

RADIUM - 223

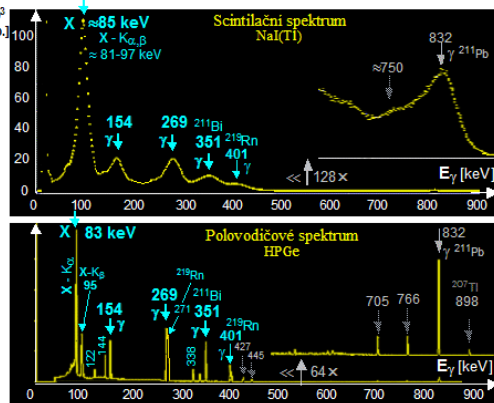
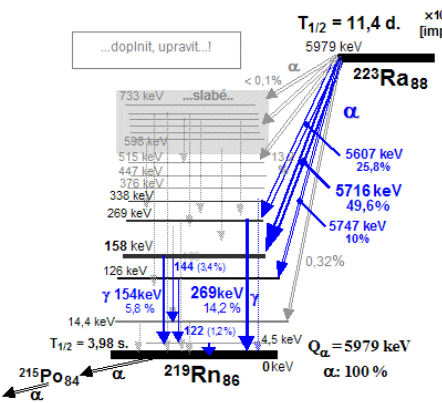
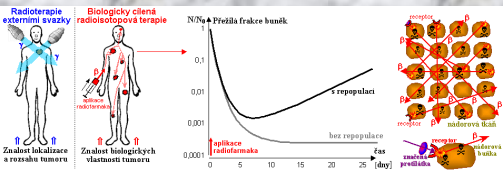
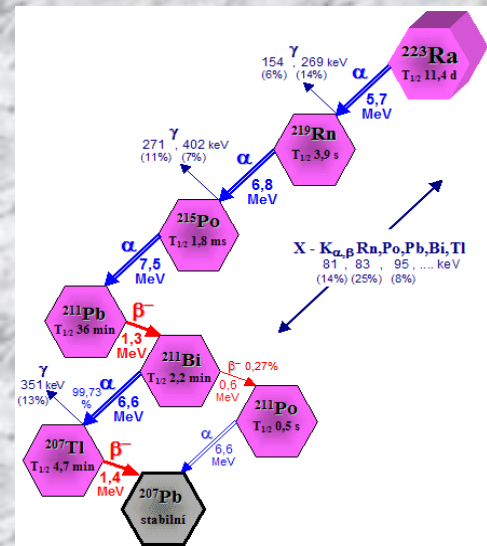
- fyzikální vlastnosti a radiobiologické účinky -

- Radium – důležitý radioaktivní prvek
 - Radium ^{226}Ra a ^{223}Ra
 - Radiobiologické účinky a využití v nukleární medicíně

Ullmann V., Koláček M., Pekárek J., Kraft O.

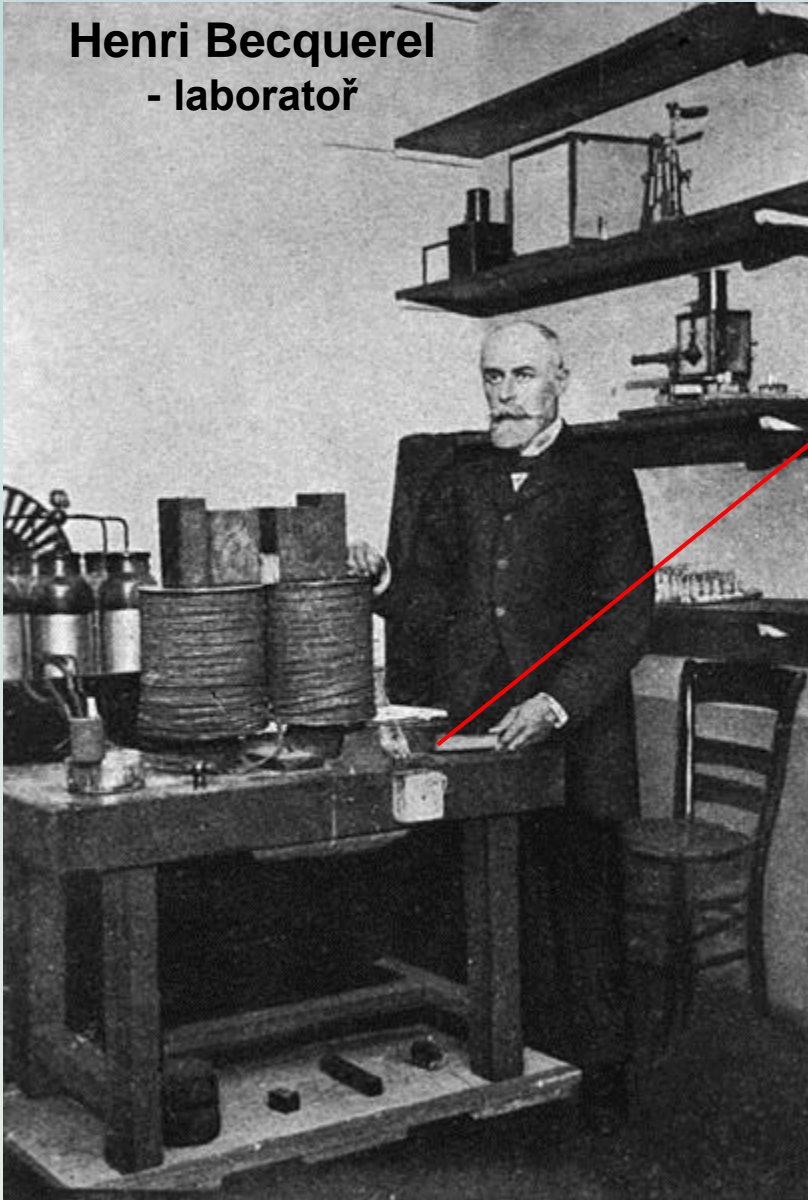
Klinika nukleární medicíny FN Ostrava

Ústav zobrazovacích metod LF OU

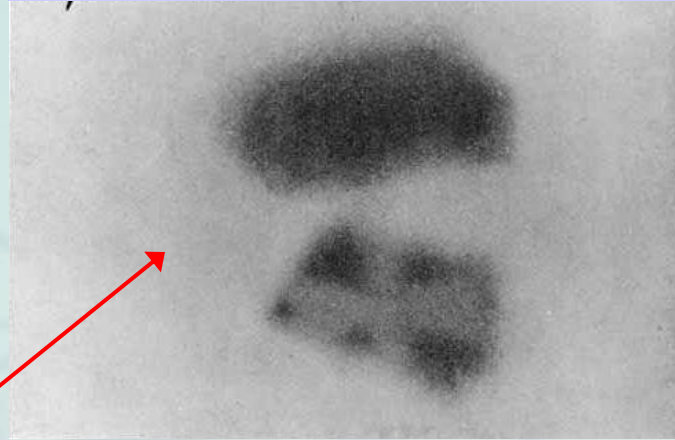


OBJEV RADIOAKTIVITY a prvku radia

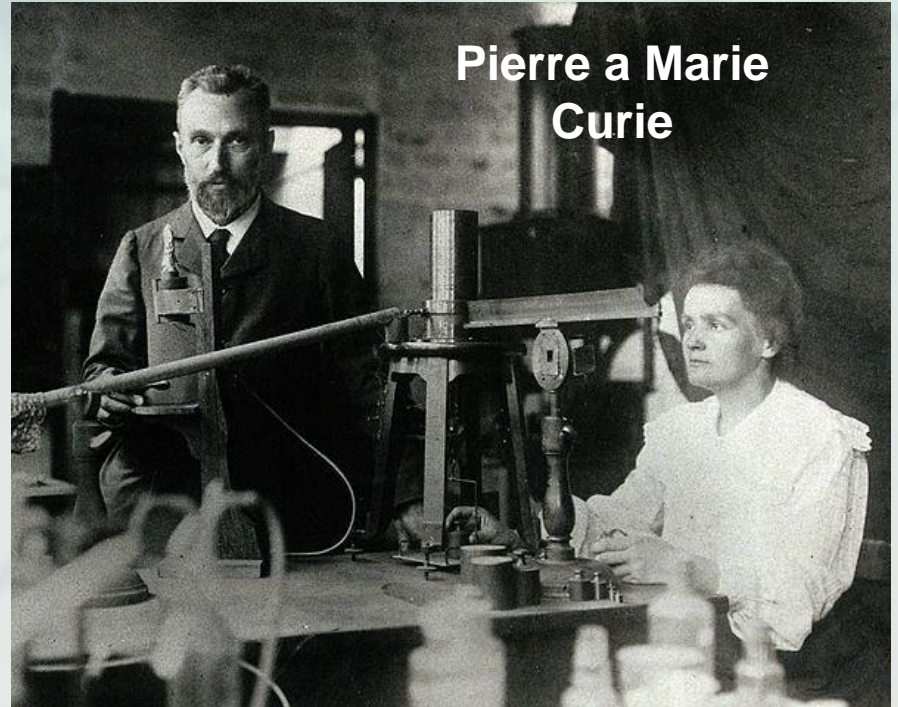
Henri Becquerel
- laboratoř



Fotoexpozice uranovým
minerálem :



Pierre a Marie
Curie



OBJEV RADIOAKTIVITY A PRVKU RADIA

Heroickým úsilím Marie Curie a jejich spolupracovníků se podařilo z několika tun uranové rudy vyextrahovat **1 gram čistého radia** .



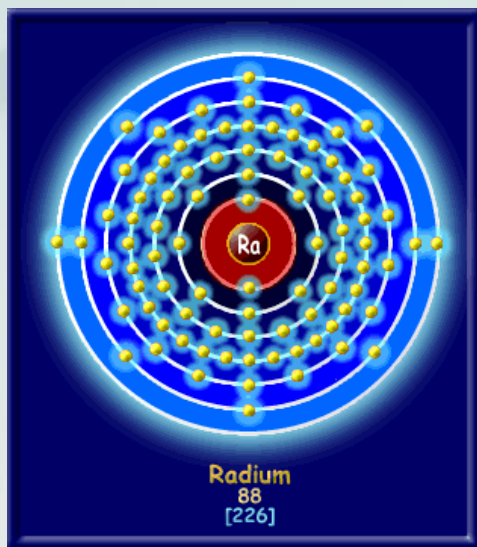
1 gram radia ^{226}Ra
dlouho dobu sloužil jako etalon
dřívější jednotky aktivity
1 Curie (Ci)

OBJEV RADIOAKTIVITY A PRVKU RADIA

Dřívější použití radia

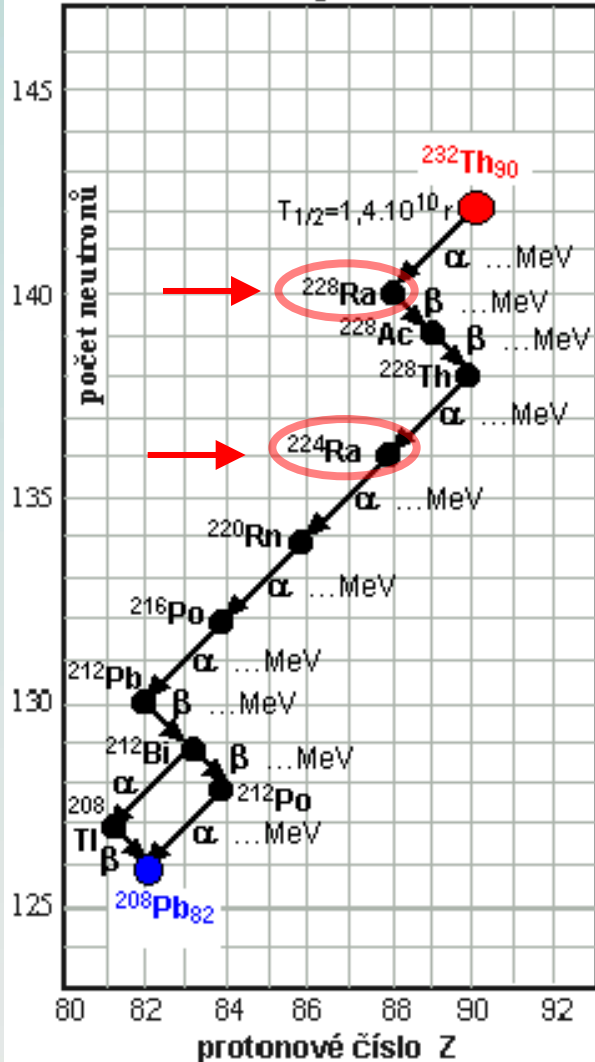


Dílna na výrobu hodinek se svítícím ciferníkem

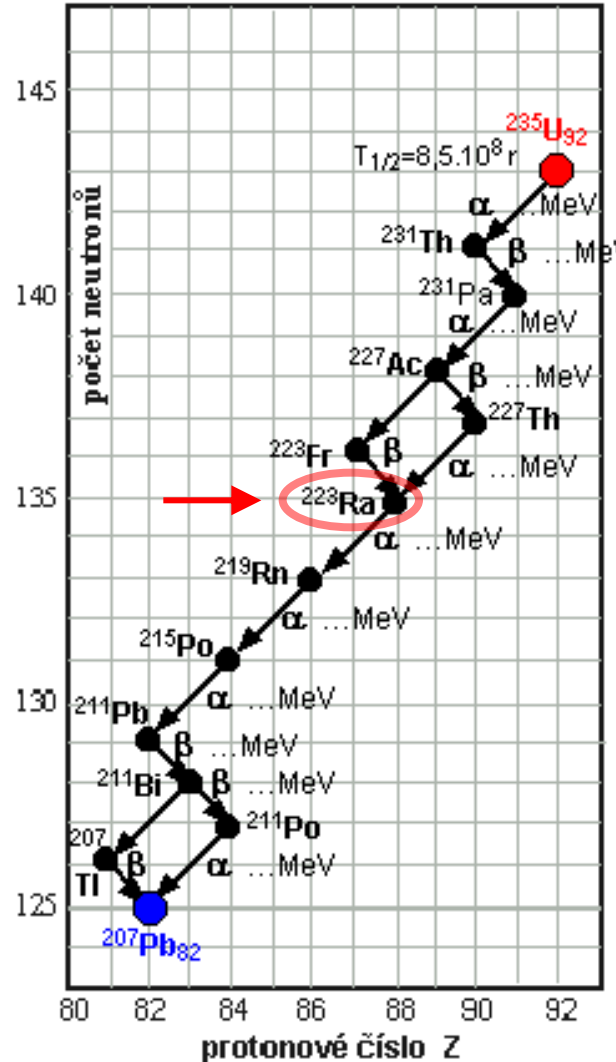


RADIUM z přírodních rozpadových řad :

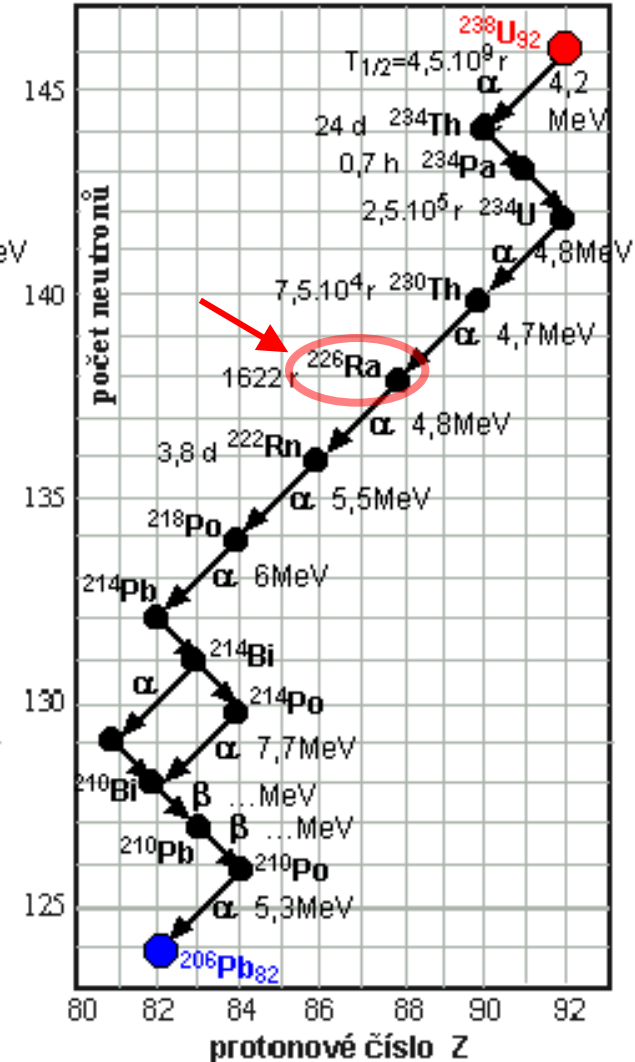
Thoriová rozpadová řada



Uranová řada ²³⁵U



Uranová řada ²³⁸U



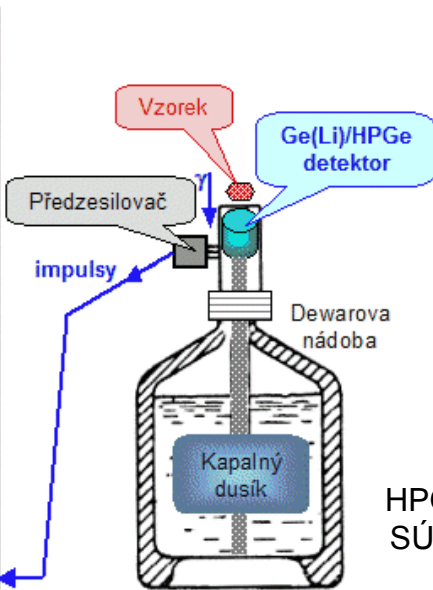
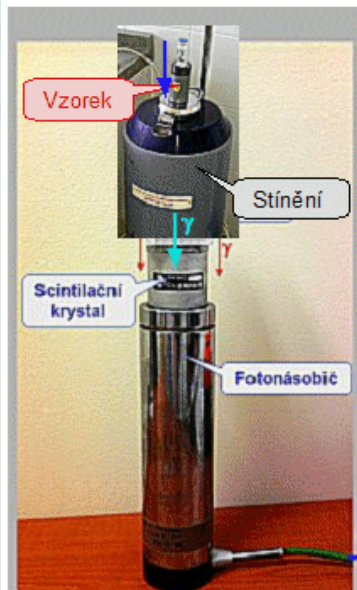
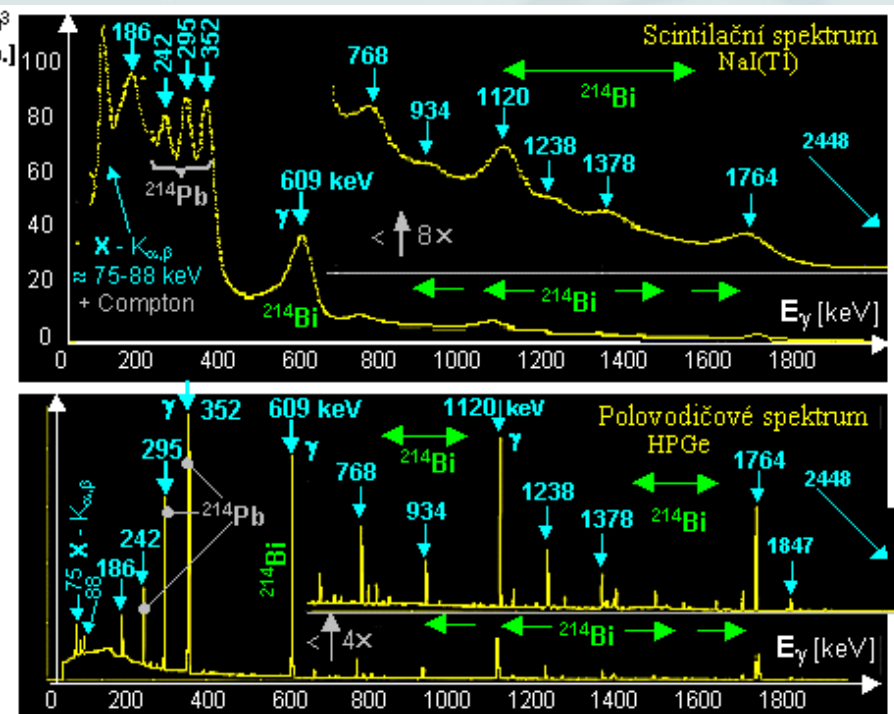
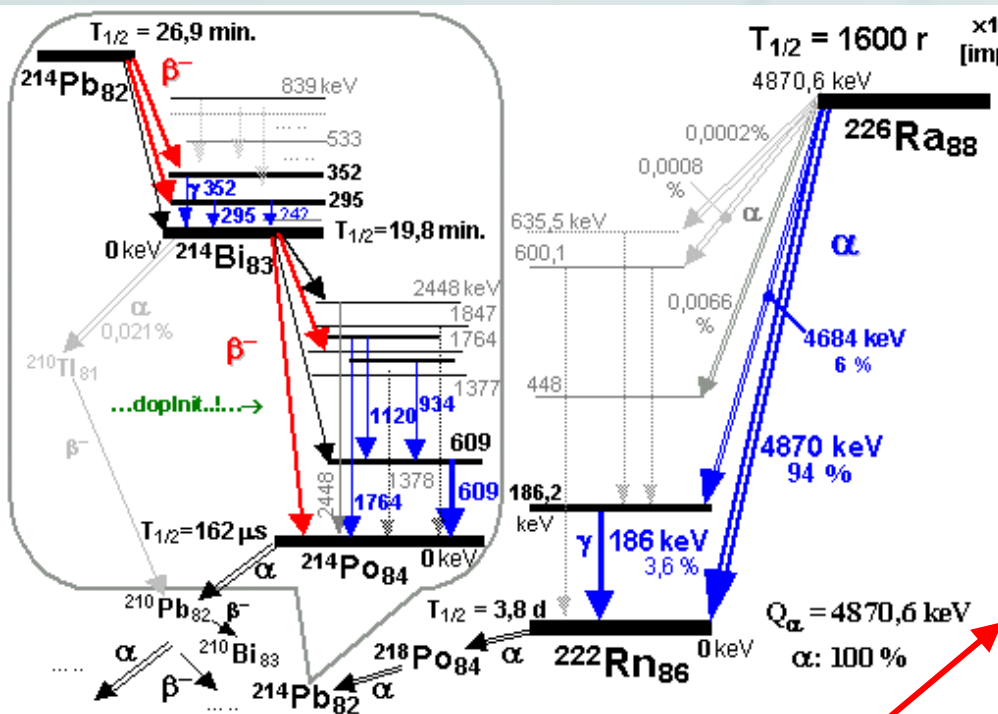
²²⁸Ra : $T_{1/2} = 5,75$ let

²²³Ra : $T_{1/2} = 11,4$ dne

²²⁶Ra : $T_{1/2} = 1622$ let

²²⁴Ra : $T_{1/2} = 3,64$ dne

RADIUM ^{226}Ra – nejdůležitější isotop radia



HPGe detektor SÚJB Ostrava

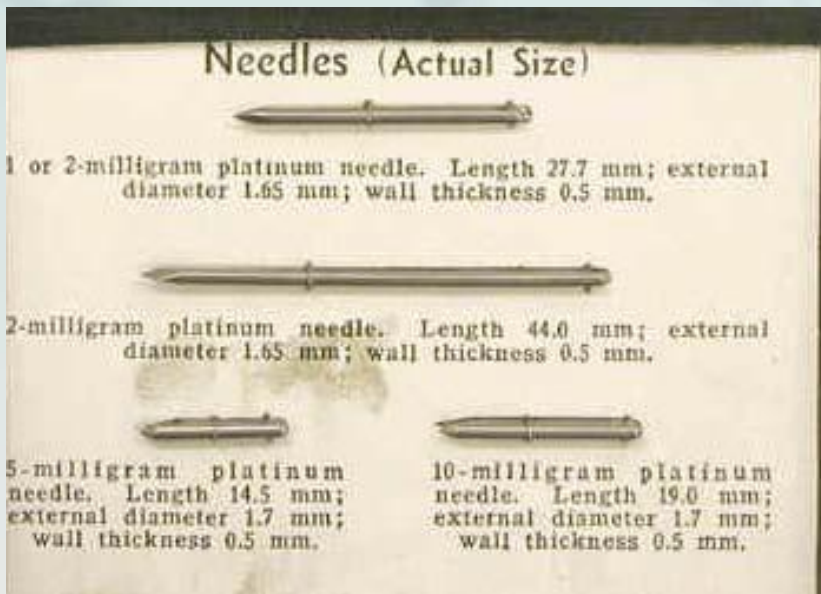
RADIUM ^{226}Ra

- použití v brachyradioterapii -

Ruční zavádění radiových jehel či drátků

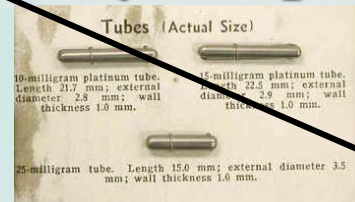
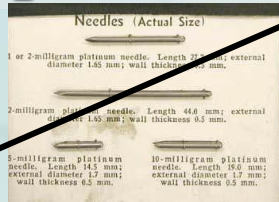


Vysoká radiační zátěž pracovníků

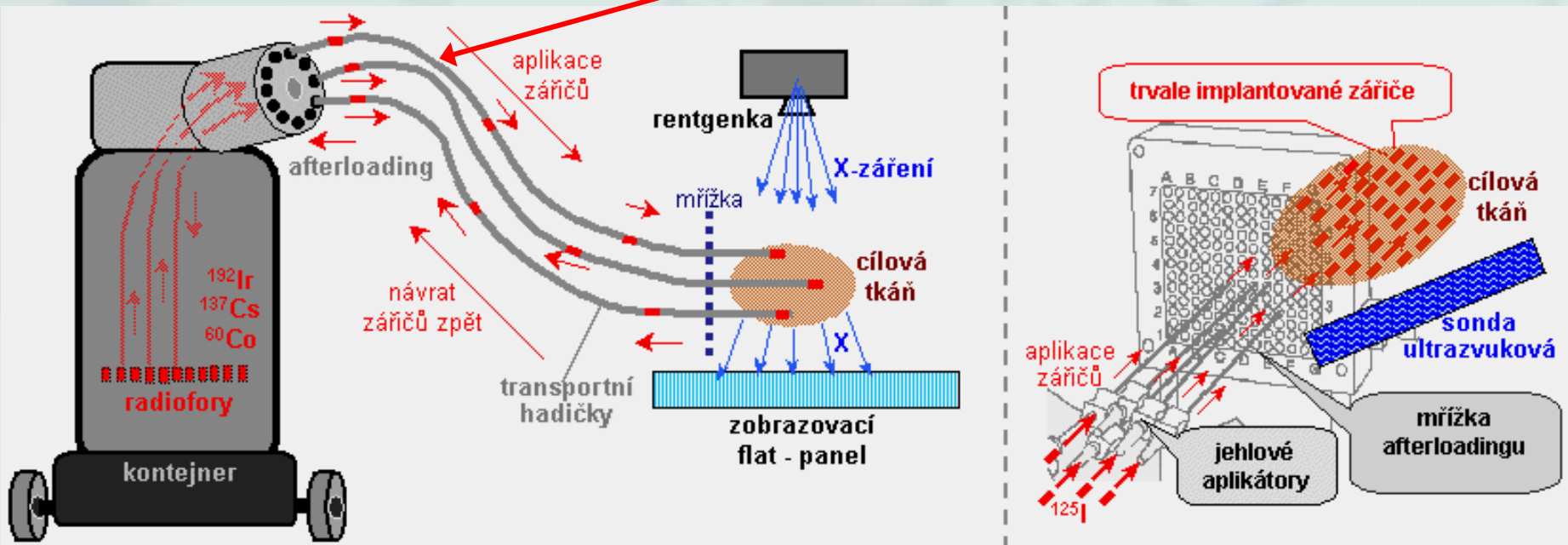


RADIUM ^{226}Ra

- použití v brachyterapii -



V brachyterapii bylo radium ^{226}Ra nahrazeno iridiem ^{192}Ir s automatickým zaváděním - **afterloading**



RADIUM ^{223}Ra

- výroba -

Isotop ^{223}Ra se uměle připravuje ve třech krocích:

- 1. Ozařování radia-226 neutrony** za vzniku radia-227: $^{226}\text{Ra}(n,\gamma)^{227}\text{Ra}$.
- 2. Následná přeměna beta⁻-radioaktivitou** $^{227}\text{Ra}(\beta^-, T_{1/2}=41\text{min.}) \rightarrow ^{227}\text{Ac}$ na aktinium-227.
- 3. Aktinium-227** se s poločasem 21,8let přes thorium-227 přeměňuje na výsledné radium-223:
 $^{227}\text{Ac}(\beta^-, T_{1/2}=21,8\text{r.}) \rightarrow ^{227}\text{Th}(\alpha, T_{1/2}=18,7\text{d.}) \rightarrow ^{223}\text{Ra}$.

Vzhledem k dlouhému poločasu aktinia-227 lze ^{223}Ra průběžně získávat elucí z $^{227}\text{Ac}/^{223}\text{Ra}$ generátoru

(selektivní eluce se provádí roztokem cca 0,1mol. HCl nebo HNO₃
Podrobnější popis přípravy → „Radiofarmaka“).

RADIUM ^{223}Ra

- vlastnosti -

α - radioaktivita , $T_{1/2} = 11,4$ dne

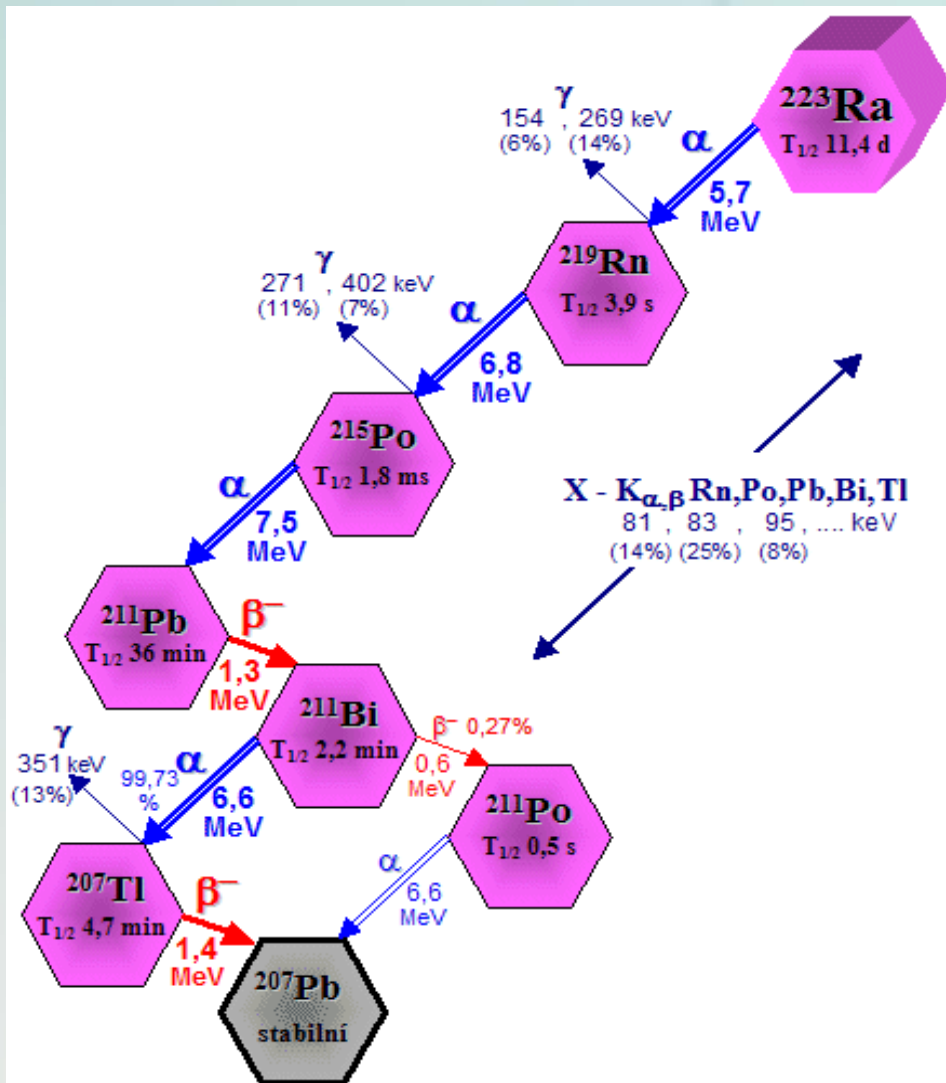
Drobná zajímavost - radioaktivita vyšší než α -héliová:

^{223}Ra byl první isotop, u kterého byla v r.1984 objevena nová radioaktivní přeměna s emisí částic těžších než alfa-částice - "**uhlíková radioaktivita**" s emisí jádra ^{14}C :

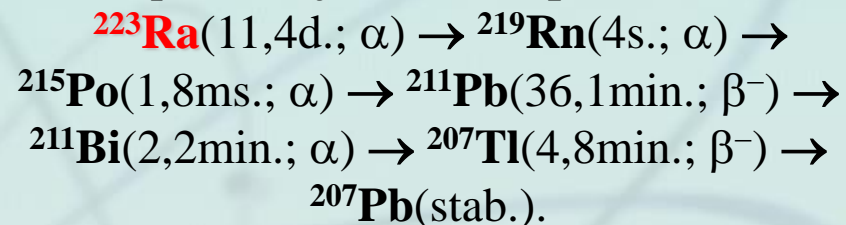


Tento proces je však velmi slabý, na hranicích měřitelnosti, poměr počtu emisí ^{14}C a emisí alfa (t.j. ^4He) je $6,4 \cdot 10^{-10}$.

RADIUM ^{223}Ra



^{223}Ra se přeměňuje celou rozpadovou řadou:



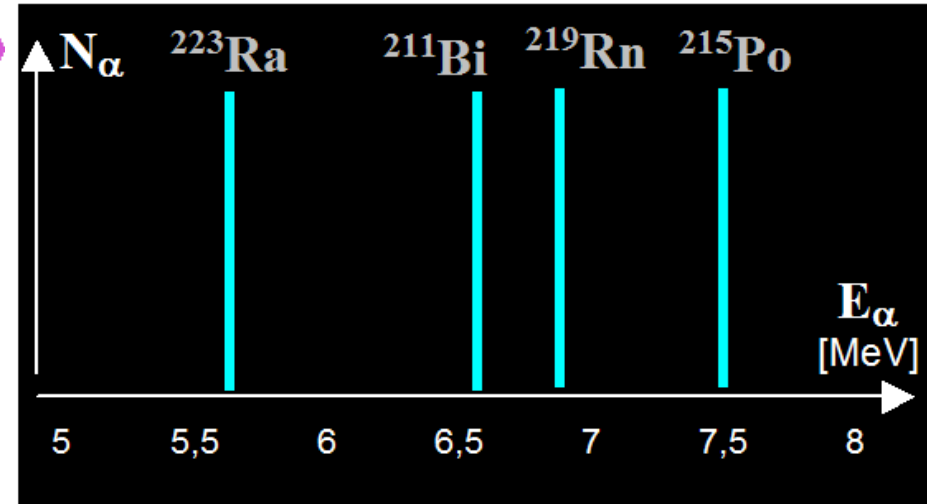
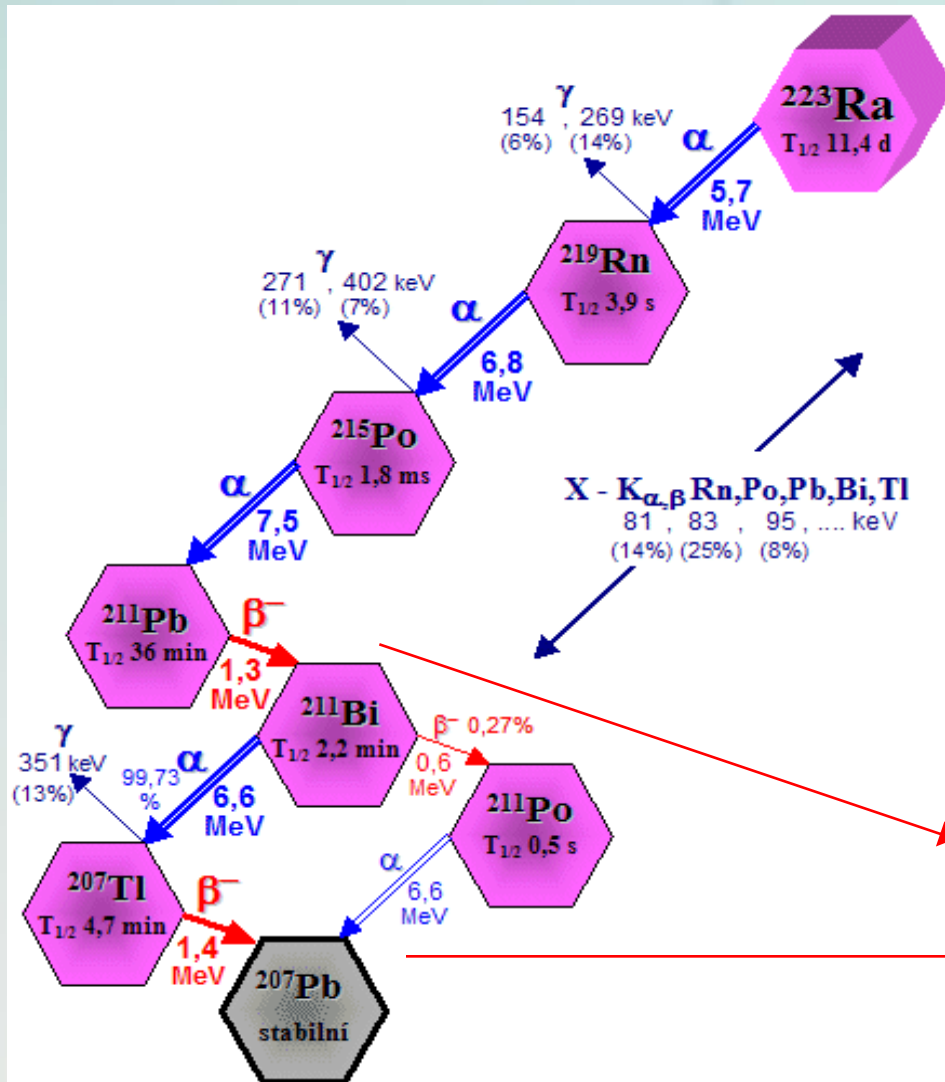
Při první přeměně ^{223}Ra (na radon ^{219}Rn) je emitováno záření alfa o energiích 5,6 a 5,7 MeV a záření gama o energiích především 154 a 269 keV.

Při radioaktivitě dceřinných nuklidů rozpadové řady je pak emitována řada dalších energií částic alfa, beta a fotonů gama, především: z ^{219}Rn je to α 6,4 a 6,8 MeV a γ 271 a 402 keV; z ^{215}Po je to α 7,4 MeV; z ^{211}Pb je to beta 540 a 1372 keV a slabé γ 404 a 832 keV; z ^{211}Bi je to α 6,3 a 6,6 MeV a γ 351 keV; z ^{207}Tl se emituje beta max. energie 1423 keV a slabé gama 898 keV.

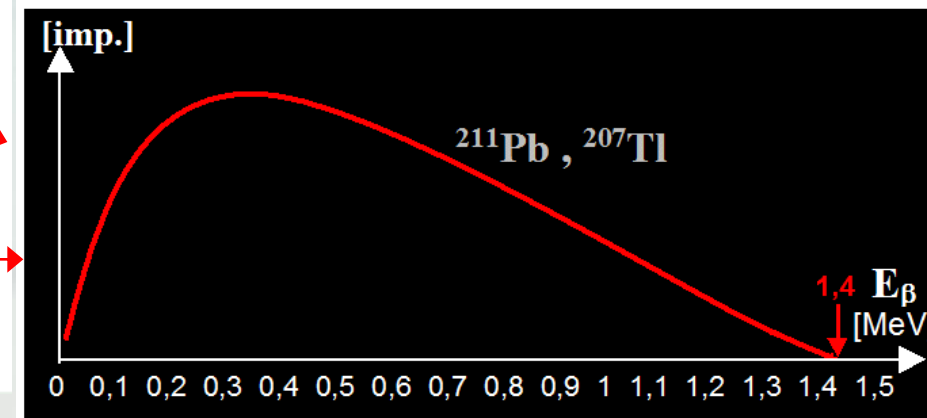
Vedlejší větev $^{211}\text{Bi}(\beta^-) \rightarrow ^{211}\text{Po}$ vzhledem ke svému nízkému zastoupení (0,27%) nemá žádný praktický význam.

RADIUM ^{223}Ra

Spektrum záření alfa:

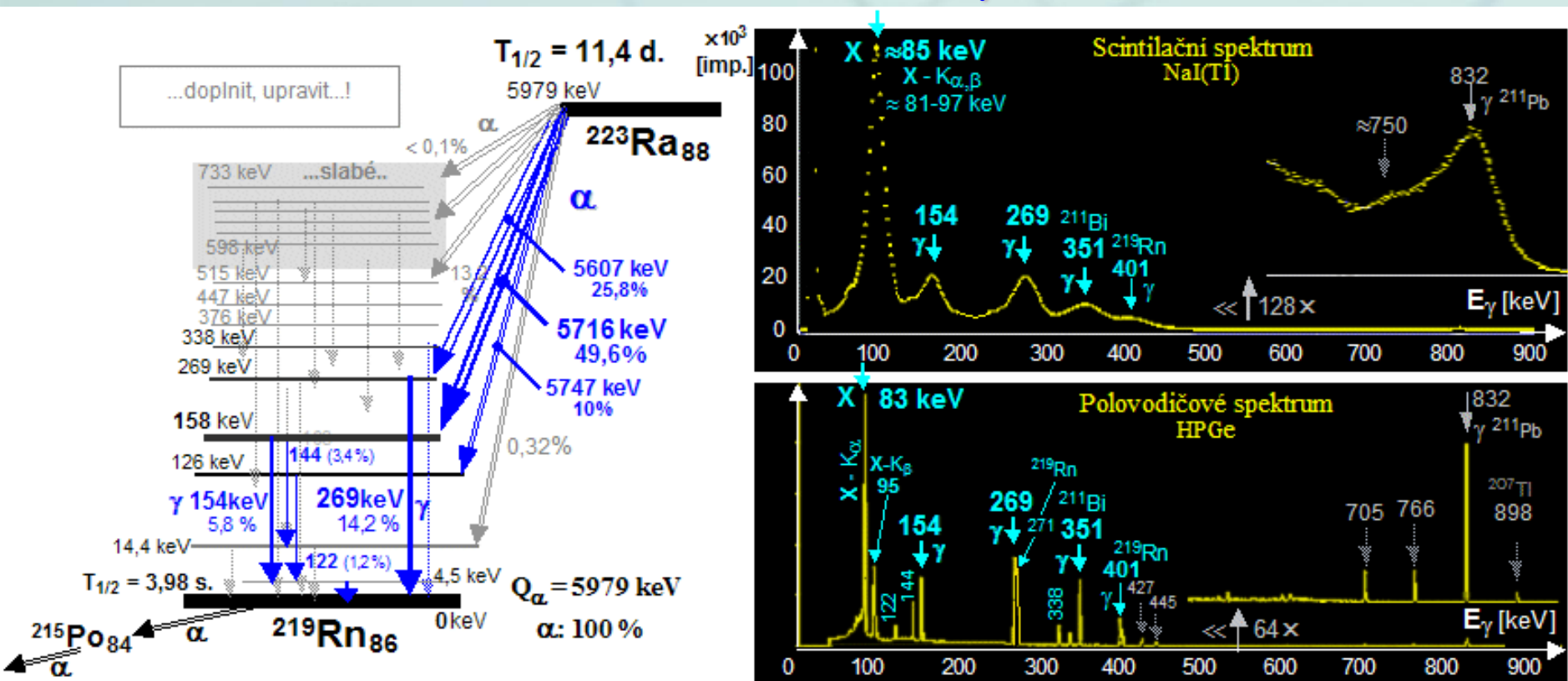


Spektrum záření beta:



RADIUM ^{223}Ra

γ - spektrum



γ - spektrum ^{223}Ra včetně dceřinných produktů z celé rozpadové řady

RADIUM ^{223}Ra

Při jedné úplné radioaktivní přeměně jádra ^{223}Ra v celé rozpadové řadě až na stabilní ^{207}Pb se uvolní celková jaderná energie

$$Q = 29,986 \text{ MeV},$$

která je z asi 95% odnášena **4 alfa-částicemi**, ze 3% elektrony beta+neutriny a z asi 1% *) fotony gama a X-záření.

*) Toto zdánlivě malé procentuální zastoupení fotonového záření je důsledkem energetického přepočtu vzhledem k vysoenergetickým α -částicím. **Absolutní počet** emitovaných fotonů gama a X je ve skutečnosti **poměrně vysoký**, pro energie v rozmezí 80-400keV představuje cca 96%! Nejvíce zastoupené X a gama-energie jsou: X 81(14%), 83(25%) a 95keV(8%), gama 154(5,8%), 269(14%), 351(13%) a 401keV(7%).

RADIUM ^{223}Ra

U radia ^{223}Ra a dceřinných produktů rozpadové řady je využíváno především emitované

alfa-záření o energiích **5,4-7,4 MeV**

(celkem **4 alfa-částice/1přeměnu ^{223}Ra**)

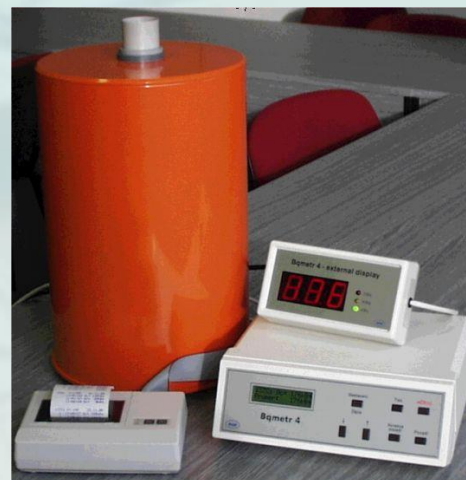
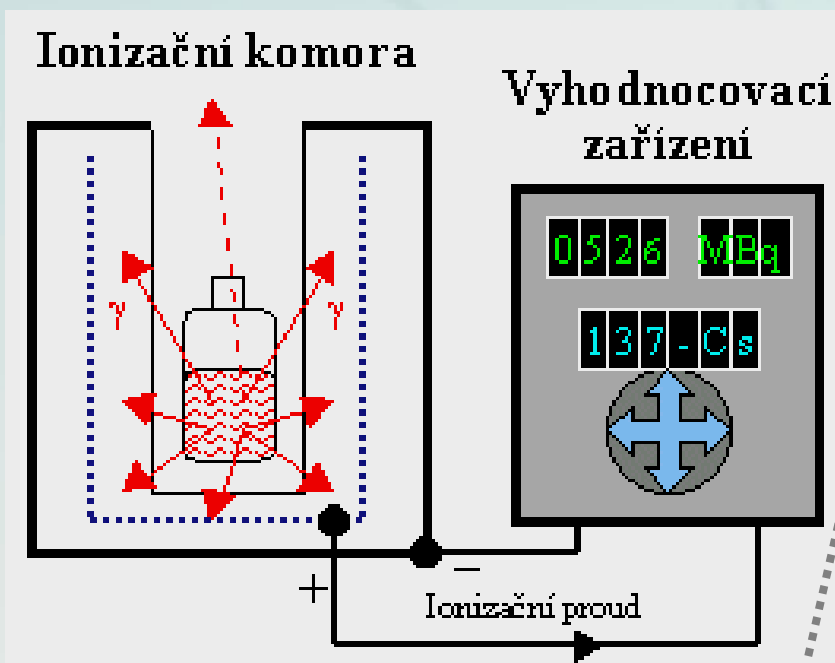
v nukleární medicíně pro **radioisotovou terapii kostních metastáz**, které se často vyskytují u karcinomu prsu a prostaty.

Elektrony **beta** mají jen zanedbatelný význam.

Záření **gama** ^{223}Ra a jeho dceřinných nuklidů se při terapii prakticky neuplatňuje, ale může být využito pro **gamagrafické monitorování** distribuce radiofarmaka v organismu.

RADIUM ^{223}Ra

Pozitivní význam poměrně značného zastoupení záření gama spočívá rovněž v možnosti **snadného měření aktivity** preparátů ^{223}Ra v běžných měřicích aktivity s ionizační komorou, za použití příslušné kalibrace gama-konstanty.



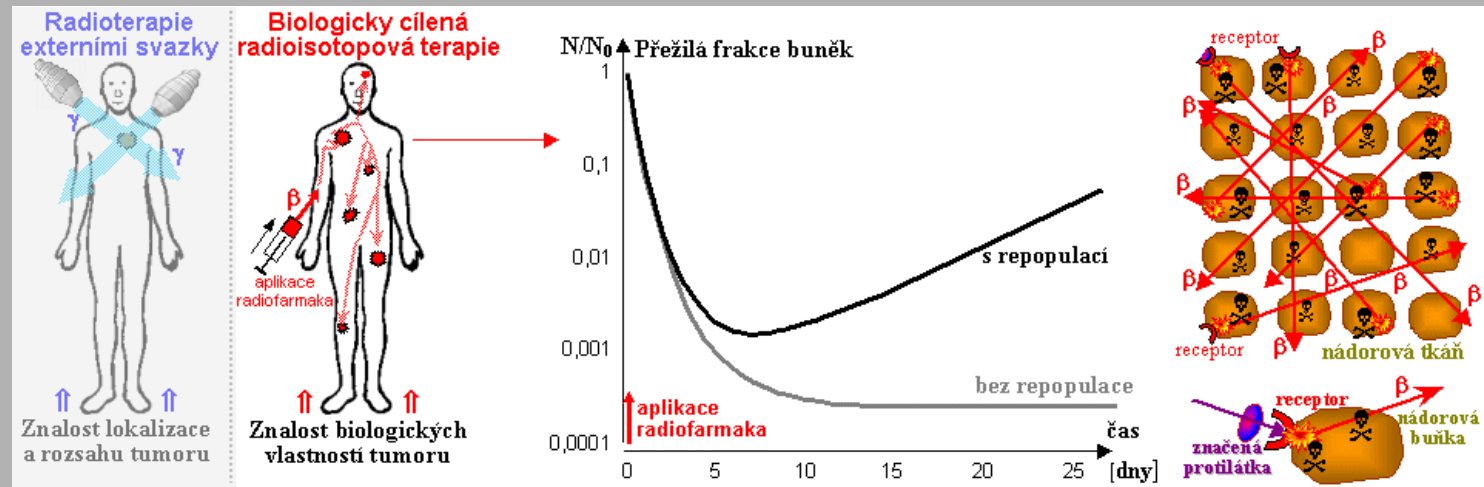
BQmetr



Curimenter

Iso-Factor=251

Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči



Koprodukce dvou základních faktorů:

➤ Fyzikální faktory

- druh radionuklidu, druh emitovaného záření (α, β, γ) a jeho energie, poločas rozpadu

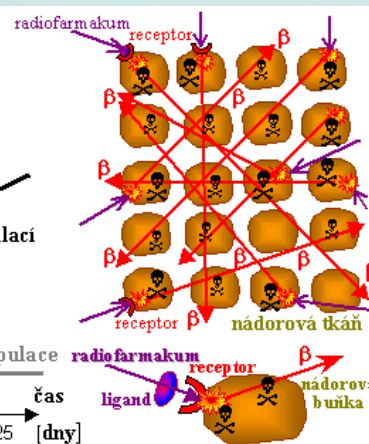
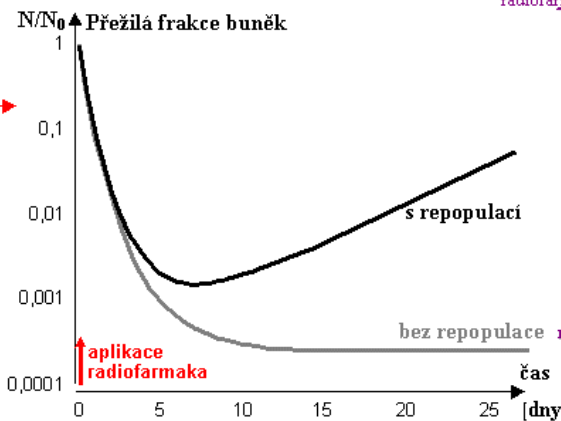
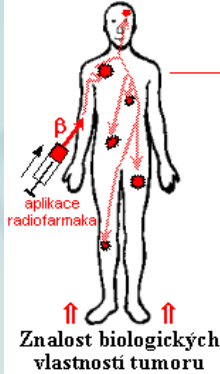
➤ Biologické a radiobiologické faktory

- radiosenzitivita patologických buněk \Leftrightarrow buněk zdravých tkání a orgánů

- farmakokinetika terapeutických radionuklidů

Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči

Biologicky cílená radioisotopová terapie

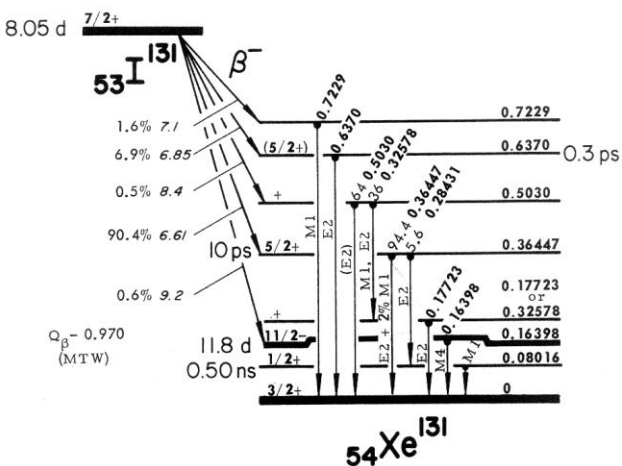


► Fyzikální faktory

- druh radionuklidu, druh emitovaného záření (α, β, γ) a jeho energie, poločas rozpadu

Pro terapii otevřenými radionuklidy je vhodné pouze záření s **malou pronikavostí** (krátkým doletem), především záření **beta**, popř. **Augerovy elektrony**, nebo záření **alfa**. Krátký dolet tohoto záření v tkáni zajišťuje, že účinek záření je **lokalizován** na orgán či oblast tkáně, v níž se radioaktivní látka vchytila.

K radiační zátěži dalších tkání a orgánů však může docházet vlivem částečného **nežádoucího vchyťávání** použitého radiofarmaka v těchto tkáních a při metabolickém zpracování radiofarmaka !



Terapie: „Co nejvíce **beta** či **alfa**, co nejméně **gama**“
Diagnostika (scintigrafie): „Co nejvíce **gama**, co nejméně **beta** či **alfa**“

Avšak: malá složka gama může být použita ke scintigrafickému **monitorování** radionuklidové terapie

Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči

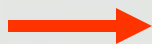
► Některé radionuklidy používané pro terapii - dosah záření a střední účinná vzdálenost

Radionuklid	T _{1/2}	Typ záření	Maximální dosah v tkáni	Stř. dosah
Ra-223	11,5d	α/β/γ	→ 60μm (α)	60μm
At-211	7,2h	α/γ	→ 65μm (α)	65μm
Ac-225	10d	α/β/γ	→ 85μm (α)	75μm
Bi-212	1h	α/β/γ	→ 87μm (α)	76μm
Er-169	9,5d	β	→ 1mm (β)	0,3mm
Lu-177	6,71d	β/γ	→ 2,1mm (β)	0,7mm
Cu-67	2,58d	β/γ	→ 2,2mm	0,7mm
I-131	8,04d	β/γ	→ 2,4mm	0,9mm
Sm-153	1,95d	β/γ	→ 3,0mm	1,2mm
Au-198	2,7d	β/γ	→ 4,4mm (β)	1,5mm
Re-186	3,77d	β/γ	→ 5,0mm	1,8mm
Dy-165	2,33h	β/γ	→ 6,4mm	2,1mm
Sr-89	50,5d	β	→ 8,0mm	2,6mm
P-32	14,3d	β	→ 8,7mm	2,9mm
Ho-166	27h	β/γ	→ 8,8mm	2,9mm
Re-188	3,8d	β/γ	→ 10,5mm	3,5mm
In-114m	50d	β/γ	→ 10,8mm	3,6mm
Y-90	2,67d	β	→ 12mm	3,9mm

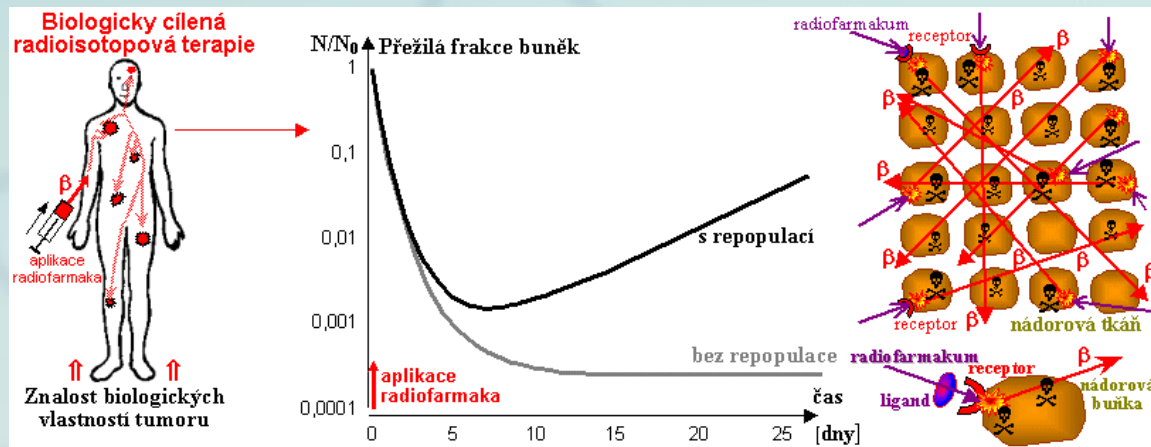
Dosah (dolet) záření v tkáni závisí na druhu a energii příslušných kvant.

U záření β je **maximální dosah** dán maximální energií ve spojitém spektru; tuto energii má však jen malé procento elektronů β. Důležitější je zde **střední dosah**, který představuje asi 1/3 max. doletu - je dán střední energií ve spektru β.

U záření α, které je "monochromatické", není prakticky rozdíl mezi maximálním a středním doletem (rozdíl je jen tehdy, když jsou emitovány dvě či více linií alfa s různými energiemi).



Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči



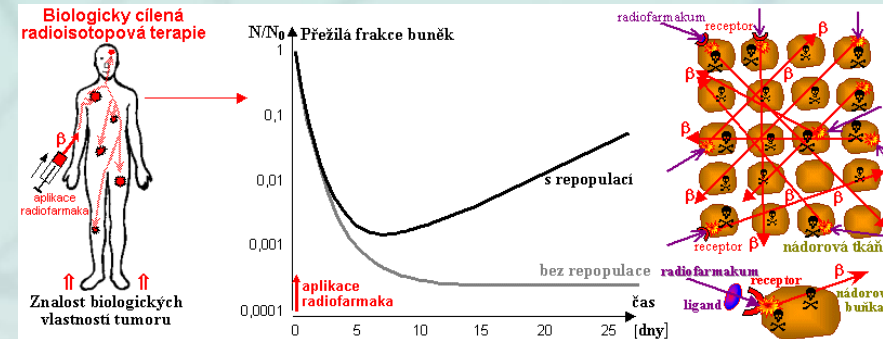
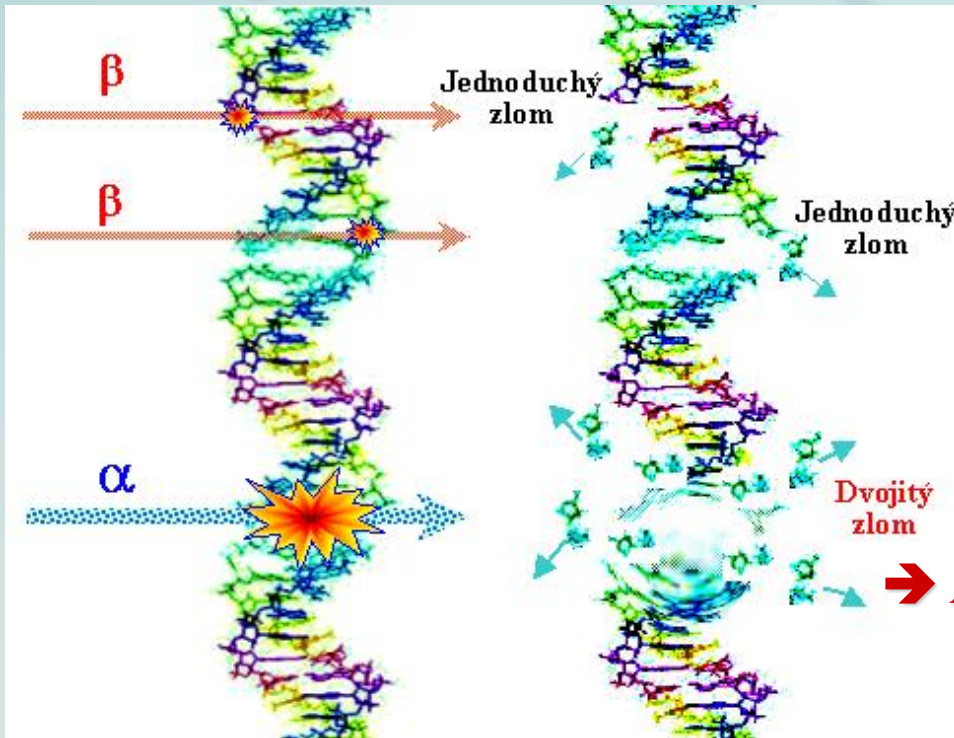
Beta versus alfa radionuklidy pro terapii

- Hmotnost α -částic je cca 7000× větší než β -částic
- Energie α -částic je $\approx 10-30\times$ větší než β -částic (α typicky 4-6MeV, β cca 200-700keV)
- Elektrický náboj α -částic je 2× větší než β -částic (α : +2 , β : -1 - element. náboje |e|)
- LET α -částic je cca 100× větší než β -částic
- Efektivní dosah α -částic v tkáni je podstatně kratší než β -částic (u α cca 2-5 buněčných průměrů, u β stovky buněčných průměrů)



Alfa radionuklidy mají lokálně vyšší radiobiologickou účinnost než beta, avšak vzhledem ke krátkému doletu záření α se neuplatňuje „efekt křížové palby“

Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči



→ Apoptóza ☠

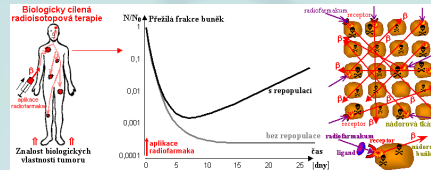
Beta versus alfa radionuklidy pro terapii

- Hmotnost α -částic je cca 7000× větší než β -částic
- Energie α -částic je $\approx 10-30\times$ větší než β -částic (α typicky 4-6MeV, β cca 200-700keV)
- Elektrický náboj α -částic je 2× větší než β -částic ($\alpha : +2$, $\beta : -1$ - element. náboje $|e|$)
- LET α -částic je cca 100× větší než β -částic
- Efektivní dosah α -částic v tkáni je podstatně kratší než β -částic (u α cca 2-5 buněčných průměrů, u β stovky buněčných průměrů)



Alfa radionuklidy mají lokálně vyšší radiobiologickou účinnost než beta, avšak vzhledem ke krátkému doletu záření α se neuplatňuje „efekt křížové palby“

Biologicky cílená radionuklidová terapie ^{223}Ra



^{223}Ra (, $T_{1/2} = 11.4\text{d}$)

--> ^{219}Ra (, $T_{1/2} = 3.96\text{s}$)

--> ^{215}Po (, $T_{1/2} = 1.78\text{ms}$)

--> ^{211}Pb (, $T_{1/2} = 36.1\text{m}$)

--> ^{211}Bi (, $T_{1/2} = 2.17\text{min}$)

--> ^{207}Tl (, $T_{1/2} = 4.77\text{min}$)

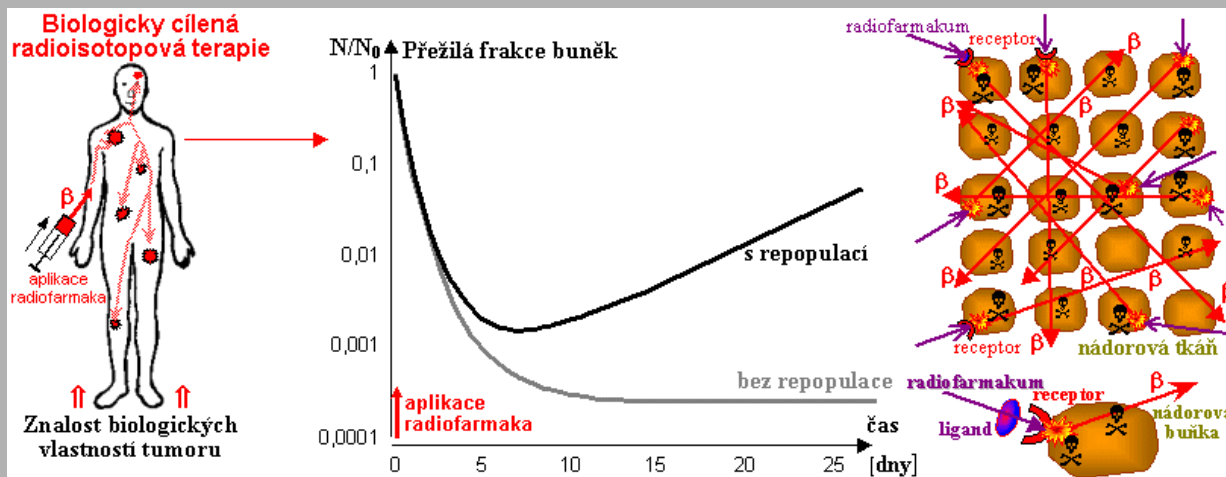
--> ^{207}Pb (stable)

- úspěšnost $^{223}\text{Ra-Cl}$ (Alpharadin)
při léčbě kostních metastáz

Multicentrická studie použití Alpharadinu pro terapii kostních metastáz
u Ca prostaty

→ Dát až na DNM ..?..

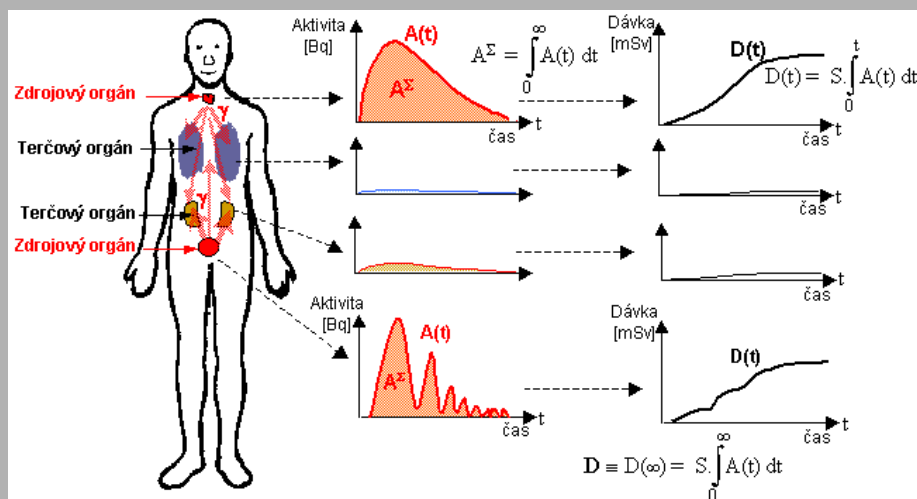
Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči



➤ Biologické a radiobiologické faktory

➔ **radiosenzitivita** patologických buněk **versus** buněk zdravých tkání a orgánů

➔ **farmakokinetika** terapeutických radionuklidů



↓ Požadavek ↓

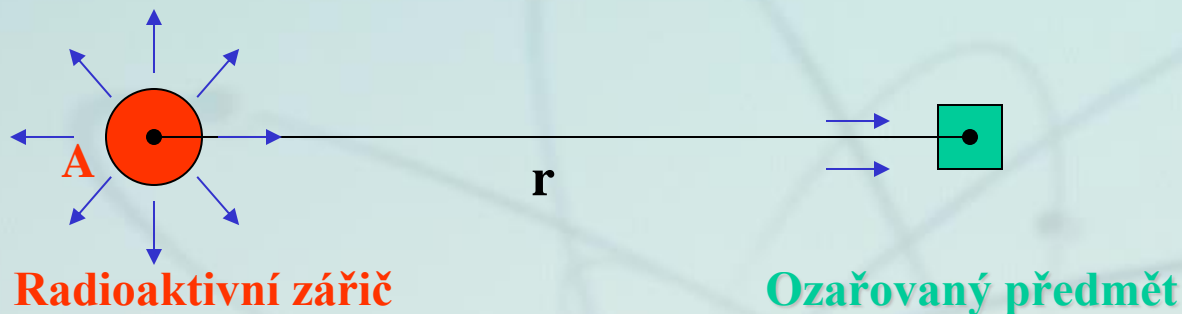
- vysoká akumulace v cílových tkáních
- nízká akumulace ve zdravých tkáních

Farmakokinetiku terapeutických radionuklidů lze ovlivnit farmakologicky např.:

- vysazením hormonální substituce, aplikací thyrogenu u ca štítné žlázy
- aplikací Rituximabu u lymfomů

Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči

- fyzikální faktory -



➤ Radiační dávka z radioaktivního zářiče

Radiační dávka \underline{D} od vnějšího (bodového) radioaktivního zdroje záření je dána jednoduchým vztahem

$$\underline{D} = \Gamma \cdot \frac{A}{r^2} \cdot t ,$$

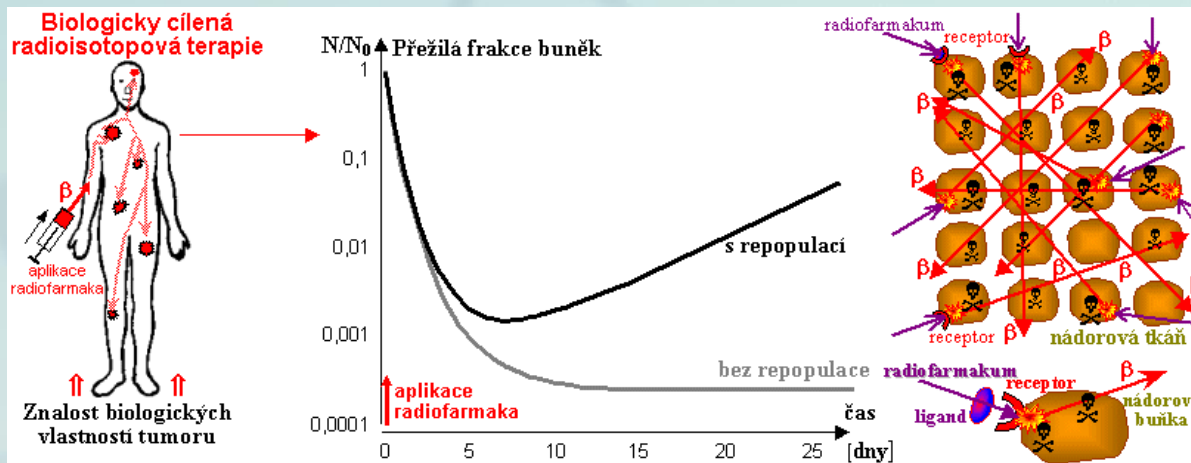
kde \underline{A} je aktivita zářiče, \underline{r} je vzdálenost od zářiče, \underline{t} je doba expozice. Koeficient Γ je *dávková konstanta* (*gama-konstanta*), udávající dávkový příkon [$\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$] ve vzdálenosti 1m od radioaktivního zdroje o aktivitě 1Bq.

Fyzikálně je radiační dávka \underline{D} dána *fluencí energie* emitovaného záření:

$$\underline{D} = \frac{(A \cdot \langle E \rangle \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})}{(4\pi r^2)} \cdot t \rightarrow \underline{D} = \Gamma \cdot \frac{A}{r^2} \cdot t$$

$\langle E \rangle$ je střední energie emitovaných částic v [eV] na 1 rozpad, koeficient $1,6 \cdot 10^{-19}$ je přepočítávací faktor mezi jednotkami energie [eV] a [J]

Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči



➤ **Radiační dávka z distribuce radioaktivity - obecně**

Radioaktivní látka **rozptýlená (distribuovaná)** v ozařovaném materiálu, např. v tkáni či orgánu, s měrnou (hmotnostní) radioaktivitou A [Bq/kg] bude poskytovat dávkový příkon R v [Gy/s] od záření krátkého doletu

$$R = A \cdot \langle E \rangle \cdot 1,6 \cdot 10^{-19},$$

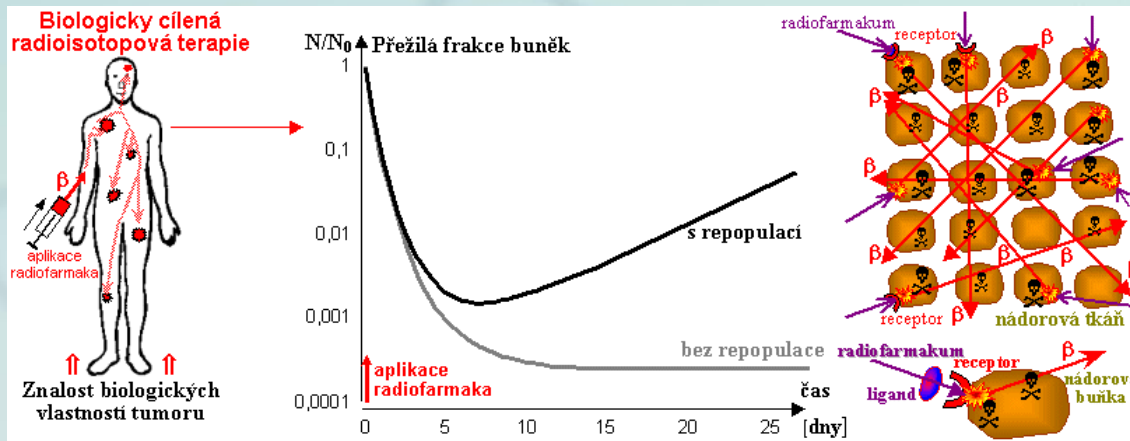
kde $\langle E \rangle$ je střední energie emitovaných částic v [eV] na 1 rozpad (koeficient $1,6 \cdot 10^{-19}$ je přepočítávací faktor mezi jednotkami energie [eV] a [J]).

Pokud aktivita distribuovaného radionuklidu s časem klesá podle exponenciálního zákona $A(t) = A_0 \cdot e^{-(\ln 2 / T_{1/2}^{ef}) \cdot t}$ s *efektivním poločasem* $T_{1/2}^{ef}$ [s], bude podle této závislosti s časem klesat i dávkový příkon: $R(t) = A_0 \cdot e^{-(\ln 2 / T_{1/2}^{ef}) \cdot t} \cdot \langle E \rangle \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$. **Celková radiační dávka** D [Gy],

způsobovaná v látce distribuovaným radionuklidem, pak bude dána časovým integrálem od 0 do ∞ : $D = \int_0^{\infty} [A_0 \cdot e^{-(\ln 2 / T_{1/2}^{ef}) \cdot t} \cdot \langle E \rangle \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}] dt$, což dává konečný výsledek:

$$D = A_0 \cdot (T_{1/2}^{ef} / \ln 2) \cdot \langle E \rangle \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}.$$

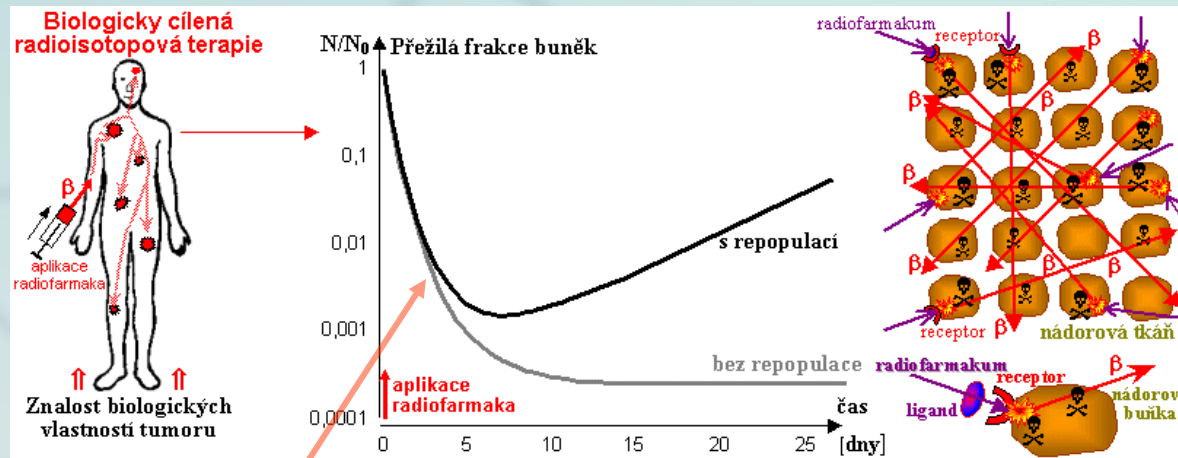
Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči



► Radiační dávka z distribuce radioaktivity - při radionuklidové terapii

Radiofarmakum o aktivitě A_{inj} se po aplikaci většinou rychle (během několika hodin) částečně **vychytá** v cílových tkáních; zbytek odchází z organismu především močovými cestami. V nejjednodušším případě se v cílovém ložisku hmotnosti m rovnoměrně akumulovala aktivita $A_0 = a \cdot A_{inj}$, daná akumulací schopností a dané tkáně (%). Tato aktivita A_0 způsobí svými emitovanými částicemi v daném ložisku dávkový příkon R_0 [Gy/s] = $A_0 \cdot \langle E \rangle \cdot 6 \cdot 10^{-12} / m$, kde $\langle E \rangle$ [MeV] je střední energie částic krátkého doletu (většinou beta, popř. alfa), která se absorbuje ve vyšetřovaném ložisku (koeficient $6 \cdot 10^{-9}$ je energetický přepočítávací faktor mezi jednotkami MeV → Joule, zahrnující též přepočet hmotnosti g → kg). Pak tato akumulovaná aktivita bude s časem t **klesat** přibližně exponenciálně: $A(t) = A_0 \cdot e^{-\kappa \cdot t}$ s efektivní rychlostí $\kappa = \ln 2 / T_{1/2}^{fyz} + \ln 2 / T_{1/2}^{biol}$, danou fyzikálním *poločasem rozpadu* $T_{1/2}^{fyz}$ použitého radionuklidu a *biologickým poločasem clearance* radiofarmata $T_{1/2}^{biol}$ z tkáně. Se stejným tempem bude klesat dávkový příkon v ložisku. **Kumulativní dávka** D obdržená v cílové tkáni po uplynutí času T pak je $D(T) = \int_0^T R(t) dt = (R_0 / \kappa) \cdot [1 - e^{-\kappa \cdot T}]$. Tuto radiační dávku, spolu s její časovou závislostí, lze pak dosadit do **lineárně-kvadratického modelu s časovým faktorem reparace** λ a *repopulace* T_{2r} : $-\ln(N/N_0) = \alpha \cdot D + \{2 \cdot [(1 - e^{-\lambda \cdot T}) \cdot (1 - 1/\lambda \cdot T)] / \lambda \cdot T\} \cdot \beta \cdot D^2 - \ln 2 \cdot T / T_{2r}$. V obecném případě vzniká složitá rovnice pro přežívající frakci buněk N/N_0 , která se však za předpokladu ozařovacího času dlouhého ve srovnání s efektivním poločasem poklesu radioaktivity v cílovém objemu (a při zanedbání buněčné proliferace) zjednoduší na: $-\ln(N/N_0) = \alpha \cdot D \cdot \{1 + R_0 / [(\lambda + \kappa) \cdot \alpha / \beta]\}$.

Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči



► Radiační dávka při radionuklidové terapii - výsledné vztahy

Kumulativní dávka \underline{D} obdržená v cílové tkáni po uplynutí času \underline{T} :

$$D(T) = \int_0^T R(t)dt = (R_0/\kappa) \cdot [1 - e^{-\kappa \cdot T}]$$

Biologická účinnost - přežívající frakce buněk N/N_0 v cílovém ložisku:

$$-\ln(N/N_0) = \alpha \cdot D \cdot \left\{ 1 + R_0 / [(\lambda + \kappa) \cdot \alpha / \beta] \right\} - [\text{repopulace}]$$

A_{inj} - aplikovaná aktivita ; $A_0 = a \cdot A_{inj}$ - aktivita vychytaná v cílovém ložisku hmotnosti \underline{m} ;

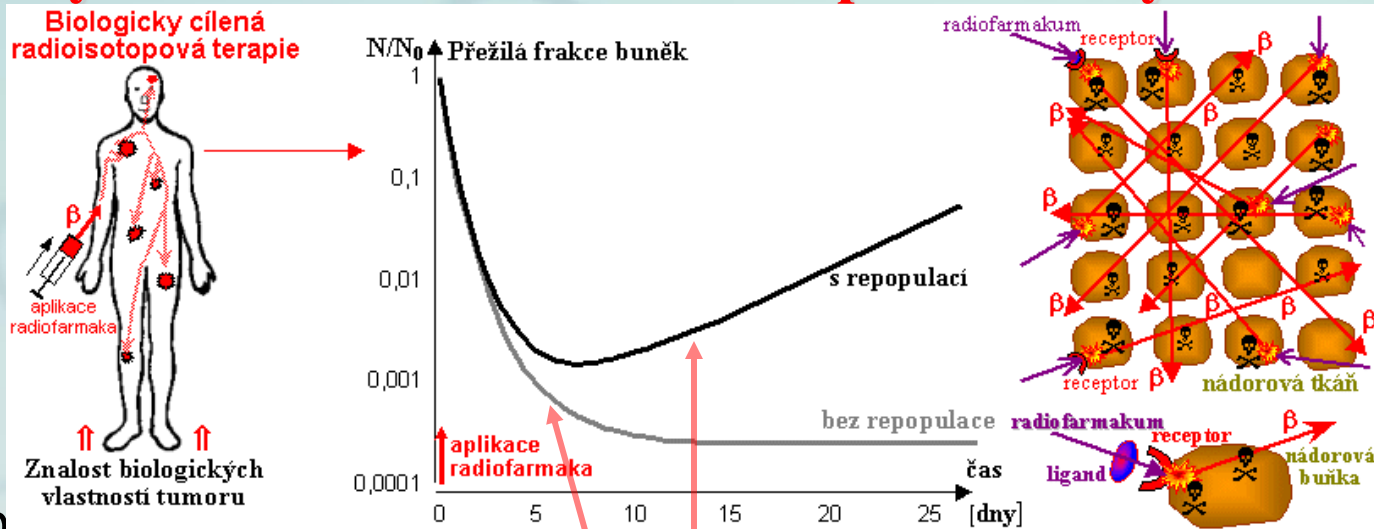
$R_0 [\text{Gy/s}] = A_0 \cdot \langle E \rangle \cdot 6 \cdot 10^{-12} / \underline{m}$ - počáteční dávkový příkon ; $\langle E \rangle$ [MeV] - střední energie částic ;

$\kappa = \ln 2 / T_{1/2}^{fyz} + \ln 2 / T_{1/2}^{biol}$ - efektivní rychlost poklesu aktivity daná fyzikálním *poločasem rozpadu* $T_{1/2}^{fyz}$ použitého radionuklidu a *biologickým počase* clearance radiofarmata $T_{1/2}^{biol}$ z tkáně ;

λ - rychlost buněčné reparace ; α a β - tkáňové parametry vyjadřující průměrnou pravděpodobnost α -poškození na jednotku dávky a β -poškození na čtverec dávky ;

N_0 - výchozí počet buněk ; N - počet přežilých buněk

Biologicky cílená radionuklidová terapie otevřenými zářiči



Během exp

► **Radiační dávka a biologická účinnost při radioisotopové terapii**

radiace, která je schopná vyvolat kromě smrti, se vedle radiace může projevit i proliferace (repopulace) nádorových buněk v ložisku. Dokud je dávkový příkon vyšší než kritická hodnota $\ln 2 / (\alpha \cdot T_{2r})$, bude se počet buněk v nádorovém ložisku snižovat, později při poklesu radiace může převládnout proliferace nádorových buněk - další dávka bude již "zbytečnou" či "odpadní" (*wasted dose*). Je proto žádoucí aplikovat tak vysokou aktivitu radiofarmaka, aby vysoký dávkový příkon z akumulované radioaktivity v nádorové tkáni rychle zlikvidoval pokud možno všechny klonogenní buňky ještě před převládnutím buněčné repopulace. V tomto směru je však častou překážkou *radiotoxicita* pro ty zdravé tkáně a orgány, v nichž se radiofarmakum rovněž nechtěně

vychytává...

Radioimunoterapie - další radiofarmaka

Ve stádiu zkoušení např.:

^{131}I -anti-CD45 (BC8) při akutní leukemii,

^{131}I -81C6 anti-tenascin proti maligním mozgovým nádorům,

^{90}Y -anti-CD66 proti akutní leukemii,

^{153}Sm -DTPA-cetuximab, ^{180}Tm -DOPA-cetuximab, ^{153}Sm -bleomycin,

^{188}Re -rituximab anti CD20, ^{188}Re -basiliximab anti CD25,

^{188}Re -trastuzumab anti HER neu 2, ^{188}Re -alemtuzumab anti CD52

^{211}At -cMAb U36 - značená chimerická monoklonální protilátka U36 s afinitou k nádorům z dlaždicových buněk v oblasti hlavy a krku

Pro terapii metastatického **karcinomu prostaty** byla vyvinuta **monoklonální protilátka mAb J591** na specifický membránový prostatický antigen (**PSMA**), značená lutetiem ^{177}Lu nebo ytriem ^{90}Y . Tato látka vykazuje vysokou specificitu nádorového zacílení – snad **perspektivní pro NM**.

Označení inhibitorů PSMA $^{99\text{m}}\text{Tc}$ či ^{68}Ga – scintigrafická diagnostika \Rightarrow Teranostika $\rightarrow\rightarrow$

Kritická diskusní otázka o perspektivě radioisotopové terapie pomocí ^{223}Ra

- Na radiofarmakum ^{223}Ra -dichlorid (Xofigo) byla nasazena neúnosně **vysoká cena** – otázka dostupnosti pro řadu pracovišť' ..?..
- Je otázka, zda je rozumné dávat statisíce za (převážně) **paliativní** terapii kostních metastáz ca prostaty pomocí ^{223}Ra na pracovištích nukleární medicíny, když je možná k dispozici radiofarmakum nejen s paliativním, ale i s **kurativním** efektem ..?..



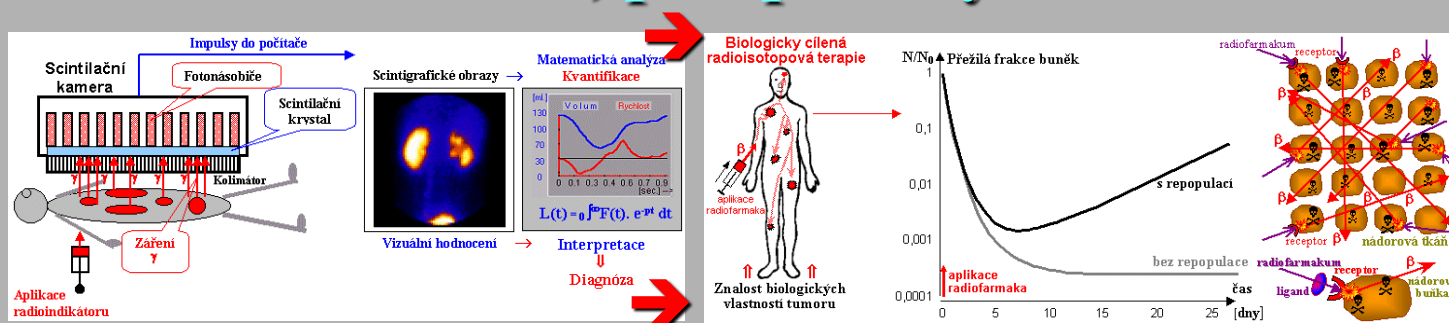
Pro terapii metastatického **karcinomu prostaty** byla vyvinuta **monoklonální protilátka mAb J591** na specifický membránový prostatický antigen (**PSMA**), značená lutetiem ^{177}Lu nebo ytriem ^{90}Y . Tato látka vykazuje vysokou specificitu nádorového zacílení – snad **perspektivní pro NM**.

Označení inhibitorů PSMA $^{99\text{m}}\text{Tc}$ či ^{68}Ga – scintigrafická diagnostika \Rightarrow Teranostika $\rightarrow\rightarrow$

Molekulární gamagrafické zobrazení

Biologicky cílená radionuklidová terapie

- závěr , perspektivy -



- Účinný nástroj ke **specifické diagnostice a cílené léčbě** (nejen) onkologických onemocnění
- Vývoj a výzkum **nových látek s vyšší specificitou**, kombinace s paletou stávajících i nových radioizotopů

Kombinace diagnostiky a terapie:

Teranostika (terapie + diagnostika => teranostika, angl. Theranostics)

Molekulární zobrazení v nukleární medicíně + Biologicky cílená terapie

Podrobněji je problematika rozebírána na

www-stránkách: „**AstroNuklFyzika**“

Jaderná fyzika - Astrofyzika - Kosmologie - Filosofie



Část vlnouti stránky

Některé konkrétní odkazy:

Jaderná a radiční fyzika :

<http://AstroNuklFyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>

<http://AstroNuklFyzika.cz/JadRadFyzika.htm>

..... atd.

Astrofyzika, kosmologie, teorie relativity :

Antropický princip a neb kosmický Bůh:

<http://AstroNuklFyzika.cz/AntropPrincip.htm>

Gravitace, černé díry a fyzika prostoročasu:

<http://AstroNuklFyzika.cz/Gravit.CerneDiry.htm>

Kosmická alchymie:

<http://AstroNuklFyzika.cz/KosmickaAlchymie.htm>

Průběh vývoje:

<http://AstroNuklFyzika.cz/HudbaJedle.htm>

<http://AstroNuklFyzika.cz/HudbaJapostro.htm> atd.

<http://AstroNuklFyzika.cz>

§1.4 Radionuklidy

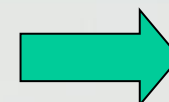
§ 5.2. Biologické účinky ionizujícího záření

§ 3.6. Radioterapie



Radioisotopová terapie

☺ **Děkujeme za pozornost** ☺



END

Konec prezentace

