	pracovníci	342
plyn	1 200	Pracovníci a veřejnost	85
voda	4 000	veřejnost	883
jádro	31	pracovníci	8

Výpočet na instalovaný TW za rok provozu, není zahrnuta výstavba. Založeno na historických datech – nevypovídá o současné úrovni bezpečnosti daného odvětví.

Zdroje: Ball, Roberts & Simpson, 1994; Hirschberg et al, Paul Scherrer Institut 1996, IAEA 1997; Paul Scherrer Institut, 2001.