

PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

ATOMY , JADRA ATOMOWE , IZOTOPY

SYNTEZA JĄDROWA – FUZJA

IZOTOPY STABILNE I PROMIENIOTWÓRCZE

ROZPAD PROMIENIOTWÓRCZY

JONIZACJA MATERII

*WIELKOŚCI CHARAKTERYZUJĄCE
PROMIENIOWANIE*

DOZYMETRIA

FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

ATOMY, JĄDRA ATOMOWE, IZOTOPY

Atom składa się z jądra otoczonego chmurą elektronów. Miejsca, w których istnieje największe prawdopodobieństwo znalezienia elektronu nazywamy **orbitami elektronowymi**. Stabilność atomu zapewnia oddziaływanie elektrostatyczne naładowanych ujemnie elektronów i dodatnio naładowanych jąder.

Jądro zawiera **nukleony** dwóch rodzajów: **protony**, obdarzone dodatnim ładunkiem elektrycznym o wartości ładunku elementarnego oraz **neutrony**, które nie mają ładunku elektrycznego. Całkowita liczba nukleonów w jądrze zwana jest **liczbą masową**, oznaczaną symbolem **A**.

O trwałości jądra decyduje odpowiednia proporcja liczby neutronów do liczby protonów. O ile dla najlżejszych jąder wynosi ona 1:1, dla ciężkich jąder rośnie do ok. 1,5:1. **Promieniotwórczość** jest procesem spontanicznej emisji energii z jąder nietrwałych.

Atomy określonego pierwiastka chemicznego (o ustalonej **liczbie atomowej Z** – liczbie protonów) mogą posiadać jądra o różnej liczbie neutronów. Mówimy wtedy o **izotopach**. Izotopy różnią się liczbą neutronów, a więc także liczbą masową i oznaczamy je standardowo jako A_ZX , gdzie X – symbol chemiczny pierwiastka.

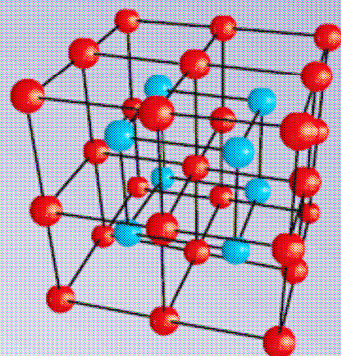
Masa [10^{-30} kg]		
elektron	proton	neutron
0,9109	1672,62	1674,50



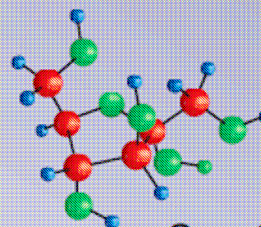
Cegielki materii



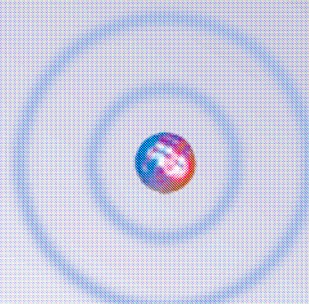
Materia skondensowana



Kryształ chlorku cezu
 10^{-8} m

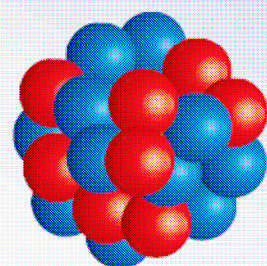


Cząsteczka fruktozy
 10^{-9} m



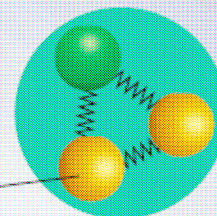
Atom 10^{-10} m

Orbita elektronowa



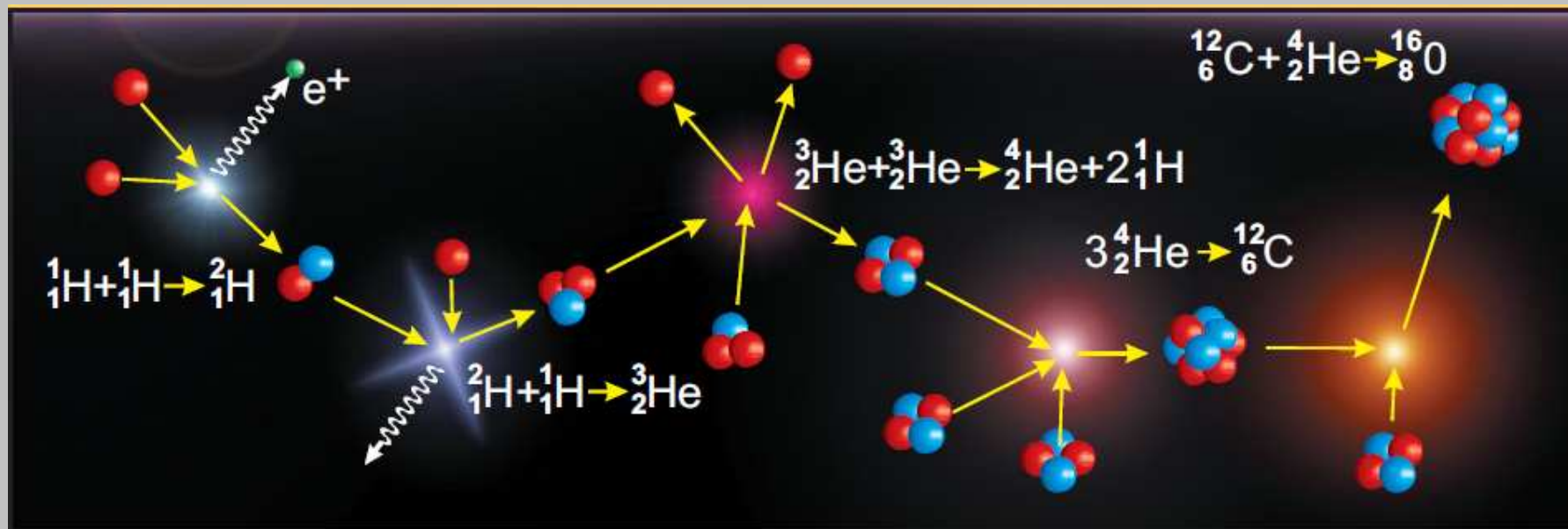
Jądro atomowe
 10^{-14} m

Nukleon
 10^{-15} m



Kwark
 $< 10^{-18}$ m

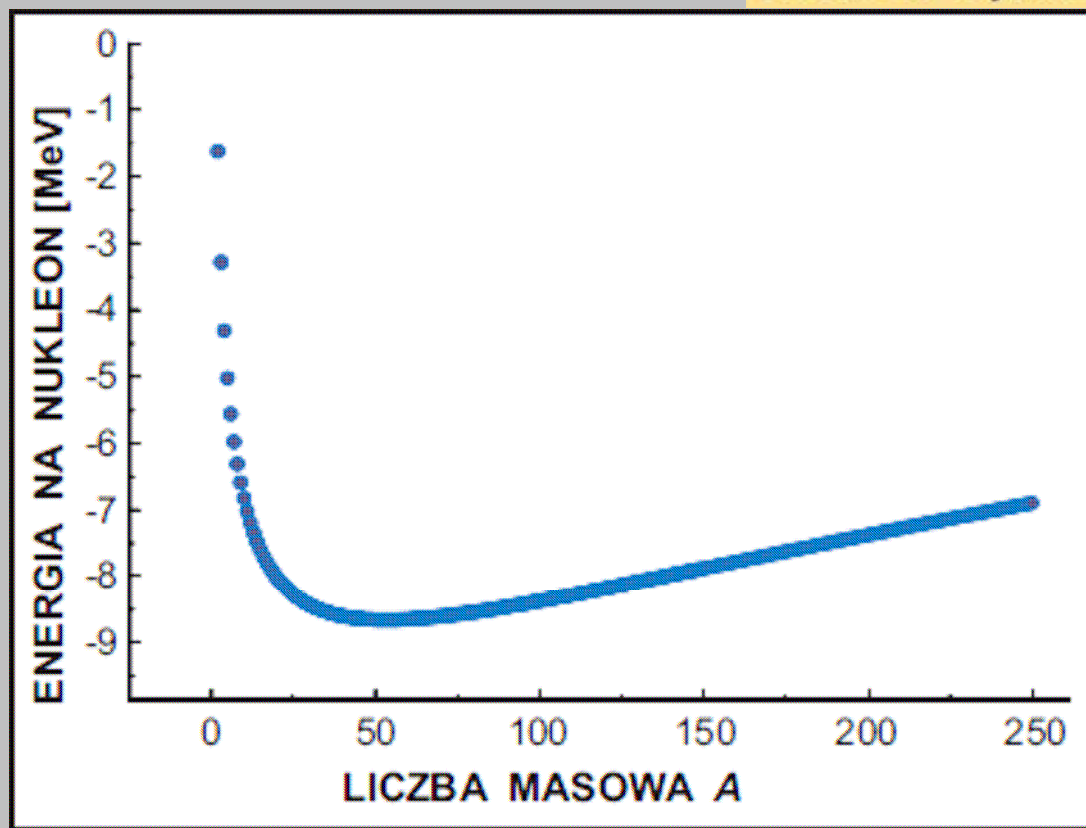
SYNTEZA JĄDROWA (FUZJA)

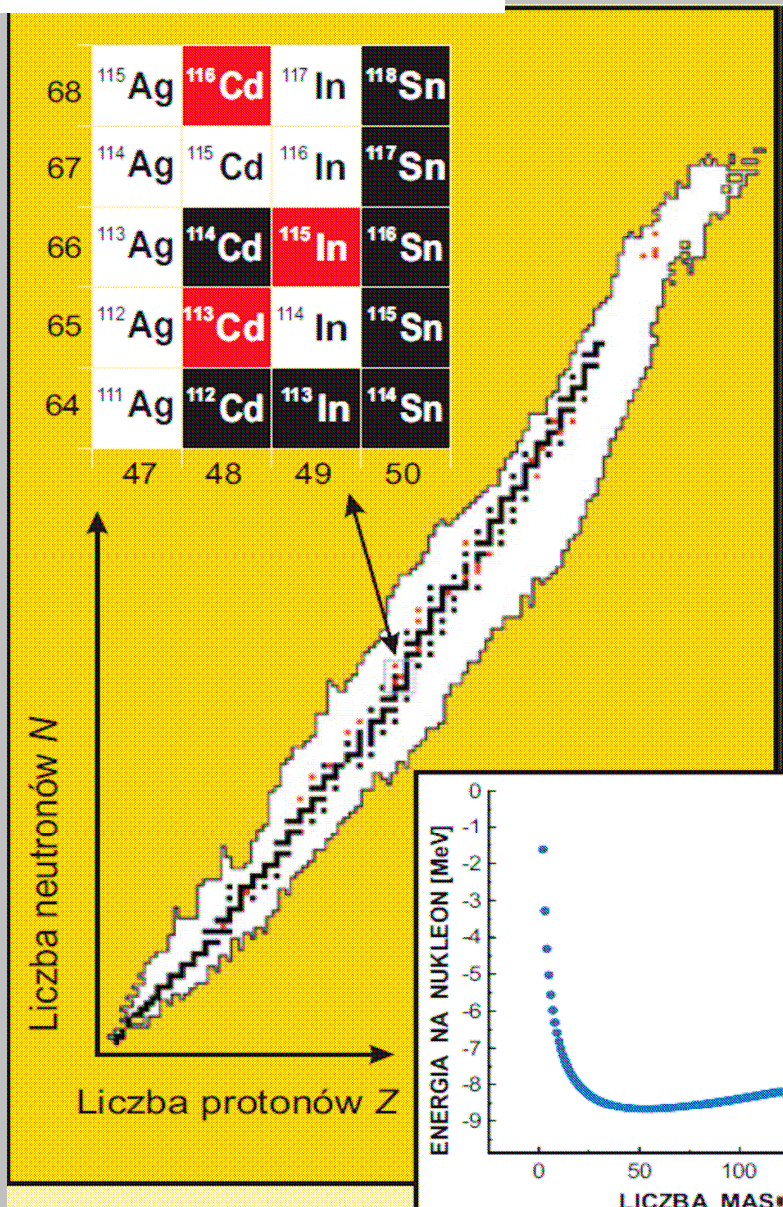


Reakcje syntezy jądrowej (fuzji) zachodzą w temperaturach milionów stopni i odpowiadają za tworzenie lekkich pierwiastków we Wszechświecie. Największe energie wiązania nukleonów w jądrach spotykamy w obszarze $A=56-57$. Dlatego też izotop żelaza ^{56}Fe , który powstawał w kolejnych reakcjach fuzji w bardzo gorących gwiazdach, cechuje wielką stabilność i jest go dużo wewnątrz Ziemi.

IZOTOPY STABILNE I PROMIENIOTWÓRCZE

Wszystkie układy fizyczne dążą do osiągnięcia minimum energii. Z wykresu energii potencjalnej jądra przypadającej na nukleon wynika, że zarówno ciężkie jądra jak i bardzo lekkie będą zmniejszały energię układu albo w drodze rozpadów (jądra ciężkie) albo przez łączenie się (syntezę – jądra lekkie). Pokazana tu zależność energii od liczby masowej jest przybliżona. W rzeczywistości jest ona mniej gładka.





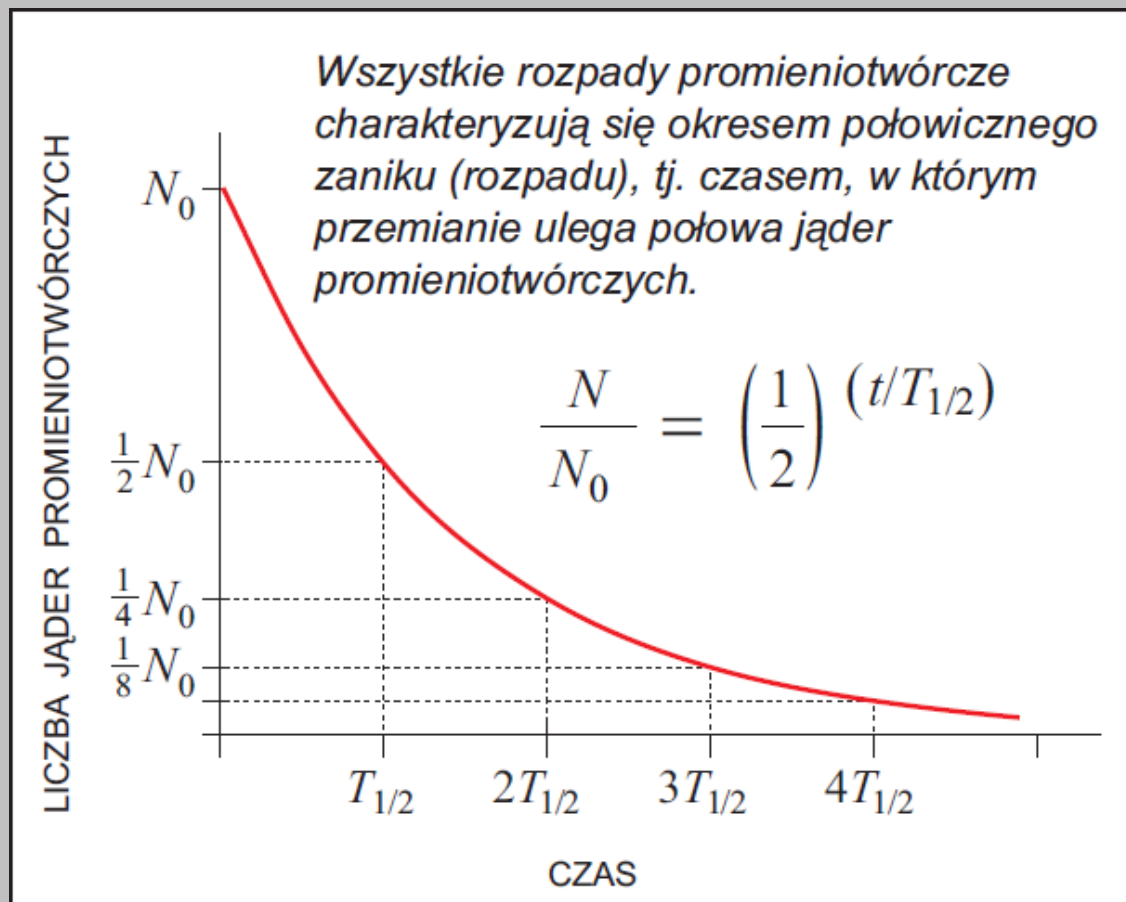
Spośród znanych nam około 2500 izotopów, zaledwie 10% to izotopy stabilne (czarne punkty na rysunku). Pozostałe mają niekorzystną proporcję neutronów do protonów, co skutkuje nietrwałością jąder. Punkty zaznaczone na czerwono wskazują izotopy promieniotwórcze, których okres połowicznego zaniku jest porównywalny z wiekiem Ziemi. Wnoszą one stałą porcję promieniowania do naszego środowiska.

ROZPAD PROMIENIOTWÓRCZY

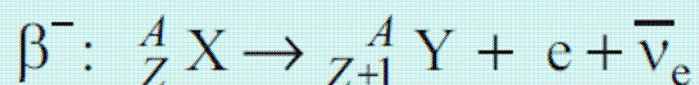
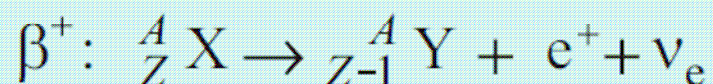
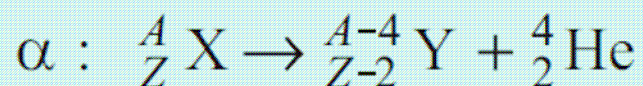
Rozpad promieniotwórczy uwalnia energię utajoną w jądrze i ujawnia probabilistyczną naturę procesów zachodzących w materii jądrowej.

Pełen opis zjawiska obejmuje takie dane, jak izotop macierzysty, rodzaje i energie emitowanych cząstek, czas (okres) połowicznego zaniku $T_{1/2}$ oraz izotop pochodny.

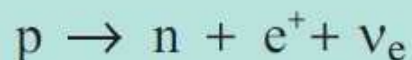
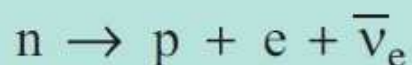
Spośród trzech podstawowych rodzajów promieniowania (α , β , γ), jedynie emisja promieniowania γ nie zmienia składu jądra.



Przy przemianach α i β obowiązują następujące **reguły przesunięć**:

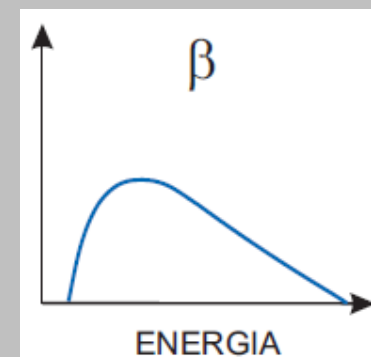
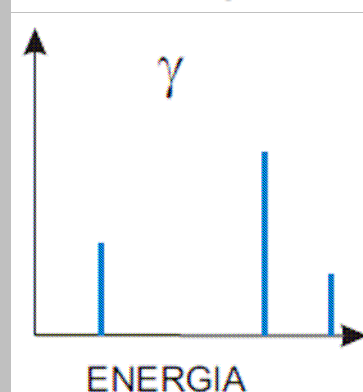
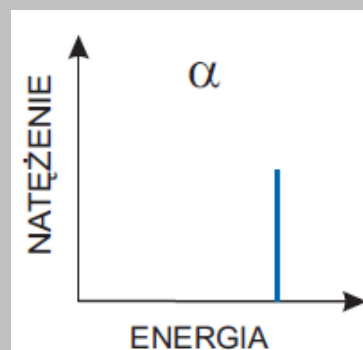


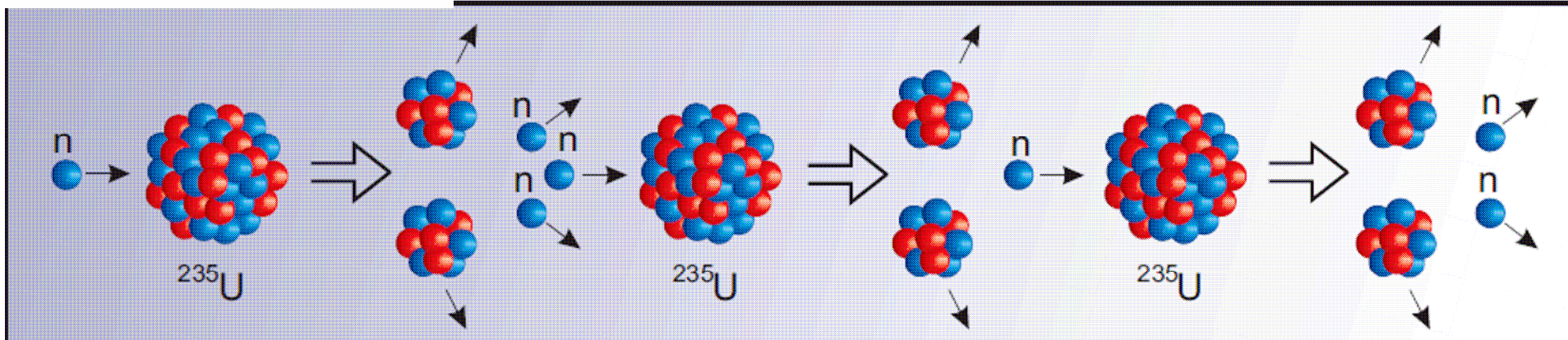
O ile za przemianę α odpowiedzialne są oddziaływania silne, to za przemianę β odpowiadają oddziaływania słabe, dzięki którym następuje przekształcanie nukleonów w jądrach:



W przemianach γ jądro, przechodząc z jednego poziomu wzbudzenia na drugi, emitować szereg kwantów o różnych energiach.

Cząstka α emitowana w danym rozpadzie ma zawsze jedną, dobrze określoną energię, natomiast w rozpadzie β – ze względu na istnienie trzeciej cząstki (neutrino ν_e) – energie cząstek zmieniają się od zera do energii maksymalnej rozpadu.





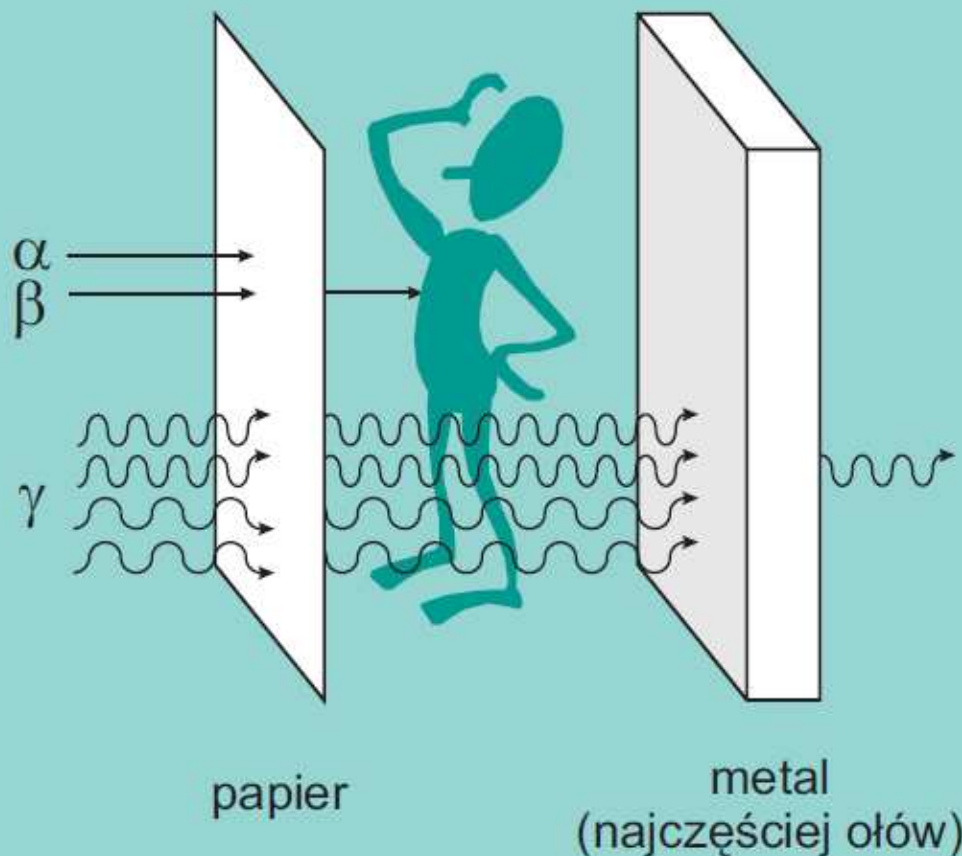
Jeśli masa materiału rozszczepialnego przekroczy tzw. **masę krytyczną** (dla ^{235}U wynosi ona od kilku do kilkunastu kilogramów), w układzie znajdzie **reakcja łańcuchowa**, w wyniku której nastąpi wybuch jądrowy.

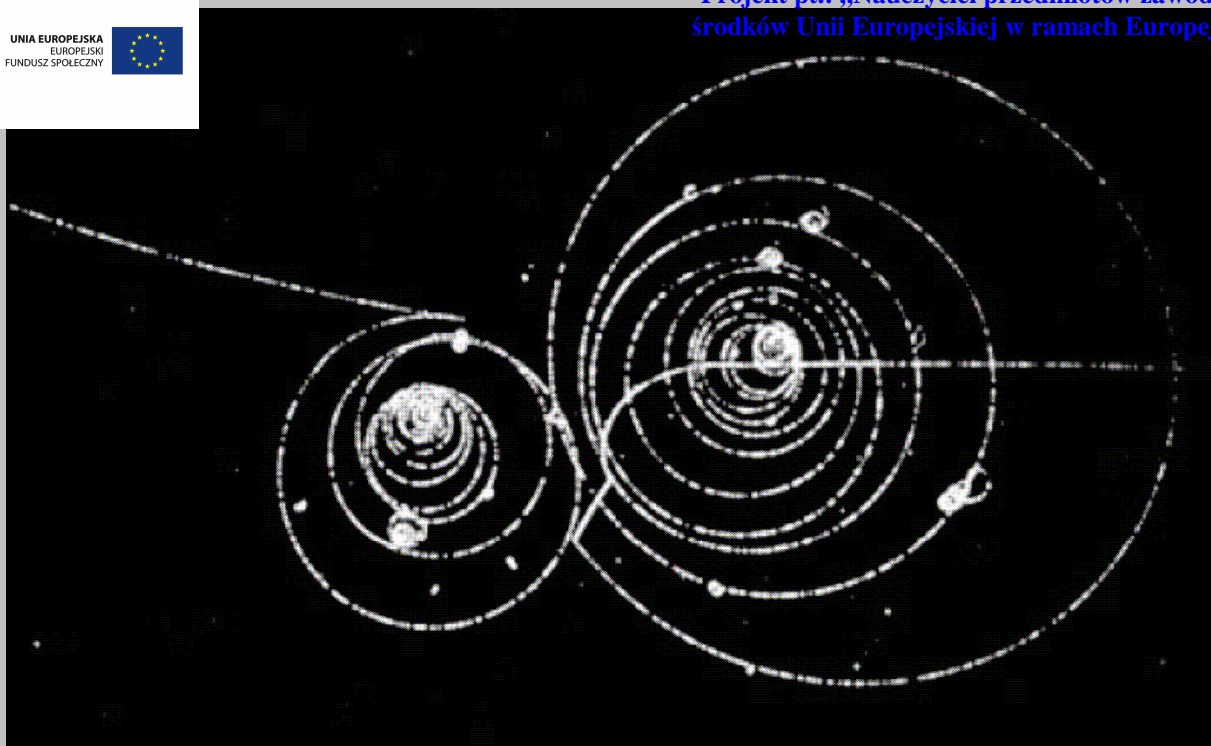
Reaktor jądrowy jest urządzeniem, w którym reakcja łańcuchowa przebiega w sposób kontrolowany. Reaktory dzielimy na badawcze i energetyczne. Pierwsze dostarczają wiązek neutronów do badań podstawowych. Ponadto są używane do produkcji izotopów. Te drugie są źródłem ciepła, które może być przetworzone na energię elektryczną.

JONIZACJA MATERII

Im silniej cząstka jonizuje materię, tym szybciej traci energię i zatrzymuje się. Średnią odległość, na której to się dzieje, nazywamy zasięgiem.

W przypadku rozpadów promieniotwórczych, cząstki α zatrzymuje nawet papier, cząstki β paromilimetrowa warstwa lekkiego metalu lub plastiku, natomiast dla osłony przed promieniowaniem γ , które jest najbardziej przenikliwe (dzięki czemu może być wykorzystywane np. w diagnostyce medycznej) stosujemy kilku-, a nawet kilkudziesięciocentymetrowe osłony z metali o dużej gęstości i dużym Z (np. z ołowiu). Grubość niezbędnej osłony jest więc miarą efektywności jonizacji materii przez daną cząstkę.

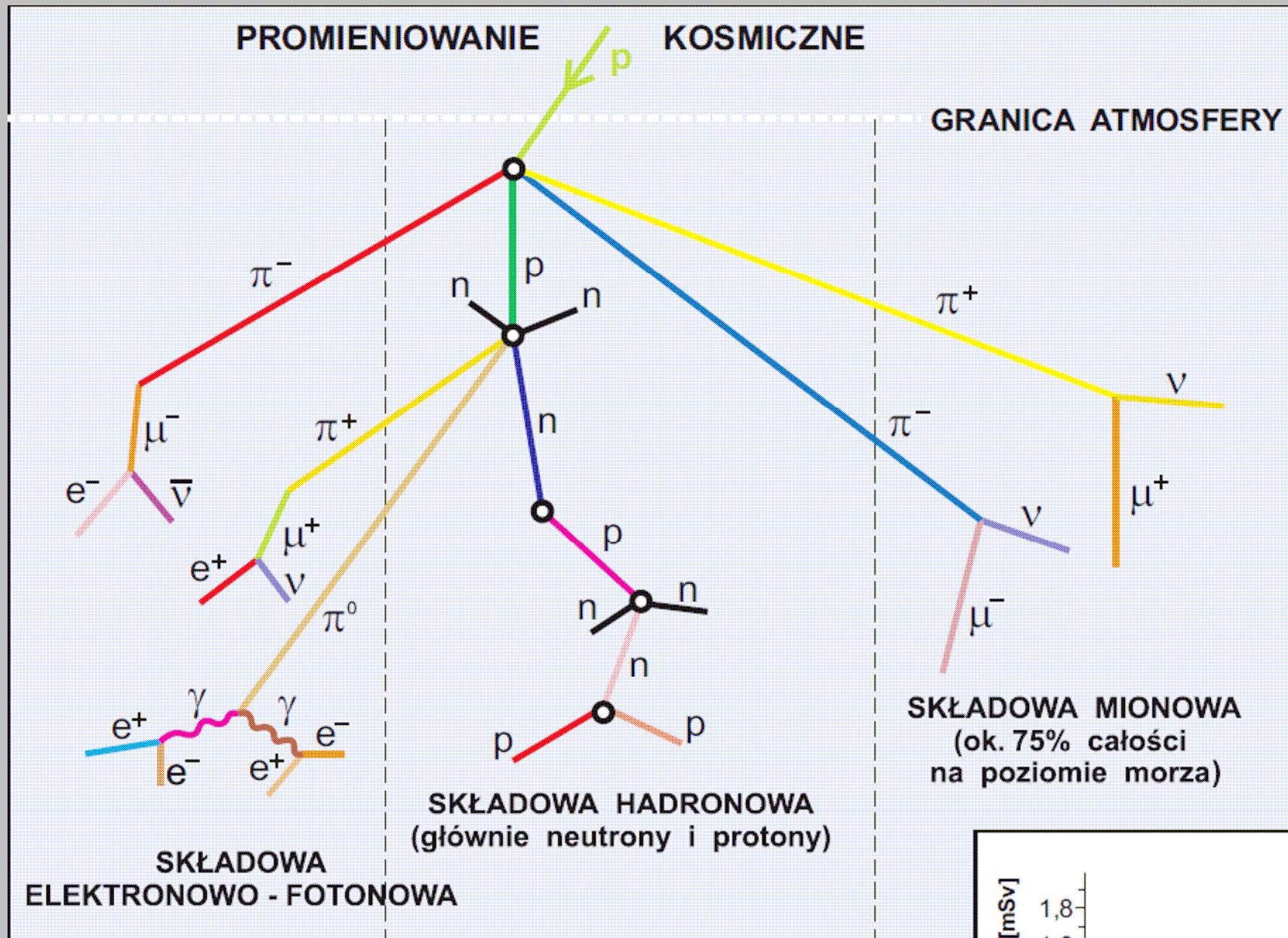




© CERN Geneva

Cząstki uwalniane w rozpadach promieniotwórczych mogą spowodować jonizację atomów ośrodka – stąd promieniowanie jądrowe jest **promieniowaniem jonizującym**. Zjawisko jonizacji umożliwia wykrywanie, identyfikację cząstek oraz pomiar ich energii i pędu. Ślady cząstek możemy zaobserwować w emulsji fotograficznej, w komorze mgłowej (Wilsona), komorze pęcherzykowej – patrz zdjęcie, a także w niektórych kryształach (mika, diament).

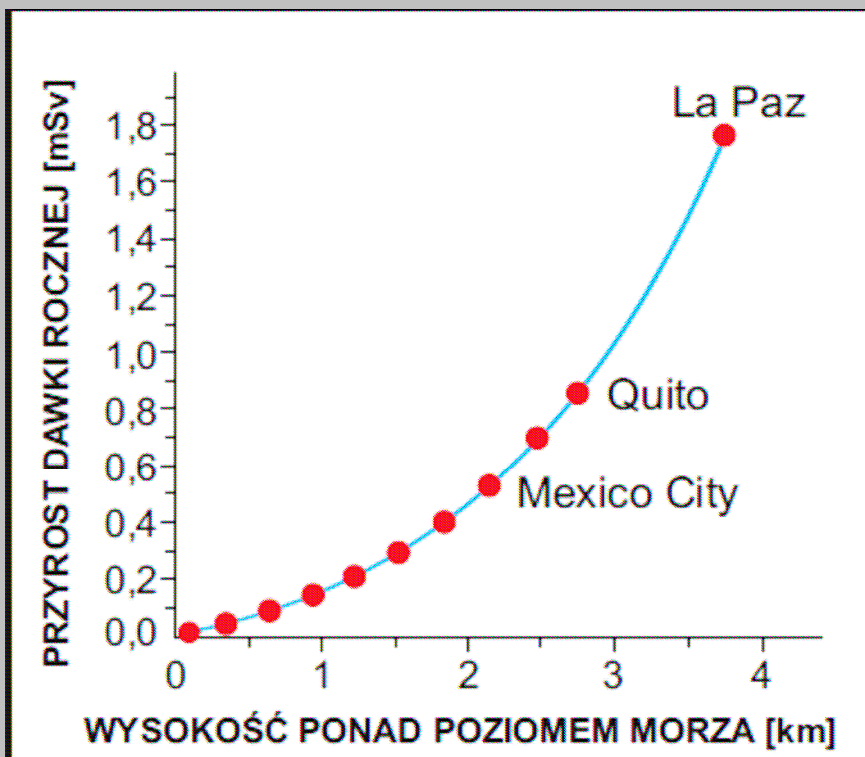
PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE WOKÓŁ NAS



Podstawowe izotopy promieniotwórcze w ciele człowieka o masie 70 kg:

Izotop	Cząstka	Aktywność [Bq]*
^3H	β	75
^{14}C	β	2690
^{40}K	β, γ	4340
^{87}Rb	β	625

* Aktywnością nazywamy liczbę rozpadów zachodzących w jednostce czasu. Jednostka aktywności – bekerel (Bq) oznacza 1 rozpad na sekundę.



Licznik Geigera–Müllera, rejestrujący na poziomie morza 10–15 zliczeń na minutę, na wysokości 10 km będzie ich rejestrował około 1500. Szybkie zmiany natężenia promieniowania wraz z wysokością powodują, że piloci i załogi samolotów otrzymują często dawkę wyższą niż technicy rentgenowscy czy pracownicy elektrowni jądrowych.

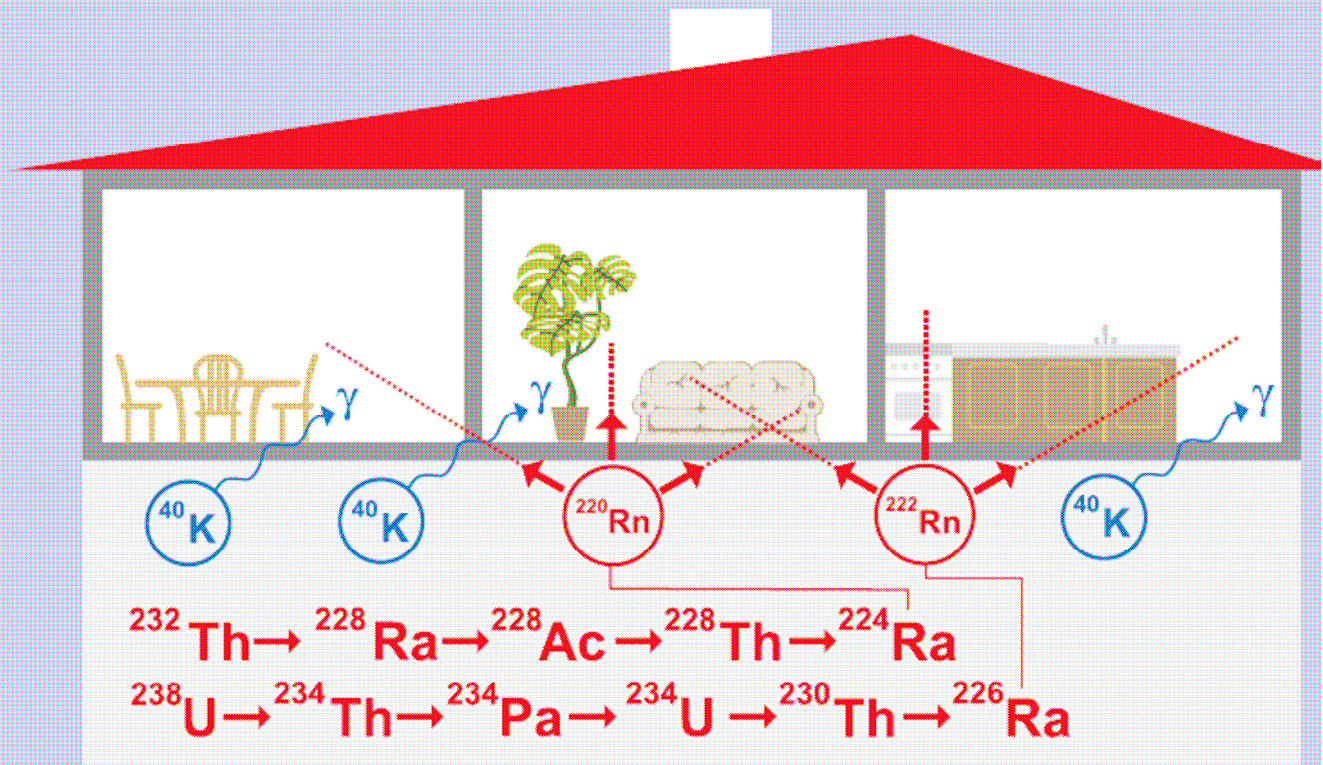


Izotopy promieniotwórcze są szeroko **stosowane w technice**, np. w analizie pierwiastkowej, czujkach dymu (patrz zdjęcie), farbach świecących, badaniu grubości, gęstości lub stężeń, badaniach przepływów w rurociągach i szczelności zbiorników itp. Technik radiacyjnych używamy w sterylizacji, utrwalaniu żywności, higienizacji kosmetyków, modyfikowaniu własności ciał stałych, usuwaniu związków siarki i azotu z gazów odlotowych ciepłowni

węglowych itd. Pomiar aktywności niektórych izotopów, np. ^{14}C , pozwala ustalić wiek znalezisk archeologicznych.

Do naszych mieszkań wnika promieniowanie, którego źródłem są głównie promieniotwórcze izotopy uranu, toru i potasu, zawarte w skorupie ziemskiej.

W wyniku rozpadu uranu i toru tworzy się promieniotwórczy gaz szlachetny radon, który z łatwością przedostaje się do wnętrza budynków.





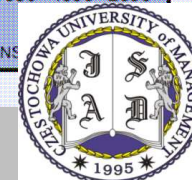
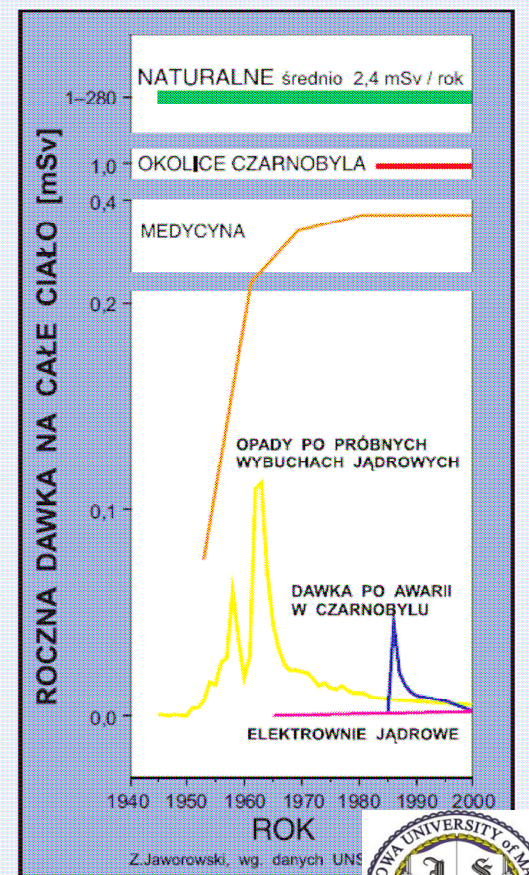
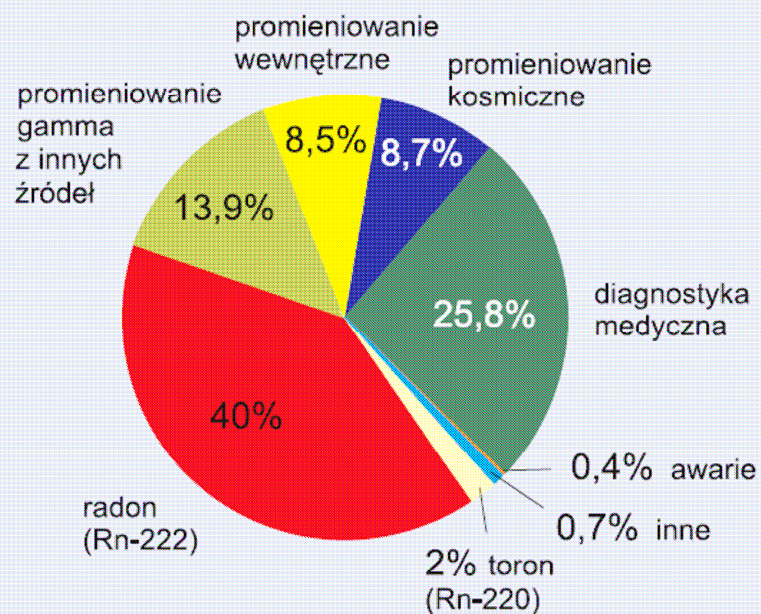
Akcelerator medyczny „Neptun”, wyprodukowany w Zakładzie Aparatury Jądrowej IPJ w Świerku

Promieniowanie jonizujące jest **wykorzystywane w radiologii medycznej** dla celów diagnostycznych i terapeutycznych. Wyróżniamy tu **radiodiagnostykę** obejmującą **rentgenodiagnostykę** i **medycynę nuklearną**, oraz **radioterapię**, której odmianami są **brachyterapia** i **teleradioterapia** stosująca promienie X lub gamma, przyspieszone elektrony lub ciężkie jony (**terapia hadronowa**). Większość średniej dawki otrzymywanej ze sztucznych źródeł pochodzi z rentgenodiagnostyki.

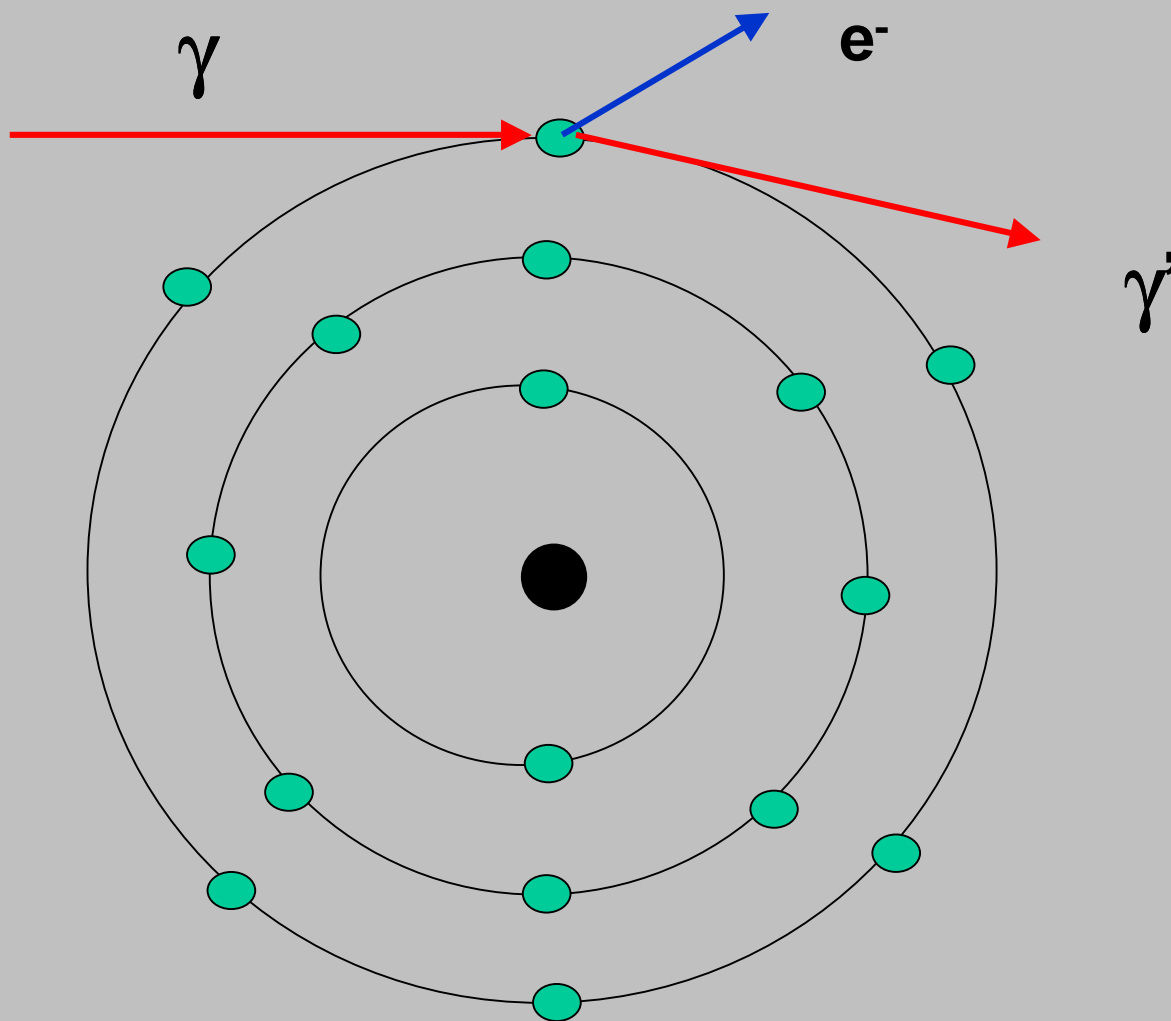
Dawką pochłoniętą nazywamy energię zdeponowaną w jednostce masy i mierzymy ją w grejach $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

Dawką równoważną nazywamy dawkę pomnożoną przez współczynnik jakości promieniowania Q . Z definicji $Q = 1$ dla promieni X i γ . Dla innych cząstek wartość Q zależy od rodzaju cząstki i jej energii. Jednostką dawki równoważnej jest siwert (Sv). Należy także pamiętać, że organy i tkanki różnią się radioczułością.

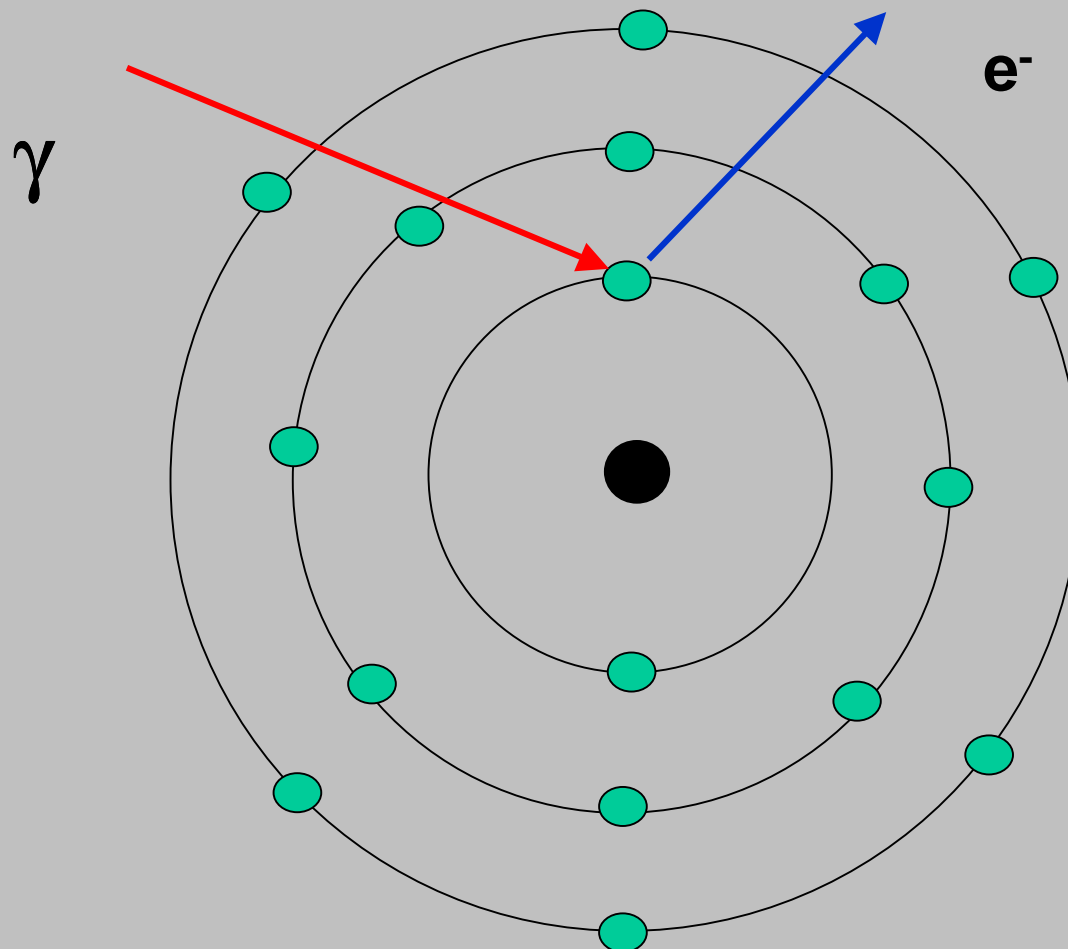
Przeciętny mieszkaniec Polski otrzymuje rocznie dawkę 3,4 mSv. Źródła i rozkład dawki dla Polski w roku 1999 pokazuje wykres kołowy. Rysunek obok pokazuje średnią dawkę dla świata.



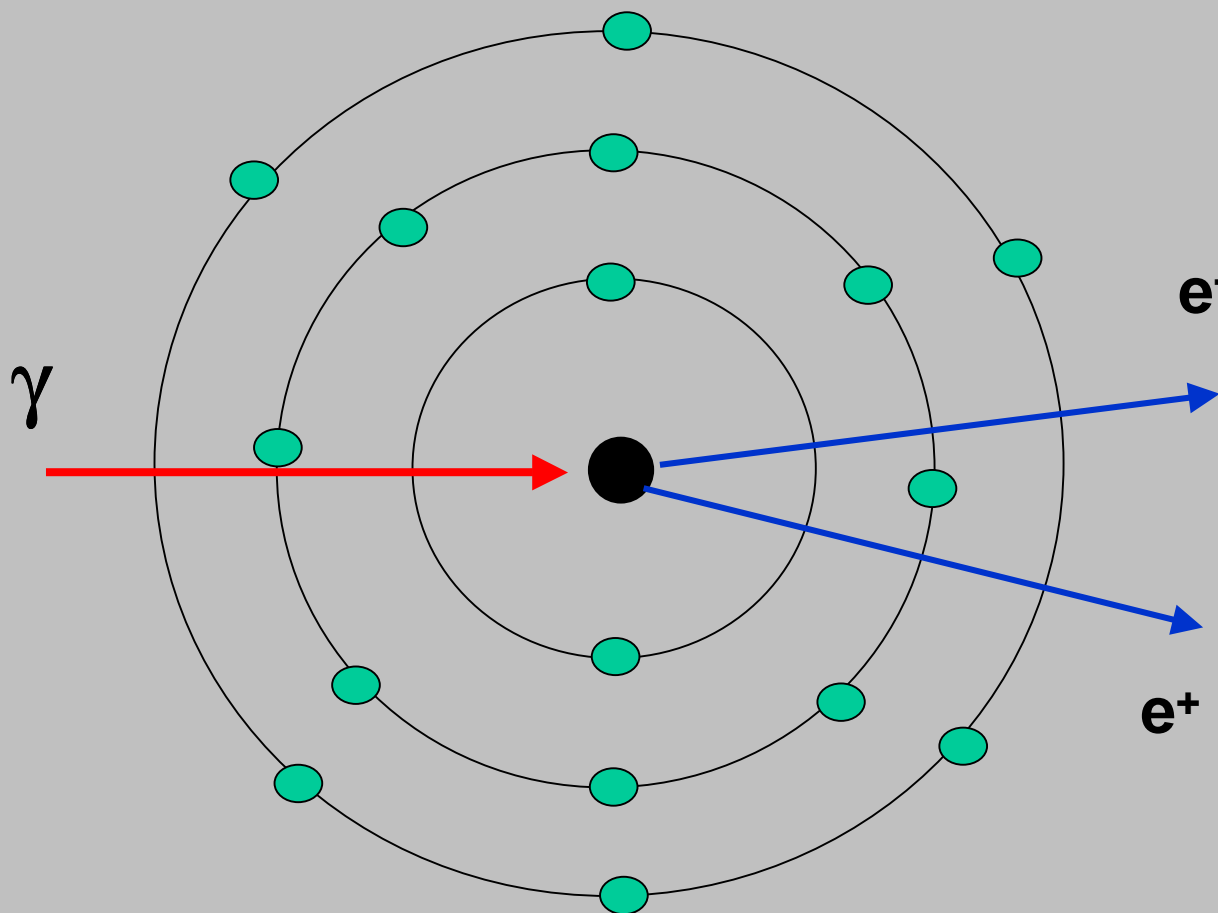
Ilustracja zjawiska Comptona



Ilustracja wewnętrznego zjawiska fotoelektrycznego



Ilustracja zjawiska tworzenia się par elektron - pozyton



Aktywność promieniotwórcza A – liczba rozpadów promieniotwórczych jąder atomowych danej próbki materii zachodzących w jednostce czasu.

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

Jednostką aktywności promieniotwórczej w układzie SI jest bekerel (Bq).

Jeżeli w ciągu jednej sekundy zachodzi jedna przemiana jądrowa to źródło ma aktywność równą 1 bekerel.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

Kiur (Ci) - tradycyjna jednostka aktywności promieniotwórczej, określona jako $3,7 \cdot 10^{10}$ rozpadów na sekundę.
 $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

Przykład:

W źródle promieniotwórczym zachodzi 12 400 przemian jądrowych w ciągu sekundy. Podać aktywność źródła w jednostkach SI oraz pozaukładowych.

W jednostkach SI:

$$A = 12\,400\text{ s}^{-1} = 12\,400\text{ Bq} = 12,4\text{ kBq};$$

W jednostkach pozaukładowych:

$$1\text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{ Bq}$$

$$A = \frac{1,24 \cdot 10^4}{3,7 \cdot 10^{10}}\text{ Ci} = 0,33 \cdot 10^{-6}\text{ Ci} = 0,33\text{ }\mu\text{Ci}$$

Dawka ekspozycyjna – dawka określana tylko dla promieniowania elektromagnetycznego, γ i rentgenowskiego, będąca miarą jonizacji jaka zachodzi w powietrzu pod wpływem tego promieniowania.

Jonizację można określić jako:

- **liczbę par jonów** powstałych w jednostce masy (lub objętości) powietrza,
- **ładunek elektryczny jonów** jednego znaku powstający w jednostce masy (lub objętości) powietrza pod wpływem promieniowania.

Jeżeli pod wpływem promieniowania γ lub rentgenowskiego powstał w elemencie objętości powietrza o masie dm ładunek dQ jonów jednego znaku, to **dawką ekspozycyjną X** nazywamy wielkość:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

dQ jest bezwzględną wartością sumy jonów jednego znaku wytworzonych w warunkach tzw. równowagi elektronowej, tzn. gdy wszystkie jony dodatnie i elektrony wytworzone w elemencie objętości dm są w nim pochłonięte.

Jednostką dawki ekspozycyjnej w układzie SI jest **kulomb na kilogram** ($C \cdot kg^{-1}$).

Rentgen (R) - dawna jednostka dawki ekspozycyjnej.
 $1 R = 2,58 \cdot 10^{-4} C \cdot kg^{-1}$



Dawka pochłonięta – dawka określona dla wszystkich rodzajów promieniowania jonizującego, będąca miarą pochłaniania promieniowania przez różne materiały.

Dawka pochłonięta D – ilość energii jaką traci promieniowanie, a pochłania ośrodek, przez który promieniowanie przechodzi, przypadająca na jednostkę masy tego ośrodka.

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}$$

jest średnią energią promieniowania jonizującego przekazaną materii w elemencie objętości o masie dm .

Jednostką dawki pochłoniętej w układzie SI jest **grej (Gy)**.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$$

Dawka pochłonięta wynosi 1 Gy, gdy 1 kg materiału, przez który przechodzi promieniowanie, pochłania energię 1 J.

Rad (rd) - dawna jednostka dawki pochłoniętej.

$$1 \text{ rd} = 0,01 \text{ Gy} = 1 \text{ cGy}$$

Równoważnik dawki pochłoniętej H w tkance lub narządzie – iloczyn dawki pochłoniętej w tkance lub narządzie i tzw. ***współczynnika jakości Q*** , zależnego od rodzaju promieniowania.

$$H = D \cdot Q$$

rodzaj promieniowania	współczynnik jakości Q
X i γ powyżej 30 keV	1
β powyżej 30 keV	1
β trytu	2
α , neutron, proton, ciężkie jony	25
neutrony termiczne	4,5

Jednostką równoważnika dawki w układzie SI jest **siwert (Sv)**.

Rem (*rentgen equivalent man*) – dawna jednostka równoważnika dawki.

$$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv} = 10 \text{ mSv}$$

Przykład:

Trzy osoby I, II, III zostały poddane działaniu różnych rodzajów promieniowania jonizującego: α , β , n w ten sposób, że 1 g masy ich ciał pochłonięło 10^5 cząstek o energii $E=5$ MeV, każda. Obliczyć dawkę pochłoniętą i równoważniki dawki w każdym przypadku.

Dawka pochłonięta jest we wszystkich przypadkach taka sama i wynosi:

$$D = \frac{E}{m} = \frac{5 \cdot 10^5 \text{ MeV}}{1 \text{ g}}$$

Wiadomo, że $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J/kg}$. Zatem:

$$D = \frac{5 \cdot 1,6 \cdot 10^5 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{10^{-3} \text{ kg}} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Gy} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ cGy}$$

Obliczamy teraz równoważnik dawki, jako $H=D \cdot Q$



W przyładzie nie podano informacji z jakich źródeł pochodzi promieniowanie, a dla promieniowania β mamy dwie wartości współczynnika jakości: 1 oraz 2 (dla promieniowania pochodzącego od trytu). Ponieważ maksymalna energia promieniowania β trytu wynosi 0,019 MeV, a promieniowanie, o którym mowa w zadaniu, ma energię 5 MeV zatem przyjmujemy $Q=1$.

Wyniki zebrano w tabeli poniżej:

osoba	promieniowanie	D [cGy]	Q	H [mSv]
I	α	0,008	25	2,00
II	β	0,008	1	0,08
III	n	0,008	25	2,00

Wniosek: Przy tej samej dawce pochłoniętej równoważniki dawek mogą znacznie się różnić w zależności od rodzaju pochłoniętego promieniowania.

Dawka graniczna – wartość dawki promieniowania jonizującego, wyrażona jako dawka skuteczna lub równoważna, dla określonych grup osób, pochodząca od kontrolowanej działalności zawodowej, której poza przypadkami przewidzianymi w ustawie nie wolno przekroczyć.

Dawka równoważna – dawka pochłonięta w tkance lub narządzie, wyznaczona z uwzględnieniem rodzaju i energii promieniowania jonizującego.

Dawka skuteczna (efektywna) – suma dawek równoważnych pochodzących od zewnętrznego i wewnętrznego narażenia, wyznaczona z uwzględnieniem odpowiednich współczynników wagowych narządów lub tkanek, obrazująca narażenie całego ciała.



- Przy napromienieniu pojedynczego narządu lub tkanki posługujemy się pojęciem dawki równoważnej H_T
- Przy napromienieniu całego ciała lub kilku narządów lub tkanek posługujemy się pojęciem dawki efektywnej E

Dawka skuteczna (efektywna)

Jednostką dawki efektywnej jest siwert (Sv).

$$E = \sum_T w_T H_T$$

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

- w_T – czynnik wagowy tkanki (narządu) T
 H_T – średnia dawka równoważna w tkance lub narządzie
 $D_{T,R}$ – dawka pochłonięta w tkance (narządzie) T od promieniowania R
 w_R – czynnik wagowy promieniowania R

Tkanka (narząd) T	Czynnik wagowy tkanki (narządu) w_T
gonady	0,20
czerwony szpik kostny	0,12
jelito grube	
płuca	
żołądek	
pęcherz moczowy	0,05
gruczoły piersiowe	
wątroba	
przełyk	
tarczyca	
skóra	0,01
powierzchnia kości	
*) pozostałe	0,05

*) do celów obliczeniowych pozycja „pozostałe” obejmuje: nadnercza, mózg, górną część jelita grubego, jelito cienkie, nerki, mięśnie, trzustkę, śledzionę, grasnicę, macicę lub inne. które mogą być napromienione selektywnie

Rodzaj promieniowania, R	Zakres energii	Czynnik wagowy promieniowania, w_R
fotony	wszystkie energie	1
elektrony i miony	wszystkie energie	1
neutrony	$< 10 \text{ keV}$	5
	$10 \div 100 \text{ keV}$	10
	$> 100 \text{ keV} \div 2 \text{ MeV}$	20
	$> 2 \div 20 \text{ MeV}$	10
	$> 20 \text{ MeV}$	5
protony z wyłączeniem protonów odrzutu	$> 2 \text{ MeV}$	5
cząstki alfa, fragmenty rozszczepienia, ciężkie jądra		20

DAWKĄ POCHŁONIĘTĄ
w tkance (narządzie) T
od promieniowania R
 $D_{T,R}$ [Gy]

w_R - czynnik wagowy promieniowania R

DAWKĄ RÓWNOWAŻNĄ
w tkance (narządzie) T
 H_T [Sv]

w_R uwzględnia skutki biologiczne związane z pochłonięciem różnych rodzajów promieniowania

w_T – czynnik wagowy tkanki (narządu) T

DAWKĄ SKUTEKZNĄ
(EFEKTYWNA)
E [Sv]

w_T – uwzględnia różną wrażliwość różnych narządów i tkanek na promieniowanie oraz znaczenie danego narządu lub tkanki dla funkcjonowania organizmu

Obciążająca dawka
równoważna
 $H_T(\tau)$ [Sv]

Przy napromienieniu wewnętrznym spowodowanym wchłonięciem izotopu długożyciowego miarą narażenia jest obciążająca dawka równoważna otrzymana w czasie τ

H_T - dawka równoważna w tkance lub narządzie, otrzymana w jednostce czasu
 t_0 - moment wchłonięcia izotopu

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} H_T dt$$

- jeżeli wartość τ jest nieokreślona, jako czas całkowania należy przyjąć okres 50 lat (dorośli) lub 70 lat (dzieci)
- w celu wyznaczenia dawek granicznych określony czas oznacza zależności od przyjętego kryterium, 1 rok lub 5 lat

Kerma K – jest to suma początkowych energii kinetycznych wszystkich cząstek naładowanych, uwolnionych przez cząstki pośrednio jonizujące (fotony, neutrony) w małym elemencie masy materiału.

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

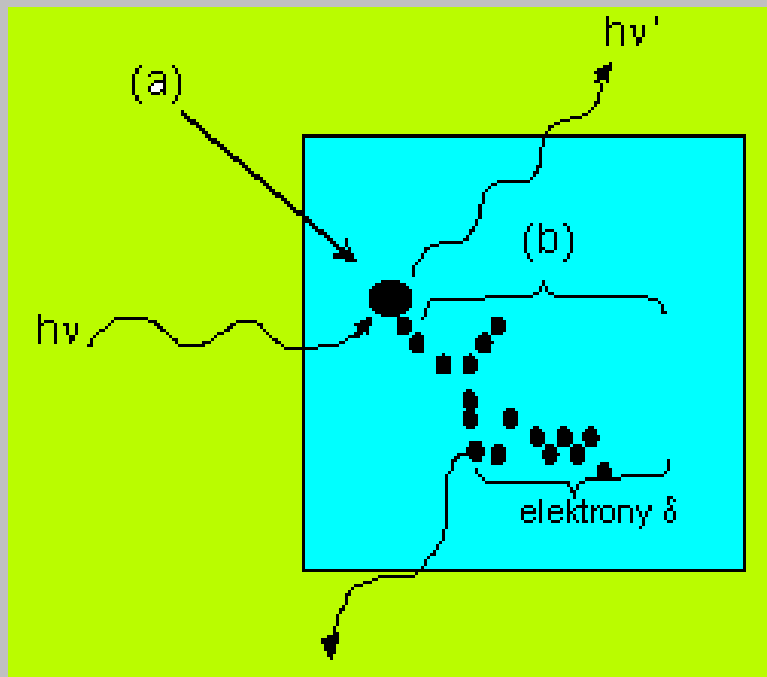
dE_{tr} – suma energii kinetycznych wszystkich elektronów wytworzonych podczas współoddziaływania fotonów w elemencie masy dm

Jednostką wielkości kerma jest 1 grej (Gy).

Kerma – (*kinetic energy released in matter*) – wielkość, która odnosi się do promieniowania nie jonizującego bezpośrednio (np. X lub γ , które przekazuje energię środowisku pośrednio przez wytworzenie elektronów o odpowiedniej energii kinetycznej) uwzględniająca taki sposób przekazywania energii środowisku.

Wielkość kerma ma zastosowanie do dowolnej substancji.

Foton w punkcie (a) przekazuje część swojej energii elektronowi na energię kinetyczną.



$h\nu''$ - część energii pierwotnego elektronu wypromieniowana w postaci promieniowania hamowania

Kerma – energia przekazana przez foton w p-cie (a) środowiska

Dawka pochłonięta – energia zaabsorbowana wzdłuż toru (b)

Wartość dawki promieniowania może być mniejsza od wartości kermy lub jej równa.

Graniczne dawki roczne (mSv)

	dawka skuteczna (efektywna)	dawka równoważna	
	całe ciało	soczewki oczu	skóra ^{*)} , dłonie, przedramiona, stopy i podudzia
osoby zatrudnione w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące	20	150	500
osoby z ogółu ludności	1 ^{**)}	15	50

^{*)} jako wartość średnia dla dowolnej powierzchni 1 cm² napromienionej części skóry

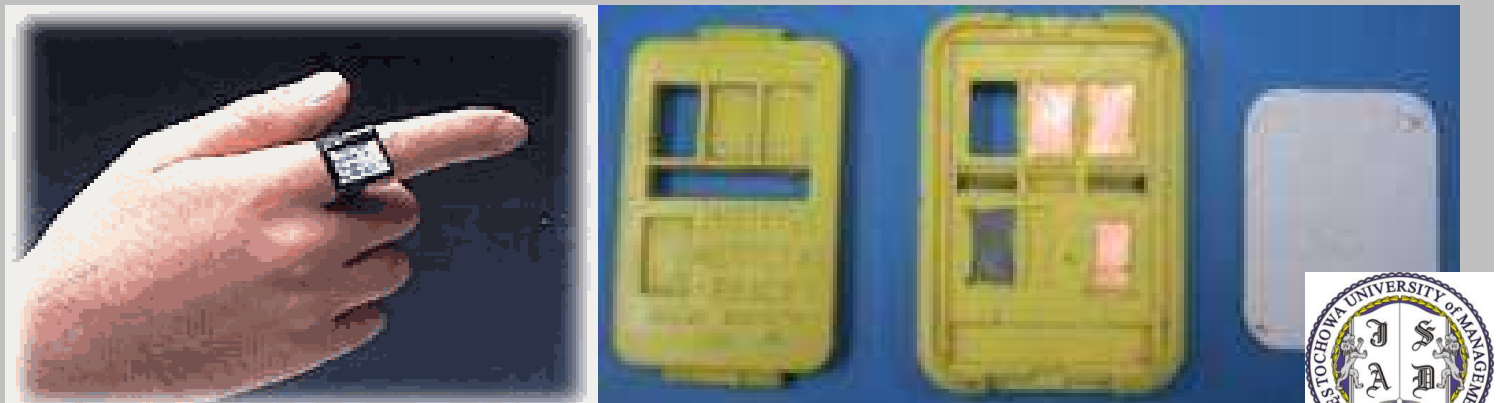
^{**)} dawka może być w danym roku kalendarzowym przekroczone, pod warunkiem, że w ciągu kolejnych pięciu lat kalendarzowych jej sumaryczna wartość nie przekroczy 5 mSv

Co to jest dozymetria?

- **Dozymetria** , dział fizyki technicznej obejmujący metody pomiaru i obliczania dawek promieniowania jonizującego, a także metody pomiaru aktywności preparatów promieniotwórczych.
- Podstawą dozymetrii jest znajomość procesów oddziaływania różnych rodzajów promieniowania (cząstek naładowanych, fotonów, neutronów) z materią

Dawkomierz fotometryczny

- **Błona fotograficzna** umieszczona w plastikowej kasetce. Aby błona nie ulegała zaczernieniu pod wpływem światła, umieszcza się ją w opakowaniu światłoszczelnym. Stopień zaczernienia błony zależy od ilości pochłoniętego promieniowania, a więc i dawki.
- W kasecie wycięte jest okienko, przez które pada na błonę promieniowanie nie pochłonięte przez materiał kasety.
- Za pomocą dawkomierzy fotometrycznych mierzy się dawki promieniowania beta, ($> 0,5 \text{ MeV}$), gamma, X, a po zastosowaniu dodatkowego filtru i emulsji jądrowej również dawki od neutronów termicznych i prędkich.
- Dawkomierze fotometryczne wykorzystuje się w Polsce do centralnej kontroli dawek indywidualnych.
- Dawkomierze wykonywane są w postaci: kostek, długopisów, pierścionków.



Dawkomierz jonizacyjny

- Wykorzystuje zjawisko jonizacji. Przed użyciem ładuje się komorę jonizacyjną do określonego napięcia. Jonizacja zachodząca pod wpływem promieniowania, powoduje spadek napięcia, który można odczytać bezpośrednio.
- Dawkomierze stosuje się przede wszystkim do pomiaru dawek promieniowania X i gamma. Dają one wynik natychmiast, choć niezbyt dokładny.
- Używa się ich w sytuacjach awaryjnych, gdy istnieje możliwość otrzymania dawek granicznych.



Dawkomierz luminescencyjny

- Wykorzystuje luminescencje, czyli świecenie różnych substancji pod wpływem promieniowania jonizującego.
- Dawkomierz luminescencyjny zawiera detektor - tabletkę luminoforową w postaci krążka o średnicy kilku milimetrów i grubości 1 mm, umieszczoną w kasecie. Kasety mocuje się na odzieży lub na przegubie dłoni.
- Można mierzyć dawki promieniowania X, gamma, beta i neutronów.

Wybrane przyrządy dozymetryczne produkowane w Polsce.

Sygnalizator dawki typu ALDO - 10



- sygnalizacja przekroczenia dawki ekspozycyjnej promieniowania X i gamma w zakresie energii od 40 keV do 1,5 MeV.
- pomiar dawki ekspozycyjnej
- Stosowany jest do kontroli dawek indywidualnych personelu pracującego z promieniowaniem X lub gamma.

Radiometr typ RK - 67 - 3



- pomiar mocy dawki ekspozycyjnej promieniowania gamma,
- sygnalizacja przekroczenia zakresu pomiarowego w eksploatacji
- wykrywanie promieniowania beta..
- Stosowany jest w: laboratoriach, przemyśle, szpitalach, defektoskopii, służbie dozymetrycznej

Radiometr EKO - D/Dp



- pomiar mocy dawki
- sygnalizacja przekroczenia mocy dawki
- Przeznaczenie:
 - ochrona radiologiczna środowiska
 - laboratoria izotopowe
 - służby policyjne i straży pożarnej
 - ochrona cywilna kraju
 - straż graniczna i celna

Monitor skażeń radioaktywnych typ EKO - C



- wykrywanie i pomiar skażeń powierzchniowych izotopami alfa, beta, gamma (otwarte źródła)
- kontrola szczelności izotopowych czujek ppoż.
- wykrywanie źródeł radioaktywnych w środkach transportu i na przejściach granicznych
- kontrola terenu po pożarach i katastrofach transportowych
- kontrola środowiska po awariach jądrowy
- kontrola środowiska w górnictwie
- kontrola osłon przed promieniowaniem X i gamma w medycynie i przemyśle.

Radiometr RK-100 jest przeznaczony do:

- pomiaru skażeń powierzchni substancjami beta promieniotwórczymi;
- pomiaru skażeń powierzchni substancjami alfa promieniotwórczymi;
- pomiaru mocy przestrzennego równoważnika dawki promieniowania X i gamma;
- pomiaru mocy dawki promieniowania X i gamma;
- pomiaru dawki i przestrzennego równoważnika dawki promieniowania X i gamma.

Prosta i trwała obudowa, mała masa i łatwa obsługa umożliwiają szerokie stosowanie przyrządu przy wykrywaniu źródeł promieniowania i ocenie poziomu skażeń oraz jako przyrządu pomiarowego wszędzie tam, gdzie stosuje się źródła promieniowania.

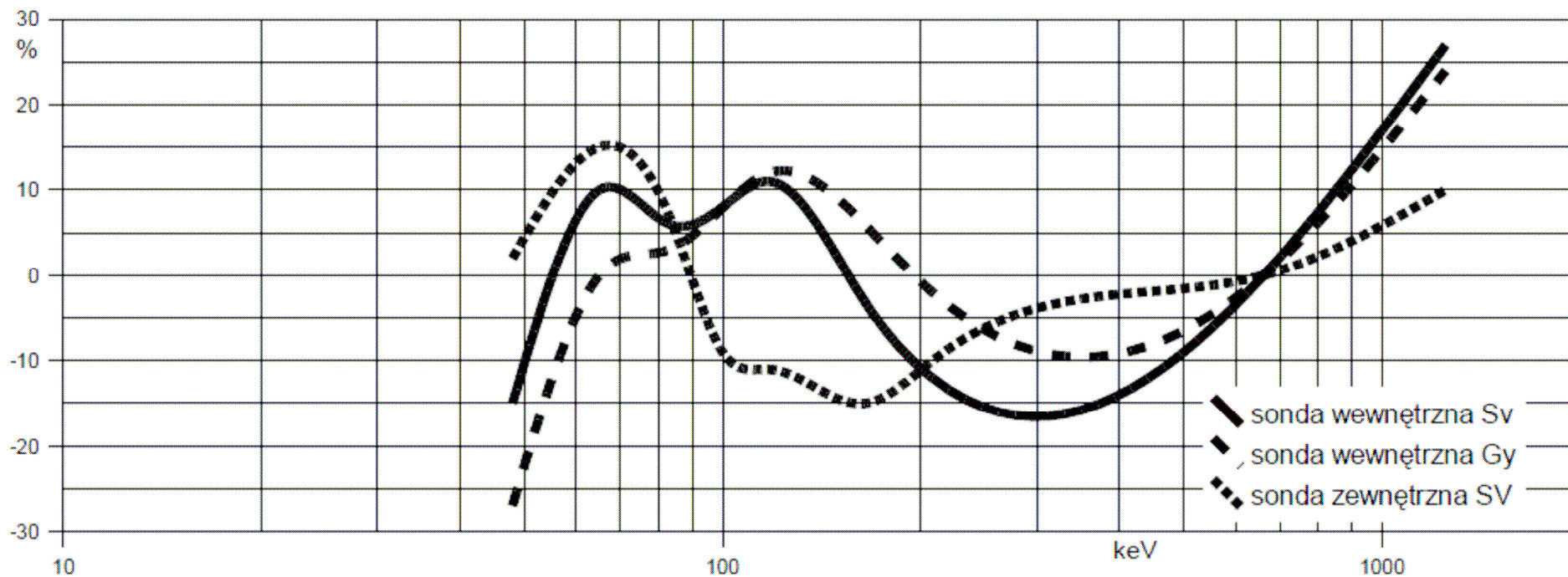
Radiometr RK-100 jest szczególnie przydatny do stosowania:

- w kontroli granicznej i celnej oraz służbach ratownictwa technicznego;
- w inspektoratach sanitarno-epidemiologicznych;
- do kontroli skażeń i mocy przestrzennego równoważnika dawki w transporcie kolejowym i drogowym;
- do kontroli skażeń rąk, odzieży roboczej, powierzchni stołów roboczych w pracowniach radiobiologicznych oraz pracowniach medycyny nuklearnej;
- do kontroli szczelności źródeł jonizacyjnych czujek dymu;
- przez inspektorów ochrony radiologicznej.

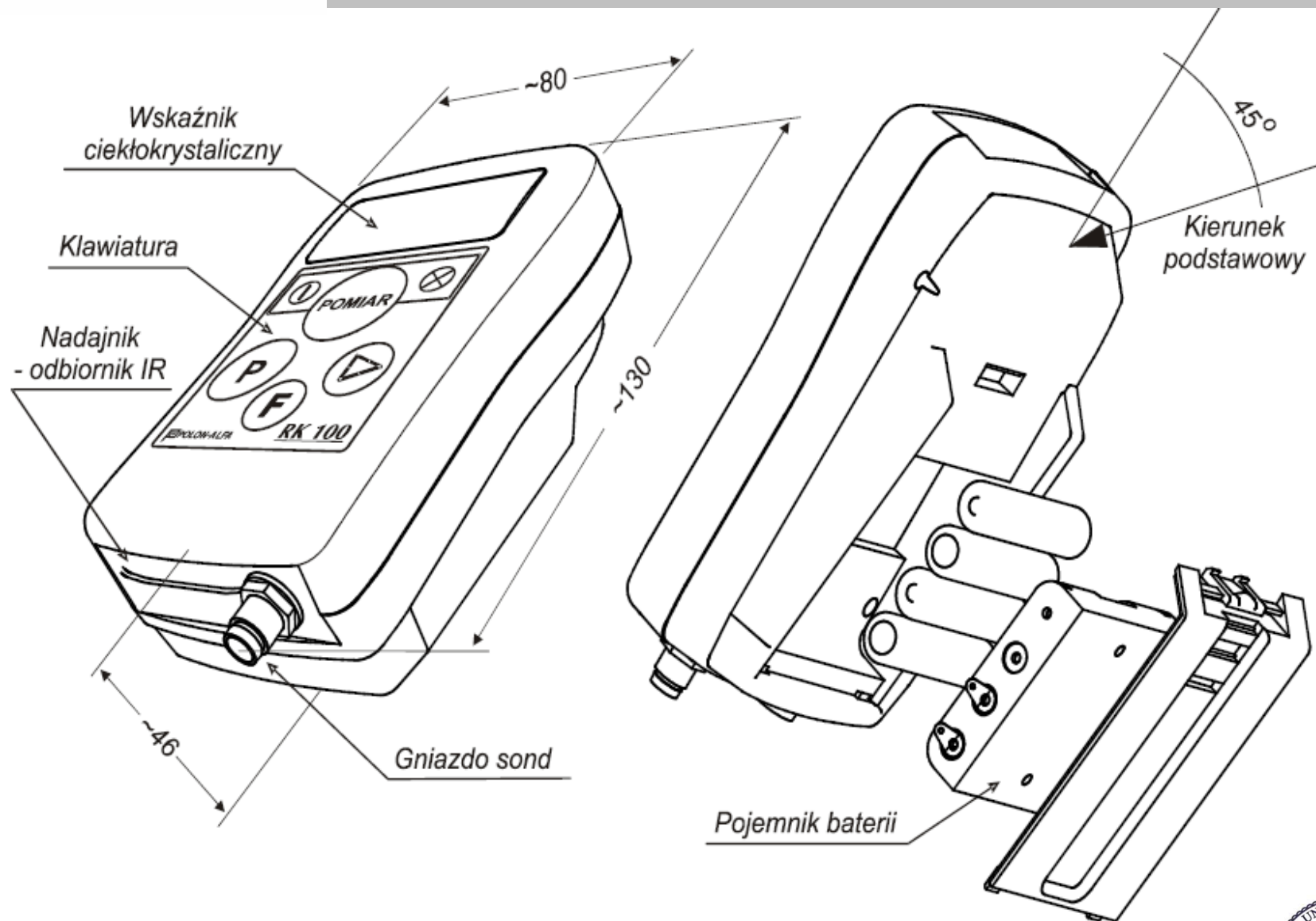
3. Dane techniczno-eksploatacyjne

Zakres pomiarowy dla sondy zewnętrznej	
-mocy przestrzennego równoważnika dawki	do 1000 $\mu\text{Sv/h}$
-skażenia emiterami promieniotwórczymi ¹	do 10^4 s^{-1}
Zakres pomiarowy dla sondy wewnętrznej	
-mocy przestrzennego równoważnika dawki	do 50 mSv/h
-mocy dawki pochłoniętej	do 50 mGy/h
-przestrzennego równoważnika dawki	0,1 $\mu\text{Sv} \dots > 10\text{Sv}$
-dawki pochłoniętej	0,1 $\mu\text{Gy} \dots > 10\text{Gy}$
Błąd wskazań dla Cs-137 dla sondy zewnętrznej w wykonaniu I przyrządu	
-mocy przestrzennego równoważnika dawki powyżej 1 $\mu\text{Sv/h}$	$\leq 20\%$
-przestrzennego równoważnika dawki dla mocy przestrzennego równoważnika dawki powyżej 1 $\mu\text{Sv/h}$	$\leq 20\%$
Błąd wskazań dla Cs-137 dla sondy wewnętrznej	
-mocy przestrzennego równoważnika dawki powyżej 1 $\mu\text{Sv/h}$	$\leq 20\%$
-mocy dawki pochłoniętej powyżej 1 $\mu\text{Gy/h}$	$\leq 20\%$
-przestrzennego równoważnika dawki dla mocy przestrzennego równoważnika dawki powyżej 1 $\mu\text{Sv/h}$	$\leq 20\%$
-dawki dla mocy dawki pochłoniętej powyżej 1 $\mu\text{Gy/h}$	$\leq 20\%$
Nierównomierność charakterystyki energetycznej sondy zewnętrznej dla promieniowania gamma w zakresie energii od 40keV do 1,25MeV	
-z filtrem γ	$\leq 25\%$
Nierównomierność charakterystyki energetycznej sondy wewnętrznej dla promieniowania gamma	
-w zakresie energii od 65keV do 1MeV	$\leq 25\%$
-w zakresie energii od 40keV do 1,25MeV	$\leq 30\%$
Bieg własny	
-przy pomiarze mocy przestrzennego równoważnika dawki sondą zewnętrzną	$\leq 0,27 \mu\text{Sv/h}$
-przy pomiarze mocy przestrzennego równoważnika dawki sondą wewnętrzną	$\leq 0,27 \mu\text{Sv/h}$
-przy pomiarze mocy dawki pochłoniętej	$\leq 0,23 \mu\text{Gy/h}$

-przy pomiarze skażeń	$\leq 5 \text{ s}^{-1}$
Typ detektora	
- detektorów wbudowanych	licznik GM
- sondy zewnętrznej	okienkowy licznik GM
Zasilanie	6V (4xbateria AAA/LR03)
Pobór mocy bez promieniowania	< 10 mW
Zakres temperatur pracy	-25°C + +50°C
Zakres temperatur przechowywania długotrwałego	-0°C + +40°C
Zakres ciśnienia powietrza dla pracy i przechowywania sondy zewnętrznej	600..1450hPa
Stopień szczelności	
-sondy	IP51
-przyrządu	IP50
Masa	
-sondy zewnętrznej bez filtrów	ok. 39 dag
-kompletu filtrów dla wykonania I	ok. 14 dag
-kompletu filtrów dla wykonania II	ok. 6 dag
-przyrządu bez baterii w wykonaniu I	ok. 18 dag
-przyrządu bez baterii w wykonaniu II	ok. 23 dag

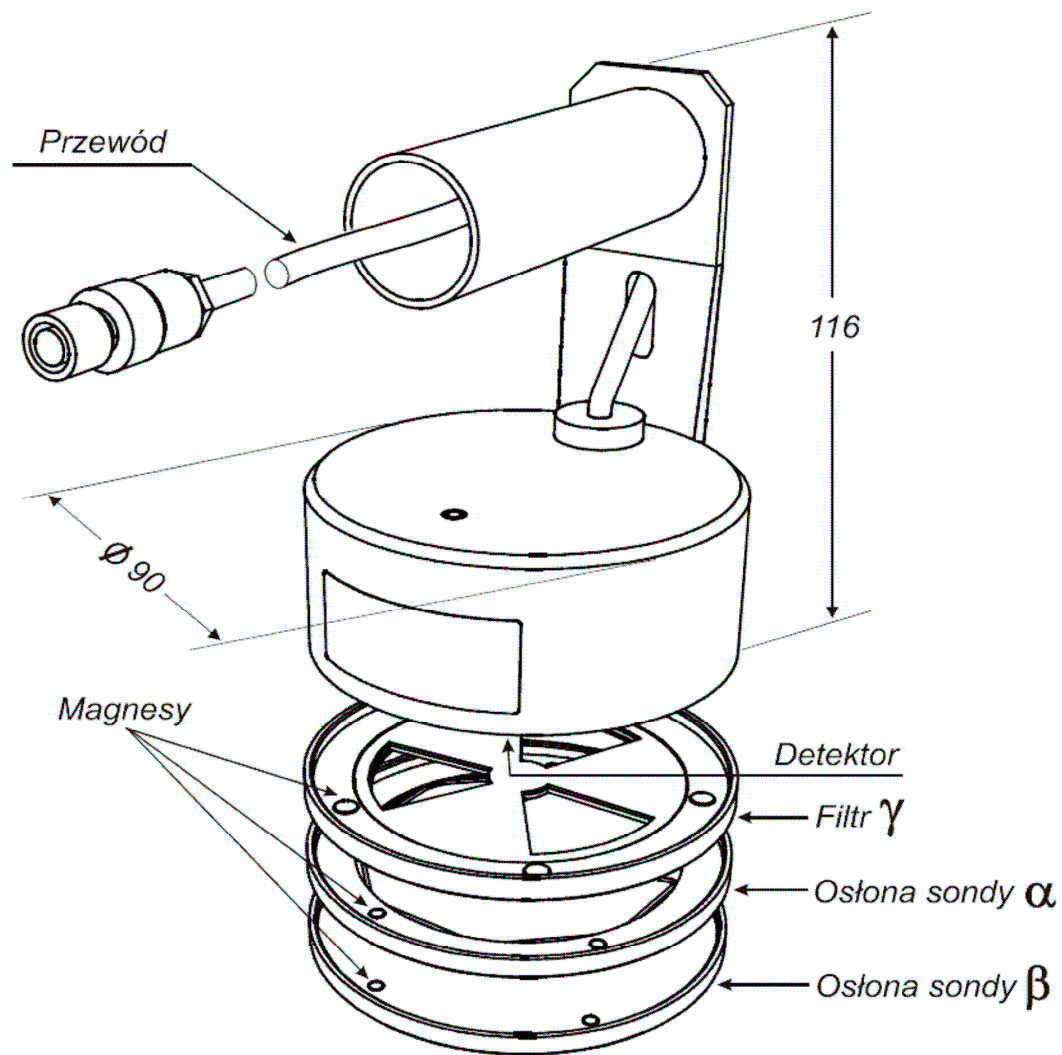


Typowe charakterystyki energetyczne



Radiometr RK100

6. Sonda zewnętrzna



Sonda zewnętrzna



Sonda zewnętrzna jest przystosowana do pomiaru:

- mocy równoważnika dawki po założeniu filtru γ – filtr ten koryguje charakterystę energetyczną γ detektora w zakresie promieniowania do charakterystyki zgodnej z jednostkami mocy równoważnika dawki (Sv/h). Filtr γ nie przesłania detektora przed promieniowaniem β i α . Jeżeli istnieje konieczność filtr ten można skombinować z osłoną β lub α . Należy mieć jednak na uwadze że wówczas charakterystyka energetyczna w zakresie niskich energii ($< 80\text{keV}$) zostanie znacznie zaniżona;
- skażenia powierzchni $\alpha+\beta+\gamma$ bez założonych osłon;
- skażenia powierzchni $\beta+\gamma$ przy założonej osłonie α – osłona ta odcina promieniowanie α ;
- skażenia powierzchni γ przy założonej osłonie β – osłona ta odcina promieniowanie β i α ;

8.5. Pomiar skażeń.

Pomiaru skażeń można dokonać używając sondę zewnętrzną. Sonda zewnętrzna pozwala na pomiar skażeń izotopami α , β , i γ -promieniotwórczymi. Umożliwia również określenie rodzaju mierzonego promieniowania przy zastosowaniu osłon. Osłona z okienkiem aluminiowym "odcina" promieniowanie α i β - sonda mierzy składową promieniowania gamma. Osłona z okienkiem z folii "odcina" promieniowanie α - sonda mierzy składowe promieniowania β i γ .

Radiometr posiada trzy tryby pomiaru skażeń:

- pomiar względny wskazywany w jednostkach [s^{-1}],
- pomiar bezwzględny wskazywany w jednostkach [Bq/cm^2],
- pomiar bezwzględny różnicowy wskazywany w jednostkach [Bq/cm^2]

Skutki biologiczne

Równoważnik dawki	Skutek biologiczny
0 - 0,25 Sv	Brak objawów
0,25 - 0,50 Sv	Zmiany obrazu morfologicznego krwi.
0,50 - 1,0 Sv	Słabe objawy chorobowe, zmiany w krwi, możliwość wystąpienia skutków w późniejszym okresie
1,0 - 2,0 Sv	Objawy chorobowe, bóle głowy, mdłości, osłabienie.
2,0 - 3,0 Sv	Ciężkie objawy kliniczne, śmiertelność w 25% przypadków.
3,0 - 5,0 Sv	Choroba popromienna. Śmiertelność w 50% przypadków.
5,0 - 7,0 Sv	Uszkodzenia szpiku i organów wewnętrznych. Śmiertelność 100% do kilkudziesięciu dni.

- równoważniki dawki i odpowiadające im skutki wywołane przy jednorazowym napromieniowaniu całego ciała.

źródła promieniotwórcze

- Ze względu na stan skupienia wyróżnia się substancje promieniotwórcze w postaci *stałej*, *ciekłej* i *lotnej*.
- Każdą użytkową postać substancji promieniotwórczej nazywamy źródłem promieniotwórczym.
- Jedną z podstawowych cech charakteryzujących źródło promieniotwórcze jest sposób zabezpieczenia substancji promieniotwórczej przed rozproszeniem.
- Rozróżniamy w związku z tym dwa rodzaje źródeł promieniotwórczych: *zamknięte* i *otwarte*.



- **Opakowania typu A** muszą zapewniać szczelność i osłonność ładunku w normalnych warunkach przewozu w przypadku mniejszych wypadków transportowych.
- **Opakowania typu B i C** - charakteryzują się podwyższoną wytrzymałością mechaniczną i termiczną, ponieważ muszą zapewnić szczelność i osłonność ładunku nawet w razie poważnych wypadków transportowych.

Ochrona przed promieniowaniem; osłony

- Osłony przed promieniowaniem X i *gamma* wykonuje się głównie z ciężkich materiałów tj. ołów, uran zubożony,
- zaś na osłony przed promieniowaniem *beta* – wykorzystuje się materiały lekkie tj. aluminium, szkło organiczne i tworzywa sztuczne.
- Nie stosuje się osłon przed promieniowaniem *alfa* ze względu na małą przenikliwość (zaledwie do 10 cm).
- Promieniowanie *neutronowe* powstaje w reakcjach jądrowych, gdzie produkowane są neutrony prędkie i powolne. Trudno jest zbudować skuteczną osłonę przed neutronami prędkimi. Natomiast stosunkowo łatwo zatrzymać neutrony powolne, stosując cienką warstwę kadmu. Dlatego neutrony prędkie trzeba najpierw spowolnić stosując osłonę składającą się z dwóch warstw.
 - spowalniającą składającą się z materiału o małej liczbie atomowej (węgiel i jego związki z wodorem, parafina, woda i inne materiały zawierające dużo wodoru).
 - pochłaniającą neutrony termiczne.

Rodzaje osłon:

- **STAŁA** - ściana między dwoma pomieszczeniami
- **RUCHOMA** - pojemniki do przechowywania lub transportu źródeł.

Osłony osobiste:

FARTUCHY z gumy ołowianej, czyli z gumy zawierającej związek ołowiu.

OKULARY OCHRONNE

REKAWICE GUMOWE - chronią przed bezpośrednim kontaktem z substancją promieniotwórczą.

SPECJALNA ODZIEŻ OCHRONNA

Odzież ochronna



- Parametrem charakteryzującym osłonę jest jej *krotność osłabienia k*.

$$k = \frac{\text{moc dawki bez osłony}}{\text{moc dawki za osłoną}}$$

- Jest to liczba niemianowana, mówi ona ile razy zmniejszy się w pewnym punkcie przestrzeni wielkość, za pomocą której opisujemy pole promieniowania (np. moc dawki pochłoniętej, moc dawki ekspozycyjnej) z powodu umieszczenia osłony na drodze promieniowania.
Krotność osłabienia zależy od rodzaju materiału i jej grubości.

- Z napromieniowaniem zewnętrznym mamy do czynienia wtedy gdy źródło promieniowania znajduje się na zewnątrz organizmu.
- Przykładem takich źródeł są:
 - ✓ aparat rentgenowski,
 - ✓ urządzenie do tele-gamma terapii,
 - ✓ defektoskop izotopowy,
 - ✓ szereg zamkniętych źródeł promieniowania

Wybrane wielkości i ich jednostki

Wielkość	Definicja	Obecnie używane jednostki	Dawna jednostka
<i>Aktywność</i>	Liczba rozpadów na 1s	<u>bekerel</u> Bq	kiur Ci
<i>Dawka ekspozycyjna</i>	Jonizacja powietrza pod wpływem promieniowania X lub gamma	<u>kulomb na kilogram</u> C/kg	rentgen R
<i>Dawka pochłonięta</i>	Pochłanianie energii promieniowania jonizującego przez różne materiały np. powietrze, wodę, ciało ludzkie.	<u>grej</u> Gy	rad rd
<i>Równoważnik dawki</i>	Pochłanianie energii przez żywy organizm z uwzględnieniem skutków biologicznych, jakie wywołują różne rodzaje promieniowania jonizującego.	<u>siwert</u> Sv	rem

Monitor promieniowania gamma i neutronowego PM-1401GN



Monitor promieniowania gamma i neutronowego PM-1401GN jest przeznaczony do wykonywania następujących zadań:

- wykrywania i lokalizacji materiałów promieniotwórczych i jądrowych, emitujących promieniowanie gamma i/lub neutronowe;
- pomiaru mocy przestrzennego równoważnika dawki H(10) (MRD) promieniowania gamma.

Monitor PM-1401GN wyróżnia się wysoką czułością na promieniowanie gamma i neutronowe w szerokim zakresie energii i możliwością lokalizacji źródeł w obecności wysokiego poziomu tła promieniowania. Jednocześnie cechuje go wysoka odporność na narażenia mechaniczne, hermetyczność, małe wymiary i masa. Z tego względu jest on szczególnie przydatny jako wyposażenie funkcjonariuszy Straży Granicznej, Służb celnych i innych służb do kontroli wszelkiego rodzaju ruchu towarów i osób, w celu wykrycia niekontrolowanego przewozu materiałów promieniotwórczych, oraz wyposażenie służb ratownictwa technicznego, policji, inspekcji transportu drogowego, obrony cywilnej i wojska.

DANE TECHNICZNE

Detektory promieniowania:

^3He

Wykrywanie źródeł neutronów

Zakres energii neutronów

Zakres pomiaru MRD promieniowania fotonowego $H(10)$ $(0,1 \div 40) \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

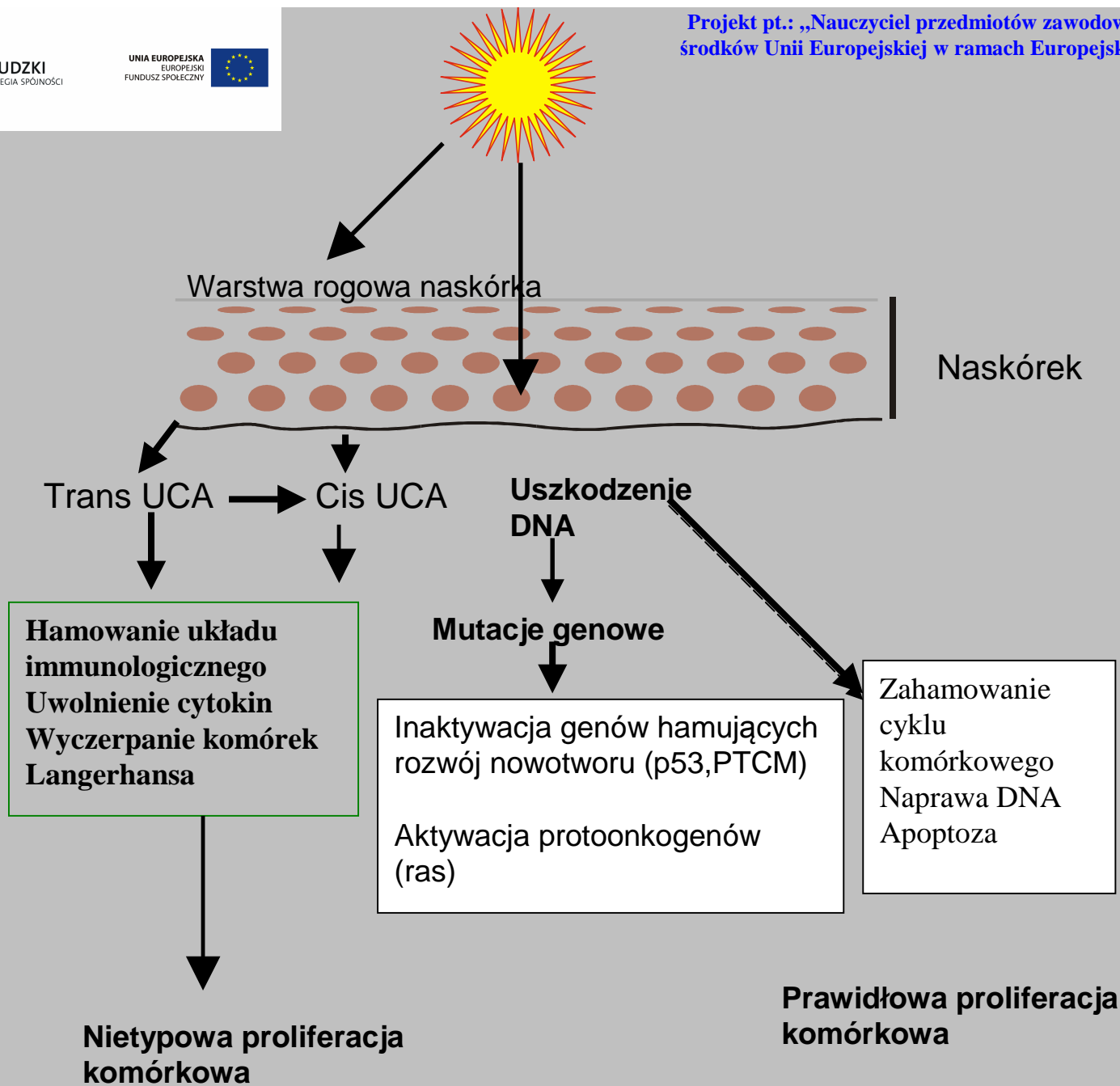
Znamionowe napięcie zasilania

scyntylator CsJ/Tl, licznik

spełnia wymagania ITRAP

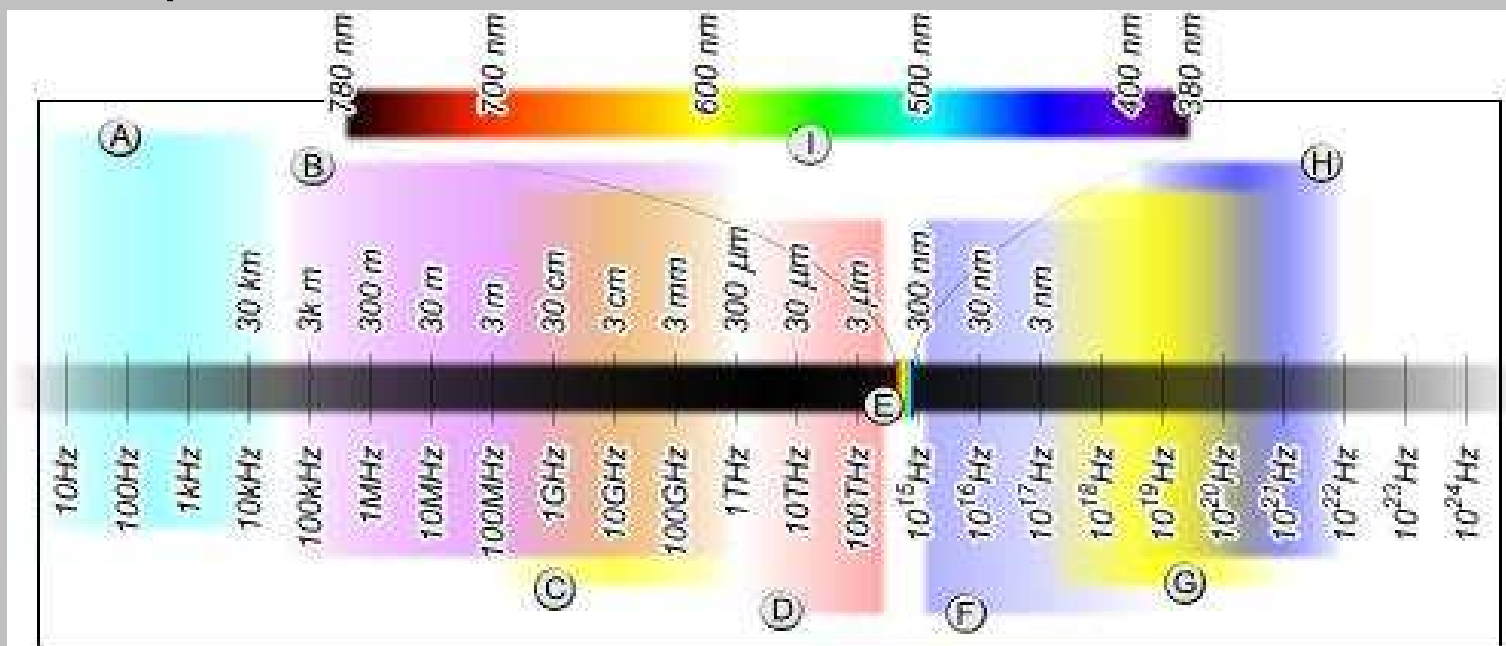
termiczne $\div 14 \text{ MeV}$

1,5 V (jedno ogniwo LR6)



Światło - potocznie widzialna część

promieniowania elektromagnetycznego, obejmująca zakres od 380 -780 nm. W nauce pojęcie światła jest szersze, gdyż w obejmuje również sąsiednie zakresy, czyli ultrafiolet i podczerwień.



•Najczęściej wymienia się następujące efekty obserwowane u użytkowników telefonów komórkowych

- ból głowy, zawroty, bezsenność
- wzrost ciśnienia krwi
- zaburzenia pamięci (krótkotrwała utrata pamięci)
- zaburzenia wzroku
- zaburzenia słuchu
- zmiany percepcji barw
- niepokój i nerwowość
- pieczenie skóry
- drażliwość

•Niektóre badania dowodzą, że telefony mają bardziej szkodliwy wpływ na dzieci. Pochłanianie części energii powoduje miejscowy wzrost temperatury tkanek. Podwyższenie temperatury tkanki może spowodować reakcje fizjo-logiczne oraz termoregulacyjnych prowadzącym ograniczenia zdolności psychofizycznych [8].

Bibliografia

- Z. Bałtrukiewicz, T Musiałowicz "100 lat ochrony przed promieniowaniem jonizującym". - CLOR nr 136 -Warszawa 1998.
- "Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna" 4/96 (Vol.29). Biuletyn informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki.
- M. Siemiński *Fizyka zagrożeń środowiska* PWN 1992
- A. Zajdel *Zasady pracy ze źródłami promieniotwórczymi i pomiary dozymetryczne* CLOR Warszawa 1988
- A.Hrynkiewicz (red), *Człowiek i promieniowanie jonizujące*, PWN, Warszawa (2001)
- [Państwowa Agencja Atomistyki](#)
- [Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej](#)
- [Akademia Górniczo Hutnicza](#)



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!