



Wyznaczanie skażeń promieniotwórczych, pomiar dawek promieniowania, osłony przed promieniowaniem

I. Cel ćwiczenia

- Zapoznanie z parametrami charakteryzującymi źródło promieniotwórcze z punktu widzenia ochrony radiologicznej
- Poznanie kryteriów doboru odpowiednich osłon chroniących przed promieniowaniem
- Zapoznanie z zasadami działania urządzeń pomiarowych służących do wykrywania skażeń promieniotwórczych oraz określania dawek promieniowania

II. Obowiązujący zakres materiału

1. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych z punktu widzenia ochrony radiologicznej
2. Charakterystyka promieniowania α , β , γ
3. Rodzaje dawek promieniowania jonizującego
4. Osłony przed promieniowaniem, rodzaje osłon i dobór materiału

III. Literatura

1. W. Gorączko, „Radiochemia i ochrona radiologiczna”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2003
2. B. Gostkowska, „Fizyczne podstawy ochrony radiologicznej”, Wydawnictwo CLOR, Warszawa,
3. J. Araminowicz, K. Małuszyńska, M. Przytuła, „Laboratorium fizyki jądrowej”, PWN, Warszawa 1984;
4. Praca zbiorowa pod redakcją A. Hryniewiczza, „Człowiek i promieniowanie jonizujące”, PWN, Warszawa 2001;
5. Podręczniki kursowe z fizyki jądrowej;
6. Instrukcje obsługi przyrządów dozymetrycznych.

IV. Podstawy teoretyczne

1. Biologiczne skutki promieniowania jonizującego

Promieniowanie jonizujące oddziałuje na wszystkie organizmy żywe a więc także na człowieka. Szkodliwy wpływ promieniowania jonizującego na organizm żywy i człowiek polega na wzbudzeniu i jonizacji atomów, które z kolei mogą prowadzić do zmian czynnościowych i morfologicznych. Jednak nie wszystkie zmiany w budowie i funkcjonowaniu materiału genetycznego organizmu ujawniają się natychmiastowo. Zwykle aby zaobserwować zmiany trzeba określonego odcinka czasu, są to tak zwane zmiany późne. Początkiem zmian popromiennych w materiale biologicznym jest pochłonięcie przez żywą tkankę energii, która między innymi powoduje wzbudzenie jonizacji wyzwalającej następnie łańcuch wtórnych reakcji biologicznych. Jonizacja i pobudzenie atomów wchodzących w skład żywej materii stanowią pierwsze ogniwo w łańcuchu przemian prowadzących do biologicznego efektu działania promieniowania.

Kolejne stadia oddziaływania promieniowania:

Stadium pochłaniania energii przez struktury komórkowe (czas trwania trylionowe części sekundy).



Cząstki naładowane wchodzą w głąb tkanki, tracą swoją energię na skutek oddziaływania z elektronami atomów w pobliżu których przebiegają. Promieniowanie gamma i cząstki neutronowe wytwarzają cząstki naładowane.

Stadium oddziaływania elektrycznego – przekazywanie energii składnikom komórek zachodzi poprzez jonizację atomów i cząsteczek, głównie wody. Atomy pozbawione elektronu stają się dodatnimi jonami, a uwolnione w procesie jonizacji elektrony mogą przyłączyć się do innych, obojętnych atomów, tworząc ujemne jony. W tym stadium wewnątrz komórek powstają różne cząstki naładowane. Ważne procesy: efekt Comptona, efekt fotoelektryczny oraz efekt tworzenia par.

Stadium zmian fizykochemicznych – powstałe jony i wzbudzone atomy są bardzo nietrwałe. Największe znaczenie ma rozkład wody (radioliza). Podczas tego procesu tworzą się między innymi nowe cząsteczki, w tym wyjątkowo silnie aktywne, zwane *wolnymi rodnikami*. Zachodzą również inne rodzaje oddziaływania z innymi strukturami komórkowymi, spośród których na szczególną uwagę zasługują cząstki DNA.

Stadium zmian chemicznych – wolne rodniki wykazujące dużą reaktywność chemiczną i biologiczną. Oddziaływania z innymi cząstkami komórek prowadzą do ich zmian procesów biologicznych powodując zaburzenia funkcji komórek. Zakres tych zmian zależy w znacznym stopniu od uwodnienia tkanek i od zawartości w nich tlenu. Im mniej wody i tlenu tym zmiany spowodowane radiolizą są mniej intensywne.

Stadium skutków biologicznych – zaburzenia działania komórki może wywołać poważne skutki biologiczne:

- Zaburzenia czynności;
- Obumarcie komórki;
- Zmiany jej materiału genetycznego (szczególnie po uszkodzeniu DNA).

Te wszystkie zmiany po wielu latach mogą ujawniać się w postaci choroby nowotworowej lub defektu genetycznego. Poważne skutki biologiczne mogą ujawniać się w szerokim przedziale czasowym – od kilku sekund do nawet kilku dziesiątków lat.

Istnieją dwie teorie analizy skutków oddziaływania biologicznego promieniowania.

- **Trafienia w cel** (teoria uszkodzenia bezpośredniego) – opiera się ona na założeniu, iż kwant energii lub cząstka promieniowania korpuskularnego trafiając w funkcjonalnie ważną strukturę lub ugrupowanie chemiczne i wywołując w nim jonizację może bezpośrednio spowodować zmianę lub uszkodzenie biologicznie istotnej funkcji, a co za tym idzie uszkodzenie komórki. Mechanizm ten ma być odpowiedzialny za efekty biologiczne nie wymagające wielkości dawki progowej.
- **Teoria radiochemiczna (pośredniego oddziaływania)** – zakłada, że kluczowe zmiany w patogenezie uszkodzeń popromiennych odgrywa woda, jako główny składnik układów biologicznych, w których zachodzą charakterystyczne procesy radiacyjne.

Obecnie przyjmuje się, że w organizmach złożonych około 20% uszkodzeń powstaje na skutek bezpośredniego oddziaływania promieniowania (trafienia w cel), a 80% pośrednio poprzez zmiany radiochemiczne.

Charakterystyczną cechą działania promieniowania jonizującego jest to, że zmiany chorobowe mogą się ujawnić nie tylko u osoby napromieniowanej, lecz również i u jej potomstwa. W pierwszym przypadku mówimy o skutkach somatycznych, w drugim o skutkach genetycznych.

Skutki somatyczne - występujące bezpośrednio po napromieniowaniu całego ciała. Późniejsze skutki takiego napromieniowania to białaczka, nowotwory złośliwe kości, skóry, zaćma, zaburzenia przewodu pokarmowego, bezpłodność.

Skutki genetyczne - związane z mutacjami w obrębie materiału genetycznego. Małe dawki promieniowania pochłonięte jednorazowo, dają obraz morfologiczny w postaci zmutowanych organizmów dopiero w kolejnych pokoleniach. Z kolei duże dawki są najczęściej dawkami letalnymi. Z klinicznego i patologicznego punktu widzenia biologiczne następstwa działania promieniowania jonizującego dzieli się na dwie kategorie:

- **Skutki stochastyczne** – to takie których częstość występowania ulega jedynie zwiększeniu ze wzrostem dawki. **Nie istnieje dla nich dawka progowa**. Przebieg wywołanej choroby nie jest przez dawkę determinowany.
- **Skutki deterministyczne (niestochastyczne)** – to takie, których częstość jak i stopień ciężkości ulega wzrostowi z dawką promieniowania. **Można określić dla nich dawkę progową**. Należą do nich np. wszystkie znane powikłania radioterapii.



Zasadniczą różnicą w ich patogenezie jest to, że dla wywołania skutków deterministycznych konieczne jest spowodowanie zdolności poliferacyjnej (mnożenia się) istotnej części komórek danej tkanki lub narządu. W przypadku efektów stochastycznych musi dojść do określonej zmiany, najprawdopodobniej w DNA, w jednej lub najwyżej kilku komórkach.

W związku z tym, że do wywołania skutków niestochastycznych potrzebna jest dawka progowa łatwo jest zapobiegać ich następstwom, gdyż dawki progowe dla następstw o istotnym znaczeniu patofizjologicznym są wysokie, rzędu od kilku do kilkudziesięciu Gy, zwłaszcza przy niskiej mocy dawki lub jej frakcjonowaniu.

Inaczej przedstawia się sprawa w odniesieniu do efektów stochastycznych. Brak progów oznacza, że każdej dawce nawet bardzo małej towarzyszy zwiększenie prawdopodobieństwa indukcji tych zmian. Napromieniowanie dużymi dawkami powoduje u ludzi różnorodne objawy, do których można zaliczyć:

- Ostry zespół popromienny (nazywany dawniej chorobą popromienną);
- Lokalne martwicze zmiany skóry i innych narządów;
- Uszkodzenia układu krwiotwórczego;
- Zaćma;
- Uszkodzenia zarodka.

Spowodowane one są poważnymi uszkodzeniami wielu komórek lub ich zniszczeniem.

Najczęstsze objawy to:

- Rumień skóry;
- Wypadanie włosów;
- Nudności
- Wymioty;
- Gorączka;
- Zmiana obrazu krwi.

2. Charakterystyka źródeł promieniotwórczych z punktu widzenia ochrony radiologicznej

Do oceny stopnia zagrożenia promieniowaniem jonizującym niezbędna jest znajomość charakterystyki źródła promieniotwórczego tzn.:

- rodzaju promieniowania jakie wysyła źródło
- energii promieniowania
- aktywności promieniotwórczej
- czasu połowicznego zaniku
- rodzaju źródła – zamknięte, otwarte
- rodzaju wiązki promieniowania – rozproszona, skolimowana

2. Dawki promieniowania jonizującego

Pojęcie dawki zostało wprowadzone w celu określenia zagrożenia, jakie może się pojawić w wyniku zetknięcia ze źródłem promieniowania. Dawka jest zatem miarą narażenia na promieniowanie jonizujące. W ochronie radiologicznej zgodnie z obowiązującymi przepisami obowiązują trzy podstawowe rodzaje dawek promieniotwórczych:

- dawka pochłonięta D
- dawka równoważna H
- dawka skuteczna (efektywna) E

Wartość dawek możemy zmierzyć odpowiednim radiometrem lub obliczyć.

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

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}$$

gdzie $d\bar{E}$ jest średnią energią promieniowania jonizującego przekazaną materii w elemencie objętości o masie m .



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 12

Dawka pochłonięta jest miarą pochłaniania energii promieniowania przez materiały i ośrodki, w których rozchodzi się promieniowanie. Dawkę pochłoniętą wyrażamy w **greyach (Gy)**, czyli w (J/kg).

Dawka równoważna H – jest to dawka pochłonięta w tkance lub narządzie, wyznaczona z uwzględnieniem rodzaju i energii promieniowania jonizującego. Jest ona określona:

$$H_T = w_R D$$

gdzie D – dawka pochłonięta uśredniona w narządzie lub tkance, w_R – to tzw. współczynnik wagowy promieniowania.

Jeżeli promieniowania składa się z kilku rodzajów różniących się energiami promieniowania, to całkowita dawka równoważna jest sumą dawki od poszczególnych rodzajów promieniowania.

$$H_T = w_{R1} D_1 + w_{R2} D_2 + ..$$

Współczynniki Wagowe Promieniowania są mnożnikami dawki pochłoniętej stosowanymi w celu uwzględnienia skutków zdrowotnych wywołanych przez różne typy promieniowania.

Tabela 1. Zależność współczynnika wagowego promieniowania od rodzaju i zakresu energii tego promieniowania

Rodzaj i zakres energii promieniowania	Współczynnik wagowy W_R
Fotony (wszystkie energie)	1
Elektrony i miony (wszystkie energie)	1
Protony (bez protonów odrzutu) (energia >2 MeV)	5
Cząstki alfa, ciężkie jony oraz fragmenty rozszczepienia	20
Neutrony Energia:	
<10 keV	5
10 keV – 100 keV	10
100 keV – 2 MeV	20
2 MeV – 20 MeV	10
>20 MeV	5

Należy zwrócić uwagę, że cząstki α i neutrony wywołują największe skutki.

Sivert (Sv) jest jednostką wszystkich dawek określających narażenie organizmu.

Dawce pochłoniętej w powietrzu równej 0,087 cGy odpowiada dawka równoważna wynosząca 1mSv.

Dawka skuteczna E_z – jest to suma dawek równoważnych pochodzących od zewnętrznego i wewnętrznego narażenia wyznaczona z uwzględnieniem odpowiednich współczynników wagowych narządów lub tkanek, obrazująca narażenie całego ciała.

Jest ona wyrażona wzorem:

$$E_z = w_{T1} H_1 + w_{T2} H_2 + ..$$

Dawka skuteczna E określa napromieniowanie całego ciała a nie poszczególnych organów. Wynika to z tego, że wielkość tę otrzymuje się przez zsumowanie wszystkich iloczynów dawek równoważnych i współczynników wagowych tkanki dla poszczególnych narządów wchodzących w skład napromieniowanego organizmu.

Podane w tabeli 2 wartości w_T zostały określone na podstawie tak zwanej promieniowrażliwości poszczególnych narządów. Powyższy wzór pozwala więc na obliczenie dawki na całe ciało człowieka w warunkach, kiedy ekspozycji na promieniowanie poddany był tylko pojedynczy narząd.



Tabela 2. Współczynniki wagowe tkanek (w_T)

Narząd/tkanka	Współczynnik wagowy w_T
Gonady	0,25
Gruzoły piersiowe	0,15
Czerwony szpik kostny	0,12
Płuca	0,12
Żołądek	0,12
Jelito grube	0,12
Tarczycza	0,05
Pęcherz moczowy	0,05
Wątroba	0,05
Kości	0,01
Skóra	0,01
Inne najbardziej narażone	0,3

W obliczeniach dawek promieniowania gamma w celu obliczenia dawki równoważnej można korzystać z wzoru na dawkę pochłoniętą w powietrzu:

$$D = \frac{\Gamma_r \cdot A \cdot t}{k \cdot l^2}$$

gdzie Γ_r – stała charakterystyczna dla danego izotopu promieniotwórczego, tzw. równoważna wartość stałej ekspozycyjnej;

A – aktywność źródła;

t – czas narażenia;

l – odległość od źródła;

k – krotność osłabienia osłony.

Jak widać wielkość otrzymanej dawki zależy od rodzaju izotopu, aktywności źródła, czasu narażenia, odległości od źródła i zastosowanej osłony.

Moc dawki pochłoniętej \dot{D} w odległości l od źródła promieniowania gamma wyraża się wzorem:

$$\dot{D} = \frac{\Gamma_r \cdot A}{l^2}$$

Dawka Skuteczna (Efektywna) Obciążająca E - od narażenia zewnętrznego i wniknięcia radionuklidu do organizmu. Wartość tę wyznacza się przez zsumowanie dawek skutecznych E od narażenia zewnętrznego oraz dawek obciążających spowodowanych wniknięciem radionuklidów do organizmu w tym samym czasie. Dawkę tę można opisać dla osoby w grupie wiekowej (np. g) następującym równaniem:

$$E = E_z + \sum_j e(g)_{j,p} J_{j,p} + \sum_j e(g)_{j,o} J_{j,o}$$

gdzie:

E_z - dawka skuteczna od narażenia zewnętrznego, $e(g)_{j,p}$ i $e(g)_{j,o}$ - obciążające dawki skuteczne (dla osób w grupie wiekowej g), po wniknięciu do organizmu radionuklidu, J o aktywności 1 Bq (drogą pokarmową - indeks p lub drogą oddechową - indeks o).

Dawki Graniczne - to wartości dawek promieniowania jonizującego, wyrażone jako dawka skuteczna lub równoważna, dla określonych grup osób, pochodzące od kontrolowanej działalności zawodowej, których poza przypadkami przewidzianymi w ustawie nie wolno przekraczać. Przy ocenie narażenia, obliczenia prowadzi się z reguły dla tygodnia pracy, przestrzegając zasady, aby narażenie było



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 12

równomierne. Dla osób narażonych zawodowo jest to wartość dawki skutecznej równa **20 mSv/rok** na całe ciało, a dla pozostałych osób **1mSv/rok**. Z tego wynika odpowiednio: **0,4 mSv/tydzień** i **0,02 mSv/tydzień**.

Tabela 3 podaje wartości dawek granicznych według rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 28 maja 2002 r.

Tabela 3. Wartości dawek granicznych [mSv/rok]

	Dawka skuteczna	Dawka równoważna		
		Oczy	Skóra	Dłonie, przedramiona, stopy, podudzia
Osoby narażone zawodowo, praktykanci i studenci w wieku ≥ 18	20	150	500	500
Praktykanci i uczniowie w wieku 16-18 lat	6	50	150	150
Osoby z ogółu ludności, praktykanci i uczniowie w wieku poniżej 16 lat	1	15	50	

W ochronie radiologicznej jest stosowana zasada **ALARA (As Low As Reasonably Achievable)**. Zgodnie z tą zasadą należy tak planować i organizować pracę, aby otrzymane dawki były możliwe jak najmniejsze z racjonalnym uwzględnieniem czynników technicznych, ekonomicznych i socjalnych. Niezmiennymi zasadami ochrony radiologicznej służącymi do zmniejszania i ograniczania dawek są: stosowanie odpowiednich osłon, zachowywanie bezpiecznej odległości od źródła promieniotwórczego, jak najkrótszy czas ekspozycji na promieniowanie oraz przestrzeganie warunków bezpieczeństwa i higieny pracy zabezpieczających przed wchłonięciem promieniowania.

Czynniki wpływające na efekt napromienienia żywego organizmu

- wielkość pochłoniętej energii na jednostkę masy ciała, czyli dawka pochłonięta
- rozkład dawki w czasie
- rodzaj promieniowania
- stopień napromienienia ciała
 - wielkość napromienionego obszaru ciała
 - rodzaj narządu lub tkanki jakie zostały napromienione
 - sposób napromienienia: zewnętrzne czy wewnętrzne
 - wiek, płeć i stan zdrowia
 - wrażliwość osobnicza i gatunkowa

3. Skażenie promieniotwórcze

Bardzo istotnym zagadnieniem związanym z użytkowaniem źródeł promieniotwórczych jest możliwość powstania skażeń promieniotwórczych. Skażenie promieniotwórcze, zgodnie z definicją Prawa Atomowego, to skażenie przedmiotów, pomieszczeń, środowiska lub osób przez niepożądaną obecność substancji promieniotwórczych, przy czym w szczególnym przypadku ciała ludzkiego obejmuje zarówno skażenie zewnętrzne, jak i skażenie wewnętrzne, niezależnie od drogi wniknięcia substancji promieniotwórczej do organizmu.

Skażenie promieniotwórcze może powstać przy normalnej pracy z otwartymi źródłami promieniotwórczymi lub gdy nastąpi rozszczelnienie obudowy źródła zamkniętego.

Przyczyny powstawania skażeń promieniotwórczych to:

- zetknięcie ze źródłem otwartym;
- rozszczelnienie obudowy źródła zamkniętego;
- nieodpowiednie magazynowanie lub transport źródeł każdego rodzaju;
- awarie i wypadki radiologiczne.



Ze względu na obiekt ulegający skażeniu wyróżniamy:

- Skażenia osobiste:
 - Zewnętrzne (skóra, włosy, odzież osobista)
 - Wewnętrzne (organy wewnętrzne)
- Skażenia przedmiotów: powierzchni i naczyń (stoły, podłogi, ściany, sondy)
- Skażenia powietrza, wody, gleby i żywności

Ze względu na trwałość lub trudność w usunięciu skażeń dzielimy je na:

- Związane (wbudowane) – nieusuwalne lub trudno usuwalne
- Niezwiązane (łatwo usuwalne)

Każde skażenie powinno być usunięte lub (gdy jest to niemożliwe) należy zmniejszyć pochodzące od niego promieniowanie do poziomu tła.

5. Przyrządy dozymetryczne

- Informacje ogólne

Rozróżnia się trzy podstawowe grupy przyrządów dozymetrycznych:

- do pomiarów dawki
- do pomiaru mocy dawki
- do pomiaru skażeń promieniotwórczych

W zależności od rodzaju i energii mierzonego promieniowania w przyrządach tych stosuje się różnego typu detektory. Stąd wynika wiele klasyfikacji przyrządów dozymetrycznych:

- w zależności od rodzaju mierzonego promieniowania:
 - do pomiaru promieniowanie alfa;
 - do pomiaru promieniowania beta;
 - do pomiaru promieniowania gamma i rentgenowskiego;
 - do pomiaru promieniowania neutronowego
- w zależności od konstrukcji elektronicznej:
 - przyrządy – wyskalowane urządzenia;
 - wskaźniki – nie wyskalowane urządzenia, za pomocą których możemy jedynie stwierdzić obecność promieniowania w danym obszarze i orientacyjnie ocenić jego natężenie
- w zależności od mobilności aparatury:
 - przyrządy stacjonarne
 - przyrządy przenośne
- w zależności od sposobu zasilania:
 - przyrządy zasilane z sieci
 - przyrządy bateryjne.

Podstawowym elementem każdego przyrządu dozymetrycznego jest detektor promieniowania. Jego działanie oparte jest na zjawisku jonizacji zachodzącej pod wpływem promieniowania w gazach, cieczach lub ciałach stałych. Rozróżnia się dwa podstawowe typy detektorów:

- impulsowe;
- prądowe.

W pierwszym przypadku kwanty lub cząstki jonizujące wytwarzają w detektorze krótkotrwałe impulsy elektryczne, w drugim – przepływ prądu. Liczba impulsów wytwarzanych w jednostce czasu, czy też natężenie prądu stałego zależy od liczby kwantów lub cząstek wchodzących do obszaru czynnego detektora.

- Przyrządy używane w ćwiczeniu

▪ Radiometr kieszonkowy RK-67 (rys. 1).

Jest to jeden z najdłużej produkowanych i najbardziej popularnych przyrządów w Polsce. Zabezpiecza pomiar promieniowania gamma od 0,1 do 250 mR/h w czterech podzakresach:

- I – 250 mR/h
- II – 25 mR/h
- III – 5 mR/h
- IV – 1 mR/h

oraz wskazuje promieniowanie beta o energii powyżej 0,5 MeV.



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 12

(Dawniej dawkę pochłoniętą mierzono w radach (rd). Związek pomiędzy dawną jednostką (rd) i nową (Gy) jest następujący:

$$1rd = 0,01Gy = 1cGy \quad 1Gy = 100rd$$

Związek pomiędzy dawką ekspozycyjną i dawką pochłoniętą:

$$1R = 8,7mGy \quad \text{lub} \quad 1Gy = 115R$$



Rys. Radiometr RK-67

Radiometr zaopatrzone w pojedynczy cylindryczny licznik Geigera-Müllera. Jedna strona sondy pomiarowej jest oznaczona „G”, druga „B”. Gdy chcemy wykonać pomiar promieniowania gamma, wówczas sondę ustawiamy w kierunku promieniowania stroną oznaczoną „G”. Przy ustawieniu sondy w kierunku promieniowania stroną oznaczoną „B”, otrzymuje się pomiar sumarycznego promieniowania beta i gamma.

Radiometr jest przenośny, zasilany bateryjnie oraz łatwy w użyciu zarówno w laboratorium, jak i w terenie.

▪ Radiometr uniwersalny RUST-2 wraz z sondami (rys. 2)

Jest to jeden ze starszych uniwersalnych mierników, który służy do pomiarów promieniowania jonizującego za pomocą ściśle określonych sond pomiarowych. W zależności od użytej sondy radiometr może mierzyć różne parametry:

- skażenia powierzchni małych i dużych substancjami β - i γ - promieniotwórczymi;
- skażeń cieczy i gazów;
- mocy dawki promieniowania gamma;
- mocy dawki od promieniowania neutronowego.



Rys. 2. Radiometr uniwersalny RUST-2



Może również służyć do monitoringu środowiska. Radiometr RUST-2 jest przenośny i może być zasilany bateryjnie, jak i sieciowo. Jest łatwy w użyciu w laboratorium jak i w terenie.

▪ **Radiometr uniwersalny mikroprocesorowy RUM-1 wraz z sondami (rys. 3).**

Radiometr mikroprocesorowy RUM-1 jest uniwersalnym przenośnym przyrządem, służącym do pomiaru promieniowania jonizującego. Wykonany przy wykorzystaniu współczesnej techniki mikroprocesorowej, radiometr umożliwia:

- pomiar częstości impulsów pochodzących od sond produkcji zakładu POLON-ALFA;
- sygnalizowanie przekroczenia nastawionego progu częstości impulsów;
- analizę amplitudy rejestrowanych impulsów;
- pomiar częstości impulsów w zadanym czasie;
- wykonywanie nastawionej liczby pomiarów i obliczanie wartości średniej;
- przekazywanie wyników pomiarów do komputera w celu obróbki danych.

Menu radiometru jak również wyniki pomiarów są wyświetlane na wyświetlaczu ciekłokrystalicznym.



Rys. 3. Radiometr uniwersalny RUM-1

Radiometr RUM-1 wyposażony w odpowiednie sondy oraz urządzenia pomocnicze umożliwia wykonywanie następujących pomiarów:

- mocy dawki pochłoniętej \dot{D} oraz mocy przestrzennego równoważnika dawki (10) promieniowania X i gamma;
- mocy równoważnika dawki (10) promieniowania neutronowego w zakresie energii od 10^{-2} do 10^7 eV;
- skażeń powierzchni emitarami promieniowania alfa, beta, gamma;
- analizy spektrometrycznej promieniowania X i gamma;
- aktywności próbek substancji emitujących promieniowanie alfa, beta i gamma.

Radiometr może również pracować jako stacjonarny sygnalizator przekroczenia nastawionego poziomu mierzonej wielkości (mocy dawki, skażeń powierzchni) z sygnalizacją zewnętrzną.

Radiometr RUM-1 znajduje zastosowanie w większości dziedzin gospodarki narodowej, w których wykonuje się pomiary promieniowania jonizującego a zwłaszcza:

- w medycynie nuklearnej, radiobiologii i radiochemii;
- w radioizotopowych laboratoriach przemysłowych;
- w systemach ochrony przed promieniowaniem;
- w innych placówkach naukowych, wykorzystujących izotopy promieniotwórcze do prac badawczych oraz w pracowniach dla studentów;
- w ratownictwie technicznym realizowanym przez Straż Pożarną, przy usuwaniu skutków wypadków drogowych i kontroli zaistniałych ewentualnych skażeń środowiska, oraz przy



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 12

gaszeniu obiektów przemysłowych, w których są zainstalowane urządzenia zawierające izotopy promieniotwórcze;

- przy kontroli ruchu granicznego osób i towarów przez służby celne i straż graniczną;
- w pracach służby ochrony środowiska.

Radiometr uniwersalny RUM-1 jest lekkim przyrządem, przystosowanym do noszenia na pasie nośnym lub do ustawienia na stole. Przyrząd ma szczelną obudowę z tworzywa sztucznego. Na jego płycie czołowej są umieszczone:

- wyświetlacz ciekłokrystaliczny;
- 4 przyciski dialogowej obsługi przyrządu za pomocą menu;
- włącznik podświetlenia pola odczytu;
- przełącznik włączenia/wyłączenia przyrządu;
- gniazdo BNC-2,5 do podłączenia sondy (z boku płyty).

Gniazda do podłączenia komputera oraz przystawki zasilania sieciowego są umieszczone na płycie tylnej. Przyrząd jest zasilany przez baterię akumulatorów (przy pracy jako przyrząd noszony) lub przez przystawkę zasilania sieciowego (przy pracy stacjonarnej).

▪ Miernik skażeń powierzchni i mocy dawki promieniowania RKP-1 (rys.4)

Przeznaczony jest do pomiarów skażeń powierzchni substancjami beta, gamma promieniotwórczymi o energiach powyżej 0,5 MeV jak również do pomiarów mocy dawki promieniowania gamma. W mierniku tym jako detektor promieniowania zastosowano trzy cylindryczne liczniki G-M połączone równolegle. Zakres pomiarowy przyrządu podzielony jest na 5 podzakresów:

- I-20 imp/s dla pomiarów skażeń i 2 mGy/h dla mocy dawki,
- II-60 imp/s dla pomiarów skażeń i 6 mGy/h dla mocy dawki,
- III-200 imp/s dla pomiarów skażeń i 20 mGy/h dla mocy dawki,
- IV-600 imp/s dla pomiarów skażeń i 60 mGy/h dla mocy dawki,
- V-2000 imp/s dla pomiarów skażeń i 200 mGy/h dla mocy dawki.



Rys. 4. Miernik skażeń i mocy dawki RKP-1

▪ Sonda SGB-1P (rys. 5)

Sonda licznikowa SGB-1P służy do pomiaru skażeń powierzchni substancjami beta (dla energii większej od 0,5 MeV) i gamma promieniotwórczymi. Stosowana jest w układach zliczająco-rejestrujących przy pomiarach i ocenianiu skażeń powierzchni stołów, fartuchów, itp. Zamocowania w statywie może być wykorzystywana do kontrolnych badań skażeń rąk lub rękawic.

Jest ona przeznaczona do pomiaru skażeń emitarami beta i gamma promieniotwórczymi w zakresie od $0,37\text{Bq/cm}^2$ do 37Bq/cm^2 . Ograniczenie zakresu górnego wynika z maksymalnej dopuszczalnej częstości impulsów dla jednego licznika. Przekroczenie częstości impulsów $18000 + 200000\text{ imp/min}$ powoduje powstawanie dużego błędu pomiaru oraz prowadzi do przedwczesnego zużycia liczników.



Rys. 5. Sonda SGB-1P

- **Sonda SGB-1R**

Sonda licznikowa typu SGB-1R służy do pomiaru próbek emiterów alfa oraz beta promieniotwórczych w szerokim zakresie energii. Sonda jest wyposażona w licznik Geigera-Müllera z okienkiem mikowym. Sonda ta może być używana przy pomiarach skażeń biosfery, w radiobiologii, itp. w warunkach laboratoryjnych.

- **Sonda SGB-2P**

Sonda licznikowa SGB-2P (rys. 6) jest przeznaczona do pomiaru skażeń powierzchni substancjami alfa i beta promieniotwórczymi o energii cząstek większej od około 100 keV. Sonda może być używana do pomiaru skażeń powierzchni stołów, fartuchów, itp. Zamocowania w statywie może być wykorzystywana do kontrolnych badań skażeń rąk lub rękawic.



Rys. 6. Sonda SGB-2P

6. Osłony przed promieniowaniem. Rodzaje i dobór materiału.

Podstawowym sposobem ochrony przed napromienieniem zewnętrznym jest stosowanie osłon. Różnorodność ich form jest bardzo duża. Ogólnie można je podzielić na osłony: stałe, ruchome (przenośne) oraz osobiste. Najczęściej stosowanymi osłonami są osłony stałe lub ruchome: źródeł, stanowisk pracy oraz przestrzeni, w których pracuje się ze źródłami. Osłony osobiste stosowane są doraźnie przez pracowników wykonujących pomiary z substancjami promieniotwórczymi.

Osłony Stałe - są to ściany osłonowe, ich elementy wchodzi w konstrukcje obiektu lub wypełniają ją i są na trwale związane z podłożem.

Osłony Ruchome - to wszelkiego typu pojemniki transportowe, stosowane jako opakowania handlowe, służące do przenoszenia i przechowywania źródeł oraz odpadów promieniotwórczych.

Osłony Osobiste - są to na ogół dodatkowe elementy osłaniające, zalecane do stosowania przez personel w czasie pracy.

Parametrem charakteryzującym osłony jest **krotność osłabienia wiązki promieniowania (k)**. Jest to parametr bezwymiarowy mówiący ile razy zmniejszy się w danym punkcie przestrzeni wielkość, za pomocą, której opisujemy natężenie promieniowania (np. moc dawki pochłoniętej). Jeżeli moc dawki pochłoniętej w powietrzu w odległości l od nieosłoniętego źródła promieniowania wynosiła D_1 , a po przejściu przez osłonę w tej samej geometrii wynosi D to krotność osłabienia (k) wynosi:

$$k = \frac{D_1}{D}$$

Krotność osłabienia zależy nie tylko od parametrów fizycznych osłony, lecz również od właściwości promieniowania przechodzącego przez osłonę. Należy zwrócić uwagę na fakt, że dla różnych rodzajów promieniowania krotność osłabienia k dla tej samej osłony jest inna.



W powyższy sposób określa się krotkość osłabienia dla wiązki szerokiej (rozproszonej).
Dla wiązki skolimowanej stosuje się wzór:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

gdzie: a - grubość osłony, μ - liniowy współczynnik osłabienia [cm^{-1}].

W przypadku promieniowania α , z uwagi na jego niewielki zasięg w powietrzu (kilka centymetrów), nie stosuje się specjalnych osłon ponieważ promieniowanie to zatrzymuje już kartka papieru. Dla promieniowania β preferowanymi materiałami służącymi do wykonywania osłon izolujących są metale lekkie np. aluminium bądź szkło organiczne.

W przypadku promieniowania gamma osłonę może stanowić gruba betonowa ściana lub warstwa ołowiu. Aby zaprojektować właściwą osłonę należy:

- znać charakterystykę źródła promieniowania
- ustalić wymaganą krotkość osłabienia (k) projektowanej osłony
- dokonać doboru materiału na osłonę
- obliczyć grubość osłony

V. Część doświadczalna

– Pomiary mocy dawki

Należy zapoznać się z obsługą wykorzystywanych w ćwiczeniu urządzeń pomiarowych: RKP-1, RUST-2, RK-67 i RUM-1. Następnie umieścić w statywie pierwszy z dwóch badanych izotopów ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ lub ^{60}Co) i zmierzyć **moc dawki pochłoniętej w mGy/h (licznikiem RKP-1 i licznikiem RUST-2)** oraz **moc dawki równoważnej $\mu\text{Sv/h}$ (licznikiem RUM-1)** w następujących odległościach od źródła: 10cm, 50cm, 100cm. Kolejną czynnością jest umieszczenie pomiędzy źródłem, a licznikiem odpowiedniej osłony osłabiającej promieniowania (papier, pleksi, szkło) i wykonanie pomiarów w odległościach: 10 cm, 50 cm, 100 cm od źródła (wykonując pomiary w trzech odległościach dla każdej osłony). Powyższą procedurę należy powtórzyć zmieniając źródło promieniowania. Otrzymane wyniki proszę skorygować za pomocą zamieszczonej krzywej kalibracyjnej (załącznik 1), a następnie obliczyć krotkość osłabienia wiązki promieniowania dla poszczególnych osłon.

– Opracowanie wyników pomiaru

Należy obliczyć krotkość osłabienia wiązki promieniowania przy przechodzeniu przez różne materiały (osłony).

– Pomiary skażeń

W celu pomiaru skażeń należy, używając **radiometru RKP-1 lub RUM-1**, określić, na której próbce znajduje się skażenie radiochemiczne. Proszę podać numer próbki i wielkość zliczeń, tj. wielkość skażeń. Podać rodzaj promieniowania..

– Rozwiązywanie zadań

Należy rozwiązać 3 z 15 zadań

Zad. 1.

W pracowni izotopowej znajduje się źródło promieniowania γ ^{192}Ir o aktywności $A=20$ GBq. Stanowisko pracy znajduje się w odległości $l=50$ cm od źródła za osłoną z ołowiu o grubości 5 cm. Czas pracy wynosi 40 h. Jako limit użytkowy dawki przyjęto wartość 0,3 dawki granicznej. Oceń, czy warunki pracy są prawidłowe. (Proszę wykorzystać odpowiedni nomogram z załącznika 2 i tabelę 4). Uwaga: Dawce pochłoniętej w powietrzu równej 0,087 cGy odpowiada równoważnik dawki równy 1 mSv.

Zad. 2.

Trzy osoby: mężczyzna o masie 70kg, kobieta o masie 50kg i dziecko o masie 20kg, zostały napromienione w taki sposób, że ciało każdej z nich pochłonęło 10^8 cząstek o energii $E=2\text{MeV}$. Oblicz dawkę pochłoniętą dla każdej z tych osób.



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 12

Zad. 3.

Obliczyć dawkę skuteczną E_Z po napromienieniu płuc dawką $H_1=0,2$ mSv i kręgosłupa dawką $H_2=5$ mSv. (Odczytać wartość współczynników wagowych dla płuc i kości z tabeli 2).

Zad. 4.

Oblicz moc dawki pochłoniętej w powietrzu w odległości $l_1=1$ m i $l_2=0,25$ m od punktowego źródła promieniowania γ ^{192}Ir o aktywności $A=10$ GBq. (Odczytać odpowiednie wartości z tabeli 4).

Zad. 5.

W pracowni izotopowej znajduje się ruchome źródło promieniowania γ ^{60}Co o aktywności $A=2$ GBq. Pracownię oddziela od sąsiedniego pomieszczenia betonowa ściana o grubości $l_1=50$ cm. Źródło może być zbliżone do ściany na odległość $l_2=70$ cm. Czy sąsiednie pomieszczenie można przeznaczyć na pokój biurowy? Czas pracy personelu $t=40$ h tygodniowo. Należy przyjąć, że współczynnik osłabienia promieniowania w powietrzu wynosi 1. (Proszę wykorzystać nomogram 1 z załącznika 2)

Zad. 6.

Źródłem promieniowania gamma jest Cs-137 o aktywności $A=4$ GBq. Źródło umieszczono w osłonie żelaznej o grubości 10 cm. Stanowisko pracy znajduje się w odległości $l=40$ cm od źródła. W jakim czasie pracownik otrzymałby dawkę graniczną.

Zad. 7.

Oszacować wielkość:

- terenu kontrolowanego
- terenu nadzorowanego

wokół źródła Co-60 o aktywności $A=5$ GBq, znajdującego się w pojemniku z osłoną z ołowiu o grubości 6cm. Czas pracy $t=40$ h tygodniowo.

Zad. 8.

Źródłem promieniowania gamma jest Co-60 o aktywności $A=50$ MBq. Stanowisko pracy znajduje się w odległości $l=40$ cm od źródła, a pomiędzy nimi jest osłona ołowiana o grubości 8cm. Czas pracy $t=40$ h tygodniowo. W jaki sposób należy prowadzić kontrolę narażenia osób pracujących z tym źródłem:

- kontrola dawek indywidualnych;
- pomiary dozymetryczne w środowisku pracy;
- nie ma potrzeby prowadzenia kontroli.

Zad. 9.

Stanowisko pracy znajduje się w odległości $l=40$ cm od źródła promieniowania gamma ^{137}Cs o aktywności $A=800$ MBq. Jaką grubość musiałaby mieć osłona ołowiana, aby podczas pracy $t=40$ h tygodniowo dawka otrzymywana przez pracownika nie przekraczała $\frac{1}{4}$ dawki granicznej?

Zad. 10.

W pracowni znajduje się ruchome źródło promieniowania gamma ^{137}Cs . Sąsiednie pomieszczenie oddziela od pracowni betonowa ściana o grubości 50 cm. Źródło może być zbliżone do ściany na odległość nie mniejszą niż 1 m. jaka może być maksymalna aktywność źródła by pomieszczenie to można było przeznaczyć na pokój biurowy? Przyjąć, że czas pracy osób pracujących w tym pomieszczeniu wynosi 40 h tygodniowo.

Zad. 11.

Obliczyć skuteczną dawkę obciążającą, jaką otrzyma pracownik po wchłonięciu par ^{131}I o aktywności 500 Bq drogą oddechową oraz ^{137}Cs o aktywności 1 kBq drogą pokarmową.

Zad. 12.

Oszacuj wielkość terenu kontrolowanego wokół źródła ^{60}Co o aktywności 25 GBq znajdującego się w pojemniku z osłoną ołowianą o grubości 8 cm. Czas pracy $t=40$ h tygodniowo.

Zad. 13.

Po 10 latach aktywność źródła promieniotwórczego zmniejszyła się 1000 razy. Jaki jest okres półrozpadu źródła?



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Materiał bezpłatny współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 12

Zad. 14.

Stanowisko pracy znajduje się w odległości 2,5 m - od osłoniętego warstwą ołowiu o grubości 8 cm – źródła ^{60}Co o aktywności 1,8 GBq oraz w takiej samej odległości od nieosłoniętego źródła ^{192}Ir o aktywności 310 MBq.

- Jaki jest poziom mocy dawki na tym stanowisku?
- Do jakiego terenu, ze względu na lokalizację miejsca pracy, należałoby zaliczyć powyższe stanowisko przyjmując, że czas pracy wynosi 40 h tygodniowo?

Zad. 15.

Oblicz skuteczną dawkę obciążającą jaką otrzyma dziecko w wieku 14 lat po wniknięciu do organizmu drogą oddechową ^{131}I o aktywności 1 MBq. Przyjmij szybki (F) typ absorpcji płucnej. Oszacuj również dawkę obciążającą na tarczycę.