

# Wstęp do Fizyki Medycznej - wykłady

Maciej Standerski

15 listopada 2023

## 1 Wykład (08.11.2023)

Andrzej Hryniewicz "Człowiek i promieniowanie jonizujące",

Ustawa Prawo Atomowe

Natalia Golnik "Radiologia",

Janusz Henschke "Ochrona Radiologiczna",

Tadeusz Musiałowicz, "Słownik Terminów Ochrony Radiologicznej" CLOR

Zaliczenie:

Wykłady: kolokwium na ostatnich zajęciach (waga 60%)

Laboratorium: Ocena końcowa jest średnią z ocen cząstkowych za każde z ćwiczeń. Obecność bez oddania sprawozdania to ocena 2. Nieusprawiedliwiona nieobecność oznacza ocenę 0 za dane ćw.

Min en. promieniowania jonizującego dla atomu wodoru: 13,6 eV

Promieniowanie jonizujące - promieniowanie składające się z cząstek bezpośrednio lub pośrednio jonizujących albo z obu rodzajów tych cząstek lub fal elektromagnetycznych o długości do 100 nm. (min en. ok. 124.2 eV).

Źródła promieniowania jonizującego: Naturalne: skorupa ziemską, promieniowanie kosmiczne, żywność i organizmy żywe

Sztuczne: aparaty rentgenowskie, akceleratory medyczne i przemysłowe, reaktory jądrowe, wytworzone sztucznie źródła promieniotwórcze, w tym radiofarmaceutyki

Terapia śródoperacyjna - naświetla się miejsce po wycięciu guza by pozbyć się ewentualnych pozostałych komórek nowotworowych. Akcelerator śródoperacyjny intraLine

RTG + aktywacja materiałów neutronami oraz aktywacji promieniowaniem X o wysokiej energii.

### 1.1 Dozymetria i ochrona radiologiczna

Dozymetria - dział fizyki zajmujący się pomiarom i obliczaniem dawek promieniowania jonizującego oraz ocenę skażeń promieniotwórczych.

Ochrona radiologiczna - zapobieganie narażeniu ludzi i skażeniu środowiska, ograniczenie ich skutków do poziomu tak niskiego, jak tylko jest to rozsądnie osiągalne, przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych, społecznych i zdrowotnych.

Ochrona radiologiczna pacjenta - zespół czynności i ograniczeń zmierzających do zminimalizowania narażenia pacjenta na promieniowanie jonizujące.

### 1.2 Zalecenia i standardy

International Commission on Radiological Protection - ICRP

International Commission on Radiation Units & Measurements - ICRU

Obowiązujące akty prawne i zalecenia: Ustawa Prawo Atomowe, Rozporządzenie Rady Ministrów, Dyrektywa EURATOM, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

### 1.3 Podstawowe wielkości dozymetryczne

- Wielkości fizyczne: Aktywność źródła, fluencja cząstek, gęstość strumienia cząstek
- Wielkości dozymetryczne: kerma, dawka pochłonięta, moc dawki pochłoniętej, energia przekazana

Dawka to ogólnie miara energii zdeponowanej przez promieniowanie w materiale tarczowym.

W zależności od kontekstu dawka pochłonięta, równoważna dawka obciążająca, efektywna dawka obciążająca, dawka efektywna, dawka równoważna lub dawka w narządzie.

Aktywność źródła promieniotwórczego:  $A = \Delta N / \Delta t$ , aktywność promieniotwórcza zmienia się w czasie.  $[Bq/kg, Bq/m^2, Bq/m^3]$

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

Fluencja cząstek - liczba padających cząstek dN na powierzchnię da, gdzie dN jest liczbą cząstek, które przechodzą przez powierzchnię sferyczną da.

Gęstość strumienia cząstek

Kerma - suma energii kinetycznej wszystkich cząstek naładowanych uwolnionych przez cząstki nienaładowane w jednostce masy ośrodka  $[Gy = J/kg]$

Dawka pochłonięta - średnia energia przekazana przez promieniowanie w jednostce masy danego ciała  $D = \frac{d\epsilon}{dm}$

$$\text{Moc dawki pochłoniętej: } \dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Dawka pochłonięta vs Kerma

Do kermy wliczamy całkowitą energię cząstek naładowanych wygenerowanych w masie dm

Samej dawki nie da się zmierzyć. Mierzymy kermę, i następnie na podstawie współczynników przeliczamy ją na dawkę.

Ekspozycja (dawka ekspozycyjna.)  $X = dQ/dm$

$$\text{Energia przekazana } \epsilon = \sum R_{in} - \sum R_{out} + \sum Q$$

## 1.4 Rodzaje promieniowania

Wysokoenergetyczne promieniowanie E-M (X i  $\gamma$ )

Promieniowanie  $\beta$

Cząstki alfa

Protony i ciężkie jony, w tym fragmenty jądrowe

Neutrony

Boron neutron capture therapy - podobne działanie jak przy badaniu z wykorzystaniem radiofarmaceutyku. Zamiast dostarczania radiofarmaceutyku do nowotworu, umieszczamy w tkance boron, i następnie naświetlamy neutronami. Powstaje cząstka w miejscu lokalizacji boronu. Cząstki alfa niszczą tkankę nowotworową.

Dawka równoważna - dawka pochłonięta w tkance lub narządzie T, ważona dla rodzaju i energii promieniowania R:  $H_{T,R} = w_R D_{T,R} [Sv]$ ,  $H_T = \sum_R w_R D_{T,R} [Sv]$

$w_r$  największe dla cząstek alfa (daje większy efekt biologiczny)

Fotony - 1 El. i miony 1 Protony i piony - 2 Cząstki alfa, fragmenty rozszczepienia, ciężkie jony - 20

Spektrum energetyczne (współczynnik wagowy dla neutronów) (neutrony o energiach w ok. 1 MeV mają największe szanse aby doszło do reakcji jądrowej, przez co mogą spowodować większe szkody. Dla tych neutronów współczynnik wagowy jest największy. Natomiast neutrony o energiach mniejszych lub większych mają mniejszą szansę na wywołanie reakcji, przez co współczynniki dla tych neutronów są mniejsze.)

Dawka skuteczna:  $E = \sum_T w_T \sum w_R D_{T,R}$ , tkanki mają różną promieniowrażliwość. Komórki, które się kształtują, rosną mają większą promieniowrażliwość niż komórki rozwinęte. Dlatego radioterapia działa, ponieważ komórki nowotworowe szybko rosną i są bardziej podatne na działanie promieniowania. Jest to również powód, dlaczego nie należy przeprowadzać radioterapii kobietom w ciąży, ponieważ promieniowanie może uszkodzić rozwijający się płód.

Im większy współczynnik  $w_T$ , tym większe skutki stochastyczne.

Wartości czynnika wagowego

Kula LCRU - fantom, składa się z tlenu (76,2%), węgla (11,1%), wodoru (10,1%) i azotu (2,6%).

Wartości czynnika wagowego:  $Q = \frac{1}{D} \int_{L=0}^{\infty} Q(L) D_L dL$ , D - dawka pochłonięta, L - nieograniczone liniowe przekazanie energii (LET) na jeden mikrometr toru cząstki naładowanej w wodzie.

Dawka skuteczna E otrzymana w ciągu określonego czasu

$$E = E_z + \sum_j e(g)_{j,p} J_{j,p} + \sum_j e(g)_{j,o} J_{j,o}$$

e - obciążająca dawka skuteczna (efektywna) - zależą od sposobu przechodzenia izotopu do przewodu pokarmowego (p) i z, do i z drogi oddechowej (o). J - aktywność izotopu

Dawka pochłonięta w narządzie T -> współczynnik wagowy promieniowania -> dawka równoważna w narządzie T -> współczynnik wagowy tkanki -> dawka skuteczna (efektywna)

Dawka pochłonięta -> współczynnik jakości promieniowania -> równoważnik dawki -> wielkości robocze (przestrzenny równoważnik dawki  $H^*(d)$ , kierunkowy równoważnik dawki  $H'(d, \Omega)$ , indywidualny równoważnik dawki)

Dozymetria awaryjna - sprawdzanie ilości mutacji w komórkach (zmiany chromosomalne - dicentryki, czyli dwa miejsca połączenia - błędnie naprawione chromosomy. Zliczając ilość takich dicentryków można oszacować dawkę promieniowania, potrzebne są wówczas bazy danych, które określają liczbę dicentryków w zależności od dawki)

system wielkości dozymetrycznych roboczych

## 2 Wykład 15.11.2023

11 stycznia - laboratorium z RTG

Cząstki naładowane łatwiej jest zidentyfikować.

### 2.1 Oddziaływanie promieniowania z materią

Prawo osłabienia wiązki promieniowania  $n = n_0 e^{-\mu_x x}$ ,  $\mu_x = \sigma * N$  - liniowy współczynnik osłabienia wiązki,  $\mu_d = \mu_x / \rho$  - masowy współczynnik osłabienia wiązki (dla materiałów o niejednorodnej gęstości).  $\rho$  - masowy współczynnik osłabienia wiązki.

Oddziaływanie ciężkie naładowane (wzór Bethego-Blocha na slajdach z wykładu), cząstki tracą energię głównie z powodu oddziaływania kulombowskiego

Krzywa jonizacji Bragga - jonizacja w ośrodku w funkcji przebytej drogi

Krzywa zasięgu w materiale

Zasięg i jonizacja w materiałach

- dla cząstek alfa zasięgi rzędu cm

Straty energii elektronów - rozproszenie na el. zmienia się kierunek lotu elektronu, ale zmienia energię elektronu

Rozpraszanie na elektronach  $Z/\beta^4$  i na jądrach atomowych  $Z^2/\beta^4$ .

Promieniowanie hamowania (Brehmstrahlung) ( $E_\gamma \propto E/m_0 c^2$ ) - wynika z oddziaływania el. z polem elektrycznym jąder atomowych

Oddziaływanie fotonów w materii (zjawisko fotoelektryczne, efekt Comptona, tworzenie par elektron-pozyton)

Zasięg kwantów gamma

Kwanty gamma są promieniowaniem jonizującym pośrednio (tylko 10% oddziaływania bezpośrednio, reszta energii jest przekazywana przez pośrednie zjawiska, reakcje)

Współczynnik osłabienia:  $\mu_0 = \mu_{photo} + \mu_{compt} + \mu_{pair}$

$\mu_0 = \mu_{photo} f_{photo} + \mu_{compt} f_{compt} + \mu_{pair} f_{pair}$

Neutrony - procesy jonizacji zachodzą w wyniku wtórnych procesów

Przekrój czynny silnie zależy od energii neutronu i rodzaju materiału.

Sposób na efektywny pomiar dawki jest spowolnienie neutronów a później ich detekcja w wyniku reakcji jądrowych.

### 2.2 Metody detekcji neutronów

Detektor Albedo (poszukać informacji)

Absorpcja neutronów:  $I = I_0 e^{-N\sigma d}$ ,  $N$  - koncentracja jąder na jedn objętości,  $\sigma$  - przekrój czynny,  $d$  - grubość absorbenta

Detekcja neutronów termicznych - spowolnić neutrony do energii rzędu elektornowoltów, a następnie rejestrujemy reakcje jądrowe

Detektor TLD

Hel-4 jako scyntylator

## 2.3 Detektory wykorzystywane w dozymetrii

Typy detektorów

Zależy od rodzaju promieniowania, jakie chcemy mierzyć, źródła promieniowania

Detektory aktywne - pomiar w czasie rzeczywistym, wymagają zasilania

Detektory pasywne - całkują informację w czasie, wymagają układu do odczytu, nie wymagają zasilania

Cechy detektorów: wydajność, czas martwy, zdolność rozdzielcza (czasowa, przestrzenna, energetyczna), efekty elektroniki (szumy, wzmacnienie), czy wymagają kalibracji i odjęcia tła ("bieg własny").

Detektor składa się z: detektora właściwego, czyli substancji czulej na promieniowanie; systemu przetwarzania sygnału, części pozadetekcyjne (obudowa, mocowanie)

Wydajność - stosunek ilości cząstek, które mogą zarejestrować do liczby cząstek emitowanych przez źródło.

Czas martwy detektora - czas po detekcji gdy detektor jest nieczuły ( $D = 1 - \frac{N}{T}\tau$ )

Wyznaczanie wydajności - porównanie z układem, w którym znamy liczbę cząstek emitowanych (intensywnością źródła)

Druga metoda pomiaru - koincydencja dla dwóch detektorów o nieznannej wydajności

Zdolność rozdzielcza - wykorzystujemy spektrum energii wytwarzane przez pierwiastki promieniotwórcze, najważniejsza w dozymetrii jest rozdzielczość energetyczna (niepewność liczby zliczeń maleje wraz ze wzrostem liczby zliczeń - zgodnie z rozkładem Poissona). Zdolności rozdzielcze: dla ciał stałych 3 eV, gazowych 30 eV, dla scyntylatorów 300 eV

Kalibracja/wzorcowanie

Wzorcowanie przyrządów - Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych (LWP-DiR) CLOR

Detektory gazowe: potrzebne jest minimalne napięcie, które rozpędzi elektrony, jeśli będzie ono za mało, może dojść do rekombinacji elektronów, i zliczenie nie zostanie zarejestrowane

Zakres roboczy napięcia: obszar rekombinacji - komora jonizacyjna - licznik proporcjonalny - obszar ograniczonej proporcjonalności - licznik Geigera-Mulera - obszar wyładowania ciągłego

Instytucje nadzorujące skażenia promieniotwórcze: Państwowa Agencja Atomistyki, IMGW, MON - Ministerstwo Obrony Narodowej