

Podstawy detekcji promieniowania jonizującego

dr inż. Krzysztof Wojciech Fornalski

krzysztof.fornalski@gmail.com

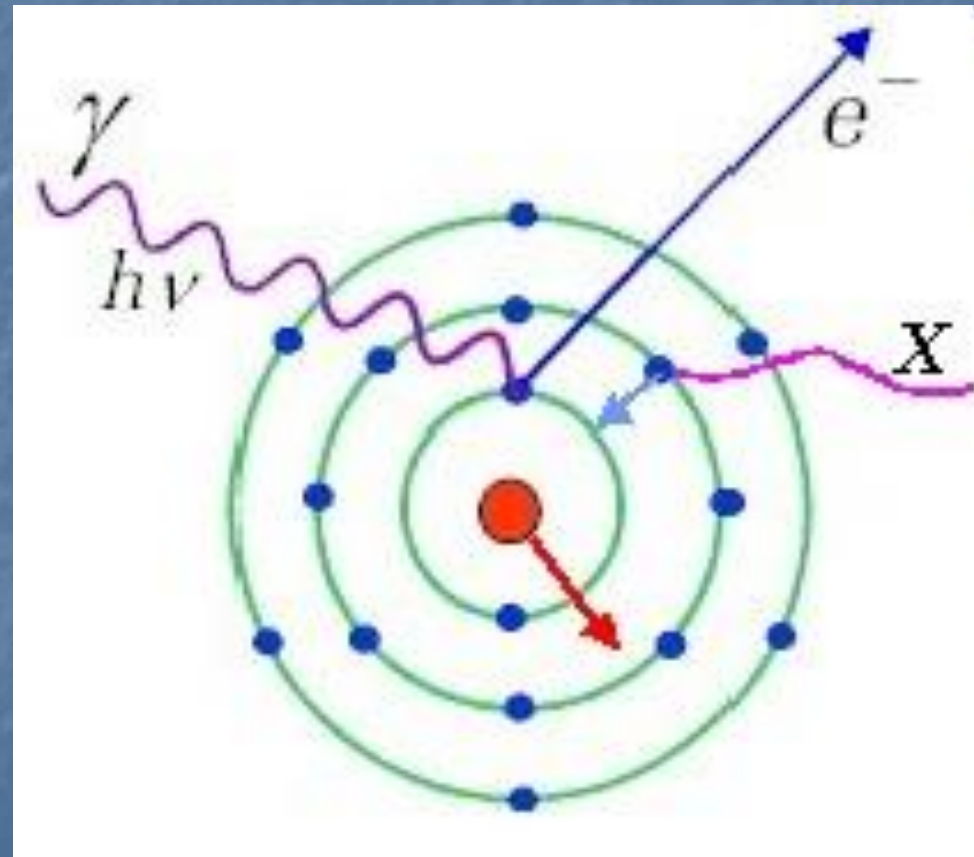
Detekcja promieniowania

2 główne zjawiska oddziaływania prom. X

- W wyniku oddziaływania promieniowania rentgenowskiego z materią mamy do czynienia z dwoma głównymi zjawiskami:
- Zjawisko fotoelektryczne
- Efekt Comptona

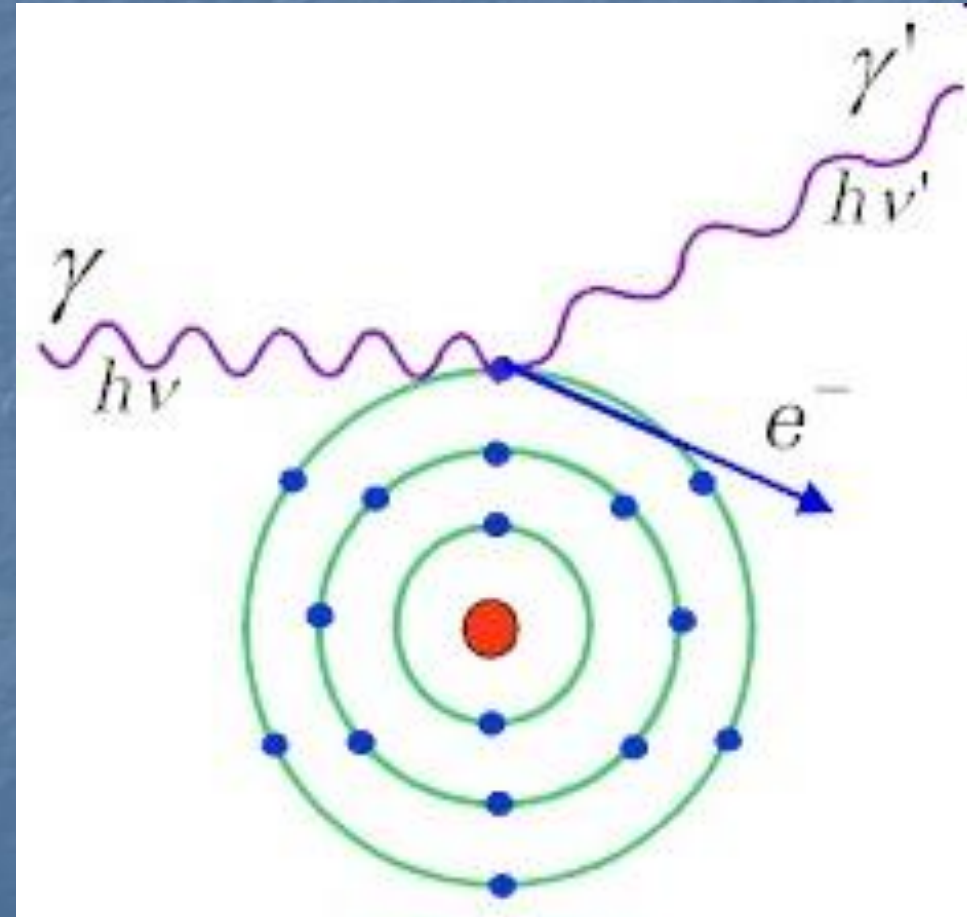
Zjawisko fotoelektryczne

- Pochłonięcie fotonu przez atom i emisja elektronu z powłoki bliskiej jądra
- Efektem jest jonizacja atomu i emisja elektronu



Efekt Comptona

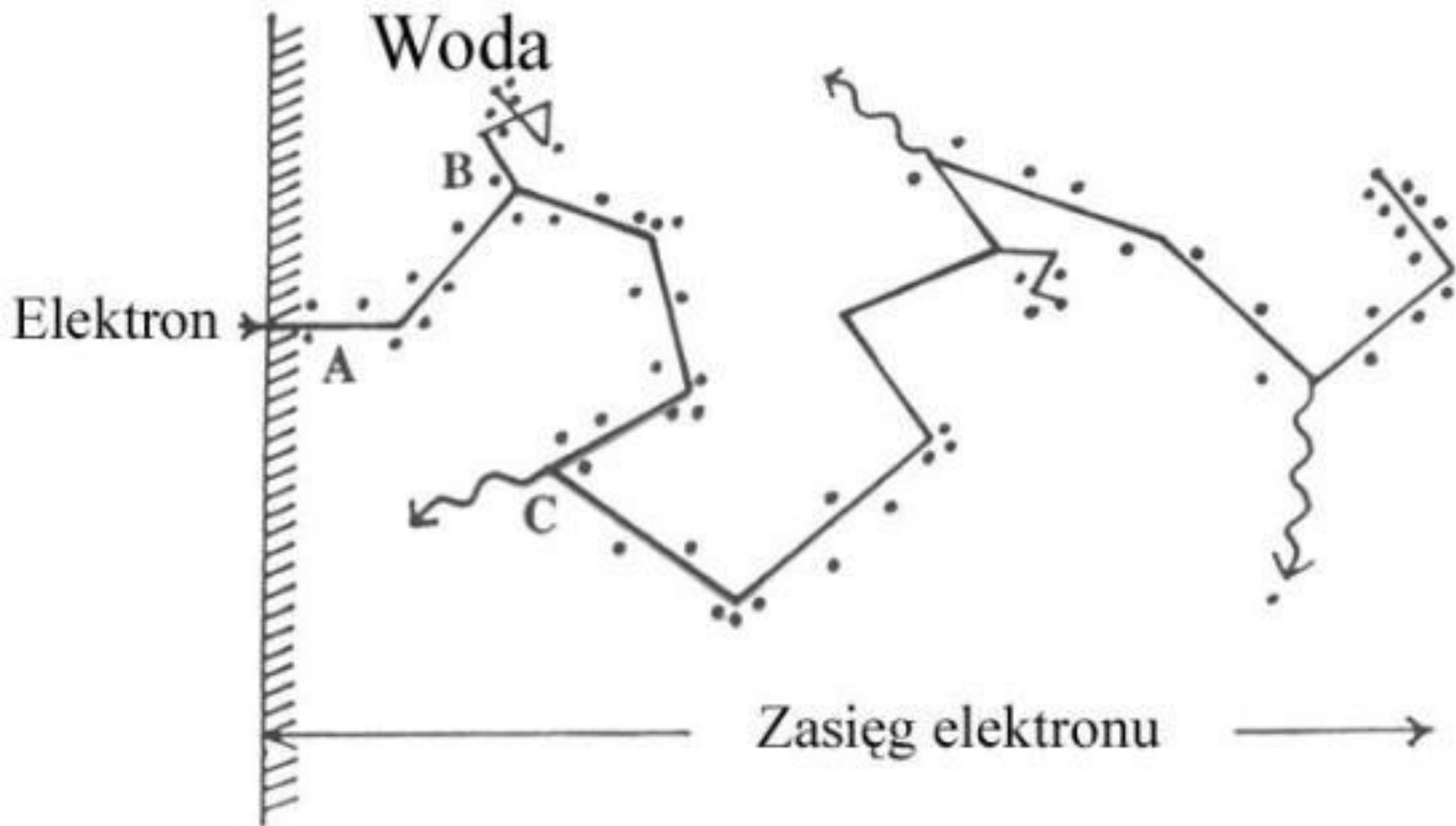
- Padający foton rozprasza się na quasi-swobodnym elektronie (na ostatnich powłokach)
- Rozproszony foton ma energię niższą
- Emitowany jest też elektron



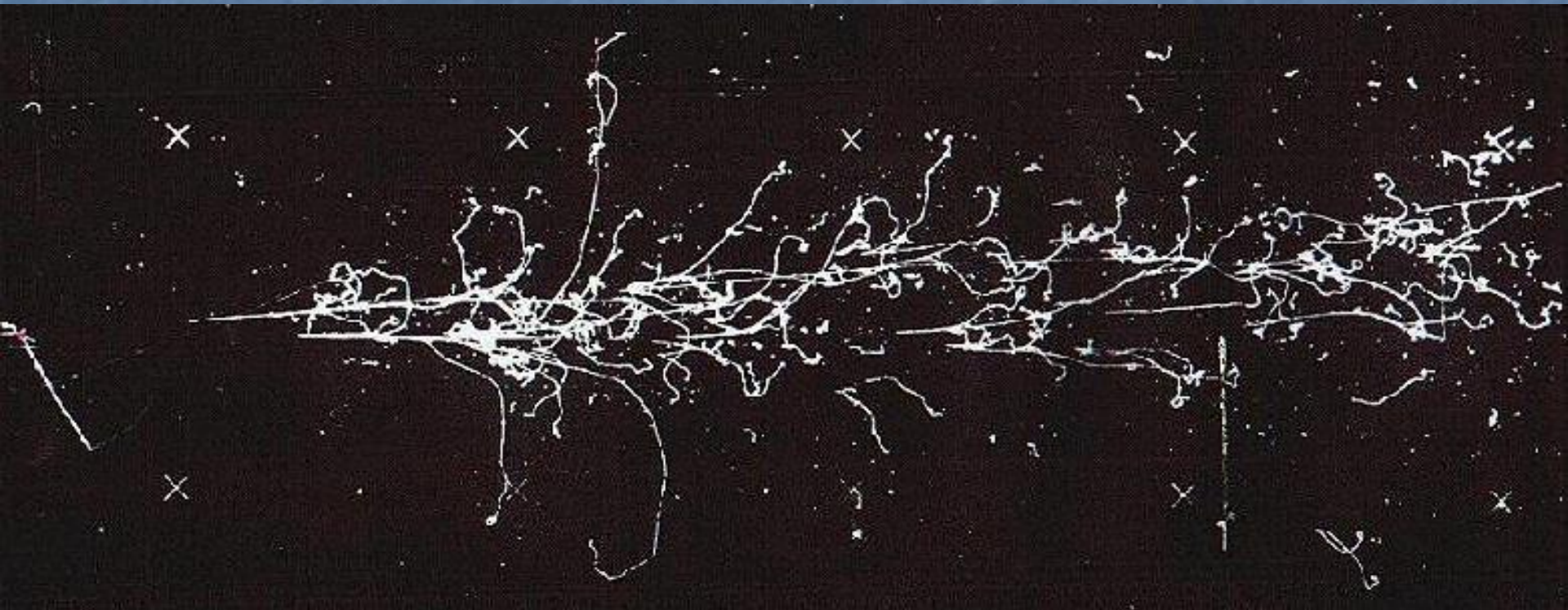
Jonizacja - przypomnienie

- Zjawisko fotoelektryczne oraz efekt Comptona są przykładem jonizacji
- Jonizacja – jest to zjawisko oddzielania elektronów od jąder atomowych w wyniku oddziaływania z promieniowaniem (nazywanym przez to promieniowaniem jonizującym)
- Promieniowanie rentgenowskie (X) jest również promieniowaniem jonizującym

Przykład oddziaływania promieniowania jonizującego z materią



Kaskada fotonowo-elektronowa - przykład wielu aktów jonizacji utrwalony na kliszy





Podstawa detekcji

- **Akt jonizacji** jest podstawą detekcji promieniowania, gdyż skutki jonizacji mogą zostać odpowiednio wykryte
- Na przykład licznik Geigera wykrywa akty jonizacji poprzez rejestrację powstającego w ich efekcie impulsu elektrycznego
- Inny przykład: klisza fotograficzna rejestruje powstające ładunki (reakcja chemiczna)

Detektory promieniowania

Rodzaje detektorów

- Detektory można podzielić w zależności od użytej substancji na:
- **Gazowe**, np. komora jonizacyjna, licznik Geigera-Muellera, licznik proporcjonalny, komora Wilsona, komora pęcherzykowa
- **Stałe**, np. detektor scyntylacyjny, płyta fotograficzna (emulsja jądrowa), TLD, OSL
- **Inne**, np. detektor półprzewodnikowy

Inny podział

- Z uwagi m.in. na przepisy ochrony radiologicznej stosuje się inny podział dozymetrów:
 - **Dozymetry czasu rzeczywistego** – odczyt od razu, najczęściej pomiar mocy dawki
 - **Dozymetry pasywne** – inaczej dozymetry całkujące – odczyt dozymetru po pewnym czasie, zakumulowana dawka

Dozymetry czasu rzeczywistego

- Dozymetr czasu rzeczywistego zazwyczaj składa się z **tuby Geigera-Mueller** jako instrumentu rejestrującego promieniowanie
- Następnie sygnał wyjściowy jest przetwarzany, wzmacniany i odniesiony do mocy dawki, jakiej odpowiada dane natężenie promieniowania
- Prezentacja: dźwiękowa (trzask, pisk), analogowa (wskazówka), cyfrowa (wyświetlacz LCD)
- **Podaje zazwyczaj moc dawki (np. $\mu\text{Sv/h}$)**

Dozymetry pasywne

- Z kolei dozymetr bez możliwości odczytu w czasie rzeczywistym podaje dawkę zakumulowaną w pewnym przedziale czasu
- W powszechnym użyciu są detektory fotometryczne, termoluminescencyjne (TLD) oraz fotoluminescencyjne (OSL)
- Dozymetry te podają dawkę, lub miesięczną/roczną/kwartalną moc dawki

Inny podział dozymetrów (dawkomierzy)

- Radiometry (czułe na intensywność fal EM)
- Sygnalizatory (jedynie sygnalizują czy coś jest)
- Dozymetry osobiste (mogą sumować dawki)
- Mierniki skażeń (duże powierzchnie pomiaru)
- Elektrometry (pomiar liczby jonizacji)
- Rentgenometry (czułe na promieniowanie X)
- Rentgenoradiometry

Przykłady dozymetrów czasu rzeczywistego

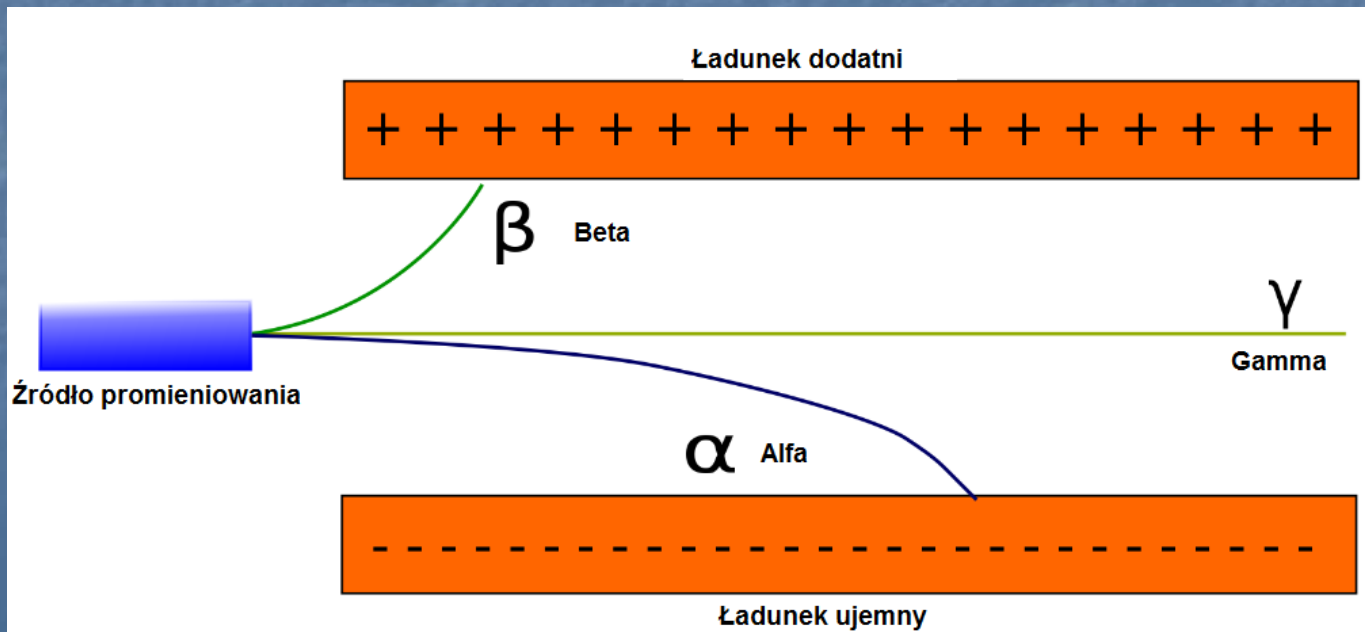
Komora Wilsona

- Zwana też komorą mgłową lub kondensacyjną
- Umożliwia zaobserwowanie toru rejestrowanej cząstki poprzez uwidocznienie zjonizowanego gazu
- Gazem (ośrodkiem) jest przesycona para wodna z domieszką alkoholu, który ulega skropleniu wokół nowopowstałych jonów



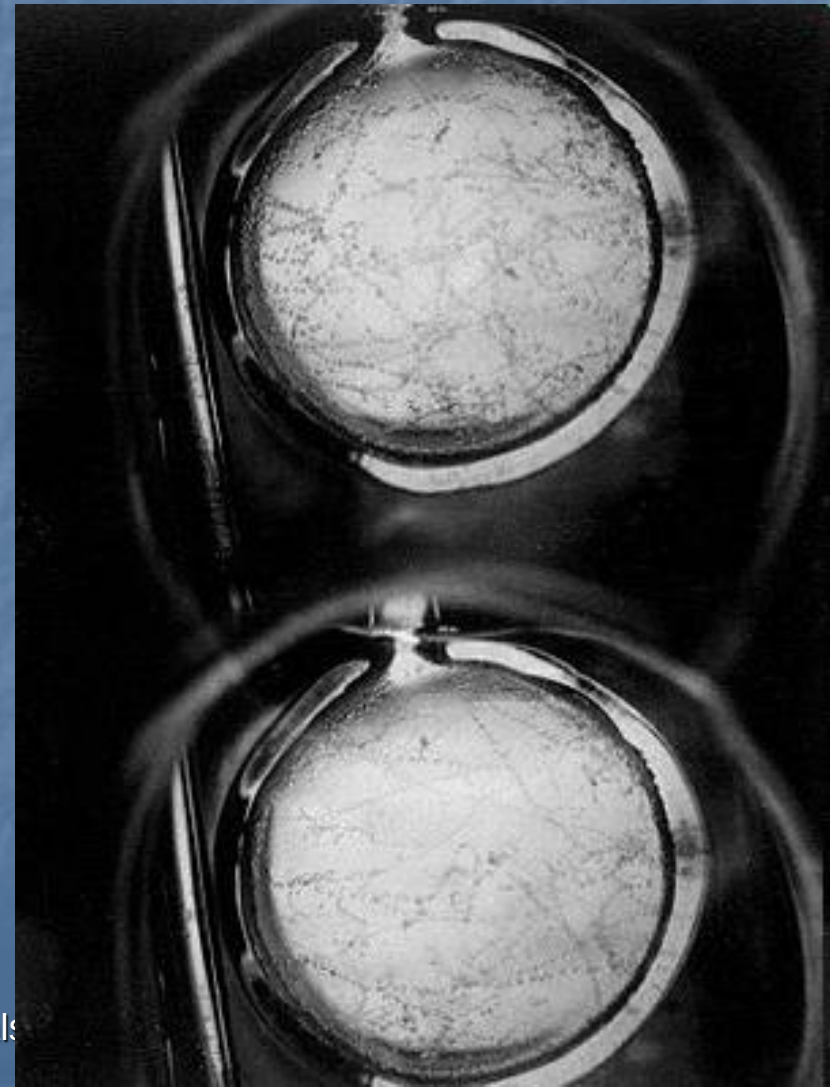
Komora Wilsona

- Komora Wilsona jest prosta w budowie i umożliwia precyzyjne określenie energii i pędu cząstki
- Przyłożone pole elektryczne lub magnetyczne pomaga zidentyfikować typ cząstki

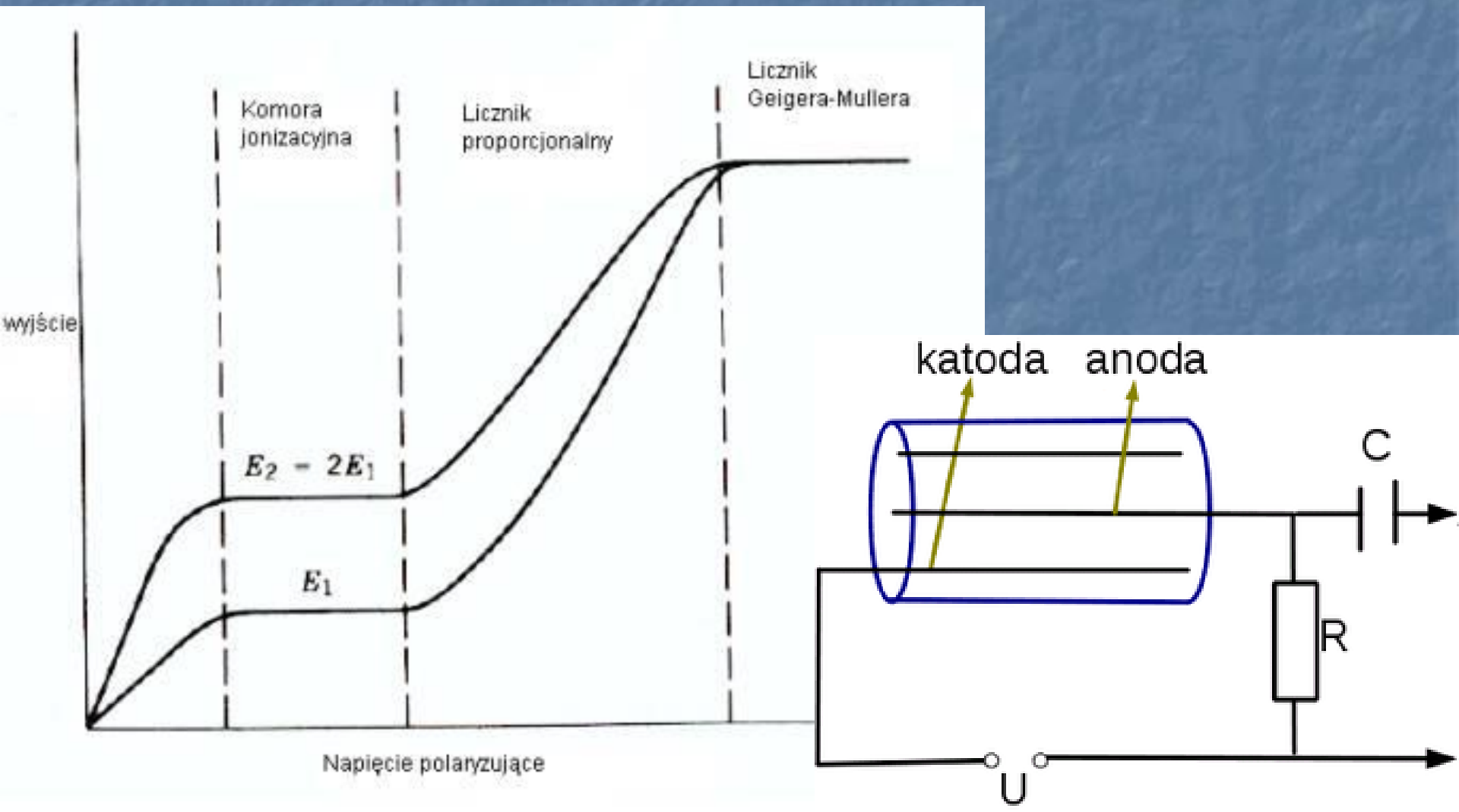


Komora pęcherzykowa

- Idea bardzo zbliżona do komory Wilsona, lecz przesycenie gazu otrzymuje się poprzez użycie tłoka, co zwiększa niezawodność i umożliwia lepszą sterowalność



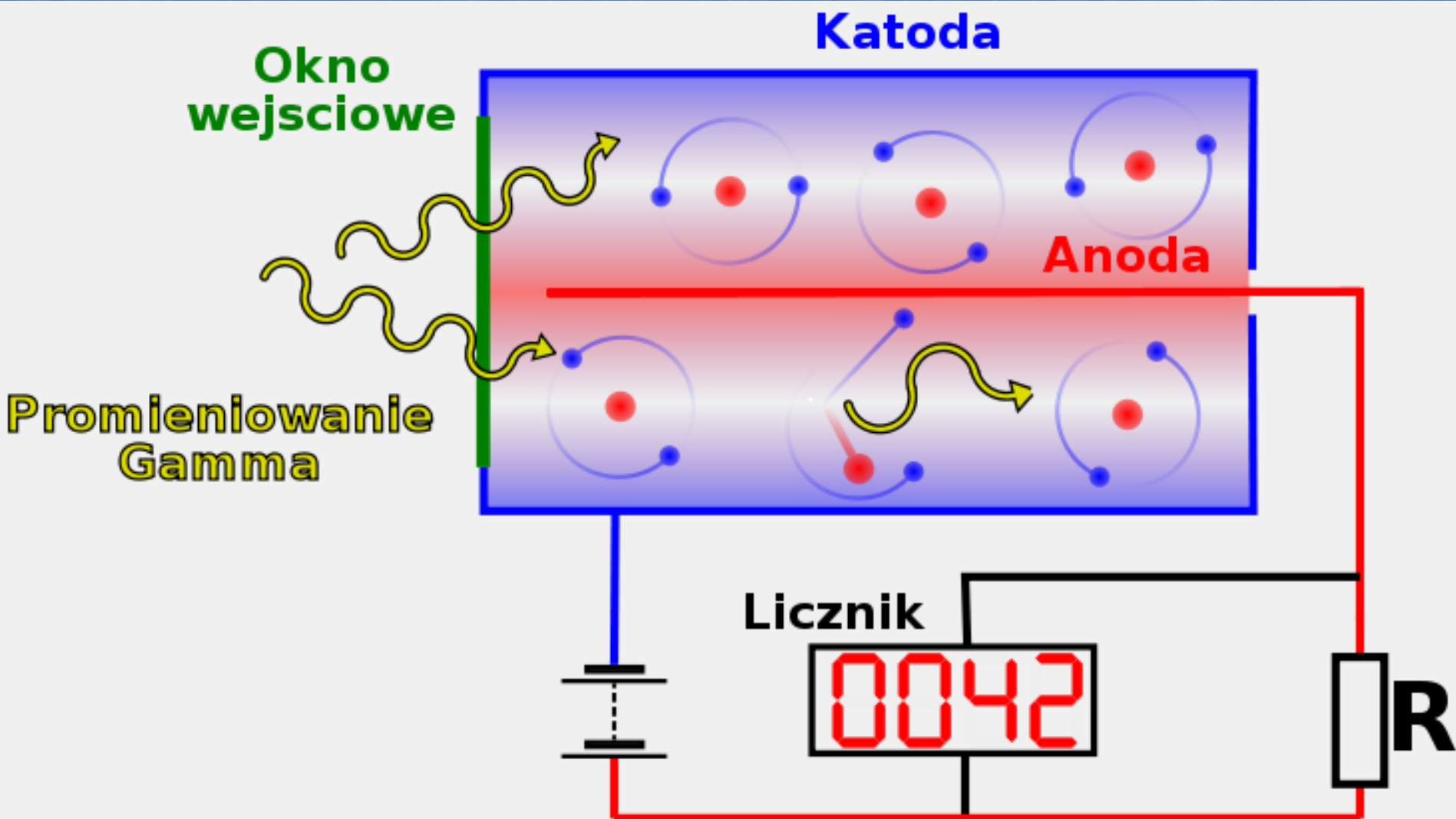
Komora jonizacyjna



Licznik Geigera-Mueller

- Najczęściej stosowany w radiologii i dozymetrii czasu rzeczywistego
- Idea zbliżona do komory jonizacyjnej, jednak obie elektrody (anoda i katoda) są **podłączone do dużego napięcia**, co umożliwia precyzyjniejszy wychwyt pary elektron-jon powstałej w wyniku jonizacji gazu przez promieniowanie
- Umożliwia rejestrację praktycznie dowolnego typu promieniowania

Licznik Geigera-Muellera



Licznik Geigera-Mueller



- Katoda (-) i anoda (+) muszą być spolaryzowane napięciem rzędu kilkuset woltów
- Katodą jest cylindryczna osłona zewnętrzna, a anodą cienki drut umieszczony koncentrycznie w osłonie
- Dzięki temu powstałe w wyniku jonizacji elektrony i jony szybko przyspieszają powodując **lawinowo** dalsze jonizacje i powstanie silnego sygnału elektrycznego (charakterystyczne „trzaski” liczników w czasie pracy)
- Wada: czas martwy od chwili powstania do wygaśnięcia „lawiny”
- Punkt pracy detektora



Popularne dozymetry G-M



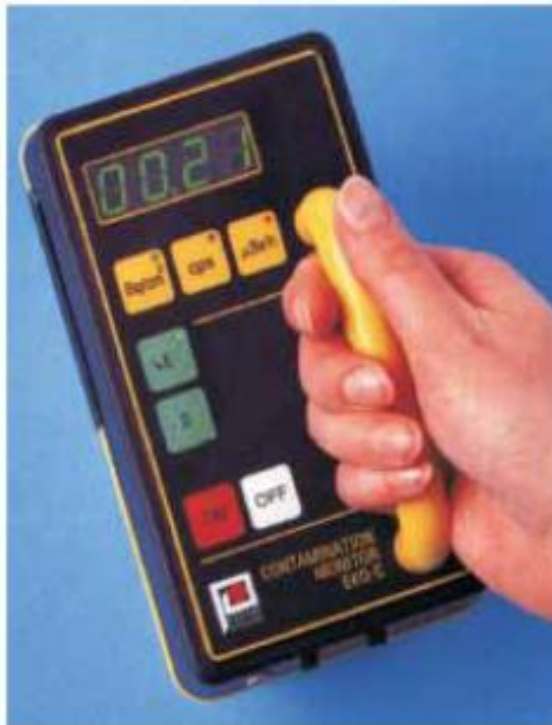
Rentgenoradiometer



Miernik mocy dawki, monitor skażeń oraz dawkomierz



*Miernik mocy dawki
Typ EKO-P*



*Monitor skażeń radioaktywnych
Typ EKO-C*



*Dawkomierz sygnalizator
Typ EKO-ID*

Przykład: EKO-C

- Monitor Skazeń Radioaktywnych typ EKO-C, przeznaczony jest do wykrywania i pomiaru promieniowania jonizującego pochodzącego od skażeń radioaktywnych izotopami alfa i beta oraz od źródeł promieniowania X i gamma. Monitor wskazuje dane pomiarowe w trzech odrębnych jednostkach:
 - Bq/cm², skażenie powierzchni radioaktywnymi izotopami alfa
 - cps, skażenie radioaktywnymi izotopami beta
 - μSv/h, przestrzenny równoważnik mocy dawki promieniowania X i gamma.

EKO-C - zastosowanie

- wykrywanie i pomiar skażeń powierzchniowych nuklidami alfa, beta lub gamma promieniotwórczymi w laboratoriach izotopowych.
- wykrywanie źródeł radioaktywnych na przejściach granicznych.
- kontrolowanie terenu po awariach jądrowych, pożarach i katastrofach transportowych.
- kontrola osłon przed promieniowaniem rentgenowskim X i gamma w medycynie i przy defektoskopii izotopowej.
- kontrola powierzchniowych skażeń radioaktywnych.

EKO-C dane techniczne

- detektor: okienkowy licznik Geigera -Müllera.
- zakresy pomiarowe: moc dawki: 0.01 do 1000 $\mu\text{Sv/h}$ skażenie powierzchni: 0.1 do 10000 Bq/cm² częstość impulsów: 0.1 do 10000 cps.
- zakres energetyczny pomiaru: dla X i gamma: **od 50 keV do 1.5 MeV, $\pm 30\%$** (w odniesieniu do Cs-137) promieniowanie beta: **powyżej 100keV** promieniowanie alfa: **powyżej 4 MeV**.
- podstawowy błąd pomiaru promieniowania X i gamma: **nie większy niż $\pm 15\%$** (w odniesieniu do Cs-137) **promieniowania alfa i beta: $< \pm 50\%$** (dla izotopów wymienionych w Karcie Badania)
- zasilanie monitora: bateria akumulatorków NiMH 4x1.2V, 2Ah.
- czas pracy ciągłej: nie mniej niż 40 godz.
- warunki klimatyczne: -temperatura -10°C do 40°C -wilgotność względna do 80% przy 30°C
- wymiary: 100mm x 170mm x 85mm (z uchwytem).
- masa: ok.500g.

Dobranie dozymetru do mierzonej wartości

- Kupujemy dozymetr do istniejącego źródła/eksperymentu/pracy, a nie na odwrót!
- Najlepsze są urządzenia przeznaczone do pomiaru konkretnej wartości, a nie wielu na raz
- Każdy typ promieniowania posiada swoje preferencyjne urządzenia; podobnie **zakresy mierzonych energii**
- Pamiętajmy także co chcemy mierzyć: aktywność, dawkę czy moc dawki

Pomiary

- Urządzenia posiadają różne czułości i dokładności pomiaru
- Zazwyczaj sprzęt mierzący duże dawki nie nadaje się do niskich i na odwrót
- Licznik podający wynik bardzo szybko zazwyczaj podaje go z dużym błędem; w celu precyzyjnych danych niezbędna jest duża **liczba zliczeń**
- Większość dozymetrów posiada możliwość zmiany zakresów pomiarowych
- Urządzenia cyfrowe posiadają dużą łatwość odczytu, ale też nie odzwierciedlają błędu (np. drgania wskazówki analogowej obrazują skalę niepewności)

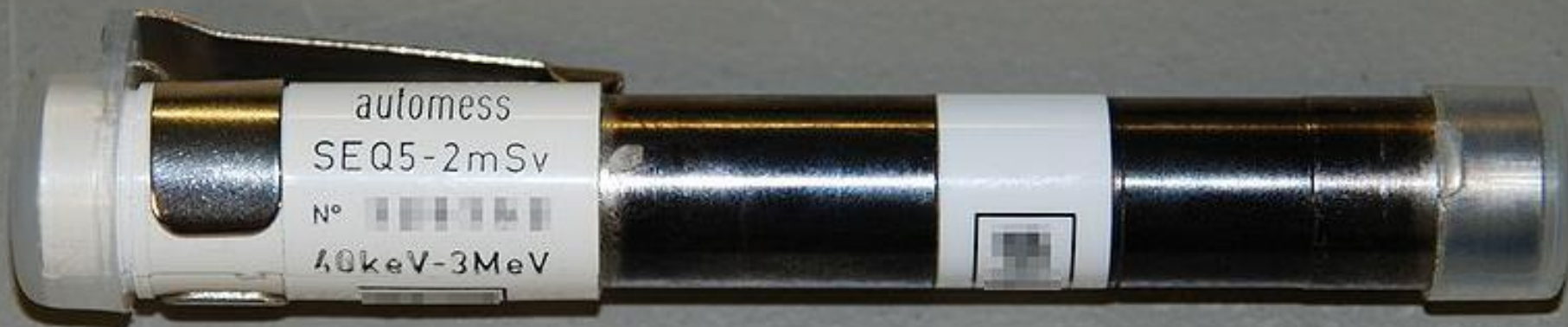
Kalibracja

- Według przepisów każdy miernik promieniowania (czasu rzeczywistego) powinien być kalibrowany przynajmniej **raz na rok**
- W przypadku posiadania wewnętrznego kalibracyjnego źródła promieniowania – **raz na dwa lata**

Przykłady dozymetrów pasywnych

Dozymetr (dawkomierz) pasywny

- Urządzenie (miernik promieniowania) służące do pomiaru dawki lub mocy dawki promieniowania z pewnego okresu czasu
- Przykład: dozymetr osobisty pracowników elektrowni jądrowej (starego typu):



Dozymetr fotometryczny (klisza fotograficzna)



Detektory termoluminescencyjne (TLD)

- Substancje pochłaniające promieniowanie
- Po podgrzaniu emitują światło, którego natężenie jest wprost proporcjonalne do zarejestrowanej dawki
- Bardzo duża dokładność i czułość
- Możliwość wielokrotnego użytku



Detektory fotoluminescencyjne (OSL)

- Najnowszy typ detektorów, najnowsza technologia
- Idea zbliżona do TLD, lecz czynnikiem wywołującym jest nie temperatura, lecz światło widzialne
- Ich zaletą jest cena i większy przedział dawek
- W Polsce detektory OSL oferuje jedynie Ex-Polon

OSL – optycznie stymulowana luminescencja

- W technologii OSL (ang. *Optically Stimulated Luminescence*, stymulowana optycznie luminescencja) pomiaru dawki dokonuje się dzięki stymulacji optycznej (diodami LED) sproszkowanego tlenku glinu domieszkowanego węglem ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$). W trakcie odczytu emituje on sygnał świetlny zależny od pochłoniętej dawki
- Stymulacja optyczna nie powoduje degradacji materiału, a większość informacji jest zachowana dla ewentualnych dalszych odczytów
- **Technologia tańsza i bardziej precyzyjna niż TLD**
- Więcej na: www.ex-polon.com

InLight – dozymetr osobisty OSL

- Możliwość odczytów wielokrotnych tej samej zmierzonej dawki
- Możliwość wyzerowania dozymetru i ponownego użycia
- Mierzy promieniowanie X, gamma i beta
- Posiada system odróżniania, czy nastąpiło narażenie dynamiczne czy stacjonarne



nanoDot – mikrodosymetr OSL

- Kontrola środowiskowa i techniczna
- Nadają się do umieszczania w fantomach (planowanie leczenia), a także w tkankach (zabiegi)
- Możliwość jego sterylizacji i ponownego użycia



Odczyty dozymetrów OSL

- Najprościej: w akredytowanym laboratorium (jak wszystkie inne dozymetry)
- Można też mieć urządzenie do odczytu we własnym laboratorium
 - microStar – małe urządzenie odczytujące OSL
 - LDR200 – duże urządzenie



Co z naturalnym tłem promieniowania?

- Każdy dozymetr, w tym dozymetr osobisty, oprócz narażenia zawodowego mierzy także narażenie pochodzące od naturalnego tła promieniowania
- Ostateczny wynik pomiaru jest więc wartością odczytaną z dozymetru pomniejszoną o wartość dawki naturalnego tła
- Tło naturalne (dawkę) można oszacować:
 - Na podstawie danych istniejących (np. Radiologiczny Atlas Polski)
 - Na podstawie odczytu dozymetru kontrolnego (rekomendowane)
 - Gdy dane te nie są dostępne, przyjmuje się dla Polski roczną dawkę od tła naturalnego jako **2,4 mSv/rok**