



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Laboratorium Fizyki

POMIARY MOCY PRZESTRZENNEGO RÓWNOWAŻNIKA DAWKI PROMIENIOWANIA NEUTRONOWEGO

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 i innych wielkości dozymetrycznych promieniowania neutronowego oraz ze specyfiką pomiarów pól promieniowania neutronowego.

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 przewoźne
- zespoły przenośne
- zespoły stałe

2.1.3. ze względu na wielkości mierzone

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

2.2 Wybrane detektory promieniowania neutronowego

- liczniki proporcjonalne - wypełnione trójfluorkiem boru BF_3 lub helem ^3He ; albo z pokryciem borem (np. węglikiem boru B_4C)
- liczniki proporcjonalne wypełnione wodorem H
- detektory scyntylicyjne $\text{LiI}(\text{Eu})$; $\text{ZnS}(\text{Ag})$

2.3 Podstawowe pojęcia

- fluencja Φ to iloraz dN przez da , gdzie dN jest liczbą cząstek, które weszły do kuli o polu wielkiego koła da

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

Jednostka: m^{-2}

- Gęstość strumienia cząstek ϕ to iloraz $d\Phi$ przez dt , gdzie $d\Phi$ jest przyrostem fluencji cząstek w przedziale czasu dt

$$\varphi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d^2N}{dadt}$$

Jednostka: $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$

- 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)

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

- 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 . to równoważnik dawki pod określonym punktem ciała, na odpowiedniej głębokości d . Głębokość $d = 0,07 \text{ mm}$ jest stosowana dla skóry w przypadku promieniowania słabo przenikliwego - $H_p(0,07)$. Głębokość $d = 10 \text{ mm}$ jest stosowana w przypadku promieniowania silnie przenikliwego - $H_p(10)$.
- Kula ICRU to fantom symulujący ciało ludzkie - kula z 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.

- 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 wzorec 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 pomiaru 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.

- 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 neutronowego zalecane do wzorcowania przyrządów

- ^{252}Cf
- ^{252}Cf + moderator D_2O
- $^{241}\text{Am-B}(\alpha, n)$
- $^{241}\text{Am-Be}(\alpha, n)$

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

5. Przyrządy używane w ćwiczeniu

5.1. Sonda neutronowa FHT 752

Sonda FHT 752 wyposażona jest w licznik proporcjonalny, wypełniony BF_3 otoczonym moderatorem polietylenowym. Sonda ta współpracuje z przyrządem FH 40 G-L10.

Podstawowe dane techniczne:

– zakres pomiarowy $H^*(10)$:	0,0001 ÷ 400 000 $\mu\text{Sv/h}$
– zakres energetyczny:	$0,025 \times 10^{-3}$ ÷ 10 000 keV
– typowy błąd pomiaru:	<5%
– wymiary sondy:	Φ 208 mm x 435 mm
– waga sondy:	11,5 kg

Przeprowadzenie 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.

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 neutronowego wykonuje wyłącznie prowadzący ćwiczenie.

Zabronione jest wchodzenie do hali kalibracyjnej podczas ekspozycji źródeł promieniowania.

- 6.1. Zapoznać się z instrukcją i obsługą przyrządu stosowanego w ćwiczeniu.
- 6.2. Zanotować nazwę i numer seryjny zestawu sonda + przyrząd.
- 6.3. Zapoznać się ze świadectwem wzorcowania zestawu, 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 jeżdżym 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 neutronowego.

Uwaga:

Operacje źródłami promieniowania neutronowego
wykonuje wyłącznie prowadzący ćwiczenie.

Zabronione jest wchodzenie do hali kalibracyjnej podczas ekspozycji źródeł promieniowania.

- 6.9. Zmienić punkt pomiarowy poprzez automatyczne przestawienie wózka jeżdżego (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 filtrów moderujących.
- 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.
- Typ i numer seryjny zestawu sonda + przyrząd oraz współczynnik wzorcowania wraz z niepewnością wyznaczenia.
- Dane używanych źródeł promieniowania neutronowego.
- Dane używanych filtrów moderujących.
- 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 współczynniku rozszerzenia $k = 2$.

- Porównanie wielkości zmierzonych z wartościami umownie prawdziwymi.
- Porównanie wielkości mierzonej dla źródła promieniowania eksponowanego w powietrzu oraz w filtrach moderujących.

8. Pytania kontrolne

- Detekcja promieniowania neutronowego
- Rodzaje detektorów promieniowania neutronowego
- Podstawowe zasady użytkowania przyrządów dozymetrycznych
- Podstawowe właściwości promieniowania neutronowego

10. Literatura

- Piątkowski, W. Schraft, Elektroniczne mierniki promieniowania jonizującego, Wydawnictwo MON, Warszawa, 1979.
- K. Besztak, G. Jezierski, Metody radiologiczne – terminologia, Biuro Gamma, Warszawa, 2007.
- 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 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.
- ISO 8529-1:2001, *Reference neutron radiations - Part 1: Characteristics and methods of production.*
- ISO 8529-2:2000, *Reference neutron radiations - Part 2: Calibration fundamentals related to the basic quantities characterizing the radiation field.*
- ISO 8529-3:1998, *Reference neutron radiations - Part 3: calibration of area and personal dosimeters and the determination of their response as a function of energy and angle of incidence.*
- 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.