



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Laboratorium Fizyki

POMIARY SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH

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 detekcji i pomiaru skażeń promieniotwórczych

2. Wprowadzenie

2.1 Cel pomiarów skażeń:

- wykrycie skażenia, to znaczy określenie jego istnienia i obszaru, a także kontrolowanie jego przemieszczanie z rejonów o wyższym skażeniu do rejonów o niższym skażeniu lub do obszaru gdzie nie występuje.
- oszacowanie aktywności na jednostkę powierzchni w celu sprawdzenia czy dopuszczalne limity nie zostały przekroczone.

2.2 Charakterystyka źródeł promieniowania jonizującego

- rodzaj promieniowania jonizującego
- energia promieniowania
- aktywność
- izotop promieniotwórczy
- czas połowicznego rozpadu
- źródło promieniowania

2.3 Klasyfikacja przyrządów dozymetrycznych

2.3.1 ze względu na funkcję

- zespoły detekcyjne
- zespoły pomiarowe
- kompletne mierniki lub monitory skażeń promieniotwórczych

2.3.2. ze względu na sposób użycia

- zespoły przewożne
- zespoły przenośne
- zespoły stałe

2.2.3. ze względu na typ wykrywanego promieniowania

- mierniki lub monitory skażeń promieniotwórczych alfa
- mierniki lub monitory skażeń promieniotwórczych beta
- mierniki lub monitory skażeń promieniotwórczych alfa i beta

2.4 Podstawowe pojęcia

- Skażenie powierzchni to skażenie powierzchni substancjami promieniotwórczymi.

- Skażenie powierzchni związane to skażenie związane z powierzchnią w taki sposób, że nie jest przenoszone podczas normalnych warunków pracy.
- Skażenie powierzchni niezwiązane to skażenie powierzchni, które jest usuwalne lub przenoszone w normalnych warunkach pracy.
- Aktywność na jednostkę powierzchni to stosunek aktywności radionuklidów występujących na powierzchni do wielkości tej powierzchni, wyrażana w Bq/cm².
- Pomiar bezpośredni skażenia powierzchni to pomiar aktywności występującej na powierzchni za pomocą miernika lub monitora.
- Natężenie emisji powierzchniowej źródła to liczba cząstek danego rodzaju i powyżej danej energii, wychodzących z zewnętrznej powierzchni źródła w jednostce czasu.
- Wydajność źródła to stosunek liczby cząstek danego rodzaju powyżej określonej energii, wychodzących z zewnętrznej powierzchni źródła w jednostce czasu (częstość emisji powierzchniowej źródła) do liczby cząstek tego samego rodzaju wytwarzanych lub uwalnianych w obszarze źródła (dla cienkiego źródła) lub z grubości jego warstwy nasycenia (dla grubego źródła) w jednostce czasu.
- Wydajność przyrządu to stosunek wskazań wartości netto wskazań przyrządu do natężenia emisji powierzchniowej źródła w określonych geometrycznych warunkach pomiaru. Wydajność przyrządu zależy od energii emitowanego promieniowania ze źródła.
- Czułość detektora to stosunek wartości odpowiedzi detektora do wartości danego parametru źródła lub pola promieniowania działającego na detektor określona dla danego rodzaju promieniowania i jego energii.
- Wydajność całkowita detekcji to stosunek liczby cząstek promieniowania jonizującego zarejestrowanych przez detektor do liczby wszystkich cząstek promieniowania jonizującego padających na detektor.
- 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_I to wartość umownie prawdziwa A_S natężenia emisji cząstek na jednostkę powierzchni z powierzchniowych źródeł wzorcowych beta i alfa, podzielona przez wskazania M dawkomierza; w razie potrzeby skorygowana:

$$N_I = A_S / M_I$$

gdzie: N_I jest współczynnikiem wzorcowania przyrządu w warunkach odniesienia; A_S to wartość umownie prawdziwa natężenia emisji cząstek na jednostkę powierzchni źródła wzorcowego; M_I to wskazanie wzorcowanego przyrządu od wzorcowego źródła powierzchniowego po odjęciu biegu własnego przyrządu.

- 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.
- 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.
- Świadectwo wzorcowania to dokument wydany przez upoważnioną jednostkę, zawierający opis procesu wzorcowania oraz wyniki z pomiarów wykonanych podczas wzorcowania.

2.5. Powierzchniowe źródła wzorcowe zalecane do wzorcowania przyrządów

2.5.1 Promieniowanie alfa:

- ^{241}Am
- ^{239}Pu

2.5.2. Promieniowanie beta:

- ^{14}C ($E_{\beta\text{max}} = 0,154 \text{ MeV}$)
- ^{147}Pm ($E_{\beta\text{max}} = 0,225 \text{ MeV}$)
- ^{36}Cl ($E_{\beta\text{max}} = 0,71 \text{ MeV}$)
- ^{204}Tl ($E_{\beta\text{max}} = 0,77 \text{ MeV}$)
- $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ($E_{\beta\text{max}} = 2,26 \text{ MeV}$)
- $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ ($E_{\beta\text{max}} = 3,54 \text{ MeV}$)

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
- unikanie kontaktu powierzchni przyrządu z powierzchnią, która może być skażona
- przestrzeganie obowiązujących przepisów prawa dotyczących użytkowania i wzorcowania przyrządów dozymetrycznych

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.

Podstawowe dane techniczne:

- zakres pomiaru skażeń: $7 \div 2000 \text{ s}^{-1}$
do $20\,000 \text{ s}^{-1}$ przy stosowaniu przesłony osłabiającej
- zakres energii promieniowania beta: $>500 \text{ keV}$
- podzakresy pomiarowe: 20; 60; 200; 600; 2000
- bieg własny: $\leq 5,5 \text{ s}^{-1}$
- 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. Przyrząd umieścić nad źródłem promieniowania w taki sposób, aby okno detektora pokrywało całą powierzchnię źródła. 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 Monitor skażeń EKO-C

Monitor skażeń EKO-C przeznaczony jest do wykrywania i pomiaru promieniowania jonizującego alfa, beta i gamma. Detektorem w tym przyrządzie jest okienkowy licznik Geigera – Müllera o powierzchni 50 cm^2 i gęstości powierzchniowej okna $2 \div 3 \text{ mg/cm}^2$

Podstawowe dane techniczne:

- zakres pomiaru skażeń β : $0,1 \div 10000 \text{ Bq/cm}^2$
- zakres pomiaru częstość impulsów α : $0,1 \div 10000 \text{ imp/s (cps)}$
- zakres energii promieniowania beta: $>100 \text{ keV}$
- zakres energii promieniowania alfa: $>4 \text{ MeV}$
- bieg własny: $< 180 \text{ imp/min}$
- zasilanie: akumulatory CdNi (4x1,2V)

Sposób przeprowadzenia pomiaru.

Uruchomić przyrząd sprawdzając stan źródła zasilania. Następnie należy zmierzyć i zanotować bieg własny przyrządu sprawdzając, czy mieści się on w granicach wskazanych przez producenta. Przyrząd umieścić nad źródłem promieniowania w taki sposób, aby okno detektora pokrywało całą powierzchnię źródła. Po ustaleniu wskazań, dokonać odczytu wartości mierzonej. 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 różnymi typami sond licznikowych i scyntylicyjnych do pomiaru promieniowania jonizującego alfa, beta i 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 osłon) sprawdzając, czy mieści się on w granicach wskazanych przez producenta. Włączyć największy podzakres pomiarowy i umieścić sondę nad źródłem promieniowania w taki sposób, aby okno detektora pokrywało całą powierzchnię źródła. 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. Wyłączyć napięcie zasilające sondę i dopiero wtedy odłączyć ją od przyrządu.

Uwaga:

Odlączenie sondy przy włączonym napięciu zasilania grozi porażeniem wysokim napięciem.

5.3.1. Sonda licznikowa SGB-2P

Sonda do pomiaru skażeń powierzchni nuklidami β , γ - promieniotwórczymi. Detektorami w tej sondzie są trzy okienkowe liczniki Geigera-Müllera o powierzchni czynnej okna około 18 cm^2 i gęstości powierzchniowej $3 \div 4 \text{ mg/cm}^2$.

Podstawowe dane techniczne:

- napięcie zasilania: $400 \div 650 \text{ V}$
- zakres energii promieniowania α : $\geq 4,5 \text{ MeV}$
- zakres energia promieniowania β : $\geq 0,1 \text{ MeV}$
- bieg własny sondy: $< 4 \text{ imp. / s}$

5.3.2 Sonda scyntylicyjna SSA-1P

Sonda SSA-1P służy do pomiaru skażeń powierzchni substancjami α - promieniotwórczymi. Detektorem jest scyntylator ZnS/Ag na podłożu ze szkła organicznego. Powierzchnia czynna okna wynosi 85 cm^2 , a gęstość powierzchniowa 1 mg/cm^2 .

Podstawowe dane techniczne:

- napięcie zasilania: $750 \div 1400 \text{ V}$
- bieg własny sondy: $< 0,033 \text{ imp. / s}$

5.3.3 Sonda licznikowa SGB-1P

Sonda do pomiaru skażeń powierzchni nuklidami beta i gamma - promieniotwórczymi. Detektorami w tej sondzie są trzy liczniki Geigera-Müllera o powierzchni czynnej okna około 115 cm^2 .

Podstawowe dane techniczne:

- napięcie zasilania: $350 \div 450 \text{ V}$
- masa powierzchniowa: $50 \pm 5 \text{ mg/cm}^2$
- bieg własny sondy: $< 5 \text{ imp. / s}$

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.

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 świadectwami wzorcowania przyrządów, zanotować współczynniki wzorcowania oraz niepewności ich wyznaczenia oraz parametry pracy

6.4. Sprawdzić i zanotować warunki środowiskowe

6.5. Sprawdzić zasilanie przyrządów oraz poprawność ich działania

6.6. Zmierzyć i zanotować bieg własny przyrządów

6.7. Dokonać pomiaru i zanotować wskazania przyrządów dla wskazanych przez prowadzącego powierzchniowych źródeł promieniowania (zanotować dane identyfikujące źródła).

6.8. Dokonać pomiaru i zanotować wskazania przyrządów dla wskazanych przez prowadzącego powierzchniowych źródeł promieniowania wraz z wybranymi osłonami (zanotować dane identyfikujące źródła oraz osłony).

6.9. Zabezpieczyć osłonami powierzchniowe źródła promieniowania.

6.10. Wyłączyć zasilanie przyrządów.

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 powierzchniowych źródeł promieniowania w tym wartość umownie prawdziwą natężenia emisji na jednostkę powierzchni, wraz z jej niepewnością.
 - Dane używanych osłon przed promieniowaniem.
 - Wyniki pomiarów.
 - Obliczone wartości emisji na jednostkę powierzchni wraz z niepewnością ich wyznaczenia wyrażoną w procentach.
- Natężenie emisji powierzchniowej na jednostkę powierzchni oblicza się jako iloczyn współczynnika wzorcowania przyrządu, określonego w świadectwie wzorcowania i wskazania przyrządu dla danego źródła po odjęciu biegu własnego.
- Obliczoną krotność osłabienia dla używanych osłon i źródeł powierzchniowych.
 - 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 $k = 2$.

8. Pytania kontrolne

- Detekcja promieniowania jonizującego
- Rodzaje detektorów promieniowania jonizującego
- Podstawowe zasady użytkowania przyrządów dozymetrycznych
- Podstawowe właściwości promieniowania alfa i beta

9. 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.
- Instrukcje obsługi przyrządów dozymetrycznych.