

DETEKCJA PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

PRZEWODNIK
MŁODEGO ODKRYWCY



DETEKCJA PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

PRZEWODNIK MŁODEGO ODKRYWCY



Warszawa 2020

Autorzy: Iwona Słonecka, Łukasz Koszuk

Skład tekstu: Łukasz Koszuk

Korekta: Iwona Słonecka

Detekcja promieniowania jonizującego. Przewodnik młodego odkrywcy
Wydanie I, 2020

Wydawca:

Fundacja FORUM ATOMOWE

ul. Złota 7 lok. 18

00-019 Warszawa

www.forumatomowe.org

fundacja@forumatomowe.org

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Zdjęcia i ilustracje: ©AdobeStock, Radonova, Freeimages.com, IAEA ImageBank, Fundacja FORUM ATOMOWE, bertin-instruments.com, The Scientific Technical Centre RADEK Ltd., M. Volkmer „Radioaktivität und Strahlenschutz” (książka), doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.03.037, doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.03.037, DOI: 10.1007/s10661-011-2290-5

Copyright © 2020 Fundacja FORUM ATOMOWE

Drogi Czytelniku!

Od pierwszej obserwacji zjawiska promieniotwórczości do pomiaru promieniowania jonizującego przy pomocy przyrządów wcale nie minęło tak dużo czasu - ponad sto lat temu skonstruowano pierwsze urządzenia pomiarowe. Najpierw komorę jonizacyjną oraz detektor scyntylacyjny, później komorę mgłową i w latach dwudziestych XX wieku licznik Geigera-Müllera.

Od tamtego czasu dużo się zmieniło: dziś promieniowanie jonizujące można mierzyć przy pomocy najróżniejszych urządzeń - od mieszczących się w kieszeni spodni, a nawet na łepku szpilki, do takich, które wypełniłyby więcej niż jedną halę sportową.

Jeśli chcesz wiedzieć, co to za mierniki, dlaczego tak różnie wyglądają i jak w ogóle działają, to zapraszam Cię do lektury tego niezwykłego przewodnika.



Spis treści:

Kilka słów wstępu | 6

Detekcja - o co chodzi? | 7

Licznik Geigera-Müllera | 10

Detektor scyntylacyjny | 11

Detektor półprzewodnikowy | 12

Jak zidentyfikować izotop emitujący promieniowanie jonizujące? | 13

Jak mierzymy radon? | 14

Detektory indywidualne | 17

Jak ochronić się przed promieniowaniem jonizującym? | 19

Ciekawostka | 20

Kilka słów wstępu...

Gdy pojawia się termin „promieniowanie jonizujące” chcielibyśmy uzyskać odpowiedzi na kilka prostych pytań:

1. Czy pojawiło się wokół nas? – wystarczy czasem odpowiedź typu „tak/nie”.
2. Jaka jest natura tego promieniowania? Czy są to cząstki? A może jakieś fale?
3. Jeżeli to są cząstki, to jaką mają masę? Jaką niosą energię?
4. Jeżeli są to fale elektromagnetyczne, to o jakiej długości/częstotliwości? Jaką niosą energię?
5. Czy to promieniowanie jonizujące działa na nasze ciało?
6. Jakie są skutki spotkania z promieniowaniem jonizującym?
 - A. Szkodzi?
 - B. Nie szkodzi?
 - C. Czy ewentualny rezultat oddziaływania można zmierzyć?
7. Jeżeli może nam zaszkodzić, to chcielibyśmy wiedzieć:
 - A. Gdzie napotykamy promieniowanie jonizujące?
 - B. Jak uchronić się przed niechcianym promieniowaniem jonizującym?

Jest wiele przyrządów i systemów pomiarowych, które udzielą odpowiedzi na niektóre z tych pytań:

- „Wykrywacz promieniowania” – detektor – odpowie na pierwsze pytanie,
- Na pytania 2, 3 i 4 odpowiedzi udzielą „spektrometry”, identyfikujące cząstki/fale, określające ich pęd i energię,
- Na pytanie 6C udzielą odpowiedzi „dawkomierze”,
- W prawidłowej odpowiedzi na pytanie 7B niewątpliwie pomoże nam wiedza o osłonach.

Od pierwszej obserwacji zjawiska promieniotwórczości (zaciemnienie kliszy fotograficznej – rok 1896) do pomiaru promieniowania jonizującego przy pomocy przyrządów wcale nie minęło tak dużo czasu – niewiele ponad sto lat temu skonstruowano pierwsze urządzenia pomiarowe. Najpierw komorę jonizacyjną oraz detektor scyntylicyjny, później komorę mgłową i w latach dwudziestych XX wieku licznik Geigera–Müllera.

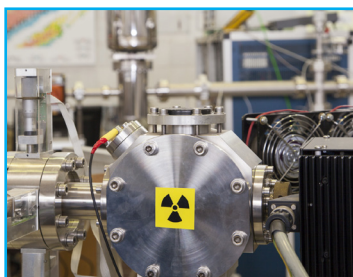
Od tamtego czasu dużo się zmieniło: dziś promieniowanie jonizujące można mierzyć przy pomocy najróżniejszych urządzeń – od mieszczących się w kieszeni spodni, a nawet na łepku szpilki, do takich, które wypełniłyby więcej niż jedną halę sportową.

Co to za mierniki? Dlaczego tak różnie wyglądają? I jak w ogóle działają? Na wiele z tych pytań pomoże odpowiedzieć niniejszy przewodnik.



Detekcja – o co chodzi?

Promieniowanie jonizujące to promieniowanie o bardzo wysokiej energii, które może powodować uszkodzenie materii, na którą działa. Wydawać by się mogło, że to bardzo negatywna cecha, ale okazuje się, że promieniowanie jonizujące może być pomocne w wielu aspektach życia człowieka. Ze względu na swoją zdolność przenikania materii jest w stanie wejść w głąb nawet najtwardszych i najgęstszych materiałów. Tym bardziej łatwo przenika ciało człowieka, co jest wykorzystywane w medycynie, gdzie promieniowanie jonizujące ma bardzo wiele zastosowań – od diagnozy (prześwietlenia rentgenowskie, wykrywanie lokalizacji nowotworów), po planowanie leczenia (ustawienie i zweryfikowanie pozycji pacjenta przed napromienieniem), aż do terapii (leczenie chorób nowotworowych, prowadzenie zabiegów medycznych przy wspomaganie wiązkami rentgenowskimi). Promieniowanie jonizujące wykorzystywane jest również w wielu jednostkach naukowych (np. do konstruowania materiałów osłonnych, badań nieniszczących, produkcji radiofarmaceutyków) oraz przemyśle (np. do prześwietlania spawów, czy mierzenia grubości materiałów).



Laboratoria i instytuty naukowe



Zakłady przemysłowe



Gospodarstwa domowe

Gdzie wykorzystujemy promieniowanie jonizujące?



Elektrownie jądrowe



Sterylizacja żywności



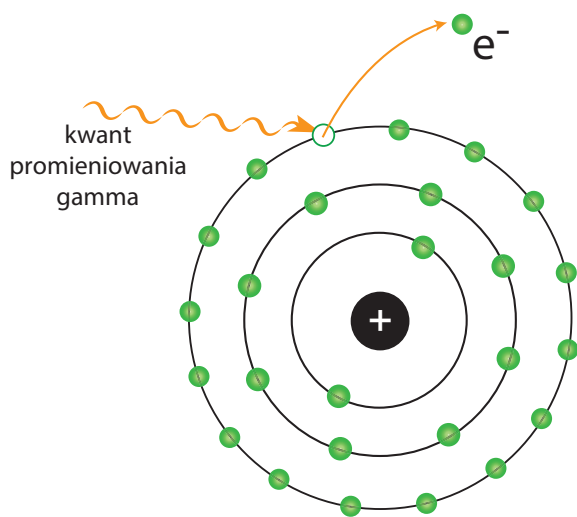
Medycyna nuklearna, szpitale

Stosowanie promieniowania jonizującego może się jednak wiązać z ryzykiem przypadkowego napromienienia lub skażenia. A ponieważ człowiek nie ma zmysłu, którym mógłby zarejestrować obecność promieniowania jonizującego, dlatego nieodłącznym elementem pracy z promieniowaniem są mierniki (detektory), które pozwolą na ocenę narażenia pracowników. **Detektory powinny być odpowiednio dobrane, ponieważ poszczególne rodzaje promieniowania różnią się między sobą m.in.:**

- **swoją naturą** – alfa to jądra atomów helu, beta to elektrony lub pozytony, gamma to fala elektromagnetyczna,
- **gęstością jonizacji materii**, czyli liczbą jonów wytwarzanych wzdłuż toru cząstki w materiale, z którym oddziałują, która jest największa dla promieniowania alfa,
- **zasięgiem w materii**, czyli głębokością, na którą może wniknąć promieniowanie w głąb ośrodka z którym oddziałuje (największy jest dla promieniowania gamma, a najmniejszy dla promieniowania alfa),
- **pośrednim (promieniowanie gamma) lub bezpośrednim (alfa, beta) oddziaływaniem z materią**,
- **energiami**, która może różnić się nawet o kilka rzędów wielkości,

co powoduje różny sposób oddziaływania z danym ośrodkiem. Oznacza to, że część detektorów może nie być wystarczająco czuła lub w ogóle może nie „widzieć” danego rodzaju promieniowania. To, co łączy wszystkie rodzaje promieniowania jonizującego to **jonizacja**. Polega ona na wybijaniu elektronów z atomów przez cząstki promieniowania jonizującego, co prowadzi do powstania dodatnio naładowanego jonu i swobodnego elektronu.

Mówiąc ogólnie, detektory promieniowania jonizującego są to więc urządzenia, których działanie oparte jest na zjawisku jonizacji zachodzącej w ośrodku czynnym detektora, czyli miejscu, w którym bezpośrednio dochodzi do tworzenia się jonów. Ośrodkiem czynnym może być gaz, ciecz lub ciało stałe.



ZJAWISKO JONIZACJI ATOMU

W zależności od rodzaju urządzenia detektory pozwalają m.in. na:

- **wykrycie jedynie obecności promieniowania** (niektóre liczniki nie różnią rodzaju promieniowania, bo każda cząstka, która wpadnie do detektora daje jednakowy sygnał, np. w liczniku Geigera-Müllera),
- **określenie energii promieniowania** (detektory, które są sprzężone z wielokanałowym analizatorem amplitudy, który umożliwia segregację zliczanego sygnału według padającej energii, czyli np. liczniki scyntylacyjne, półprzewodnikowe),
- **identyfikację danego rodzaju promieniowania** (np. liczniki scyntylacyjne, półprzewodnikowe),

- **pomiar mocy dawki pochłoniętej**, czyli energii oddanej w objętości materii w określonym czasie (np. komora jonizacyjna),
- **pomiar aktywności izotopu** (aktywność podawana jest w bekerelach, Bq i oznacza 1 rozpad promieniotwórczy w ciągu 1 sekundy, np. licznik Geigera-Müllera),
- **zweryfikowanie toru, po którym przemieszczała się cząstka** (np. klisze fotograficzne, które pozwalają na odtworzenie toru cząstki poprzez uszkodzenie struktury kliszy przez cząstkę).

Jak działają detektory?

Część z detektorów wytwarza impuls elektryczny w wyniku przepływu powstałych przez jonizację ładunków, umożliwiając niejako policzenie wytworzonych nośników prądu (detektory aktywne). Tego typu detektory to m.in. licznik Geigera-Müllera, czy komora jonizacyjna – wypełniona gazem oraz licznik scyntylicyjny, czy półprzewodnikowy, w których elementem czynnym jest ciało stałe. Sygnał docierający do detektora jest tutaj mierzony w czasie rzeczywistym, a detektor wymaga zasilania. Innym typem detektorów są detektory pasywne, które zbierają informacje przez pewien czas ekspozycji na promieniowanie, po czym poddawane są odpowiedniej obróbce mającej na celu oszacowanie wielkości mierzonego sygnału. Nie wymagają przy tym zasilania. Przykładami detektorów pasywnych są klisze fotograficzne, detektory termoluminescencyjne, optoluminescencyjne, folie (płytki) CR-39.

Dobierając detektor należy zwrócić uwagę na wiele czynników. Po pierwsze, co konkretnie chcemy sprawdzić, jaka wielkość nas interesuje? W tym celu analizujemy zagadnienia omówione powyżej. Ważna jest energia emitowanego promieniowania. Często detektory rejestrują cząstki od jakiejś konkretnej energii progowej, co oznacza, że nie wykryją niczego, co jest poniżej tej energii. Ważna jest też grubość osłony detektora (okienka), przez którą wpadają cząstki. Nawet jeśli energia będzie wystarczająca, ale okienko okaże się za grube, to cząstka nie zostanie zarejestrowana. Grubość obudowy elementu czynnego jest brana pod uwagę pod kątem promieniowania alfa, które ma bardzo mały zasięg, a jego duża zdolności jonizacji spowoduje, że nie przejdzie przez szkło czy aluminium, tylko całą energię wytraci w materiale obudowy. Rozważając przykładowo najbardziej popularny licznik gazowy Geigera-Müllera, w przypadku pracy z promieniowaniem alfa okienka, przez które padają cząstki promieniowania wykonane są ze znacznie cieńszych materiałów niż tradycyjne szkło i najczęściej są berylowe lub mikowe o bardzo małej grubości. Innym rozwiązaniem jest wyposażenie detektorów w dodatkowe sondy, które są dostosowane do promieniowania o małym zasięgu lub bardzo małej energii także poprzez bardzo cienkie okienka i dodatkowe wzmacnianie sygnału.

Detektory promieniowania jonizującego dobiera się przede wszystkim odpowiednio do właściwości danego rodzaju promieniowania, które jest przedmiotem analizy. Źle dobrany detektor w skrajnej sytuacji może w ogóle nie zarejestrować promieniowania, co mogłoby okazać się bardzo niebezpieczne dla człowieka.

Zapamiętaj!

Do zarejestrowania cząstki lub kwantu promieniowania, określenia energii, czy kierunku przejścia wykorzystuje się różne procesy fizyczne zachodzące w materii pod wpływem promieniowania jonizującego. Są to m.in. jonizacja, luminescencja (termoluminescencja i optoluminescencja), przemiany chemiczne.

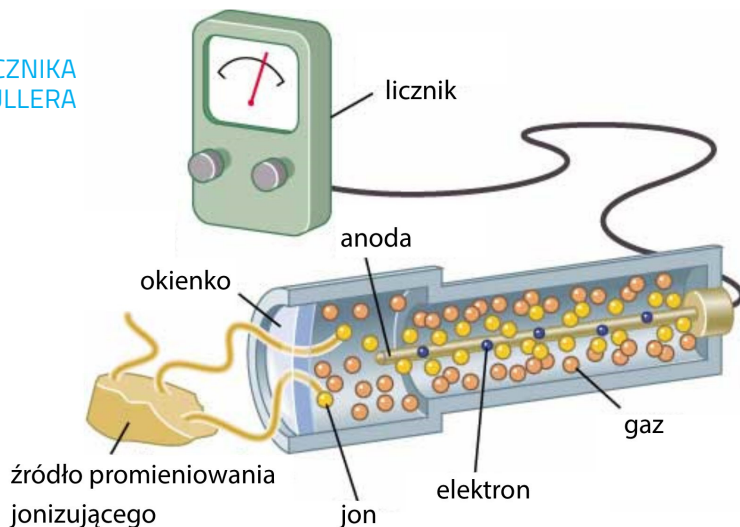
Licznik Geigera-Müllera

W latach 20-tych XX wieku fizyk, Hans Geiger, wraz ze swoim doktorantem, Walterem Müllerem, wynaleźli proste urządzenie, zazwyczaj niewiele większe niż kilka centymetrów - licznik Geigera-Müllera.

Tego instrumentu używa się również jeszcze dziś. Jeśli gdzieś dokonuje się wykrywania obecności promieniowania przy pomocy urządzenia, które „klika” lub trzaska, to jest to zapewne licznik Geigera-Müllera.

Licznik Geigera-Müllera to, mimo swojej prostoty, bardzo skuteczne urządzenie, jeśli chodzi o pomiar aktywności. Składa się z metalowej rurki zamkniętej izolatorami na obu końcach, we wnętrzu której - często na osi rurki, znajduje się cienki, wolframowy drut. Rurka jest wypełniona gazem (np. powietrzem, argonem lub neonem) pod niskim ciśnieniem z domieszką par związków organicznych, np. par alkoholu.

ZASADA DZIAŁANIA LICZNIKA GEIGERA-MÜLLERA



Pomiędzy drutem a rurką przyłożone zostaje wysokie napięcie ok. kilkuset woltów. I jeśli teraz do wnętrza rurki wpadnie promieniowanie jonizujące, to powoduje ono jonizację gazu. Wytworzona lawina ładunku po dojściu do drutu poprzez wyładowanie wywołuje silny impuls prądu, który po wzmacnieniu zostaje zarejestrowany. Licznik Geigera-Müllera nie może służyć do wyznaczenia energii cząstek. Stosuje się go wyłącznie do rejestracji liczby cząstek.



Za całkiem niedużą kwotę pieniędzy możesz być właścicielem licznika Geigera-Müllera. Do większości smartfonów można podłączyć małą tubę licznika, które w Internecie oferuje wielu producentów. Po zainstalowaniu odpowiedniego oprogramowania możemy od razu rozpocząć pomiary. Dzięki temu nie musimy trzymać w szufladzie kompletnego licznika, ponieważ sercem przeliczeniowym zestawu staje się nasz telefon, który nosimy ze sobą.



Detektor scyntylacyjny

Do najstarszych urządzeń wykrywających promieniowanie jonizujące należą liczniki scyntylacyjne: jeśli cząstki o określonej energii kinetycznej wpadną do kryształu (np. jodku sodu, NaI), to zostają zahamowane i tracą swą energię, wzbudzając elektrony w atomach kryształu. Wzbudzone atomy z kolei wypromieniowują tę energię w postaci fotonów promieniowania elektromagnetycznego z obszaru widzialnego, czyli błysków świetlnych („scyntytacji”), co da się zauważyć nawet gołym okiem.

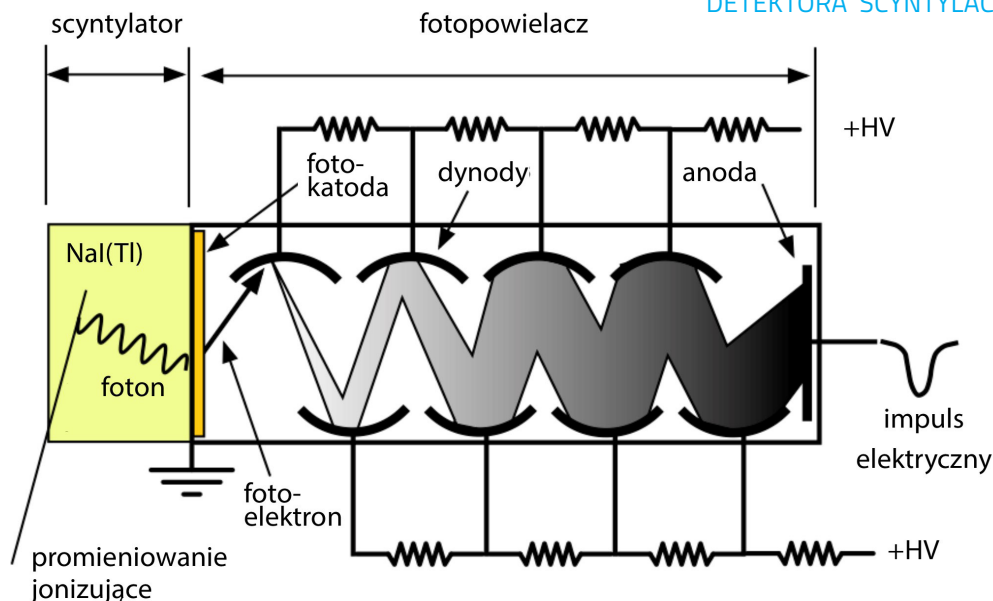
Padająca cząstka wytwarza scyntylację, której błysk wybija elektrony z warstwy fotoczułej (fotokatoda) – zaznaczonej na poniższym schemacie „na żółto” pomiędzy kryształem scyntylatora i fotopowielaczem – następnie z fotokatody elektrony padają po kolei na układ dynod powodując wybite coraz większej liczby elektronów, czyli wzmocnienie sygnału. W ten sposób fotopowielacz zamienia pojedyncze elektrony na duże impulsy, które zliczamy. Wysokość zarejestrowanego impulsu jest proporcjonalna do energii kwantu promieniowania. Wysokość impulsu zależy od energii i rodzaju cząstek padających. Ponieważ liczba elektronów wyzwalanych na fotokatodzie jest różna, impuls na wyjściu zmienia się. Pozwala to na rozróżnienie energii cząstek, co stanowi ważną zaletę fotopowielacza jako spektrometrycznego detektora promieniowania jonizującego.



PRZYKŁADOWY
DETEKTOR
SCYNTYLACYJNY Z
FOTOPOWIELACZEM
(TYP SSU-3)

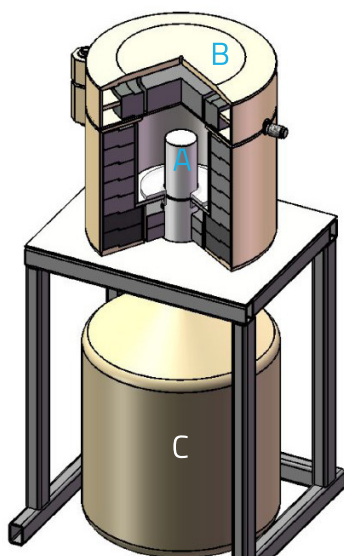
Do detekcji promieniowania gamma szeroko stosowany jest jodek sodu domieszkowany talem, NaI(Tl), z uwagi na swoją dużą gęstość. Do detekcji cząstek alfa używa się siarczków, np. siarczku cynku z domieszką srebra, ZnS(Ag).

ZASADA DZIAŁANIA
DETEKTORA SCYNTYLACYJNEGO



Detektor półprzewodnikowy

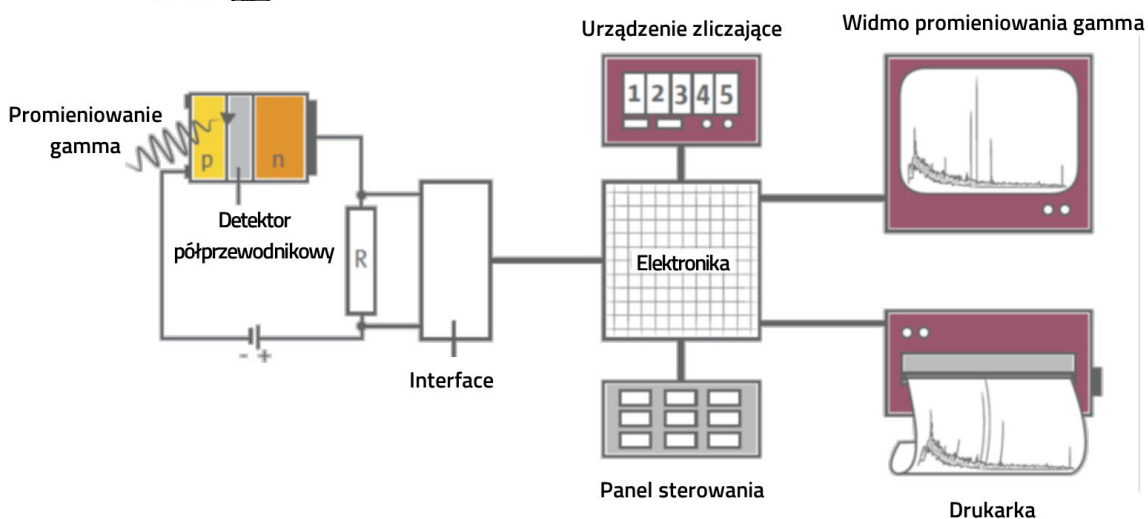
Wkrótce po tym, jak wynaleziono **tranzystor półprzewodnikowy**, powstały pierwsze **detektory półprzewodnikowe**: w zasadzie jest to nic innego jak diody z przejściem p-n, czyli dwie warstwy półprzewodników o różnym domieszkowaniu. W warstwie p znajdują się „dziury”, a w warstwie n nadmierna ilość nośników ładunku. W przejściu z jednej warstwy do drugiej ładunki wyrównują się. Jeśli jednak wpadnie tu promieniowanie jonizujące, to może ono wytworzyć pary elektron-dziura, które można wykryć jako przepływ prądu. Liczba powstałych par elektron-dziura jest wprost proporcjonalna do energii cząstki promieniowania. Przepływ prądu w detektorach półprzewodnikowych zauważalny jest także w temperaturze pokojowej, powodującej ruchy termiczne elektronów, co jest zjawiskiem niekorzystnym, nazywanym szumem. Aby go ograniczyć półprzewodnik jest chłodzony ciekłym azotem, który trzymany jest w naczyniu dewara (termosie) zamontowanym najczęściej bezpośrednio pod detektorem.



Detektory półprzewodnikowe posiadają o wiele większą czułość niż np. liczniki Geigera-Müllera, ponieważ promieniowanie w półprzewodniku nie musi jonizować molekuł gazu, co wymaga energii kilkudziesięciu eV. Na wytworzenie pary elektron-dziura potrzeba dużo mniej energii, kilka eV.

TYPOWY UKŁAD POMIAROWY Z DETEKTOREM PÓŁPRZEWODNIKOWYM - GERMANOWYM HPG_e (HIGH PURITY GERMANIUM)

A - DETEKTOR, B - OSŁONA OŁOWIOWA PRZED NATURALNYM PROMIENIOWANIEM GAMMA, C - POJEMNIK NA CIEKŁY AZOT, NIEZBĘDNY DO CHŁODZENIA DETEKTORA



UPROSZCZONY SCHEMAT KONFIGURACJI EKSPERYMENTALNEJ Z DETEKTOREM PÓŁPRZEWODNIKOWYM DO ANALIZY PROMIENIOWANIA GAMMA I IDENTYFIKACJI IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Jak zidentyfikować izotop emitujący promieniowanie jonizujące?

Prostym licznikiem Geigera-Müllera możemy określić, czy promieniowanie jonizujące jest czy go nie ma, a także określić aktywność promieniotwórczą (w Bequerelach) otaczających nas źródeł promieniowania, ale nie możemy ich zidentyfikować. **Ponieważ poszczególne izotopy promieniotwórcze mogą być, w mniejszym lub większym stopniu, niebezpieczne dla człowieka, należy je umieć zidentyfikować** – jest to bardzo ważne z punktu widzenia ochrony radiologicznej (ochrony przed promieniowaniem jonizującym).

Prawie wszystkie radionuklidy (czyli izotopy promieniotwórcze) emitują kwanty gamma o charakterystycznej energii, ich przykłady podano w tabeli. **Radionuklidy można zidentyfikować właśnie poprzez określenie energii promieniowania gamma. Można do tego użyć detektorów scyntylacyjnych**, które są zdecydowanie tańsze, ale jednocześnie mniej dokładne, **w porównaniu do bardzo drogich detektorów półprzewodnikowych**. Wysokość (amplituda) zarejestrowanego impulsu, w obydwu typach detektorów, jest wprost proporcjonalna do energii padającego kwantu gamma. Układ elektroniczny, który podłączony jest do detektora, sortuje i zlicza impulsy zgodnie z ich amplitudą. Następnie na ekranie wyświetlany jest obraz, którego przykład pokazany jest na rysunku poniżej. Na osi odciętych energie kwantów gamma podane są w postaci wąskich kanałów, na osi rzędnych liczba impulsów wygenerowanych przez kwanty gamma o określonej energii. Rysunek ten nazywamy widmem promieniowania gamma.

Oprócz rejestracji kwantów gamma o określonej energii, detektory rejestrują również inne efekty, które prowadzą do pogorszenia wyniku pomiaru. Nie będziemy jednak wyjaśniać ich pochodzenia. Należy wiedzieć, że staramy się, aby te niepożądane efekty były jak najmniejsze, stosując specjalne środki, np. detektory półprzewodnikowe należy chłodzić ciekłym azotem. Często stosuje się także osłonę ołowiu o grubości co najmniej 5 cm w celu zmniejszenia ilości kwantów gamma pochodzących od naturalnego promieniowania otoczenia, jeśli mierzymy jakies konkretne próbki.

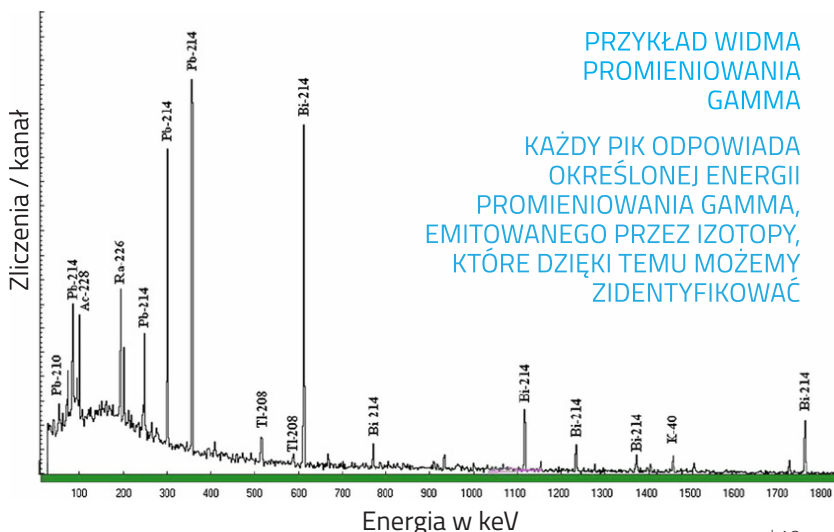
ENERGIA PROMIENIOWANIA GAMMA WYBRANYCH IZOTOPÓW

| Izotop promieniotwórczy | Energia promieniowania gamma w keV |
|-------------------------|------------------------------------|
| N-16 | 6,13; 7,12 |
| K-40 | 1,461 |
| Co-60 | 1,332; 1,173;... |
| Cs-134 | 605; 796;... |
| Ra-226 | 186;... |

Zapamiętaj!
Zarówno detektory półprzewodnikowe jak i scyntylacyjne mogą posłużyć do identyfikacji izotopów promieniotwórczych.

PRZYKŁAD WIDMA PROMIENIOWANIA GAMMA

KAŻDY PIK ODPOWIADA OKREŚLONEJ ENERGII PROMIENIOWANIA GAMMA, EMITOWANEGO PRZEZ IZOTOPY, KTÓRE DZIĘKI TEMU MOŻEMY ZIDENTYFIKOWAĆ



Jak mierzymy radon?

W przypadku radonu, wokół którego koncentrujemy się w ramach projektu Szkolna Radonowa Mapa Polski, najistotniejszym jest fakt, że radon i produkty jego rozpadu emitują groźne dla człowieka **promieniowanie alfa**, które po przedostaniu się do naszego organizmu może uszkadzać płuca jak również cały układ oddechowy.



Ponieważ występowanie radonu na danym obszarze zależy od bardzo wielu czynników może się ono od siebie różnić nawet w dwóch budynkach stojących obok siebie. Dlaczego tak się dzieje i co wpływa na koncentrację radonu w pomieszczeniach zawarto w broszurze: *Detekcja promieniowania jonizującego. Przewodnik Młodego Odkrywczy*. Ponieważ radon jest głównym czynnikiem narażenia pochodzącym od naturalnego promieniowania jonizującego należy zadbać o odpowiednie jego stężenie w miejscach pracy i miejscach zamieszkania, czyli w miejscach, w których przebywają ludzie. W tym celu należy wykonywać pomiary zawartości radonu w budynkach i innych miejscach przebywania ludzi, ponieważ radon bardzo chętnie kumuluje się w pomieszczeniach zamkniętych.

Do pomiaru radonu stosuje się odpowiednie detektory, które są w stanie rejestrować promieniowanie alfa. Najczęściej mierzy się stężenie aktywności radonu w jakimś komponencie środowiska (powietrzu, wodzie, powietrzu glebowym), dzięki czemu można sprawdzić:

- zmienność stężenia radonu w czasie – w tym celu stosuje się elektroniczne monitory radonu, które pozwalają na ciągłą rejestrację stężenia radonu w czasie pomiaru. Mierniki wymagają zasilania i są bardzo specjalistycznym i drogim sprzętem pomiarowym.
- detektory śladowe i węglowe, które uśredniają stężenie radonu w czasie pomiaru, są małe, tanie i nie wymagają zasilania.

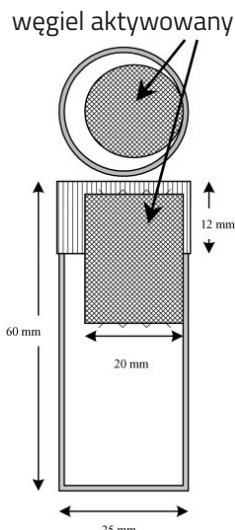


PRZENOŚNY
MONITOR RADONU
ALPHAGUARD

Przykładem monitora radonowego jest przenośny przyrząd AlfaGuard, który działa na zasadzie **komory jonizacyjnej**. Radon przedostaje się przez filtry do komory wypełnionej powietrzem, w którym promieniowanie alfa emitowane z radonu i jego pochodnych powoduje jonizację cząsteczek powietrza, wytwarzając jony. Dają one sygnał prądowy, którego natężenie jest proporcjonalne do liczby cząstek alfa, a tym samym do stężenia radonu.

Detektory z węglem aktywowanym wykorzystują **właściwości absorpcyjne węgla**. Radon jest absorbowany przez 2 do 4 dni – tyle na ogół wynosi czas pomiaru, po czym poddawany jest odpowiedniej analizie korzystając z jednej z dwóch możliwych metod. Pierwsza polega na spektrometrycznym pomiarze promieniowania gamma emitowanego przez pochodne radonu, a po jej wykonaniu detektor może być wykorzystany ponownie. Wymaga jedynie oczyszczenia z radonu przez kilkugodzinne wygrzewanie w temperaturze 200°C. Druga metoda polega na wykorzystaniu promie-

niowania alfa i beta pochodzących od radonu i produktów jego rozpadu. Detektor zalewa się ciekłym scyntylatorem, w którym emitowane cząstki alfa i beta powodują powstawanie błysków świetlnych – scyntylacji, w liczbie proporcjonalnej do liczby rozpadów, a tym samym do stężenia radonu. Detektory są następnie umieszczane w specjalnym urządzeniu, w którym rejestrowane i zliczane są błyski światła. Analiza laboratoryjna trwa kilka do kilkunastu godzin, co powoduje, że zmierzone stężenie pochodzi jedynie od radonu-222, gdyż po takim czasie radon-220 (toron) ulega rozpadowi. Po zalaniu ciekłym scyntylatorem detektory nie nadają się do ponownego użytku, gdyż nie ma możliwości wyczyszczenia ich z resztek scyntylatora. Wadą detektorów jest duży wpływ wilgoci i temperatury na ich własności absorpcyjne. Po części niweluje się je skracając czas pomiaru.

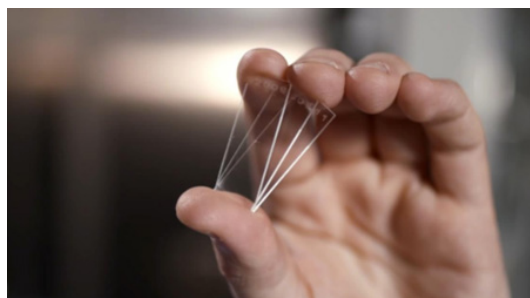


DETEKTOR
Z WĘGLEM
AKTYWOWANYM –
SYSTEM PICORAD

Detektory śladowe z folią CR-39 (Rys. A) są wykorzystywane do bardzo długich pomiarów trwających nawet do roku, dając uśrednienie stężenia oraz biorąc pod uwagę zmienność dobową oraz sezonową. Detektor ma formę małego plastikowego pojemnika (komora dyfuzyjna – Rys. B), do którego przez filtr przenika radon, i na którego dnie umieszczona jest folia CR-39. Silnie jonizujące cząstki przechodząc przez folię powodują zerwanie jej wiązań chemicznych wzdłuż toru cząstki prowadząc do zmian struktury, które stają się widoczne po późniejszym procesie wytrawiania chemicznego.

Wytrawianie płytek CR-39 polega na poddaniu ich działaniu stężonej (40%) zasadzie sodowej w temperaturze 70-80°C (Rys. C), a uwidocznione ślady działania cząstek alfa pochodzących od radonu i jego pochodnych przyjmują postać kółek (gdy cząstki padają prostopadłe do płytki) i stożków (gdy padają pod pewnym kątem), wyraźnie widocznych pod mikroskopem (Rys. D, Rys. E).

Takie ślady powodują również inne cząstki jak np. protony, ale znacząco różnią się one między sobą średnicą, dlatego łatwo je odróżnić. Liczba śladów jest proporcjonalna do stężenia radonu, a dokładny odczyt jego wartości wymaga wcześniejszej kalibracji, czyli przypisania konkretnego stężenia określonej liczbie kropek/otworów, mówiąc bardziej precyzyjnie – gęstości śladów na szkiełku, co odbywa się w kontrolowanych warunkach ekspozycji detektorów na dokładnie ustalone wartości stężenia radonu. Następnie folie są analizowane pod mikroskopem, a ślady automatycznie analizowane i zliczane. W przypadku braku automatycznego systemu zliczającego



RYS. A
PŁYTKI CR-39



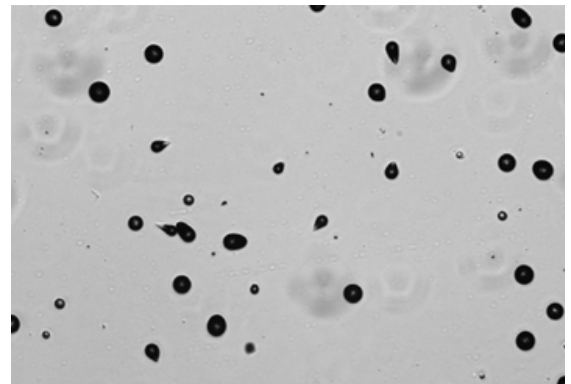
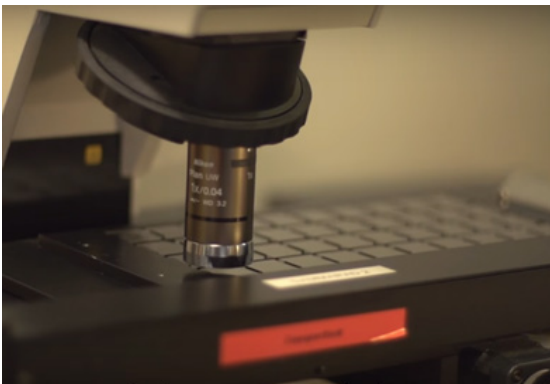
RYS. B
KOMORA DYFUZYJNA
Z UMIESZCZONĄ PŁYTKĄ CR-39



RYS. C PO LEWEJ: PRZYGOTOWANIE ROZTWORU DO WYTRAWIANIA PŁYTEK CR-39 UWIDACZNIĄCEGO ŚLADY CZĄSTEK ALFA, PO PRAWEJ: WYJMOVANIE WYTRAWIONYCH PŁYTEK Z ROZTWORU

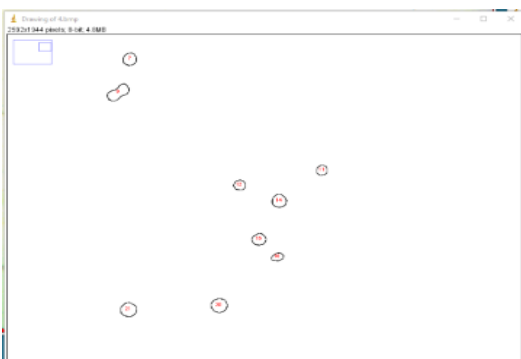
analiza może odbyć się w programie komputerowym do obróbki obrazów, którego przykładem jest ImageJ (Rys. F), szerzej omówiony w dalszej części.

Folie CR-39 nie są czułe na promieniowanie beta i gamma oraz na warunki środowiskowe, jak np. wilgotność. Detektory śladowe z folią CR-39 są bardzo dobrym narzędziem do oceny narażenia człowieka na radon i dają tym dokładniejszy wynik im dłuższy jest pomiar.



RYS. D ANALIZA MIKROSKOPOWA POWSTAŁYCH ŚLADÓW

RYS. E ŚLADY POWSTAŁE PO DZIAŁANIU PROMIENIOWANIA ALFA NA DETEKTOR CR-39 – ZDJĘCIE SPOD MIKROSKOPU WYTRAWIONEJ PŁYTKI



| Area | Mean | StdDev | |
|------|------|---------|--------|
| 42 | 460 | 94.534 | 31.088 |
| 43 | 280 | 125.789 | 12.639 |
| 44 | 508 | 92.608 | 30.206 |
| 45 | 341 | 110.475 | 25.414 |
| 46 | 490 | 99.902 | 29.623 |
| 47 | 676 | 95.469 | 29.964 |
| 48 | 412 | 126.529 | 13.515 |
| 49 | 528 | 95.167 | 30.892 |
| 50 | 1977 | 109.689 | 27.649 |
| 51 | 380 | 118.139 | 19.197 |

RYS. F ANALIZA ŚLADÓW W PROGRAMIE ImageJ

Detektory indywidualne

Detektory rejestrują promieniowanie jonizujące emitowane z różnych źródeł i urządzeń w miejscach ich przechowywania i stosowania, jednak dla pracowników mających kontakt ze źródłami promieniowania istotne jest przede wszystkim, czy zostali narażeni na działanie promieniowania, w jakiej mierze i na jakie konkretnie cząstki. Ważne jest więc, jaka część energii promieniowania jonizującego została pochłonięta na jednostkę masy człowieka, a więc **dawka pochłonięta**. Znając rodzaj emitowanego promieniowania oraz najbardziej narażone części ciała można dość dokładnie określić **dawkę skuteczną**, którą posługujemy się do określenia całkowitego narażenia ciała człowieka. Otrzymywane dawki nie mogą przekraczać pewnych ustalonych wartości granicznych, które są określone w przepisach. Z tego powodu pracownicy najbardziej narażeni na promieniowanie są zobligowani do noszenia **dawkomierzy indywidualnych**, czyli małych urządzeń pozwalających ocenić dawkę skuteczną, jaką otrzymali od źródeł promieniowania jonizującego. **Dawkomierz jest więc przyrządem służącym do oceny skutków biologicznych ekspozycji na promieniowanie jonizujące.**

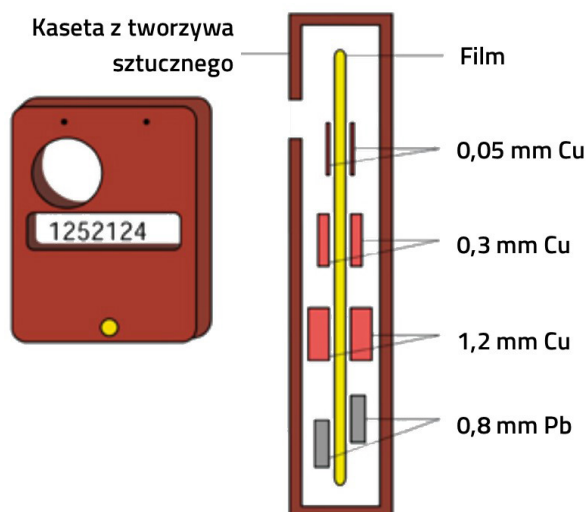
Wyniki wskazywane przez dawkomierze zostają dokładnie odnotowane i zarchiwizowane dla danego pracownika. Ważna jest pełna informacja o danej osobie – kiedy, jak długo i z jakim rodzajem promieniowania miała styczność w kolejnych latach pracy.

Dawkomierze mają różne formy i budowę, ale to co głównie je różni to **zjawiska fizyczne, które wykorzystują do rejestracji promieniowania jonizującego**. Historycznie pierwszymi detektorami były filmy światłoczułe, aczkolwiek dziś niemal całkowicie się od nich odeszło na rzecz nowocześniejszych, bardziej wydajnych i łatwiejszych w odczycie. Dawkomierze indywidualne są najczęściej dawkomierzami pasywnymi, które nie dają informacji o dawce natychmiast, tylko kumulują ją w sobie przez okres noszenia (najczęściej kwartał), a odczyt wiąże się z obróbką, w wyniku której uzyskuje się wynik.

Dawkomierze filmowe

Już Wilhelm Conrad Roentgen odkrył, że promieniowanie elektromagnetyczne o dużej energii, do kilkudziesięciu keV może naświetlać filmy, czyli działać na światłoczułą emulsję fotograficzną podobnie jak światło. Jest to podstawa dzisiejszych zdjęć rentgenowskich. Jak to się odbywa? Promieniowanie ultrafioletowe, rentgenowskie czy gamma jonizuje – podobnie jak światło widzialne – warstwę bromku srebra (AgBr) w filmie, niszcząc wiązanie chemiczne Ag z Br. Podczas wywoływania filmu w miejscu zachodzenia jonizacji powstają ziarenka srebra, a film staje się w tych miej-

SCHEMAT
BUDOWY
DAWKOMIERZA
FILMOWEGO



scach ciemniejszy. Ten fakt wykorzystany został w dawkomierzu filmowym – w małej światłoszczelnej skrzyneczce umieszcza się film (kliszę), który przykrywa się metalowymi foliami o różnej grubości. W zależności od grubości folii przechodzi przez nie różna część promieniowania jonizującego powodując różny stopień zaczernienia kliszy. Ostatnie pokryte jest dwiema płytkami z ołowiu, które są względem siebie przesunięte tak, by można było ustalić, z której strony nastąpiło napromieniowanie.

W celu odczytania dawki filmy należy poddać obróbce chemicznej, czyli je wywołać, a następnie porównać stopień zaczernienia z filmami napromienowanymi znanymi dawkami promieniowania.

Metoda nie jest zbyt dokładna, a sposób odczytu jest czasochłonny, dlatego odchodzi się od niej na rzecz nowocześniejszych narzędzi, jak detektory termoluminescencyjne, czy optoluminescencyjne.

Detektory termoluminescencyjne i optoluminescencyjne

Detektor występuje jako spiek ceramiczny materiału dielektrycznego, który wykazuje właściwości termoluminescencyjne. Najczęściej jest to bardzo czuły na promieniowanie fluorek litu, LiF (z różnymi domieszkami), formowany na kształt pastylki o średnicy 4,5 mm i grubości 0,9 mm. Pastylka umieszczana jest w odpowiedniej obudowie, w której znajdują się metalowe i plastikowe filtry podobnie, jak w detektorach filmowych. Detektory termoluminescencyjne, TLD, poddawane są napromieniowaniu, pochłaniają wówczas energię, a następnie, w wyniku podgrzania do wysokiej temperatury, emitują fotony światła widzialnego (luminescencja). Ich liczba jest zależna od dawki pochłoniętej promieniowania jonizującego. „Odczyt” detektorów zachodzi w odpowiednim czytniku, który podgrzewa pastylki do temperatury ok. 250 °C, a następnie zlicza emitowane fotony. Odczytane detektory TLD zostają wyzerowane i mogą na nowo rejestrować dawkę.

Analogicznie działają detektory optoluminescencyjne, OSL, w których czynnikiem wyzwalającym zaabsorbowaną energię (powodującym luminescencję) jest z kolei bardzo silne światło. Metoda OSL daje możliwość ponownego odczytu, ponieważ światło, które wyzwala energię działa punktowo, a nie na całej powierzchni spieku.

Termoluminescencję można zaobserwować na przykładzie soli, czy fluorytu, które podgrzane do wysokiej temperatury, zaczynają świecić.



DETEKTORY
TERMOLUMINESCENCYJNE

Jak ochronić się przed promieniowaniem jonizującym?

Co możesz zrobić, gdy przychodzi w odwiedziny ciotka, a Ty nie masz w ogóle ochoty na jej papkowato-słodkie ciasto? Z reguły masz do wyboru trzy możliwości. Po pierwsze możesz trzymać się możliwie jak najdalej od ciotki i jej ciasta, najlepiej trzy domy dalej u przyjaciół. Po drugie możesz zamknąć się w pokoju i udawać, że Cię nie ma. Po trzecie, jeśli już nie da się inaczej, siadasz na kwadrans przy stole, przełykasz jakoś kawałek ciasta i chwilę potem uciekasz do swojego pokoju „do zadań domowych”.

Analogiczne możliwości ochrony mamy podczas pracy z promieniowaniem jonizującym - odsunięcie na bezpieczną odległość, osłony i skrócenie czasu przebywania. Jednakże każdy rodzaj promieniowania jonizującego inaczej oddziałuje z materią i dlatego wymaga trochę innych osłon. Zatem, aby zmniejszyć dawkę promieniowania, mamy trzy możliwości:



ODLEGŁOŚĆ

Jeżeli założymy, że źródło promieniowania jest punktowe i emituje promieniowanie równomiernie we wszystkich kierunkach, to wtedy dawka pochłoniętego promieniowania zmniejsza się z kwadratem odległości. Mówiąc prościej: dwukrotna odległość to 1/4 pierwotnej dawki, trzykrotna odległość to 1/9 pierwotnej dawki i tak dalej...



OSŁONA

Gdy promieniowanie jonizujące przenika przez materię zachodzi wówczas wiele zjawisk, w wyniku których stopniowo wytraca ono swoją energię. Cząstki alfa tracą energię bardzo szybko, dzięki czemu ich zasięg jest krótki, promieniowanie beta wnika głębiej, natomiast promieniowanie gamma jest najbardziej przenikliwe spośród tych trzech wymienionych. Te właściwości powodują, że dla każdego rodzaju promieniowania stosujemy różne rodzaje osłon.



CZAS PRZEBYWANIA W POLU PROMIENIOWANIA

Dawka pochłoniętego promieniowania jest proporcjonalna do czasu napromieniowania. Tam gdzie to możliwe, próbuje się zmniejszyć ten czas, a z tym i dawkę.



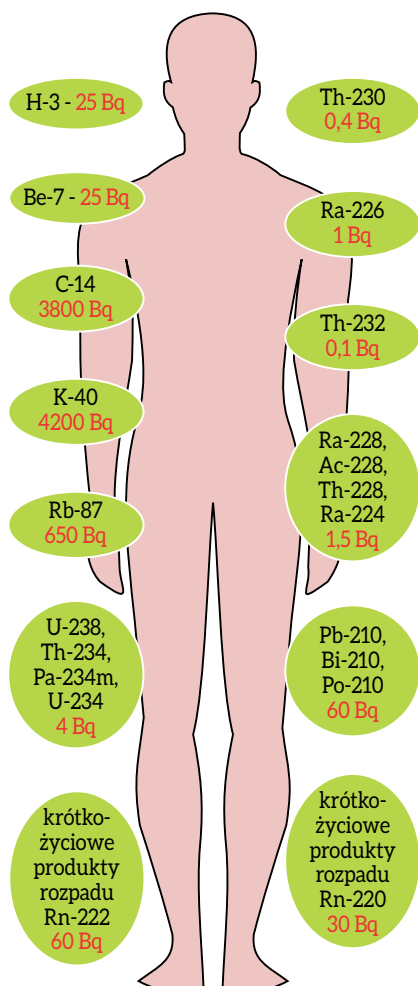
Ciekawostka

PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ NATURALNA W ORGANIZMIE CZŁOWIEKA I PRODUKTACH SPOŻYWCZYCH

Bekereł [Bq] - jednostka aktywności promieniotwórczej.
1 Bq = 1 rozpad promieniotwórczy na sekundę

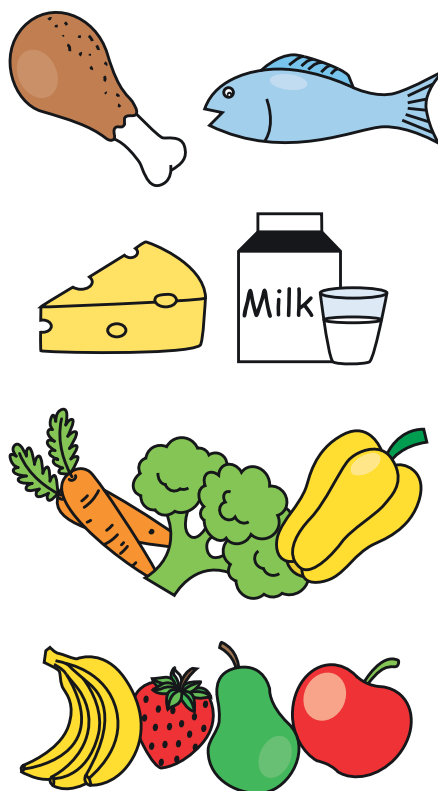
**Przeciętny człowiek
(waga 70 kg)**

ok. 9000 Bq
średnia wartość:
ok. 130 Bq/kg



Produkty spożywcze pochodzenia roślinnego i zwierzęcego

średnia wartość:
ok. 40 Bq/kg



Ekstremalnie wartości dla pojedynczych nuklidów:

wątroba renifera (zimą)
Po-210
do 220 Bq/kg

orzechy brazylijskie
Ra-226
do 130 Bq/kg

Promieniowanie istnieje od początku Wszechświata. Jest normalną częścią naszego życia. W każdej chwili przenika przez nasze ciało. Promieniowanie było i będzie z nami zawsze. To nie jest wynalazek sprzed ponad 100 lat, a fenomenalne odkrycie zjawiska, które wpłynęło na nasze życie.



Sprawdź inne nasze publikacje:

- Operacja Yellow Cake – komiks
- Skąd się biorą odpady promieniotwórcze? Przewodnik Młodego Odkrywcy
- Radon i jego źródła. Przewodnik Młodego Odkrywcy
- Śladami uranu i promieniowania
- Magazyn „Forum Atomowe”



Fundacja FORUM ATOMOWE powstała z myślą o szeroko pojętej działalności informacyjnej i edukacyjnej w dziedzinie pokojowego wykorzystania energii atomowej, promocji fizyki i nauk pokrewnych, a także idei budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

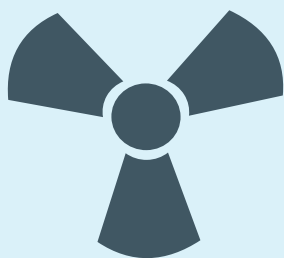
Fundację FORUM ATOMOWE stanowi zespół młodych, aktywnych i ambitnych ludzi, specjalistów w swoich dziedzinach, m.in. w fizyce jądrowej, ochronie radiologicznej, energetyce.

Fundacja realizuje kilka ciekawych i wartościowych projektów - największy - „Atomowy Autobus - Mobilne Laboratorium”, a także „Spotkania z Energią Atomową”, „Szkolna Radiologiczna

Mapa Polski”, magazyn „Forum Atomowe”, portal popularnonaukowy energijajadrowa.pl oraz platforma e-learningowa Nukleo.pl.

Wolontariusze Fundacji trwają w przekonaniu, że tylko poprzez rzetelną, wszechstronną informację i edukację oraz szeroki bezpośredni udział społeczeństwa w debatach publicznych można uzyskać pełne poparcie dla budowy elektrowni jądrowej w Polsce oraz w innych krajach, które podejmują podobne wyzwanie.

Fundacja FORUM ATOMOWE
www.forumatomowe.org
fundacja@forumatomowe.org



FUNDACJA
FORUM ATOMOWE

A stylized atomic symbol logo with a central red and white nucleus and three blue elliptical orbits with orange dots representing electrons.