



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Laboratorium Fizyki

POMIARY MOCY PRZESTRZENNEGO RÓWNOWAŻNIKA DAWKI PROMIENIOWANIA GAMMA

opracował: dr inż. Piotr Tulik

Warszawa 2010 r.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



1. Cel zajęć laboratoryjnych

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową i obsługą powszechnie używanych przyrządów dozymetrycznych do pomiaru mocy równoważnika dawki oraz innych wielkości dozymetrycznych promieniowania gamma.

2. Wprowadzenie

2.1 Klasyfikacja przyrządów dozymetrycznych:

2.1.1 ze względu na funkcję:

- przyrządy detekcyjne
- przyrządy pomiarowe

2.1.2. ze względu na sposób użycia:

- zespoły przewożne
- zespoły przenośne
- zespoły stałe

2.1.3. ze względu na wielkości mierzone

- przyrządy do pomiaru dawki (*słowo „dawka” używane jest potocznie i oznacza wielość dozymetryczną, w jakiej wyskalowany jest przyrząd*)
- przyrządy do pomiaru mocy dawki
- przyrządy do pomiaru dawki i mocy dawki

2.2 Wybrane detektory promieniowania gamma

- liczniki Geigera-Müllera
- komory jonizacyjne
- liczniki scyntylicyjne
- detektory półprzewodnikowe

2.3 Podstawowe pojęcia

- Kerma (K) to iloraz dE_{tr} przez dm , gdzie dE_{tr} jest sumą początkowych energii kinetycznych cząstek naładowanych, uwolnionych w materiale o masie dm przez cząstki pośrednio jonizujące

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

Jednostka: grej (Gy)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Jkg}^{-1}$$

- Dawka pochłonięta D jest to średnia energia dE , jaką traci promieniowanie a pochłania ośrodek, przez który promieniowanie przechodzi, przypadająca na jednostkę masy tego ośrodka dm

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Jednostka: grej (Gy)

- Moc dawki pochłoniętej \dot{D} to przyrost dawki pochłoniętej dD w przedziale czasu dt

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Jednostka: grej na sekundę Gy s⁻¹

- Równoważnik dawki H to iloczyn dawki pochłoniętej D w punkcie tkanki i współczynnika jakości promieniowania

$$H = Q D$$

Jednostka: siwert (Sv)

$$1 \text{ Sv} = \text{J kg}^{-1}$$

- Moc równoważnika dawki \dot{H} to przyrost równoważnika dawki H w przedziale czasu dt

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}$$

Jednostka: siwert na sekundę Sv s⁻¹

- Przestrzenny równoważnik dawki $H^*(10)$ to równoważnik dawki w danym punkcie odpowiedniego pola rozciągniętego i zorientowanego w kuli ICRU na głębokości 10 mm, na promieniu przeciwnym do kierunku pola rozciągniętego.
- Indywidualny równoważnik dawki $H_p(d)$ to równoważnik dawki pod określonym punktem ciała, na odpowiedniej głębokości d . Głębokość $d = 0,07$ mm jest stosowana dla skóry w przypadku promieniowania słabo przenikliwego - $H_p(0,07)$. Głębokość $d = 10$ mm jest stosowana w przypadku promieniowania silnie przenikliwego - $H_p(10)$.
- Kula ICRU to fantom symulujący ciało ludzkie – kula o średnicy 30 cm i gęstości 1 g cm⁻³, wykonana z materiału równoważnego tkance o składzie masowym: 76,2% tlenu, 11,1% węgla, 10,1% wodoru i 2,6% azotu.
- Ekspozycja X (dawka ekspozycyjna) jest to miara jonizacji, jaka zachodzi w suchym powietrzu pod wpływem promieniowania gamma i X

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

gdzie: dQ - bezwzględna wartość sumy jonów jednego znaku, wytworzonych w powietrzu w warunkach tzw. równowagi elektronowej tzn., gdy wszystkie jony dodatnie i ujemne wytworzone w elemencie objętości dm są w nim zatrzymywane.

Jednostka: kulomb na kilogram C kg⁻¹

- Moc ekspozycji \dot{X} jest to przyrost ekspozycji dX w przedziale czasu dt

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

Jednostka: amper na kilogram A kg⁻¹

- Czas odpowiedzi detektora to czas pomiędzy pojawieniem się cząstki lub kwantu promieniowania w obszarze detektora, a pojawieniem się rejestrowanej odpowiedzi detektora.
- Czas martwy detektora to okres czasu, w którym po zarejestrowaniu cząstki promieniowania jonizującego detektor pozostaje nieczuły na kolejne padające cząstki promieniowania.
- Charakterystyka energetyczna detektora to zależność czułości detektora od widma energetycznego danego pola promieniowania.
- Charakterystyka kierunkowa detektora to zależność czułości detektora od kąta (bryłowego) padania wiązki promieniowania na detektor.
- Wzorcowanie to zbiór operacji ustalających (w określonych warunkach) relację między wartościami wielkości mierzonej wskazanymi przez przyrząd pomiarowy lub układ pomiarowy albo wartościami reprezentowanymi przez wzorzec miary lub przez materiał odniesienia, a odpowiednimi wartościami wielkości realizowanymi przez wzorce jednostki miary.
- Wartość umownie prawdziwa wielkości to najlepsza estymata wartości mierzonej, wyznaczona z użyciem wzorca pierwotnego lub wtórnego, bądź też przyrządu odniesienia, wykalibrowanego wzorcem pierwotnym lub wtórnym.
- Współczynnik wzorcowania N to wartość umownie prawdziwa wielkości H , przewidzianej do mierzenia przez dawkomierz, podzielona przez wskazania M dawkomierza, w razie potrzeby skorygowana:

$$N = H / M$$

Współczynnik wzorcowania N jest bezwymiarowy, gdy przyrząd wskazuje mierzoną wielkość. Dawkomierz wskazujący prawidłowo wartość umownie prawdziwą ma współczynnik wzorcowania równy jeden.

Współczynnik wzorcowania może zmieniać się wraz z wartością mierzoną. W takich przypadkach uważa się, że odpowiedź dawkomierza jest nieliniowa.

- Współczynnik przeliczeniowy kerma – równoważnik dawki h_k oraz równoważnika dawki H oraz kermy w powietrzu K_a w punkcie pola promieniowania

$$h_k = H/K_a$$

- Środek czynny to punkt dawkomierza umieszczany w punkcie pomiarowym podczas wzorcowania lub badania.
- Odległość pomiarowa to odległość między źródłem promieniowania, a środkiem czynnym dawkomierza.
- Punkt pomiarowy to punkt w polu promieniowania, w którym umieszcza się środek czynny dawkomierza podczas wzorcowania lub badania i w którym jest znana wartość umownie prawdziwa wielkości mierzonej.
- Bieg własny przyrządu to wskazanie przyrządu, w nieskończonej odległości od źródła promieniowania.
- Warunki odniesienia to zbiór wielkości wpływających, dla których współczynnik wzorcowania obowiązuje bez żadnej poprawki.
- Świadectwo wzorcowania to dokument wydany przez upoważnioną jednostkę, zawierający opis procesu wzorcowania oraz wyniki z pomiarów wykonanych podczas wzorcowania.

2.5. Źródła wzorcowe promieniowania gamma zalecane do wzorcowania przyrządów

- ^{60}Co (1250 keV)
- ^{137}Cs (662 keV)
- ^{241}Am (59,5 keV)
- promieniowanie X – generatory RTG

3. Wybrane parametry pracy przyrządów dozymetrycznych

- zakres pomiarowy
- zakres energetyczny
- rodzaj detektora
- napięcie pracy detektora
- wymiary detektora
- powierzchnia czynna okna detektora
- gęstość powierzchniowa okna detektora
- bieg własny
- błąd pomiaru
- rodzaj zasilania

4. Najważniejsze zasady użytkowania przyrządów dozymetrycznych

- zapoznanie się z instrukcją przyrządu, danymi technicznymi oraz z podstawowymi zasadami obsługi
- zapoznanie się ze świadectwem wzorcowania przyrządu
- kontrola stanu źródła zasilania przyrządu
- kontrola biegu własnego przyrządu
- uwzględnienie, iż przyrząd nie reaguje natychmiast na zmianę natężenia promieniowania
- przestrzeganie obowiązujących przepisów prawa dotyczących użytkowania i wzorcowania przyrządów dozymetrycznych
- niektóre typy detektorów w polach o wysokiej mocy przestrzennego równoważnika dawki mogą zaniżać wskazania, wpływając zasadniczo na ocenę badanego pola promieniowania
- w przypadku otwartych komór jonizacyjnych należy uwzględniać poprawkę na gęstość powietrza

5. Przyrządy używane w ćwiczeniu

5.1 Radiometr RKP-1-2

Radiometr RKP-1-2 to przyrząd do pomiaru skażeń powierzchni nuklidami beta promieniotwórczymi oraz do pomiaru mocy dawki promieniowania gamma.

Detektorami w tym mierniku są trzy liczniki Geigera-Müllera o powierzchni czynnej okna około 150 cm². Przyrząd posiada przesłonę, której użycie 10-krotnie zmniejsza wskazanie mierzonego promieniowania beta, czyli powoduje 10-krotne rozszerzenie zakresu pomiarowego. Przy pomiarach mocy dawki promieniowania gamma używany jest tylko środkowy licznik.

Podstawowe dane techniczne:

- zakres dla pomiaru mocy dawki gamma: 0,7 ÷ 200 µGy/h
(w starszych przyrządach używane są mR/h lub ekspozycja wyrażona w pA/kg)
- podzakresy pomiarowe: 20; 60; 200; 600; 2000
- bieg własny: ≤ 5,5 s⁻¹
- błąd pomiaru mocy dawki ± 20%
- zasilanie: 4 baterie AA (6V)

Sposób przeprowadzenia pomiaru.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy sprawdzić stan źródła zasilania, poprzez wciśnięcie przycisku „kontrola baterii”. Następnie należy zmierzyć bieg własny przyrządu (na najmniejszym podzakresie pomiarowym, bez przesłony rozszerzającej zakres pomiarowy, dla długiej stałej czasowej) sprawdzając, czy mieści się on w granicach wskazanych przez producenta. Umieścić środek detektora w punkcie pomiarowym. Włączyć największy podzakres pomiarowy i uruchomić przyrząd. Nie wyłączając przyrządu dobrać odpowiedni podzakres pomiarowy. Po ustaleniu wskazań, dokonać odczytu wartości mierzonej. Odczyt powinien być dokonany w formie przedziału wartości mierzonej tak, żeby 95% wskazań przyrządu mieściło się w określonym przedziale. Wynik pomiaru podaje się jako wartość netto wskazań przyrządu, czyli po odjęciu biegu własnego przyrządu z uwzględnieniem współczynnika wzorcowania.

5.2 Radiometr FH-40

Elektroniczny uniwersalny radiometr do pomiarów mocy przestrzennego równoważnika dawki wyposażony w licznik proporcjonalny o wymiarach Φ 25 mm x 25,8 mm.

Podstawowe dane techniczne:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| – zakres pomiarowy $H^*(10)$: | 500 nSv/h – 100 mSv/h |
| – zakres energetyczny: | 30 keV – 4,4 Mev |
| – typowy błąd pomiaru: | <5% |
| – zasilanie: | 2x ogniwo AA/LR6 |

Sposób przeprowadzenia pomiaru.

Uruchomić przyrząd. Podczas uruchamiania przyrząd automatycznie dokona testu źródła zasilania. Przyrząd gotowy jest do pomiaru. Następnie należy zmierzyć bieg własny przyrządu sprawdzając, czy mieści się on w granicach wskazanych przez producenta. Umieścić środek detektora w punkcie pomiarowym. Odczyt powinien być dokonany, jako zanotowanie 12 chwilowych wskazań przyrządu w równych odstępach czasu (≥ 5 sekund), a następnie wyliczenie z tych wskazań wartości średniej i odchylenia standardowego od wartości średniej. Wynik pomiaru podaje się, jako wartość netto wskazań przyrządu, czyli po odjęciu biegu własnego przyrządu z uwzględnieniem współczynnika wzorcowania.

5.3. Radiometr RUST-3 z sondami

Uniwersalny radiometr RUST-3 przystosowany jest do pracy z kilkoma typami sond licznikowych i scyntylicyjnych do pomiaru promieniowania jonizującego alfa, beta oraz gamma.

Sposób przeprowadzenia pomiaru.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy sprawdzić stan źródła zasilania, poprzez ustawienie pokrętki pozycji „kontrola baterii” i włączenie dowolnego napięcia zasilającego sondę pomiarową. Po wyłączeniu napięcia należy podłączyć wybraną sondę pomiarową.

Uwaga:

Podłączanie sondy przy włączonym napięciu zasilania grozi porażeniem wysokim napięciem.

Po podłączeniu sondy ustawić odpowiednie dla danej sondy napięcie pracy oraz czułość. Następnie należy zmierzyć bieg własny przyrządu (na najmniejszym podzakresie pomiarowym, bez przesłony rozszerzającej zakres pomiarowy dla długiej stałej czasowej) sprawdzając, czy mieści się on w granicach wskazanych przez producenta. Umieścić środek detektora w punkcie pomiarowym. Włączyć największy podzakres pomiarowy i uruchomić przyrząd. Nie wyłączając przyrządu dobrać odpowiedni podzakres pomiarowy. Po ustaleniu wskazań, dokonać odczytu wartości mierzonej. Po ustaleniu wskazań, dokonać odczytu wartości mierzonej. Odczyt powinien być dokonany w formie przedziału wartości mierzonej tak, żeby 95% wskazań przyrządu mieściło się w określonym przedziale. Wynik pomiaru podaje się jako wartość netto wskazań przyrządu, czyli po odjęciu biegu własnego przyrządu z uwzględnieniem współczynnika wzorcowania. Wyłączyć napięcie zasilające sondę i dopiero wtedy odłączyć ją od przyrządu.

Uwaga:

Odłączanie sondy przy włączonym napięciu zasilania grozi porażeniem wysokim napięciem.

5.3.1. Sonda licznikowa SSU-3-2

Sonda scyntylicyjna uniwersalna przeznaczona do pomiaru promieniowania alfa, beta, X oraz gamma przy użyciu odpowiednio wybranych scyntylatorów.

Do pomiarów dawki promieniowania gamma używa się scyntylatorów NaJ/Tl.

Podstawowe dane techniczne:

- napięcie zasilania: 600 ÷ 1500 V
- bieg własny sondy: < 12 imp. / s
- czas trwania impulsu < 5 μs

6. Wykonanie ćwiczenia

Uwaga:

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia należy zapoznać się z podstawowymi zasadami ochrony radiologicznej obowiązującymi w miejscu wykonywania ćwiczenia.

W trakcie wykonywania ćwiczenia należy bezwzględnie stosować się do przepisów ochrony radiologicznej oraz wskazówek i uwag prowadzącego zajęcia.

Operacje źródłami promieniowania gamma wykonuje wyłącznie prowadzący ćwiczenie.

Zabronione jest wchodzenie do hali kalibracyjnej podczas ekspozycji źródeł promieniowania.

- 6.1. Zapoznać się z instrukcjami i obsługą przyrządów stosowanych w ćwiczeniu.
- 6.2. Zanotować nazwę i numer seryjny przyrządu lub zestawu przyrząd + sonda.
- 6.3. Zapoznać się ze świadectwem wzorcowania przyrządu, zanotować współczynnik wzorcowania oraz niepewności jego wyznaczenia oraz parametry pracy.
- 6.4. Sprawdzić i zanotować warunki środowiskowe.
- 6.5. Sprawdzić zasilanie przyrządu oraz poprawność jego działania.
- 6.6. Ustawić przyrząd na wózku jezdnym tak żeby środek detektora był w punkcie pomiarowym dla odległości wskazanej przez prowadzącego ćwiczenie.
- 6.7. Zmierzyć i zanotować bieg własny przyrządu.
- 6.8. Dokonać pomiaru i zanotować wskazania przyrządu w polu promieniowania gamma.

Uwaga:

Operacje źródłami promieniowania gamma wykonuje wyłącznie prowadzący ćwiczenie.

Zabronione jest wchodzenie do hali kalibracyjnej podczas ekspozycji źródeł promieniowania.

6.9. Zmienić punkt pomiarowy poprzez automatyczne przestawienie wózka jeźdźnego (zmianę odległości od źródła promieniowania). Dokonać pomiaru i zanotować wskazania przyrządu. Czynności te powtórzyć dla wszystkich wskazanych przez prowadzącego punktów pomiarowych (odległości od źródła promieniowania).

6.10. Dokonać pomiaru i zanotować wskazania przyrządów dla wskazanego przez prowadzącego punktu pomiarowego z użyciem osłon ołowianych o różnej grubości.

6.11. Wyłączyć zasilanie przyrządów

6.12. Zanotować wartość umownie prawdziwą wielkości mierzonej dla wszystkich punktów pomiarowych.

7. Opracowanie wyników

Należy przedstawić:

- Warunki środowiskowe podczas wykonywania ćwiczenia
- Spis używanych przyrządów, numery seryjne oraz ich współczynniki wzorcowania wraz z niepewnością wyznaczenia.
- Dane używanych źródeł promieniowania gamma
- Dane używanych osłon przed promieniowaniem.
- Wartości umownie prawdziwe mierzonej wielkości w punktach pomiarowych, wraz z jej niepewnością.
- Wyniki pomiarów.
- Obliczone wartości wielkości mierzonej w punktach pomiarowych, wraz z niepewnością ich wyznaczenia wyrażoną w procentach.
Wartość wielkości mierzonej oblicza się jako iloczyn współczynnika wzorcowania przyrządu, określonego w świadectwie wzorcowania i wskazania przyrządu dla danego punktu pomiarowego po odjęciu biegu własnego.
- Bilans niepewności dla każdego pomiaru wyrażonej w procentach.

Istotne składowe niepewności rozszerzonej:

- niepewność położenia detektora;
- niepewność odczytu wielkości mierzonej;
- niepewność wyznaczenia współczynnika wzorcowania.

Niepewność całkowitą określa się jako pierwiastek kwadratowy z sumy kwadratów niepewności składowych.

Należy podać niepewności rozszerzone przy poziomie ufności około 95% i współczynnika rozszerzenia $k = 2$.

- Obliczoną krotność osłabienia dla stosowanych osłon.
- Porównanie wielkości zmierzonych z wartościami umownie prawdziwymi.
- Wykres wartości zmierzonych i wartości umownie prawdziwej w funkcji odległości od źródła promieniowania wraz z analizą.

8. Dodatkowe informacje

8.1. Współczynniki przeliczeniowe

dla ^{137}Cs

kerma w powietrzu / dawka ekspozycyjna	K_{air}/X	8,77 mGy/R (1 R = $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg)
przestrzenny równoważnik dawki / dawka ekspozycyjna	$H^*(10)/X$	10,5 mSv/R
przestrzenny równoważnik dawki / kerma w powietrzu	$H^*(10)/K_{\text{air}}$	1,20 Sv/Gy
indywidualny równoważnik dawki / kerma w powietrzu	$H_p(10)/K_{\text{air}}$	1,21 Sv/Gy

dla ^{60}Co

kerma w powietrzu / dawka ekspozycyjna	K_{air}/X	8,77 mGy/R
przestrzenny równoważnik dawki / dawka ekspozycyjna	$H^*(10)/X$	10,2 mSv/R
przestrzenny równoważnik dawki / kerma w powietrzu	$H^*(10)/K_{\text{air}}$	1,16 Sv/Gy
indywidualny równoważnik dawki / kerma w powietrzu	$H_p(10)/K_{\text{air}}$	1,15 Sv/Gy

dla ^{241}Am

kerma w powietrzu / dawka ekspozycyjna	K_{air}/X	8,77 mGy/R
przestrzenny równoważnik dawki / dawka ekspozycyjna	$H^*(10)/X$	15,3 mSv/R
przestrzenny równoważnik dawki / kerma w powietrzu	$H^*(10)/K_{\text{air}}$	1,74 Sv/Gy
indywidualny równoważnik dawki / kerma w powietrzu	$H_p(10)/K_{\text{air}}$	1,89 Sv/Gy

Współczynniki przeliczeniowe podane są z niepewnością standardową nieprzekraczającą 2%.

Inne:

Rentgen (R) może być przeliczany na dawkę pochłoniętą w powietrzu wyrażaną w grejach (Gy)

$$1 \text{ R} = 0,00877 \text{ Gy}$$

rad (rd) *ang. roentgen absorption dose*

$$1 \text{ rd} = 10^{-2} \text{ J kg}^{-1} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

rem (rem) *ang. roentgen equivalent man*

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ J kg}^{-1} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

8.2. Poprawki na ciśnienie, wilgotność i temperaturę powietrza

W przypadku otwartej komory jonizacyjnej należy stosować następujące poprawki dla gazu idealnego, ze względu na różnice między warunkami w trakcie pomiaru, a warunkami odniesienia:

$$M = M_i \times C_{T,p} \times C_h$$

gdzie: M – wartość skorygowana do podanych wyżej warunków odniesienia p_o, T_o i h_o

M_i – wartość mierzona w warunkach rzeczywistych p, T i h

p – ciśnienie powietrza, podczas pomiarów;

$T = t + 273,15 \text{ K}$ – temperatura powietrza podczas pomiarów;

h – wilgotność względna podczas pomiarów.

$C_{T,p}$ – współczynnik poprawkowy na temperaturę i ciśnienie powietrza, określony następującym wzorem:

$$C_{T,p} = \frac{p_o \times T}{p \times T_o}$$

C_h – współczynnik poprawkowy uwzględniający różnice we względnej wilgotności między warunkami wzorcowymi odniesienia, a warunkami podczas pomiarów. Wartość C_h wyznacza się z doświadczalnej zależności odpowiedzi komór jonizacyjnych w funkcji wilgotności względnej (raport ICRU 31). Wartość tego współczynnika poprawkowego jest zazwyczaj mała i zakłada się, że w zakresie normalnie spotykanych wilgotności względnych $C_h = 1$.

9. Pytania kontrolne

- Detekcja promieniowania jonizującego
- Rodzaje detektorów promieniowania jonizującego
- Podstawowe zasady użytkowania przyrządów dozymetrycznych
- Podstawowe właściwości promieniowania gamma

10. Literatura

- Piątkowski, W. Schraft, Elektroniczne mierniki promieniowania jonizującego, Wydawnictwo MON, Warszawa, 1979.
- K. Besztak, G. Jezierski, Metody radiologiczne – terminologia, Biuro Gamma, Warszawa, 2007.

- PN-EN 60325:2007 Oprzyrządowanie do ochrony radiologicznej – mierniki skażeń promieniotwórczych alfa, beta, alfa/beta (energia beta >60keV)
- International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM – 1993); wydanie polskie – Międzynarodowy Słownik Podstawowych i Ogólnych Terminów Metrologii. GUM 1996
- ISO/IEC 17025:2005 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- PN-ISO 7503-1:2004 Ocena skażeń powierzchni -Część 1: Emitery beta (maksymalna energia beta większa niż 0,15 MeV) i emitery alfa.
- PN-ISO 4037-1:2002; Wzorcowe promieniowanie rentgenowskie i gamma do kalibracji dawkomierzy i mierników mocy dawki oraz do określania ich charakterystyk energetycznych -- Część 1: Charakterystyki promieniowania oraz metody jego wytwarzania.
- Polska Norma PN-92/J-01003/02 Technika jądrowa. Nazwy i określenia. Wielkości i jednostki.
- Polska Norma PN 92/J-01003/05 Nazwy i określenia. Narażenie na promieniowanie jonizujące.
- International Commission on Radiation Units and Measurements. Report No 60. 1998.
- International Commission on Radiation Units and Measurements. Report No 51. 1993
- International Standard Organization. Nuclear Energy Vocabulary ISO 921:1997
- Instrukcje obsługi przyrządów dozymetrycznych.