

Promieniowanie, które nas otacza

Ludwik Dobrzyński

Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku

Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Świerk

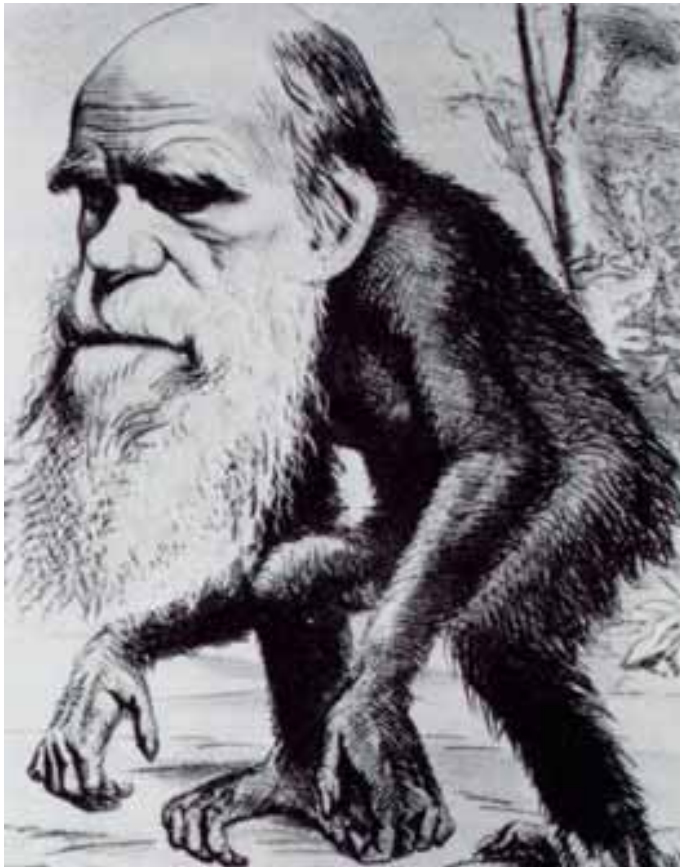
Łukasz Adamowski

Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Świerk

<http://dsid.ipj.gov.pl/>

Festiwal Nauki, Warszawa, wrzesień 2009

Działania promieniowania, w tym jonizującego, nie można rozpatrywać w oderwaniu od życia



- Życie powstało dawno – miliardy lat temu
- Promieniowanie, w tym jonizujące, też istnieje od dawna – od początku świata
- Czy dawniej było mniejsze?
- I czy zaszkodziło organizmom żywym?

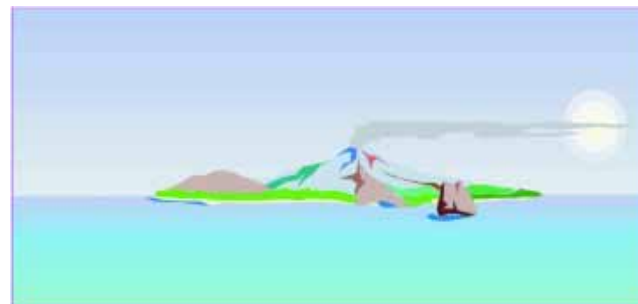
O czym porozmawiamy



- Promieniowanie, jego natura i sposób charakteryzowania
- Promieniotwórczość środowiska
- Sztuczna promieniotwórczość i narażenie na promieniowanie jonizujące
- Dawka, moc dawki a skutki biologiczne
- Zastosowania promieniowania jonizującego
- Zasady ochrony radiologicznej a ryzyko

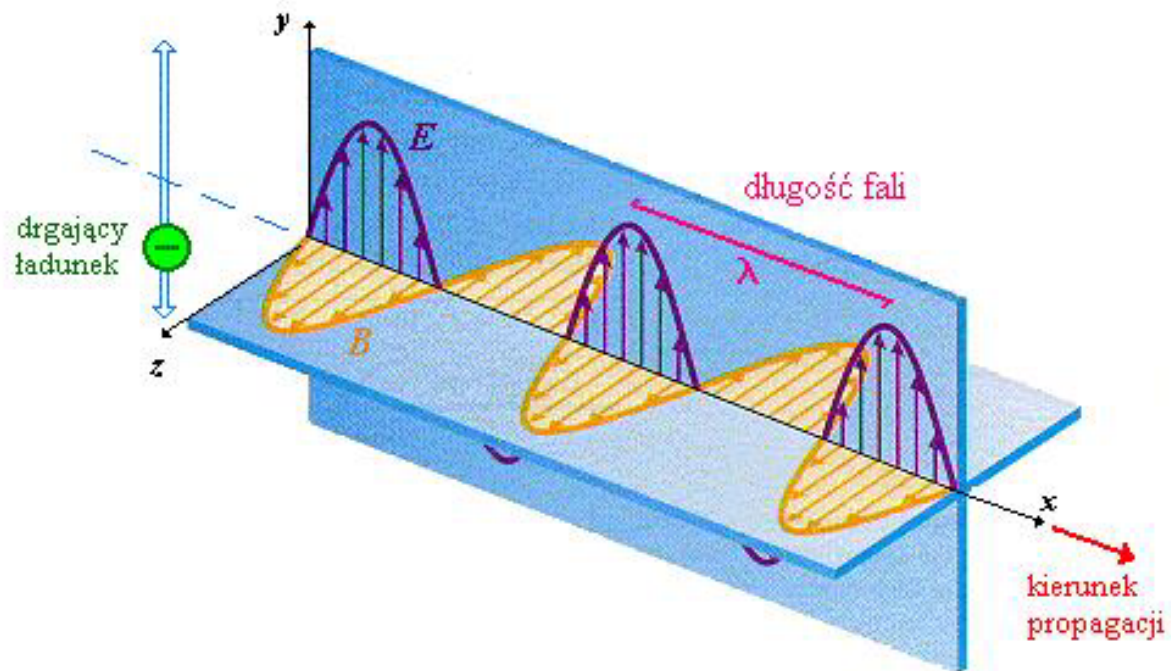
Promieniowanie jest wszędzie

- Piękne promienie słoneczne mają swe źródło w reakcjach jądrowych, a w górach i morzach znajdują się znaczące ilości substancji promieniotwórczych.
- Podczas aktywności wulkanicznej do atmosfery zostają wyrzucone znaczne ilości materiałów promieniotwórczych

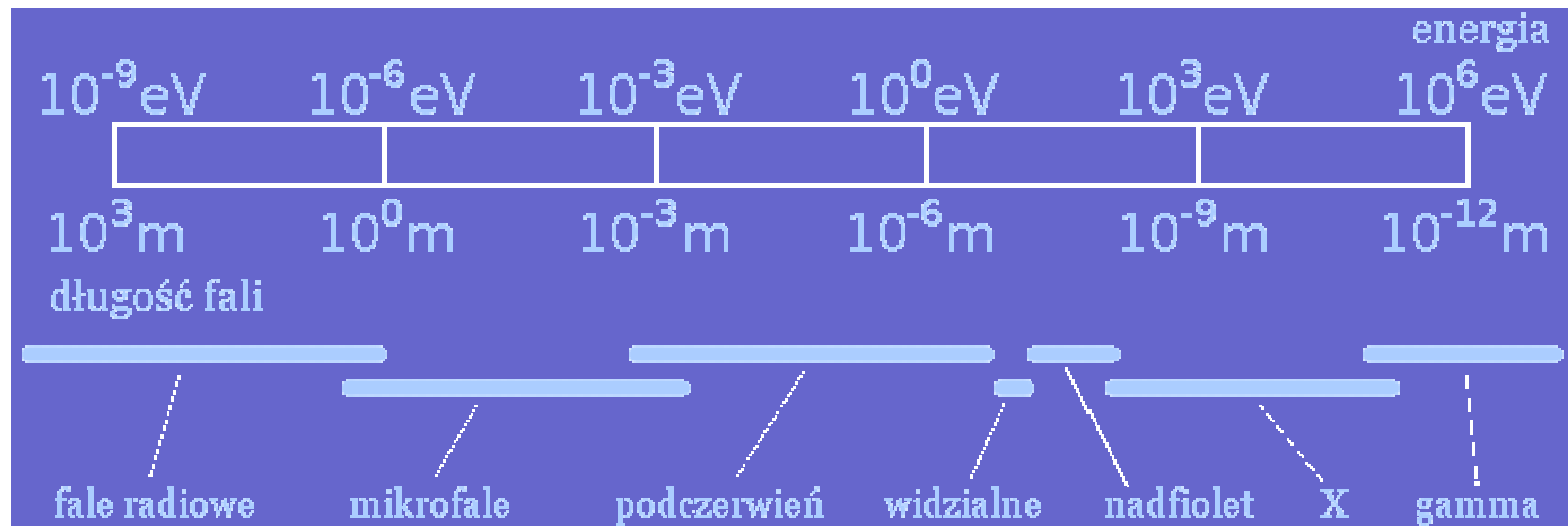


Rodzaje i źródła promieniowania

Promieniowanie elektromagnetyczne



Promieniowanie elektromagnetyczne: słoneczne, ale nie tylko



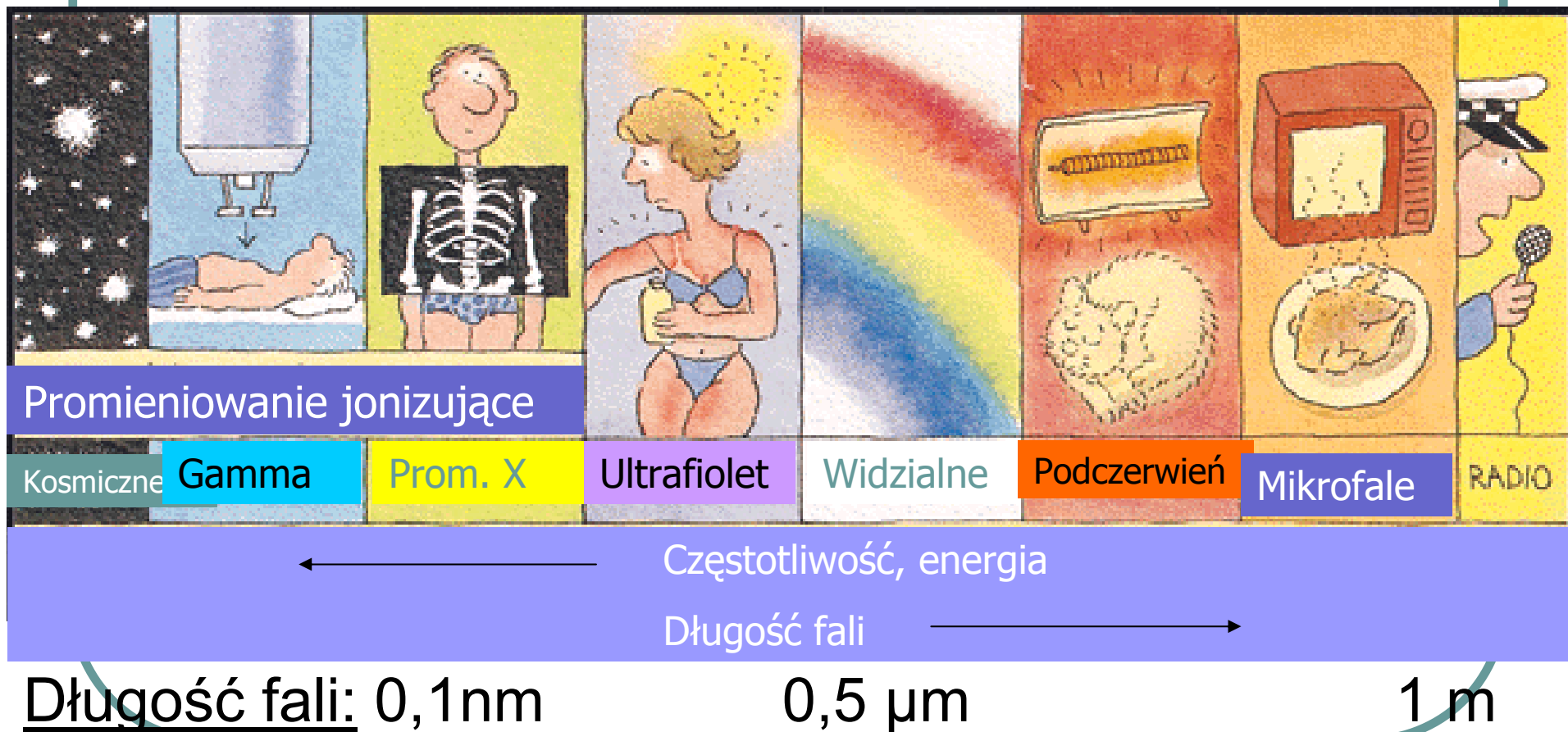
Długość fal elektromagnetycznych obejmuje zakres ponad 15 rzędów wielkości

Promieniowanie widzialne, to obszar zaledwie 0,4 - 0,7 μ m.

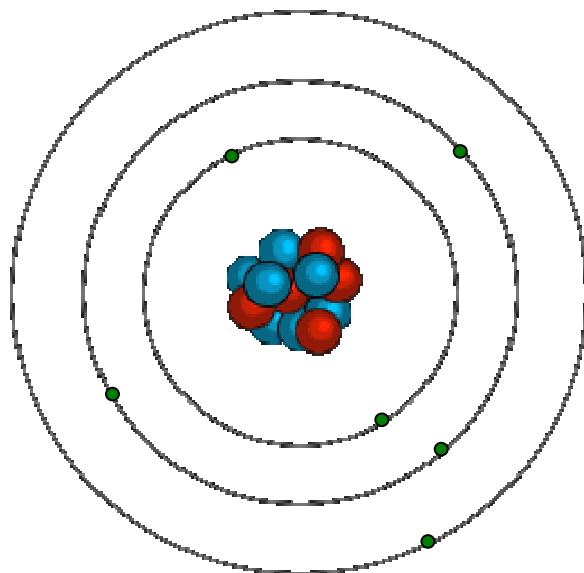
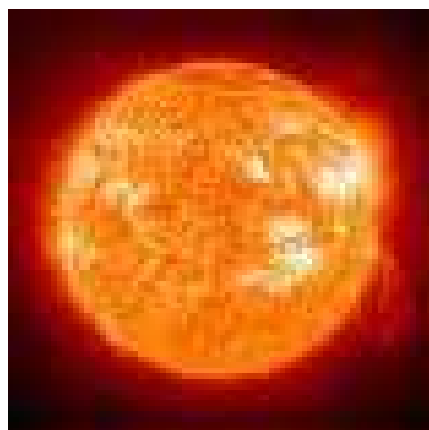
1 eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J . Promieniowanie żółte niesie energię ok. 2 eV



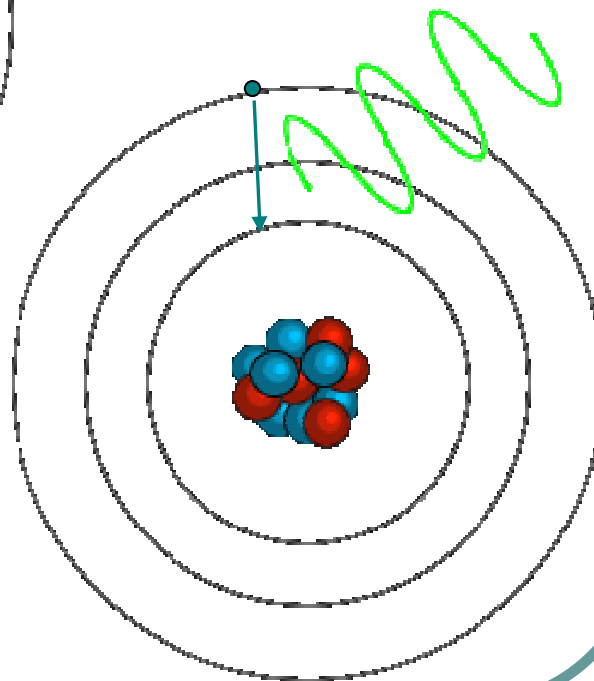
Wykorzystanie



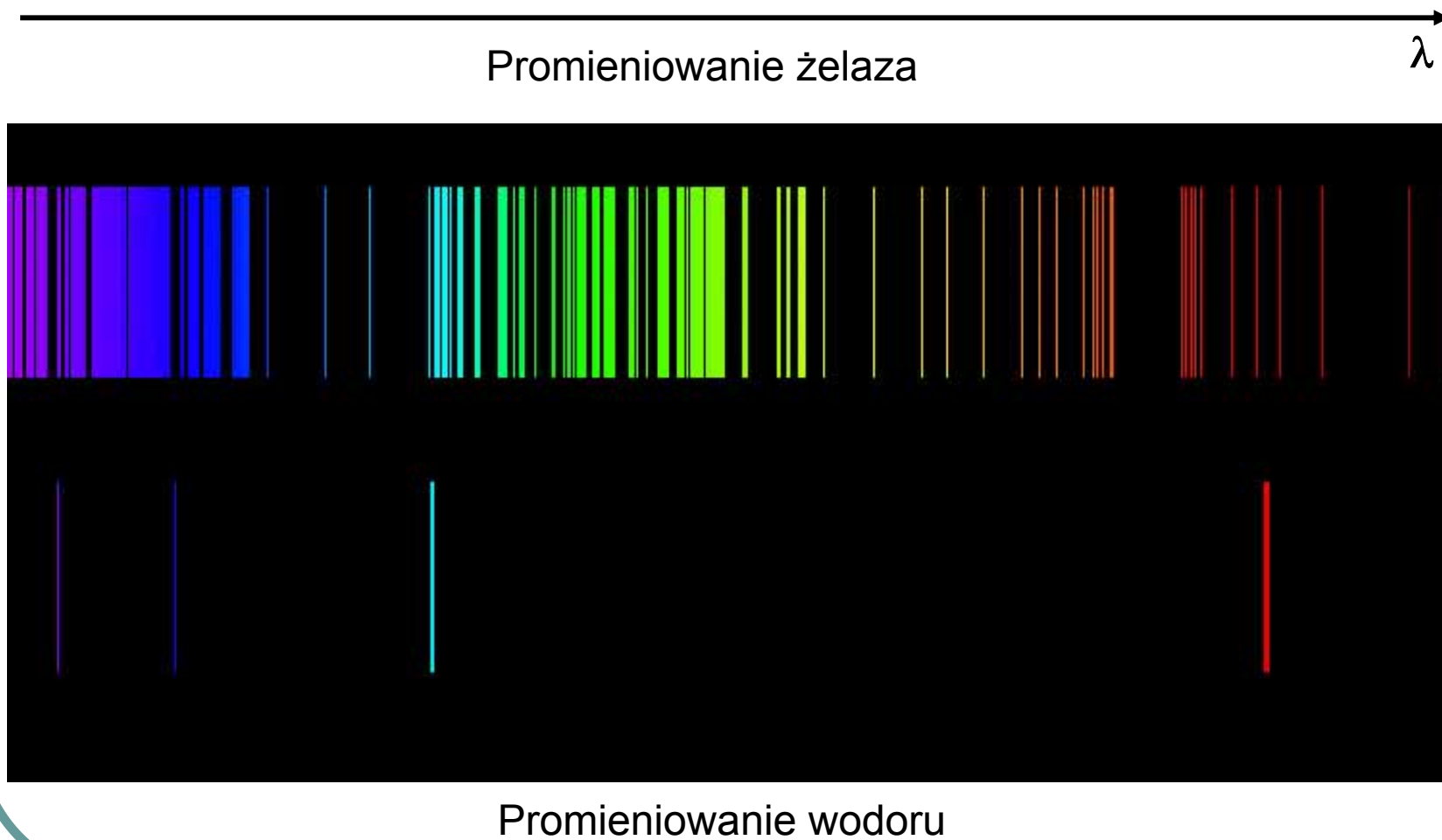
Źródła promieniowania widzialnego



To, co widzimy, jest
promieniowaniem atomów



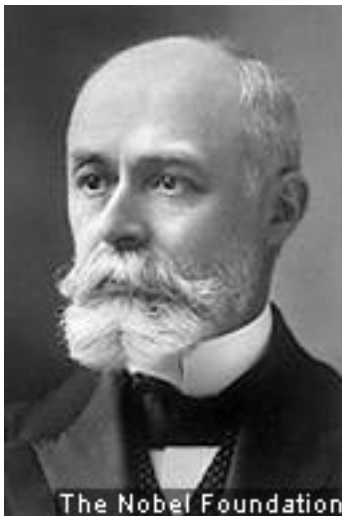
Każdy pierwiastek wysyła promieniowanie o innym widmie



Układ okresowy pierwiastków

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	*	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
		*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
		**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Giganci - nobliści



Konrad Roentgen - 1895

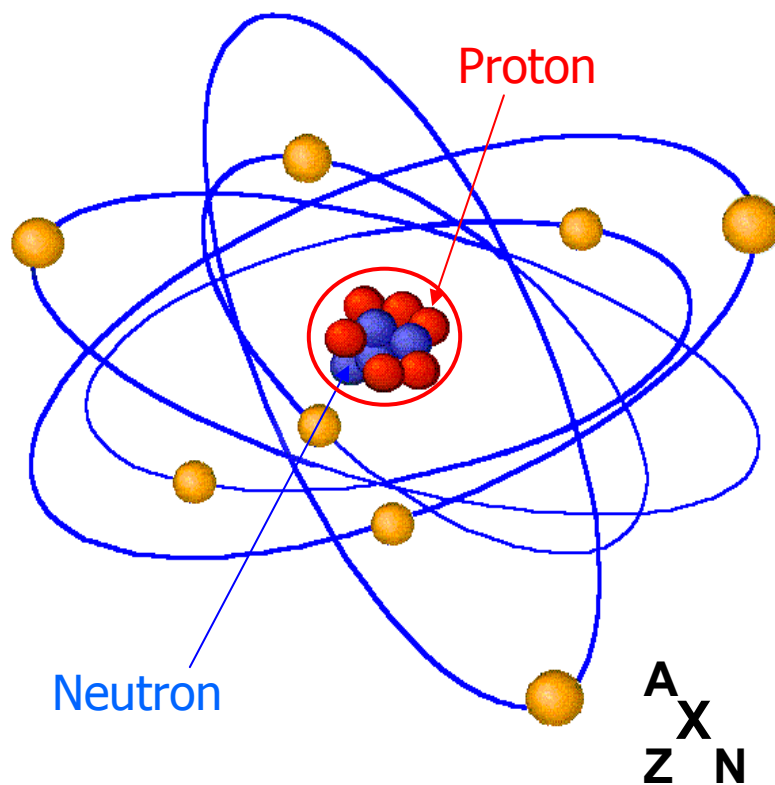
Henri Becquerel - 1903

Maria Curie Skłodowska -
1903, 1911

Piotr Curie - 1903

Ernest Rutherford - 1908

Atom, jądro, izotopy



Liczba atomowa Z – liczba protonów w jądrze określa jednoznacznie z jakim pierwiastkiem chemicznym (X) mamy do czynienia.
Np. dla węgla $Z=6$

Liczba masowa $A=Z+N$

Izotopami nazywamy jądra atomów danego pierwiastka chemicznego, różniące się liczbą neutronów. Na przykład, węgiel-12, węgiel-13 i węgiel-14, to izotopy węgla zawierające odpowiednio 6, 7 i 8 neutronów

Nobliści



W roku 1911 Frederic Soddy odkrył istnienie różnorodnych izotopów danego pierwiastka, a George de Hevesy stwierdził, że łatwość wykrycia promieniowania pozwala na wykorzystanie izotopów promieniotwórczych jako znaczników. W roku 1932 James Chadwick odkrył istnienie neutronów

Izotopy

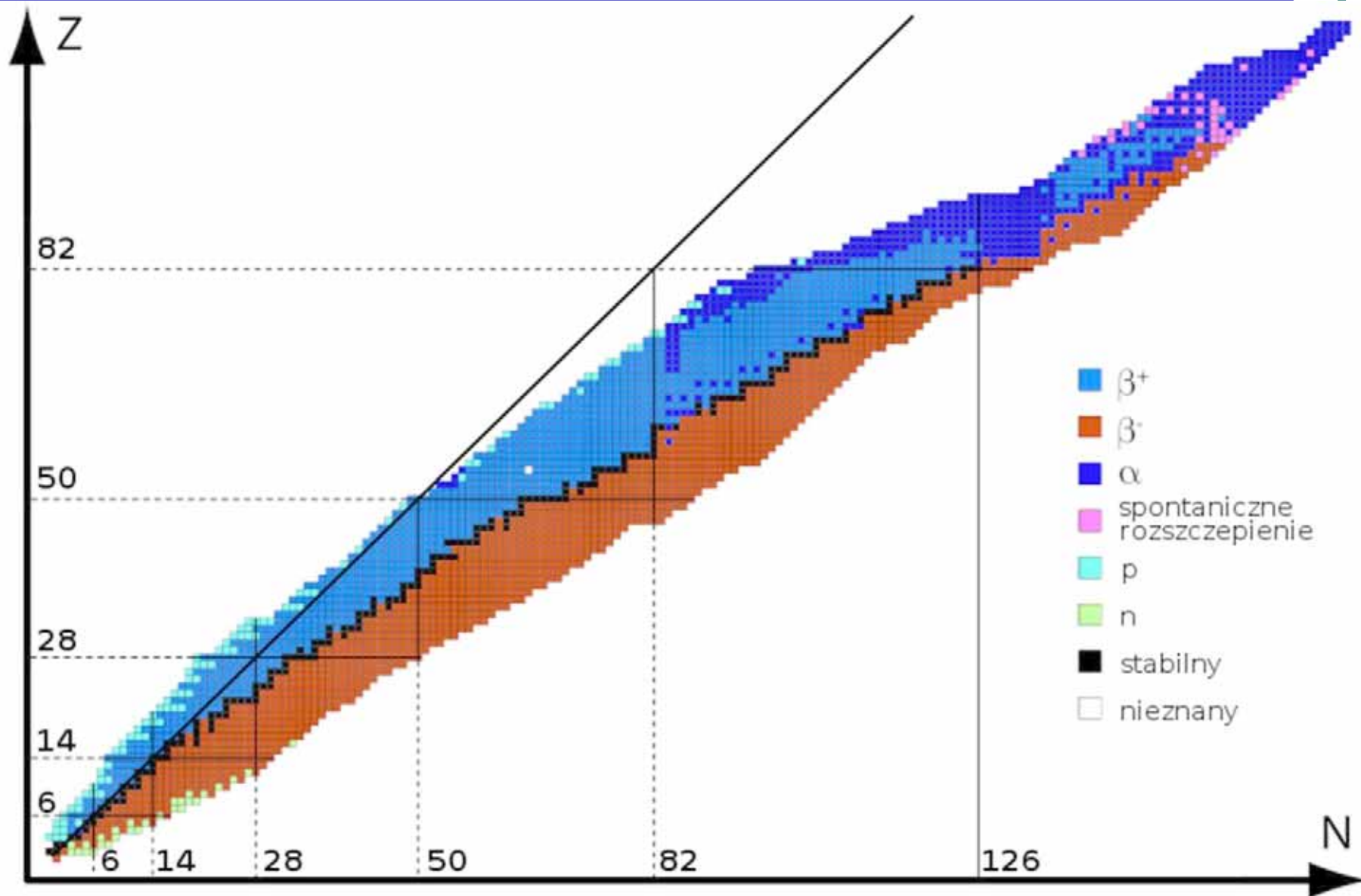
- **Znamy własności ok. 4000 izotopów**
- **Zaledwie 259 z nich, to izotopy trwałe**
- **Reszta rozpada się w krótszym lub dłuższym czasie, emitując promieniowanie elektromagnetyczne (**gamma**) lub korpuskularne (typowo **alfa**, **beta**). Takie izotopy nazywamy promieniotwórczymi**
- **Ich promieniowanie można wykorzystać w nauce, technice i medycynie**

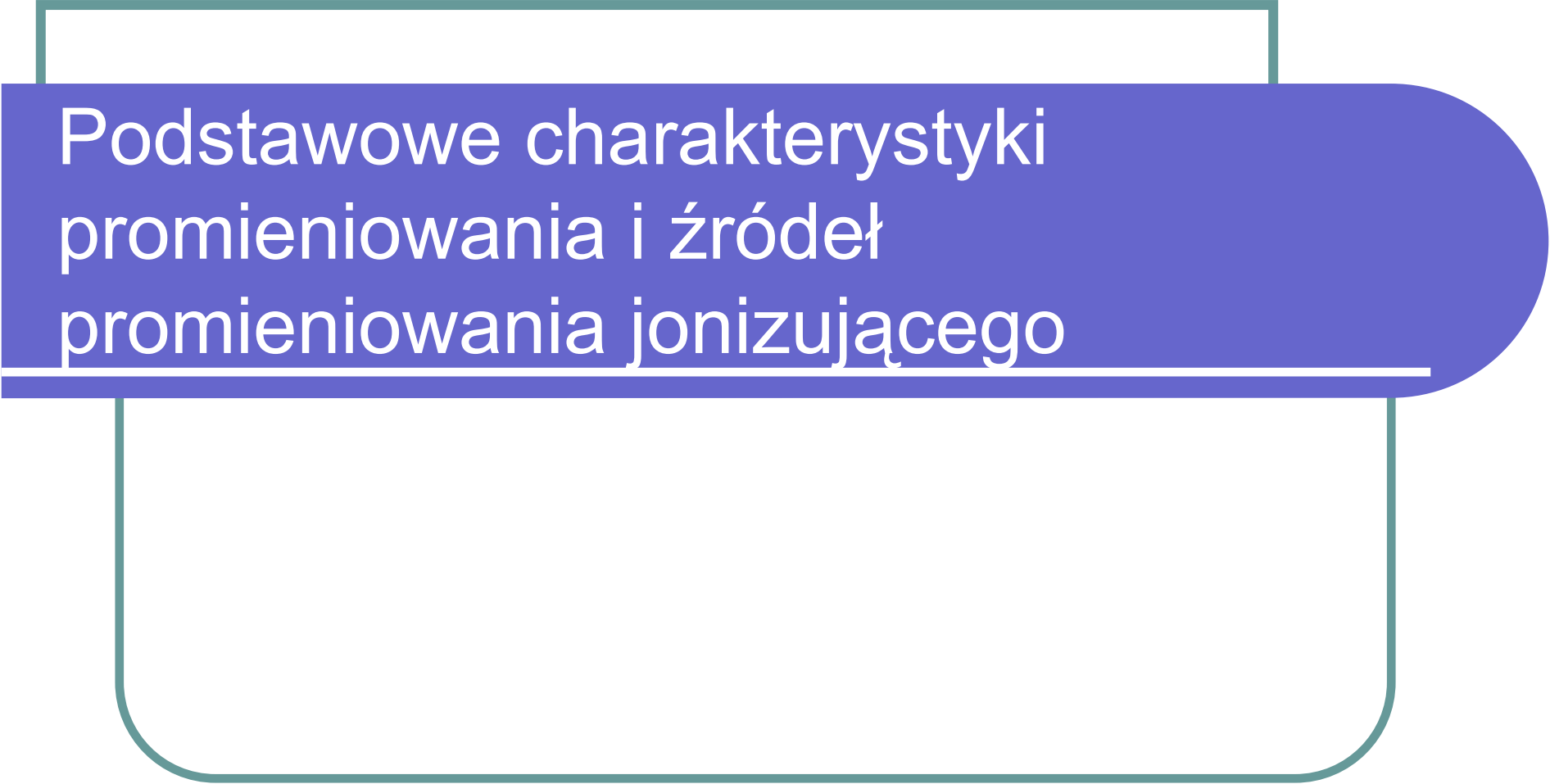
Typowe rodzaje korpuskularnego promieniowania jądrowego

- **Alfa** (α): jądra ${}^4\text{He}$
(2 protony, 2 neutrony)
- Istnieją dwa rodzaje promieniowania **beta**:
 - β^- - elektrony
 - β^+ - pozytony (anty-elektrony)

Promieniowanie tego rodzaju charakteryzuje szereg naturalnych źródeł istniejących w przyrodzie

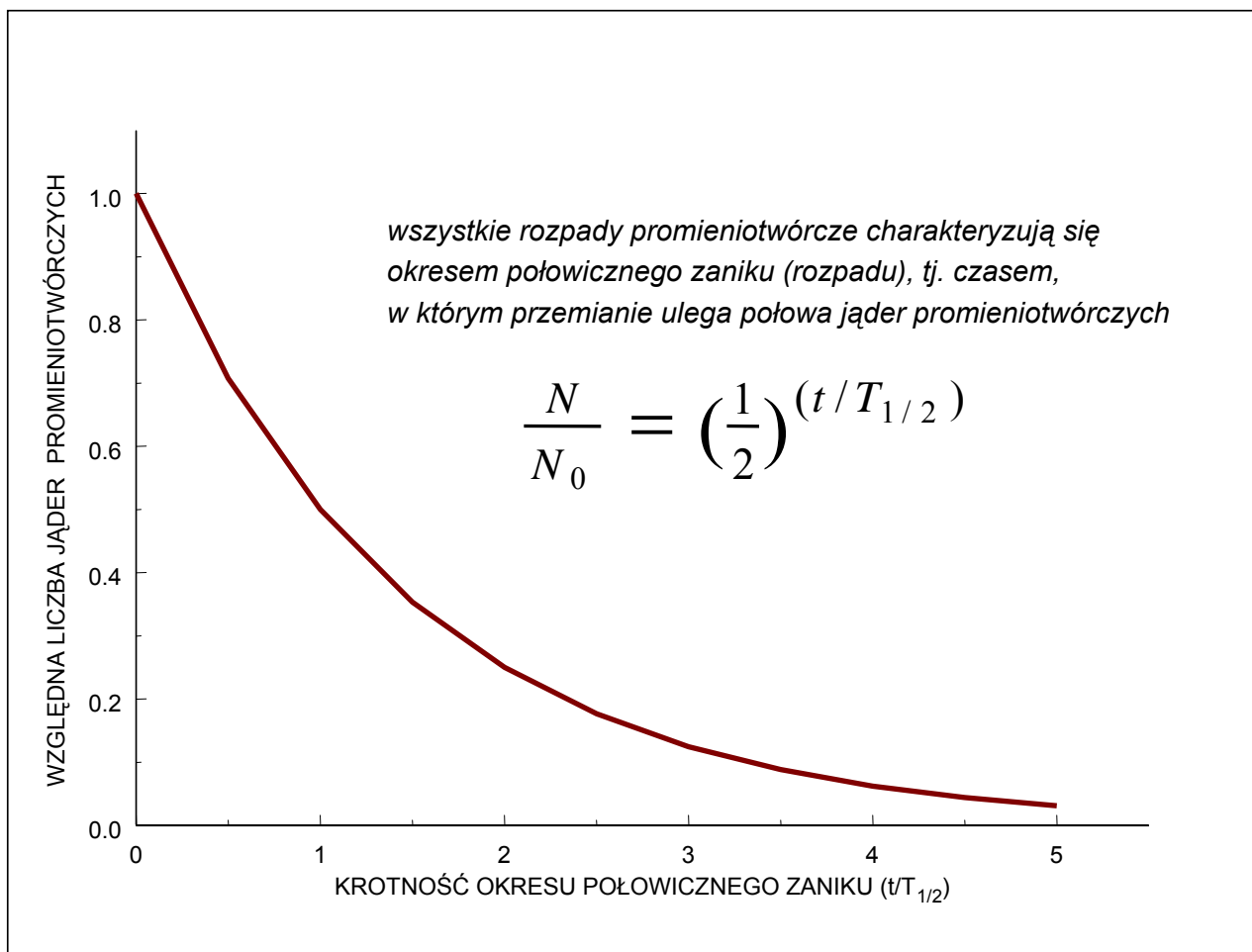
Tablica izotopów





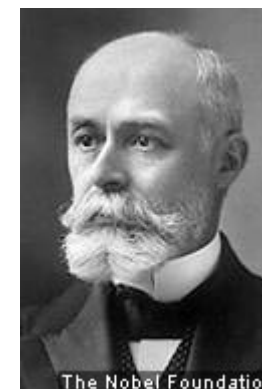
Podstawowe charakterystyki
promieniowania i źródeł
promieniowania jonizującego

Uniwersalne prawo rozpadu promieniotwórczego



Aktywność

- Aktywność źródła promieniotwórczego mierzymy w bekerelach (Bq): 1 Bq oznacza jeden rozpad na sekundę
- Dawną jednostką aktywność był kiur (Ci) – aktywność 1 grama radu: $1 \text{ Ci} = 37 \text{ miliardów Bq}$



Czy 1 Bq, to duża aktywność?

- Aktywność promieniotwórczego potasu (^{40}K) w naszym ciele, to w wypadku dorosłego człowieka około 4000-6000 Bq.
- W naszych mieszkaniach aktywność radonu wynosi około 50 Bq/m³
- Chociaż silne źródło promieniowania gamma, jakim jest źródło ^{60}Co zawiera miliardy bekereli i może zabić z odległości 5 metrów, jest nieszkodliwe z odległości 100 metrów
- 1 Bq opisuje aktywność ok. 27 razy większą niż 1 pCi, ale w sumie jest bardzo małą jednostką aktywności

Dawka pochłonięta



energia promieniowania, deponowana w jednostce masy danego materiału.

Mierzymy ją w grejach: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$

$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$

Ile wynosi dawka pochłonięta?

- **Prześwietlenie klatki piersiowej promieniowaniem X skutkuje dawką rzędu 0,0001 Gy.**
- **Średnio dostajemy od natury 3,3 mGy/rok**
- **1 grej jest dużą dawką. Dawka pochłonięta 3-4 Gy, dostarczona jednorazowo na całe ciało, może okazać się śmiertelną**

Dawka równoważna (lub równoważnik dawki)

dawka pochłonięta
z uwzględnieniem efektu
biologicznego danego rodzaju
promieniowania

$$H = D \times w_R \left[\frac{J}{kg} \right] \Leftrightarrow [Sv]$$

Dawkę równoważną wyrażamy
w siwertach: $1 Sv = 100 rem$

Np. promieniowanie alfa jest z biologicznego punktu widzenia ok. 20-krotnie „mocniejsze” niż promieniowanie X lub γ , tak więc dawka równoważna dla promieniowania α będzie 20 razy większa niż dla promieniowania X o tej samej energii



Dawka równoważna (lub równoważnik dawki)

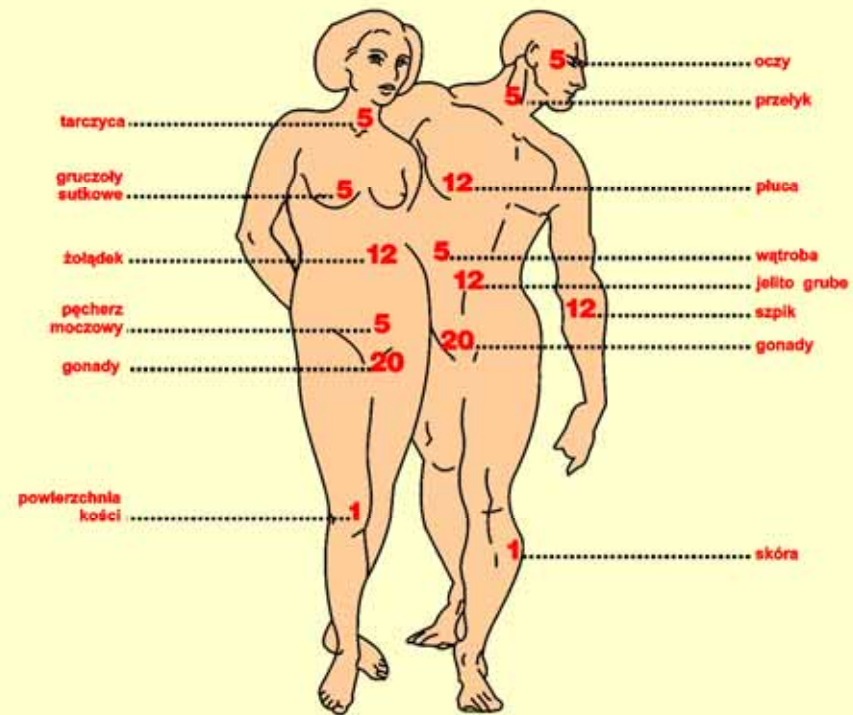
Rodzaj promieniowania, energia	$H = D \times w_R \left[\frac{J}{kg} \right] \Leftrightarrow [Sv]$	współczynnik wagowy promieniowania w_R
Fotony, wszystkie energie		1
Elektrony i miony, wszystkie energie		1
Neutrony, energie < 10 keV		5
Neutrony, energie > 10 keV do 100 keV		10
Neutrony, energie > 100 keV do 2 MeV		20
Neutrony, energie > 2 MeV do 20 MeV		10
Neutrony, energie > 20 MeV		5
Protony z wyłączeniem protonów odrzutu, energie > 2 MeV		5
Cząstki alfa, fragmenty rozszczepienia, ciężkie jądra		20

Dawka efektywna (skuteczna)

- Każdy narząd reaguje inaczej, a więc z dawki dostarczonej do całego ciała inny ułamek przypada na gonady (20%), a inny na powierzchnię kości (1%) lub skórę.
- Czynniki wagowe dla poszczególnych narządów:

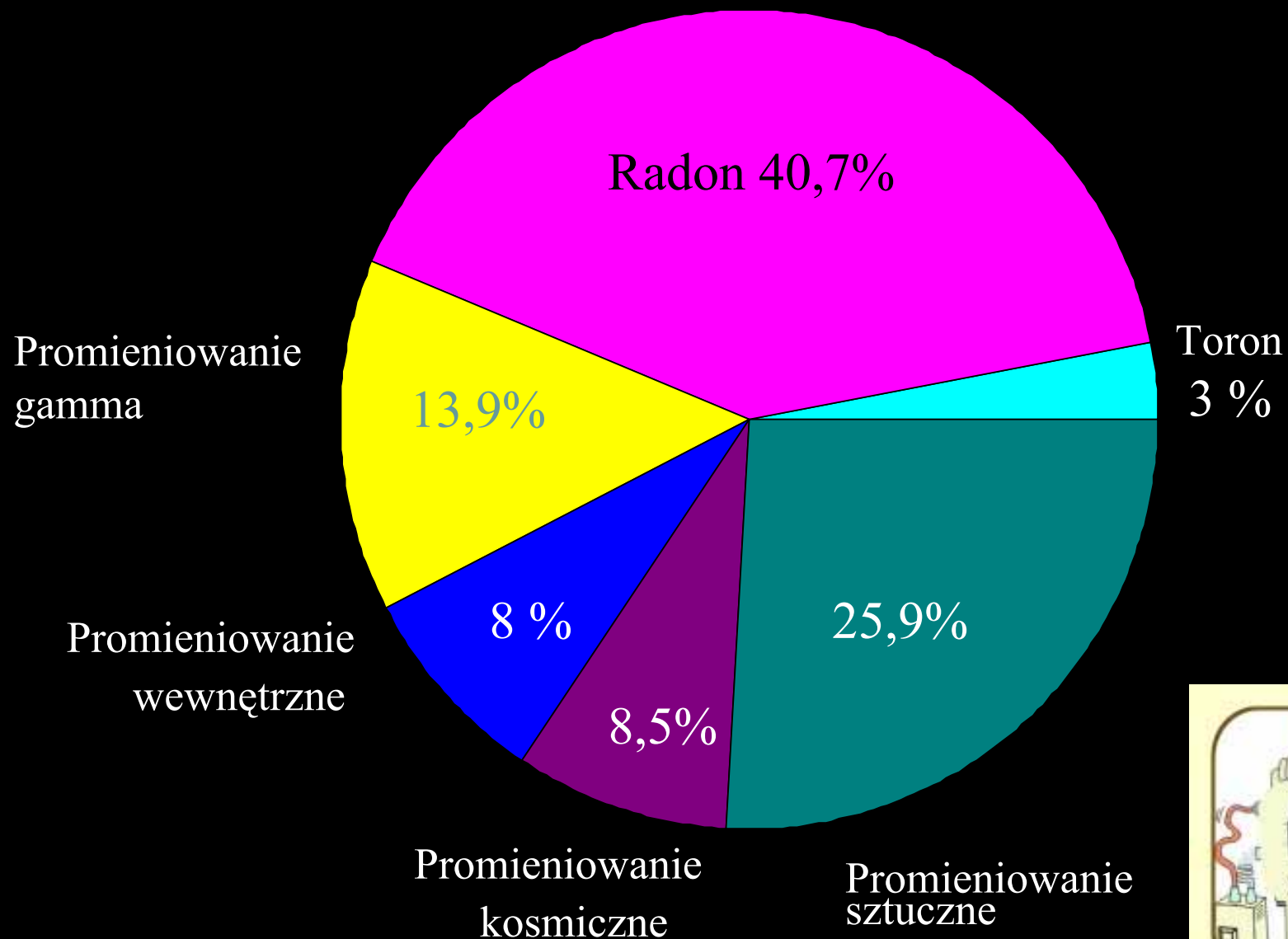
0.01	0.05	0.12	0.20
Powierzchnia kości	Pęcherz	Szpik	Gonady
Skóra	Pierś	Jelito grube	
	Wątroba	Płuca	
	Trzustka	Żołądek	
	Tarczycyca		
	Inne		

Promienioczułość narządów

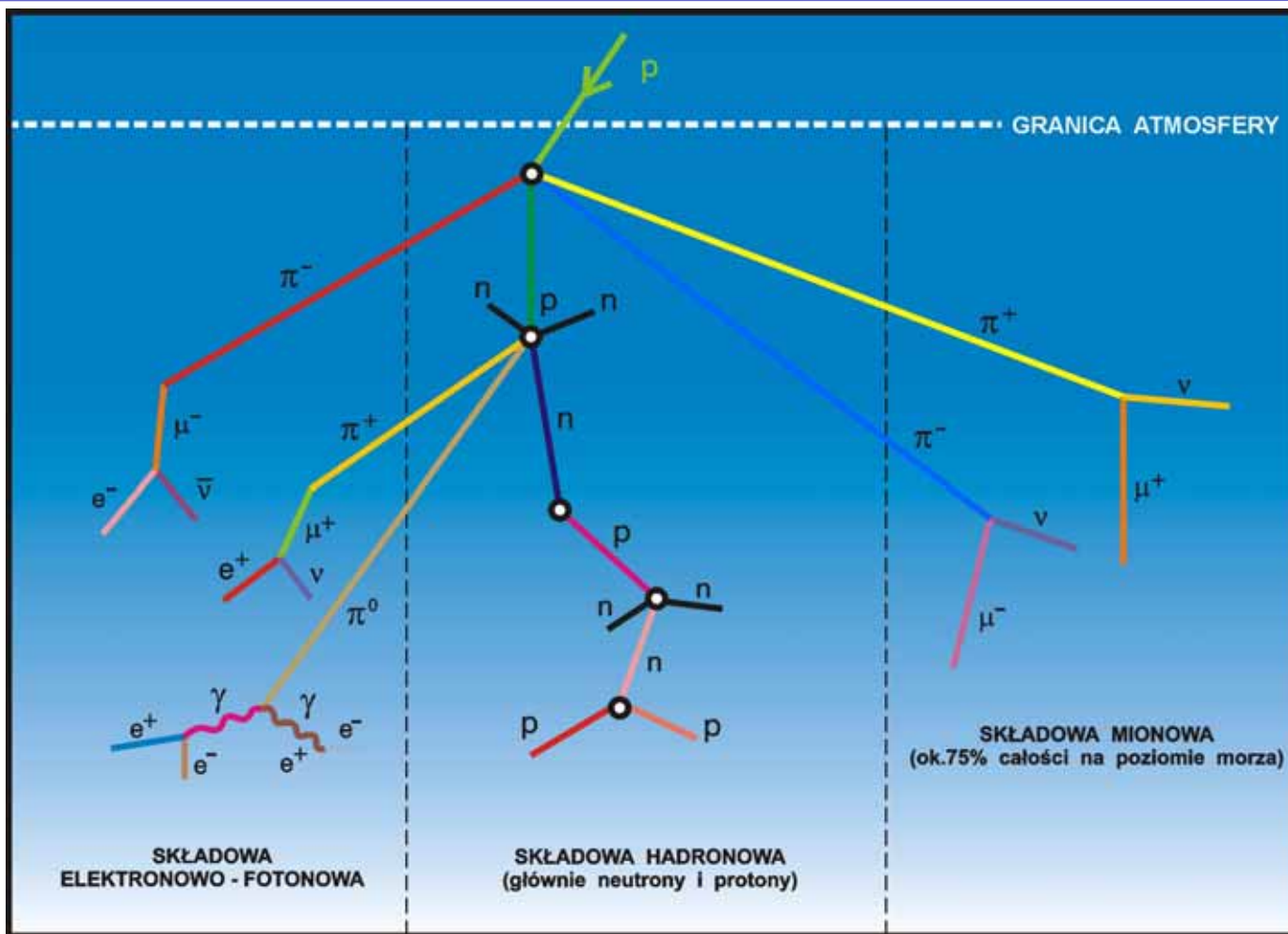


Promieniotwórczość środowiska

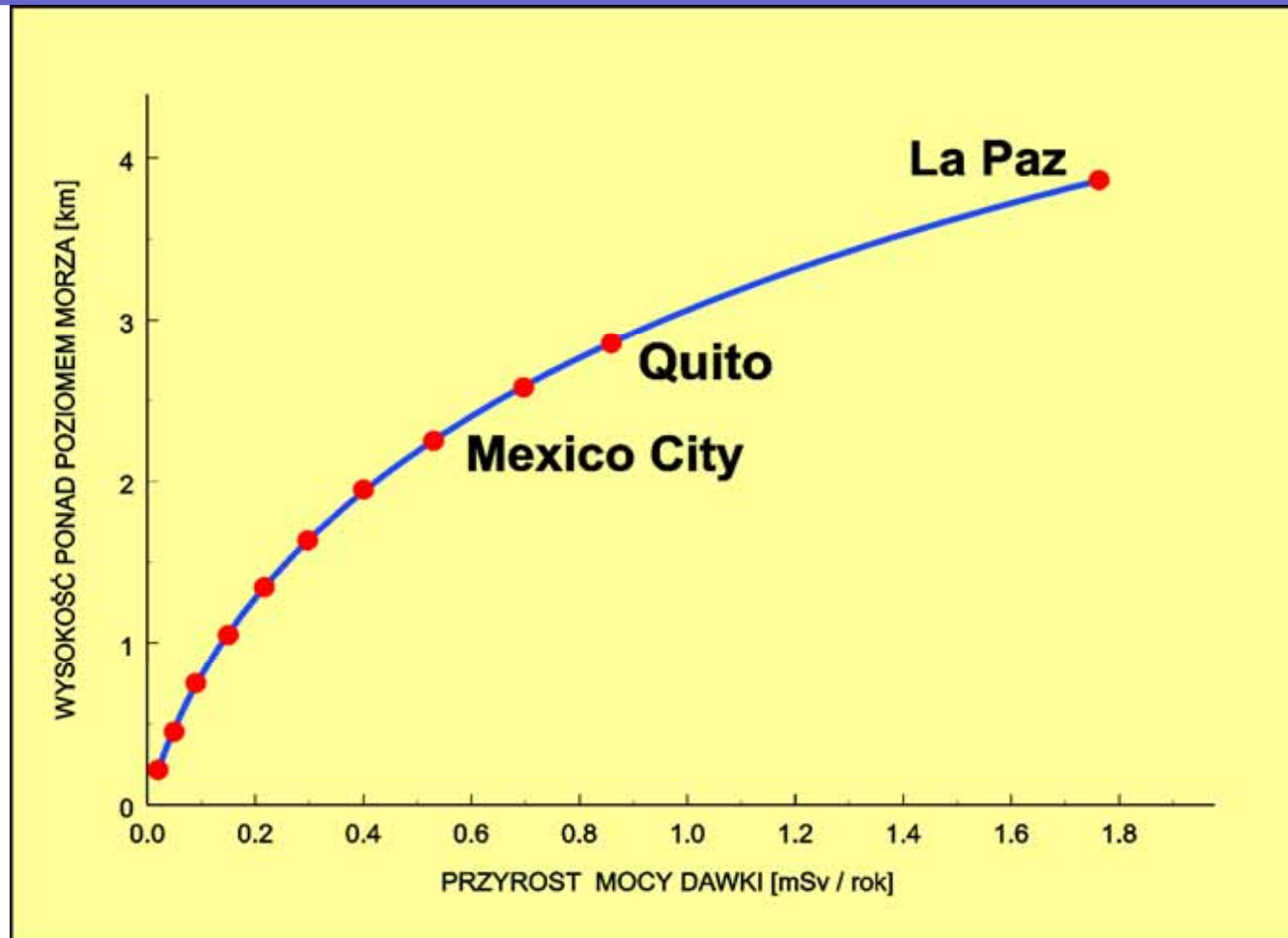
ROCZNY EFEKTYWNY RÓWNOWAŻNIK DAWKI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO (3,3 mSv) w 2004 r.



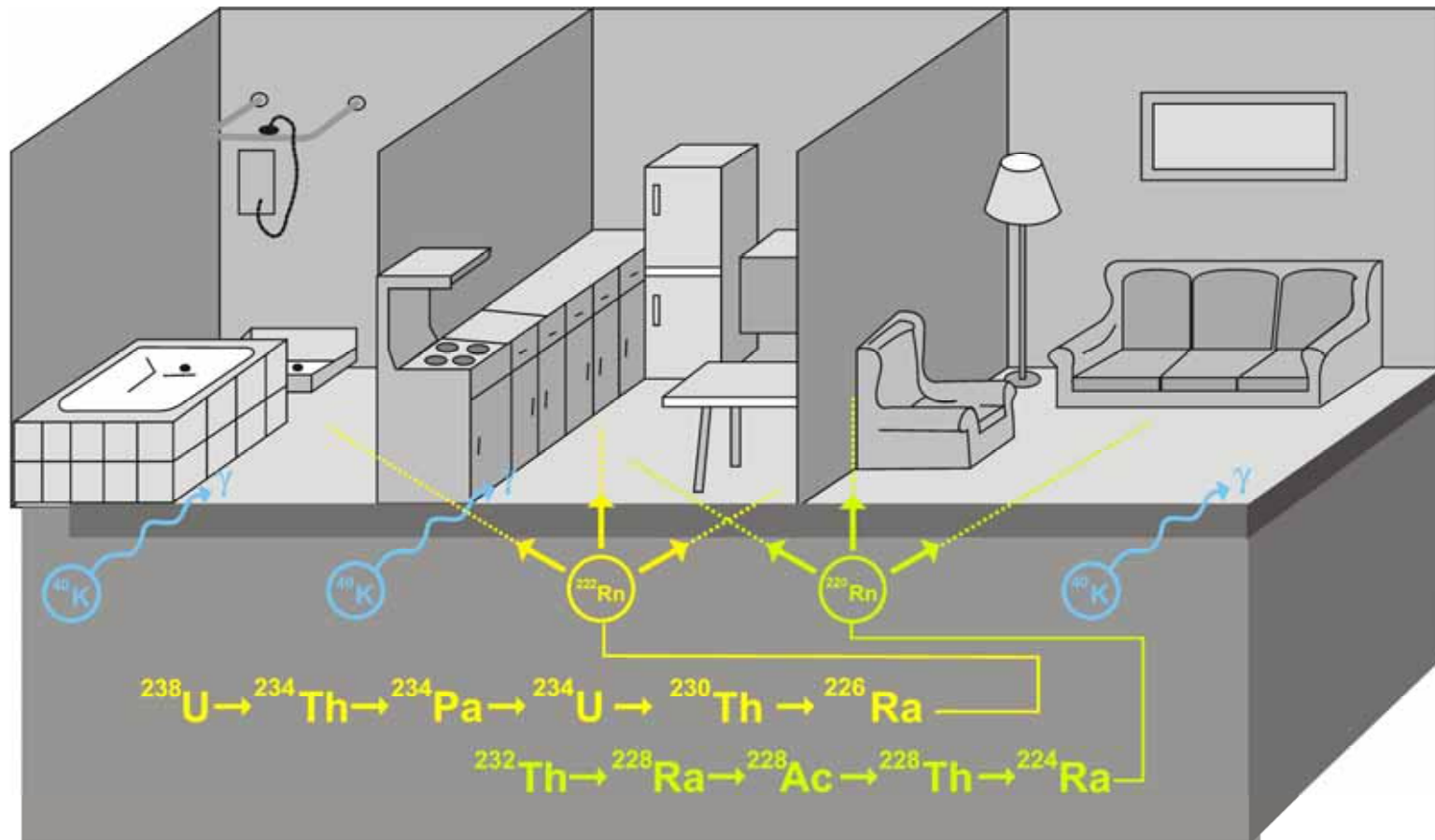
Promieniowanie kosmiczne



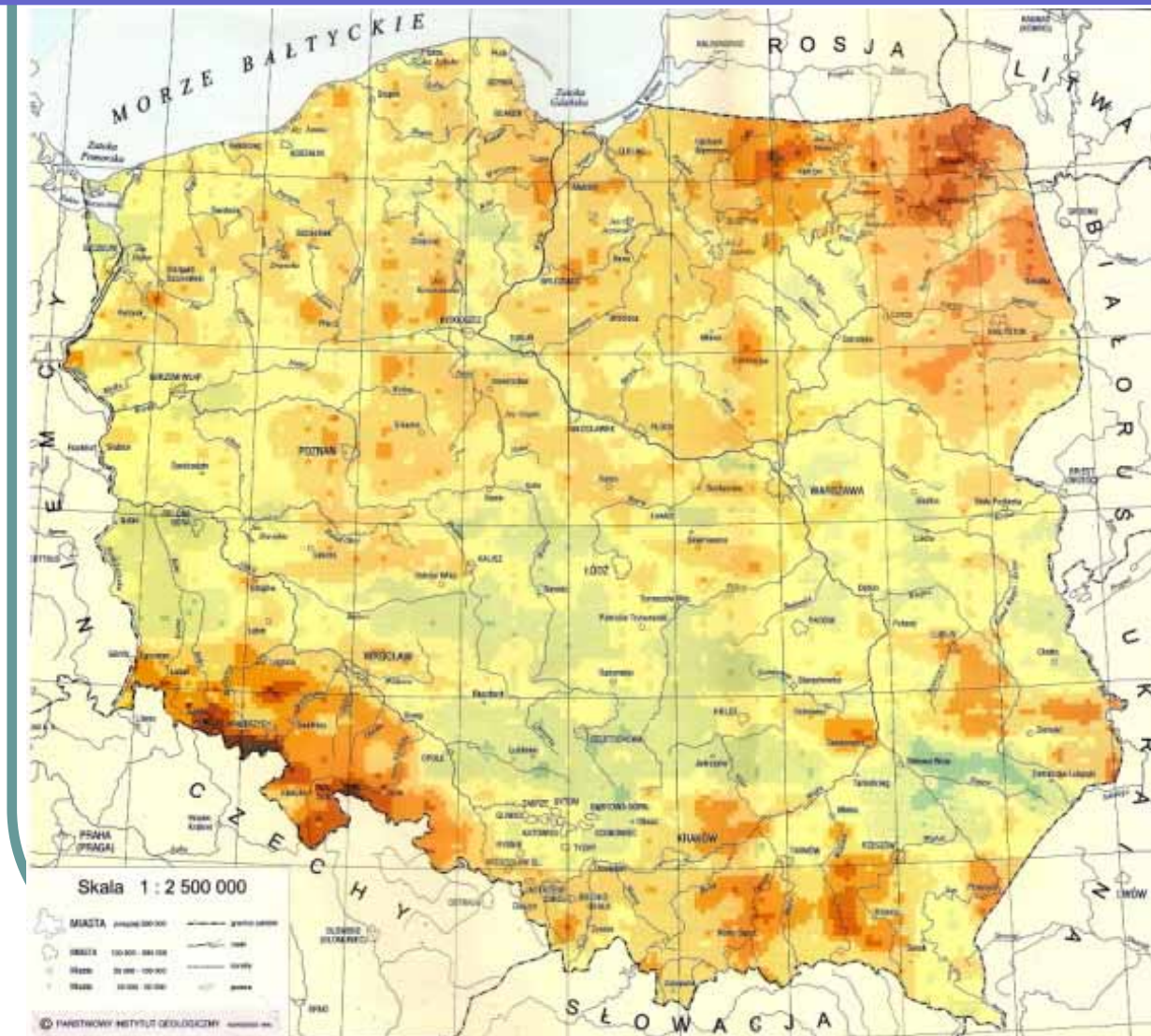
Im wyżej, tym większa dawka



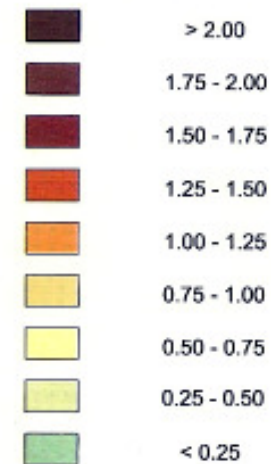
Radon i toron



Promieniotwórczość naturalna w Polsce

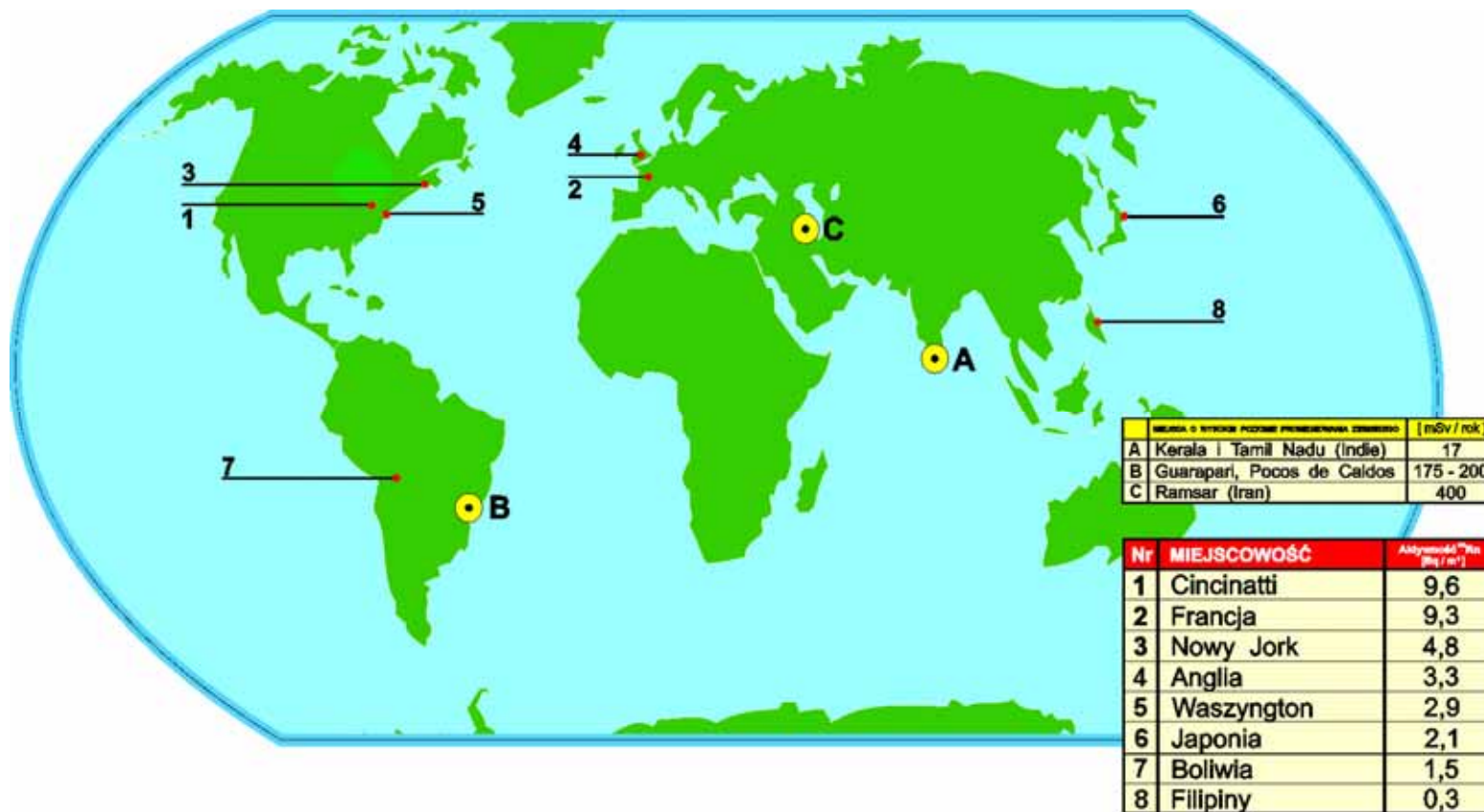


Zawartość potasu
w glebie [%]



Źródło:
Atlas Radioekologiczny, 1994
© Państwowy Instytut Geologiczny

Miejsca o wysokim poziomie promieniowania



Promieniotwórczość naturalna na Świecie

- Miejsca podwyższonego promieniowania tła na Ziemi

- Źródło: <http://www.taishitsu.or.jp/radiation/>

Ramsar/Maharat (Iran)
do 260 mGy/rok



Guarapari (Brazylia)
do 35 mGy/rok



Kerala (Indie)
do 35 mGy/rok



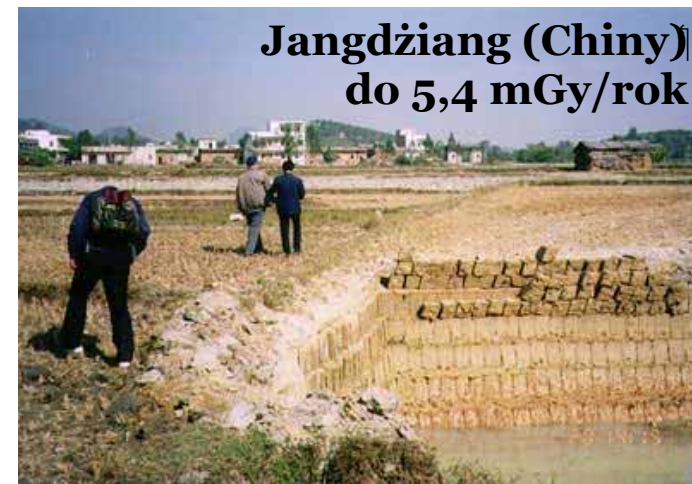
Jangdziang (Chiny)
do 5,4 mGy/rok



Promieniotwórczość naturalna na Świecie

- Miejsca podwyższonego promieniowania tła na Ziemi

● Źródło: <http://www.taishitsu.or.jp/radiation/>



Człowiek umowny: skład pierwiastkowy

Przeciętny Europejczyk o wadze 70 kg i wzroście 170 cm składa się z:

O	61%	43 kg	Cl	0,12%	95 g	Pb	0,00017%	0,12 g
C	23%	16 kg	Mg	0,027%	19 g	Cu	0,0001%	72 mg
H	10%	7 kg	Si	0,026%	18 g	Al	0,00009%	61 mg
N	2,6%	1,8 kg	Fe	0,006%	4,2 g	Cd	0,00007%	50 mg
Ca	1,4%	1 kg	F	0,0037%	2,6 g	B	0,00007%	48 mg
P	1,1%	780 g	Zn	0,0033%	2,3 g	Ba	0,00003%	22 mg
S	0,2%	140 g	Rb	0,00046%	0,32 g	I	0,00002%	13 mg
K	0,2%	140 g	Sr	0,00046%	0,32 g	Sn	0,00002%	17 mg
Na	0,14%	100 g	Br	0,00029%	0,20 g

Promieniowanie wewnętrzne:

izotop	aktywność [1 Bq = 1 rozpad/sekundę]	rodzaj promieniowania	zasięg w ludzkim ciele
^3H	75 Bq	β	0,5 μm
^{14}C	2690 Bq	β	39 μm
^{40}K	4340 Bq	β (90%) γ (10%)	1600 μm (nie dotyczy)
^{87}Rb	625 Bq	β	95 μm

Te izotopy znajdują się w naszym pożywieniu i powietrzu, którym oddychamy.

Są one niezbędne dla naszego zdrowia.

W sumie produkują niewielkie promieniowanie.

Promieniowanie wewnętrzne związane z ludzką działalnością

Opad promieniotwórczy po próbach z bronią jądrową

- Izotopy promieniotwórcze trafiają do organizmu drogą pokarmową oraz przez wdychanie
- W zasadzie wszyscy ludzie są narażeni na taki efekt

Wypadki przemysłowe i odpady promieniotwórcze

- Czernobyl
- Three Mile Island
- Porzucone źródła w b. ZSRR



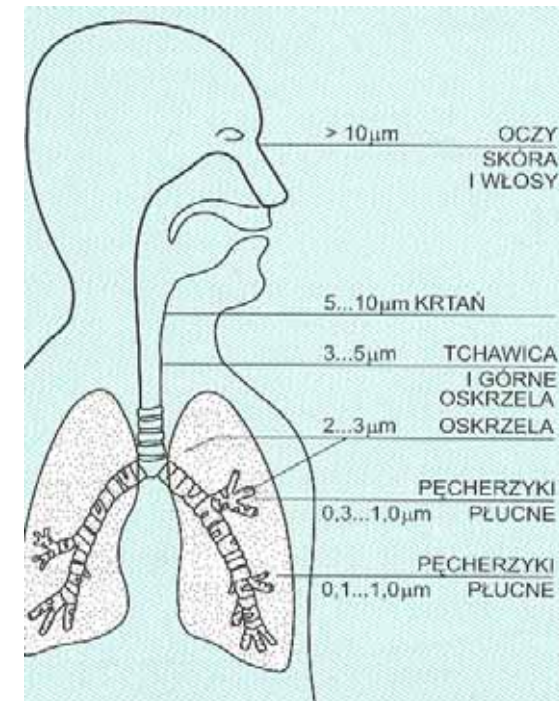
Emitery wewnętrzne

- Szczególne cechy chemiczne i fizyczne, typowe dla danego izotopu
- Szczególny rozkład w ciele oraz czas przebywania w organizmie

Własności fizyczne a rozkład izotopów w organizmie

W płucach i węzłach chłonnych mogą osadzać się bardzo małe cząsteczki materiałów promieniotwórczych

Te mogą napromieniowywać narządy wewnętrzne, a czas napromienianie zależy od okresu połowicznego zaniku izotopu oraz od biologicznego czasu życia pierwiastka w organizmie.



Własności cząstek a wnikanie ich do organizmu

- Cząsteczki, które nie rozpuszczają się w wodzie przenikają drogą inhalacji; małe cząstki dostające się do płuc mogą w nich przebywać bardzo długo
- Większe cząstki zainhalowane lub połknięte mogą zostać wydalone z organizmu

Okresy połowicznego zaniku

- Izotopy stosowane w procedurach medycznych mają z reguły krótki okres połowicznego zaniku

^{99m}Tc - 6 godz.

^{131}I - 8 dni

- Niektóre izotopy pochodzące z opadów po wybuchach jądrowych mogą mieć nadzwyczaj długie okresy połowicznego zaniku. Np. ^{239}Pu – 24 000 lat

Okresy połowicznego zaniku niektórych emiterów wewnętrznych

^{99m}Tc (technet)	6 godz.
^{133m}Ba (bar)	38 godz.
^{131}I (jod)	8 dni
^{144}Ce (cer)	284 dni
^{137}Cs (cez)	27 lat
^{90}Sr (stront)	28 lat
^{239}Pu (pluton)	24 000 lat

Masa atomowa jest także ważna

^{131}I

8 dni

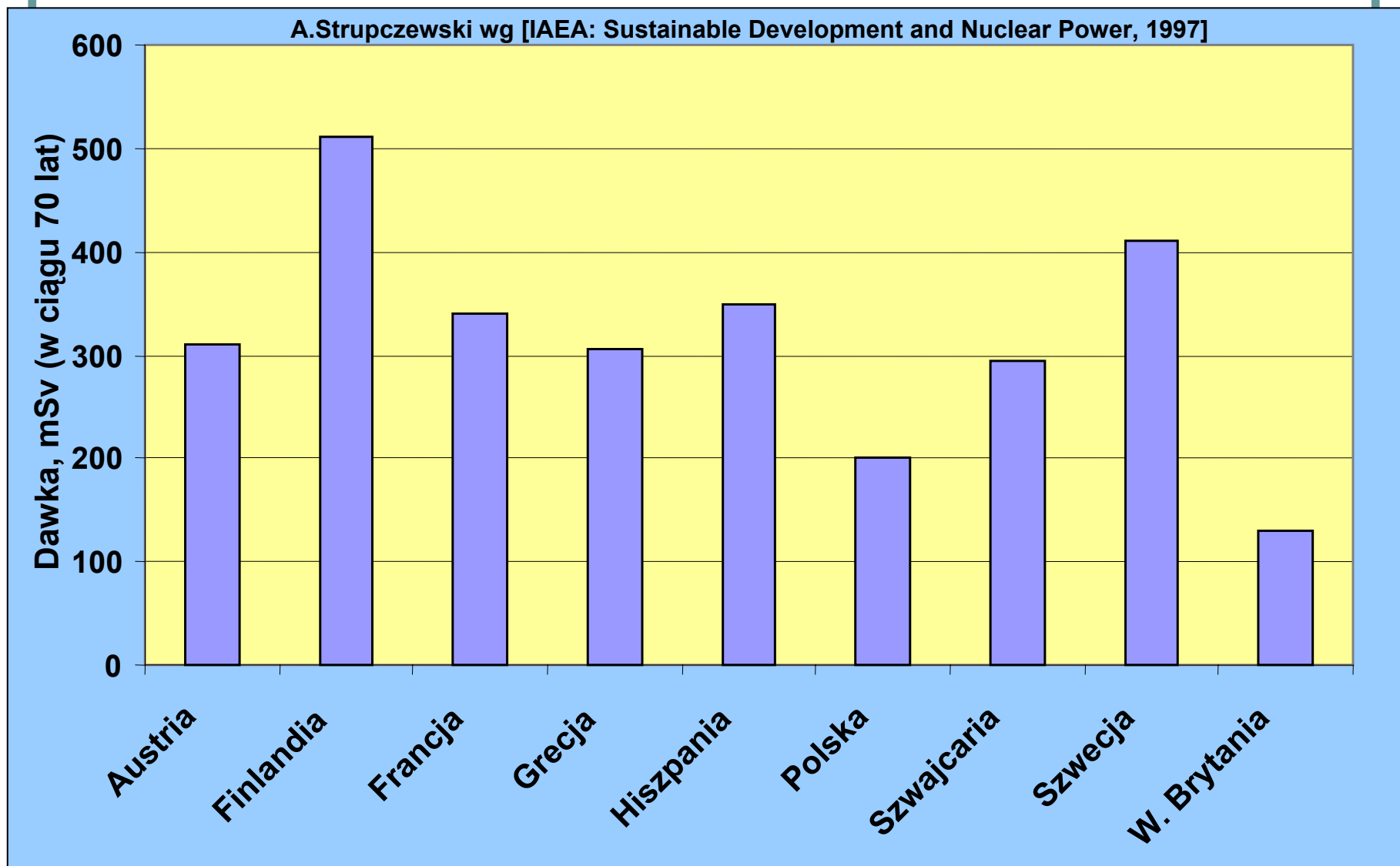
^{129}I

10^7 lat

Dawka pochodząca z izotopu krótkożyciowego
jest znacznie większa niż z długożyciowego
o tej samej masie

1 μg izotopu ^{131}I napromieniowuje identycznie
jak 1 kg izotopu ^{129}I

Promieniowanie - nieodłączny element naszego środowiska

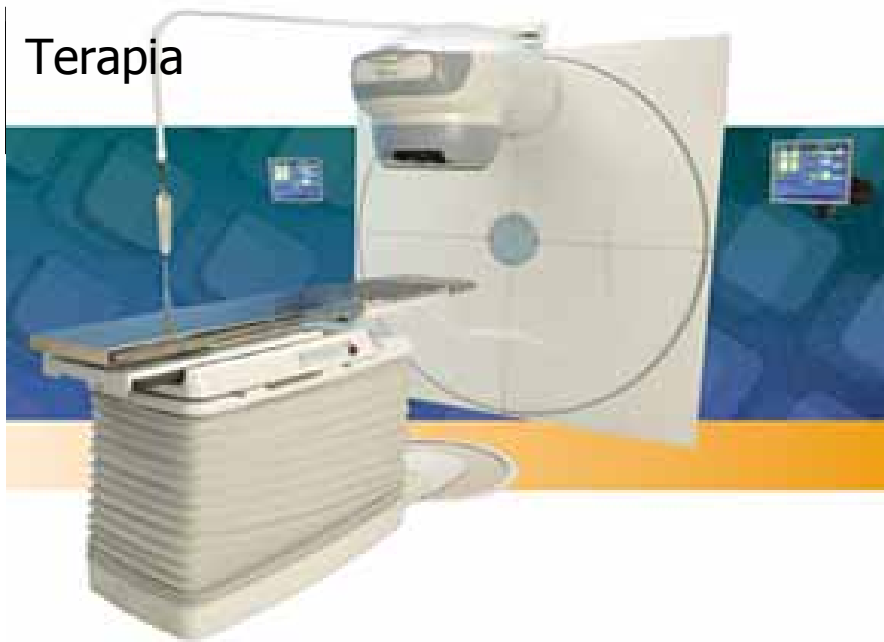




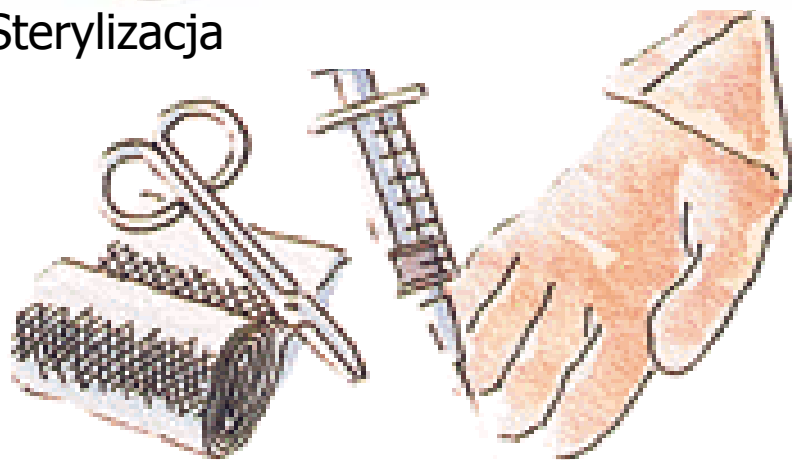
Zastosowania

Promieniowanie gamma w medycynie

Terapia



Sterylizacja

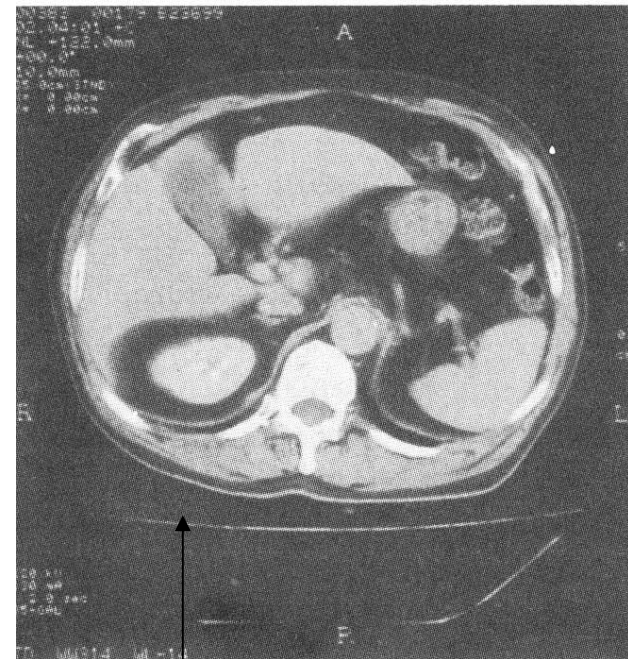


Bomba kobaltowa



Diagnostyka: gamma-kamera

Tomografia komputerowa



Przekrój przez brzuch

Na świecie wykonuje się

- *5,5 milionów zabiegów terapeutycznych z użyciem promieniowania jonizującego*
- *32 miliony badań z zastosowaniem substancji promieniotwórczych*
- *2 miliardy diagnostycznych badań rentgenowskich*

Dawki od sztucznych źródeł

Okolo 0,70 mGy/rok

Procedury medyczne	0,53
Produkty użytkowe	0,10
Przelot samolotem nad oceanem	0,02
Stary telewizor kolorowy	0,01
Spanie z drugą osobą	0,01
Pozostałość opadów z testów	<0,01
Przemysł jądrowy	<0,01

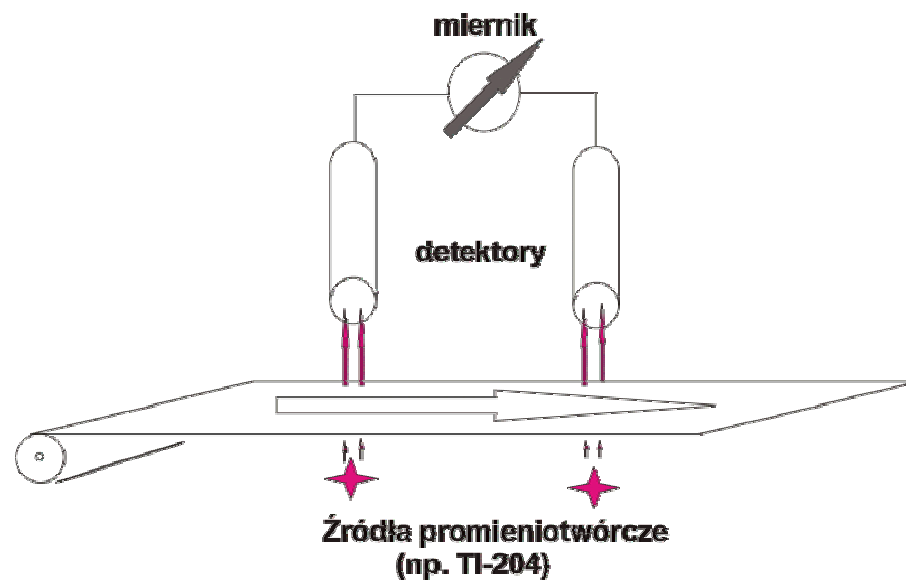
Bizuteria i bibeloty ze szkła uranowego



Promieniotwórcze substancje w użyciu

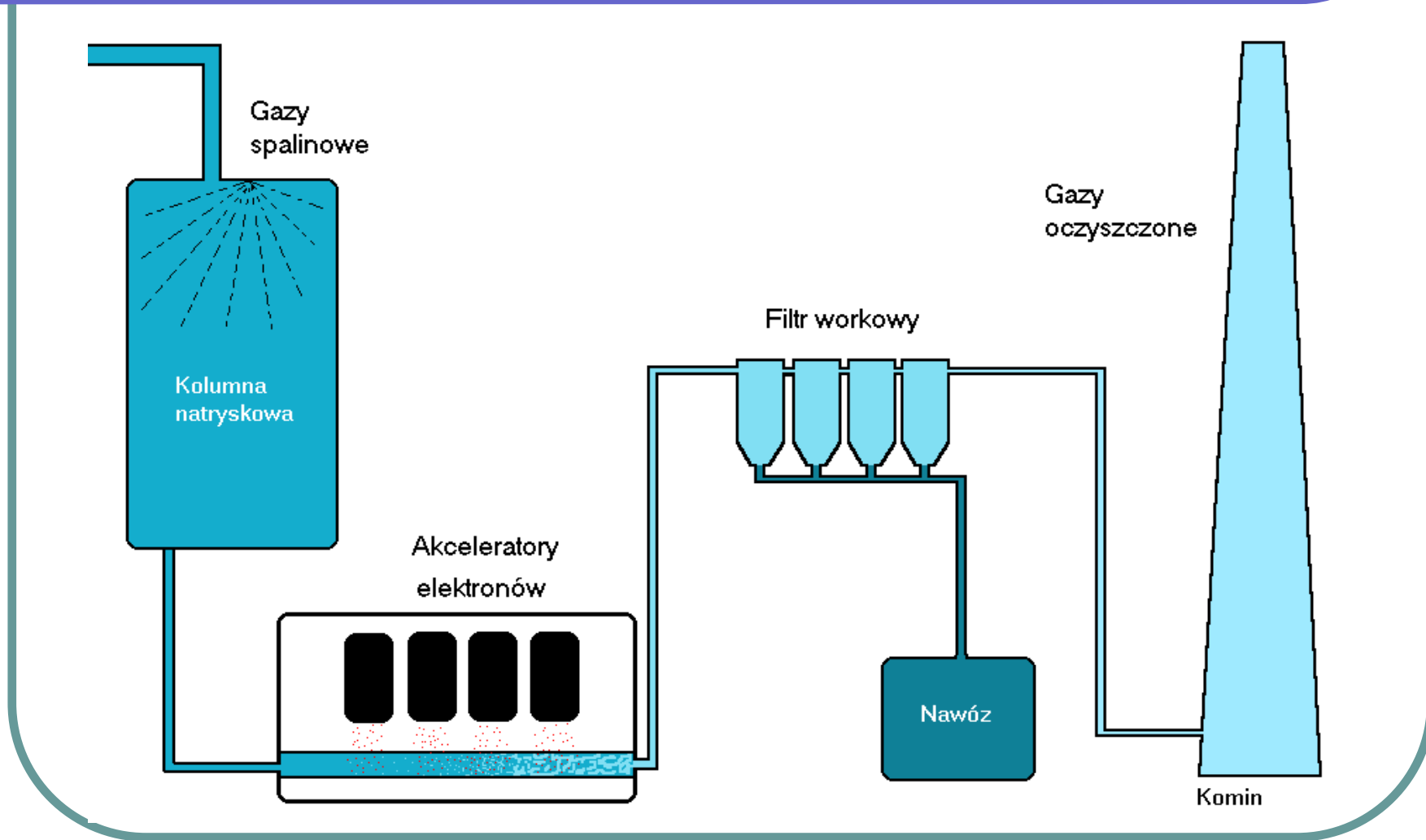


Wygląd typowej czujki dymu



Schemat miernika grubości papieru

Oczyszczanie gazów odlotowych



Utrwalanie żywności

Napromieniowywanie żywności chroni ją przed zepsuciem się.



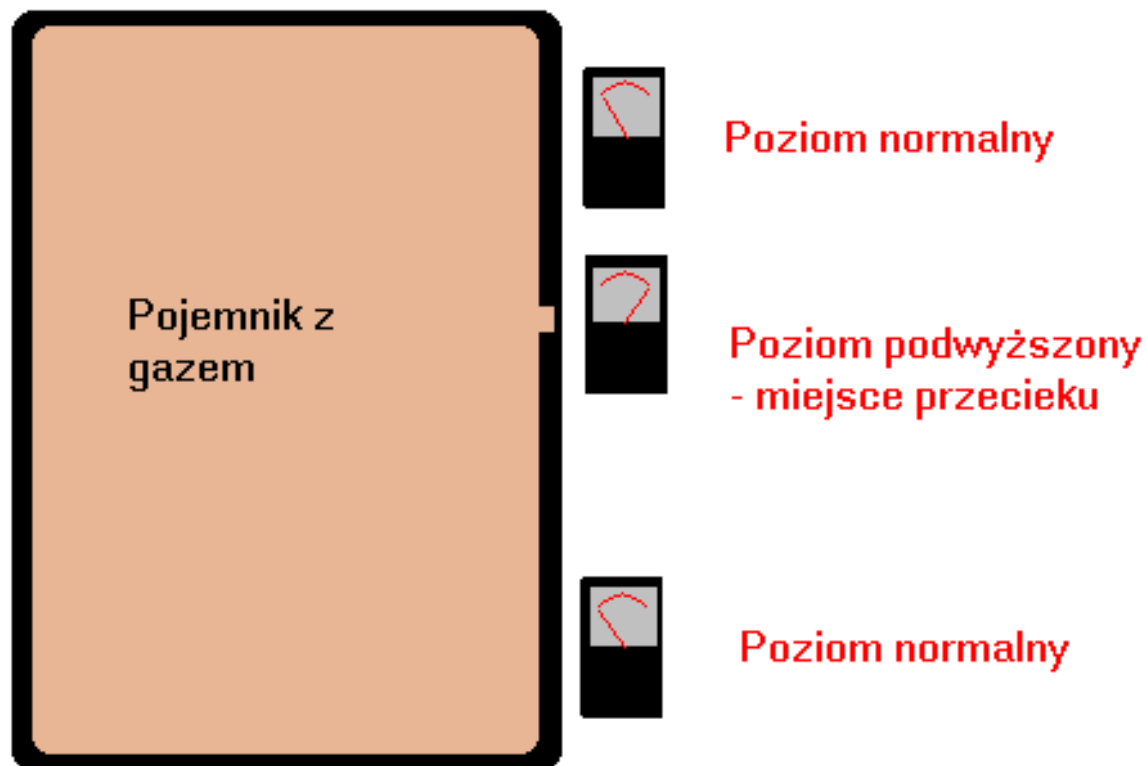
Grzyby nie napromieniowane



Grzyby napromieniowane

Badania szczelności zbiorników

Wpuszczając do zbiornika niewielką ilość neutralnego chemicznie gazu promieniotwórczego można wykryć miejsca, gdzie ścianka zbiornika jest cieńsza – tam przechodzi przez nią więcej promieniowania.



W badaniach malowideł (autoradiografia neutronowa)

Po naświetleniu neutronami różne warstwy farby aktywują się w różny sposób.

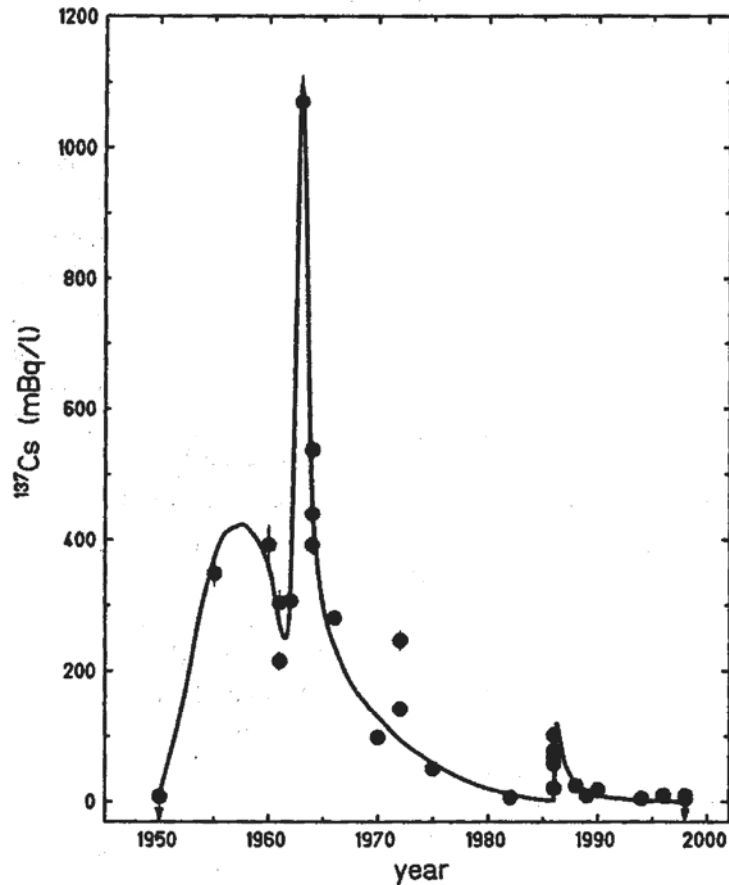


Datowanie znalezisk izotopem ^{14}C

Węgiel ^{14}C występuje w każdej substancji organicznej, a więc także w farbie zrobionej na bazie substancji roślinnych lub zwierzęcych.

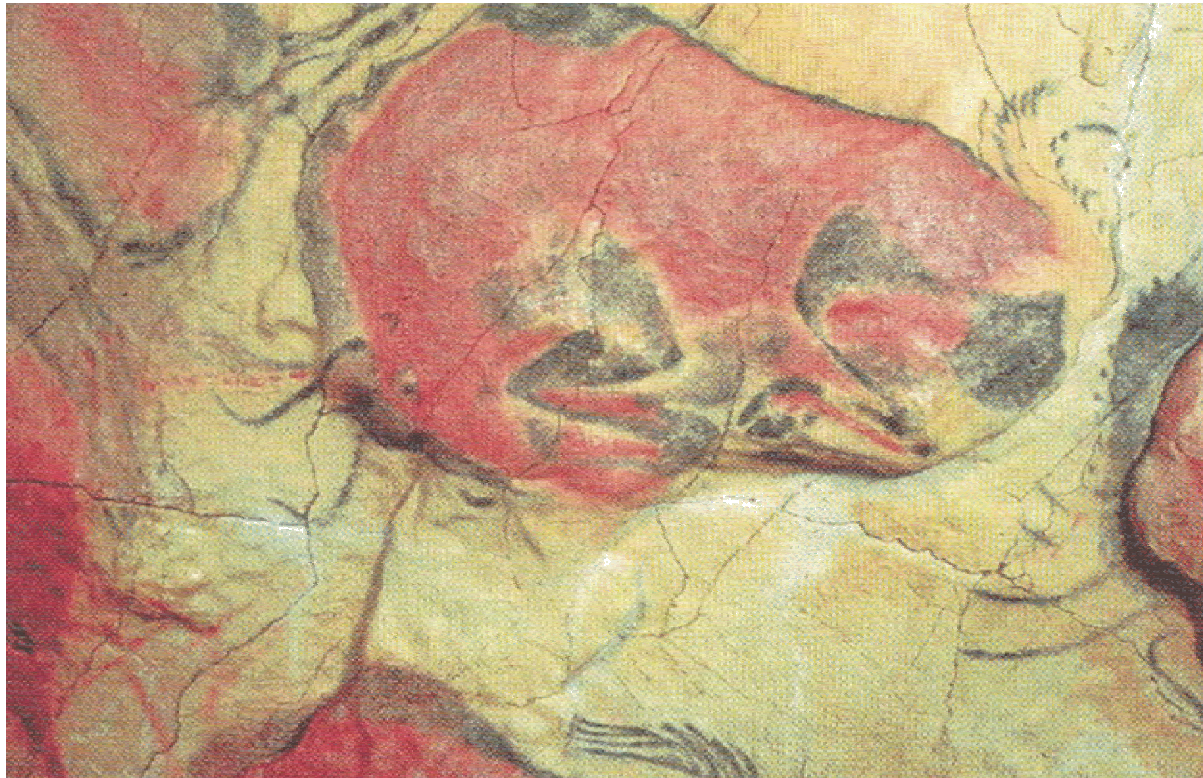


Aktywność ^{137}Cs w winie Bordeaux



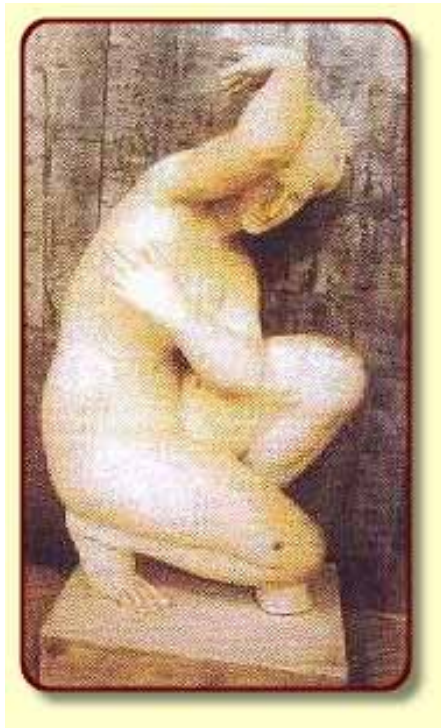
Minimalne, ale wykrywalne ilości promieniotwórczego cezu znajdują się w winie. Jego stężenie zmieniało się w miarę upływu lat, także na skutek działalności człowieka (np. próby nuklearne w latach 60-tych).

Badanie składu farby



Prehistoryczne malowidło naskalne w Altamirze (Płn. Hiszpania)

Badania struktury marmuru



Rzeźba Afrodyty w Luwrze

Radiacyjna dezynfekcja

Cenne i spleśniałe znaleziska archeologiczne można zdezynfekować promieniowaniem nie niszcząc ich. Dzięki temu naukowcy mogą bezpiecznie badać mumie faraonów nie obawiając się żadnej „klątwy” (a tak właściwie to chorób wywoływanych przez pleśń).



Mumia Ramzesa II

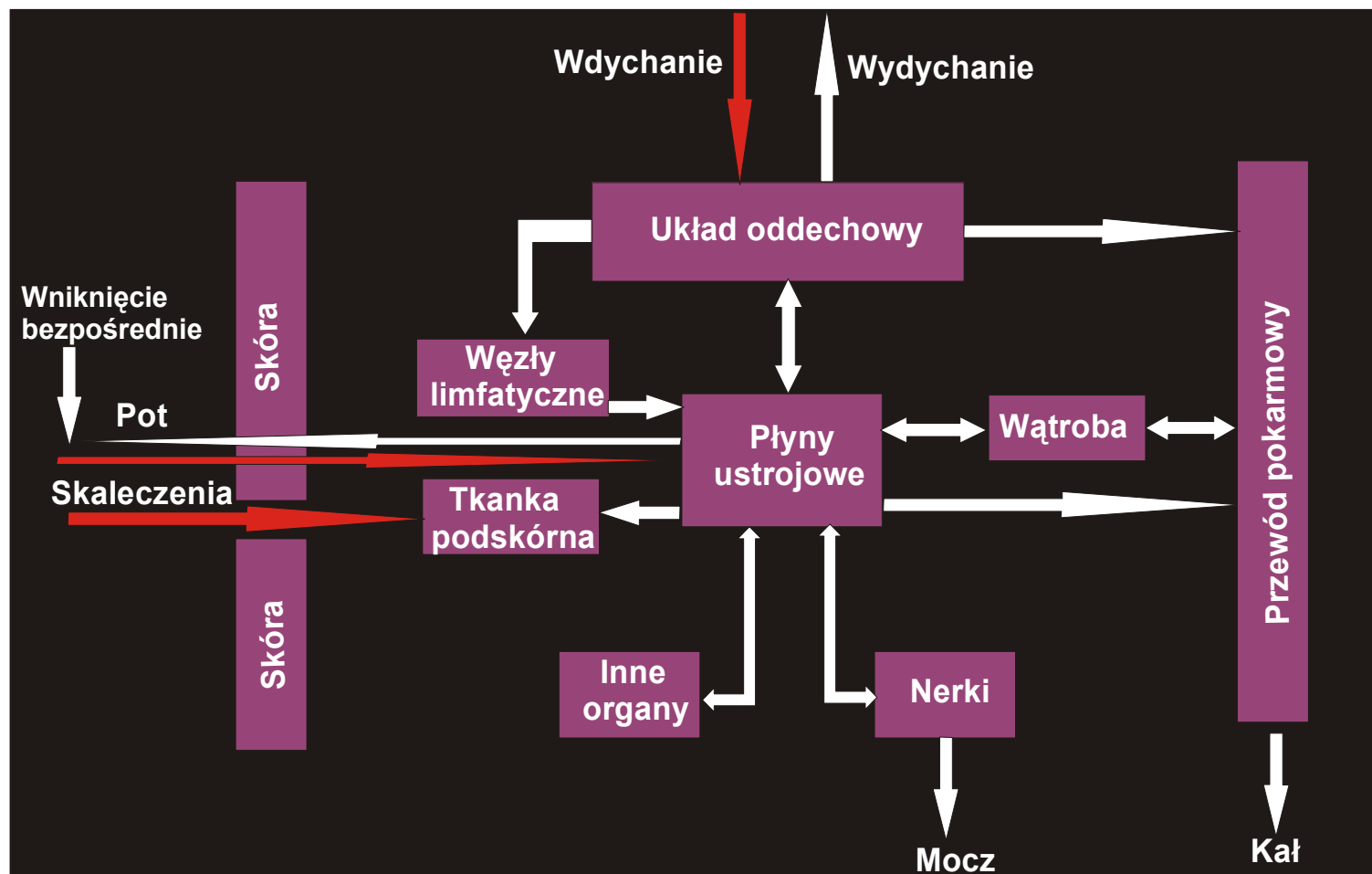


Narażenie i ryzyko

Narażenie na promieniowanie jonizujące

- ❑ **narażenie zawodowe**
- ❑ **narażenie ogółu ludności**
- ❑ **narażenie medyczne**

Napromieniowanie zewnętrzne i wewnętrzne



Prysznic z cząstek promieniowania jonizującego

Przez każdego z nas przenika około **15 000** cząstek/sekundę promieniowania jonizującego!

W trakcie oglądania tej prezentacji przez każdego z Państwa przejdzie około **60 000 000** cząstek



Dlaczego więc żyjemy?

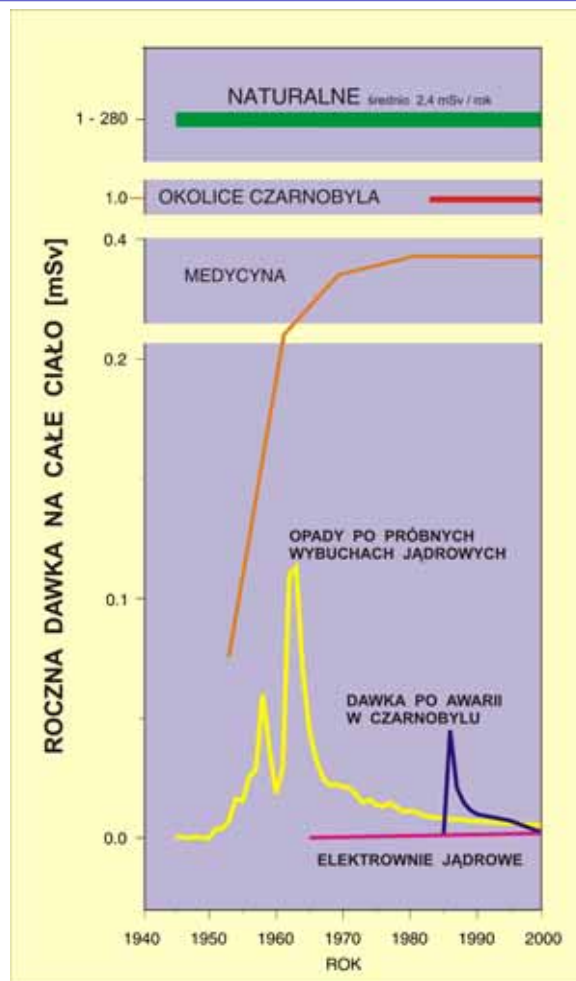
Oto jest pytanie!

Paracelsus (XVI w.)

- To dawka czyni daną substancję trującą
- Przy napromieniowywaniu żywności promieniowanie może działać na białka i powodować zmiany, które następnie mogą być szkodliwe dla konsumentów.
- Wykorzystywana przy napromienieniu substancji dawka jest tak dobierana, aby wykluczyć wystąpienie szkodliwych efektów.
- A już z całą pewnością nie czynimy żywności promieniotwórczą.



Ewolucja średnich dawek na Świecie



Porównując średnie dawki otrzymywane ze źródeł sztucznych i naturalnych widzimy, że nawet najgorsze skażenia wywołane działalnością człowieka skutkują średnią dawką mniejszą niż ta, która jest używana do leczenia i ponad stukrotnie mniejszą niż naturalna.

W wielu przypadkach należy jednak brać pod uwagę dawkę indywidualną dla danego człowieka.

Źródło: Z.Jaworowski, wg danych UNSCEAR

Hipoteza LNT

- LNT: *Linear Non-Threshold* – hipoteza liniowa, bezprogowa
- Szkodliwość promieniowania jonizującego rośnie liniowo z dawką promieniowania w całym zakresie dawek
- Hipoteza ta jest podstawowym źródłem zaleceń ochrony radiologicznej, rekomendowanych przez ICRP (*International Commission of Radiation Protection*)
- Zgodnie z zaleceniem ICRP chronimy ludność przed dodatkową dawką 1 mSv/rok

Skutki deterministyczne (wczesne)

Skutki dużej, krótkotrwałej ekspozycji, w wyniku której następuje śmierć pewnej liczby komórek. Efekt ten występuje dopiero przy przekroczeniu pewnego progu dawki.

Napromienienie pojedynczych narządów:






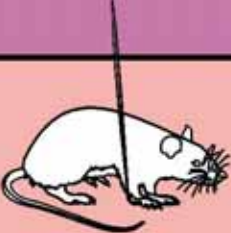






- rumień porentgenowski (skóra) – ok. 4 Sv,
- katarakta (oczy) – ok. 5 Sv,
- bezpłodność u kobiet – 3 Sv, u mężczyzn – ok. 2 Sv.

Dawki na całe ciało – choroba popromienna

Choroba popromienna

Rozwój ostrej choroby popromiennej poprzedzają nudności i wymioty, które na jakiś czas ustępują, by potem objawić się w postaci któregoś z trzech zespołów:

- **Hematopoetycznego** (dawki 2-10 Gy): destrukcja szpiku kostnego, krwotoki tkankowe, załamanie się odporności organizmu – śmierć w przeciągu kilku tygodni
- **Jelitowego** (dawka 10-100 Gy): brak łaknienia, senność, wysoka temperatura, silna biegunka – śmierć w ciągu kilku dni
- **Mózgowo-naczyniowego** (dawka powyżej 100 Gy): pobudzenia naprzemienne z apatią, utratą równowagi, zaburzeniami koordynacji ruchowej, spadkiem ciśnienia krwi, drgawkami – śmierć wskutek obrzęku mózgu i wzrostu ciśnienia wewnątrzczaszkowego w ciągu kilku godzin

 5 000	 10
 1 000	 8,5
 1 000	 8
 800	 5
 200	 2,5 - 3
 150	 2,5

Dawki LD50/30 [Sv]

Dawka,
po której
50%
napromienionych
osobników
umiera w ciągu
30 dni.

Skutki stochastyczne (późne)

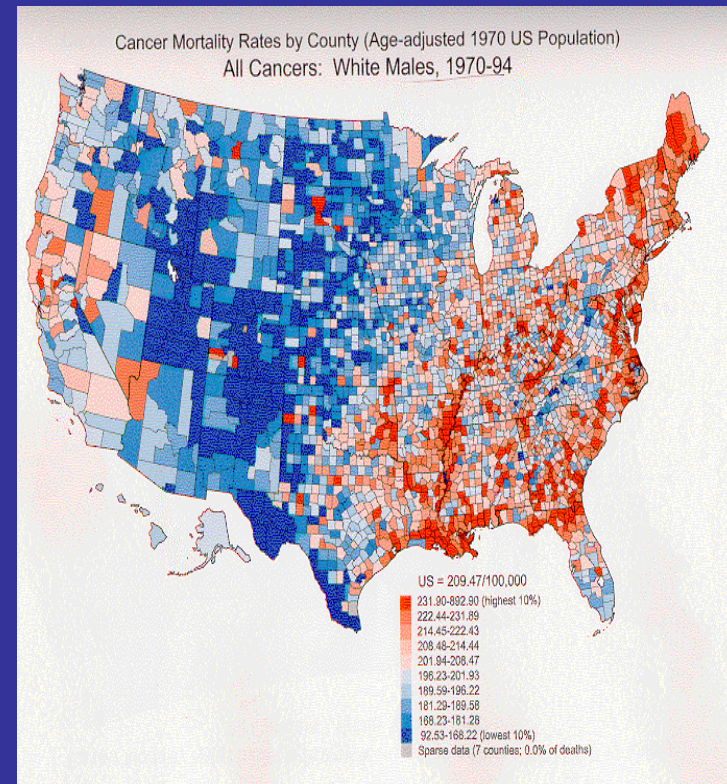
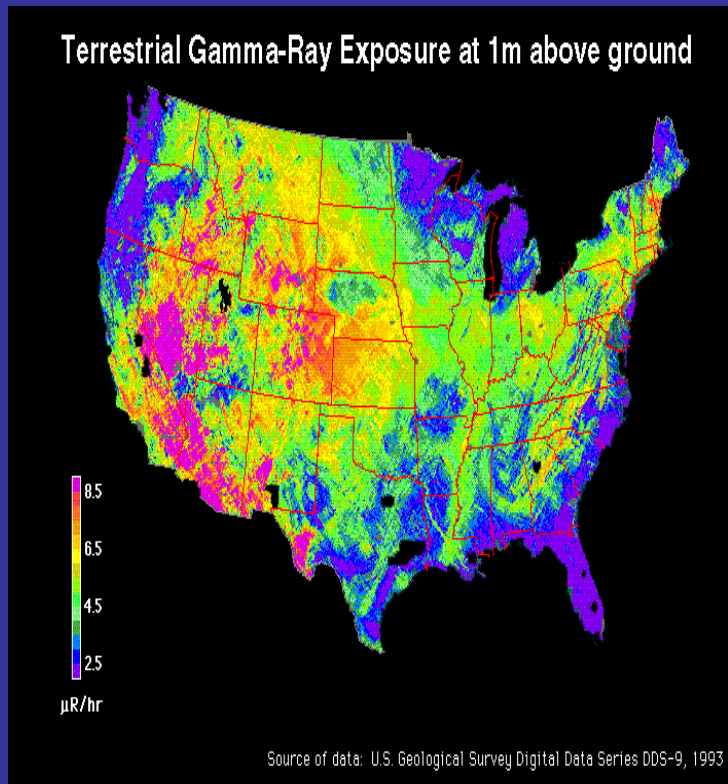
- **Nowotwory złośliwe i białaczki - pojawiają się po kilku latach**
- **Skrócenie czasu życia**
- **Inne (przeważnie „narządowe”, jak zaćma, bezpłodność)**

W obszarze dawek powyżej ok. 100 mSv, ze wzrostem dawki rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia nowotworu.

Sytuacja w obszarze mniejszych dawek jest niejasna.

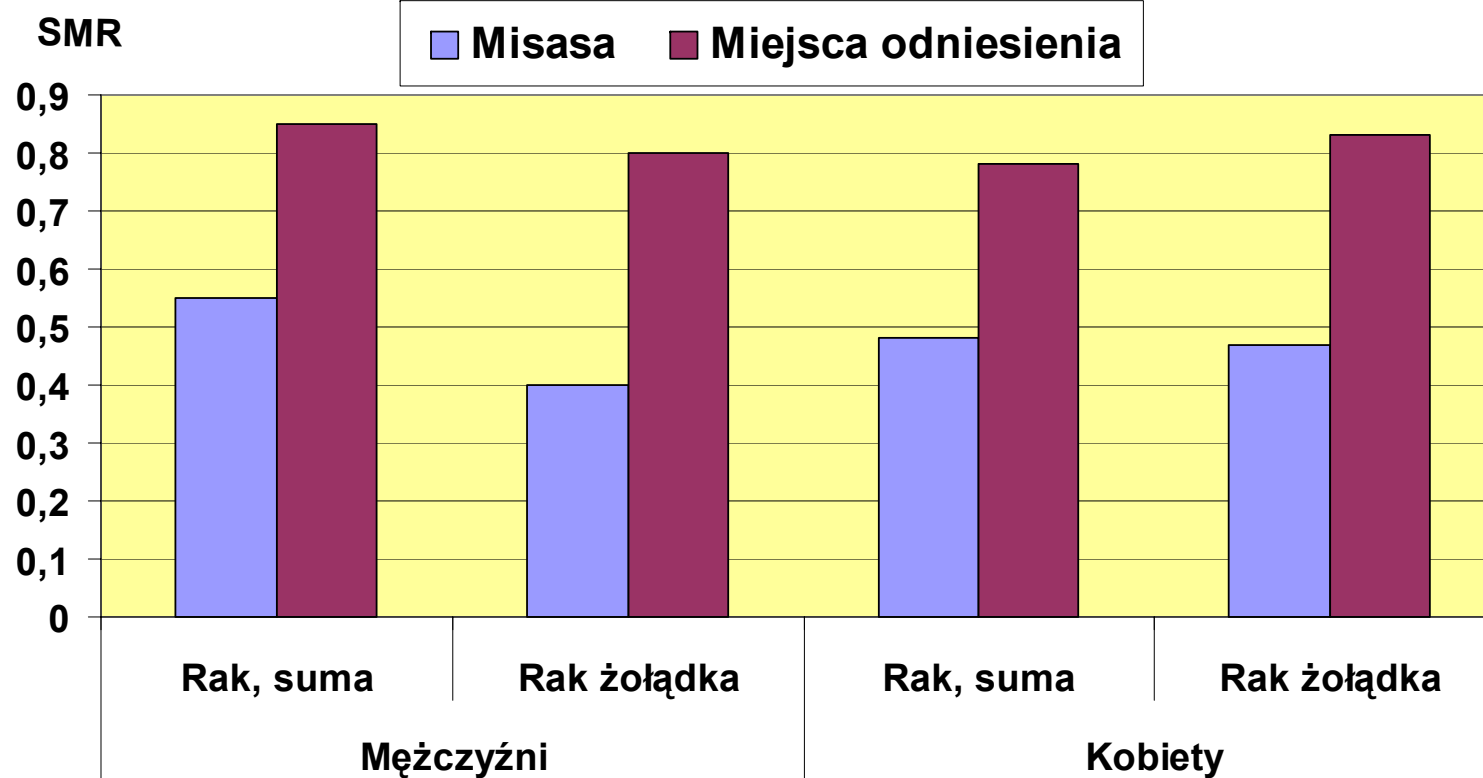
Tam gdzie promieniowanie gamma jest wysokie (z lewej)
zapadalność na nowotwory jest mała (z prawej)

Ottawa U – I. E. - International Centre for Low-Dose Radiation Research (Jan 2002)

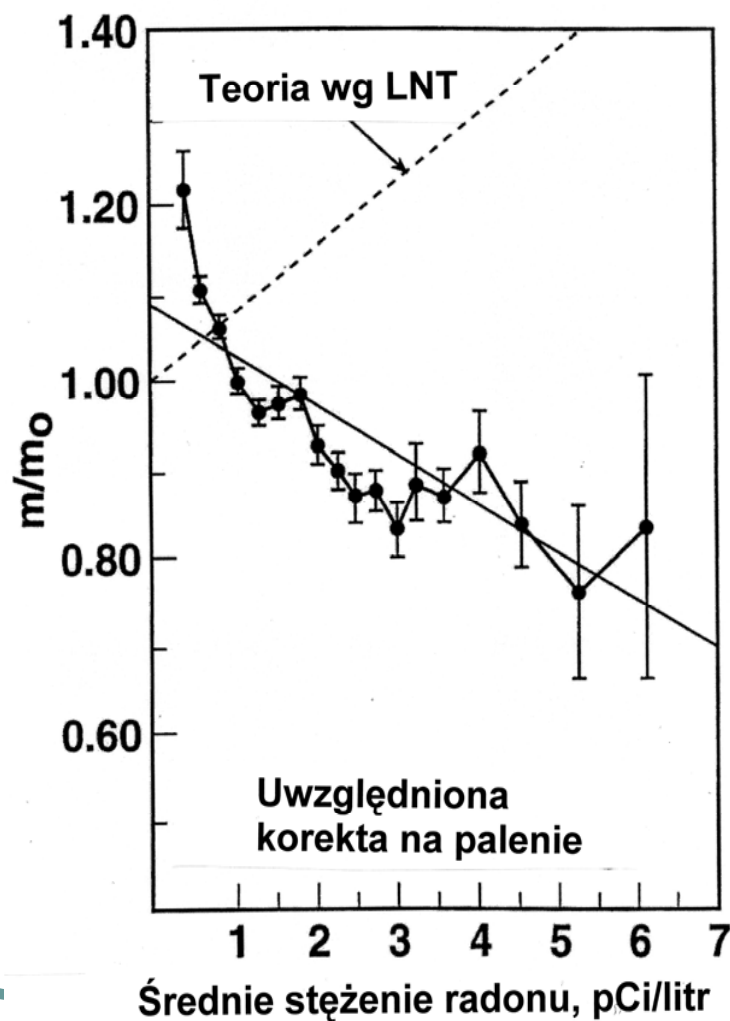


[Duport 2002]

Uzdrowisko radonowe w Misasa (Japonia; Mifune 1992)



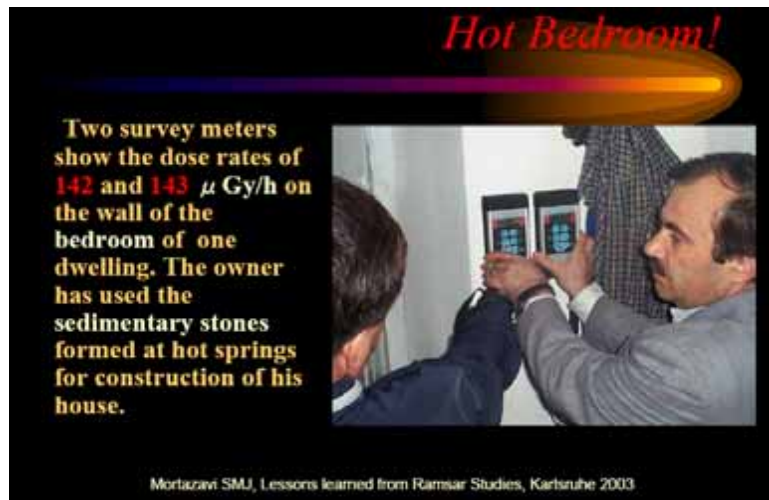
Radon a zgony na raka płuc w USA



Dane zebrane przez L.Cohena z 272000 domów w 1729 hrabstwach USA wskazują na zależność odwrotną niż przewiduje LNT dla tak małego narażenia.

1 pCi to 0.037 Bq

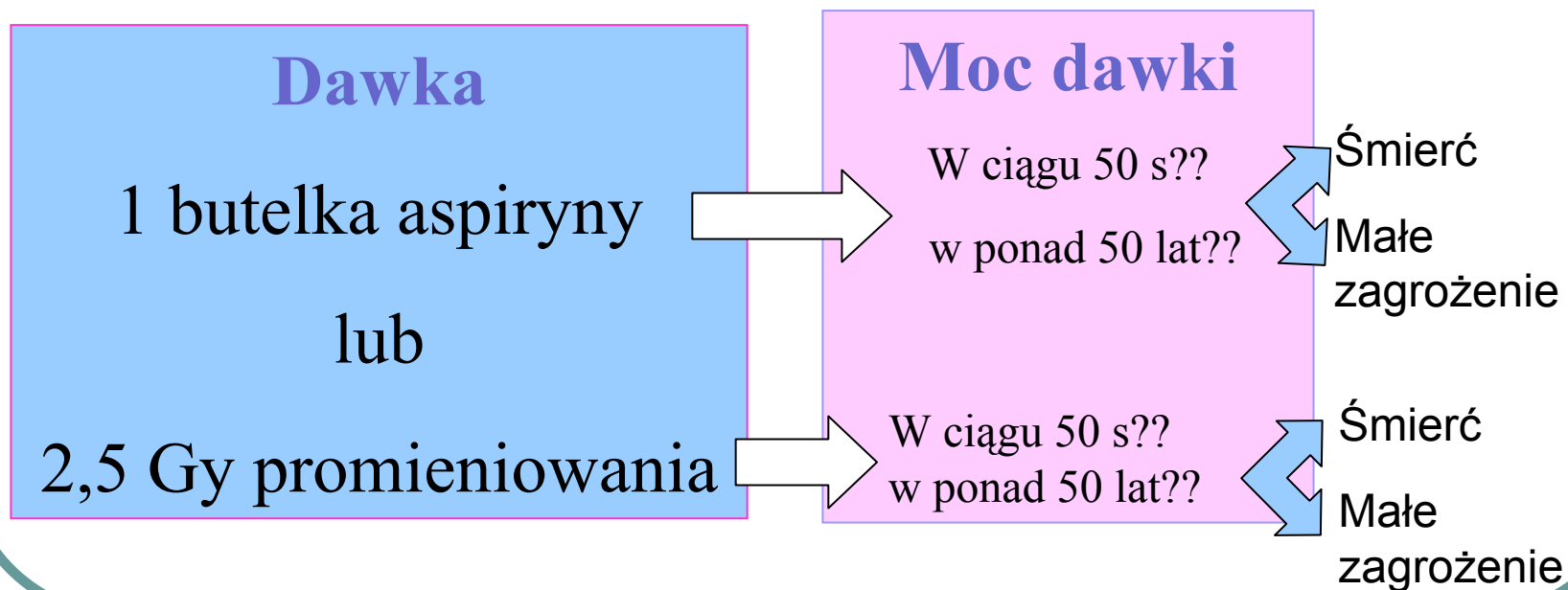
Przypadek skrajny: Ramsar



- W tym domu w Ramsar wiele pokoleń ludzi otrzymywało w ciągu 70 lat życia 17,000 mSv (240 razy więcej niż obecne limity ICRP dla społeczeństwa).
- Nie stwierdzono jednak wzrostu żadnych zachorowań, a osiągnięty wiek dochodził do 110 lat.

Moc dawki

Skutki *dawki* zależą od *mocy dawki*,
a więc od tempa jej dostarczenia do organizmu



Czy wrażliwość na promieniowanie jonizujące jest nam potrzebna?

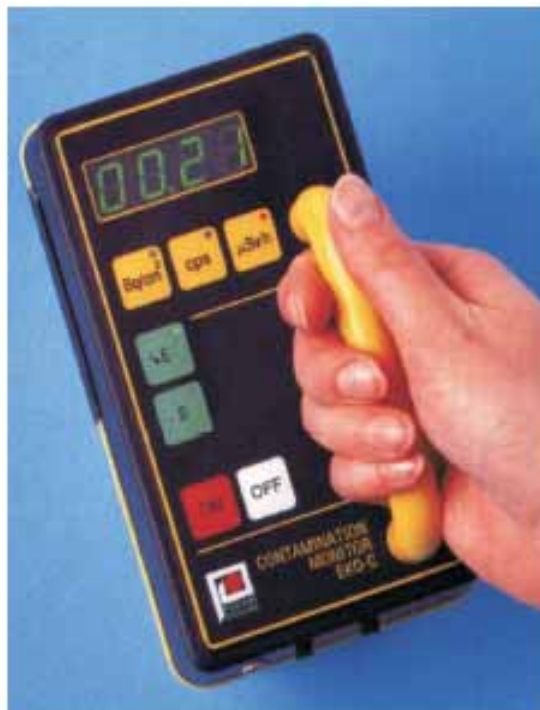
- Nasze zmysły ukształtowały się tak, aby chronić nasze życie
- Zmiana temperatury o 20%, tj. o 60°C spowoduje albo zamrożenie albo śmierć z przegrzania
- Zmiana poziomu promieniowania naturalnego nawet o 1000%, a nawet 10000% (Ramsar) nie pociąga negatywnych skutków

Ochrona radiologiczna

Mamy doskonałe mierniki



*Miernik mocy dawki
Typ EKO-P*



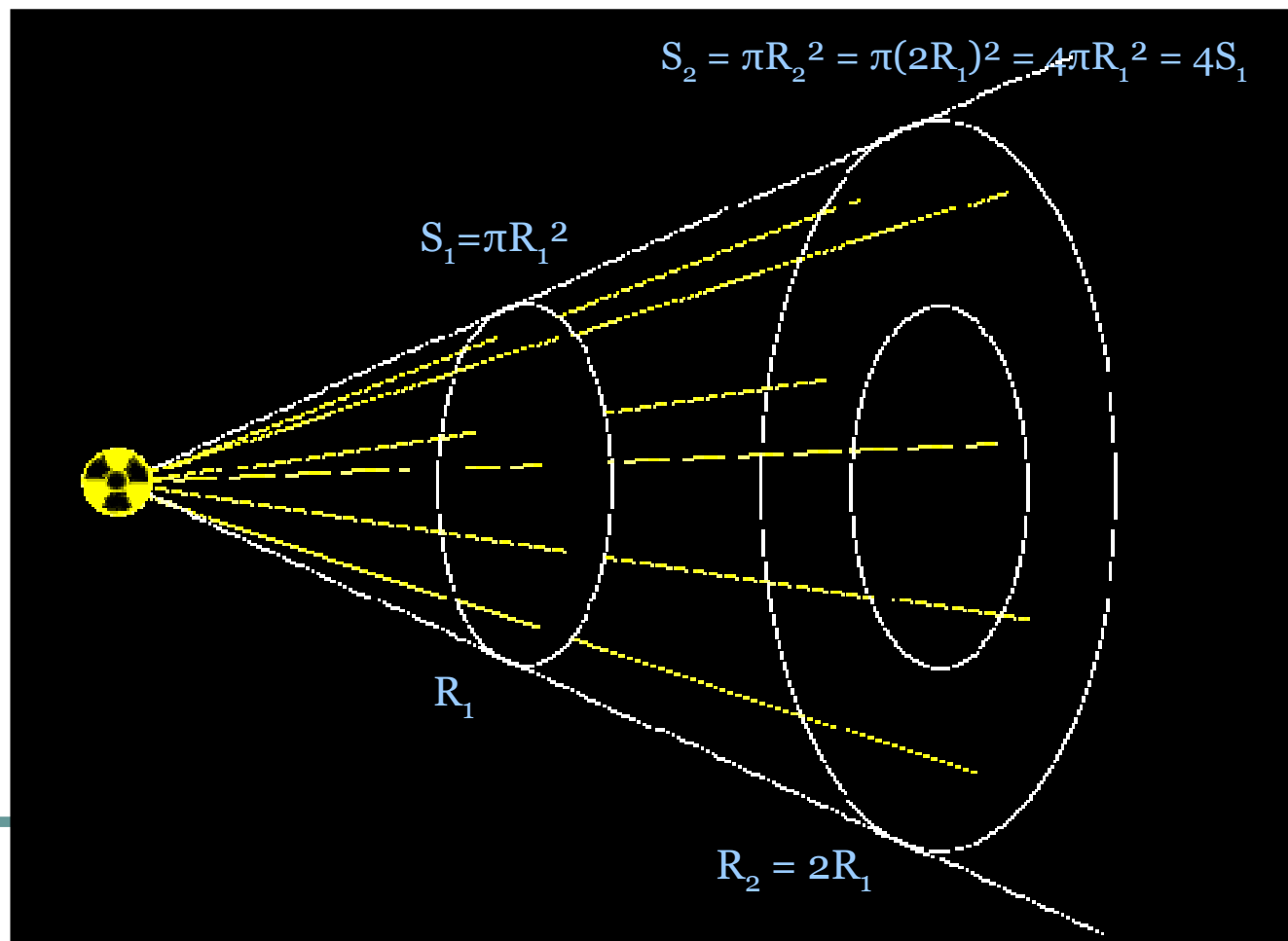
*Monitor skażeń radioaktywnych
Typ EKO-C*



*Dawkomierz sygnalizator
Typ EKO-ID*

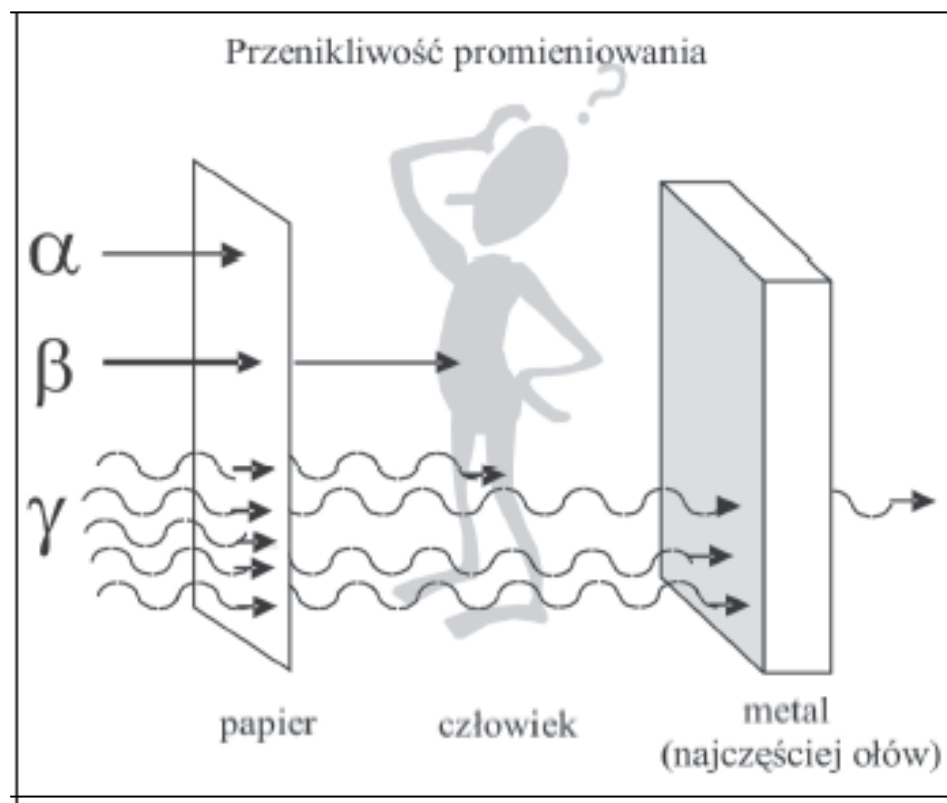
Odległość od źródła

Sposób pierwszy: zwiększamy odległość od źródła promieniowania.



Ośłony

Sposób drugi: stosujemy osłony osłabiające promieniowanie.



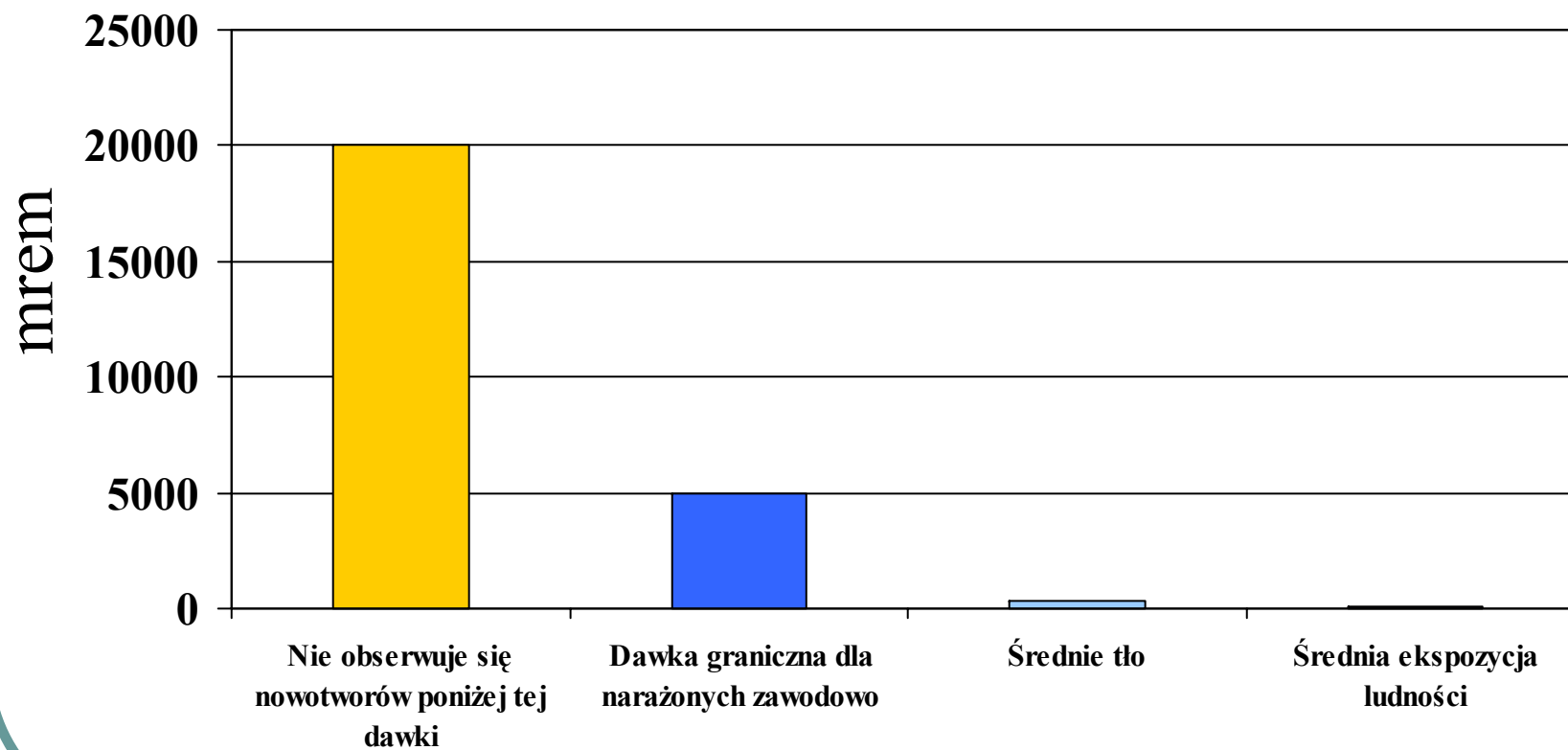
Czas przebywania w polu promieniowania

- Sposób trzeci: przebywamy jak najkrócej w pobliżu źródeł promieniowania.
- Jeśli już trzeba podejść blisko do miejsca, gdzie mimo osłon jest sporo promieniowania, należy przebywać tam krótko, by otrzymać jak najmniejszą dawkę promieniowania.

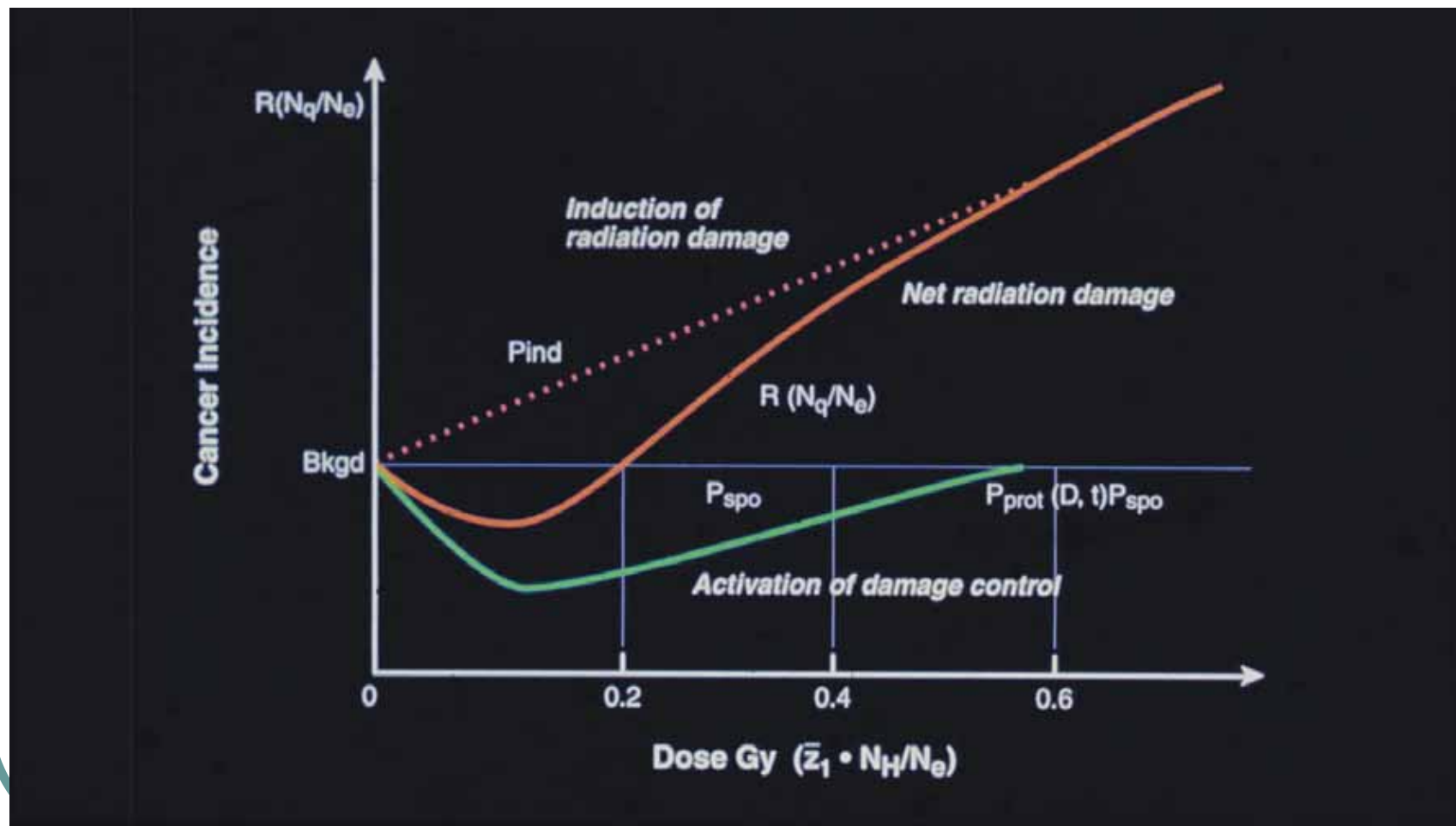
Higiena osobista

- Sposób czwarty: myjemy ręce przed jedzeniem.
- Skażenie promieniotwórcze, to wybrudzenie się. Obojętne, czy będą to substancje promieniotwórcze, czy chemiczne toksyny, wirusy i bakterie, czy po prostu zwykły brud – wprowadzenie tego skażenia do wnętrza ciała, np. drogą pokarmową może być niebezpieczne
- W radiologii obowiązują te same przepisy BHP, co w normalnym życiu!

Sytuacja typowa: małe dawki



Możliwy schemat działania promieniowania jonizującego



Małe dawki: hormeza radiacyjna

- *“Model hormezy nie jest wyjątkiem - jest regułą”* [Calabrese, Baldwin, Nature 421 (2003) 691]
- Podczas, gdy duże dawki zmniejszają aktywność biosystemu, co prowadzi do wzrostu śmiertelności nowotworowej, małe dawki dają efekt odwrotny

J.M.Cuttler, M.Pollycove, J.Am.Physicians and Surgeons, August 2003

Procentowe zmniejszenie śmiertelności

Obszary o podwyższonym tle w USA i Chinach	15	raki
Pracownicy jądrowego przemysłu stocznioowego		
Kanada	68	Białaczki
USA	24	Raki
	58	białaczki
Przemysł jądrowy (Hanford, ORNL, Rocky Flats, USA)	9	Raki
	78	białaczki
Radiolodzy angielscy (1955-1979)	32	Wszystkie raki
	29	Raki
	36	Inne choroby
Pracujący z plutonem (Majak, Ural, Rosja)	29	białaczki
Pacjenci szwedzcy diagnozowani jodem-131	38	raki
Wysokie stężenie radonu (USA)	39	raki

Mikroryzyko śmierci (1:1000000) jest równoważne



- 2000 km lotu samolotem
- 80 km podróży autobusem
- 12 km jeździe na rowerze
- 3 km jeździe na motocyklu
- wypaleniu jednego papierosa
- spędzeniu dwóch tygodni w jednym pokoju z palaczem
- wdychaniu zanieczyszczonego powietrza przez okres 3-10 dni
- wypiciu pół litra wina
- przepracowaniu 1-5 tygodni w fabryce
- 2500 km podróży pociągiem
- 1-5 minutowej wspinaczce wysokogórskiej

Mikroryzyko śmierci (x:1000000) w typowych miejscach pracy

- rok w handlu – $x=10$,
- w fabryce – x do 100,
- w transporcie – $x=400$,
- w kopalni węgla – $x=800$,
- na platformie wydobywczej na morzu
– x nawet do 1800

1 mSv jest równoważny 50 jednostkom mikroryzyka



- Wypalenie 3 paczek papierosów

- 600 km jazdy na rowerze



- 3250 km jazdy samochodem



- Przekraczanie ruchliwej jezdni 2 razy dziennie

- Picie 1 kieliszka wina codziennie przez rok



Ryzyko radiacyjne i regulacje prawne

[see Z.Jaworowski, EIR, July 1998, p.15 and K.Becker, RSH atw 43, Heft 2 (1998) 113]

Zastosowanie zasady liniowej bezprogowej do nadmiernej ochrony społeczeństwa narzuciło bardzo surowe reguły ochrony radiologicznej obiektów jądrowych. To powoduje, że

hipotetycznie uratowane jedno życie ludzkie kosztuje – w wyniku tych regulacji prawnych - około 2,5 miliarda USD!

Plany budowy w Karlsruhe „bezpiecznego” zakładu witryfikacji 80 m³ cieczy zamiast skorzystać z odległego o ok. 350 km zakładu w Mol, odpowiada

przybliżonej cenie transportu ok. 600 000 \$ za km!

Bomba atomowa

- Silne początkowe promieniowanie n i γ
- Podmuch, który może zniszczyć wiele kilometrów kwadratowych
- Wysoka temperatura
- Opad promieniotwórczy na dużym terenie
- W opadzie materiały promieniotwórcze zmieszane z ułamkami materiału bomby i wciągniętego do „grzyba” gruzu

„Brudna” bomba

- Wybuch nie ma charakteru jądrowego i jest zależny od rodzaju użytego ładunku wybuchowego
- Niebezpieczny poziom promieniowania dotyczy raczej metrów niż kilometrów
- Opad zależny od użytej substancji i warunków atmosferycznych

Bomba atomowa a „brudna”

Bomby atomowe

- Śmiertelne dawki promieniowania na obszarze kilometrów
- Globalny opad promieniotwórczy
- Wysokie ryzyko

„Brudne” bomby

- Mały obszar strefy śmiertelnej
- Opad tylko lokalny
- Minimalne ryzyko

Problemy „brudnej” bomby

- Panika
- Koszty czyszczenia
- Konsekwencje dla zdrowia ludności

Po pierwsze, nie panikuj!

- Dawka zmniejsza się szybko z czasem i odległością – szybko opuść teren skażenia
- Używaj osłon: zakryj skórę w takim stopniu, jak to możliwe
- Wiedza o promieniowaniu pozwala na chłodną ocenę ryzyka i ograniczenie strachu

Koszty czyszczenia wcale nie muszą być gigantyczne

Pamiętajmy, że nie zaobserwowano dotąd szkodliwych efektów zdrowotnych dla poziomu promieniowania kilkadziesiąt razy większego od średniego tła

Obszar skażenia jest ograniczony i może być względnie łatwo oczyszczony do poziomu tła

A co do zdrowia ludności ...

Efekty zdrowotne znacznie bardziej zależą od podmuchu i temperatury (jak w bombie atomowej) niż od poziomu promieniowania wyzwolonego z „brudnej” bomby.

Ocena skutków eksplozji „brudnej” bomby

- **Promieniowanie zewnętrzne**
 - Zależy od użytego materiału
 - Można się przed nim osłonić
- **Wchłonięty materiał promieniotwórczy**
 - Zależy od materiału użytego w bombie
 - Musi zostać albo skonsumowany, albo wchłonięty w inny sposób

Profilaktyka jodowa

Pastyłki jodku potasu dają pewną ochronę przed potencjalnym rakiem tarczycy, o ile zostaną podane odpowiednio wcześnie. Ograniczają one możliwość wchłonięcia ^{131}I , który mógłby osadzić się w tarczycy. Nie chronią jednak one przed:

- wybuchem
- zewnętrznym promieniowaniem
- od innych materiałów promieniotwórczych
- od innych rodzajów nowotworów

Pamiętajmy:

- Człowiek napromieniony nie „świeci”, ani nie wyrastają mu dodatkowe głowy czy ręce
- Wady genetyczne u dzieci powstają w ok. 6% narodzin
- W kolekcji cara Piotra I Wielkiego znajduje się wiele takich przypadków



Wnioski końcowe

- Promieniowanie jonizujące jest częścią naszego środowiska
- Odporność człowieka na promieniowanie jest na tyle duża, że w toku ewolucji nie było potrzeby wykształcenia zmysłu czułego na poziom promieniowania
- Nadmierny strach przed promieniowaniem, w szczególności wyrażony przez hipotezę LNT, prowadzi tylko do nadmiernych wydatków na ochronę radiologiczną i nakręcania spirali strachu
- Dzięki zastosowaniu promieniowania jonizującego uratowano zdrowie i życie milionów ludzi
- Źródła promieniowania jonizującego stosujemy szeroko w życiu codziennym i nie ma powodu, aby odczuwać z tego powodu jakikolwiek strach, co nie oznacza, że należy lekceważyć zasady bezpiecznej pracy ze źródłami promieniotwórczymi
- Wiemy jak się chronić przed promieniowaniem

Polecane źródła informacji

- <http://dsid.ipj.gov.pl> – Dział Szkolenia i Doradztwa
- <http://www.ipj.gov.pl> – Instytut Problemów Jądrowych
- <http://www.atom.edu.pl>
- <http://www.nuclear.pl>
- <http://www.webelements.org> – układ okresowy pierwiastków
- <http://ie.lbl.gov/toi.html> – tablica izotopów
- <http://pdg.lbl.gov/> – informacje o cząstkach
- <http://www.paa.gov.pl> – Państwowa Agencja Atomistyki
- <http://www.iea.cyf.gov.pl> – Instytut Energii Atomowej