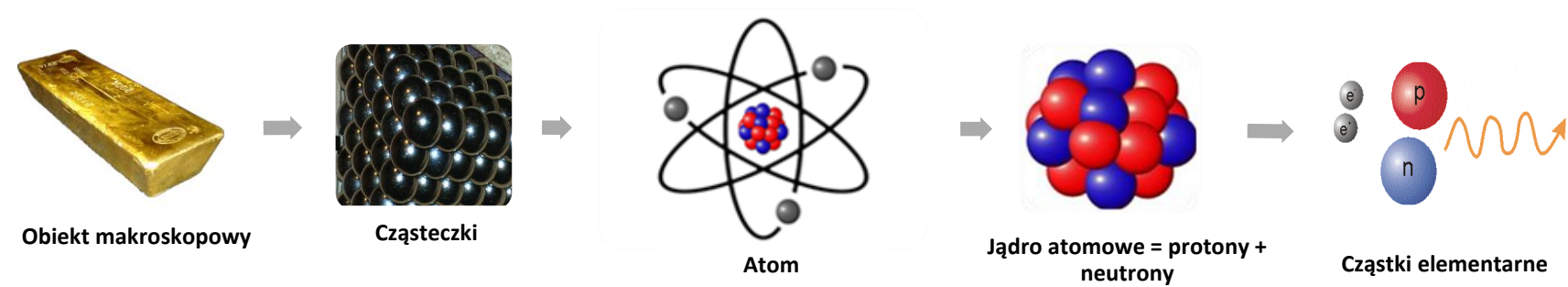


1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

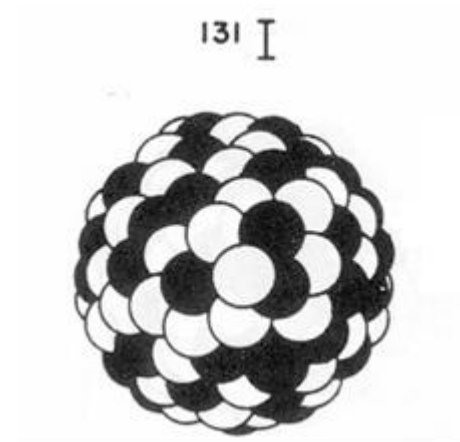
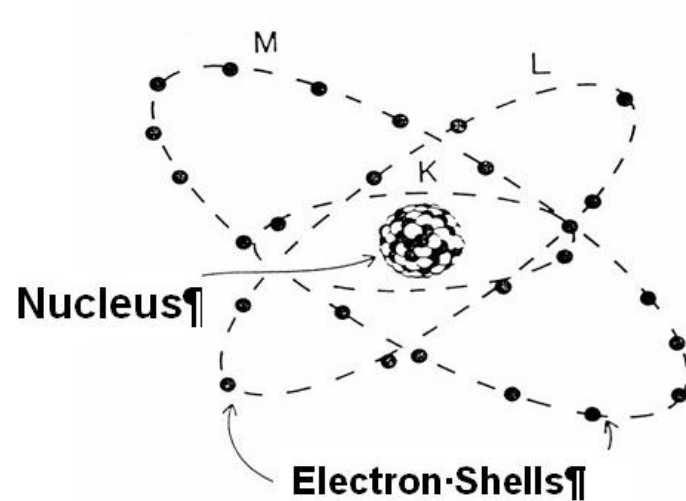
Rozmiary atomu są bardzo małe, typową wartością jest 10^{-10} m, natomiast rozmiary jądra atomowego są rzędu 10^{-15} m. Jądro atomowe nie jest najmniejszym elementem materii. Jego składnikami są nukleony, obojętny elektrycznie neutron i dodatnio naładowany proton.



Element materii	Rozmiar [m]
Makro-świat	$>10^{-4}$
Cząsteczka	$(10^{-9} \div 10^{-6})$
Atom	10^{-10}
Jądro atomowe	10^{-15}

1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

Proszę podać i opisać wszystkie właściwości jąder atomowych i atomów, które są wykorzystywane w medycynie.



1) - ?

2) - ?

1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

Jądro atomowe stanowi układ związany nukleonów i jest naładowane dodatnio. Symbol pierwiastka A_ZX koduje liczbę Z elektronów w atomie, natomiast A jest liczbą masową i opisuje całkowitą liczbę nukleonów w jądrze. Ładunek jądra jest równy sumie ładunku elementarnego protonów (a także elektronów) wchodzących w skład jądra atomowego. Ładunek elementarny, czyli ładunek elektryczny niesiony przez proton bądź elektron, definiowany jest jako:

$$1\,e = 1.602 \cdot 10^{-19}\,C$$

Liczbę neutronów w jądrze atomowym można obliczyć jako $N = A - Z$. Masa atomu wyrażana jest w jednostkach masy atomowej (jma), co stanowi 1/12 masy atomu węgla ${}^{12}\text{C}$.

cząstka	Masa [jma]	ładunek [C]	Energia [MeV]
proton	1.0078	$1.602 \cdot 10^{-19}\,C = +1e$	938.2
neutron	1.0087	0	939.2
elektron	0.00055	$1.602 \cdot 10^{-19}\,C = -1e$	0.511
pozyton	0.00055	$1.602 \cdot 10^{-19}\,C = +1e$	0.511
foton	0	0	różna

W fizyce atomowej i jądrowej energia wyrażana jest w elektronowoltach [eV], definiowanych jako energia elektronu, którą zyskuje on w polu elektrycznym o różnicy potencjałów 1 V:

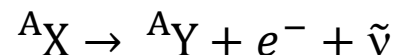
$$1\,eV = 1.66 \cdot 10^{-19}\,J$$

1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

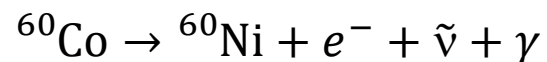
Proces rozpadu jądra atomowego jest zjawiskiem samorzutnym i spontanicznym.

Emisja cząstki ze źródła promieniotwórczego zachodzi z określonym prawdopodobieństwem opisanym stałą rozpadu λ , która związana jest ze średnim czasem życia jądra promieniotwórczego τ , $\tau=1/\lambda$.

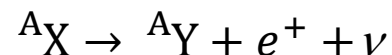
Rozpad β^- $\rightarrow$ z jądra emitowany jest elektron, a procesowi rozpadu towarzyszy również powstanie cząstki - antyneutrino.



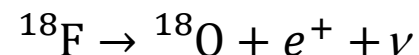
Przykładowa reakcja rozpadu jądra ${}^{60}\text{Co}$ stosowanego jako źródło promieniowania w radioterapii:



Rozpad β^+ $\rightarrow$ z jądra emitowany jest pozyton, a procesowi rozpadu towarzyszy również powstanie cząstki - neutrino.

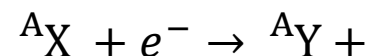


Przykładowa reakcja rozpadu ${}^{18}\text{F}$ stosowanego jako radioznacznik w pozytonowej tomografii emisyjnej:

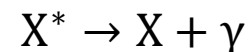


1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

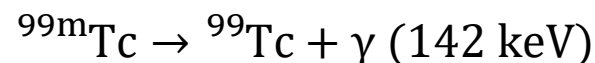
Przekształcenie protonu w neutron może również odbyć się na drodze **wychwytu przez jądro elektronu orbitalnego**. Ze względu na najbliższą odległość powłoki K od jądra najbardziej prawdopodobne jest wychwycenie przez jądro elektronu z tej powłoki (tzw. **wychwyt K**). Procesowi temu towarzyszy również emisja neutrino.

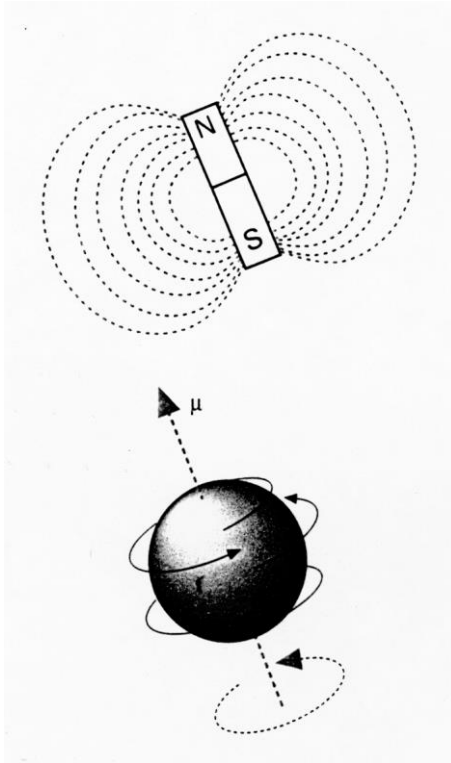


Rozpad γ → jądro emituje promieniowanie elektromagnetyczne (promieniowanie γ) bez zmiany liczby nukleonów.



Przykładowa emisja kwantu γ na skutek przejścia izomerycznego dla jądra ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$, powszechnie wykorzystywanego w scyntygrafii:





Moment magnetyczny – niezerowa wartość

1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

Założmy, że źródło promieniotwórcze zawiera 10^{10} jąder radioizotopu. Ile jąder pozostanie radioaktywnych po 4 czasach pół-zaniku?

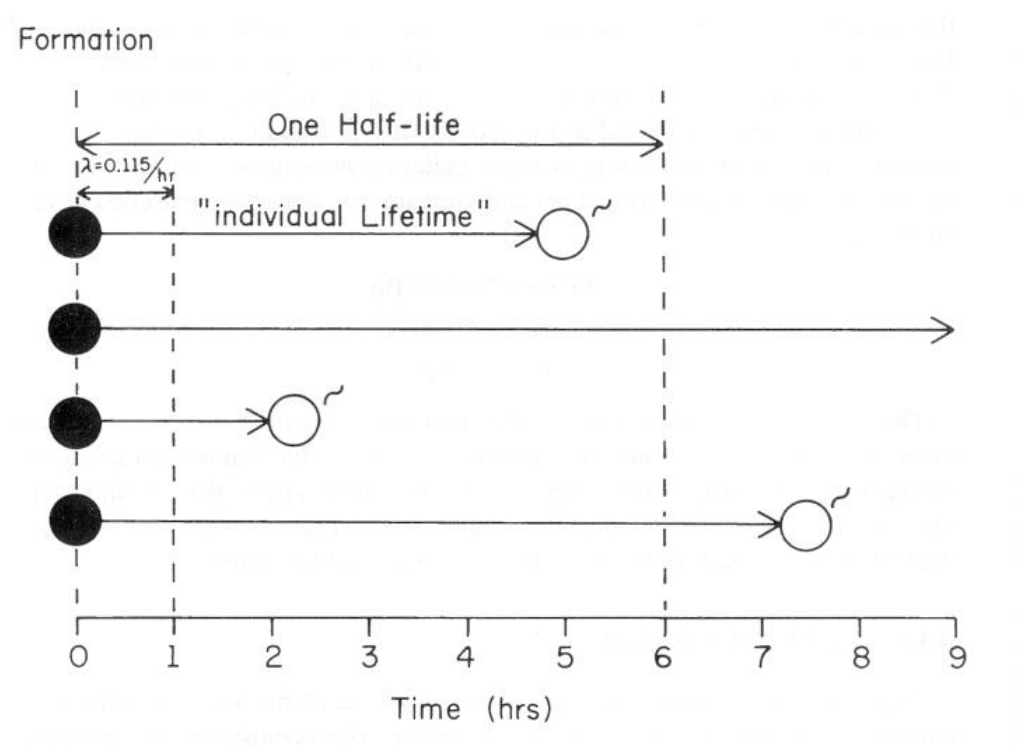
1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

Założmy, że źródło promieniotwórcze zawiera 10^{10} jąder radioizotopu. Ile jąder pozostanie radioaktywnych po 4 czasach pół-zaniku?

Po n czasach pół-zaniku w próbce, w której na początku znajdowało się N_0 jąder radioizotopu, **pozostanie** ich:

$$N_n = N_0 \cdot \frac{1}{2^n}$$

$$N_4 = \frac{1}{16} N_0 = 6.25 \cdot 10^8$$



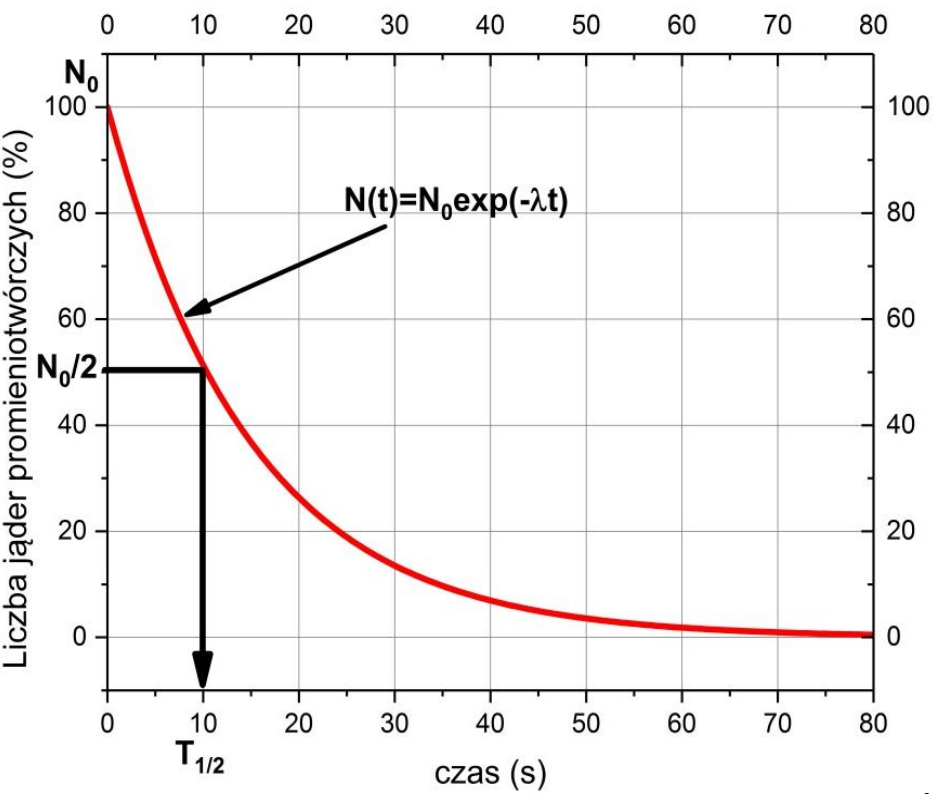
Średni czas życia (T) – stała rozpadu (λ) – $\lambda = 1/T$

1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

Efekt czasowy przemiany jąder niestabilnych jest niezmiennie ważną charakterystyką izotopu promieniotwórczego. Bez względu bowiem na rodzaj przemiany jądrowej oraz ze względu na statystyczny charakter procesu, w danym przedziale czasu, przemianom ulega ten sam ułamek jąder. Prowadzi to do uniwersalnego **prawa rozpadu promieniotwórczego**:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 \exp(-\lambda t)$$

$N(t)$ – jest liczbą jąder, które nie uległy rozpadowi po czasie t , N_0 – jest początkową liczbą jąder promieniotwórczych, t - to czas, λ - jest stałą rozpadu promieniotwórczego, charakteryzującą prawdopodobieństwo rozpadu.



Ze stałą rozpadu promieniotwórczego związany jest **czas połowicznego zaniku** $T_{1/2}$, zdefiniowany, jako czas, po którym liczba jąder promieniotwórczych zmaleje o połowę. $T_{1/2}$ jest związany ze stałą rozpadu równaniem:

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

Liczbę rozpadów zachodzącą w źródle promieniotwórczym w jednostce czasu nazywamy aktywnością A i definiujemy jako:

$$A(t) = N(t) \cdot \lambda$$

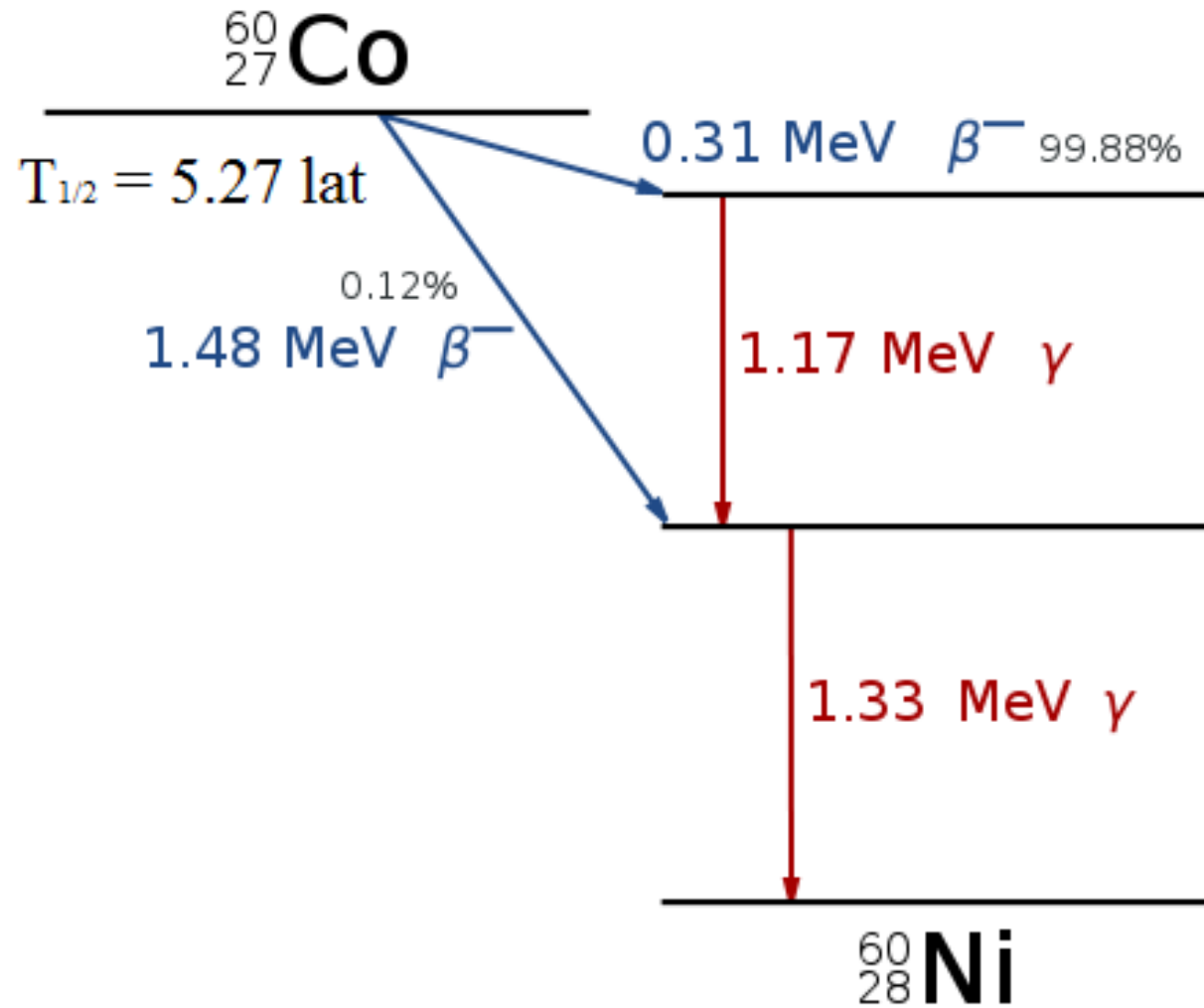
$$[A] = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ rozpad/s}$$

$$[A] = 1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ rozpadów/s} = 37 \text{ GBq}$$

Kiur (Ci) jest jednostką historyczną, obecnie powszechne jest użycie **bekereli** (Bq).

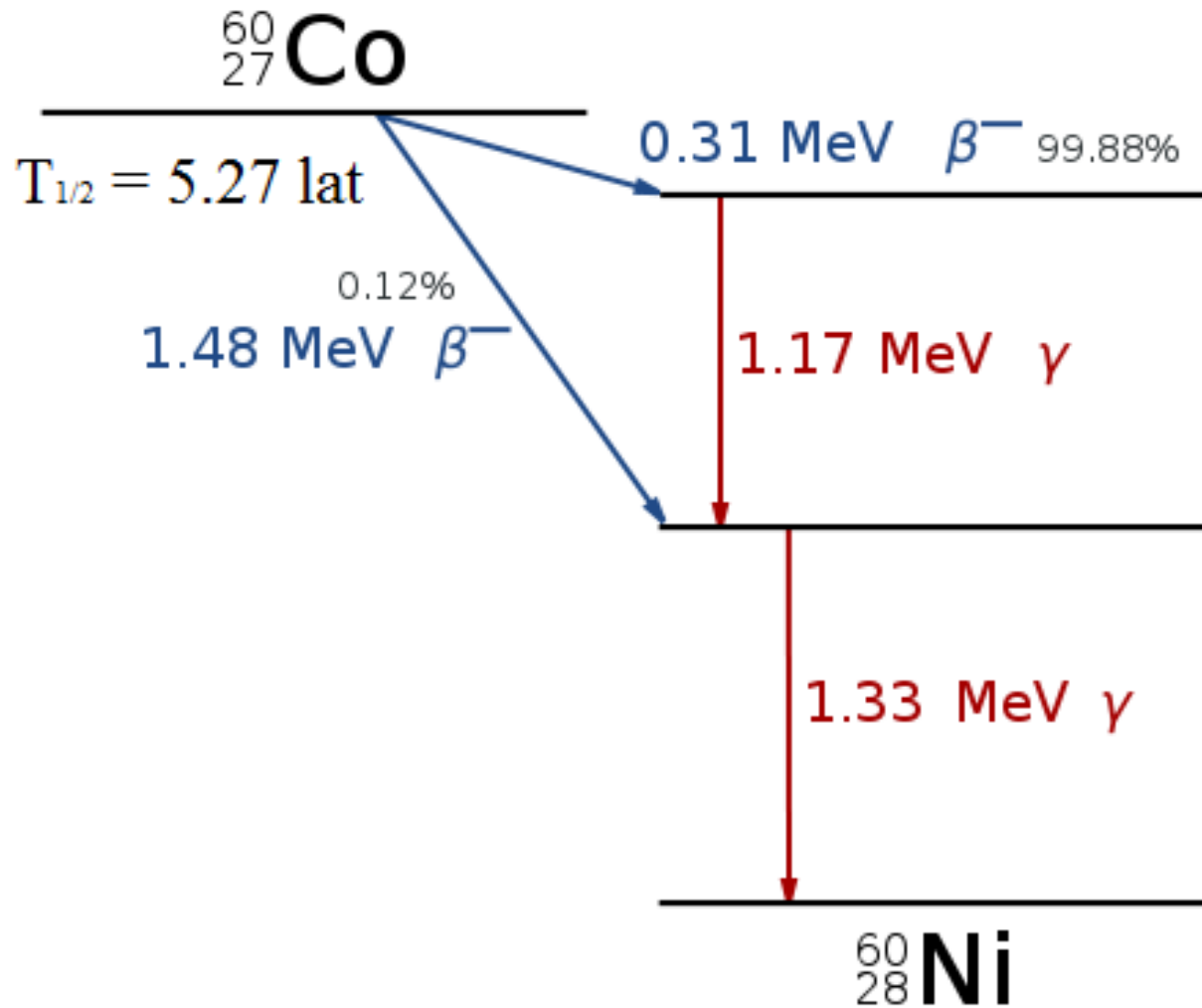
1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

Proszę podać interpretację poniższego schematu rozpadu promieniotwórczego.



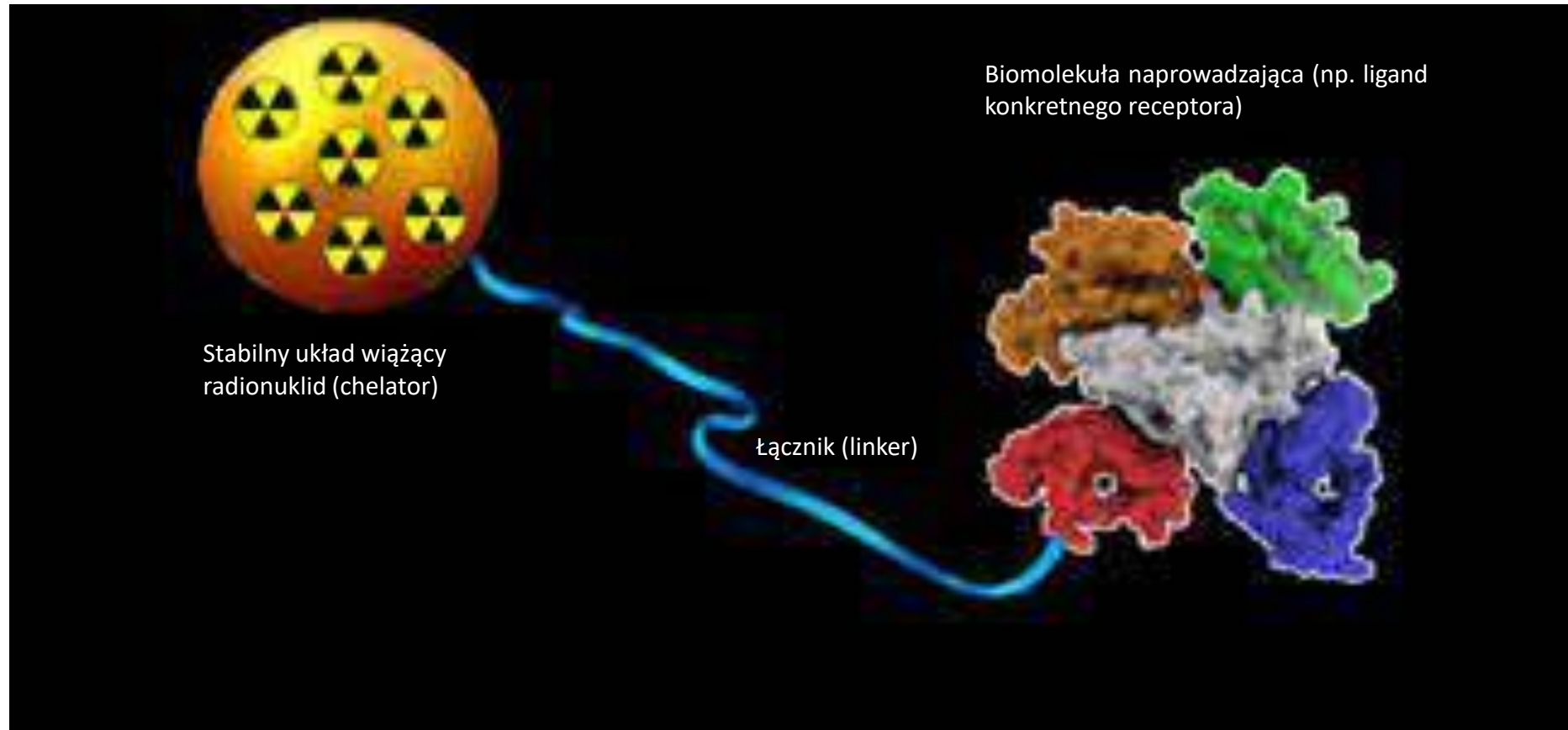
1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w medycynie

Proszę podać interpretację poniższego schematu rozpadu promieniotwórczego.



- ^{60}Co charakteryzuje się czasem półżaniku (5.27 lat)
- Otrzymuje się go w reaktorach jądrowych
- Rozpad do niklu jest źródłem promieniowania gamma - radioterapia

2. Radiofarmaceutyki, schemat budowy znacznika oraz przykłady radiofarmaceutyków stosowanych w medycynie, obrazowanie molekularne, metoda „theranostics”



Teranostyka = Terapia + Diagnostyka

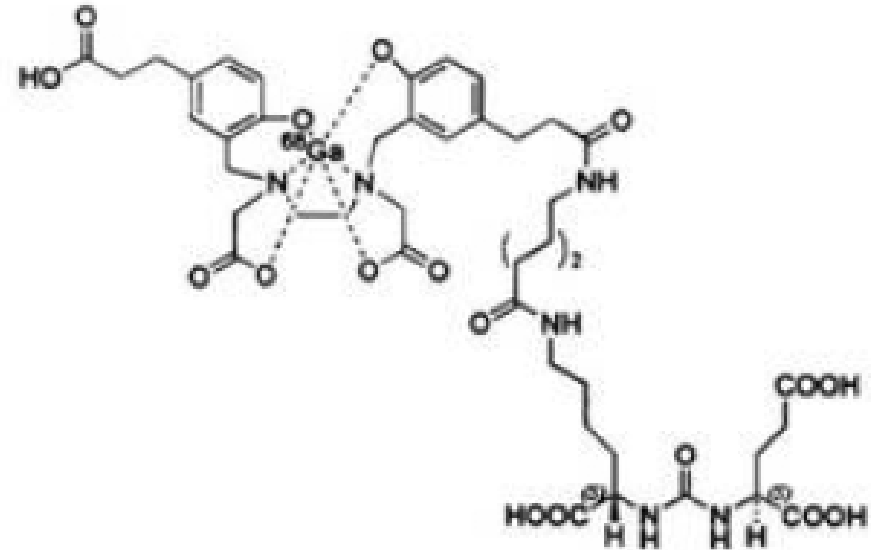
PSMA - prostate specific membrane antigen
PSA – prostate specific antigen

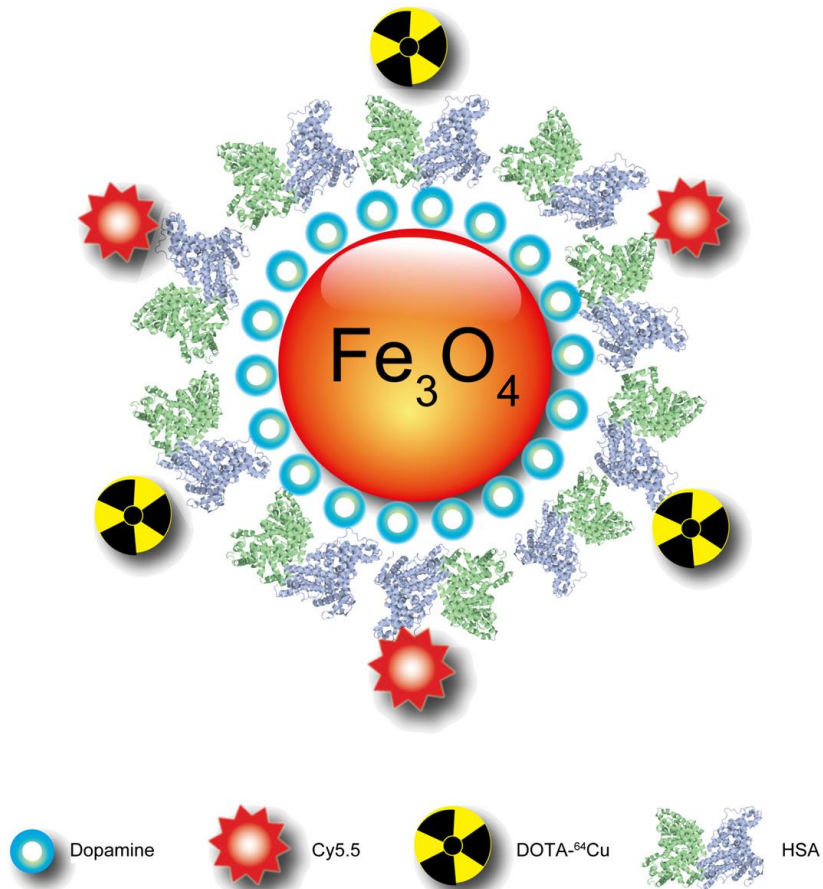
^{68}Ga – $T_{1/2} = 68 \text{ min} \rightarrow \text{PET}$

^{68}Ga -PSMA 11

^{177}Lu – $T_{1/2} = 6.73 \text{ d} \rightarrow \beta$ (490 keV – zasięg ~2 mm)

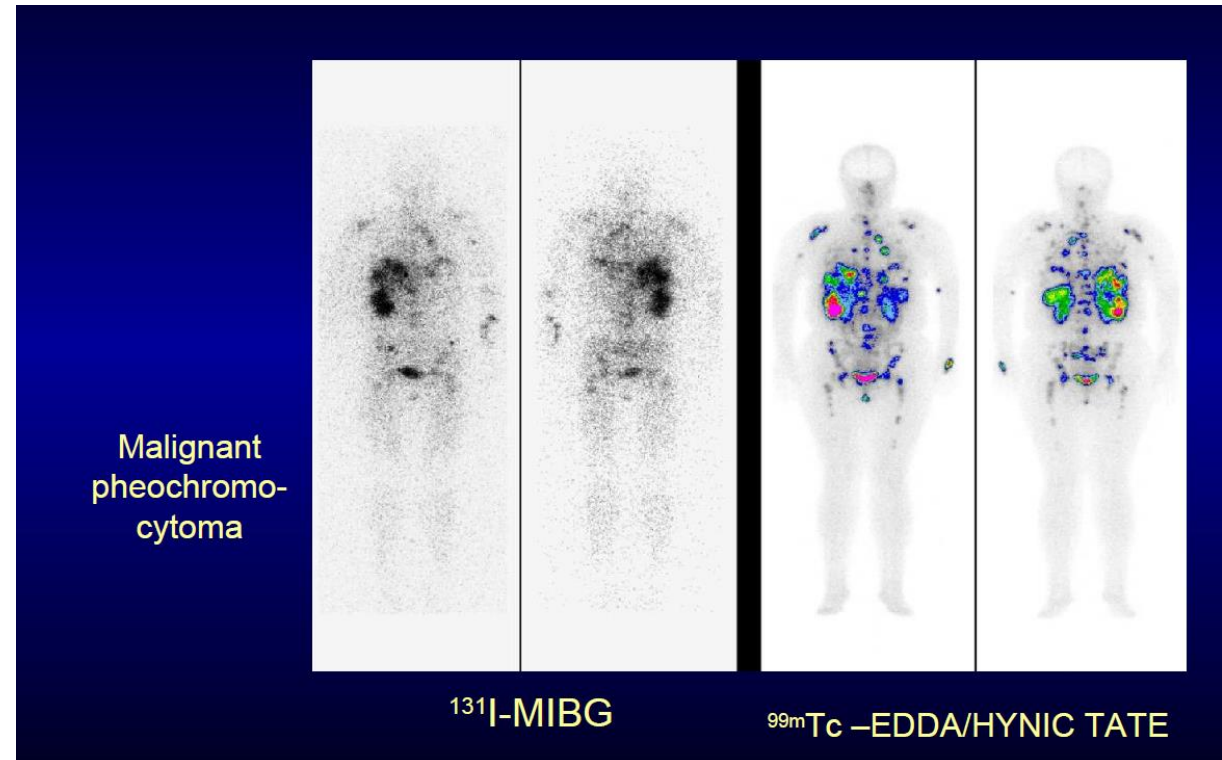
^{177}Lu -PSMA 617





Somatostatyna – hormon - regulacja układu endokrynnego – istnieją analogi syntetyczne

Komórki nowotworowe – duża liczba receptorów somatostatyny na powierzchni błony komórkowej

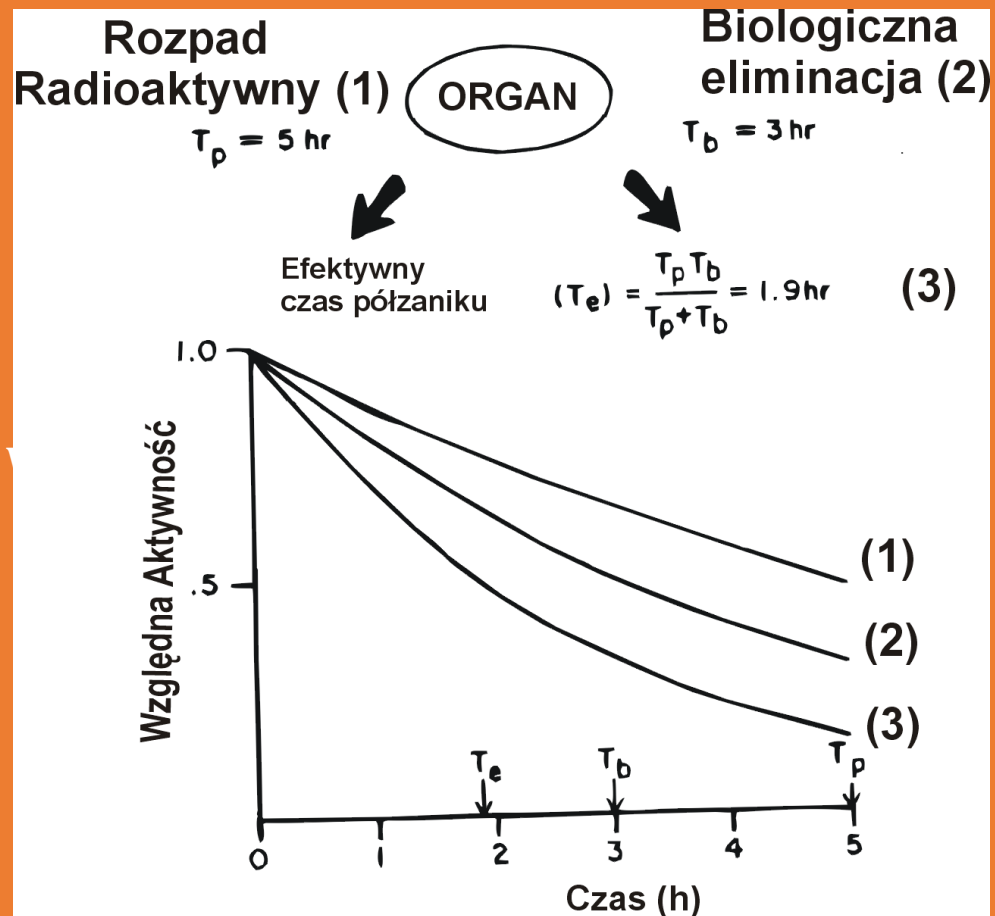


2. Radiofarmaceutyki, schemat budowy znacznika oraz przykłady radiofarmaceutyków stosowanych w medycynie, obrazowanie molekularne, metoda „theranostics”

Proszę wyjaśnić, w jaki sposób rozpad promieniotwórczy oraz biologiczna eliminacja wpływają na efektywny czas życia radioizotopu w ustroju.

2. Radiofarmaceutyki, schemat budowy znacznika oraz przykłady radiofarmaceutyków stosowanych w medycynie, obrazowanie molekularne, metoda „theranostics”

Proszę wyjaśnić, w jaki sposób rozpad promieniotwórczy oraz biologiczna eliminacja wpływają na efektywny czas życia radioizotopu w ustroju.



Efektywny czas półżycia:

$$T_e = \frac{T_p T_b}{T_p + T_b}$$

$$T_p \ll T_b \rightarrow T_e \approx T_p$$

$$T_b \ll T_p \rightarrow T_e \approx T_b$$

Źródłami promieniowania jonizującego stosowanymi w medycynie są izotopy promieniotwórcze, lampa rentgenowska oraz akceleratory cząstek naładowanych. Izotopy są wytwarzane w reakcjach jądrowych, są z reguły niestabilne i ulegają samorzutnym przemianom (Rozpady promieniotwórcze).

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić budowę i zasadę działania gamma-kamery oraz jej wykorzystanie w diagnostyce obrazowej.

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić budowę i zasadę działania gamma-kamery oraz jej wykorzystanie w diagnostyce obrazowej.

SCYNTYGRAFIA

Źródło promieniowania: radiofarmaceutyk znakowany izotopem technetu

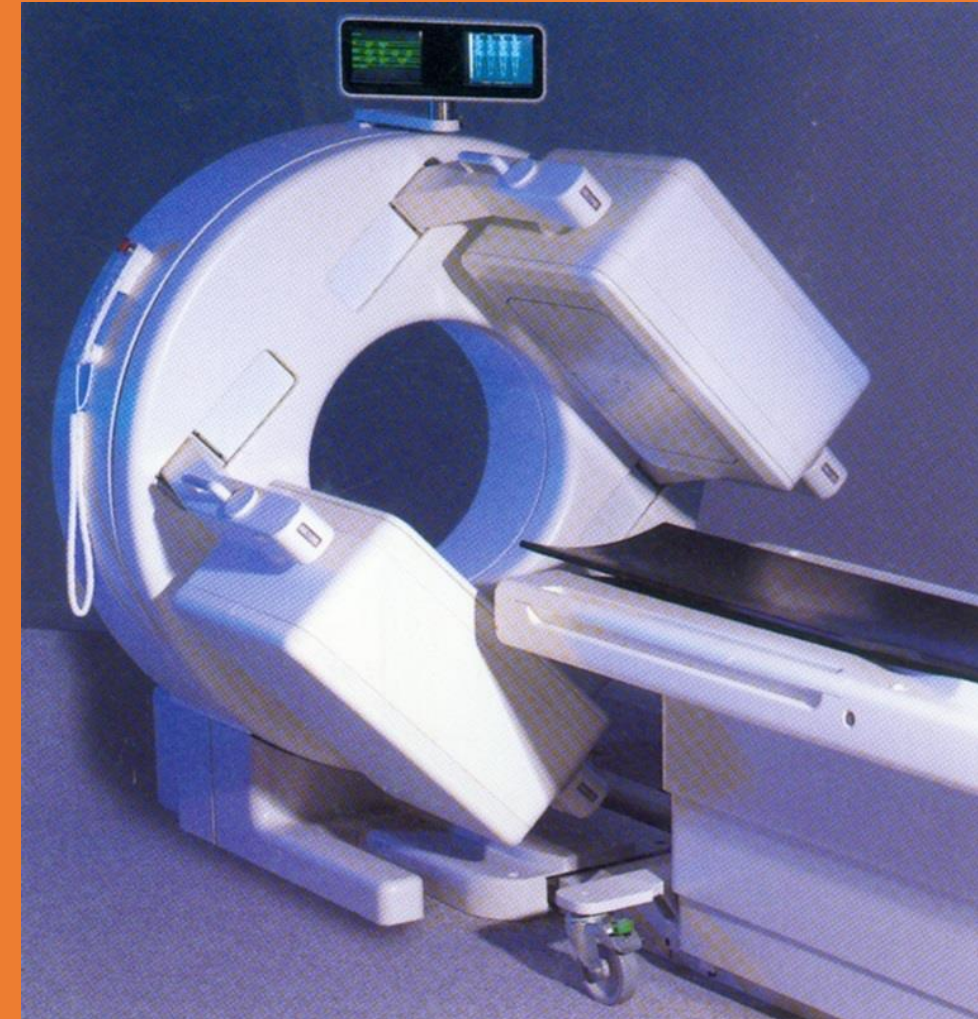
- ^{99m}Tc (HMDP-Tc99m, MDP-Tc99m, o aktywności 550 – 750 MBq)

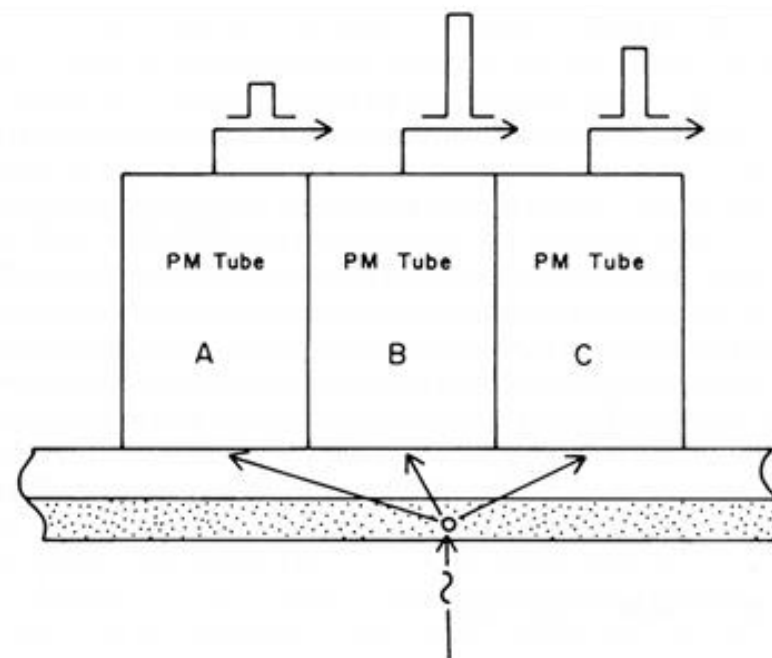
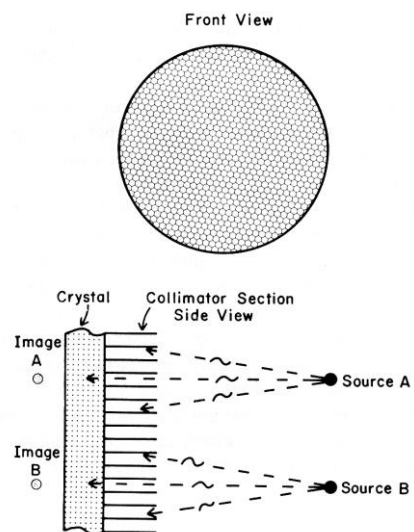
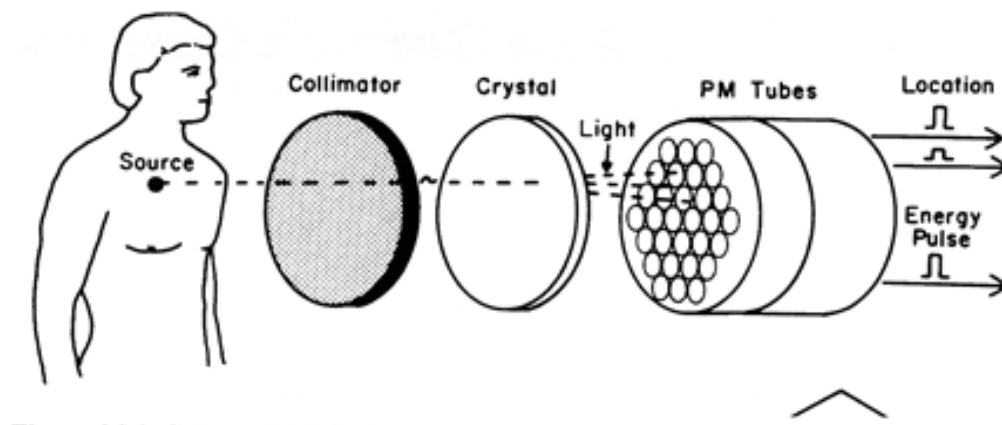
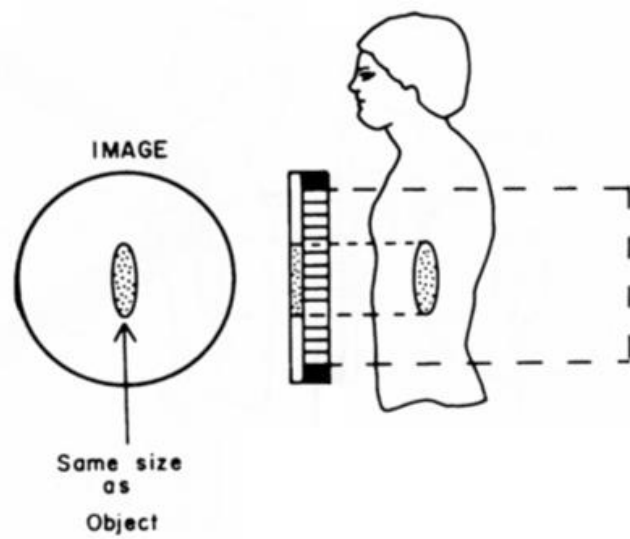
Detektor: gamma-kamera (kamera Angera, 1957 r.)

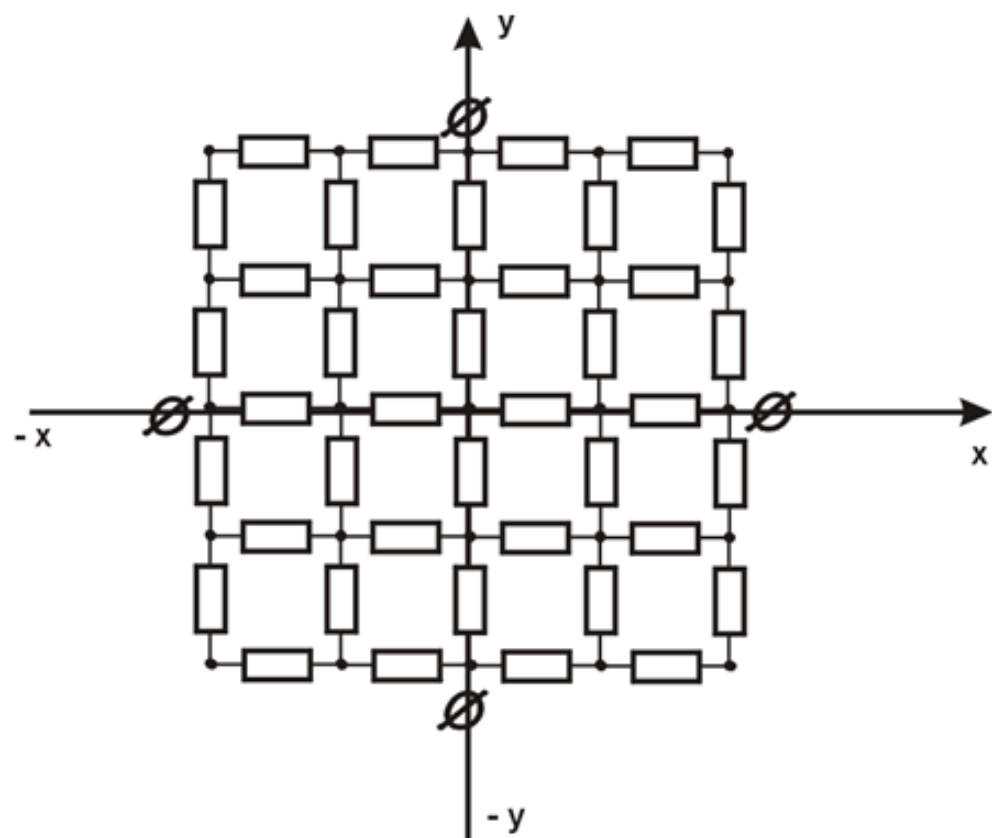
układ wielu **fotopowielaczy** na dużym **krysztale scyntylacyjnym**

+

układ wyznaczania **pozycji** błysków scyntylacyjnych



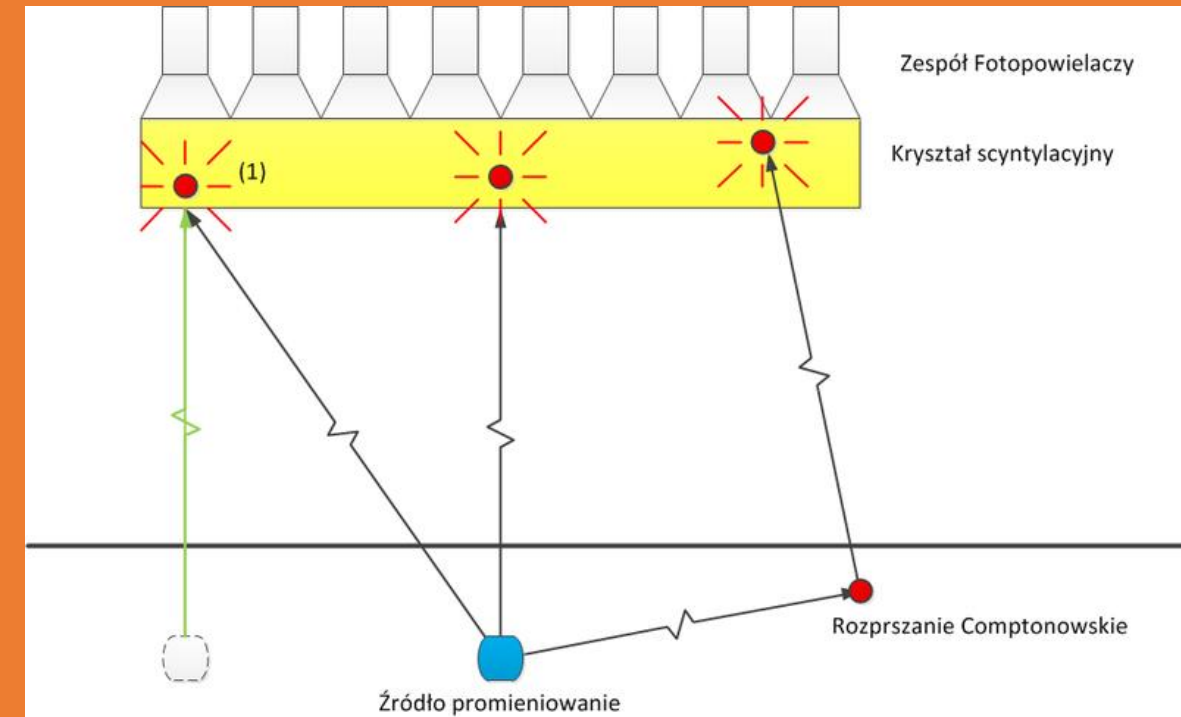




3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić budowę i zasadę działania gamma-kamery oraz jej wykorzystanie w diagnostyce obrazowej.

- **Detektor pozycyjny:** gamma-kamera
- **kolimator**, przepuszczający jedynie promienie prostopadłe do powierzchni kryształu
- **kryształ scyntylacyjny** (np. NaI(Tl)), tzn. taki, który pod wpływem promieniowania gamma emituje błyski światła widzialnego (scyntyłacje)
- scyntyłacje rejestrowane przez **fotopowielacze**
- sumowanie sygnałów i zrzutowanie ich na płaszczyznę – odwzorowanie rozmieszczenia radioznacznika w ciele



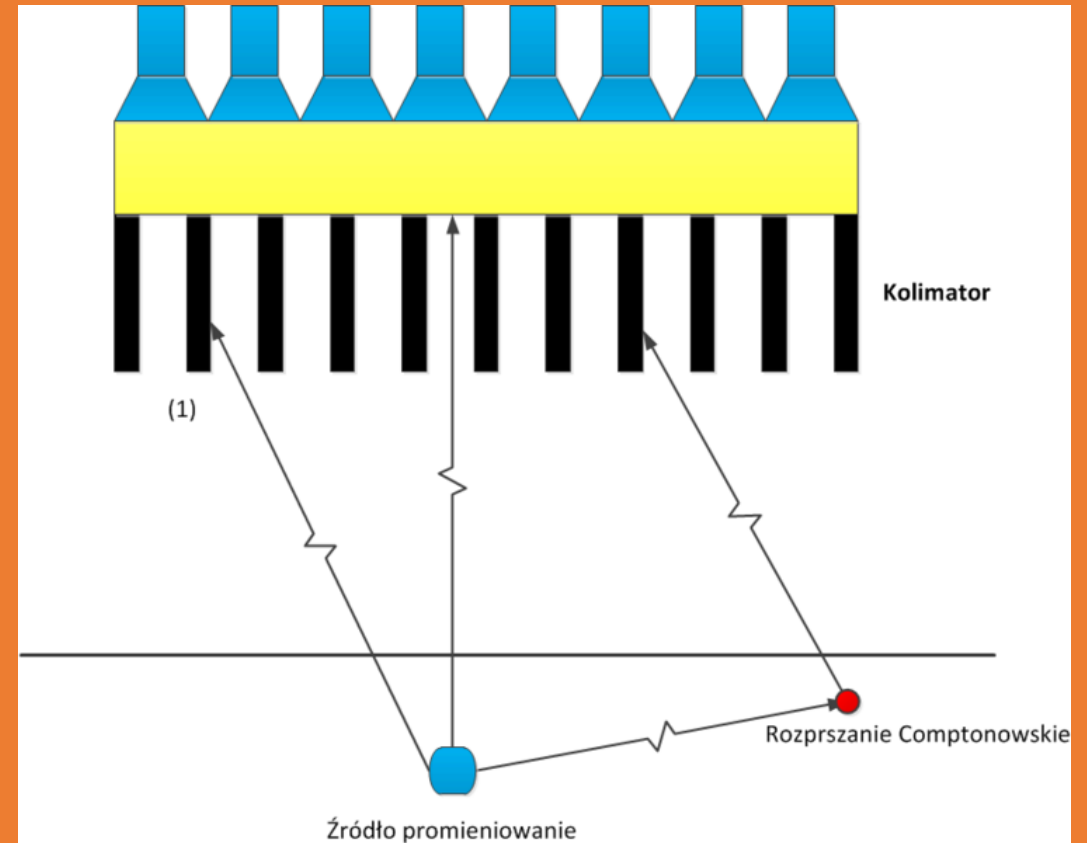
https://brain.fuw.edu.pl/edu/index.php/Plik:Gamma_camera_0.png

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić budowę i zasadę działania gamma-kamery oraz jej wykorzystanie w diagnostyce obrazowej.

KOLIMATORY

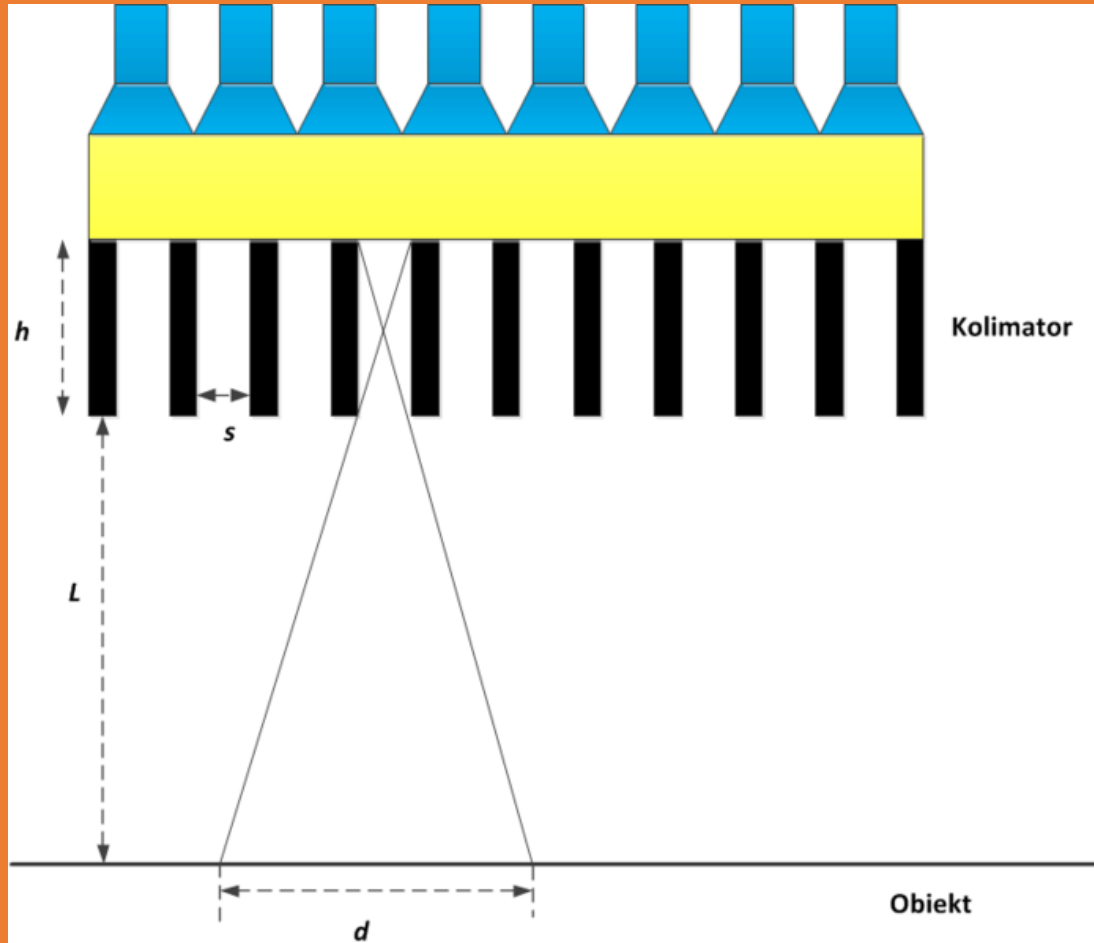
- Ołowiana blacha z otworami o różnej średnicy
- Średnica całego kolimatora jest równa średnicy kryształu scyntylacyjnego
- Rola: filtracja promieniowania, którego kierunek odbiega od osi otworu, co umożliwia identyfikację źródła kwantu promieniowania rejestrowanego przez poszczególne fotopowielacze



https://brain.fuw.edu.pl/edu/index.php/Plik:Kolimator_0.png

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić budowę i zasadę działania gamma-kamery oraz jej wykorzystanie w diagnostyce obrazowej.



- Dana septa (otwór w ołowianej płycie kolimatora) o średnicy s zbiera fotony pochodzące z obszaru o szerokości d . Można ją wyliczyć, znając odległość kryształu scyntylacyjnego od badanego obszaru, L , oraz głębokość septy, h :

$$d = 2s \left(1 + \frac{L}{h} \right) - s$$

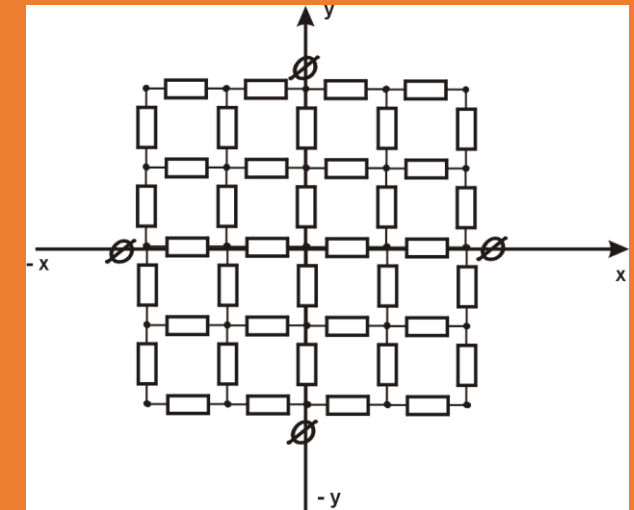
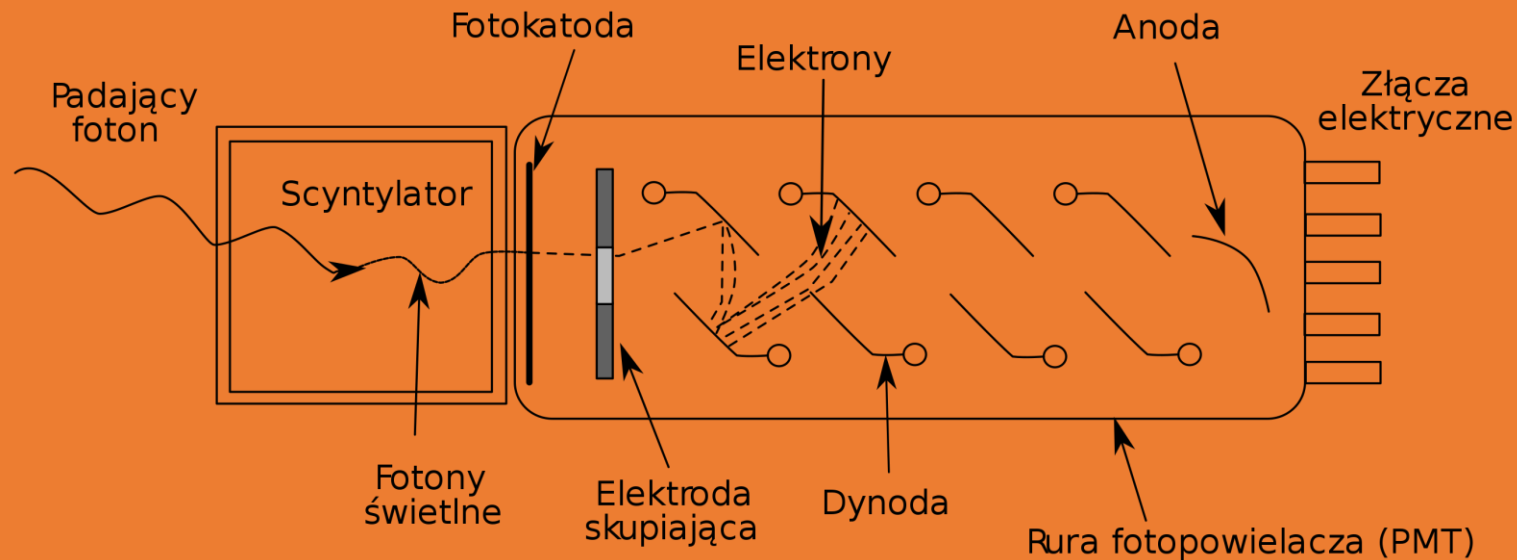
- Rozdzielczość gamma-kamery zależy od jej odległości od pacjenta
- Rozdzielczość gamma-kamery można zwiększyć przez zmniejszenie rozmiaru sept i zwiększenie ich głębokości (ale obniży to czułość gamma-kamery!!!)

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić budowę i zasadę działania gamma-kamery oraz jej wykorzystanie w diagnostyce obrazowej.

Gamma-kamera (kamera Angera)

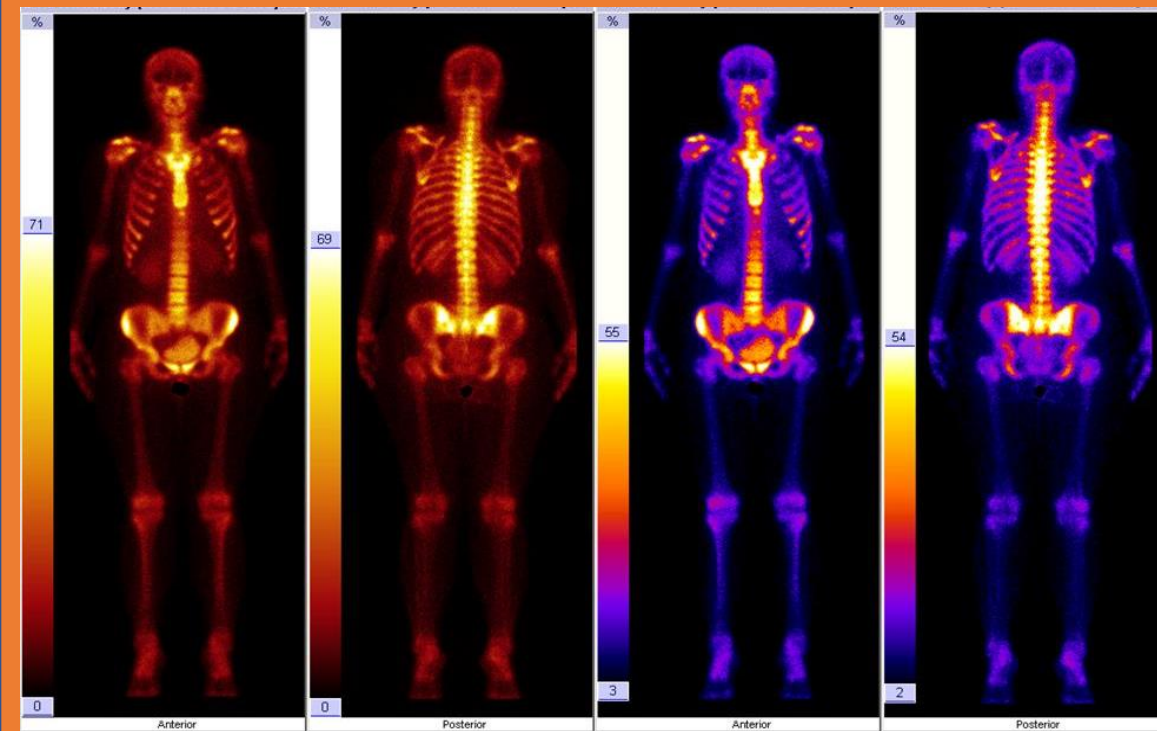
- **kolimator**, przepuszczający jedynie promienie prostopadłe do powierzchni kryształu
- **kryształ scyntylacyjny** (np. NaI(Tl)), tzn. taki, który pod wpływem promieniowania jonizującego (gamma) emituje błyski światła widzialnego (scyntyłacje)
- scyntyłacje wychwytywane przez **fotopowielacze** (im dalej od źródła rozbłysku, tym mniejsza amplituda sygnału)
- sumowanie sygnałów i zrzutowanie ich na płaszczyznę (lampa oscyloskopowa) – odwzorowanie rozmieszczenia radioznacznika w ciele



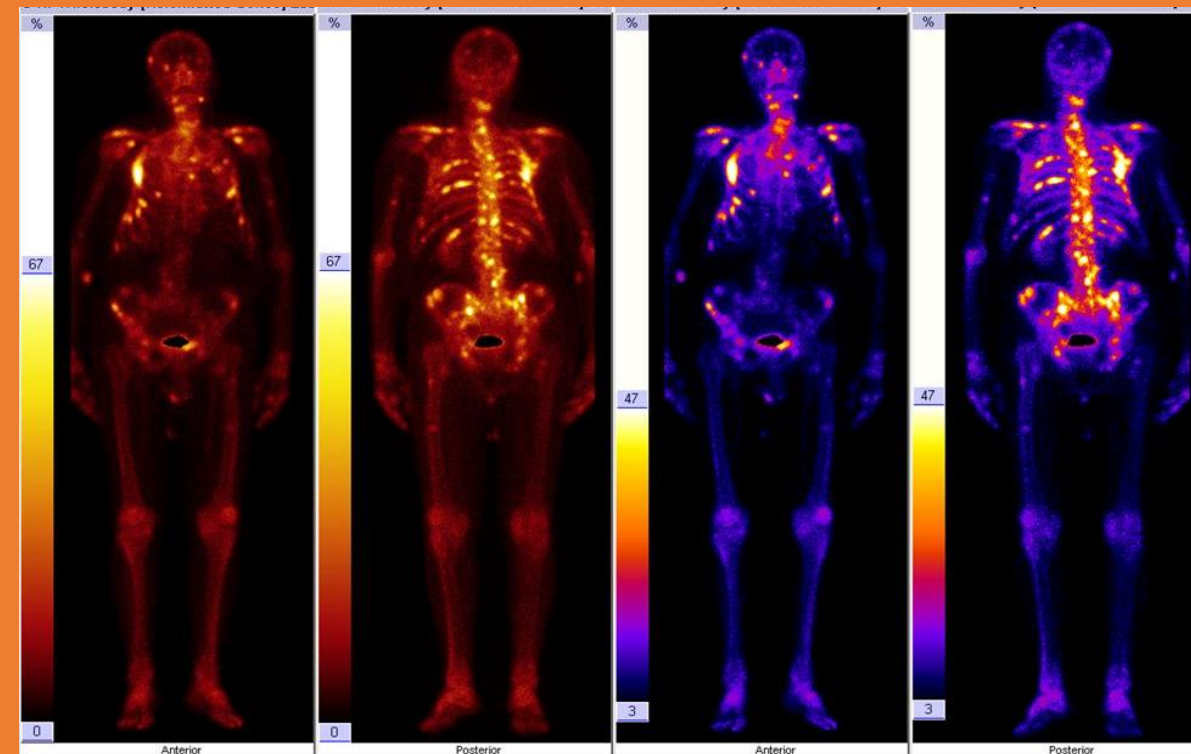
3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić budowę i zasadę działania gamma-kamery oraz jej wykorzystanie w diagnostyce obrazowej.

Scyntygram planarny kośćca zdrowej osoby



Rozsiew nowotworowy w układzie kostnym

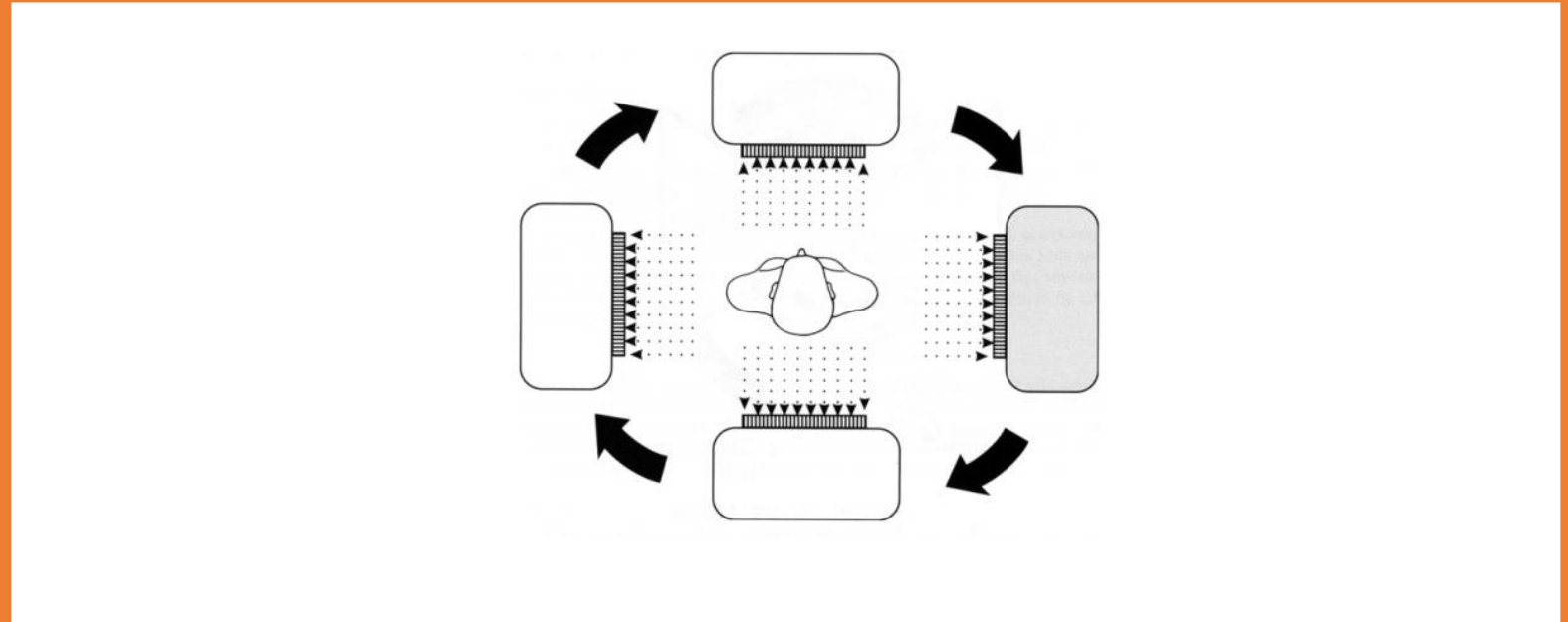
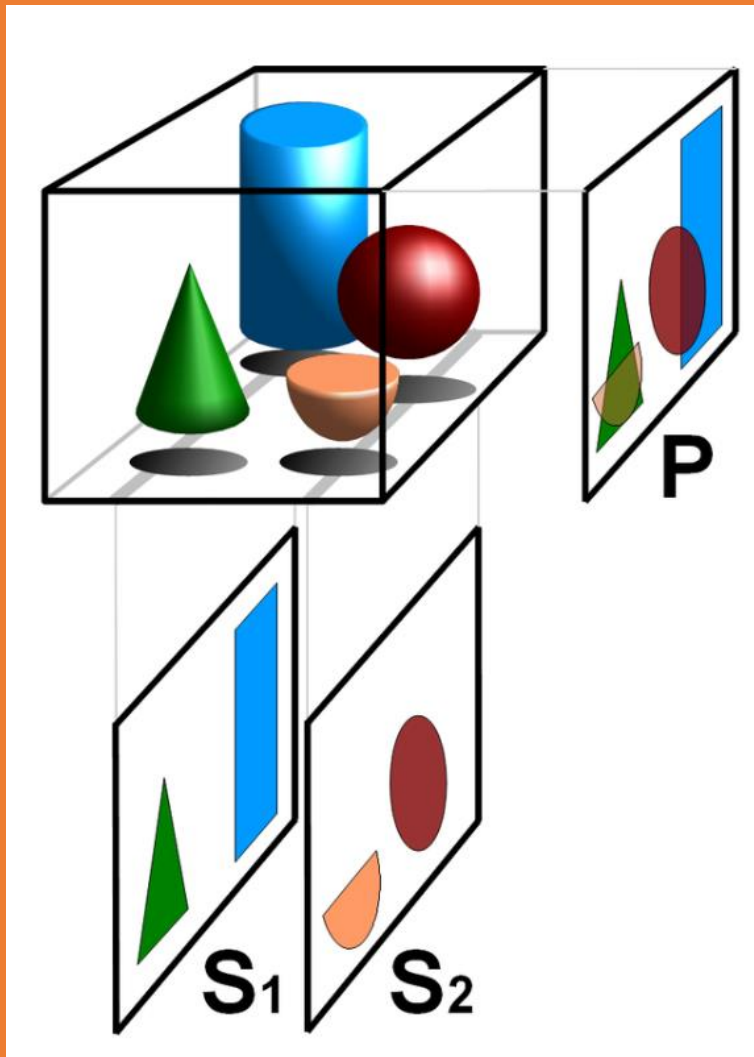


3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić zasadę obrazowania techniką tomografii emisyjnej pojedynczych fotonów (SPECT) oraz podać przykład wykorzystania w diagnostyce obrazowej.

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić zasadę obrazowania techniką tomografii emisyjnej pojedynczych fotonów (SPECT) oraz podać przykład wykorzystania w diagnostyce obrazowej.



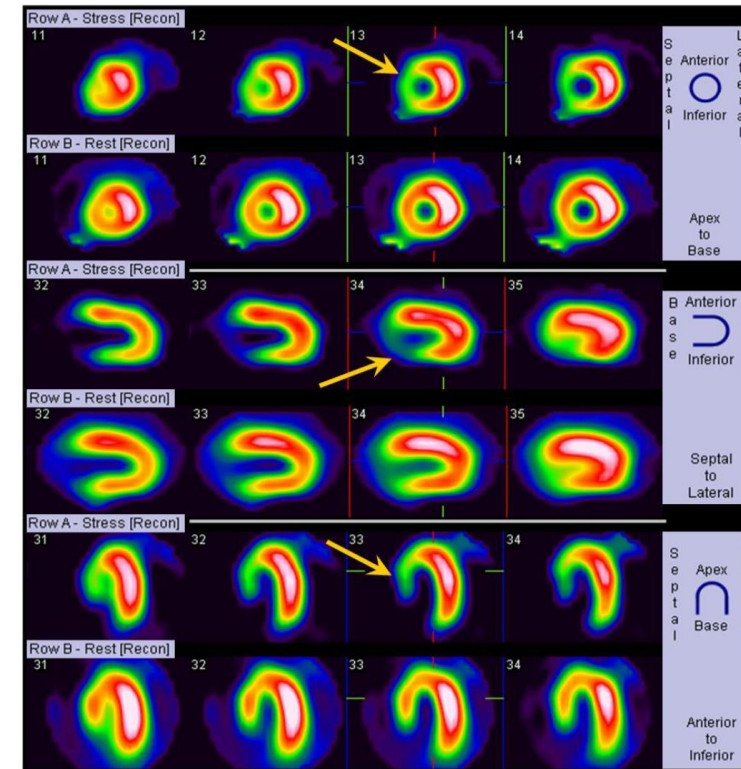
3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić zasadę obrazowania techniką tomografii emisyjnej pojedynczych fotonów (SPECT) oraz podać przykład wykorzystania w diagnostyce obrazowej.

Źródło promieniowania: radiofarmaceutyk znakowany izotopem technetu-99m, talu-201 lub jodu-123,-131

Detektor: układ jednej lub dwóch gamma-kamer, czasami wspomagany CT

- przekroje czołowe/strzałkowe tworzone w oparciu o dane z projekcji poprzecznych wielu warstw
- grubość warstwy: kilka-kilkanaście mm, zdolność rozdzielcza rzędu kilku mm



Widok wyniku scyntygrafii perfuzyjnej mięśnia sercowego. Legenda znajduje się po stronie prawej wyniku: dwa górne szeregi - przekroje poprzeczne przez lewą komorę, szereg pierwszy ("Row A - Stress") - badanie wysiłkowe, szereg drugi ("Row B - Rest") - badanie spoczynkowe, kolejność obrazów w obu szeregach w stronę od koniuszka do podstawy, w dwóch środkowych szeregach (także badanie, odpowiednio, powysiłkowe i spoczynkowe) - przekroje pionowe z widoczną ścianą przednią i dolną w kierunku od przegrody do ściany bocznej, w dwóch dolnych szeregach - przekroje poziome z widoczną ścianą przegrodową i boczną w kierunku od przodu do dołu. Obszary niedokrwienia wysiłkowego oznaczono strzałkami; w spoczynku obserwuje się znaczną poprawę perfuzji.

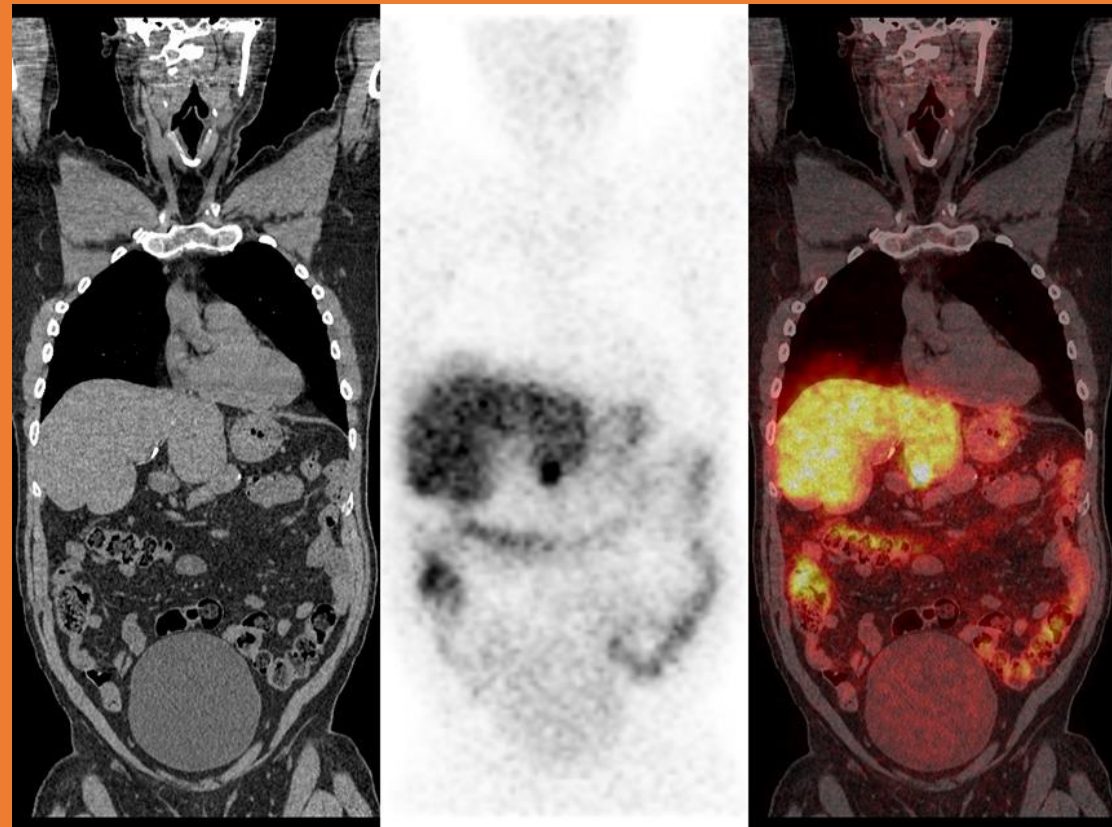
3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić zasadę obrazowania techniką tomografii emisyjnej pojedynczych fotonów (SPECT) oraz podać przykład wykorzystania w diagnostyce obrazowej.

SPECT/CT



Obraz CT → Obraz SPECT → Nałożenie obu obrazów



3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić zasadę obrazowania techniką pozytonowej tomografii komputerowej (PET).

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

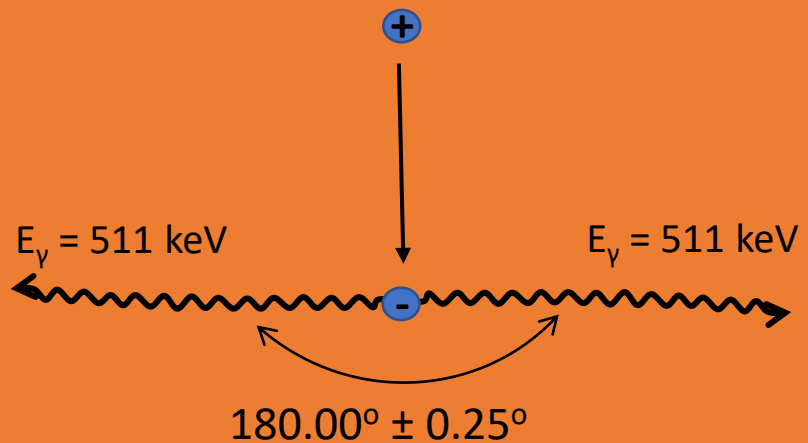
Proszę omówić zasadę obrazowania techniką pozytonowej tomografii komputerowej (PET).

Źródło promieniowania: radiofarmaceutyk znakowany izotopem β^+ -promieniotwórczy (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F)

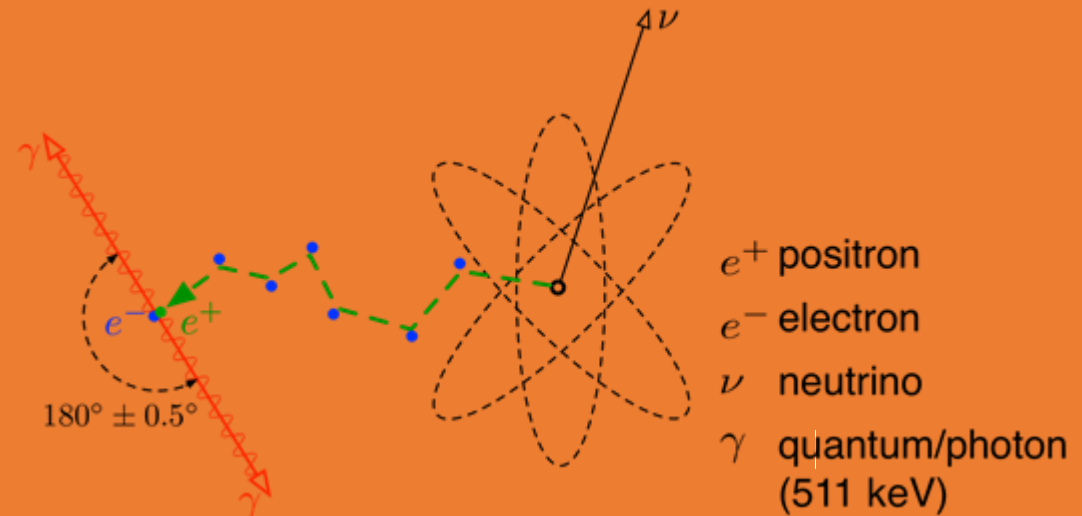
- pozytony oddziałują z elektronami otoczenia
- dochodzi do **anihilacji** i powstania dwóch fotonów, które poruszają się w przeciwne strony wzdłuż tego samego kierunku

Detektor: scyntylatory z kryształami BGO ($\text{Bi}_3\text{Ge}_4\text{O}_{12}$)

- rejestrowana jest **koincydencja** zliczeń na przeciwległych detektorach



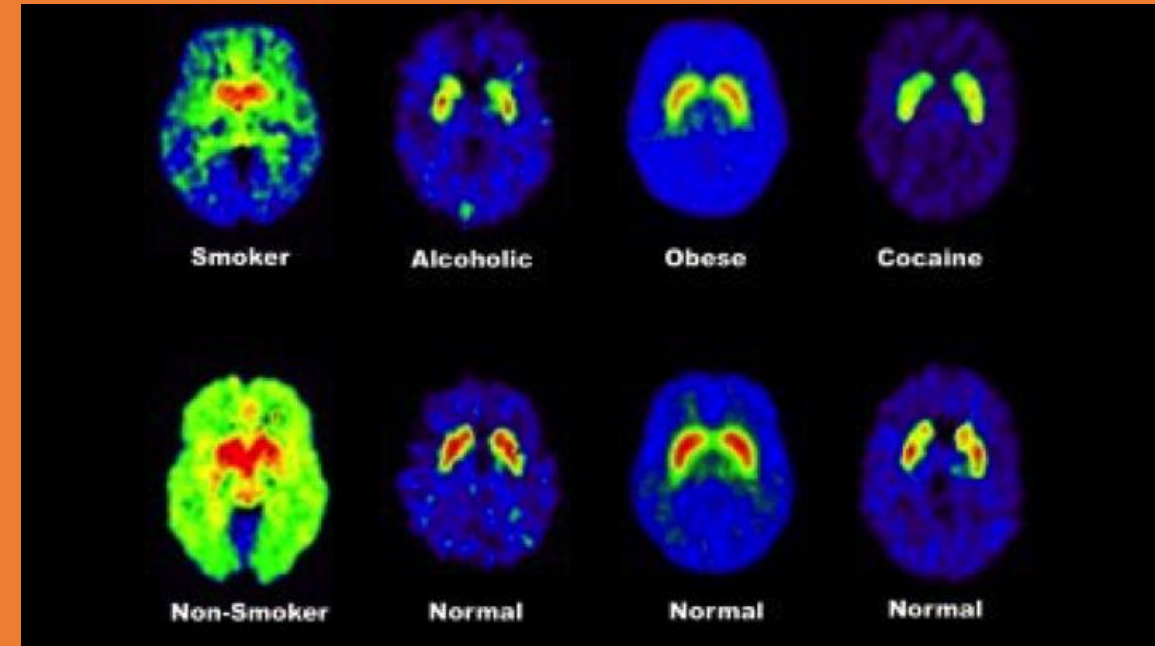
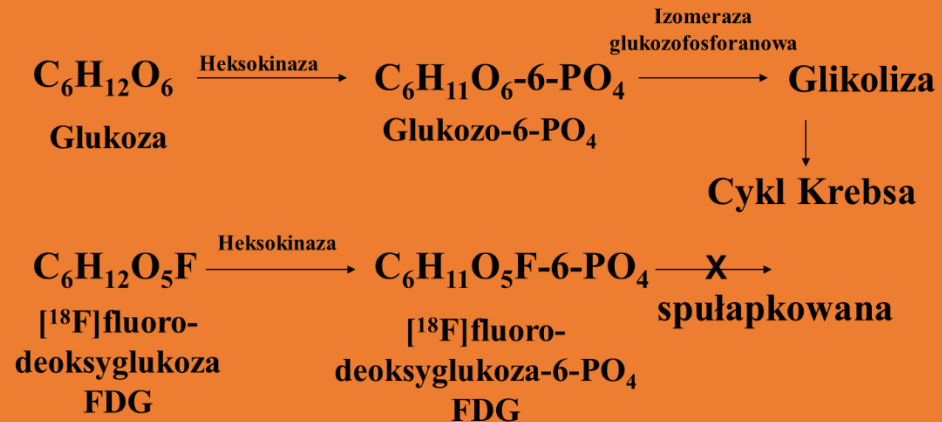
Anihilacja pozytonu i elektronu. Odchylenie w kącie emisji kwantów gamma stanowi główne ograniczenie rozdzielczości osiągananej w tomografii PET.



3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić zasadę obrazowania techniką pozytonowej tomografii komputerowej (PET).

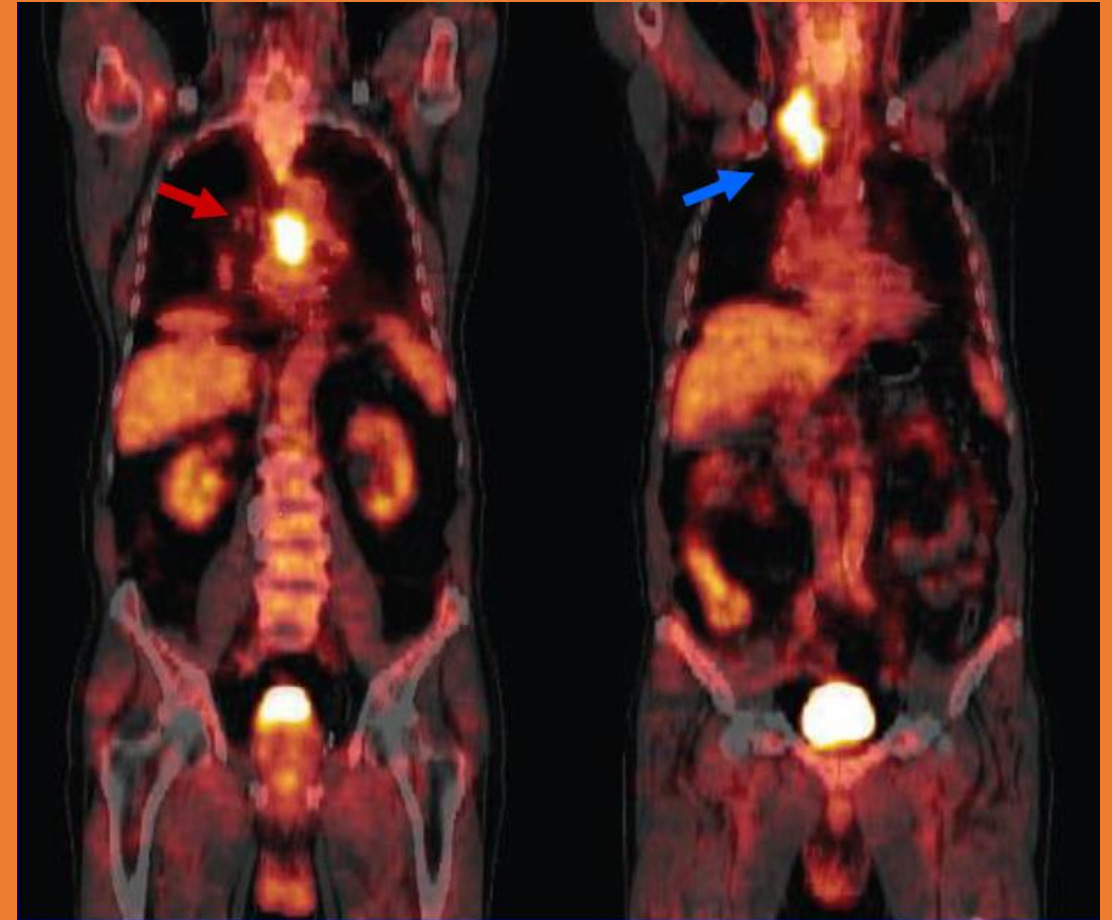
- komórki **nowotworowe** bardziej aktywne niż zdrowe,
- wykorzystywane w **neurologii** (demencja, otępienie – choroba Alzheimera, epilepsja)
- pomiar perfuzji przez **mięsień sercowy** i wskaźnik przemiany materii wewnątrz mięśni można zlokalizować obszary o zmniejszonej perfuzji (zatory) i odróżnić uszkodzoną tkankę od zdrowej



Uzależnione mózgi – mniej receptorów dopaminy

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić zasadę obrazowania techniką pozytonowej tomografii komputerowej (PET).



Obraz PET-CT tułowia w projekcji czołowej. Widok dwóch różnych warstw. Na obrazie widoczne ognisko wzmożonego wychwytu FDG w przełyku oraz w okolicy nadobojczykowej prawej.

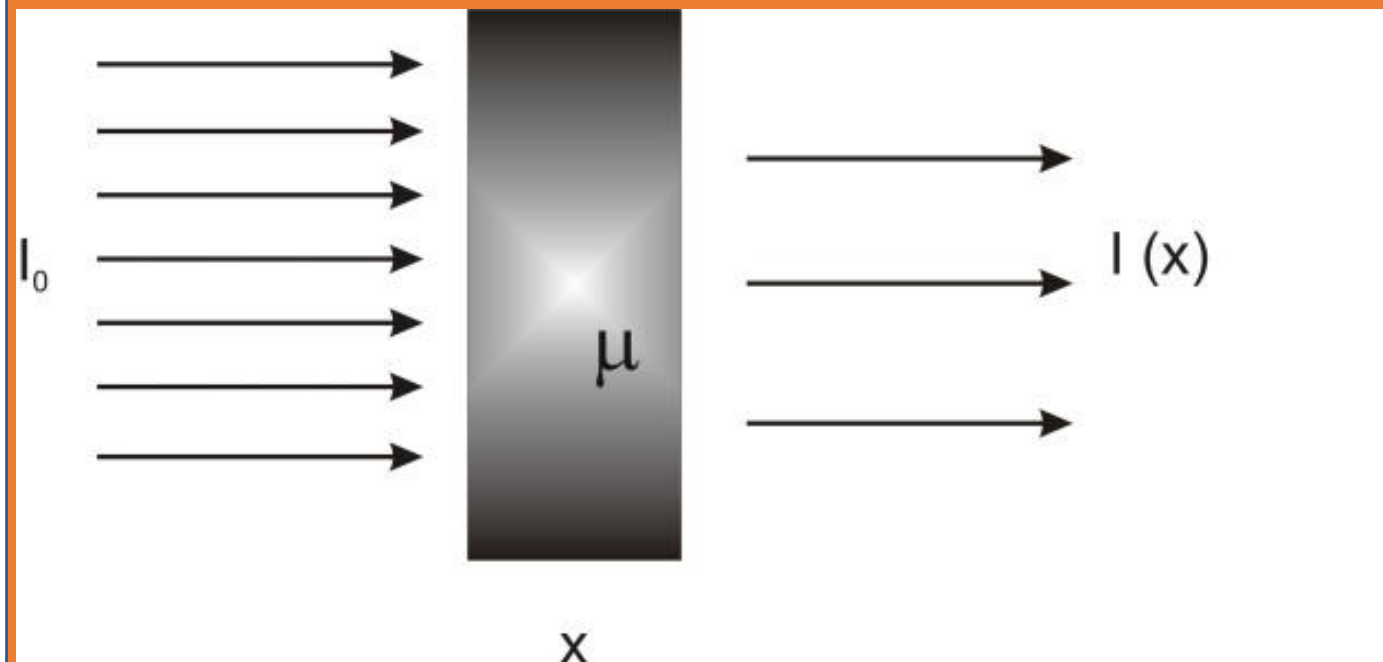
3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić biofizyczne podstawy radioterapii. Liniowy współczynnik przekazu energii (LET - linear energy transfer) oraz odpowiedź komórki na promieniowanie jonizujące.

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić biofizyczne podstawy radioterapii. Liniowy współczynnik przekazu energii (LET - linear energy transfer) oraz odpowiedź komórki na promieniowanie jonizujące.

Proces oddziaływania promieniowania z materią wywołuje spadek intensywności wiązki promieniowania z głębokością ośrodka, który penetrują. Proces osłabienia wiązki można opisać makroskopowo.

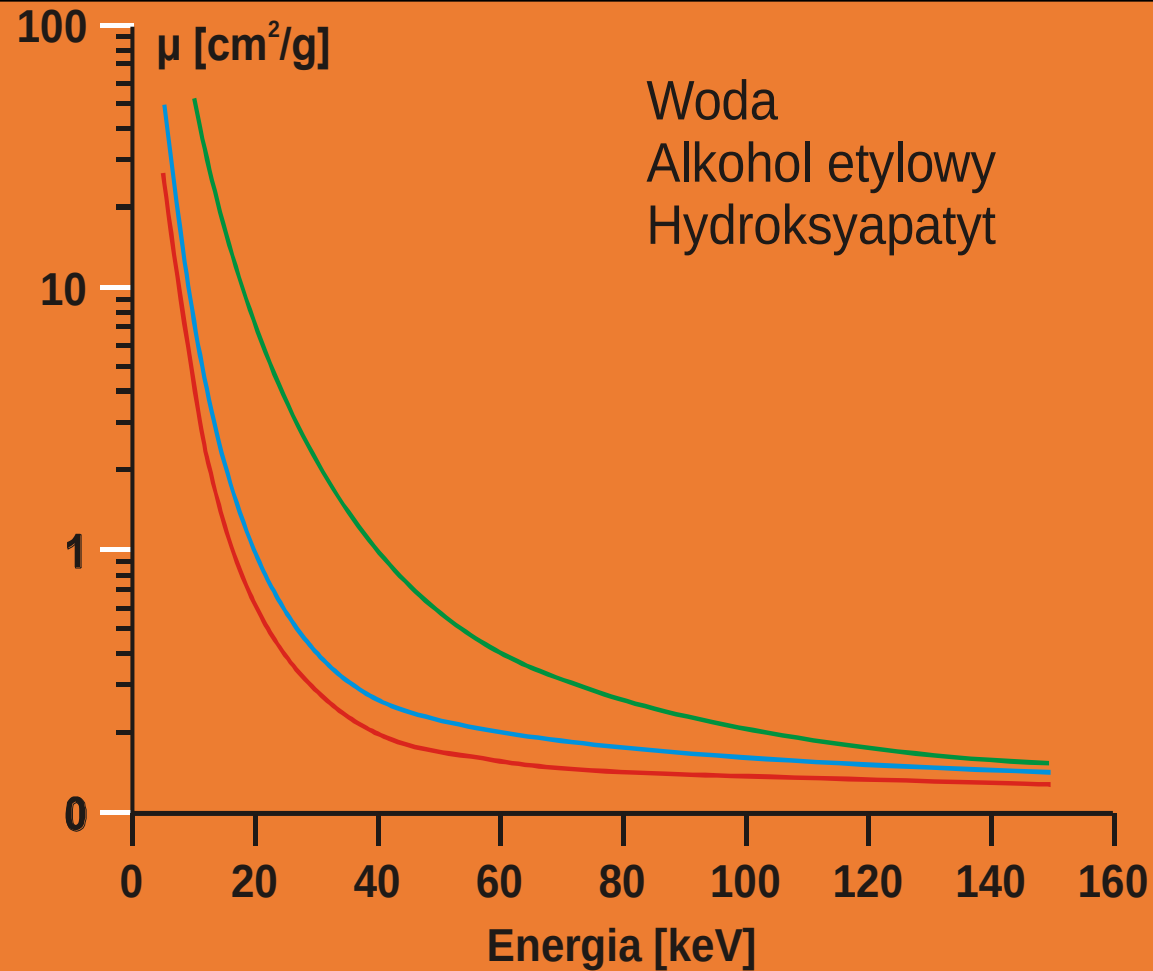


$$I(x) = I_0 \cdot \exp(-\mu x)$$

μ jest **liniowym współczynnikiem osłabienia**,
wyrażanym w [1/cm]

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić biofizyczne podstawy radioterapii. Liniowy współczynnik przekazu energii (LET - linear energy transfer) oraz odpowiedź komórki na promieniowanie jonizujące.



Masowy współczynnik osłabienia μ/ρ wyraża prawdopodobieństwo oddziaływania promieniowania po eliminacji wpływu gęstości materiału absorbenta definiowany jest jako:

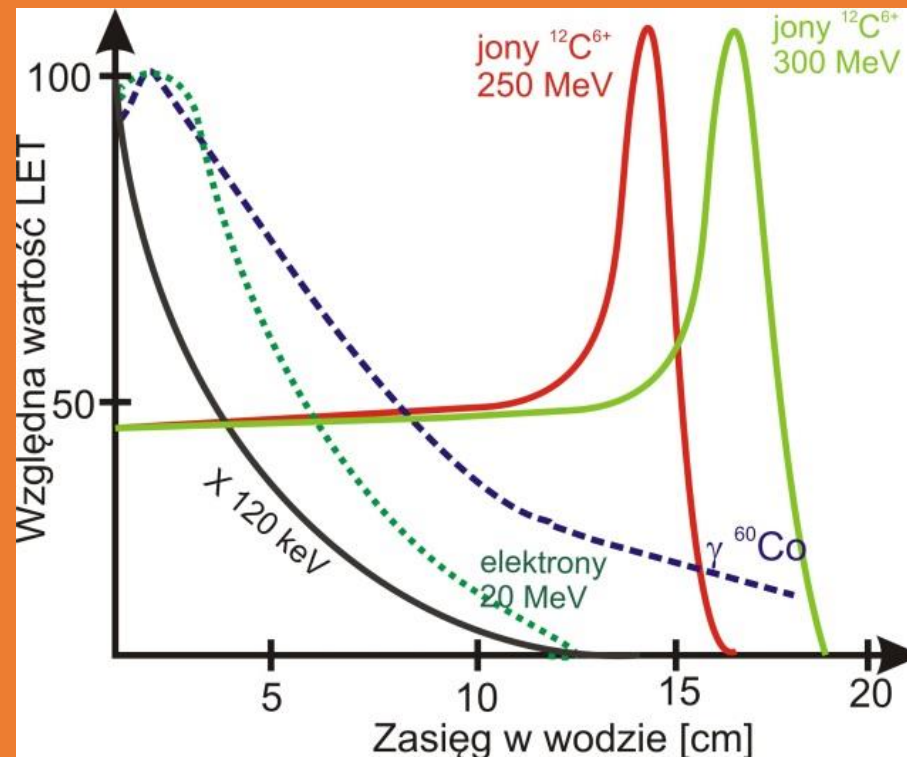
$$\frac{\mu}{\rho} = \sigma \frac{N_{Av}}{A} Z, \left[\frac{\mu}{\rho} \right] = 1 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

Woda, alkohol etylowy i hydroksyapatyt mają właściwości zbliżone odpowiednio do tkanki miękkiej, tkanki tłuszczowej oraz minerału zawartego w kościach ludzkich.

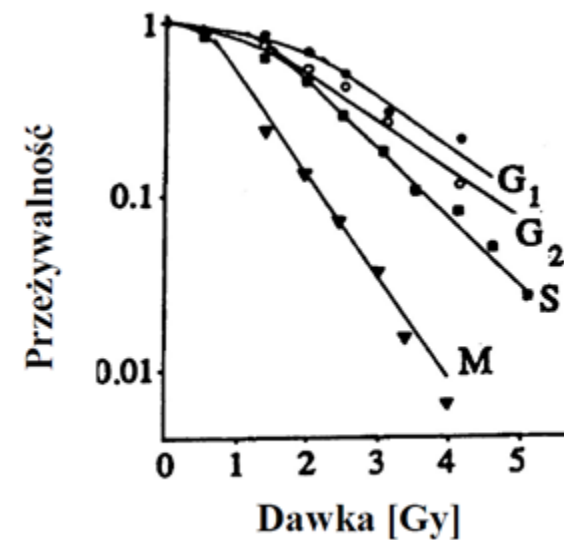
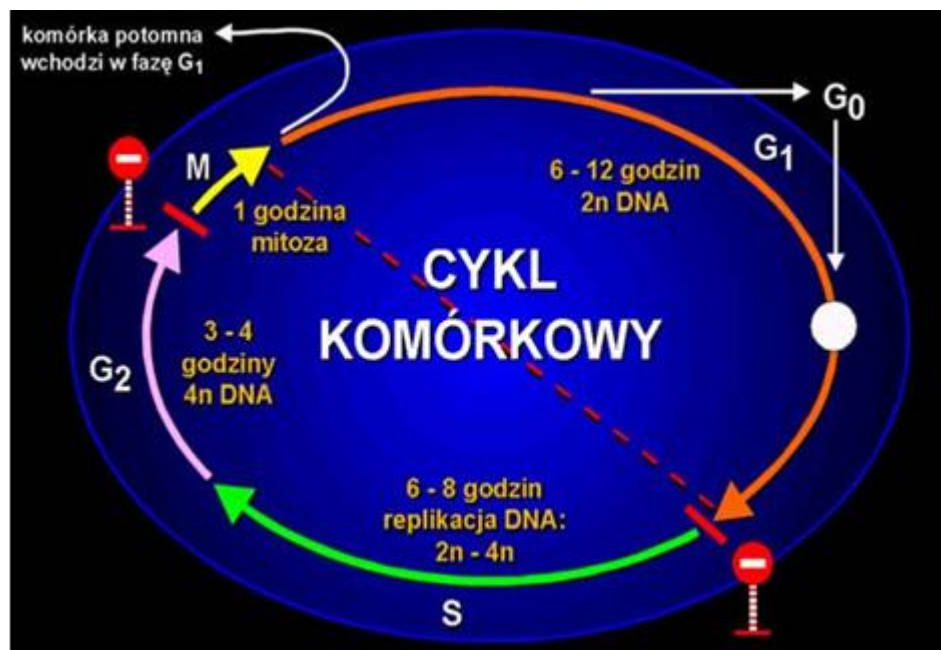
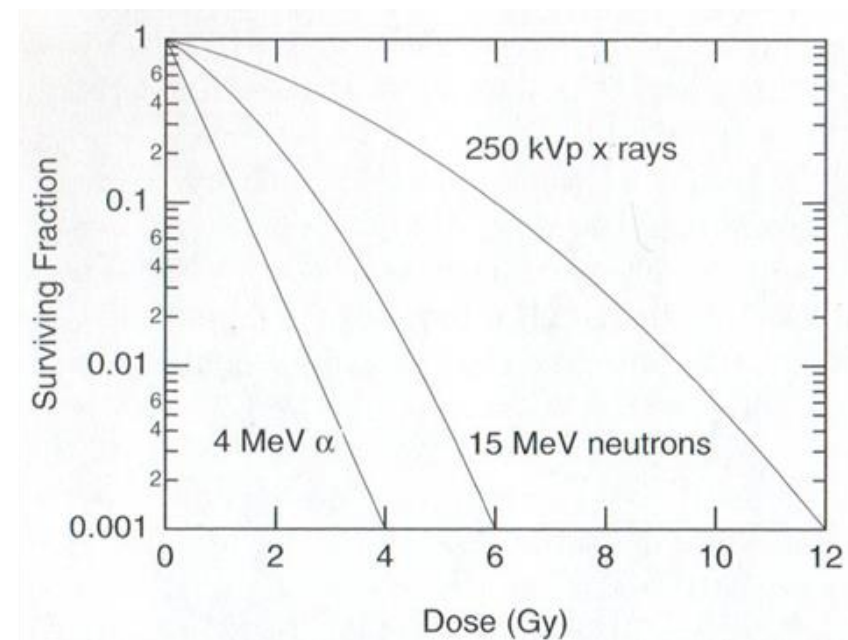
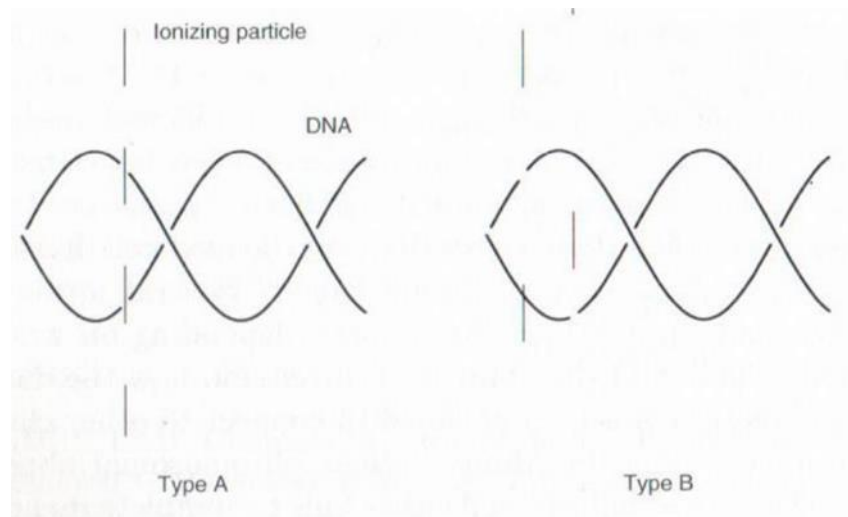
3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić biofizyczne podstawy radioterapii. Liniowy współczynnik przekazu energii (LET - linear energy transfer) oraz odpowiedź komórki na promieniowanie jonizujące.

Ciężka cząstka obdarzona ładunkiem np. $^{12}\text{C}^{2+}$ będzie silniej jonizować ośrodek, niż sam elektron o takiej samej energii. Zdolność hamowania cząstki w absorbencie, rozumiana jest jako zmiana energii dE na jednostkę długości przebytej drogi dx . Parametrem stosowanym do opisu oddziaływania naładowanej cząstki z absorbentem jest zdolność hamująca określana również jako **liniowy przekaz energii (LET)**:



$$LET = -\frac{dE}{dx} \left[\frac{J}{m} \right]$$



Promienioczułość komórek ssaków jest proporcjonalna do szybkości podziałów komórkowych i odwrotnie proporcjonalna do stopnia ich zróżnicowania (prawo Bergonie i Tribondeau)

- **promienioczułe** → szpik, tkanka limfatyczna, komórki płciowe, nabłonka jelit, ...
- **mniej wrażliwe** → komórki mięśniowe, narządy mięsne (np. wątroba), tkanka nerwowa, tkanka łączna, ...

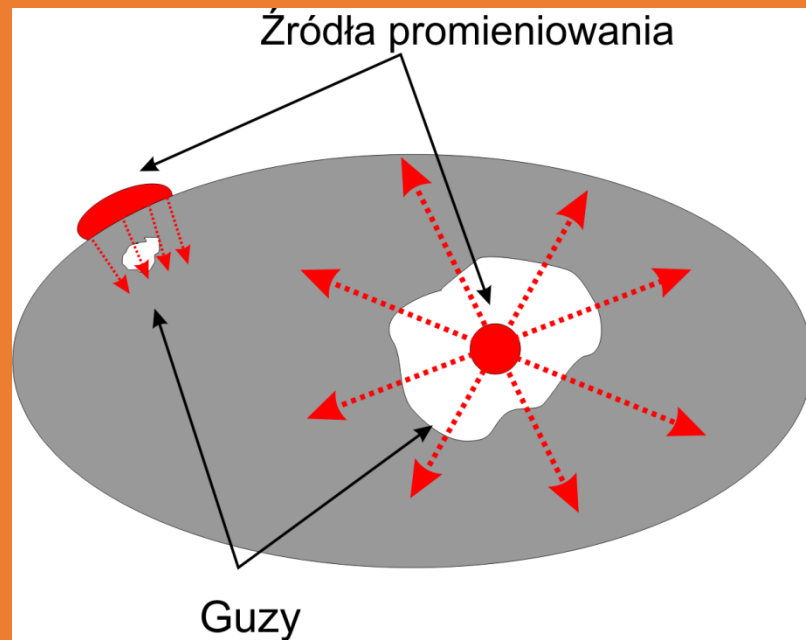
3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę krótko omówić dwa przykłady zastosowania brachyterapii.

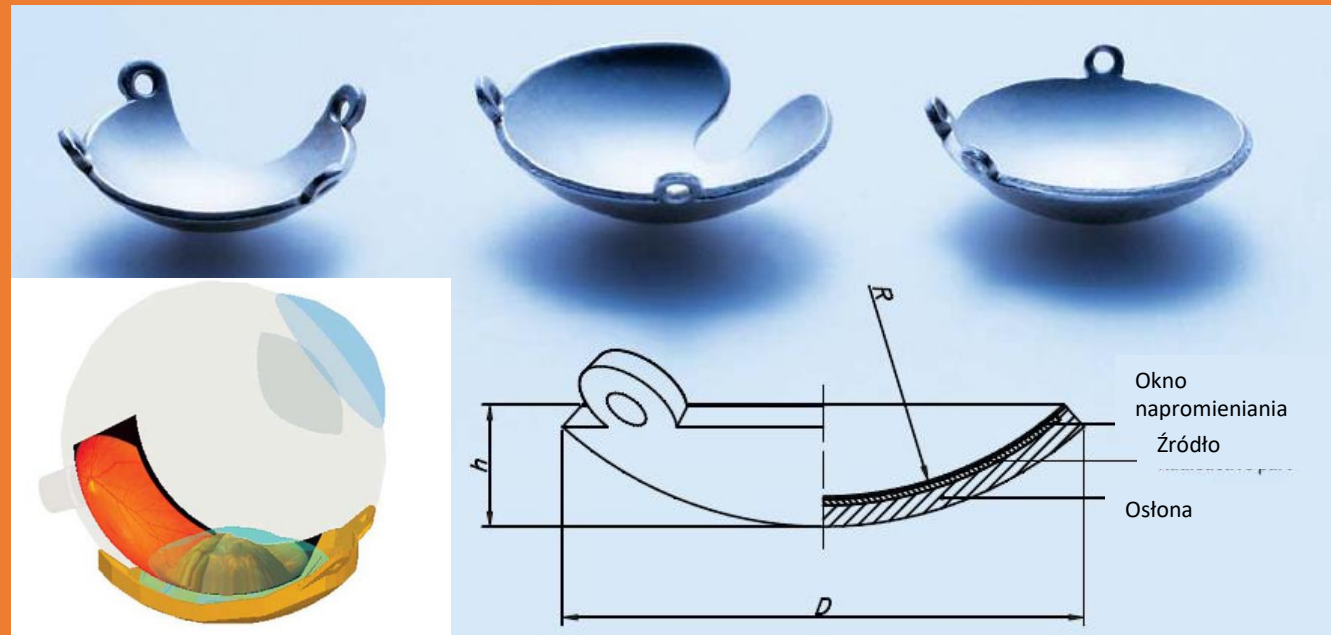
3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę krótko omówić dwa przykłady zastosowania brachyterapii.

Brachyterapia



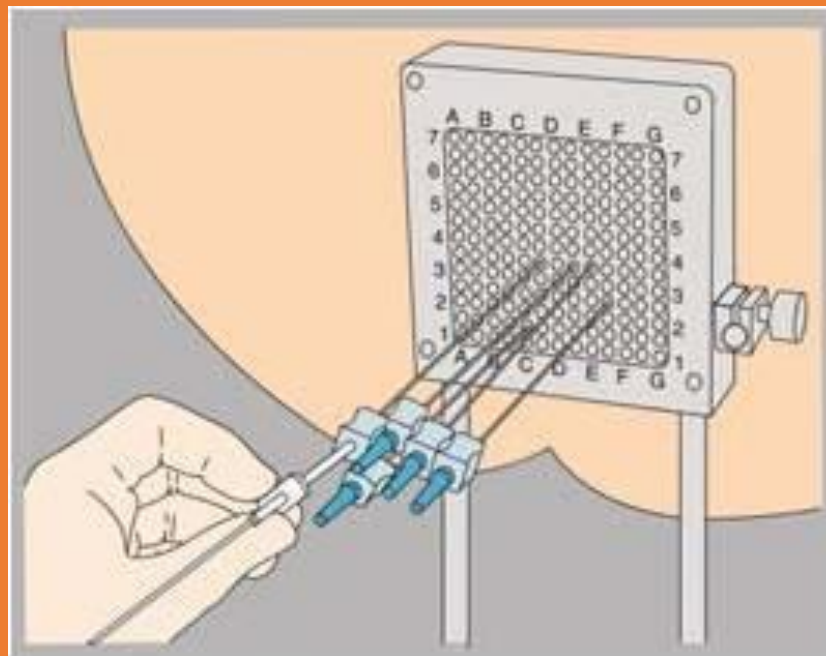
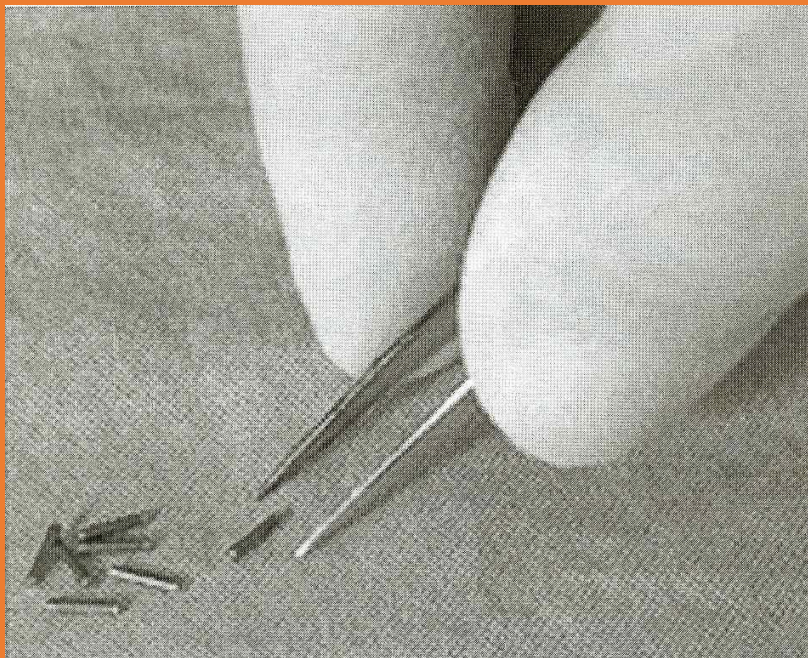
Przykładowy schemat leczenia z użyciem płytek Ru-106, I-125.

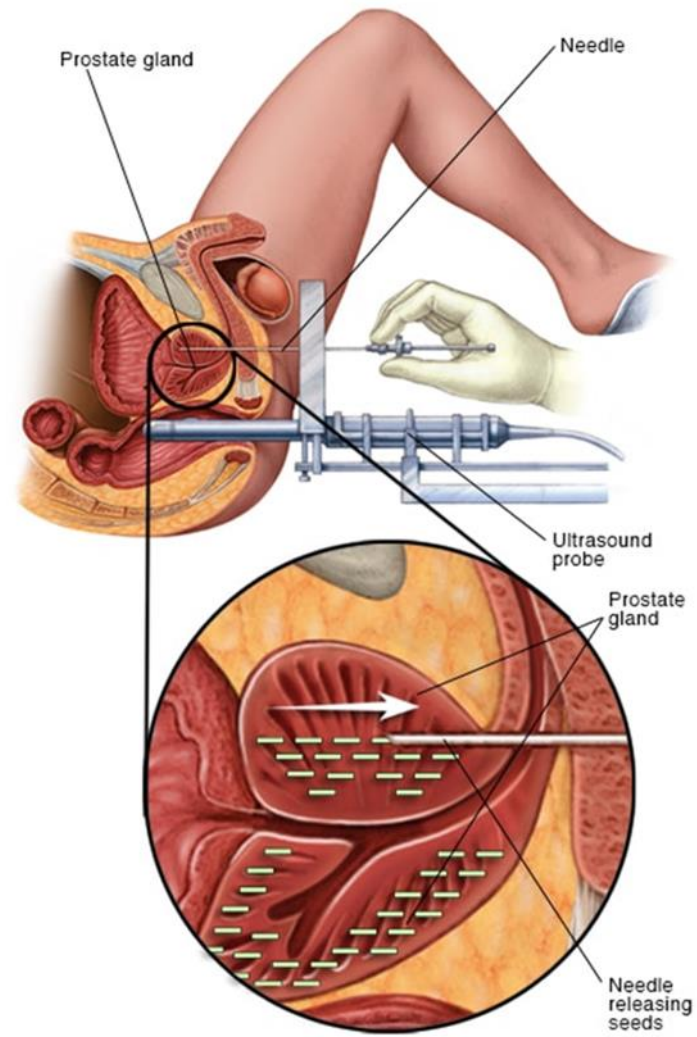


3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę krótko omówić dwa przykłady zastosowania brachyterapii.

Brachyterapia raka prostaty jodem-125





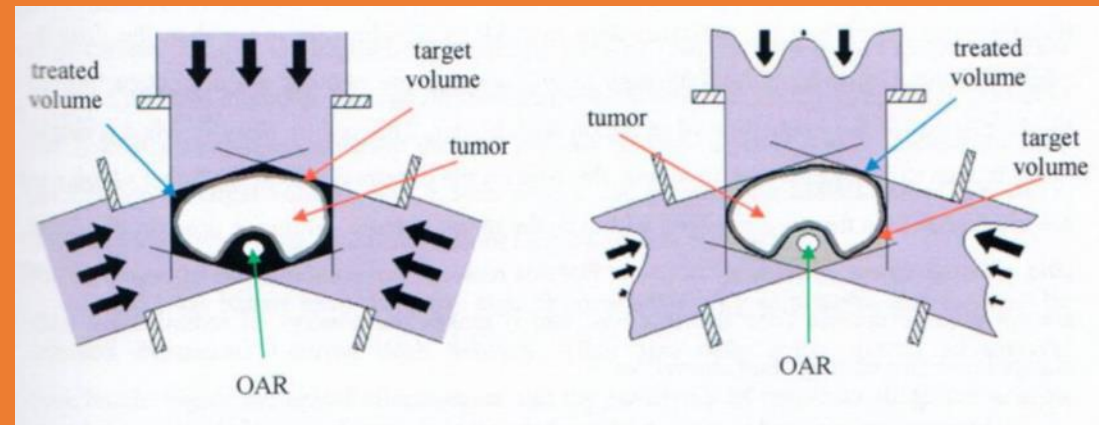
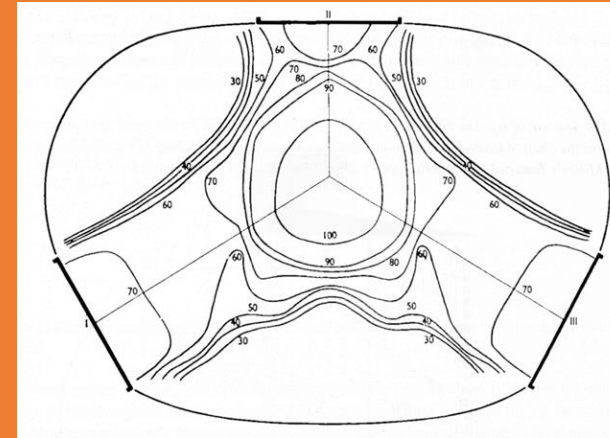
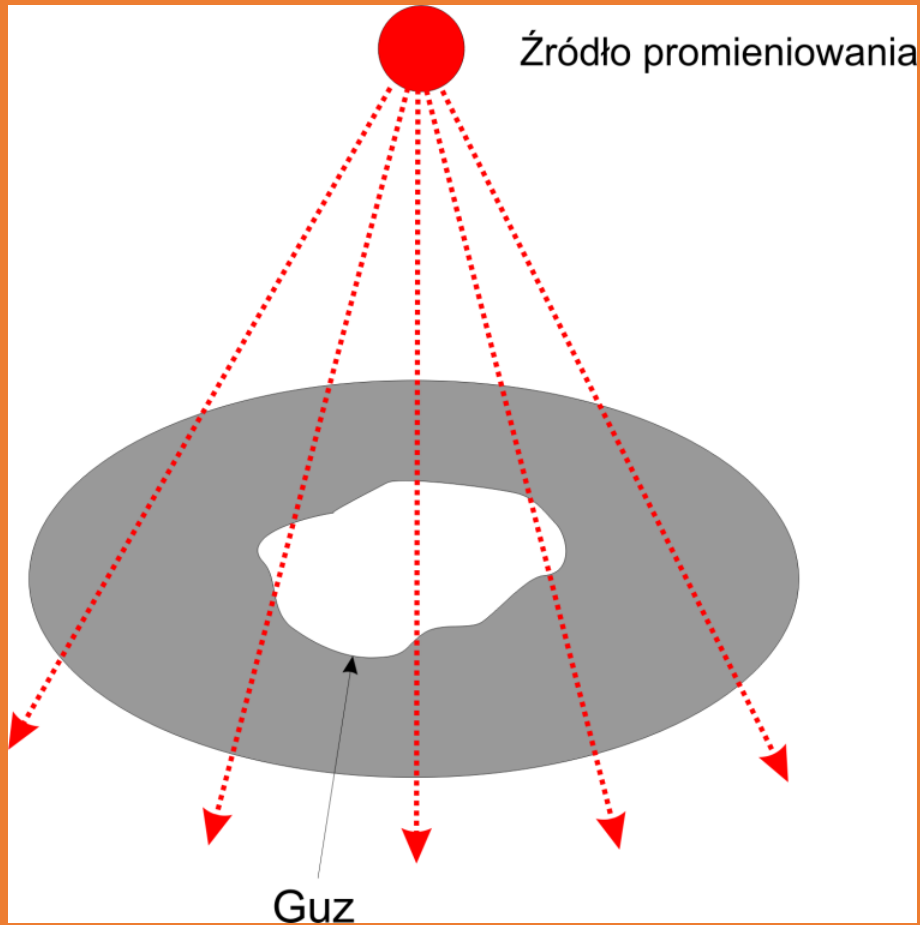
3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę krótko omówić 1 przykład zastosowania teleterapii oraz omówić technikę „gamma knife”

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę krótko omówić 1 przykład zastosowania teleterapii oraz omówić technikę „gamma knife”

Geometria naświetlania

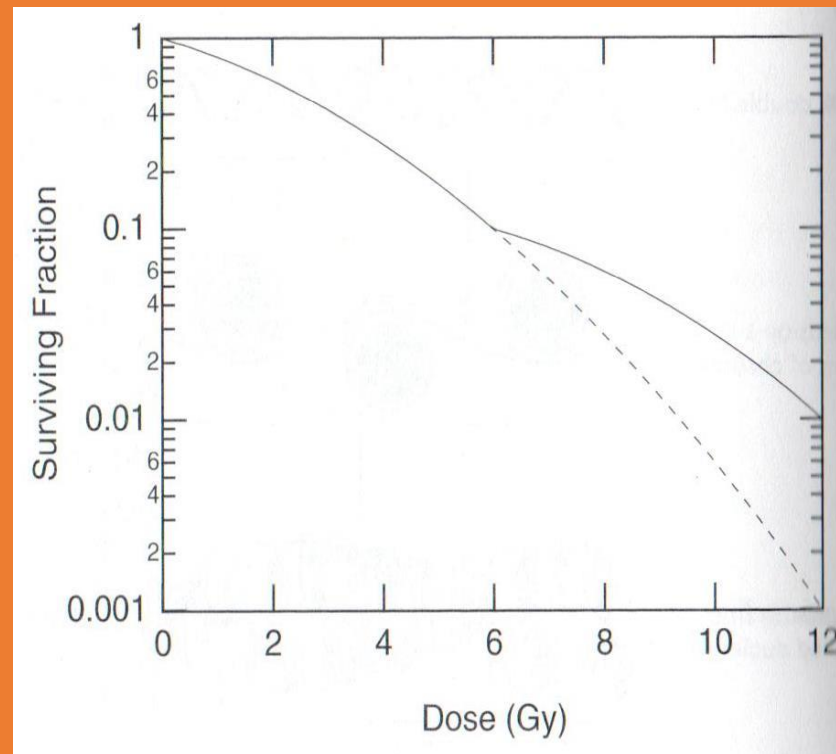


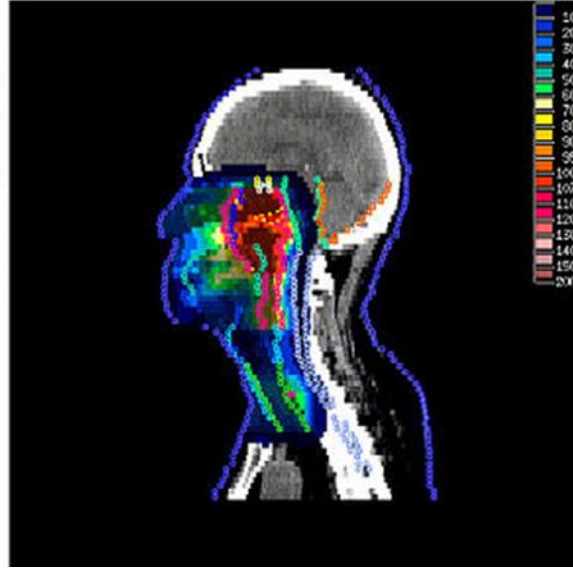
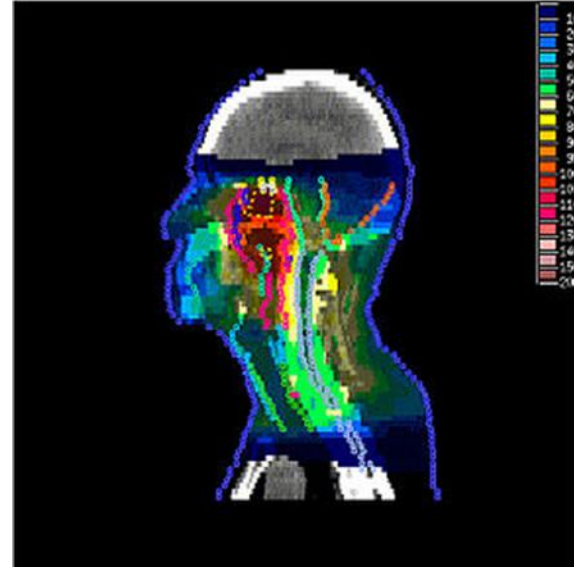
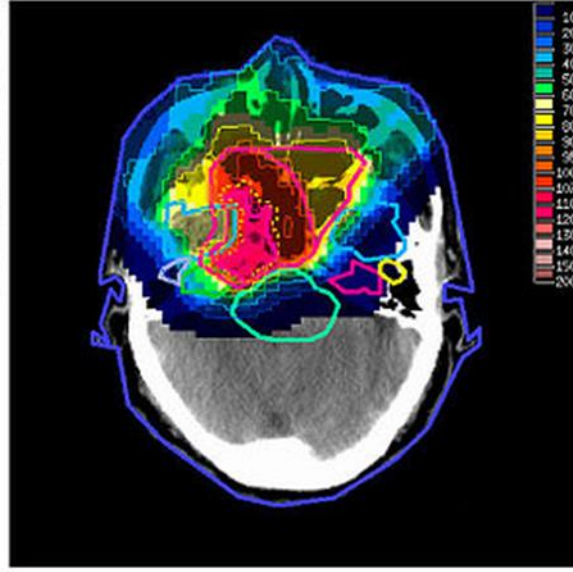
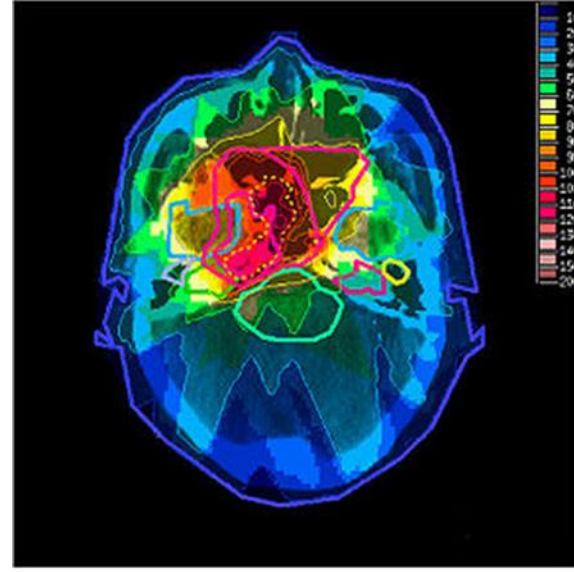
3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę krótko omówić 1 przykład zastosowania teleterapii oraz omówić technikę „gamma knife”

Frakcjonowanie dawki

Model liniowo-kwadratowy → powtórne naświetlanie



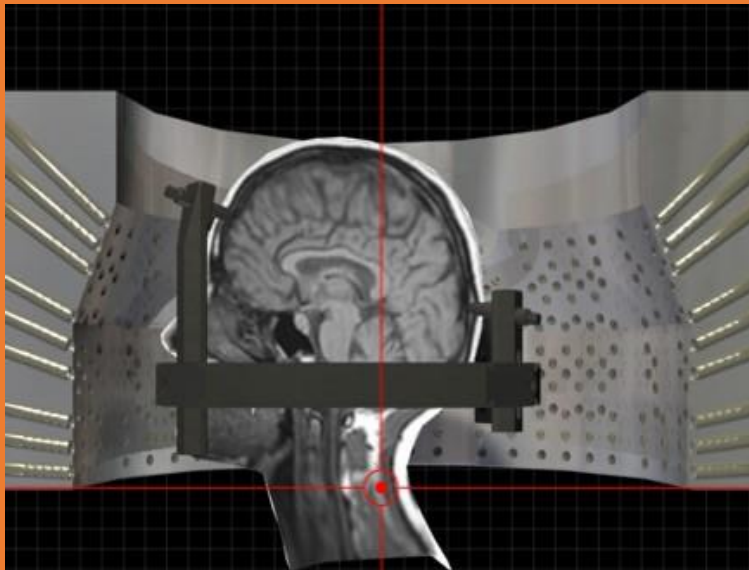


3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę krótko omówić 1 przykład zastosowania teleterapii oraz omówić technikę „gamma knife”

Nóż gamma (gamma knife)

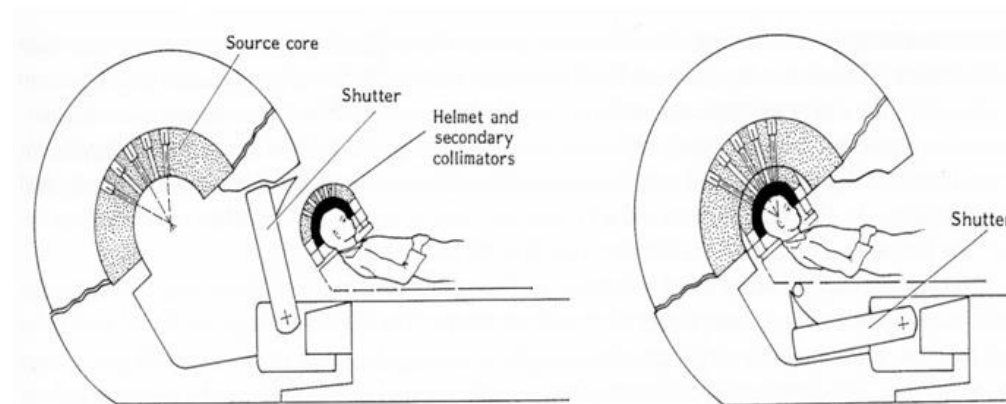
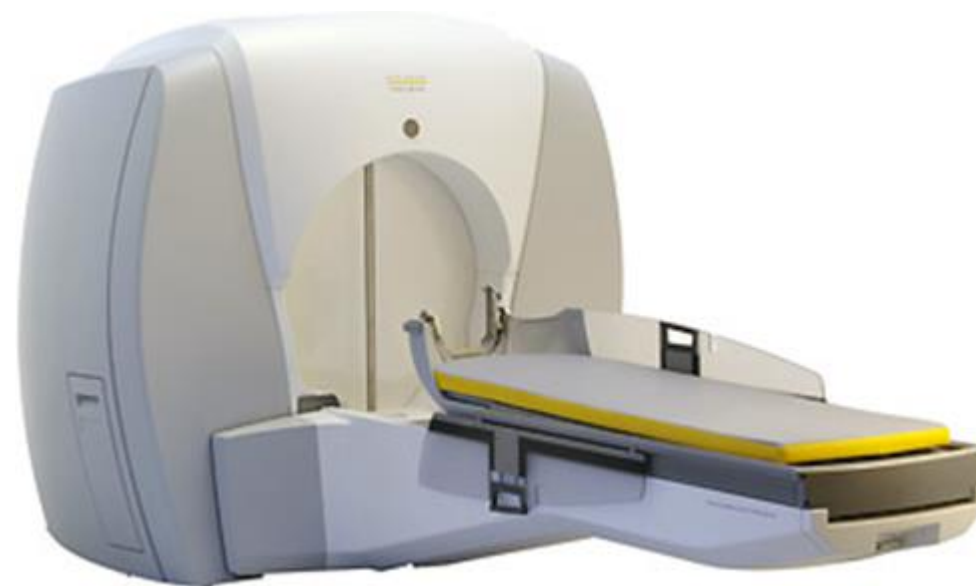
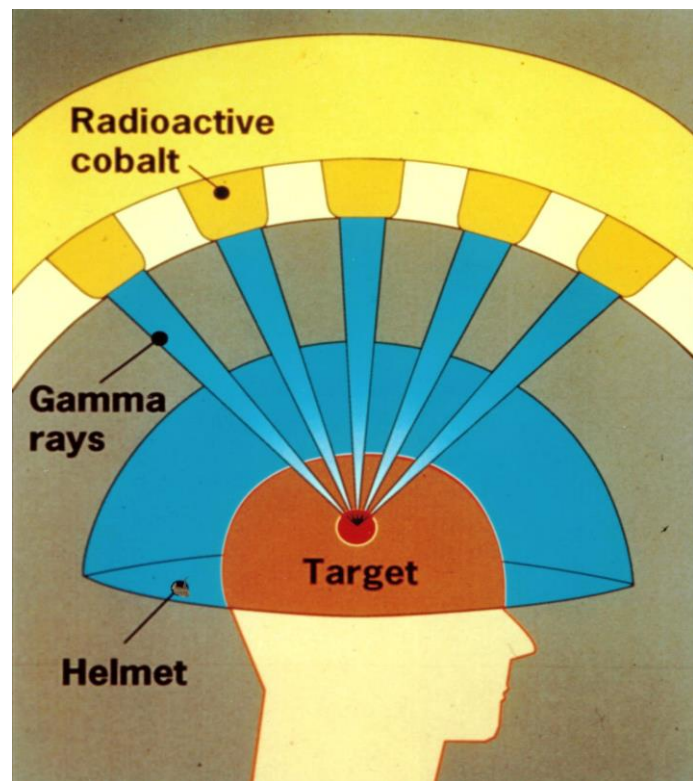
- Technika radioterapii stereotaktycznej
- Wysokie wartości dawki (>10 Gy)
- Jedna, precyzyjna frakcja napromieniania (ale wiele, nawet 200, wiązek)
- Radioizotop: kobalt-60
- Sumowanie dawek w miejscu, w którym znajduje się guz
- Niszczenie guzów łagodnych, stosunkowo niewielkich (2-4 cm)



<http://gammaknife-exira.pl/opinie>



<https://zdrowie.tvn.pl/a/gamma-knife-wskazania-przebieg-i-mozliwe-powiklania-po-zabiegu>



3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

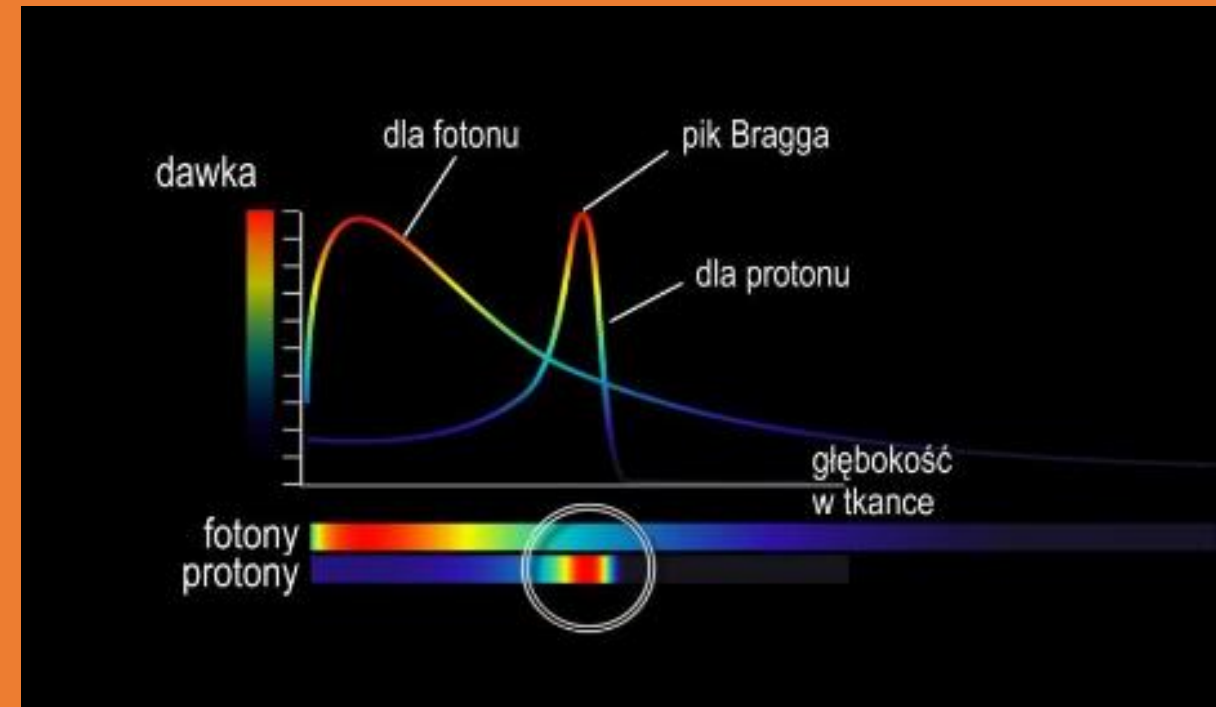
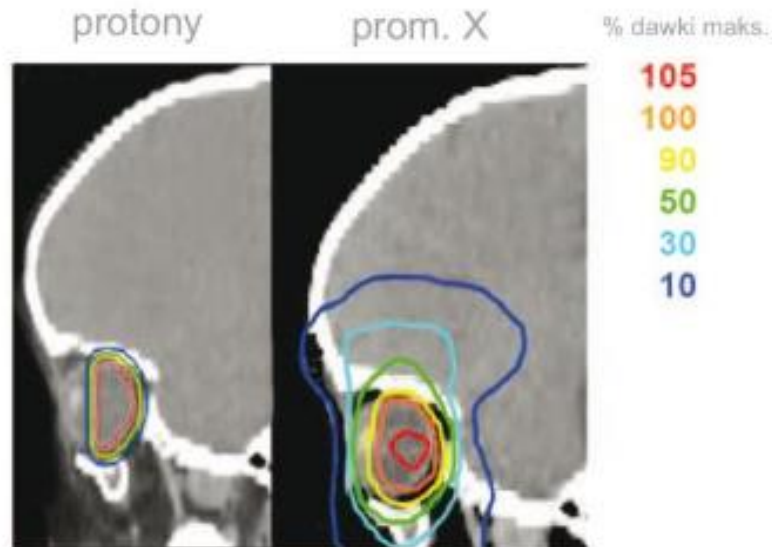
Proszę omówić mechanizm i zastosowanie radioterapii hadronowej.

3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić mechanizm i zastosowanie radioterapii hadronowej.

- Rodzaj radioterapii wykorzystujący strumień rozpędzonych cząstek, głównie protonów, ale i np. jonów węgla
- Zasięgowy charakter oddziaływań hadronów z materią biologiczną (maksymalna strata energii na określonej głębokości – pik Bragga)
- Energie rzędu 60 MeV (nowotwory oka) do ~ 250 MeV (głębsze rejony ciała)

Porównanie możliwości formowania wiązki:
protony i fotony



3. Wykorzystanie radiofarmaceutyków w obrazowaniu medycznym i terapii

Proszę omówić mechanizm i zastosowanie radioterapii hadronowej.



Widok cyklotronu w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie wykorzystywany w radioterapii protonowej

III. Akceleratory medyczne

Proszę omówić zasadę działania i zastosowania medyczne akceleratorów liniowych i cyklotronów oraz technikę „cyber knife”

Proszę omówić zasadę działania i zastosowania medyczne akceleratorów liniowych i cyklotronów oraz technikę „cyber knife”

Akcelerator jest źródłem wysokoenergetycznych cząstek. To urządzenie służące do przyśpieszania cząstek naładowanych, by osiągały wysokie energie. Ze względu na zasadę działania wyróżnia się dwa podstawowe typy akceleratorów:

- liniowe – cząstka porusza się w procesie przyśpieszania po linii prostej,
- kołowe - tor cząstki jest zakrzywiany w polu magnetycznym B.
- Energię kinetyczną przyśpieszanej w akceleratorze liniowym cząstki naładowanej można opisać wzorem:

$$E_k = q \cdot U$$

q jest ładunkiem cząstki, a U napięciem przyłożonym pomiędzy elektrodami przyśpieszającymi.

W nowoczesnej radioterapii konwencjonalnej, jako źródła promieniowania stosuje się prawie wyłącznie elektronowe akceleratory liniowe. Wygenerowany w źródle elektron doznaje przyśpieszenia w zewnętrznym polu elektrycznym. Akceleratory takie mogą generować wiązki elektronów o energiach od 4 do 25 MeV.

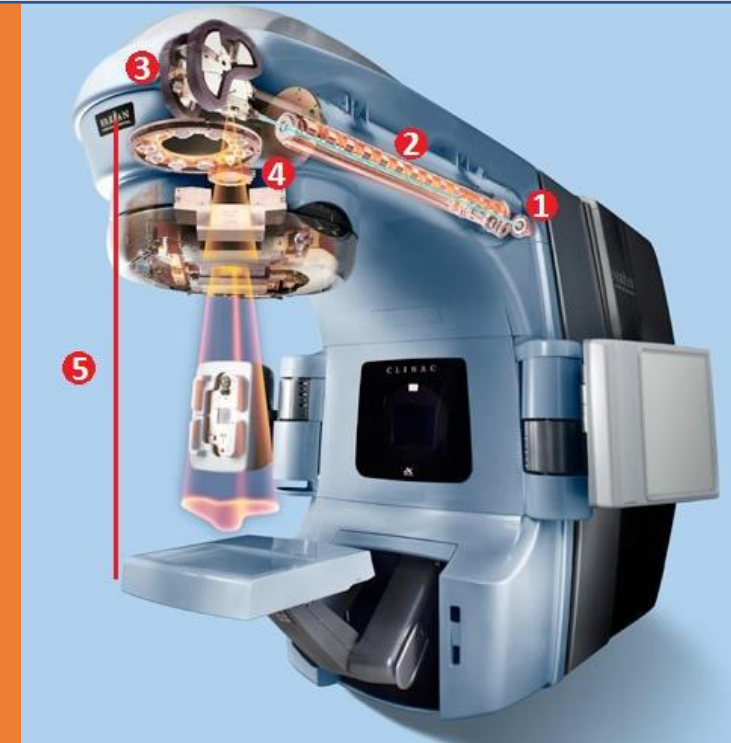
III. Akceleratory medyczne

Proszę omówić zasadę działania i zastosowania medyczne akceleratorów liniowych i cyklotronów oraz technikę „cyber knife”

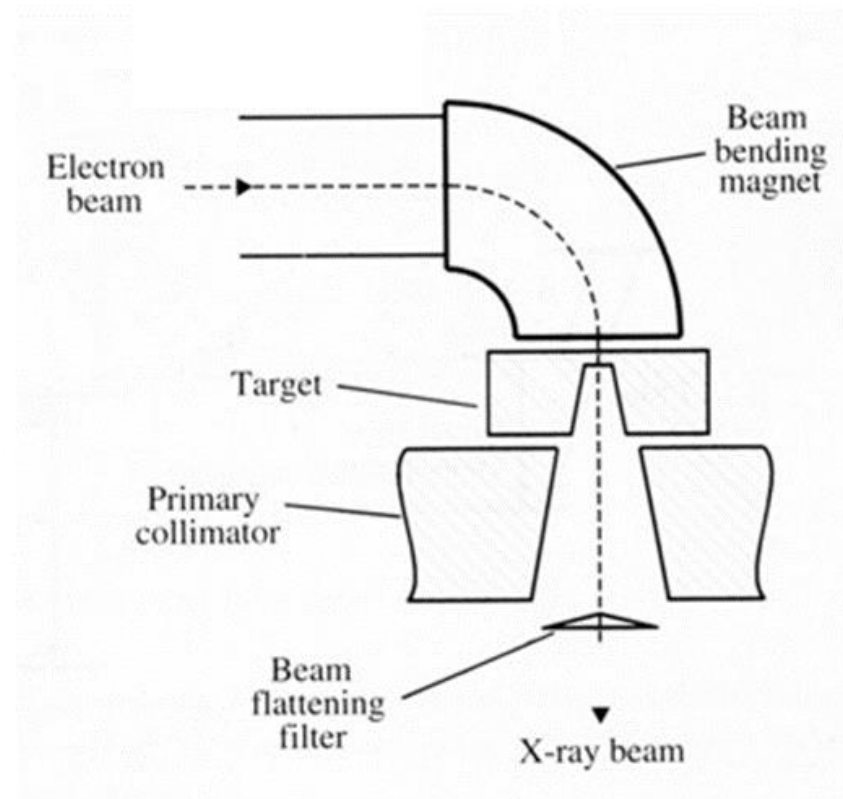
W cyklotronie cząstka porusza się ruchem spiralnym, a zakrzywienie toru ruchu cząstki odbywa się przez przyłożone prostopadle do kierunku jej prędkości pole magnetyczne B . Na cząstkę działa wówczas tzw. siła Lorentza, powodująca jej ruch kołowy zgodnie z równaniem:

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

q jest ładunkiem cząstki, m jej masą, v - szybkością, B - natężeniem pola magnetycznego przyłożonym prostopadle do kierunku ruchu cząstki, natomiast r promieniem okręgu, który zatacza cząstka w polu $\vec{B}$.



Akcelerator medyczny firmy Varian: 1 – źródło elektronów, 2 – układ przyspieszający, 3 – układ odchylania wiązki, 4 – układ dozymetryczny, 5 – układ formowania wiązki terapeutycznej.

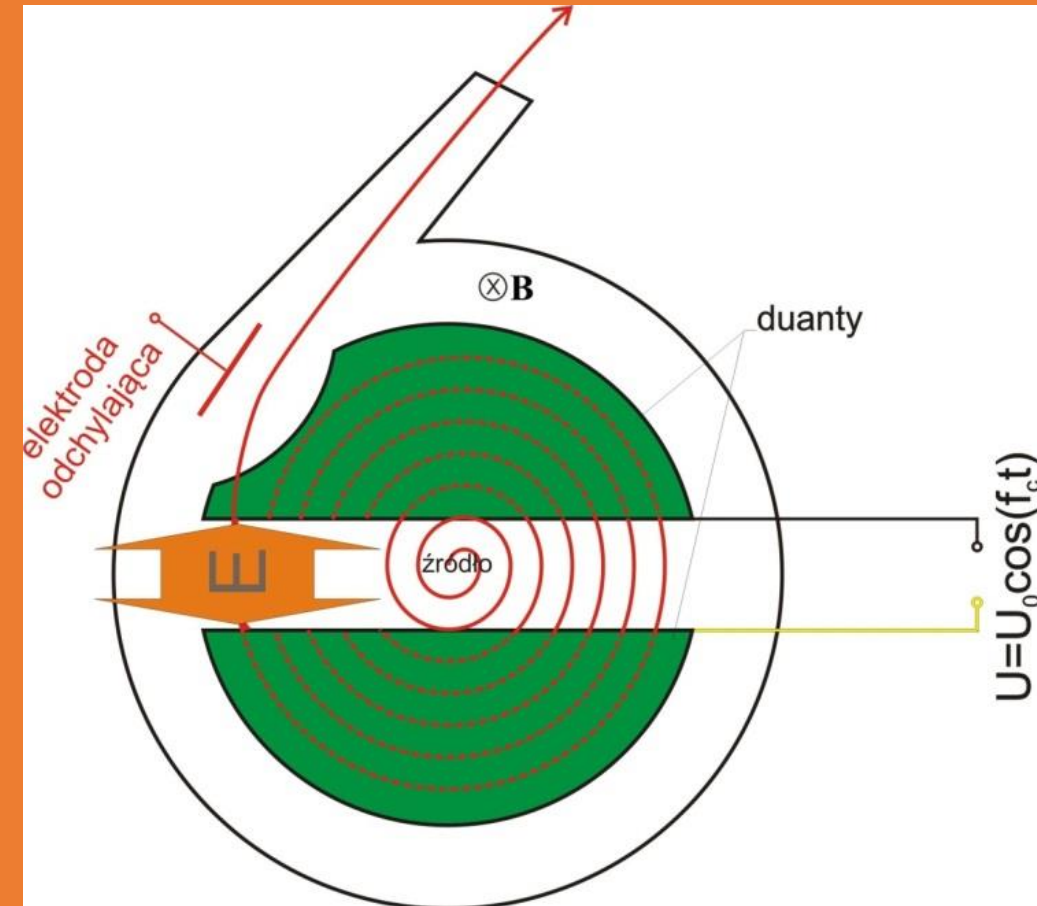


III. Akceleratory medyczne

Proszę omówić zasadę działania i zastosowania medyczne akceleratorów liniowych i cyklotronów oraz technikę „cyber knife”

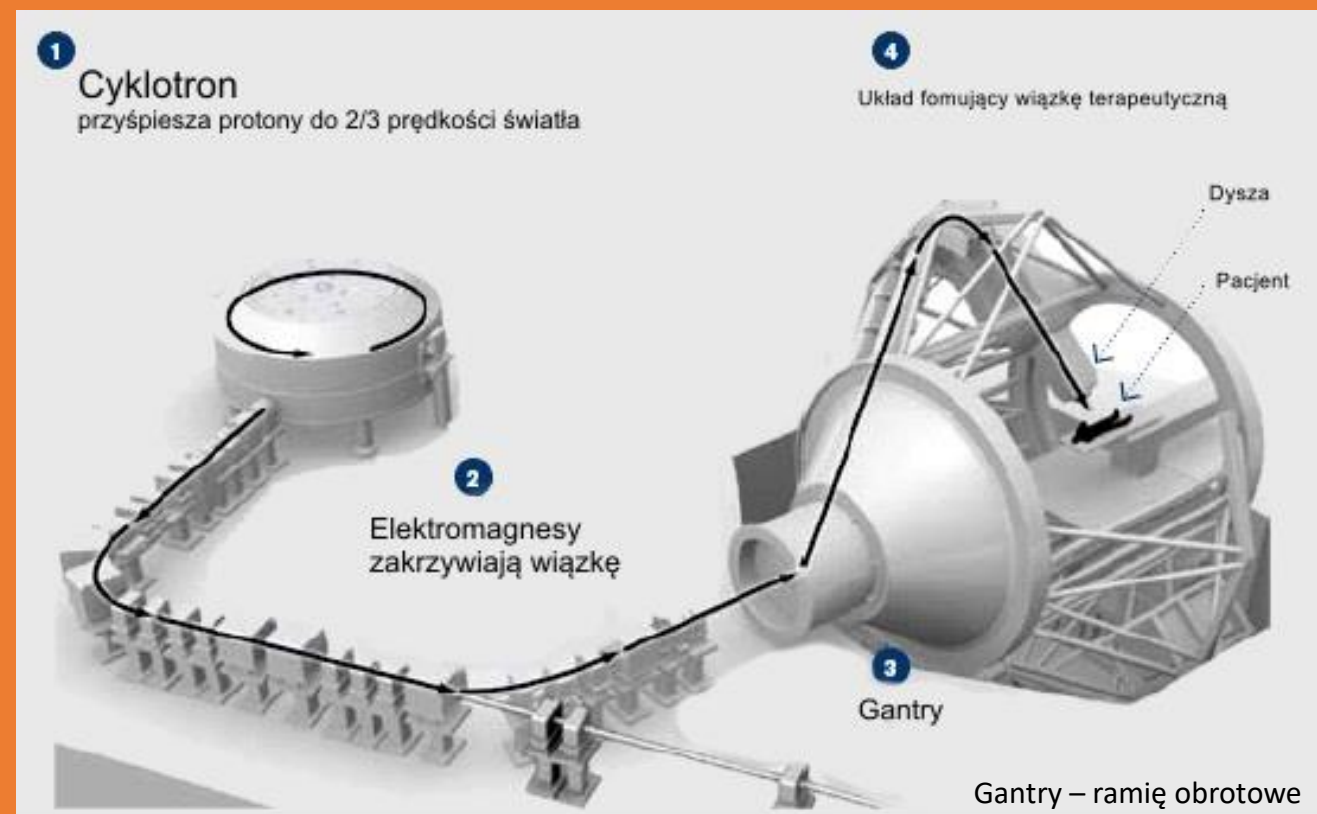
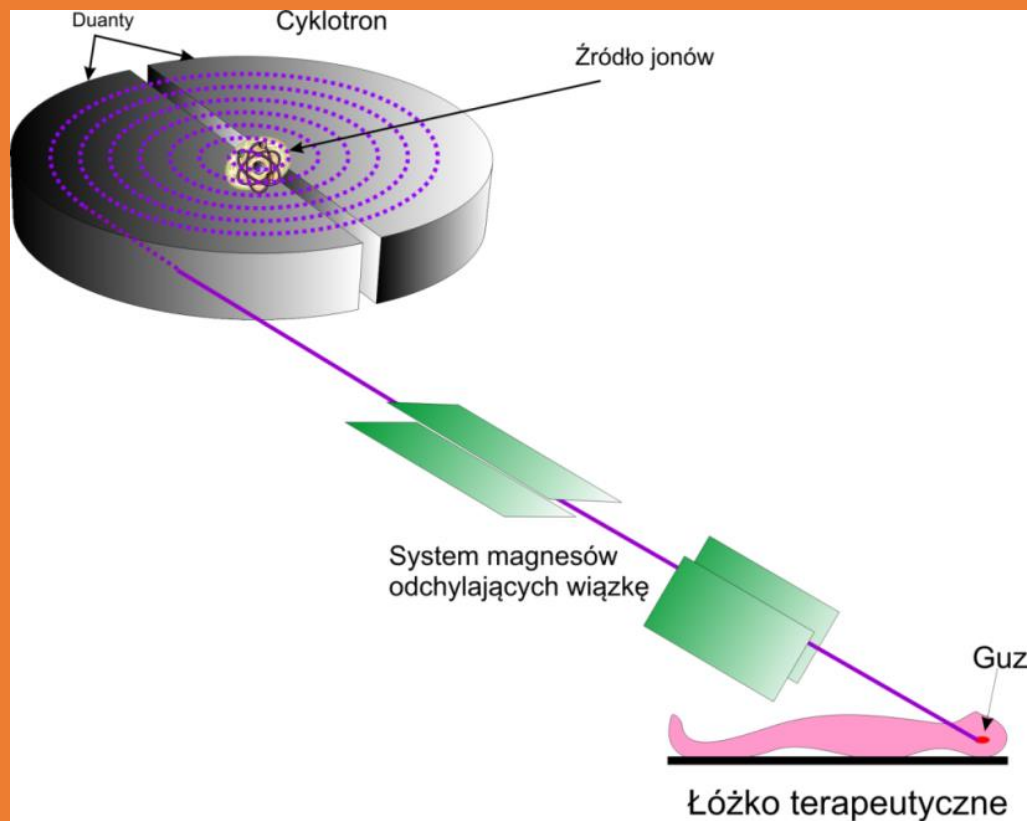
Aby uzyskać wysokie energie cząsteczki przyspieszanej polem elektrycznym konieczne jest stosowanie albo wysokich napięć przyspieszających, bądź długich dróg przyspieszania. Stosując mniejsze napięcie można wydłużyć trajektorię cząstki, zakrzywiając tor jej ruchu w polu magnetycznym akceleratora.

Cyklotron posiada dwa pierścienie w kształcie litery D, nazywane duantami, umieszczone w jednorodnym polu magnetycznym $\vec{B}$ wytwarzanym przez elektromagnesy. Pomiedzy duantami następuje przyspieszanie cząstek za pomocą odpowiednio przykładanej do duantów różnicy potencjałów elektrycznych, która zmienia znak z częstotliwością cyklotronową f_c . Cząstka wyemitowana ze źródła po wejściu do duantu z szybkością v zostanie odchylona w polu magnetycznym i zatoczy półokrąg o promieniu r . Jeśli częstotliwość zmian pola elektrycznego pomiędzy duantami jest dobrana tak, że pole elektryczne zmieni kierunek, gdy cząstka dotrze z powrotem do przestrzeni między duantami, to będzie ona w tym miejscu przyspieszana. Po przyspieszeniu do zadanej energii cząstka jest wyprowadzana z cyklotronu z użyciem elektrody odchylającej.



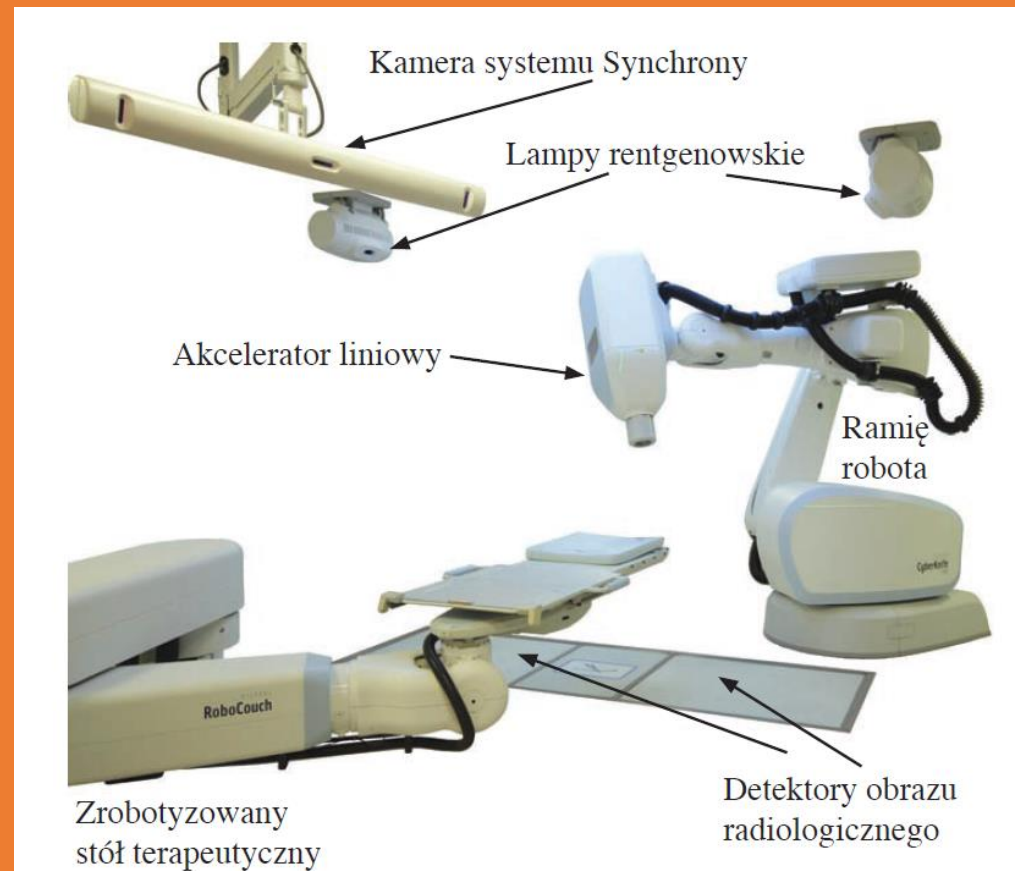
III. Akceleratorzy medyczne

Proszę omówić zasadę działania i zastosowania medyczne akceleratorów liniowych i cyklotronów oraz technikę „cyber knife”



III. Akceleratorzy medyczne

Proszę omówić zasadę działania i zastosowania medyczne akceleratorów liniowych i cyklotronów oraz technikę „cyber knife”



III. Akceleratory medyczne

Proszę omówić zasadę działania i zastosowania medyczne akceleratorów liniowych i cyklotronów oraz technikę „cyber knife”

- kompaktowy akcelerator liniowy zamontowany na manipulatorze robotycznym
- system obrazowania
- system naprowadzania rejestruje obrazy podczas naświetlania, śledzi ruch pacjenta i kieruje manipulatorem w celu precyzyjnego i dokładnego ustawienia wiązki terapeutycznej
- cyber knife umożliwia zarówno radiochirurgię stereotaktyczną (wysoka dawka podana w jednej frakcji), jak i radioterapię stereotaktyczną frakcjonowaną



4. Podstawy dozymetrii

Proszę podać definicje oraz jednostki dawek stosowanych w dozymetrii.

4. Podstawy dozymetrii

Proszę podać definicje oraz jednostki dawek stosowanych w dozymetrii.

W dozymetrii stosuje się uproszczony opis oddziaływania promieniowania jonizującego z układem biologicznym, podając ilości energii absorbowanej przez układ. W dozymetrii definiujemy dawkę **ekspozycyjną** i dawkę **pochłoniętą**.

Dawka ekspozycyjna (E) odnosi się do absorpcji promieniowania w powietrzu i mierzona jest bezpośrednio, jako suma ładunków elektrycznych jednego znaku wytworzonych przez promieniowanie w jednostce masy powietrza. Jednostką dawki ekspozycyjnej jest kulomb na kilogram:

$$[E] = 1 \text{ C/kg}$$

Historyczną i nadal stosowaną jednostką dawki ekspozycyjnej jest Rentgen (R):

$$[E] = 1 \text{ R (rentgen)}$$

Obie jednostki związane są ze sobą:

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$$

Dawka pochłonięta (D) odnosi się do absorpcji w dowolnej substancji i jest mierzona jako energia promieniowania jonizującego pochłonięta przez jednostkę masy absorbenta. Jednostką dawki pochłoniętej jest grej (Gy). Dawkę pochłoniętą można mierzyć za pomocą dozymetrów (radiometrów):

$$[D] = 1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gy (grej)}$$

4. Podstawy dozymetrii

Proszę podać definicje oraz jednostki dawek stosowanych w dozymetrii.

Dawkę pochłoniętą w jednostce czasu nazywamy **mocą dawki** (P). Jest to energia promieniowania jonizującego pochłonięta przez jednostkową masę materii w jednostce czasu, co wyraża równanie:

$$P = \frac{D}{t}, \quad [P] = \frac{\text{Gy}}{\text{s}}$$

Można więc wyrazić dawkę następującą zależnością:

$$\text{Dawka} = (\text{moc dawki}) \cdot (\text{czas ekspozycji})$$

Moc dawki równa około 3 mGy/rok odpowiada dawce pochłoniętej od tła naturalnego w ciągu roku. W terapii nowotworów do objętości tarczowej aplikowana jest dawka sięgająca 100 Gy.

E i D opisują energię pochłoniętą na skutek różnych mechanizmów, nic nie mówiąc o skutkach biologicznych, które zależą od rodzaju promieniowania (różne mechanizmy oddziaływania) oraz od specyfiki naświetlanego organu,

4. Podstawy dozymetrii

Proszę podać definicje oraz jednostki dawek stosowanych w dozymetrii.

Dla oszacowania skutków biologicznych promieniowania jonizującego na organizmy żywe oblicza się dodatkowo **równoważnik dawki** (H_T). H_T to dawka pochłonięta w tkance uwzględniająca rodzaj promieniowania jonizującego. Równoważnik dawki obliczamy stosując równanie:

$$H_T = D \cdot w_R$$

$$[HT] = J/kg = 1 Sv \text{ (siwert)}$$

w_R jest bezwymiarowym współczynnikiem wagowym uwzględniającym rodzaj promieniowania.

H_T stosowane jest do opisu skutków biologicznych napromieniania jednego organu. W przypadku napromieniania całego ciała bądź kilku narządów należy posłużyć się pojęciem **efektywnego równoważnika dawki**. Efektywny równoważnik dawki (H_E) uwzględnia różną promienioczułość różnych narządów i dany jest równaniem:

$$H_E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D$$

w_T jest współczynnikiem wagowym poszczególnych narządów. Jednostką efektywnego równoważnika dawki (H_E) jest siver.

4. Podstawy dozymetrii

Proszę opisać metody pomiaru dawek stosowanych w dozymetrii oraz obowiązujące w Polsce normy

4. Podstawy dozymetrii

Proszę opisać metody pomiaru dawek stosowanych w dozymetrii oraz obowiązujące w Polsce normy

Średni roczny efektywny równoważnik dawki H_E w Polsce pochodzący od promieniowania naturalnego (promieniowanie kosmiczne i promieniowanie ^{220}Rn i ^{222}Rn oraz ich pochodnych w powietrzu wewnątrz budynków i promieniowanie izotopów dostarczanych z pokarmem do wnętrza ciała) oraz diagnostyki medycznej wynosi około 3.5 mSv.

Limity dawek w ochronie radiologicznej dla osób pracujących w warunkach narażenia na promieniowanie różnią się od limitów dla ogółu ludności. Dla grupy zawodowo narażonej na promieniowanie dawka nie powinna przekroczyć 50 mSv w ciągu jednego roku, a średnia dawka w ciągu pięciu lat nie może przekroczyć 20 mSv. Limity dawek dla ogółu ludności są niższe (ok. 50 razy).

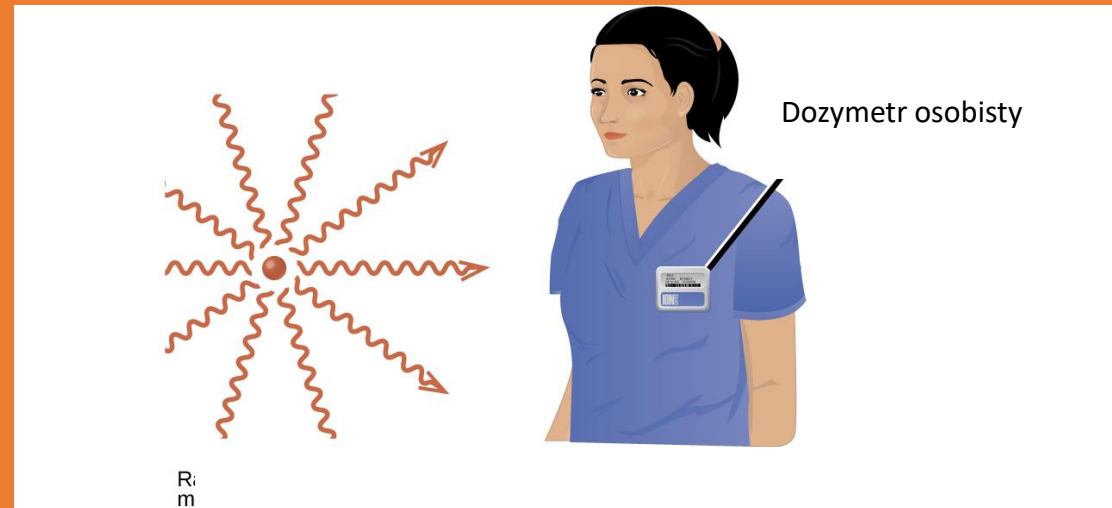
	Zawodowy [mSv]	Ogólny [mSv]
H_E roczna (średnia z 5 lat)	50 (20)	1
Rogówka (H_T)	150	15
Skóra (H_T)	500	50
Ręce, Stopy (H_T)	500	50

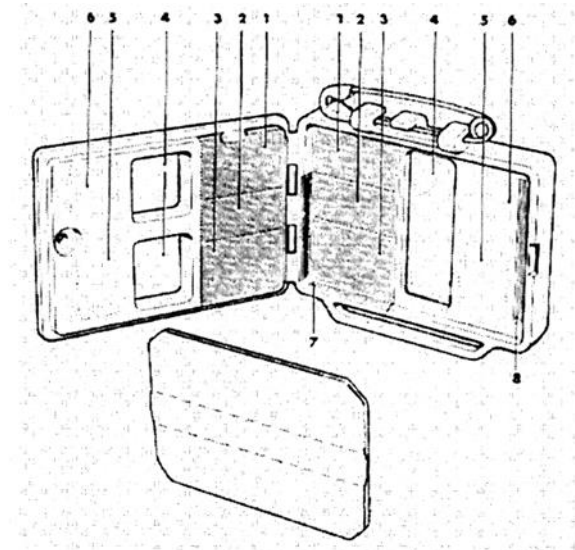
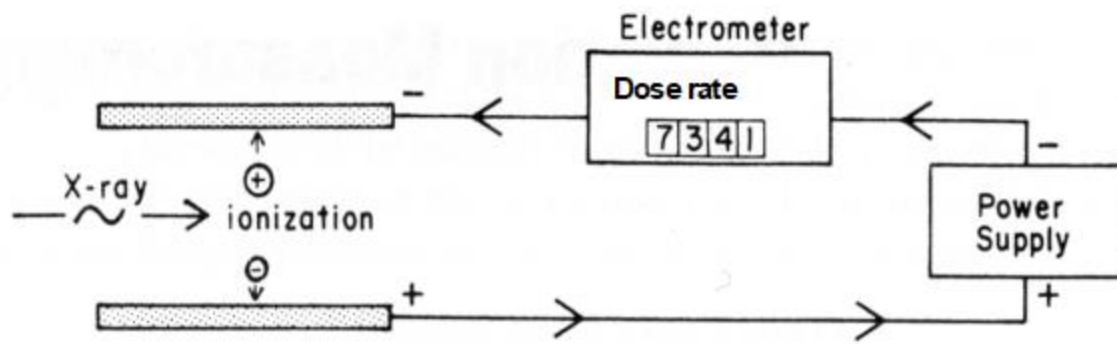
4. Podstawy dozymetrii

Proszę opisać metody pomiaru dawek stosowanych w dozymetrii oraz obowiązujące w Polsce normy

Do pomiaru dawek służą urządzenia zwane dozymetrami, działające w oparciu o różne mechanizmy, np.

- Fotograficzne
- Jonizacyjne
- Kalorymetryczne
- Chemiczne
- Termo-Luminescencyjne





5. Ochrona radiologiczna, obliczanie dawek i osłon

Oblicz grubość osłony ołowianej 10-krotnie osłabiającej natężenie promieniowania X o energii 100 keV. Liniowy współczynnik osłabienia ołowiu dla promieniowania X wynosi 600 m^{-1} .

5. Ochrona radiologiczna, obliczanie dawek i osłon

Oblicz grubość osłony ołowianej 10-krotnie osłabiającej natężenie promieniowania X o energii 100 keV. Liniowy współczynnik osłabienia ołowiu dla promieniowania X wynosi 600 m^{-1} .

$$\begin{aligned}
 I &= I_0 e^{-\mu x} \rightarrow \frac{I}{I_0} = 0.1 = e^{-\mu x} \\
 0.1 &= e^{-\mu x} \rightarrow \ln \\
 \ln(0.1) &= -\mu x \rightarrow x = \frac{-\ln(0.1)}{\mu} \\
 x &= \frac{2.3}{600} \text{ m} = 0.0038 \text{ m} = 3.8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5. Ochrona radiologiczna, obliczanie dawek i osłon

Moc efektywnego równoważnika dawki promieniowania X wytwarzanego przez lampę rentgenowską w miejscu, gdzie stoi pacjent podczas wykonywania zdjęcia rentgenowskiego płuc (25 cm od lampy), wynosi 1.8 Sv/h. Lampa pracuje impulsowo, każde badanie trwa 1 s i może być powtarzane co 10 min. Pamiętając, iż natężenie promieniowania elektromagnetycznego maleje z kwadratem odległości proszę obliczyć:

- Całkowitą dawkę pochłoniętą przez pacjenta w trakcie badania (jedno zdjęcie)
- Średnią moc równoważnika dawki, w trakcie 1 h pracy, jaką otrzymałby technik-radiolog stojąc bez dodatkowych zabezpieczeń w odległości 1 m od lampy, jeśli zdjęcia są wykonywane co 10 min
- Dopuszczalny czas pracy radiologa, po którym zaabsorbowałby on roczną dawkę przewidzianą dla osób związanych zawodowo z promieniowaniem jonizującym

5. Ochrona radiologiczna, obliczanie dawek i osłon

Moc efektywnego równoważnika dawki promieniowania X wytwarzanego przez lampę rentgenowską w miejscu, gdzie stoi pacjent podczas wykonywania zdjęcia rentgenowskiego płuc (25 cm od lampy), wynosi 1.8 Sv/h. Lampa pracuje impulsowo, każde badanie trwa 1 s i może być powtarzane co 10 min. Pamiętając, iż natężenie promieniowania elektromagnetycznego maleje z kwadratem odległości proszę obliczyć:

- Całkowitą dawkę pochłoniętą przez pacjenta w trakcie badania (jedno zdjęcie)
- Średnią moc równoważnika dawki, w trakcie 1 h pracy, jaką otrzymałby technik-radiolog stojąc bez dodatkowych zabezpieczeń w odległości 1 m od lampy, jeśli zdjęcia są wykonywane co 10 min
- Dopuszczalny czas pracy radiologa, po którym zaabsorbowałby on roczną dawkę przewidzianą dla osób związanych zawodowo z promieniowaniem jonizującym

a.

$$P = \frac{H_E}{t} = \frac{D \cdot w_R}{t} \rightarrow D_1 = \frac{P_1 \cdot t_1}{w_R}$$

$$D_1 = \frac{1.8 \text{ Sv/h} \cdot 1 \text{ s}}{1} = 1.8 \frac{\text{Gy}}{\text{h}} \cdot 2.78 \cdot 10^{-4} \text{ h} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$$

5. Ochrona radiologiczna, obliczanie dawek i osłon

Moc efektywnego równoważnika dawki promieniowania X wytwarzanego przez lampę rentgenowską w miejscu, gdzie stoi pacjent podczas wykonywania zdjęcia rentgenowskiego płuc (25 cm od lampy), wynosi 1.8 Sv/h. Lampa pracuje impulsowo, każde badanie trwa 1 s i może być powtarzane co 10 min. Pamiętając, iż natężenie promieniowania elektromagnetycznego maleje z kwadratem odległości proszę obliczyć:

- Całkowitą dawkę pochłoniętą przez pacjenta w trakcie badania (jedno zdjęcie)
- Średnią moc równoważnika dawki, w trakcie 1 h pracy, jaką otrzymałby technik-radiolog stojąc bez dodatkowych zabezpieczeń w odległości 1 m od lampy, jeśli zdjęcia są wykonywane co 10 min
- Dopuszczalny czas pracy radiologa, po którym zaabsorbowałby on roczną dawkę przewidzianą dla osób związanych zawodowo z promieniowaniem jonizującym

b.

$$r_2 = 4r_1 \rightarrow D \sim \frac{1}{r^2} \rightarrow D_2 = \frac{1}{16} D_1$$

$$D_2 = \frac{5 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}}{16} = 0.3125 \cdot 10^{-4} \text{ Gy} \cdot w_R \approx 0.31 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$$

$$P_{\text{śr}} = \frac{6D_2}{t_2} = \frac{6 \cdot 0.3125 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}}{h} = 1.875 \cdot \frac{10^{-4} \text{ Sv}}{h}$$

$$\approx 0.2 \text{ mSv/h}$$

5. Ochrona radiologiczna, obliczanie dawek i osłon

Moc efektywnego równoważnika dawki promieniowania X wytwarzanego przez lampę rentgenowską w miejscu, gdzie stoi pacjent podczas wykonywania zdjęcia rentgenowskiego płuc (25 cm od lampy), wynosi 1.8 Sv/h. Lampa pracuje impulsowo, każde badanie trwa 1 s i może być powtarzane co 10 min. Pamiętając, iż natężenie promieniowania elektromagnetycznego maleje z kwadratem odległości proszę obliczyć:

- Całkowitą dawkę pochłoniętą przez pacjenta w trakcie badania (jedno zdjęcie)
- Średnią moc równoważnika dawki, w trakcie 1 h pracy, jaką otrzymałby technik-radiolog stojąc bez dodatkowych zabezpieczeń w odległości 1 m od lampy, jeśli zdjęcia są wykonywane co 10 min
- Dopuszczalny czas pracy radiologa, po którym zaabsorbowałby on roczną dawkę przewidzianą dla osób związanych zawodowo z promieniowaniem jonizującym

c.

$$P_{\text{śr}} = \frac{H_E}{t_{\text{dop}}} \rightarrow t_{\text{dop}} = \frac{H_E}{P_{\text{śr}}}$$

$$t_{\text{dop}} = \frac{H_E}{P_{\text{śr}}} \rightarrow H_E = 50 \text{ mSv} \rightarrow t_{\text{dop}} = \frac{50 \text{ mSv}}{0.2 \text{ mSv/h}} = 250 \text{ h} = 10.5 \text{ doby}$$