

ZESZYT DO ĆWICZEŃ Z BIOFIZYKI 2025/2026

PROMIENIOWANIE

Imię i nazwisko:

Kierunek: Elektroradiologia

Grupa:.....

Imię i nazwisko prowadzącego ćwiczenia:.....

**Regulamin zajęć dydaktycznych z biofizyki znajduje się na stronie Zakładu Biofizyki
Medycznej**

**[www.umb.edu.pl/wl/zaklad-biofizyki/dydaktyka/kierunki/lekarsko-
dentystyczny/regulamin_zajec](http://www.umb.edu.pl/wl/zaklad-biofizyki/dydaktyka/kierunki/lekarsko-dentystyczny/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
Ćwiczenie nr 3.4, 3.5 Pomiary promieniowania jonizującego.	14

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: ekspozycja (dawka ekspozycyjna), dawka pochłonięta, dawka równoważna, dawka skuteczna (efektywna). Dawka graniczna. Moc dawki.

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.

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.

Ćwiczenie 3.4, 3.5 Pomiary promieniowania jonizującego.

1. Liczniki gazowe.
2. Licznik scyntylacyjny i jego składniki. Rodzaje scyntylatorów.
4. Liczniki półprzewodnikowe.
5. Pomiary energii promieniowania – spektrometria gamma.
6. Zastosowanie pomiarów promieniowania jonizującego w diagnostyce medycznej: gamma kamera typu Anger, tomografia komputerowa CT.
7. Losowy charakter rozpadu promieniotwórczego.
8. Odchylenie standardowe i błąd względny.
9. Całkowity błąd pomiaru (z tłem).

LITERATURA:

- „Wybrane zagadnienia z biofizyki” pod red. prof. S. Miękisz
- „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 5 minut, oblicz szybkość zliczeń pochodzących od tła.

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

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 $A_{wz} = 4000 \text{ Bq}$ $\Delta A_{wz} = 120 \text{ Bq}$

Błąd oznaczenia aktywności próbki liczymy za pomocą wzoru:

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

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

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

Półokres rozpadu Cs¹³⁷ wynosi 30,07 lat, a stała rozpadu $\lambda = 7,17 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$.

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

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

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.

$$\eta_{\%} = \frac{I}{A} \cdot 100 [\%] = \dots\dots\dots [\%]$$

Tabela 5

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

Data	Imię i Nazwisko wykonującego ćwiczenie	Podpis prowadzącego ćwiczenia	Punkty dodatkowe

ĆWICZENIE NR 3.2

ODDZIAŁYWANIE FOTONÓW Z MATERIAŁ. 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.

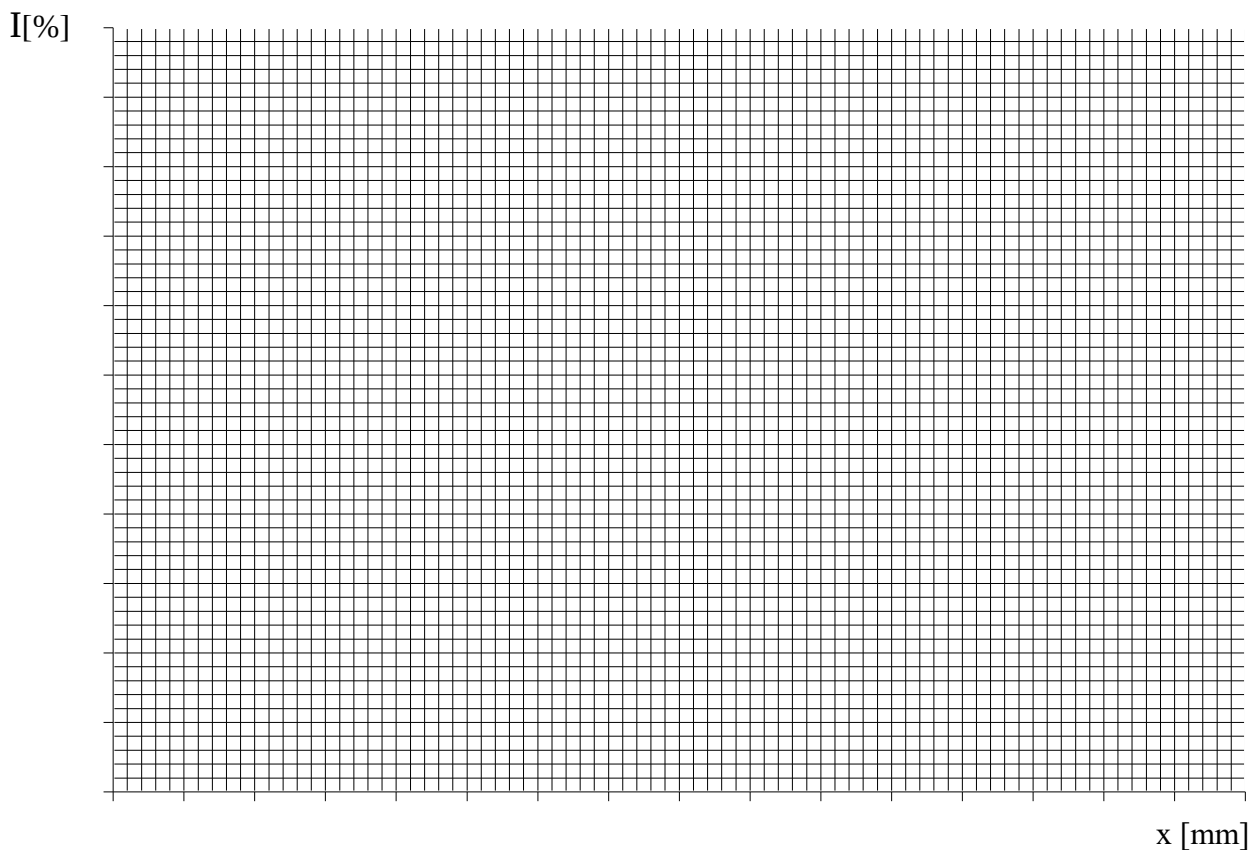
$$N_t = \dots\dots\dots[\text{impulsów}] \quad I_t = \frac{N_t}{5} = \dots\dots\dots\left[\frac{\text{impulsów}}{\text{min}}\right]$$

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 $I_{\text{śr}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$	Średnia częstość zliczeń bez tła $I = I_{\text{śr}} - I_t$	Procentowa zmiana częstości zliczeń
	Pomiar 1 I ₁	Pomiar 2 I ₂	Pomiar 3 I ₃			I% = I/I ₀ 100%
	[imp·min ⁻¹]					%
0						

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



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

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

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

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

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: $y = \dots\dots\dots$
- wartość współczynnika korelacji $R^2 = \dots\dots\dots$

Na podstawie wykresu i równania krzywej wzorcowej wyznacz wartość współczynnika μ

$$\mu = \dots\dots\dots [\text{m}^{-1}]$$

Wklej wykres:

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 absorbenta	Grubość przesłony x [10 ⁻³ m]	Częstość zliczeń I			Średnia częstość zliczeń $I_{\text{śr}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$	Średnia częstość zliczeń bez tła $I = I_{\text{śr}} - I_t$
		Pomiar 1 I ₁	Pomiar 2 I ₂	Pomiar 3 I ₃		
		[imp·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]	$I = I_{sr} - I_t$ [imp·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	Punkty dodatkowe

ĆWICZENIE NR 3.3

ODDZIAŁYWANIE CZĄSTEK NAŁADOWANYCH Z MATERIAŁ.

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.

$$N_t = \dots\dots\dots \text{imp},$$

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

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

Tabela 1

Rodzaj absorbenta	Grubość przesłony	Częstość zliczeń			Średnia częstość zliczeń $I_{\text{śr}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$	Średnia częstość zliczeń bez tła $I = I_{\text{śr}} - I_{\text{t}}$
		Pomiar 1 I_1	Pomiar 2 I_2	Pomiar 3 I_3		
	[10 ⁻³ m]	[imp·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: $\mu = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{d} [\text{m}^{-1}]$

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

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

Wyniki obliczeń przedstaw w tabeli 2.

Tabela 2

Rodzaj absorbenta	Gęstość absorbenta	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) oblicz energię promieniowania β emitowanego przez użyte źródło.

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

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

B. Wyznaczanie grubości i gęstości cienkich folii przy wykorzystaniu promieniowania β .

Promieniowanie β może być wykorzystywane 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 nieznannej grubości $x=?$, a następnie znając krotność osłabienia promieniowania I_0/I oraz współczynnik osłabienia μ obliczamy szukaną grubość x korzystając ze wzoru:

$$x = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{\mu}$$

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

$$N_t = \dots\dots\dots \text{imp},$$

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

3. Wykonaj pomiary i obliczenia zgodnie z Tabelą 4.

Tabela 4

Numer folii	Współczynnik osłabienia μ	Częstość zliczeń			Średnia częstość zliczeń $I_{\text{śr}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$	Średnia częstość zliczeń bez tła $I = I_{\text{śr}} - I_t$	Grubość folii
		Pomiar 1 I_1	Pomiar 2 I_2	Pomiar 3 I_3			$x = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{\mu}$
	$[m^{-1}]$	$[imp \cdot min^{-1}]$					$[mm]$
Brak przesłony	0						0
1							
2							
3							

Data	Imię i Nazwisko wykonującego ćwiczenie	Podpis prowadzącego ćwiczenia	Punkty dodatkowe

ĆWICZENIE NR 3.4, 3.5

Pomiary promieniowania jonizującego.

A) WYZNACZANIE ROZKŁADU CZĘSTOŚCI WYSTĘPOWANIA IMPULSÓW

1. Sprawdź, czy ustawienia zasilacza wysokiego napięcia, analizatora amplitudy i sterownika pracy licznika (napięcie zasilania sondy, czułość, dolny i górny próg dyskryminacji, wzmocnienie liniowe i czas formowania impulsu) są zgodne z podanymi przez asystenta.
2. Włącz zasilanie i wygrzewaj aparaturę przez 10 minut.
3. Umieść preparat promieniotwórczy w osłonnym domku pomiarowym.
4. Wykonaj pomiar liczby zliczeń w czasie 10s. Liczba zliczeń powinna być większa od 100.
5. Wykonaj 10 pomiarów liczby zliczeń w tych samych warunkach. Wyniki zamieść w tabeli 1. Oblicz wartość średnią $\bar{N}$ i średni błąd kwadratowy σ .

Tabela 1.

Nr pomiaru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liczba zliczeń										

$\bar{N} =$

$\sigma =$

6. Wykonaj 100 pomiarów, zapisując rezultat każdego z nich (wyniki umieść w tabeli 2).

Tabela 2.

1		21		41		61		81	
2		22		42		62		82	
3		23		43		63		83	
4		24		44		64		84	
5		25		45		65		85	
6		26		46		66		86	
7		27		47		67		87	
8		28		48		68		88	
9		29		49		69		89	
10		30		50		70		90	
11		31		51		71		91	
12		32		52		72		92	
13		33		53		73		93	
14		34		54		74		94	
15		35		55		75		95	
16		36		56		76		96	
17		37		57		77		97	
18		38		58		78		98	
19		39		59		79		99	
20		40		60		80		100	

7. Uruchom komputer i program do analizy statystycznej. Wpisz wyniki pomiarów z tabeli 1 do pierwszej

kolumny arkusza kalkulacyjnego programu.

Odchylenie standardowe: jest miarą tego jak szeroko wartości są rozproszone od wartości średniej.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(x_i - \bar{x} \right)^2}$$

gdzie: σ - odchylenie standardowe

N – liczba pomiarów

x_i – kolejne wartości pomiarów

$\bar{x}$ - średnia arytmetyczna

$$\bar{x} = \frac{1}{N} (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

8. Wykonaj analizę rozkładu statystycznego otrzymanego ciągu wyników, określ wartość średnią i średnie odchylenie standardowe. Znajdź histogram wyników i porównaj go z teoretyczną krzywą Gaussa.

Wartość średnia: $\bar{N} = \dots\dots\dots$

Odchylenie standardowe: $\sigma = \dots\dots\dots$

9. Wpisz wyniki pomiarów z tabeli 2 do drugiej kolumny arkusza kalkulacyjnego.

10. Wykonaj analizę rozkładu statystycznego otrzymanego ciągu wyników, określ wartość średnią i średnie odchylenie standardowe. Wydrukuj histogram i porównaj go z teoretyczną krzywą Gaussa.

Wartość średnia: $\bar{N} = \dots\dots\dots$

Odchylenie standardowe: $\sigma = \dots\dots\dots$

11. Oblicz granice przedziałów ufności 1σ i 2σ

$$\bar{N} + \sigma = \dots\dots\dots$$

$$\bar{N} - \sigma = \dots\dots\dots$$

$$\bar{N} + 2\sigma = \dots\dots\dots$$

$$\bar{N} - 2\sigma = \dots\dots\dots$$

12. Na wydruku histogramu zaznacz wartość średnią i przedziały ufności 1σ i 2σ .

13. Policz, ile razy wynik pomiaru mieścił się wewnątrz przedziału ufności 1σ , a ile wewnątrz przedziału ufności 2σ . Wyniki wpisz do Tabeli 3.

14. Oblicz prawdopodobieństwo uzyskania wyniku w przedziale ufności 1σ i 2σ . Wyniki wpisz do Tabeli 3.

Tabela 3

$N_{1\sigma}$	$N_{2\sigma}$	$P_{1\sigma} = N_{1\sigma}/100$	$P_{2\sigma} = N_{2\sigma}/100$

Tu wklej histogram:

Data	Imię i Nazwisko wykonującego ćwiczenie	Podpis prowadzącego ćwiczenia	Punkt dodatkowy

B. WYKONANIE POMIARU ZŁOŻONEGO PRZY OKREŚLONYM CZASIE POMIARU TŁA.

1. Zmierz naturalne tło licznika w czasie 10 minut i oblicz szybkość zliczeń.

$$N_t = \dots\dots\dots[\text{imp.}] \quad I_t = \frac{N_t}{10} = \dots\dots\dots \left[\frac{\text{imp.}}{\text{min}} \right]$$

2. Umieść preparat promieniotwórczy w domku osłonnym.

3. Wykonaj pomiary liczby zliczeń w czasie: 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2 i 5 minut.

Dla każdego z pomiarów policz: szybkość zliczeń I , błąd statystyczny szybkości zliczeń σ_I oraz błąd względny szybkości zliczeń ε_I i błąd procentowy $\varepsilon_{I\%}$.

Błąd statystyczny bezwzględny określony jest wtedy zależnością:

$$\sigma_I = \sqrt{\frac{I_p}{t_p} + \frac{I_t}{t_t}}$$

błąd względny:

$$\varepsilon_I = \frac{\sqrt{\frac{I_p}{t_p} + \frac{I_t}{t_t}}}{I_p - I_t}$$

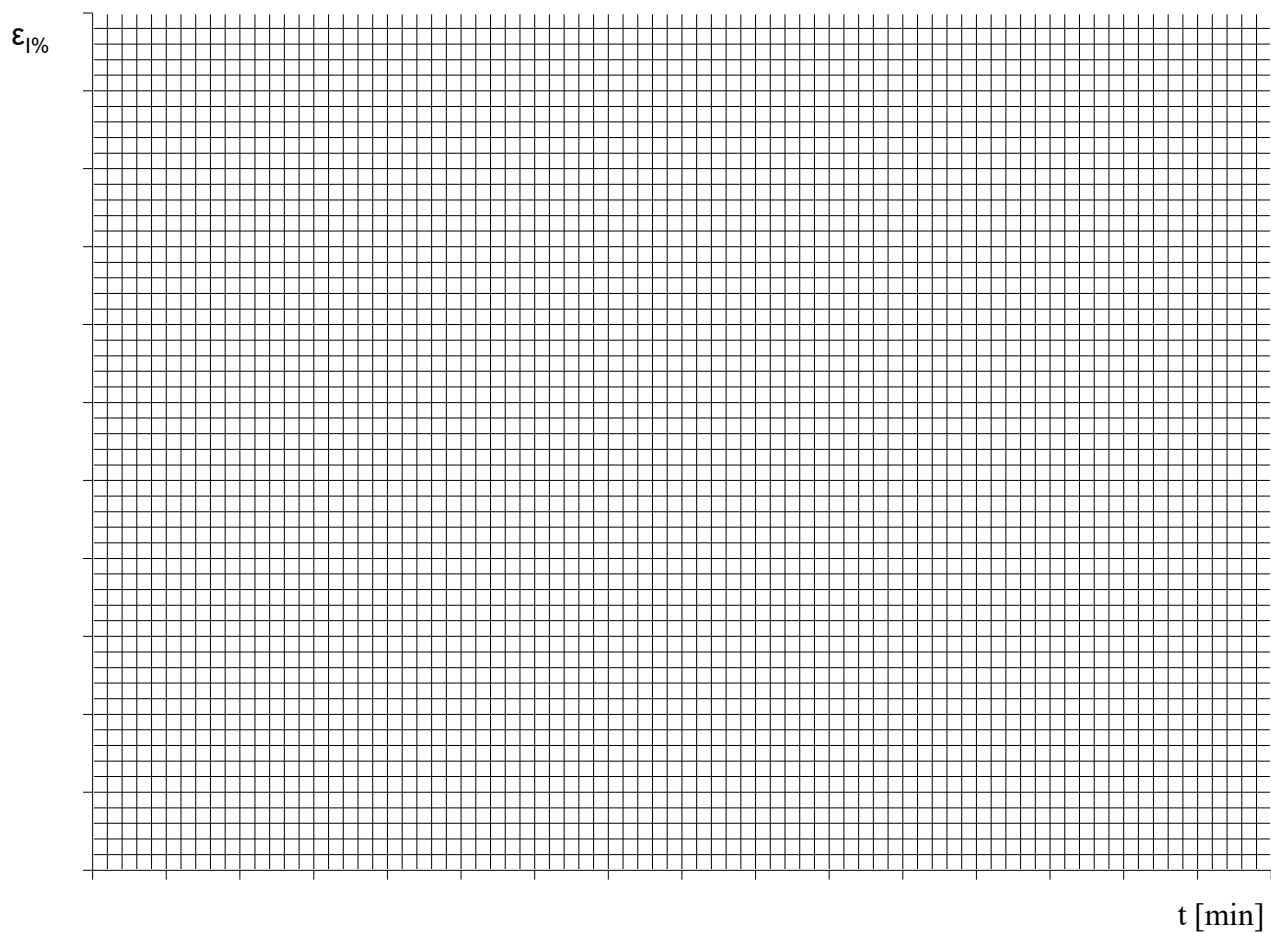
a błąd procentowy:

$$\varepsilon_{I\%} = \varepsilon_I \cdot 100 [\%]$$

Wyniki pomiarów umieść w tabeli.

t_p	N_p	$I_p = \frac{N_p}{t_p}$	$I = I_p - I_t$	σ_I	ε_I	$\varepsilon_{I\%}$
[min]	[impulsy]	[imp min ⁻¹]				[%]
0,1						
0,25						
0,5						
1						
2						
5						
10						

4. Sporządź wykres funkcji $\varepsilon_{I\%} = f(t_p)$ w skali liniowej.



Data	Imię i Nazwisko wykonującego ćwiczenie	Podpis prowadzącego ćwiczenia	Punkty dodatkowe

Masa spoczynkowa elektronu

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

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

Jednostka masy atomowej

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

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

Ładunek elektronu

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

Masa spoczynkowa protonu

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

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

Prędkość światła w próżni

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

Liczba Avogadro

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

Masa spoczynkowa neutronu

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

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

Stała Plancka

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

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