

Radioaktywność powietrza

Program: Coach 7

Projekt: : [\\PTSN\(Dysk\) \Coach7\33](#)

Radioaktywność powietrza

Ćwiczenie: *Radioaktywność*

powietrza.cma7

Przykład wyników: *Radioaktywność powietrza.cmr7*



Cel ćwiczenia

- Pokazanie radioaktywności otaczającego nas środowiska i zapoznanie ze zjawiskiem naturalnych rozpadów promieniotwórczych;
- Doświadczalna obserwacja zjawiska rozpadu promieniotwórczego (pomiar zaniku aktywności promieniotwórczej preparatu);
- Podjęcie próby wnioskowania o składowych radioaktywnych powietrza w oparciu o poznane informacje oraz wyniki doświadczenia.

1. Pomiar czasu półrozpadu substancji radioaktywnych zawartych w powietrzu

Układ pomiarowy

Doświadczenie przeprowadzane jest w trzech etapach. W pierwszej części eksperymentu należy pobrać próbkę, która posłuży do dalszych analiz. Do tego celu wykorzystywany jest odkurzacz, wyposażony w rurę, na której umieszczany jest bawełniany filtr. Podczas pracy odkurzacza przez filtr przepływa powietrze, osadzając na nim materiał do analizy.

Następnym krokiem jest zmierzenie promieniowania pobranej próbki. W tym celu stosuje się czujnik promieniowania rejestrujący promieniowanie alfa, beta i gamma (*RADIATION SENSOR (0666I) (CMA) (0...1000)*). Czujnik ten pozwala na rejestrację

aktywności promieniotwórczej preparatu poprzez zliczanie kwantów promieniowania alfa, beta i gamma. Sterownik tego czujnika przypisany jest do pierwszego wejścia analogowego konsoli pomiarowej *CoachLabII⁺*.

Ostatnią częścią doświadczenia jest analiza danych. W tej części sporządza się wykresy liczby zliczeń rejestrowanych przez detektor w funkcji czasu pomiaru, dokonuje się dopasowania krzywych teoretycznych do danych doświadczalnych oraz wyznacza czas półrozpadu badanego materiału. Można przeprowadzić także komputerową symulację zjawiska.



Rysunek 1. Odkurzacz przystosowany do pobierania próbki.

Przygotowanie układu



Rysunek 2. Sposób umieszczenia filtra w głowicy.

- Przeprowadzenie pomiaru w pomieszczeniu, które znajduje się możliwie blisko gruntu, a ponadto jest słabo wietrzne, pozwoli na uzyskanie większej liczby zliczeń rozpadów promieniotwórczych na minutę;
- W głowicy rury ssącej odkurzacza umieścić czysty filtr bawełniany;
- Całość układu umieścić w badanym pomieszczeniu i uruchomić odkurzacz;
- Zbieranie próbki prowadzić przez około 10 minut.




Ustawienia parametrów pomiaru

Rodzaj: *Pomiar w funkcji czasu*

Czas pomiaru: *600 minut*

Częstotliwość: *1/min*

Pomiar

- Próbkę należy umieścić możliwie blisko detektora; zadbać, by znajdowała się ona na wysokości „szyjki” detektora. Można posłużyć się układem deseczek i ołowianych cegieł, zgodnie z rysunkiem 3;
- Uruchomić pomiar – przycisk *Star*  lub (F9);

- Dłuższe prowadzenie pomiaru, przez około 10 – 12 godzin, pozwoli na pełne (aż do prawie całkowitego zaniku) zobrazowanie eksponencjalnego charakteru zaniku aktywności promieniotwórczej preparatu.
- Przed dokonaniem pomiaru aktywności promieniotwórczej pobranej próbki, należy dokonać oceny aktywności promieniotwórczej tła. Pomiaru tego dokonuje się w taki sam sposób, jak pomiaru aktywności promieniotwórczej próbki, z tym że oceny tej można dokonać już po kilku minutach pomiaru.



Rysunek 3. Przykładowy sposób ustawienia próbki przed detektorem.

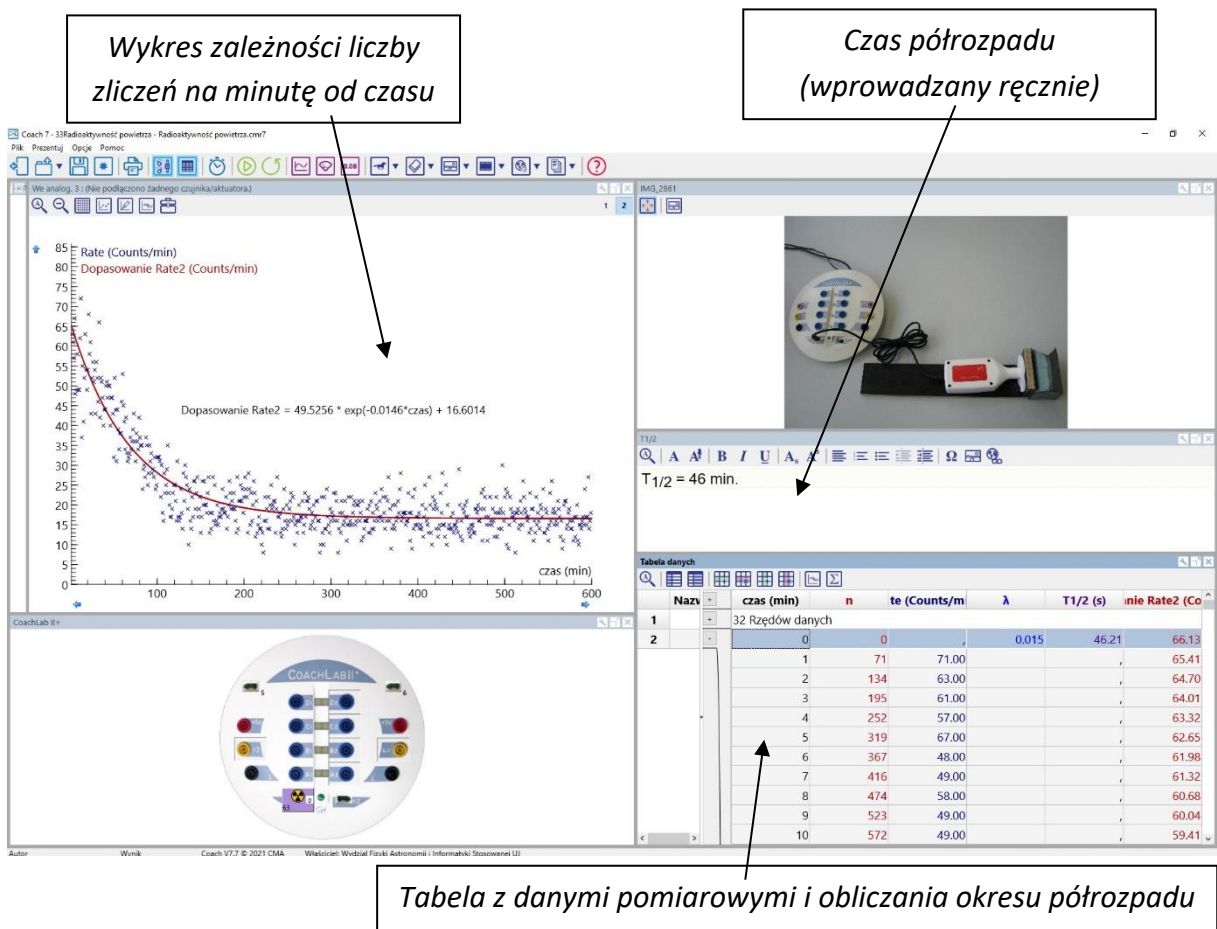
Obserwacje

Program dokonuje zliczeń ilości kwantów promieniowania docierających od badanego materiału do detektora. Ilość zliczeń w przypadku badanego materiału jest znacząco większa niż w przypadku badania tła (choć jest to silnie zależne od miejsca pobrania próbki). Można zatem stwierdzić, że w powietrzu występują pewne substancje radioaktywne. Jeżeli pomiar prowadzony był dostatecznie długo, uwidacznia się fakt, że ilość zliczeń rejestrowanych przez detektor maleje wraz z czasem. Oznacza to, że zmniejsza się ilość rozpadów radioaktywnych, czego przyczyną jest zmniejszanie się ilości danej substancji na filtrze. Zachodzi tu zjawisko rozpadu promieniotwórczego.

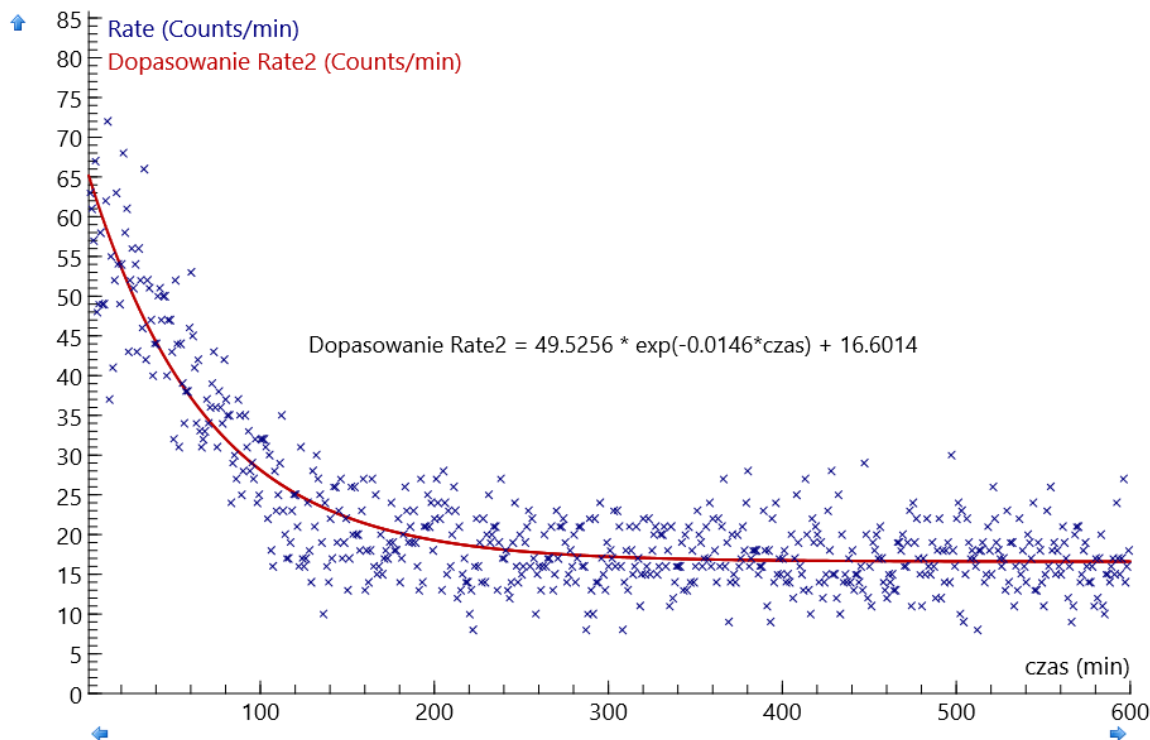
Analiza danych

Na wykresie należy przedstawić zależność ilości kwantów promieniowania rejestrowanych na minutę (w Tabeli wprowadzić nową zmienną $Rate = \Delta(n)/\Delta(\text{czas})$) od czasu trwania pomiaru. Wielkość ta jest proporcjonalna do ilości zachodzących w ciągu minuty rozpadów. Do danych doświadczalnych możliwe jest dopasowanie krzywej eksponencjalnej opisującej zależność ilości rozpadów promieniotwórczych od czasu. W tym

celu należy otworzyć menu kontekstowe (klikając prawym przyciskiem myszy na wykresie) a następnie wskazać *Analiza i przetwarzanie* i wybrać *Dopasowanie funkcji*. Jako *Zmienna* wskazać „Rate” oraz jako *Rodzaj funkcji* wybrać $f(x)=a*\exp(bx)+c$. Po naciśnięciu przycisku *Szacuj* program przeprowadzi oszacowanie przebiegu dopasowywanej krzywej. Jeżeli dopasowanie znacząco odbiega od danych doświadczalnych możliwe jest odgórne zadanie parametrów dopasowania. Parametr „a” odpowiada początkowej ilości zliczeń, parametr „b” związany jest z czasem półrozpadu i opisuje „wygięcie” krzywej, natomiast parametr „c” odnosi się do promieniowania tła i opisuje przesunięcie krzywej względem osi y. Po wprowadzeniu wartości parametru można zaznaczyć pozycję *Ustal* obok tej wartości. Spowoduje to, że przy dopasowywaniu program będzie traktował wartość danego współczynnika, jako ustaloną. Ostatecznego dopasowania krzywej dokonuje się naciskając przycisk *Precyzuj*. Przyciskiem *OK* zatwierdza się wyniki dopasowania. Wartość parametru „b” należy wpisać do *Tabeli danych* w pozycji „Stala rozpadu λ ”. Czas półrozpadu zostanie obliczony automatycznie. Można ten wynik wyeksponować wpisując go w polu tekstowym. W tym miejscu można zawrzeć również inne informacje i komentarze dotyczące ćwiczenia.



Rysunek 4. Ogólny widok okna programu.



Rysunek 5. Próbkę powietrza pobrano w wentylatorowi znajdującej się w przyziomiu budynku. Pomieszczenie nie posiada klimatyzacji. Czas zbierania próbki wynosił 10 min. Próbkę zgromadzona została na filtrze bawełnianym. Obliczony czas półrozpadu wynosi 20 min.

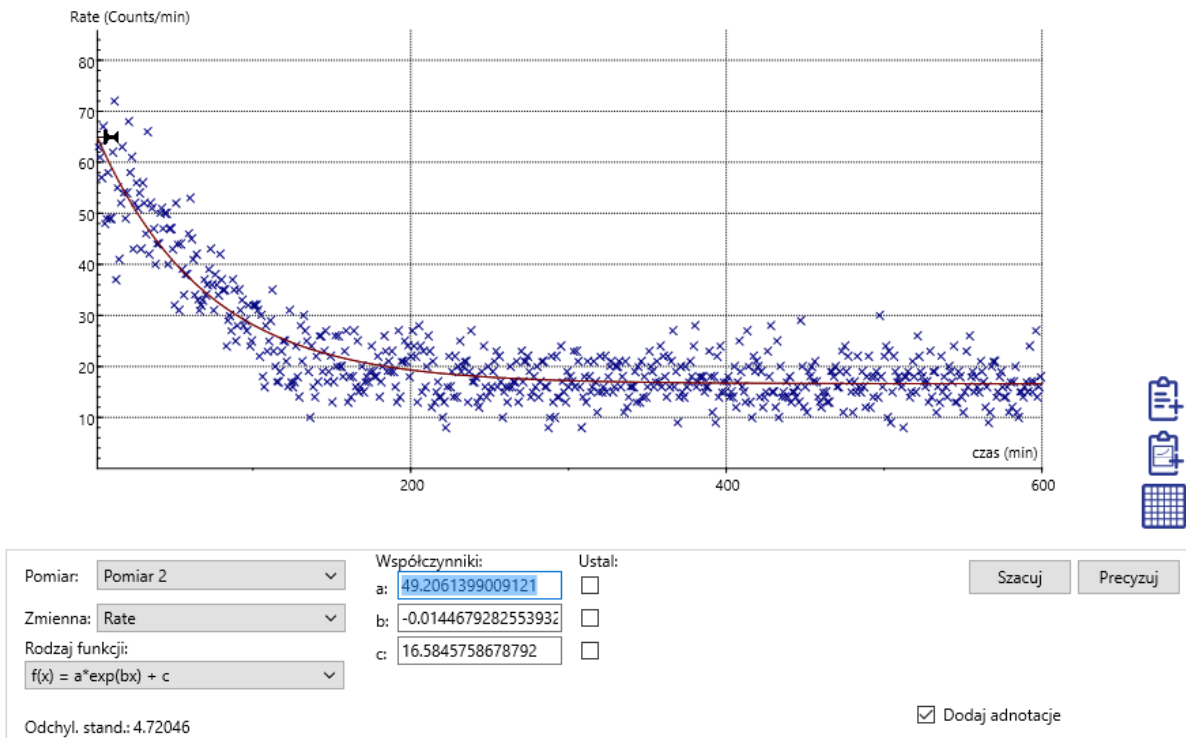
Analizując prawo rozpadu promieniotwórczego $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, które określa, jak zanika pierwotna ilość jąder z czasem, można opisać aktywność badanej próbki, czyli ilość zachodzących rozpadów w jednostce czasu. We wzorze N_0 jest początkową ilość jąder promieniotwórczych, $N(t)$ jest ilością tych jąder po czasie t , natomiast λ stałą rozpadu. Ilość rozpadów, które zaszły do czasu t równa jest zmianie ilości jąder promieniotwórczych N substancji, która nastąpiła w tym czasie: $A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$.

Dopasowana krzywa teoretyczna (*Analiza i Przetwarzanie* \rightarrow *Dopasowanie funkcji*) $f(x) = a \cdot \exp(bx) + c$ odpowiada krzywej opisującej aktywność badanego preparatu. Przy czym współczynnik „ a ” odpowiada początkowej aktywności A_0 , współczynnik „ c ” związany jest z aktywnością promieniotwórczą tła, natomiast kluczowy jest współczynnik „ b ” odpowiadający stałej rozpadu λ .

Stała rozpadu λ jest wielkością charakteryzującą dany izotop promieniotwórczy. Określa ona prawdopodobieństwo zajścia rozpadu promieniotwórczego w jednostce czasu. Istnieje związek pomiędzy stałą rozpadu, a czasem połowicznego rozpadu danego izotopu: $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$. Czas połowicznego rozpadu jest to czas, po upływie, którego

w badanej próbce pozostanie połowa pierwotnej ilości jąder promieniotwórczych danego izotopu.

Przykładowe wyniki



Rysunek 6. Okienko dopasowania funkcji.

Wnioski

Analizując wyznaczony w ćwiczeniu czas półrozpadu substancji zebranej w badanej próbce, można podjąć próbę jej identyfikacji. Otrzymany wynik czasu półrozpadu wynosi $T_{1/2} \approx 46$ min. Znając tę wartość oraz analizując możliwe pochodzenie substancji radioaktywnych wewnątrz budynków, można podjąć próbę identyfikacji materiału zebranego na filtrze. Ponieważ izotop radonu ^{222}Rn , który dostaje się do pomieszczeń jest gazem, a jego okres półrozpadu (3,823 dnia) jest długi, jak na czas trwania doświadczenia, można domniemywać, że faktycznie rejestrowanymi, w trakcie ćwiczenia, substancjami są jego pochodne. Korzystając ze schematu opisującego szereg uranowo – radowy, w którym występuje radon ^{222}Rn , można spodziewać się, że rejestrowanymi substancjami mogą być: polon ^{218}Po , polon ^{214}Po , bizmut ^{214}Bi oraz ołów ^{214}Pb , których łączny czas półrozpadu wynosi 49 min.

2. Źródła substancji radioaktywnych w powietrzu

Radioaktywność, czyli promieniotwórczość jest to zdolność jąder atomowych do rozpadu, zwanego promieniotwórczym, który najczęściej związany jest z emisją cząstek alfa, cząstek beta oraz promieniowania gamma. Jest to promieniowanie jonizujące, czyli takie, które wywołuje jonizację ośrodka, w którym się rozchodzi.

Rozpad alfa jest reakcją jądrową rozpadu, w której emitowana jest cząstka α (jądro helu) ${}^4_2\text{He}^{2+}$. Promieniowanie beta jest strumieniem elektronów lub pozytonów poruszających się z prędkością zbliżoną do prędkości światła. Natomiast promieniowanie gamma jest wysokoenergetyczną formą promieniowania elektromagnetycznego, emitowaną przez rozpadające się lub wzbudzone jądra atomowe oraz w wyniku anihilacji pary pozyton – elektron i rozpadów mezonów Π , a także hiperonów Σ .

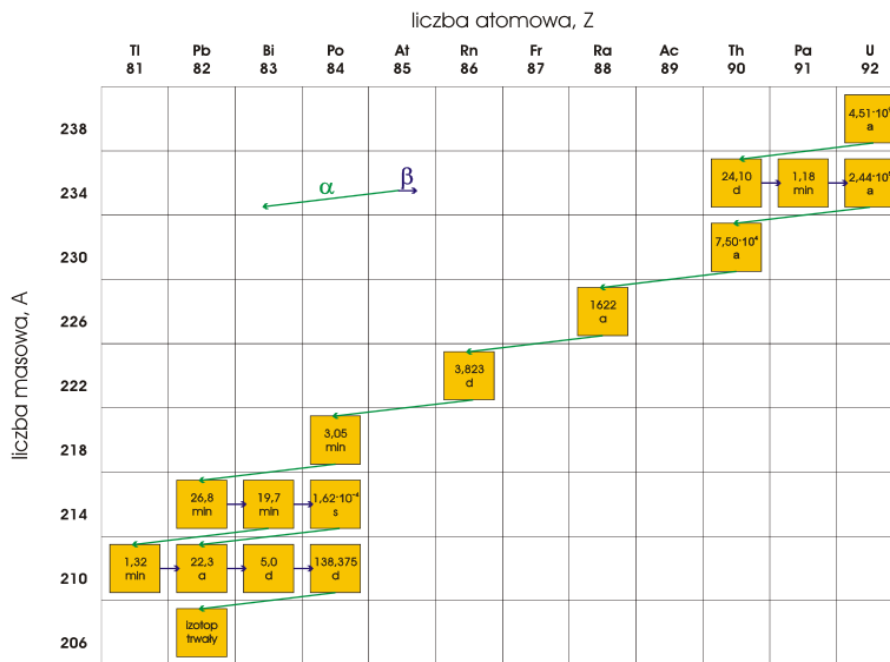
Energia promieniowania jonizującego mierzona jest w dżulach. Wprowadza się dodatkowe wielkości fizyczne ułatwiające opis zjawiska rozpadów radioaktywnych. Jednostką **aktywności promieniotwórczej** preparatu jest **Bekerel (Bq)**. 1 Bq odpowiada zachodzeniu jednego rozpadu promieniotwórczego w ciągu 1 sekundy. **Dawka ekspozycyjna** jest to zdolność wiązki promieniotwórczej do dostarczania materiałowi, przez który przechodzi, energii. Jednostką jest **rentgen (R)**. 1 R dostarcza 8,78 mJ energii do 1 kg suchego powietrza w warunkach normalnych. Mierzy się także dawkę, jaka została rzeczywiście zaabsorbowana przez materiał. Miarą **dawki zaabsorbowanej** jest **grej (Gy)**. 1 Gy odpowiada energii 1 J zaabsorbowanej przez 1 kg substancji pochłaniającej. Do oceny działania pochłoniętej dawki promieniowania przez różne układy biologiczne, stosuje się **dawkę równoważną**, której jednostką jest **siwert (Sv)**. Przy obliczaniu dawki równoważnej mnoży się dawkę zaabsorbowaną przez współczynniki względnej efektywności biologicznej, które wyznaczone są dla każdego narządu ciała.

Radon jest głównym źródłem naturalnego promieniowania. Jest on pierwiastkiem promieniotwórczym o liczbie atomowej 86, należącym do grupy helowców. Jest najcięższym gazem szlachetnym (wszystkie powłoki elektronowe są w całości zapełnione), bezbarwnym, bezwonny i bez smaku.

Właściwości fizyczne radonu

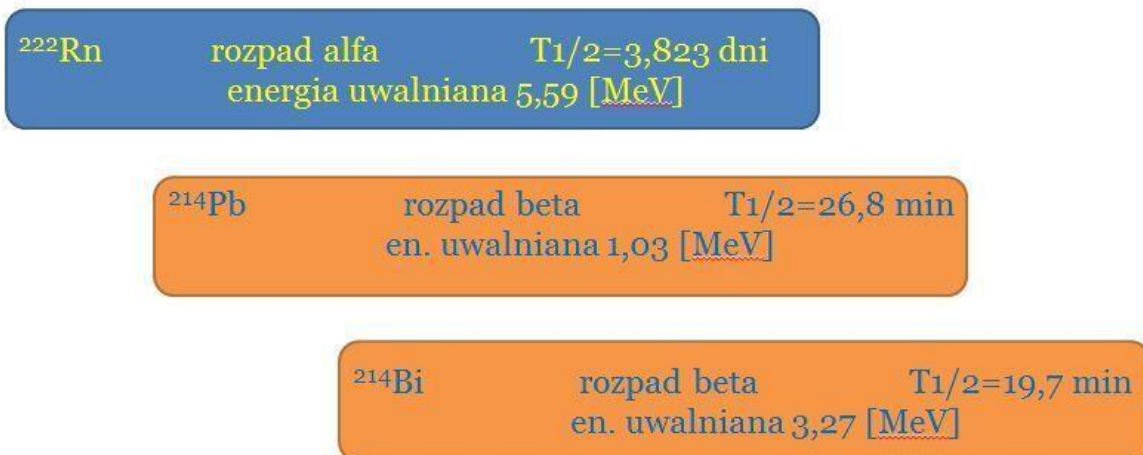
temperatura topnienia	-71°C
temperatura wrzenia	-68°C
gęstość gazu (warunki normalne)	9,73 g/dm ³
gęstość cieczy w temp. wrzenia	4,4 g/cm ³
gęstość ciała stałego	4,0 g/cm ³

Izotopy radonu są izotopami promieniotwórczymi, o różnych okresach półrozpadu: od mikrosekund do kilku dni. Jedynie 3 z nich występują naturalnie w przyrodzie. Są to izotopy 219, 220 i 222. Powstają one z ciężkich pierwiastków zawartych w skałach, w wyniku następujących po sobie rozpadów typu alfa lub beta. Kolejne produkty tych przemian tworzą tzw. szereg promieniotwórczy. Rozpad jądra radu daje atomom radonu energię kinetyczną do przedostawania się do powietrza i wód.



Rysunek 7. Szereg uranowo-radowy. Szereg opisuje wzór $4n + 2$ i należy do niego 16 nuklidów.

Fakt, że radon ^{222}Rn jest gazem sprawia, że nie osadza się on na filtrze. Ostatecznie, w doświadczeniu rejestruje się z powietrza pochodne gazowego radonu ^{222}Rn : polon ^{218}Po , ołów ^{214}Pb , bizmut ^{214}Bi , i polon ^{214}Po , których czasy połowicznego rozpadu wynoszą



Rysunek 8. Informacje dotyczące radonu i jego głównych pochodnych, które odgrywają rolę w doświadczeniu.

odpowiednio: 3,05 min, 26,8 min, 19,7 min oraz $1,62 \cdot 10^{-4}$ s. Wyżej wymienione izotopy bizmutu i ołowiu, przez długości swoich czasów półrozpadu oraz fakt, że są one również źródłami promieniowania gamma, stanowią główne źródło rejestrowanego w doświadczeniu promieniowania.

Wykorzystując prawo rozpadu promieniotwórczego można przeanalizować sytuację, która zachodzi w doświadczeniu. Są to rozpady promieniotwórcze sukcesywne. Analizujemy rozpady kolejnych produktów rozpadu pierwotnego izotopu. Sytuację, gdy jądra pierwiastka „1”, po rozpadzie przechodzą w jądra pierwiastka „2”, można opisać następująco:

Zmiana liczby jąder wynosi:

$$dN_1 = -\lambda_1 N_1 dt$$

$$dN_2 = (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2) dt$$

Natomiast ich ilość po czasie t dana jest wzorami:

$$N_1 = N_{01} \cdot e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = N_{01} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{02} \cdot e^{-\lambda_2 t}$$

W sytuacji, gdy w chwili początkowej nie było jąder pierwiastka „2”, czyli gdy dla $t = 0$ $N_{02} = 0$:

$$N_1 = N_{01} \cdot e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = N_{01} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

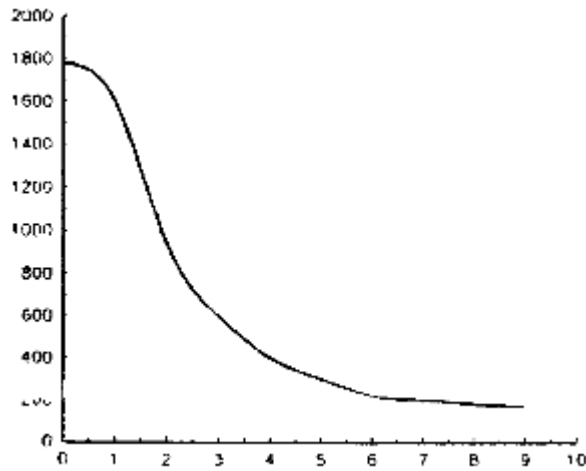
Natomiast zmiana aktywności preparatu w czasie określona jest następująco:

$$A_1 = \frac{dN_1}{dt} = \lambda_1 \cdot N_{01} \cdot e^{-\lambda_1 t}$$

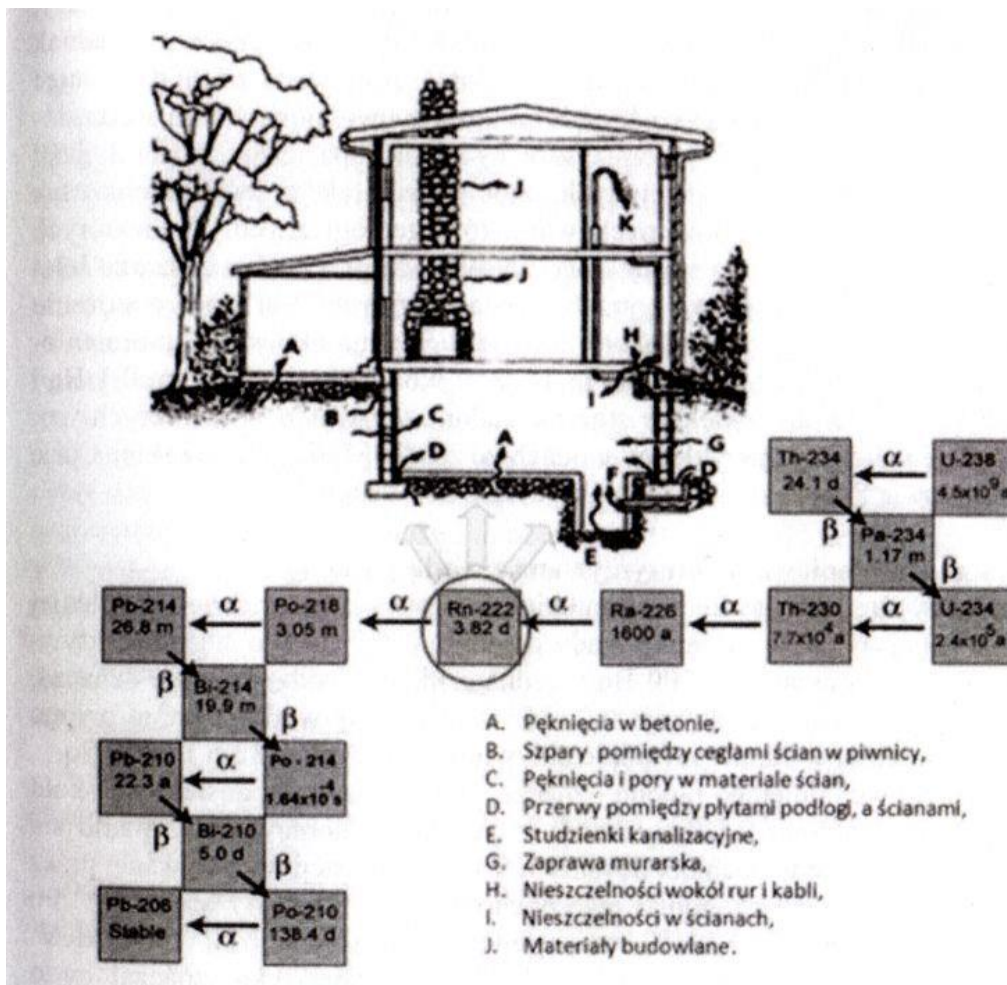
$$A_2 = \frac{dN_2}{dt} = \lambda_2 \cdot N_{01} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

Stężenie radonu w budynkach jest większe niż na zewnątrz. W Polsce **średnie** stężenie aktywności radonu w mieszkaniach wynosi **około 40 Bq/m³**. Radon przedostaje się do wnętrza z podłoża, materiałów budowlanych, wody i gazu ziemnego. Źródłem radonu w materiałach budowlanych są rozpady z szeregów promieniotwórczych uranu i toru. Jego stężenie w tych materiałach, silnie zależy od miejsca ich produkcji. Różnice ciśnienia we wnętrzach budynków oraz ich podłożach powodują wypychanie radonu do środka. Jest to główne jego źródło w pomieszczeniach. Droga jego przedostawania się są pęknięcia w konstrukcjach budynków, studzienki kanalizacyjne, nieszczelności wokół rur, niedokładności przy łączeniach. Wody pochodzące z ujęć podziemnych zawierają znacznie więcej radonu niż te pochodzące z rzek, czy jezior. Aktywność promieniotwórcza wody z Wisły wynosi 0,1 Bq/l. Rozpuszczalność radonu w wodzie spada wraz ze wzrostem

temperatury, dlatego jest uwalniany podczas codziennych czynności (gdy tylko następuje wzrost temperatury wody).



Rysunek 9. Zależność stężenia ^{222}Rn wewnątrz pomieszczenia o kubaturze ok. 45m^3 od liczby wymian powietrza w ciągu godziny (źródło: www.pg.gda.pl).



Rysunek 10. Szereg promieniotwórczy prowadzący do powstania radonu ^{222}Rn oraz drogi, którymi radon dostaje się do wnętrza domów (źródło: „Promieniowanie naturalne z Ziemi i z Kosmosu”, Paweł Moskał, Sedigheh Jowzaee, Instytut Fizyki UJ, FOTON 117, Lato 2012).