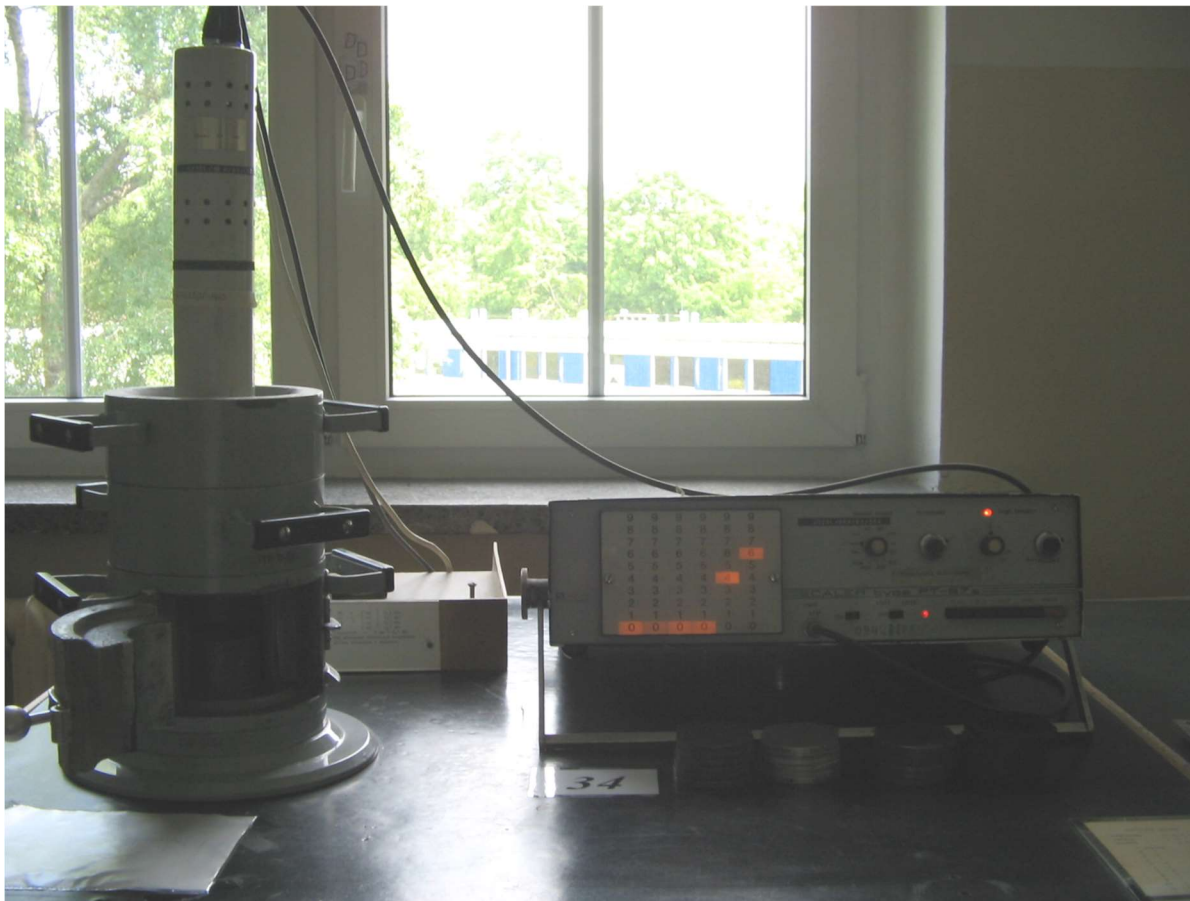


WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA POCHŁANIANIA PROMIENIOWANIA γ W CIAŁACH STAŁYCH



1. Opis teoretyczny do ćwiczenia

zamieszczony jest na stronie www.wtc.wat.edu.pl w dziale
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

2. Opis układu pomiarowego

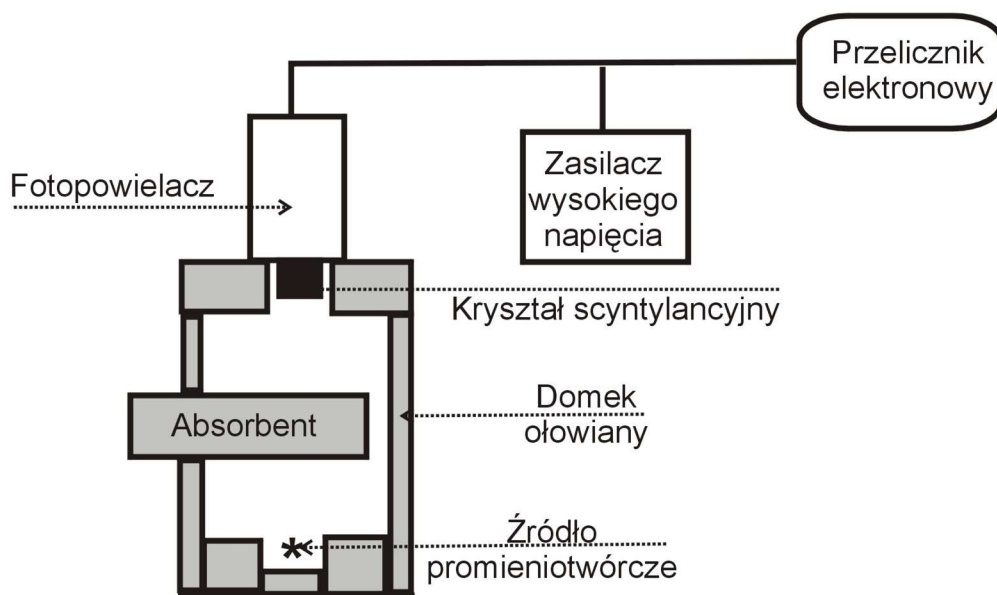
Źródło promieniowania γ (w niniejszym ćwiczeniu Co^{60} o czasie połowicznego rozpadu 5,3 roku) umieszczone jest w ołowianej obudowie (w tzw. domku ołowiowym) o kształcie walca. Rozpad jądra Co^{60} uwalnia dwa kwanty promieniowania γ (1,17 MeV i 1,33 MeV – używane w ćwiczeniu). Wzdłuż jego osi wywiercony jest kanał spełniający rolę kolimatora. Źródło promieniotwórcze umieszczone jest w dolnej części kanału, zaś bezpośrednio nad górnym końcem kanału znajduje się kryształ scyntylacyjny licznika kwantów promieniowania γ . Z boku obudowy prostopadle do osi walca znajduje się otwór służący do wprowadzania absorbentu wykonanego w postaci płytek. Po włożeniu płytki do komory pomiarowej znajdzie się ona na drodze promieni γ podążających w stronę licznika.

Emisja promieniowania jest zjawiskiem losowym. Dokonujemy pojedynczego pomiaru liczby zliczeń kwantów promieniowania γ w określonym czasie. Wynik N_t tego pomiaru obarczony jest niepewnością średnią

kwadratową równą $\sqrt{N_t}$ (pojedyncza próba). Niepewność względna ilości zliczeń $\frac{\Delta N_t}{N_t} = \frac{1}{\sqrt{N_t}}$ maleje wraz ze wzrostem ilości zliczeń N_t . Jeśli np. wymagana jest dokładność pomiaru rzędu 3%, to ilość zliczeń powinna być równa około 1 000. Czas pomiaru powinien być tak ustalony, aby zapewnić spełnienie tego warunku.

Do dyspozycji osób wykonujących ćwiczenie są komplety płytek wykonanych z miedzi, ołowiu, żelaza, aluminium i ebonitu. Jako licznik kwantów γ zastosowano kryształ scyntylacyjny (NaJ) wraz z fotopowielaczem.

Działanie licznika scyntylacyjnego wykorzystuje luminescencję występującą w niektórych substancjach pod wpływem działania promieniowania jonizującego. W tym przypadku rolę promieniowania jonizacyjnego spełniają elektrony powstające przy oddziaływaniu promieniowania γ z substancją scyntylatora wskutek procesów związanych ze zjawiskiem fotoefektu, efektu Comptona i efektu tworzenia pary elektron-pozyton. Rozbłyski świetlne (scyntylnacyjne) wywołane promieniowaniem w scyntylatorze są rejestrowane za pomocą fotopowielaczy o bardzo dużej światłoczułości przekształcających je w impulsy elektryczne. Impulsy te po wzmocnieniu przekazywane są za pomocą kabla do urządzenia liczącego, zwanego przelicznikiem elektronowym. W jednej obudowie z przelicznikiem elektronowym znajduje się zasilacz wysokiego napięcia fotopowielacza.

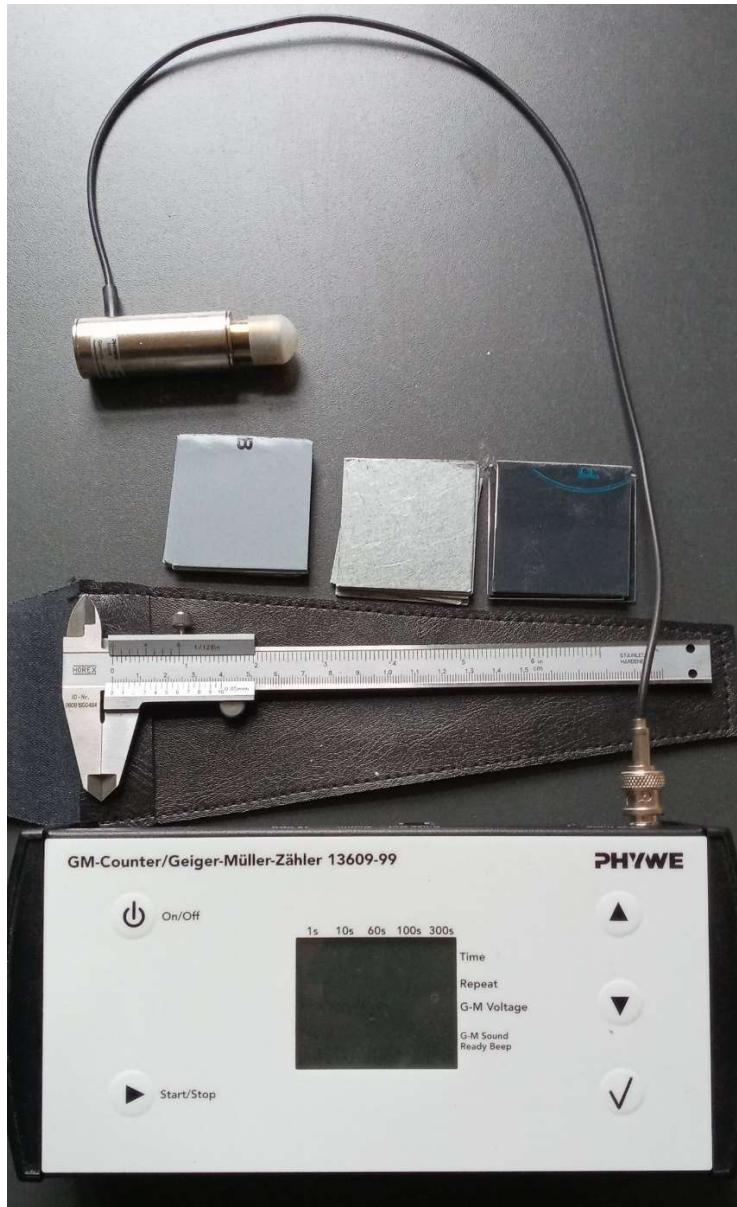


Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego.

3. Przeprowadzenie pomiarów

1. Zaznajomić się z rozmieszczeniem i przeznaczeniem elementów zestawu pomiarowego.
2. Włączyć zasilacz wysokiego napięcia (przycisk czerwony), a następnie uruchomić na chwilę przelicznik (START) w celu sprawdzenia poprawności działania układu. Wyłączyć przelicznik (STOP). Wysterować przelicznik (RESET).
3. Zmierzyć natężenie promieniowania tła N_{tlo} wstawiając do otworu specjalnie dopasowaną bryłę ołowianą (można z dodatkowymi płytkami ołowianymi), a następnie mierzyć ilość impulsów z dokładnością nie gorszą niż 5%. Praktycznie pomiar należy prowadzić w ciągu czasu t_{tlo} równego 3 – 5 minut.
4. Zmierzyć natężenie promieniowania źródła wraz z tłem N_{suma} przeprowadzając pomiar z pustą komorą pomiarową w takim czasie jak w punkcie 3.
5. Zmierzyć kilkakrotnie (np. 5 razy) natężenie promieniowania źródła wraz z tłem przeprowadzając kilka pomiarów (np. 5 razy) z pustą komorą pomiarową w krótkich odcinkach czasu (np. 30-60 s).
6. Dla płytek ołowiu zmierzyć zależność pomiędzy ilością zliczeń (natężeniem promieniowania) a grubością warstwy absorbentu pochłaniającej promieniowanie γ . W tym celu umieścić w komorze pomiarowej jedną płytkę ołowianą i dokonać pomiaru N_i ilości zliczeń. Pomiar przeprowadzić z dokładnością nie gorszą niż przy pomiarach wstępnych, co oznacza pomiary przez 1 - 2 minuty.
7. Po zapisaniu wyniku dołożyć następną płytkę ołowianą i wykonać pomiar ilości zliczeń dla zwiększonej grubości warstwy pochłaniającej. Pomiary kontynuować dla minimum 5 płytek ołowianych przy jednakowych wartościach czasu pomiaru.
8. Powtórzyć pomiary według punktów 6-7 dla minimum dwóch innych rodzajów absorbentów. Wyniki zapisać.
9. Zapisać wartości parametrów stanowiska i niepewności pomiarowych.

Obsługa licznika Geigera-Mueller-Zaehlera firmy PHYWE

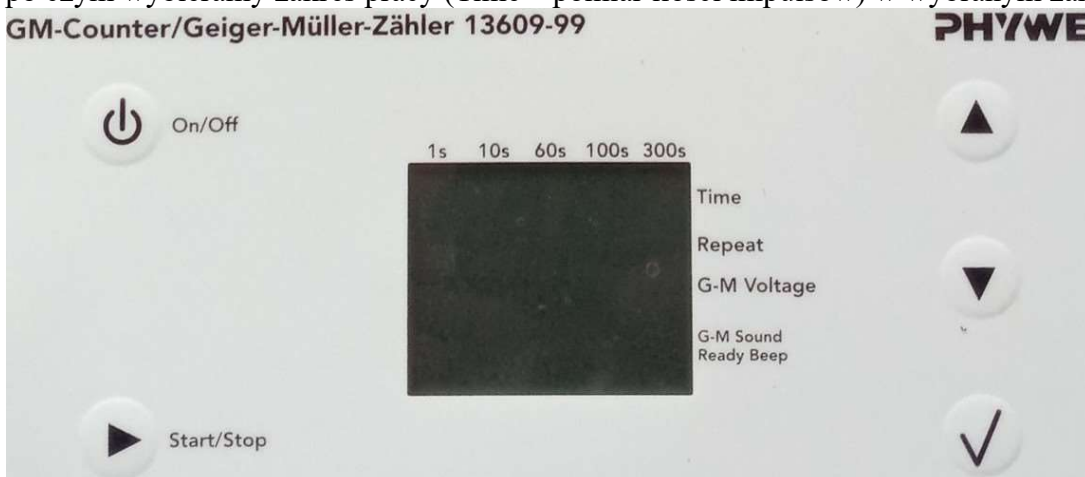


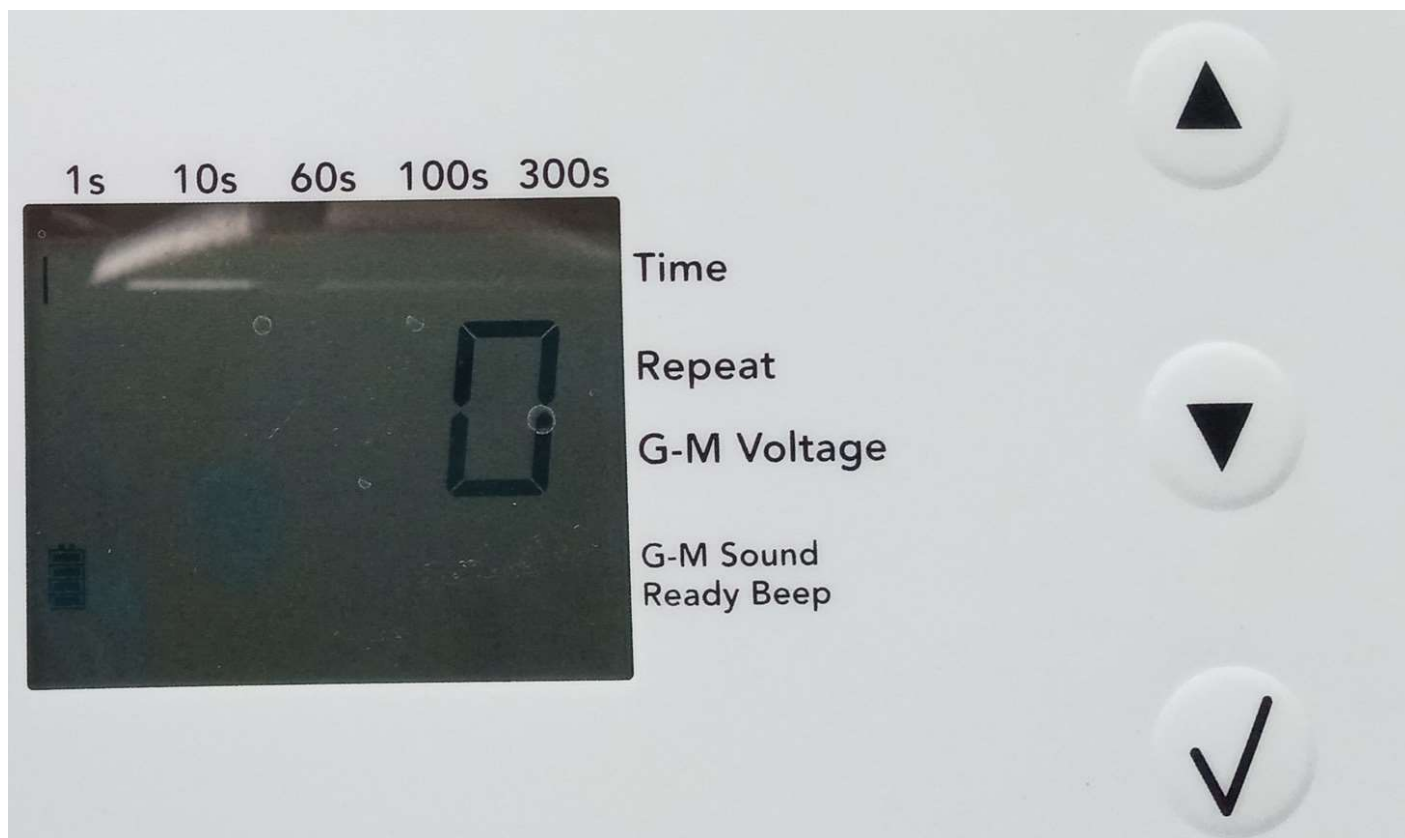
Domek ołowiowy z otwartą komorą pomiarową

Licznik G-M-Z z czujnikiem oraz płytki (po 5 sztuk) ze stali, aluminium i ołowiu z suwmiarką do pomiaru ich grubości

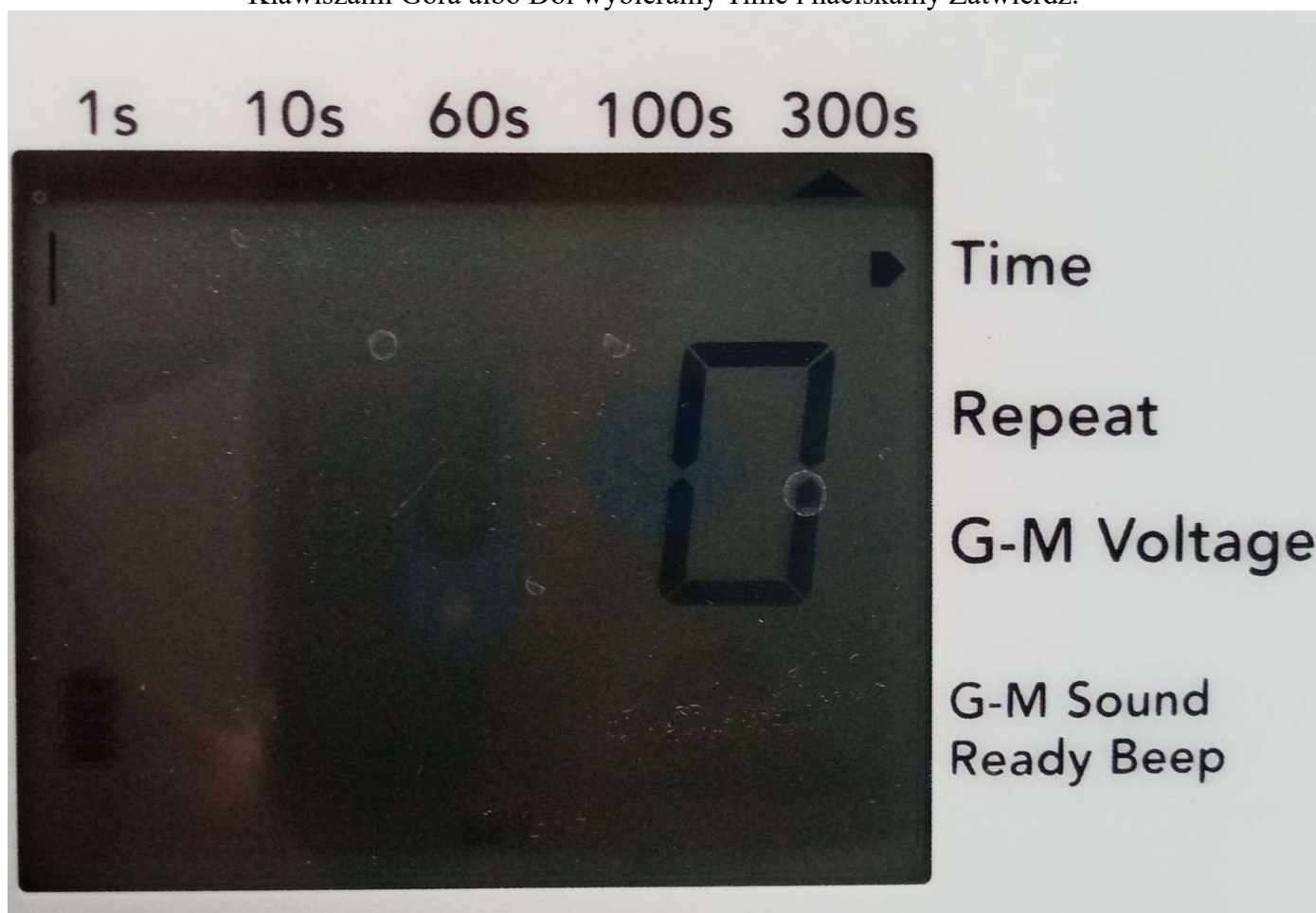
Licznik włączamy przyciskiem On/Off po czym wybieramy zakres pracy (Time – pomiar ilości impulsów) w wybranym zakresie czasu (300s).

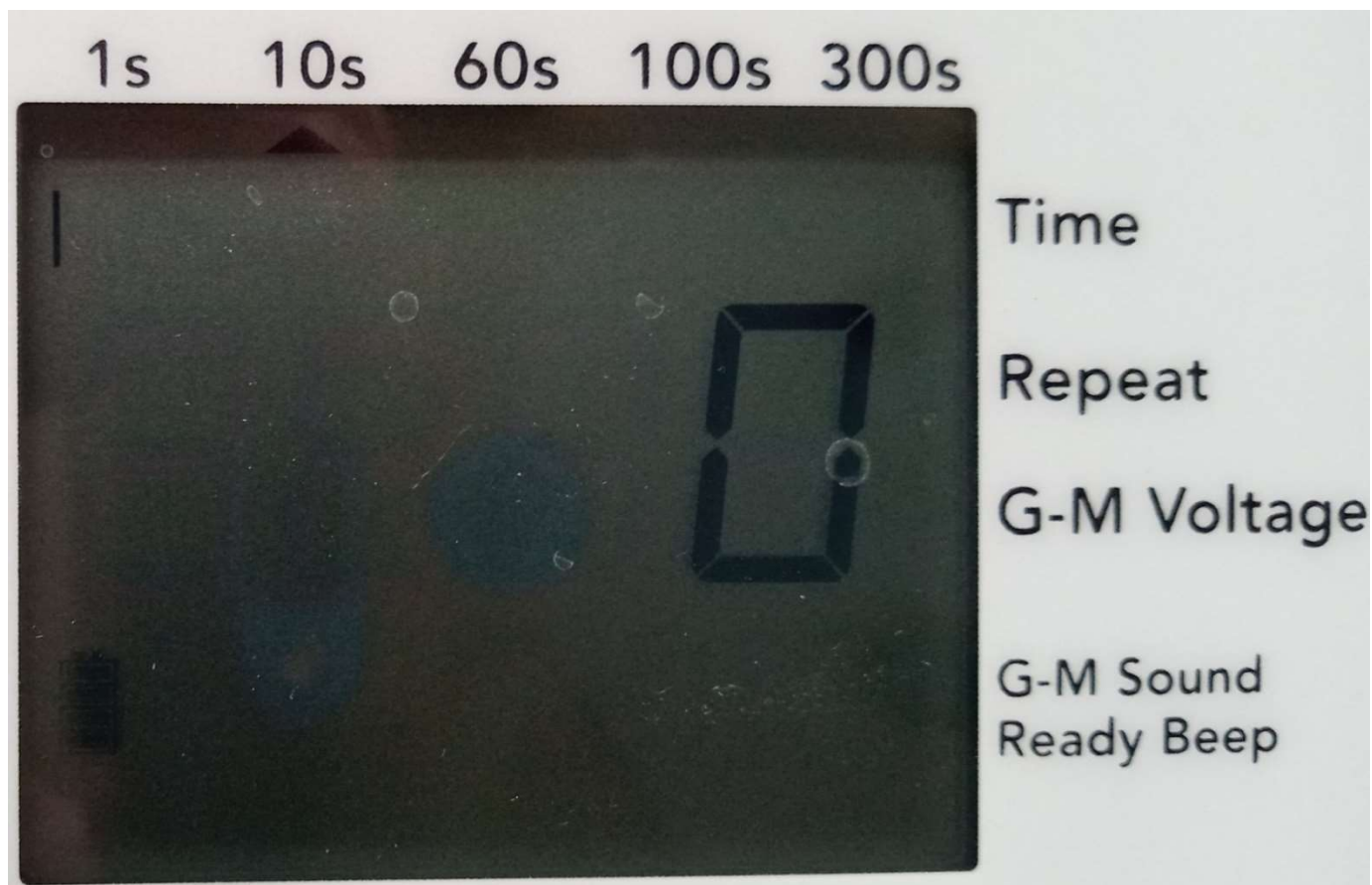
GM-Counter/Geiger-Müller-Zähler 13609-99



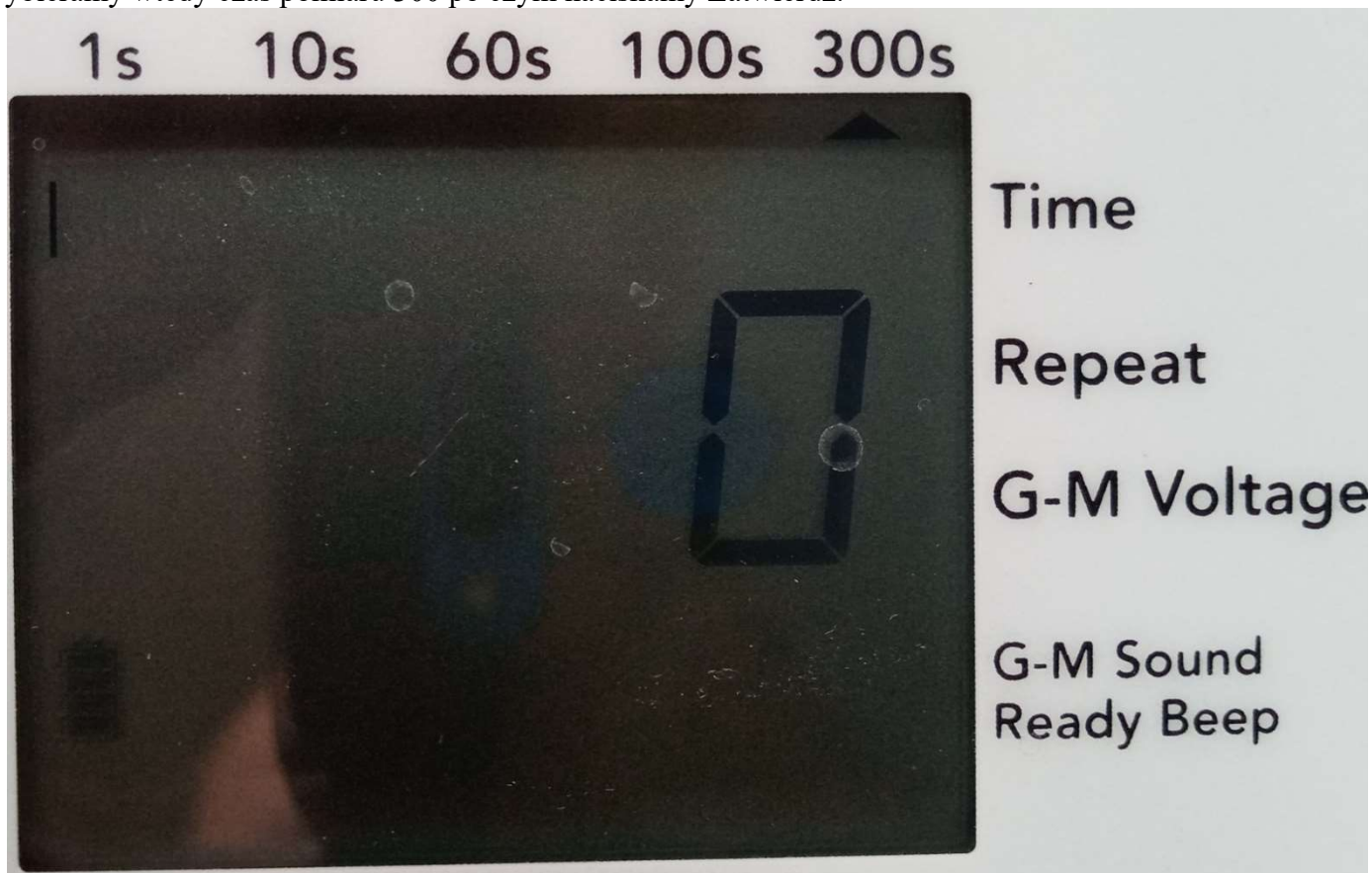


Widok wyświetlacza miernika G-M-Z z klawiszami (Góra/Lewo, Dół/Prawo oraz Zatwierdź) po włączeniu. Pierwsze naciśnięcie klawisza Zatwierdź pozwala na wybór opcji opisanych w pionie. Klawiszami Góra albo Dół wybieramy Time i naciskamy Zatwierdź.





Następnie klawisze Góra oraz Dół zmieniają znaczenie na Lewo oraz Prawo. Wybieramy wtedy czas pomiaru 300 po czym naciskamy Zatwierdź.



Po ustawieniu Time-300s kolejne pomiary wykonujemy naciskając Start/Stop.

4. Opracowanie wyników pomiarów

Wyznaczenie natężenia promieniowania źródła

1. Wyznaczyć natężenia promieniowania źródła $N_z = N_{suma} - N_{tlo}$ jako różnicę między sumą natężeń promieniowania źródła oraz tła, a natężeniem promieniowania samego tła dla pomiarów realizowanych w punktach 3 i 4.

$$n_z = \frac{N_z}{t_z}$$

Obliczyć natężenia promieniowania źródła w jednostce czasu jako ilość zliczeń np. na minutę.

$$n_{tlo} = \frac{N_{tlo}}{t_{tlo}}$$

Obliczyć natężenia promieniowania tła w jednostce czasu jako ilość zliczeń np. na minutę.

2. Wyciągnąć wnioski (1), co do stabilności pracy źródła na podstawie pomiarów w krótkich odcinkach czasu realizowanych w punkcie 5.

Wyznaczenie stopnia pochłaniania promieniowania w zależności od grubości absorbentu

3. Dla każdej grubości x_i każdego badanego absorbentu wyznaczyć ilość zliczonych impulsów

$$n_i = \frac{N_i}{t_i}$$

w jednostce czasu (np. na minutę).

4. Obliczyć $\ln(n_i - n_{tlo})$ dla wszystkich rodzajów absorbentów w funkcji ich grubości x .

Uwaga - ilości zliczeń n_i , n_{tlo} muszą być przeliczone na tą samą jednostkę czasu, np. na minutę.

5. Wykres-1. Wykonać wykresy zależności $f(x) = \ln(n_i - n_{tlo})$ dla wszystkich rodzajów badanych absorbentów.

Zgodnie z teorią powinna to być prosta $f(x) = -kx$, gdzie k – współczynnik absorpcji, x – grubość warstwy absorbentu.

Niepewności pomiarowe nanosimy tylko dla grubości absorbentu (x). W zależności od otrzymanych wartości wykresy wykonać na jednej kartce papieru milimetrowego lub na oddzielnych kartkach (Wykres-1a, Wykres-1b, Wykres-1c), aby zapewnić ich przejrzystość.

Przez punkty pomiarowe przeprowadzić prostą $y = \bar{a}x + \bar{b}$, parametry prostej oraz ich niepewności wyznaczyć z

$$\bar{a} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)}, \quad \bar{b} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)}{n}$$

$$u(\bar{a}) = \sigma_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^2\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right) - \bar{b} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}}, \quad u(\bar{b}) = \sigma_{\bar{b}} = \sigma_{\bar{a}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$$

Przy wyznaczaniu parametrów prostych zaleca się wykonanie tabeli zawierającym kolumny z poszczególnymi wartościami: x_i , y_i , x_i^2 , y_i^2 , $x_i \cdot y_i$ oraz ich sumy w celu uniknięcia błędów przy przetwarzaniu wartości zmierzonych.

Prostą wraz z wyznaczonymi parametrami nanieś na wykres (1).

6. Wartość wyrazu wolnego równania prostej \bar{b} związana jest ze zmianą aktywności źródła w trakcie pomiaru każdego z absorbentów. Wyciągnąć wnioski (2) co do stabilności źródła.
7. Niepewność wyrazu wolnego prostej $\sigma_{\bar{b}}$ związana jest z niepewnością standardową chwilowej aktywności źródła $u_c(\bar{b}) = e^{\bar{b}} \sigma_{\bar{b}}$.

Wyznaczenie współczynnika pochłaniania i grubości warstwy półchlonnej

8. Wartość i niepewność współczynnika kierunkowego prostej \bar{a} odpowiadają wartości i niepewności standardowej współczynnika absorpcji k danego materiału. Dla każdego materiału wartość grubości warstwy półchlonnej $d_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$ a jej niepewność $u_c(d_{1/2}) = \left| \frac{\ln 2}{(\bar{a})^2} \cdot \sigma_{\bar{a}} \right|$.
9. Dla wszystkich materiałów wyznaczyć niepewności złożone względne współczynnika absorpcji k $u_{c,r}(k) = \frac{u_c(k)}{k}$ oraz grubości warstwy półchlonnej $u_{c,r}(d_{1/2}) = \frac{u_c(d_{1/2})}{d_{1/2}}$.
10. Dla wszystkich materiałów wyznaczyć niepewności rozszerzone współczynnika absorpcji $U(k) = 2 \cdot u_c(k)$ oraz grubości warstwy półchlonnej $U(d_{1/2}) = 2 \cdot u_c(d_{1/2})$.

Ocena zależności współczynnika pochłaniania i grubości warstwy półchlonnej od gęstości absorbentu.

11. Wykres-2. Nanieś na wykres wyznaczone wartości współczynnika absorpcji k w funkcji gęstości absorbentów. Nie nanosić niepewności pomiarowych oraz nie dokonywać aproksymacji. Wyciągnąć wnioski (3).
12. Wykres-3. Nanieś na wykres wyznaczone wartości grubości warstw półchlonych w funkcji gęstości absorbentów. Nie nanosić niepewności pomiarowych oraz nie dokonywać aproksymacji. Wyciągnąć wnioski (4).

5. Podsumowanie (wersja podstawowa)

1. Zgodnie z regułami prezentacji wyników zestawień wyznaczone parametry $(k, u_c(k), u_{c,r}(k), U(k))$ oraz wartość odniesienia, $(d_{1/2}, u_c(d_{1/2}), u_{c,r}(d_{1/2}), U(d_{1/2}))$ oraz wartość odniesienia,

2. Przeanalizować uzyskane rezultaty:

- a1) czy spełniona jest relacja $u_{c,r}(k) < 0,1$,
- a2) czy spełniona jest relacja $u_{c,r}(d_{1/2}) < 0,1$,

- b1) czy spełniona jest relacja $|(k)_{\text{odniesienie}} - k| < U(k)$,

b2) czy spełniona jest relacja $|(d_{1/2})_{\text{odniesienie}} - d_{1/2}| < U(d_{1/2})$,

c) rozkład punktów na Wykresie-1 pod kątem występowania i przyczyn błędów grubych, systematycznych i przypadkowych.

d) rozkład punktów na Wykresie-2 lub Wykresie-3 pod kątem zależności wyznaczonych parametrów od gęstości absorbentu.

3. Wnioski z analizy rezultatów.

a) Wyciągnąć wnioski pod kątem występowania błędów grubych, systematycznych i przypadkowych i ich przyczyn. Uwzględnić tu wnioski (1) i (2).

b) Zapropionować działania zmierzające do podniesienia dokładności wykonywanych pomiarów.

c) Wyjaśnić czy cele ćwiczenia zostały osiągnięte. Uwzględnić tu wnioski (3) i (4).

6. Przykładowe pytania

Zamieszczone są na stronie www.wtc.wat.edu.pl w dziale
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

Zadania dodatkowe do wyznaczenia i analizy:

1. Obliczyć natężenie promieniowania źródła (Co^{60}) w dniu badania i rok temu w oparciu o wartość okresu połowicznego rozpadu (5,3 roku) oraz ilości jąder promieniotwórczych podlegających rozpadowi w

czasie $N(t) = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$. Wyniki poddać analizie i syntezie.

2. Obliczyć natężenie promieniowania źródła (Co^{60}) w dniu badania i za rok w oparciu o wartość okresu połowicznego rozpadu (5,3 roku) oraz ilości jąder promieniotwórczych podlegających rozpadowi w

czasie $N(t) = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$. Wyniki poddać analizie i syntezie.

3. Ustalić czy zmierzone promieniowanie tła odbiega od średniej krajowej. Wyciągnąć wnioski (5).
4. Dokonać aproksymacji liniowej wykresów (2) lub (3). Wyniki poddać analizie i syntezie.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}$$

5. Wyznaczyć współczynnik korelacji liniowej wykresie. Wynik poddać analizie i wyciągnąć wnioski.

Zespół w składzie.....

cele ćwiczenia:

- 1a) wyznaczyć grubość warstwy półchłonnej badanych materiałów,
- 1b) sprawdzić, czy grubość warstwy półchłonnej jest proporcjonalna do gęstości absorbenta,
- 2a) wyznaczyć współczynnik pochłaniania badanych materiałów,
- 2b) sprawdzić, czy współczynnik pochłaniania jest proporcjonalny do gęstości absorbenta,

3.1 Wartości teoretyczne wielkości wyznaczanych lub określanych.

Przy emitowaniu skolimowanego promieniowania gamma o energii 1,33 MeV ($2,13 \cdot 10^{-13}$ J) przez izotop Co^{60} (okres połowicznego rozpadu 5,3 lat) grubości pierwszej warstwy półchłonnej wynoszą około: ołów - 1,0 cm, żelazo - 1,6 cm, aluminium - 4,6 cm.

W dniu 14.10.2016 uśredniona wartość promieniowania tła w Polsce to około 100 nSv/h (0,878 mSv/rok), za bezpieczny próg przyjmuje się do 1 mSv/rok ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$).

3.2 Parametry stanowiska (wartości i niepewności).

Ołów: gęstość....., grubość płytki.....niepewność.....

Żelazo, gęstość....., grubość płytki.....niepewność.....

Aluminium, gęstość....., grubość płytki.....niepewność.....

Tekstolit, gęstość....., grubość płytki.....niepewność.....

3.3 Pomiary i uwagi do ich wykonania.

niepewność pomiaru czasu

niepewność pomiaru impulsów

Liczba impulsów przy komorze pomiarowej całkowicie wypełnionej ołowiem:

0,5 min	1 min.	1,5 min.	2 min.	2,5 min.	3 min.	3,5 min.	4 min.	4,5 min.	5 min.

Liczba impulsów przy komorze pomiarowej całkowicie pustej:

0,5 min	1 min.	1,5 min.	2 min.	2,5 min.	3 min.	3,5 min.	4 min.	4,5 min.	5 min.

Liczba impulsów przy różnej ilości płytek absorbentów, wszystkie, pomiary trwały

Absorbent / ilość płytek	ołów	żelazo	aluminium	tekstolit
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				