

Badanie statystycznego charakteru rozpadu jąder atomowych

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film \(standardowy\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

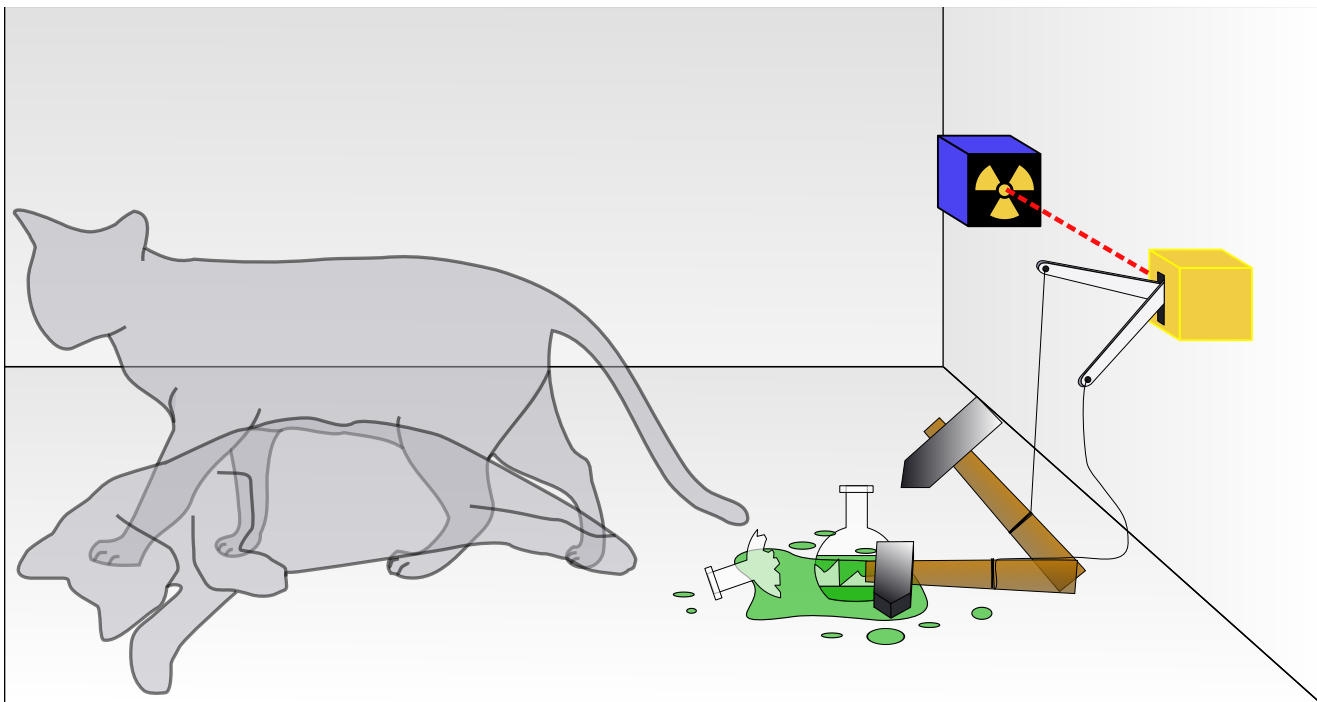


Badanie statystycznego charakteru rozpadu jąder atomowych

Źródło: dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ATLAS.jpg> [dostęp 19.04.2022 r.], licencja: CC BY 4.0.

Czy to nie ciekawe?

Jednym z najbardziej znanych i wzbudzających emocje eksperymentów myślowych jest eksperyment z tzw. kotem Schrödingera. Eksperyment przedstawia problem zastosowania tej mechaniki kwantowej do obiektów makroskopowych. Według pomysłu Schrödingera kot miał znajdować się w zamkniętym pudełku zawierającym urządzenie uwalniające truciznę. Mechanizm wypuszczania trucizny miał się włączać w momencie detekcji rozpadu nietrwałego jądra atomowego. Jako że rozpad promieniotwórczy jest procesem losowym, stan kota, czy był on żywy, czy martwy, nie był znany, gdy pudełko było zamknięte. Według ówczesnych interpretacji mechaniki kwantowej kot znajdował się więc w dwóch stanach jednocześnie, jako żywy i martwy. Dopiero otwarcie pudełka redukuje stan kota do jednego.



Rys. 1. Równocześnie żywy i martwy Kot Schrödingera.

Źródło: Dhatfield, dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schrodingers_cat.svg [dostęp 19.04.2022 r.], licencja: CC BY-SA 3.0.

Ten nieco makabryczny eksperyment myślowy bazował na tym, że rozpad promieniotwórczy są procesami losowymi. W oparciu o to proste założenie można wiele wywnioskować o naturze rozpadów promieniotwórczych i to za chwilę zrobimy.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- zrozumiesz, co to znaczy, że rozpad promieniotwórczy jest procesem losowym,
- wyprowadzisz prawo rozpadu promieniotwórczego,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz stałą rozpadu promieniotwórczego,
- zastosujesz prawo rozpadu promieniotwórczego do rozwiązywania zadań.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Rozpad promieniotwórczy jest jednym z niewielu procesów, które są określane jako czysto losowe. Oznacza to, że obserwując zbiór jąder promieniotwórczych nie można przewidzieć, które z nich i kiedy ulegnie przemianie promieniotwórczej. Jedyną informacją, jaką posiadamy jest prawdopodobieństwo rozpadu jąder w pewnym przedziale czasowym.

Zgodnie z definicją, prawdopodobieństwo zajścia jakiegoś zjawiska może być wyznaczone jako stosunek liczby zdarzeń tzw. sprzyjających, czyli takich, które spełniają definicję danego zjawiska, do wszystkich możliwych zdarzeń. W naszym przypadku prawdopodobieństwem p rozpadu jednego jądra w jakimś czasie Δt będzie stosunek liczby jąder, które uległy rozpadowi N' do wszystkich jąder w próbce N :

$$p = \frac{N'}{N}$$

Liczbę jąder, które uległy rozpadowi N' można wyrazić przez zmianę liczby jąder rozważanego izotopu w próbce, czyli końcowa liczba jąder minus liczba początkowa $\Delta N = N_k - N_p = N - N' - N = -N'$, skąd

$$p = -\frac{\Delta N}{N}$$

Z drugiej strony ważną cechą jąder atomowych jest to, że prawdopodobieństwo ich rozpadu w jednostce czasu jest stałe. Inaczej mówiąc, im dłużej obserwujemy jakieś nietrwałe jądro atomowe, tym prawdopodobieństwo, że ulegnie ono rozpadowi w trakcie tej obserwacji rośnie, w dodatku rośnie liniowo.

$$p = \lambda \cdot \Delta t$$

Literką lambda zaznaczono tzw. stałą rozpadu promieniotwórczego, będącą prawdopodobieństwem rozpadu jądra w jednostce czasu, która charakteryzuje dane jądro atomowe. Jednostką stałej rozpadu jest s^{-1} .

Łącząc te dwa wzory otrzymujemy:

$$\Delta N = -N \cdot \lambda \cdot \Delta t$$

Zmiana liczby jąder promieniotwórczych jest ujemna, czyli ich liczba maleje w czasie, i jest proporcjonalna do początkowej liczby jąder, stałej rozpadu oraz czasu, który upłynął. Zauważ, że podana we wzorze wielkość N nie jest stała, po każdym kroku czasowym jej wartość maleje o liczbę rozpadów w tym kroku. Wzór jest więc pewnym uproszczeniem, aby był dokładny powinniśmy przejść do bardzo małego kroku czasowego, dla którego

wartość N byłaby niemalże stała. Taki krok oznacza się symbolem dt , podobnie zmiana liczby jąder ΔN w takim małym kroku czasowym jest zapisywana jako dN :

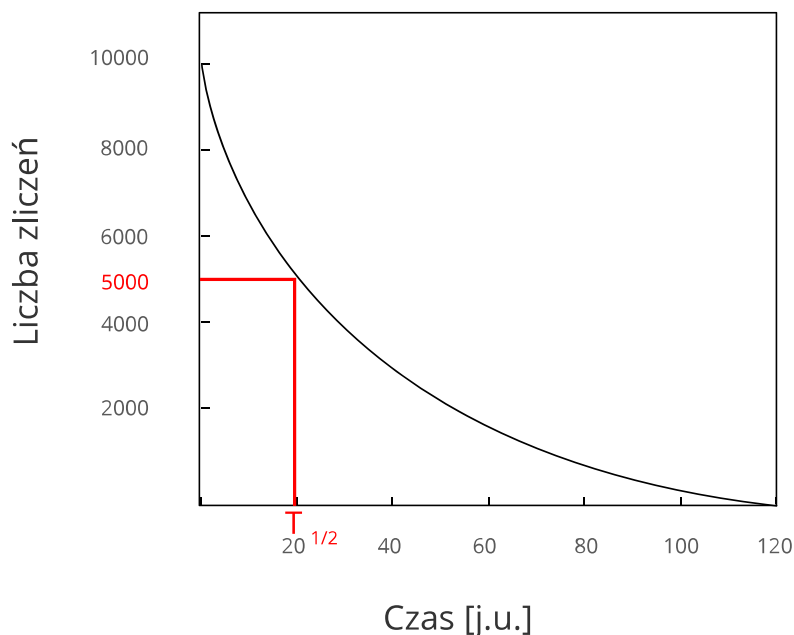
$$dN = -N \cdot \lambda \cdot dt$$

Rozwiązaniem takiego równania jest wyrażenie na $N(t)$, czyli liczbę promieniotwórczych jąder w czasie:

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

gdzie N_0 jest liczbą jąder w czasie $t = 0$, a literą e oznaczono [stałą Eulera](#).

Graficzna postać funkcji $N(t)$, zwanej krzywą zaniku promieniotwórczego, została zaprezentowana na Rys. 1.



Rys. 1. Krzywa zaniku promieniotwórczego. Czas w jednostkach umownych [j.u.]. $T_{1/2}$ oznacza czas połowicznego rozpadu.

Na rysunku zaznaczono punkt, w którym liczba jąder w próbce zmalała o połowę. Wyznaczą on czas połowicznego rozpadu nietrwałego izotopu.

Wyznamy zależność łączącą czas połowicznego rozpadu $T_{1/2}$ ze stałą rozpadu λ .

Z definicji czas połowicznego rozpadu jest to czas, po którym liczba jąder nietrwałych jest równa połowie początkowej liczby jąder:

$$N(T_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

$$e^{-\lambda T_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

$$e^{\lambda T_{1/2}} = 2$$

Skorzystajmy z definicji logarytmu.

Jeżeli $a^b = c$ to $b = \log_a c$. W naszym przypadku

$$\lambda T_{1/2} = \log_e 2$$

Logarytm przy podstawie e nazywamy logarytmem naturalnym i oznaczamy literami ln

$$\lambda T_{1/2} = \ln 2$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Stała rozpadu jest odwrotnie proporcjonalna do czasu połowicznego rozpadu, czyli im krótszy jest czas połowicznego rozpadu, tym stała rozpadu jest większa. $\ln 2$, czyli logarytm naturalny z 2 jest równy w przybliżeniu 0,69, jest to konkretna liczba.

Krzywą zaniku promieniotwórczego można zapisać wykorzystując czas połowicznego rozpadu w następującej postaci:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)t}{T_{1/2}}}$$

Jest to matematyczna postać [prawa rozpadu promieniotwórczego](#).

Słowniczek

Czas połowicznego rozpadu

(ang.: *half-life*) – czas, po którym liczba nietrwałych jąder w promieniotwórczej próbce zmniejsza się o połowę.

Rozpad promieniotwórczy

(ang.: *radioactive decay*) – zachodząca samorzutnie przemiana, w wyniku której jądro atomowe zmienia się w inne jądro. Najpopularniejszymi rozpadami promieniotwórczymi są rozpad alfa i rozpad beta. Rozpadowi promieniotwórczemu towarzyszy emisja promieniowania jądrowego.

Prawo rozpadu promieniotwórczego

(ang.: *radioactive decay law*) – zależność określająca liczbę atomów nietrwałego izotopu w czasie. Prawo głosi, że prawdopodobieństwo rozpadu pojedynczego jądra w jednostce czasu jest stałe. Prawo przyjmuje postać wzoru, określającego liczbę atomów badanego izotopu w czasie $N(t)$:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)t}{T_{1/2}}}$$

gdzie N_0 jest liczbą atomów w próbce w czasie $t = 0$, a $T_{1/2}$ jest czasem połowicznego rozpadu, czyli czasem, po którym liczba atomów badanego izotopu zmniejszy się

o połowę.

Liczba Eulera

(ang.: *Euler's number*) - stała matematyczna, oznaczana literą e , równa w przybliżeniu 2,72. Logarytm o podstawie e jest nazywany logarytmem naturalnym, a funkcja wykładnicza o podstawie e funkcją eksponencjalną.

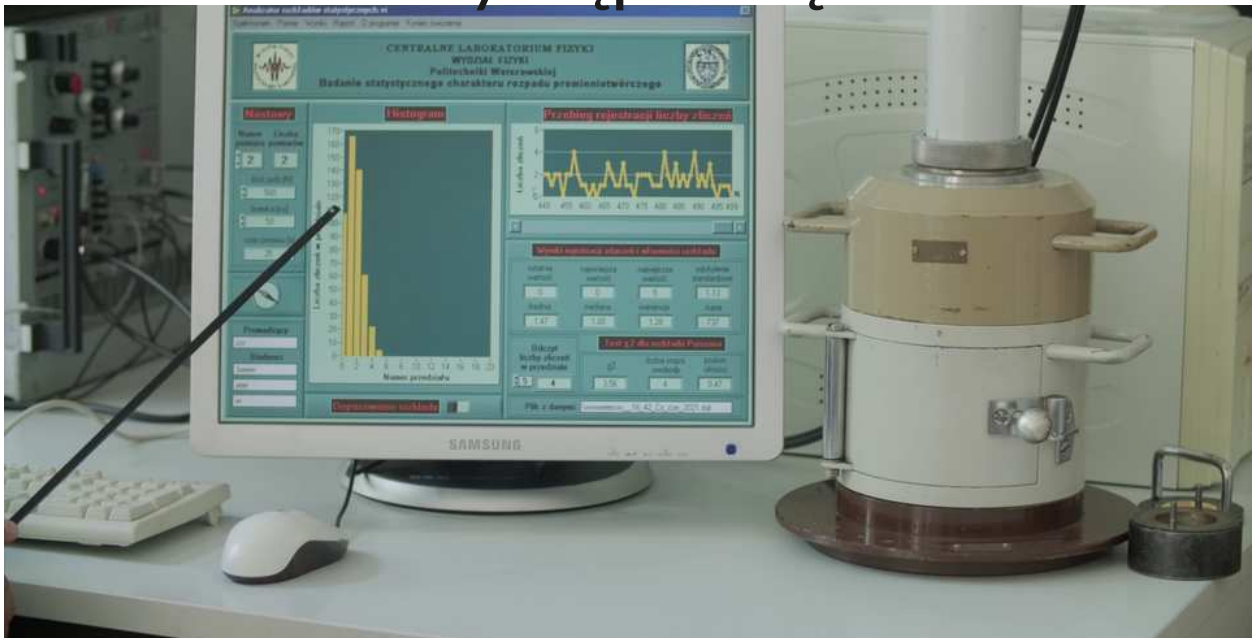
Film (standardowy)

Badanie statystycznego charakteru rozpadu jąder atomowych

Na filmie przedstawiono eksperyment, w którym badano statystyczny charakter rozpadu promieniotwórczego mierząc liczbę kwantów gamma docierających do detektora promieniowania jądrowego w określonych przedziałach czasu.

Obejrzyj film i wykonaj polecenia.

Wystąpił błąd



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RHBcnQ7PoSA42>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>

Zapoznaj się z audiodeskrypcją filmu. Film pokazuje badanie statystycznego charakteru rozpadu jąder atomowych.

Polecenie 1

Polecenie 2

- a) Wskaż cechę charakterystyczną otrzymanych wyników eksperymentu, świadcząca o tym, że badany proces przemiany promieniotwórczej ma charakter statystyczny.

- b) Podaj zasadniczą właściwość, cechującą pojedyncze niestabilne jądra atomowe, która leży u podstaw statystycznego charakteru ich rozpadu.

Polecenie 3

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Aleksandra Fijałkowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Statystyczny charakter rozpadu jąder atomowych
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądra.</p> <p>Uczeń:</p> <p>11) opisuje przypadkowy charakter rozpadu jąder atomowych.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none">• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,• kompetencje cyfrowe,• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. omówi eksperyment, w którym bada się statystyczny charakter rozpadu promieniotwórczego; 2. wyjaśni, co to znaczy, że rozpad promieniotwórczy jest procesem losowym; 3. zastosuje prawo rozpadu promieniotwórczego do rozwiązywania zadań.
Strategie nauczania:	eksperymentalno-obszewacyjna
Metody nauczania:	burza mózgów
Formy zajęć:	praca indywidualna, praca w grupach
Środki dydaktyczne:	komputer dla każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel wprowadza pojęcie zdarzeń losowych i skłania uczniów do podania przykładu takich zdarzeń.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Uczniowie wspólnie z nauczycielem oglądają film „Badanie statystycznego charakteru rozpadu promieniotwórczego”. Nauczyciel udziela niezbędnych wyjaśnień, odpowiada na pytania uczniów.</p> <p>Uczniowie zostają podzieleni losowo na 4 grupy. Mają za zadanie przedyskutować w grupach wyniki przedstawionego na filmie eksperymentu oraz uzasadnić statystyczny charakter rozpadu promieniotwórczego. W razie potrzeby oglądają ponownie film. Przedstawiciele grup omawiają wyniki dyskusji na forum klasy.</p> <p>Nauczyciel wyprowadza i omawia prawo rozpadu promieniotwórczego.</p> <p>Uczniowie w grupach rozwiązują zadania 2 i 4 z części „Sprawdź się”. Nauczyciel pełni rolę doradcy, monitoruje pracę uczniów.</p>	
Faza podsumowująca:	
<p>Uczniowie wyjaśniają, że prawo rozpadu promieniotwórczego jest konsekwencją statystycznego charakteru tego rozpadu.</p>	
Praca domowa:	
<p>Nauczyciel zadaje uczniom zadanie 1, 5, 6 z zestawu ćwiczeń.</p>	

**Wskazówki metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane w trakcie lekcji na temat histogramu.