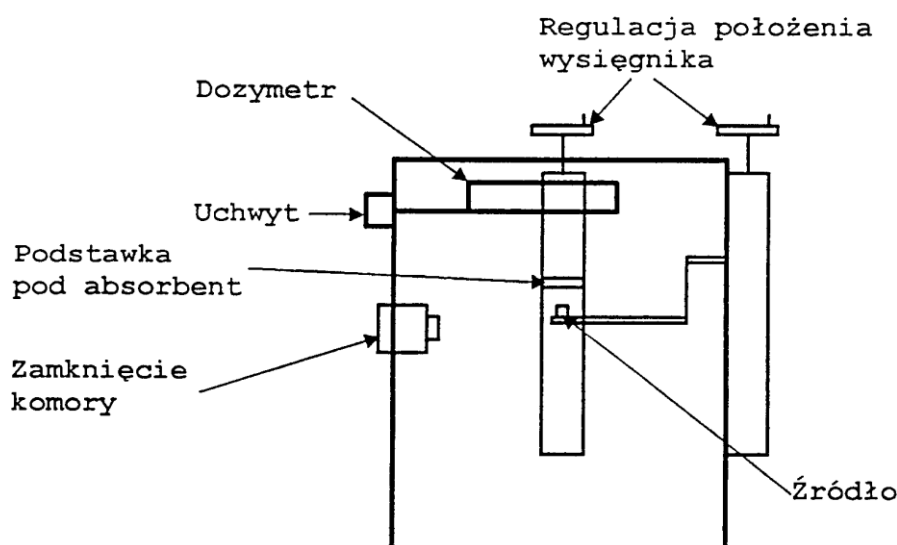




## 1. Układ pomiarowy

- Komora pomiarowa (rys. w1), w której znajdują się:
- dozymetr PM-1203,
  - źródło promieniowania  $\gamma$ ,
  - podstawka, na której umieszczane są płytki absorbentu.



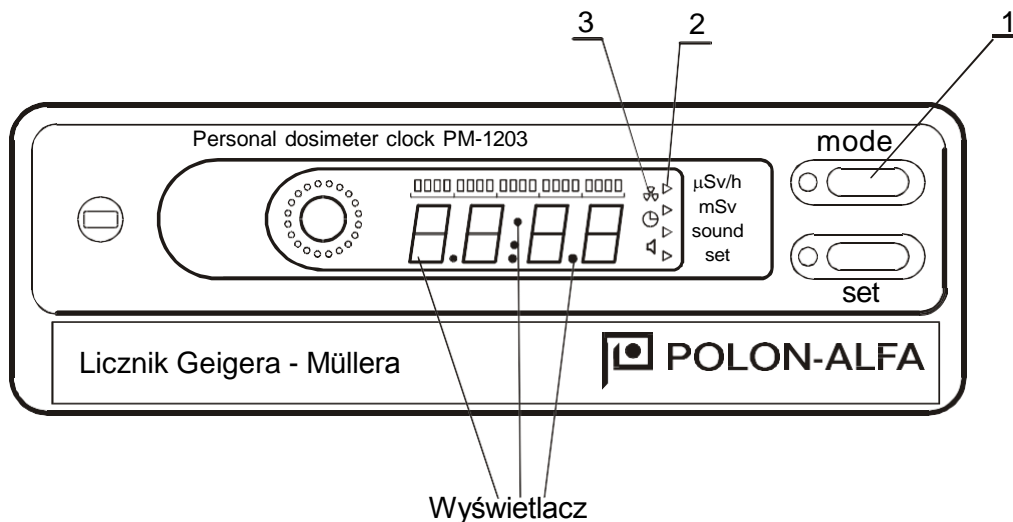
Rys. w1. Schemat komory pomiarowej

Tabela w1. Źródła promieniowania  $\gamma$  używane w ćwiczeniu \*

Radionuklid	Czas połowicznego rozpadu [lata]	Główne energie promieniowania $\gamma$ [keV]	Równoważna wartość stałej ekspozycyjnej [cGy m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> GBq <sup>-1</sup> ];
<sup>60</sup> Co	5,3	1173 1333	8,0 · 10 <sup>-3</sup>
<sup>137</sup> Cs	30	662	30,8 · 10 <sup>-3</sup>

\* Aktywność stosowanych źródeł wynosi około kilkadziesiąt kBq

W ćwiczeniu wykorzystywany jest dozymetr mikroprocesorowy PM-1203 (rys. w2), przeznaczony między innymi do pomiaru mocy dawki skutecznej  $E_{\square}$  wyrażonej w  $\mu\text{Sv/h}$ . Jako detektor promieniowania zastosowano licznik Geigera-Müllera. Łączna gęstość powierzchniowa ścianki nad objętością czynną licznika wynosi  $1 \text{ g/cm}^3$ . Czas pomiaru ustawia się automatycznie w przedziale  $1 \div 36 \text{ s}$ , np. dla pomiaru naturalnego tła promieniowania (moc dawki około  $0,1 \mu\text{Sv/h}$ ) wynosi 36 s. Jako czas pomiaru rozumie się czas, po jakim należy odczytać wynik pomiaru, pomimo że wartość na wyświetlaczu dozymetru odświeżana jest co około 1 s.



**Rys. w2.** Dawkomierz PM –1203

Wybrane przyciski i wskaźniki na płycie czołowej dozymetru:

- (1) - przycisk „mode”, służący do wyboru trybu pracy np. pomiaru mocy dawki,
- (2) - wskaźnik, informujący o wyświetlaniu przez dozymetr wartości mocy dawki ( $\mu\text{Sv/h}$ ),
- (3) - wskaźnik, informujący o pracy w trybie dozymetru

Moc dawki skutecznej wokół nieosłoniętego źródła promieniowania  $\gamma$  w wykonywanym ćwiczeniu określa wzór, powstały w wyniku przekształcenia wzoru (8):

$$\dot{E} = \frac{E}{t} = \frac{A \cdot \Gamma_r}{0.087 \cdot 10^{-7} r^2} \quad (\text{w1})$$

gdzie:

$\Gamma_r$  – tzw. równoważna wartość stałej ekspozycyjnej, charakterystyczna dla danego radionuklidu [ $\text{cGy m}^2 \text{h}^{-1} \text{GBq}^{-1}$ ]; por. Tab. w1,

$A$  – aktywność źródła promieniotwórczego,

$t$  – czas narażenia,

$r$  – odległość między źródłem a miejscem, dla którego obliczamy dawkę,

$0,087 \cdot 10^{-7}$  – stała związana z przeliczaniem wielkości i jednostek, gdy dawka skuteczna wyrażona jest w  $\mu\text{Sv/h}$ , aktywność w  $\text{GBq}$ , czas w godzinach, a odległość w centymetrach.

W przedstawionym powyżej wzorze  $r$  oznacza rzeczywistą odległość między źródłem a dozymetrem. Jest ona równa sumie odległości odczytywanej z linijki umieszczonej w komorze pomiarowej i odległości  $r_0$ , gdzie  $r_0$  to odległość źródło – detektor, odpowiadająca sytuacji, gdy odległość odczytana na linijce wynosi 0 cm.

## 2. Wykonanie ćwiczenia

1. Zapoznaj się z zasadami pomiaru mocy dawki skutecznej. Jako wynik pomiaru przyjmij wartość odczytaną na wyświetlaczu po 20 ÷ 40 sekundach od rozpoczęcia pomiaru.
2. Wyznacz 10-krotnie tło promieniowania na stanowisku pomiarowym, a wyniki wpisz do tabeli 2. Czas pomiaru 40 s. Odczytaj wynik pierwszego pomiaru po 40 s od jego rozpoczęcia, drugiego pomiaru po kolejnych 40 s itd.
3. Prowadzący zajęcia umieszcza źródło promieniowania w komorze pomiarowej. Zanotuj, źródło jakiego radionuklidu znajduje się w komorze.
4. Wykonaj pomiary zależności mocy dawki skutecznej od odległości źródło - dozymetr. Dla każdej odległości, wskazanej w tabeli 3, wykonaj 5 pomiarów, a wyniki wpisz do tej tabeli. Czas pomiaru 20 s.  
Pamiętaj, że  $r$  oznacza rzeczywistą odległość między źródłem a dozymetrem. Jest ona równa sumie odległości odczytywanej z linijki umieszczonej w komorze pomiarowej oraz odległości  $r_0$ .
5. Wyznacz zależność osłabienia promieniowania  $\gamma$  od grubości absorbentu, dla jednego materiału, wskazanego przez prowadzącego\*:  
Uwaga: w wykonywanym ćwiczeniu, nieco upraszczając, przyjmujemy, że prawo osłabienia promieniowania  $\gamma$  (wzór 9) można stosować również do mocy dawki skutecznej. Wobec tego, aby stosować ten wzór w ćwiczeniu, natężenie promieniowania  $I$  należy zastąpić przez moc dawki skutecznej  $E^{\square}$ .
  - a) wybierz 5 ÷ 7 blaszek, następnie umieść je razem w układzie pomiarowym; odległość źródło - dozymetr dobierz tak, by była jak najmniejsza, zapisz jej wartość i nie zmieniaj jej w dalszej części ćwiczenia,
  - b) wykonaj 5-krotnie pomiar mocy dawki bez absorbentu i wpisz wyniki do tabeli 5; czas pomiaru 20 s,
  - c) zmierz grubość pierwszej płytki; pomiar wykonaj 3-krotnie, w kilku różnych miejscach płytki, a wyniki wpisz do tabeli 4; przyjmij niepewność wyznaczenia grubości  $u(d) = 0,2$  mm,
  - d) umieść płytkę na podstawce między źródłem a dozymetrem, wykonaj 5-krotnie pomiar mocy dawki i wpisz wyniki do tabeli 5,
  - e) zmierz grubość drugiej płytki, połóż ją na pierwszej płytce, znajdującej się w komorze pomiarowej i wykonaj pomiar mocy dawki,
  - f) powtórz te czynności dla kolejnych płytek.

---

\* Prawo osłabienia promieniowania obowiązuje dla skolimowanej wiązki promieniowania. W niniejszym ćwiczeniu stosowana jest szeroka wiązka, tak więc część ćwiczenia dotycząca absorpcji promieniowania ma charakter poglądowy, a nie ścisły.

### 3. Wyniki pomiarów

**Tabela 2.** Tło promieniowania na stanowisku pomiarowym

Tło [ $\mu\text{Sv/h}$ ]										
-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Tabela 3.** Moc dawki skutecznej [ $\mu\text{Sv/h}$ ] dla źródła .....,  $r_0 = \dots\dots\dots$

Odległość na linijce [cm]	Odległość Rzeczywista $r$ [cm]	Numer pomiaru				
		1	2	3	4	5
0						
0,5						
1,0						
1,5						
2,0						
2,5						
3,0						
4,0						
5,0						
6,0						
7,0						
8,0						
9,0						
10,0						
11,0						
12,0						
14,0						

**Tabela 4.** Grubość płytek, materiał .....

Grubość płytki [mm]	Numer pomiaru			Średnia
	1	2	3	
d <sub>1</sub>				
d <sub>2</sub>				
d <sub>3</sub>				
d <sub>4</sub>				
d <sub>5</sub>				
d <sub>6</sub>				
d <sub>7</sub>				

**Tabela 5.** Moc dawki skutecznej [ $\mu\text{Sv/h}$ ] dla absorbentu ....., źródła..... i odległości źródło – detektor ..... cm

Grubość absorbentu [mm]	Numer pomiaru				
	1	2	3	4	5
d = 0*					
d <sub>1</sub> = .....					
d <sub>1</sub> + d <sub>2</sub> = .....					
d <sub>1</sub> + d <sub>2</sub> + d <sub>3</sub> = .....					
d <sub>1</sub> + d <sub>2</sub> + d <sub>3</sub> + d <sub>4</sub> = .....					
d <sub>1</sub> + d <sub>2</sub> + d <sub>3</sub> + d <sub>4</sub> + d <sub>5</sub> = .....					
d <sub>1</sub> + d <sub>2</sub> + d <sub>3</sub> + d <sub>4</sub> + d <sub>5</sub> + d <sub>6</sub> = .....					
d <sub>1</sub> + d <sub>2</sub> + d <sub>3</sub> + d <sub>4</sub> + d <sub>5</sub> + d <sub>6</sub> + d <sub>7</sub> = ....					

\* bez absorbentu

## 4. Opracowanie wyników

### Zależność mocy dawki skutecznej od odległości źródło – dozymetr

1. Wyznacz średnie tło promieniowania na stanowisku pomiarowym - tło wynosi .....  $\mu\text{Sv/h}$ .

2. Wpisz do tabeli 6 średnie wartości mocy dawki skutecznej, wyznaczone na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 3, a następnie wylicz średnią moc dawki skutecznej po odjęciu tła oraz niepewność tych wartości.

3. Zlinearyzuj zależność  $\dot{E} = C/r^2$  (\*) według poniższych wskazówek, gdzie  $\dot{E}$  oznacza średnią moc dawki skutecznej **po odjęciu tła - przedostatnia kolumna w Tabeli 6**,  $C$  jest nieznaną stałą.

Pamiętamy, że  $r = l + r_0$ , gdzie  $l$  to odległość odczytana na linijce, natomiast  $r_0$  to nieznaną odległość źródło – detektor odpowiadająca sytuacji, gdy odległość odczytana na linijce wynosi 0 cm. Równanie (\*) przyjmuje wtedy postać  $\dot{E} = C/(l + r_0)^2$ . Naszym zadaniem jest wyznaczenie stałych  $C$  i  $r_0$ . Aby to zrobić pierwiastkujemy obustronnie ostatnie równanie otrzymując  $\sqrt{\dot{E}} = D/(l + r_0)$ , gdzie  $D = \sqrt{C}$ . Stąd dostajemy  $(l + r_0)\sqrt{\dot{E}} = D$ . Po podzieleniu obu stron przez  $r_0$  i przegrupowaniu składników otrzymujemy  $\sqrt{\dot{E}} = -\sqrt{\dot{E}}l/r_0 + D/r_0$ . Po wprowadzeniu oznaczeń  $x = \sqrt{\dot{E}}l$ ,  $y = \sqrt{\dot{E}}$ ,  $a = r_0^{-1}$  oraz  $b = D/r_0$  otrzymujemy zlinearyzowaną postać równania (\*), mianowicie  $y = -ax + b$ . Ponieważ mamy wykonaną serię pomiarów  $\dot{E}_i$  oraz  $l_i$  otrzymujemy serię równań  $y_i = -ax_i + b$ , gdzie stałe  $a$  oraz  $b$  są takie same dla wszystkich równań. Można je zatem wyznaczyć przez dopasowanie linii prostej do punktów pomiarowych  $x_i$  i  $y_i$ .

4. Przedstaw na wykresie punkty pomiarowe  $x_i$  i  $y_i$  oraz dopasowaną do nich linię prostą wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów. Podaj wartości parametrów  $a$  i  $b$ . Znając je oblicz stałe  $r_0 = a^{-1}$  oraz  $C = (br_0)^2$ .

**Tabela 6.** Zależność mocy dawki skutecznej od odległości źródło – dozymetr.

Odległość na linii [cm]	Odległość rzeczywista $r$ [cm]	Średnia moc dawki skutecznej [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Niepewność standardowa [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Średnia moc dawki skutecznej po odjęciu tła [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Niepewność standardowa [ $\mu\text{Sv/h}$ ]
0					
0,5					
1,0					
1,5					
2,0					
2,5					
3,0					
4,0					
5,0					
6,0					
7,0					
8,0					
9,0					
10,0					
11,0					
12,0					
14,0					



## Prawo osłabienia promieniowania

4. Wpisz do tabeli 7 średnie wartości mocy dawki skutecznej, wyznaczone na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 5, a następnie wylicz średnią moc dawki skutecznej po odjęciu tła oraz niepewność tych wartości.

5. Dane zestawione w tabeli 7 wykorzystaj do wyznaczenia, na podstawie wzoru 9, liniowego współczynnika osłabienia  $\mu$ . Podstaw za  $I$  średnią moc dawki, a za  $x$  grubość absorbentu. Skorzystaj z programu „regresja eksponencjalna”.

Wartość  $\mu$  można również wyznaczyć korzystając z programu „regresja linowa”; za  $x$  przyjmij grubość absorbentu, a za  $y$  logarytm naturalny wartości średniej mocy dawki (odpowiada to formule  $\ln I = -\mu x + \ln I_0$ ).

Uwaga: wyznaczanie wartości  $\mu$ , osobno dla każdego wiersza w tabeli 7, a następnie wyliczenie średniej wartości  $\mu$  jest niepoprawne.

Oblicz wartość  $\mu_m$ .

Wyznaczone wartości  $\mu$  i  $\mu_m$  oraz ich niepewności umieść w tabeli 8.

**Tabela 7.** Średnia moc dawki w zależności od grubości absorbentu .....

Grubość absorbentu - wartość średnia [cm]	Średnia moc dawki skutecznej [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Niepewność standardowa [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Średnia moc dawki skutecznej po odjęciu tła [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Niepewność standardowa [ $\mu\text{Sv/h}$ ]

6. Porównaj uzyskane wartości masowego współczynnika osłabienia  $\mu_m$  z wartościami przedstawionymi na rys. 1. Wartości energii promieniowania  $\gamma$  emitowanego przez stosowane źródło znajdziesz w tabeli w1; pamiętaj, że  $1 \text{ MeV} = 1000 \text{ keV}$ . Za wartość  $\mu_m$  dla mosiądzu i żelaza można przyjąć z dobrym przybliżeniem wartość dla miedzi.

**Tabela 8.** Wartości współczynników osłabienia, absorbent .....

Wartość zmierzona, niepewność	Wartość tablicowa
$\mu =$	—
$\mu_m =$	

**Wnioski:**