

Uniwersytet Warszawski  
Wydział Fizyki

Marysia Nazarczuk

Nr albumu: 417755

# POMIAR ZAWARTOŚCI RADONU W POWIETRZU

## Streszczenie

Celem przeprowadzonego eksperymentu było zbadanie radioaktywności oraz stężenia radonu-222 i produktów jego rozpadu w powietrzu. Na podstawie uzyskanych wyników określono stężenie polonu  $^{218}\text{Po}$  w pracowni jako  $C_1 = (0.14 \pm 0.16) \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$  oraz w sąsiedztwie napromieniowanych przedmiotów  $C_2 = (3.42 \pm 1.86) \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ . Badano również zależność liczby rejestrowanych cząstek alfa od odległości od źródła oraz określono efektywność zatrzymywania produktów rozpadu radonu na filtrze  $\eta = 0.34 \pm 0.14$ . Praca została przygotowana zgodnie z instrukcją [1].

Warszawa, Maj 2024



# Spis treści

<b>1. Wstęp teoretyczny</b>	5
<b>2. Doświadczenie</b>	7
2.1 Układ doświadczalny	7
2.2 Przeprowadzenie doświadczenia	7
2.2.1 Pomiar służący do wyznaczenia poziomu pomiaru tła	7
2.2.2 Pomiar służący do określenia zasięgu cząstek $\alpha$ emitowanych przez siatkę Auera	7
2.2.3 Pomiar służący do określenia aktywności $^{218}\text{Po}$ zawartego w pracowni oraz w bezpośrednim sąsiedztwie odpadów z hałdy po wydobyciu uranu	8
2.2.4 Pomiar służący do określenia efektywności $\eta$ zatrzymywania produktów rozpadu radonu na filtrze	8
2.3 Analiza pomiarów	8
2.3.1 Analiza pomiaru 2.2.1	8
2.3.2 Analiza pomiaru 2.2.2	9
2.3.3 Analiza pomiaru 2.2.3	9
2.3.4 Analiza pomiaru 2.2.4	9
2.4 Wyniki, niepewności, wnioski	10
2.4.1 Wyniki	10
2.4.2 Niepewności	10
2.4.3 Wnioski	10
<b>3. Podsumowanie</b>	11
<b>Bibliografia</b>	13



# 1. Wstęp teoretyczny

Radon-222 jest bezbarwnym gazem szlachetnym, znajdującym się w szeregu promieniotwórczym uranu-238 i charakteryzującym się czasem połowicznego rozpadu  $T_{1/2} = 3,8$  dnia.

Promieniotwórczość jest to spontaniczny (tj. niedeterministyczny) rozpad nuklidu na inny nuklid. Choć rozpad każdego pojedynczego nuklidu jest spontaniczny, szybkość rozpadu jest wprost proporcjonalna do liczby nuklidów w zbiorze. Równanie opisujące rozpad promieniotwórczy jest następujące:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.1)$$

gdzie  $N(t)$  jest liczbą nuklidów po czasie  $t$ ,  $N_0$  jest liczbą nuklidów w czasie  $t = 0$ ,  $e$  jest stałą Eulera,  $t$  jest czasem i  $\lambda$  jest pewną stałą. Stałą  $\lambda$  można wyrazić jako  $\frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ , gdzie  $t_{1/2}$  jest okresem połowicznego rozpadu danego nuklidu, czyli czasem, po którym w próbce połowa nuklidów ulegnie rozpadowi.

Można oszacować stężenie produktów rozpadu radonu w powietrzu za pomocą procedury polegającej na przepompowaniu powietrza przez filtr i dwukrotnym mierzeniu liczby zliczeń przez detektor w ustalonych i ściśle określonych odstępach czasu. Ostateczny wzór na stężenie wygląda następująco [1]:

$$C_A = \frac{7,3 \times 10^{-5}(N_1 - N_2)}{\epsilon v \eta} \quad (1.2)$$

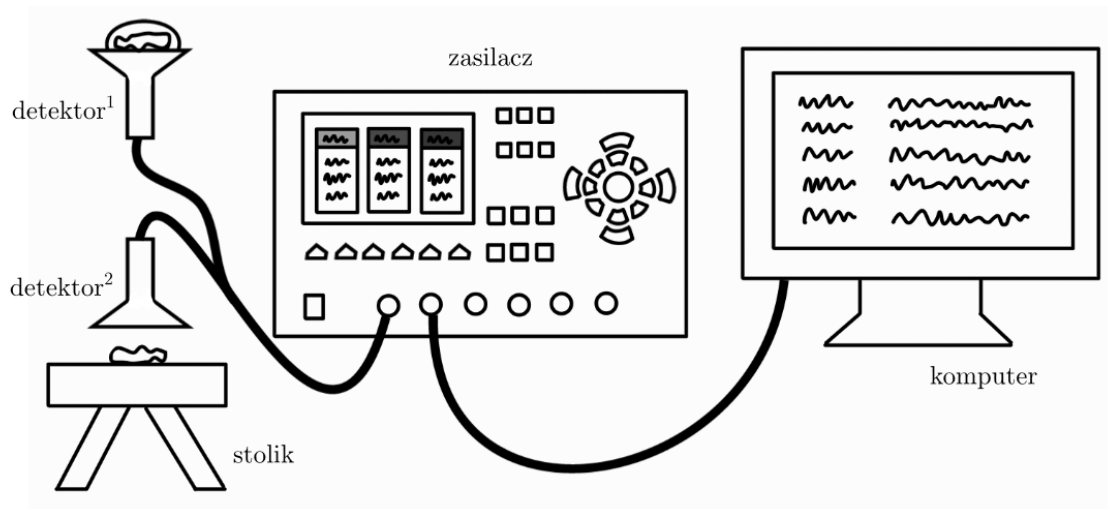
gdzie  $N_1$  jest liczbą zliczeń w ciągu pierwszego pomiaru,  $N_2$  jest liczbą zliczeń w ciągu drugiego pomiaru,  $\epsilon$  jest wydajnością rejestracji cząstek przez detektor,  $v$  jest szybkością pompowania gazu przez filtr, a  $\eta$  jest efektywnością zatrzymywania produktów rozpadu na filtrze.



## 2. Doświadczenie

### 2.1. Układ doświadczalny

Układ doświadczalny składał się z kilku osobnych elementów, których wykorzystanie zależało od celu zbieranych danych. Wykorzystano odkurzacz aby zebrać cząstki z powietrza. Stoper posłużył do zmierzenia czasu. Poniżej znajduje się część układu doświadczalnego dla danego eksperymentu. Zasilacz, wzmacniacz, przelicznik oraz dyskryminator progowy znajdowały się w jednej obudowie. Układ ten podłączony był do detektora scyntylacyjnego oraz komputera z którego można było czytywać wyniki.



Rysunek 2.1: Układ pomiarowy do pomiaru zawartości radonu w powietrzu.

<sup>1</sup> Badana próbka była ustawiona bezpośrednio na detektorze.

<sup>2</sup> Badana próbka ustawiona była w pewnej odległości od detektora.

### 2.2. Przeprowadzenie doświadczenia

Doświadczenie zostało podzielone na 4 części. Jako, że liczba zliczeń podlega rozkładowi Poissona, za niepewność pomiaru zliczeń weźmiemy pierwiastek kwadratowy.

#### 2.2.1. Pomiar służący do wyznaczenia poziomu pomiaru tła

Na początku ćwiczenia dokonano pomiaru poziomu promieniowania tła w pomieszczeniu. Pomiar przeprowadzono trzykrotnie, każdy trwający 180 sekund. Pierwszy pomiar wyniósł 5 zliczeń, drugi 11 zliczenie, a trzeci 8 zliczenia.

#### 2.2.2. Pomiar służący do określenia zasięgu cząstek $\alpha$ emitowanych przez siatkę Auera

Na regulowanym stoliku położono siatkę Auera. Wykonano 3 serie po 10 pomiarów z których każdy trwał 20 sekund. Odległość próbki od detektora była regulowana przy użyciu stolika z regulowaną wysokością. Dodatkowo próbka była przykryta folią aluminiową o grubości 4  $[\mu\text{m}]$ .

Tabela 2.1: Liczba zliczeń w zależności od odległości od źródła

Odległość [cm]	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Średnia
1	24	16	29	23
2	11	27	13	17
3	15	13	17	15
4	16	8	11	12
5	5	11	9	8
6	7	5	8	7
7	1	2	3	2
8	0	4	3	1
9	2	1	1	1
10	0	1	0	0

### 2.2.3. Pomiar służący do określenia aktywności $^{218}\text{Po}$ zawartego w pracowni oraz w bezpośrednim sąsiedztwie odpadów z hałdy po wydobyciu uranu

Wykonano dwie serie pomiarów. W każdej serii przez 5 minut pompowano powietrze przez rurę odkurzacza. Następnie filtr umieszczano na detektorze i przeprowadzano dwa pomiary zliczeń, z których każdy trwał 3 minuty. Niepewność pomiaru objętości wynosi  $u(V) = 0.01 \text{ m}^3$ .

Tabela 2.2

$N_1$	$N_2$	$V_1 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$	$V_2 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$	$V_3 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$
32	23	744.42	749.33	4.91
39	29	749.33	752.75	3.42

Następnie powtórzono powyższą czynność, umieszczając układ w kartonowym pudle, które zawierało napromieniowane odpady.

Tabela 2.3

$N_1$	$N_2$	$V_1 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$	$V_2 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$	$V_3 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$
574	332	762.34	766.61	4.27
380	248	766.61	770.49	3.88

### 2.2.4. Pomiar służący do określenia efektywności $\eta$ zatrzymywania produktów rozpadu radonu na filtrze

Przez dwa filtry umieszczone jeden za drugim przepompowywano powietrze przez 5 minut, następnie odczekano 1 minutę, po czym mierzono zliczenia na obu filtrach. Podczas 10-minutowego pomiaru uzyskano zliczenia:  $N_1 = 493$  oraz  $N_2 = 325$ .

## 2.3. Analiza pomiarów

### 2.3.1. Analiza pomiaru 2.2.1

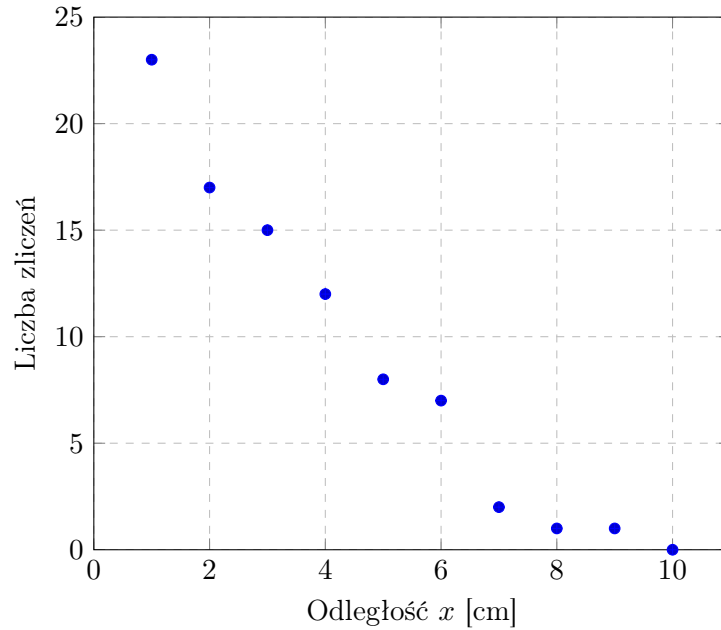
Wyznaczamy średnią arytmetyczną w celu ustalenia poziomu promieniowania tła

$$I_\alpha = (0.045 \pm 0.006) [\text{Bq}] \quad (2.1)$$



### 2.3.2. Analiza pomiaru 2.2.2

Analizując dane z tabeli 2.1 wyznaczamy zależność liczby zliczeń od odległości.



Rysunek 2.2: Wykres zależności liczby zliczeń od odległości próbki od detektora

Ze względu na małą liczbę zebranych danych, trudno jest określić jaką funkcją określona jest zależność liczby zliczeń od odległości. Można jednak zauważyć, że w odległości ponad 10 cm liczba zliczeń jest praktycznie zerowa.

### 2.3.3. Analiza pomiaru 2.2.3

Wyznaczamy aktywność określonej ilości powietrza. Wykorzystamy do tego metodę Markova oraz wzór 1.2. Wartość prędkości przepływu powietrza wyznaczmy korzystając ze wzoru  $v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ , gdzie  $\Delta V$  to objętość przepompowanego powietrza, zaś  $\Delta t = 55$  min. Po uśrednieniu, otrzymujemy wyniki

$$C_1 = (0.14 \pm 0.16) \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right] \quad (2.2)$$

dla danych zebranych w tabeli 2.2 oraz

$$C_2 = (3.42 \pm 1.86) \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right] \quad (2.3)$$

dla danych z tabeli 2.3.

### 2.3.4. Analiza pomiaru 2.2.4

Korzystając ze wzoru na efektywność zatrzymania cząstek  $\eta$ :

$$\eta = 1 - k \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (2.4)$$

gdzie  $k$  to względna efektywność wychwytu pierwszego i drugiego detektora (bierzemy  $k = 1$ ) uzyskujemy

$$\eta = 0.34 \pm 0.14 \quad (2.5)$$

## 2.4. Wyniki, niepewności, wnioski

### 2.4.1. Wyniki

Uzyskaliśmy wyniki:

- Poziom promieniowania tła  $I_\alpha = (0.045 \pm 0.006)$  [Bq]
- Stężenie produktów rozpadu radony w powietrzu  $C_1 = (0.14 \pm 0.16) \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$  oraz w pobliżu napromieniowanych przedmiotów  $C_2 = (3.42 \pm 1.86) \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$
- Efektywność zatrzymywania cząstek  $\eta = 0.34 \pm 0.14$

### 2.4.2. Niepewności

Niepewność wyznaczonych wartości może wynikać ze zbyt krótkiego czasu zbierania danych. Inną możliwością jest częste otwieranie drzwi do pracowni, przez co powietrze mieszało się i mogło to wpłynąć na zawartość promieniotwórczych cząstek w powietrzu. Na dokładność mógł również wpłynąć brak uwzględnienia efektywności docierania cząstek  $\alpha$  do detektora.

### 2.4.3. Wnioski

Ze względu na dużą niepewność, uzyskanych wyników nie możemy uznać za dokładne. Dają one jednak dobre przybliżenie dla rzeczywistych wyników.

### 3. Podsumowanie

W eksperymencie zbadano zależność liczby zliczeń od odległości. Uzyskane wyniki nie pozwoliły określić jakiego rodzaju funkcja jest dobrym przybliżeniem – można postawić hipotezę, że jest to liniowa funkcja malejąca lub hiperbola. Wyzaczyliśmy stężenie polonu  $^{218}\text{Po}$  w pracowni  $C_1 = (0.14 \pm 0.16) \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$  oraz w sąsiedztwie napromieniowanych przedmiotów  $C_2 = (3.42 \pm 1.86) \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ , a także określono efektywność zatrzymywania produktów rozpadu radonu na filtrze  $\eta = 0.34 \pm 0.14$ .

Uzyskane wartości obarczone są dość sporą niepewnością, która może wynikać najprawdopodobniej z tego, że w trakcie doświadczenia drzwi do sali były co jakiś czas otwierane i zamykane, a co za tym idzie wewnątrz pomieszczenia nie było cały czas jednakowych warunków. Pomiarów możemy uznać za dokładne, gdyż wszelkich pomiarów dokonywał komputer. Wyniki uzyskane w pomiarze zasięgu cząstek  $\alpha$  emitowanych przez siatkę Auera, pozwalają stwierdzić że w odległości powyżej 10 cm promieniowanie siatki zanika. Uzyskujemy wówczas energię 7 – 8 MeV, co jest zgodne z zakresem umieszczonym w instrukcji [1].

Wszelkie rachunki przeprowadziłam ręcznie, posługując się jedynie kalkulatorem prostym oraz arkuszem kalkulacyjnym Google. Na każdym etapie obliczeń zaokrąślałam wynik do dwóch miejsc znaczących. Ostateczne wyniki sprawdziłam przy użyciu programów napisanych w Pythonie i na podstawie tych wyników dopasowałam krzywą do danych na wykresach. Do szacowania niepewności pomiarowych użyłam metody obliczania niepewności pomiarowej za pomocą pierwiastków elementów na diagonalu macierzy kowariancji, a także oszacowałam błędy za pomocą propagacji małych błędów.



# Bibliografia

- [1] NN. Instrukcja do zadania ws1 - pomiar zawartości radonu w powietrzu.