ZESZYT DO ĆWICZEŃ Z BIOFIZYKI 2026/2027

PROMIENIOWANIE

Imię i nazwisko: …….

Kierunek: Lekarski

Grupa:…….

Imię i nazwisko prowadzącego ćwiczenia:.....

Regulamin zajęć dydaktycznych z biofizyki znajduje się na stronie Zakładu Biofizyki www.umb.edu.pl/wl/zaklad-biofizyki/dydaktyka/kierunki/lekarski/regulamin_zajec

SPIS TREŚCI

Zagadnienia do ćwiczeń z promieniotwórczości…….3

Ćwiczenie nr 3.1 Radioaktywność. Pomiar aktywności z użyciem wzorca. Podstawy dozymetrii…….....4

Ćwiczenie nr 3.2 Oddziaływanie fotonów z materią. Metody doświadczalnego wyznaczanie współczynników osłabienia promieniowania gamma.....7

Ćwiczenie nr 3.3 Oddziaływanie cząstek naładowanych z materią.....11

ZAGADNIENIA DO ĆWICZEŃ Z PROMIENIOTWÓRCZOŚCI

Ćwiczenie 3.1 Radioaktywność. Pomiar aktywności z użyciem wzorca. Podstawy dozymetrii.

1. Atom i jego składniki.
2. Przemiany jądrowe: rozpad α, rozpad β^-, rozpad β^+, wychwyt K.
3. Promieniotwórczość naturalna, szeregi promieniotwórcze.
4. Prawo rozpadu promieniotwórczego, postać analityczna i graficzna (krzywa rozpadu). Stała rozpadu i czas połowicznego rozpadu.
5. Aktywność – definicja i jednostki.
6. Rodzaje promieniowania jonizującego.
7. Źródła narażenia na promieniowanie jonizujące.
8. Biologiczny efektywny okres połowicznego zaniku.
9. Podstawy dozymetrii: dawka pochłonięta, dawka równoważna, dawka skuteczna (efektywna). Dawka graniczna. Moc dawki.
10. Liczniki gazowe.
11. Licznik scyntylacyjny i jego składniki. Rodzaje scyntylatorów.
12. Liczniki półprzewodnikowe.

Ćwiczenie 3.2 Oddziaływanie fotonów z materią. Metody doświadczalnego wyznaczanie współczynników osłabienia promieniowania gamma.

1. Źródła elektromagnetycznego promieniowania jonizującego.
2. Fizyczne skutki oddziaływania promieni gamma z materią: zjawisko fotoelektryczne, efekt Comptona i kreacja par.
3. Prawo osłabienia. postać analityczna i graficzna (krzywa osłabienia) i grubość połowiąca.
4. Liniowy i masowy współczynnik osłabienia.
5. Wykorzystanie izotopów promieniotwórczych w medycynie – diagnostyka i terapia.
6. Zastosowanie pomiarów promieniowania jonizującego w diagnostyce medycznej: gamma kamera typu Anger, tomografia komputerowa CT, Spect i PET.

Ćwiczenie 3.3 Oddziaływanie cząstek naładowanych z materią.

1. Rodzaje korpuskularnego promieniowania jonizującego.
2. Absorpcja promieniowania beta. Promieniowanie hamowania (Bremsstrahlung).
3. LET - liniowe przekazywanie energii. Oddziaływanie cząstek jonizacyjnych z materią.
4. Materiały stosowane do zatrzymywania promieniowania alfa, beta oraz neutronów.
5. Liniowy i masowy współczynnik osłabienia. Wzór Price'a.

LITERATURA:

„Wybrane zagadnienia z biofizyki" pod red. prof. S. Miękisza
„ Biofizyka" pod red. prof. F. Jaroszyka
„ Elementy fizyki, biofizyki i agrofizyki" pod red. prof. S. Przestalskiego
„Podstawy biofizyki" pod red. prof. A. Pilawskiego

ĆWICZENIE NR 3.1

RADIOAKTYWNOŚĆ. POMIAR AKTYWNOŚCI Z UŻYCIEM WZORCA. PODSTAWY DOZYMETRII.

1. Włącz zestaw pomiarowy, sprawdź napięcie pracy licznika (pod kontrolą asystenta).

2. Zmierz tło naturalne w czasie 10 minut, oblicz szybkość zliczeń pochodzących od tła.

$$N_t = ...\text{imp}, \qquad I_t = \frac{N_t}{t_t} = ... \frac{\text{imp}}{\text{min}}$$

3. Dokonaj **trzykrotnego** pomiaru impulsów pochodzących od źródła wzorcowego w czasie t_{wz} = 1 minuta i oblicz szybkość zliczeń bez tła oraz błąd szybkości zliczeń (wyniki pomiarów i wyniki obliczeń wpisz do tabeli 1).

Tabela 1

	Ilość zliczeń N_{wz}	Wartość średnia ilości zliczeń $N_{wz} = \frac{N_I + N_{II} + N_{III}}{3}$	Szybkość zliczeń $I_{wz} = \frac{N_{wz}}{t_{wz}}$	Szybkość zliczeń bez tła $I_{wz} - I_t$	Błąd szybkości zliczeń wzorca $\sigma_{wz} = \sqrt{\frac{I_{wz}}{t_{wz}} + \frac{I_t}{t_t}}$
	[impulsy]		[imp min^{-1}]		
I					
II					
III					

4. Zmierz ilość impulsów pochodzących od źródeł o nieokreślonej aktywności w czasie t_p =5 minut i oblicz szybkość zliczeń bez tła oraz błąd szybkości zliczeń.
5. Wyniki pomiarów i wyniki obliczeń wpisz do tabeli 2.

Tabela 2

Nr próbki	Ilość zliczeń N_p	Szybkość zliczeń $I_p = \frac{N_p}{t_p}$	Szybkość zliczeń bez tła $I_p - I_t$	Błąd szybkości zliczeń $\sigma_p = \sqrt{\frac{I_p}{t_p} + \frac{I_t}{t_t}}$
	[impulsy]	[imp min^{-1}]		

6. Oblicz aktywność każdej próbki, błąd, z jakim została wyznaczona i błąd procentowy. Wyniki umieść w tabeli 3.

$$A_p = \frac{I_p - I_t}{I_{wz} - I_t} \cdot A_{wz}$$

Aktywność wzorca wynosi $\mathbf{A_{wz} = 4000\ Bq}$ $\mathbf{\Delta A_{wz} = 120\ Bq}$

Błąd oznaczenia aktywności próbki liczymy za pomocą wzoru:

$$\Delta A_p = \frac{A_{wz}}{I_{wz} - I_t} \cdot \sigma_p + \frac{I_p - I_t}{\left(I_{wz} - I_t \right)^2} \cdot A_{wz} \cdot \sigma_{wz} + \frac{I_p - I_t}{I_{wz} - I_t} \cdot \Delta A_{wz}$$

Tabela 3

Nr próbki	Szybkość zliczeń bez tła $I_p - I_t$	Aktywność próbki $A_p = \frac{I_p - I_t}{I_{wz} - I_t} \cdot A_{wz}$	Błąd aktywności ΔA_p	Błąd procentowy $\Delta A_{p\%} = \frac{\Delta A_p}{A_p} \cdot 100\%$
	[imp min^{-1}]	[Bq]		[%]

7. Oblicz liczbę atomów *N* cezu Cs-137 w próbce wzorcowej.

$$A = \lambda \cdot N \rightarrow N = \frac{A}{\lambda}$$

8. Oblicz masę cezu Cs-137 w próbce.

Masę cezu Cs-137 w próbce wyznaczamy korzystając z zależności:

$$m = n \cdot N_A$$

gdzie: n – liczba moli

$N_A = 6{,}023 \cdot 10^{23}$ [mol^{-1}] – liczba Avogadro – jest liczbą atomów w molu.

Półokres rozpadu Cs^{137} wynosi 30,07 lat, a stała rozpadu $\lambda = 7{,}17 \cdot 10^{-10}$ s^{-1}.

Jeżeli w próbce jest N atomów cezu, ich masa wynosi:

$$m_{Cs} = \frac{137 \cdot N}{N_A} \quad [g]$$

9. Wyniki obliczeń wpisz do tabeli 4.

Tabela 4

Nr próbki	Aktywność próbki	Liczba atomów (N) Cs^{137} w próbce	Masa atomów Cs^{137} w badanej próbce
	[Bq]		[g]
wzorzec			

10. Oblicz wydajność pomiaru aktywności.

$$\eta_{\%} = \frac{I - I_t}{A} \cdot 100[\%] = \text{.....}[\%]$$

Tabela 5

Próbka	Szybkość zliczeń	Aktywność	Wydajność pomiaru $\eta_{\%}$
	[imp/s]	[Bq]	[%]
Wzorzec			
		Średnia wydajność	

Data	Imię i Nazwisko wykonującego ćwiczenie	Podpis prowadzącego ćwiczenia	Punkt dodatkowy

ĆWICZENIE NR 3.2

ODDZIAŁYWANIE FOTONÓW Z MATERIĄ. METODY DOŚWIADCZALNEGO WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW OSŁABIENIA PROMIENIOWANIA GAMMA.

1. Włącz zestaw pomiarowy, sprawdź napięcie pracy licznika (pod kontrolą asystenta).

2. Zmierz tło w czasie 5 minut. Oblicz szybkość zliczeń impulsów pochodzących od tła.

$$N_t = ...[\text{impulsów}] \quad I_t = \frac{N_t}{5} = ...[\frac{\text{impulsów}}{\text{min}}]$$

3. Umieść źródło promieniowania gamma w detektorze (zachowaj tę samą geometrię podczas wszystkich pomiarów).

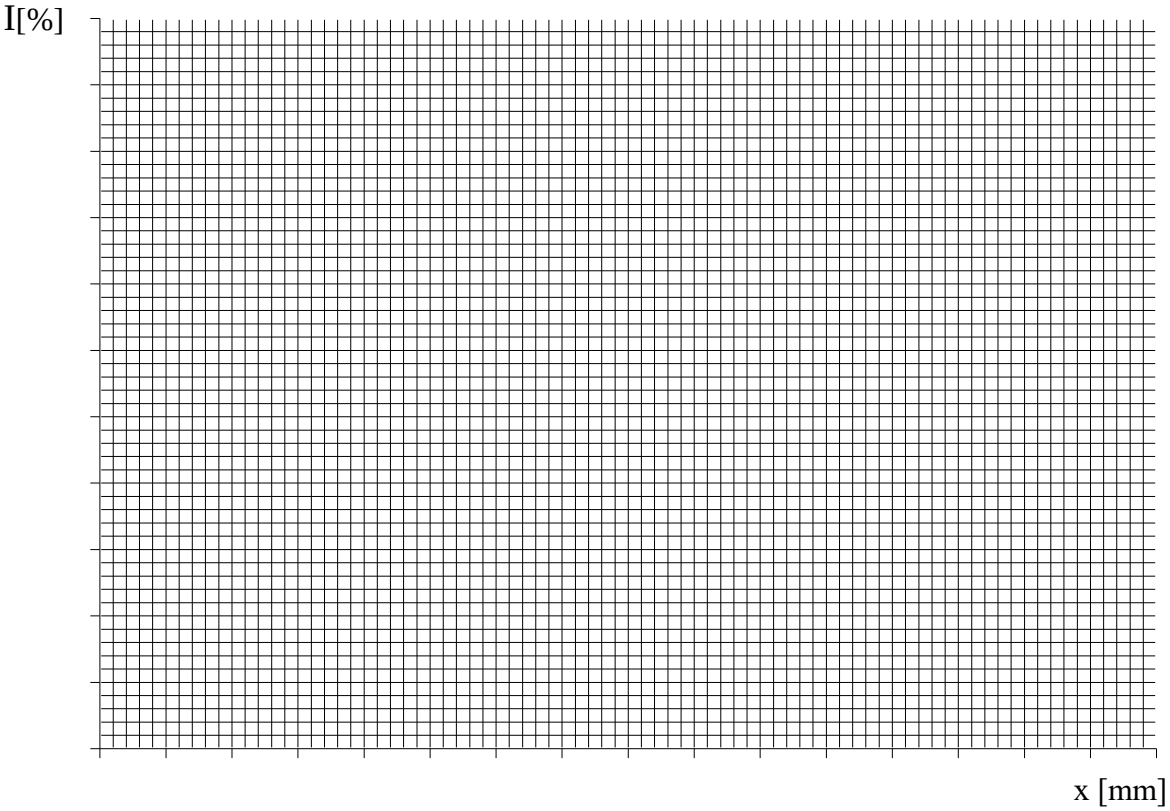
4. Zmierz częstość zliczeń pochodzących od źródła nie przesłoniętego w czasie 1 minuty (wykonaj trzy pomiary i oblicz średnią arytmetyczną). Wyniki przedstaw w tabeli 1.

5. Wyznacz ilość impulsów pochodzących od źródła przesłoniętego, **zwiększając** liczbę krążków absorpcyjnych w kolejnych pomiarach. Każdy pomiar wykonaj trzykrotnie w czasie 1 minuty. Oblicz wartości średnie częstości zliczeń i średnią częstość zliczeń bez tła. Oblicz procentowy spadek częstości zliczeń. Wyniki wpisz do tabeli 1.

Tabela 1

Grubość przesłony x $[10^{-3}m]$	Częstość zliczeń I			Średnia częstość zliczeń $I_{śr} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$	Średnia częstość zliczeń bez tła $I = I_{śr} - I_t$	Procentowa zmiana częstości zliczeń $I\% = I/I_o\ 100\%$
	Pomiar 1 I_1	Pomiar 2 I_2	Pomiar 3 I_3			
	$[imp \cdot min^{-1}]$					%
0						

6. Przedstaw graficznie krzywą osłabienia I(%) = f(x) i wyznacz z wykresu grubość połowiącą $d_{1/2}$.



$$d_{1/2} = \text{.....[m]}$$

7. Na podstawie tego wykresu i wyznaczonej grubości połowiącej $d_{1/2}$ oblicz współczynniki osłabienia μ i μ_m cynku, (gęstość cynku $\rho = 7{,}19 \cdot 10^3$ kg m^{-3})

$$\mu = \frac{\ln 2}{d_{1/2}} = \text{.....[m}^{-1}\text{]}$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \text{.....[}\frac{m^2}{kg}\text{]}$$

8. Wykonaj ten sam wykres używając programu EXCEL.
   Znajdź zależność (równanie krzywej wykładniczej i współczynnik korelacji).
   Tutaj wpisz wyniki obliczeń z programu Excel:
   - otrzymane równanie: y = ...
   - wartość współczynnika korelacji R2 = ...

   Na podstawie wykresu i równania krzywej wzorcowej wyznacz wartość współczynnika μ

   μ = ...[m-1]

Wklej wykres absorbcji promieniowania gamma.

9. Wyznacz ilość impulsów pochodzących od źródła przesłoniętego różnymi absorbentami. Każdy pomiar wykonaj trzykrotnie w czasie 1 minuty. Wyniki wpisz do tabeli 2. Oblicz wartości średnie częstości zliczeń i średnią częstość zliczeń bez tła.

Tabela 2

Rodzaj absorbentu	Grubość przesłony x $[10^{-3}m]$	Częstość zliczeń I			Średnia częstość zliczeń $I_{śr} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$	Średnia częstość zliczeń bez tła $I = I_{śr} - I_t$
		Pomiar 1 I_1	Pomiar 2 I_2	Pomiar 3 I_3		
		$[imp \cdot min^{-1}]$				
aluminium						
ołów						
cynk						

10. Oblicz współczynniki osłabienia zmierzonych absorbentów (liniowe i masowe) oraz grubości połowiące. Wyniki obliczeń zamieść w tabeli 3.

Tabela 3

absorbent	gęstość $[kg\ m^{-3}]$	Grubość przesłony x [m]	$I = I_{śr} - I_t$ $[imp \cdot min^{-1}]$	μ $[m^{-1}]$	μ_m $10^{-3}\ [m^2\ kg^{-1}]$	$d_{1/2}$ [cm]
aluminium	$2,7 \cdot 10^3$					
ołów	$11,37 \cdot 10^3$					
cynk	$7.19 \cdot 10^3$					

Data	Imię i Nazwisko wykonującego ćwiczenie	Podpis prowadzącego ćwiczenia	Punkt dodatkowy

ĆWICZENIE NR 3.3

ODDZIAŁYWANIE CZĄSTEK NAŁADOWANYCH Z MATERIĄ.

A. Wyznaczanie współczynników osłabienia i grubości połowiącej promieniowania beta dla różnych absorbentów.

1. Włącz zestaw pomiarowy w obecności asystenta.
2. Zmierz tło naturalne w czasie 10 minut, oblicz szybkość zliczeń pochodzących od tła.

$$N_t = ...imp,$$

$$I_t = \frac{N_t}{t_t} = ... \frac{imp}{min}$$

3. Wykonaj pomiary (czas pomiaru 1 minuta) liczby zliczeń przy nie przesłoniętym źródle oraz źródle przesłoniętym przez różne absorbenty – wyniki wpisz do tabeli 1.

Tabela1

Rodzaj absorbentu	Grubość przesłony	Częstość zliczeń			Średnia częstość zliczeń $I_{śr} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$	Średnia częstość zliczeń bez tła $I = I_{śr} - I_t$
		Pomiar 1 I_1	Pomiar 2 I_2	Pomiar 3 I_3		
	$[10^{-3}\,m]$	$[imp \cdot min^{-1}]$				
Brak przesłony	0					
Al						
Cu						
Celuloid						

4. Oblicz wartości współczynników absorpcji oraz grubość warstwy połowiącej dla odpowiednich absorbentów w/g wzorów:

współczynnik liniowy: $$\mu = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{d} \left[m^{-1}\right]$$

współczynnik masowy: $$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{m^2}{kg}\right]$$

grubość warstwy połowiącej: $d_{1/2} = \ln 2 / \mu$

Wyniki obliczeń przedstaw w tabeli 2.

Tabela 2

Rodzaj absorbentu	Gęstość absorbentu	Liniowy współczynnik absorpcji	Masowy współczynnik absorpcji	Grubość warstwy połowiącej
	[kg/m^3]	[m^{-1}]	[m^2 kg^{-1}]	[mm]
Aluminium	2,7 10^3			
Miedź	9,96 10^3			
Celuloid	1,4 10^3			

5. Na podstawie wzoru Price'a (3) w tabeli 3 oblicz energię promieniowania β emitowanego przez użyte źródło.

$$E = 1{,}33\sqrt{\frac{22}{\mu_m}}$$

Tabela 3

$\mu_{m\acute{s}r} = \frac{1}{3}(\mu_{mAl} + \mu_{mCu} + \mu_{mcel})$	$\mu_{m\acute{s}r}$	E
[m^2 kg^{-1}]	[cm^2 g^{-1}]	[MeV]

B. Wyznaczanie grubości cienkich folii przy wykorzystaniu promieniowania β.

Promieniowanie β może być wykorzystywanie do pomiaru przedmiotów o małych grubościach i kształcie wykluczającym użycie tradycyjnych przyrządów pomiarowych (suwmiarka, śruba mikrometryczna). Podczas takiego pomiaru bada się osłabienie promieniowania β przez obiekt o nieznanej grubości $x=?$, a następnie znając krotność osłabienia promieniowania I_0/I oraz współczynnik osłabienia μ obliczamy szukaną grubość x korzystając ze wzoru:

$$x = \frac{\ln\frac{Io}{I}}{\mu}$$

1. Włącz zestaw pomiarowy w obecności asystenta.

2. Zmierz tło naturalne w czasie 10 minut, oblicz szybkość zliczeń pochodzących od tła.

$$N_t = \text{.....imp,}$$
$$I_t = \frac{N_t}{t_t} = \text{.....} \frac{imp}{min}$$

3. Wykonaj pomiary i obliczenia zgodnie z Tabelą 4.

Tabela 4

Numer folii	Współczynnik osłabienia μ	Częstość zliczeń			Średnia częstość zliczeń $I_{śr} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$	Średnia częstość zliczeń bez tła $I = I_{śr} - I_t$	Grubość folii $x = \frac{\ln \frac{Io}{I}}{\mu}$
		Pomiar 1 I_1	Pomiar 2 I_2	Pomiar 3 I_3			
	[m^{-1}]	[imp·min^{-1}]					[mm]
Brak przesłony	0						0
1							
2							
3							

Data	Imię i Nazwisko wykonującego ćwiczenie	Podpis prowadzącego ćwiczenia	Punkty dodatkowe

Masa spoczynkowa elektronu

$$m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}\ kg$$

$$= 0{,}000549\ u = 0{,}51\ \frac{MeV}{c^2}$$

Masa spoczynkowa protonu

$$m_p = 1{,}67 \times 10^{-27}\ kg$$

$$= 1{,}007276\ u = 938\ \frac{MeV}{c^2}$$

Masa spoczynkowa neutronu

$$m_p = 1{,}68 \times 10^{-27}\ kg$$

$$= 1{,}008665\ u = 940\ \frac{MeV}{c^2}$$

Jednostka masy atomowej

$$u = 1{,}66 \times 10^{-27}\ kg$$

$$= 931{,}5\ \frac{MeV}{c^2}$$

Prędkość światła w próżni

$$c = 3 \times 10^{8}\ \frac{m}{s^2}$$

Stała Plancka

$$h = 6{,}62 \times 10^{-34}\ Js$$

Ładunek elektronu

$$e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ C$$

Liczba Avogadro

$$N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \frac{1}{mol}$$

Mnożnik	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
Przedrostek	giga	mega	kilo	hekto	deka	decy	centy	mili	mikro	nano	piko
Oznaczenie	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p