

Reakcja rozszczepienia jądra uranu-235

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Reakcja rozszczepienia jądra uranu-235

Czy to nie ciekawe?

Czy wiesz, że gdyby wszystkie atomy zawarte w pastylce wielkości cukierka tic-tac , zrobionej z czystego uranu ^{235}U , uległy rozszczepieniu, uwolniona energia starczyłaby do zagotowania (czyli ogrzania od temperatur pokojowej do 100 stopni Celsjusza) ok. 10 000 wanien wody? Czym jest rozszczepienie uranu ^{235}U i skąd pochodzi ta ogromna energia? Tego dowiesz się już za chwilę (Rys. a.).



Rys. a. Obecnie na świecie czynnych jest ponad 400 energetycznych reaktorów jądrowych, które dostarczają ok. 15% światowej produkcji energii elektrycznej. Największy udział energetyki jądrowej w produkcji energii elektrycznej – ok. 80% – odnotowuje się we Francji, zaś najwięcej reaktorów – ponad 100 – znajduje się w USA.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- dowiesz się, czym jest reakcja rozszczepienia,
- nauczysz się pisać przykładowe równanie reakcji rozszczepienia,
- upewnisz się, ile wody można zagotować dzięki energii uwolnionej w rozszczepieniu jednego uranowego ticzka.

Przeczytaj

Warto przeczytać

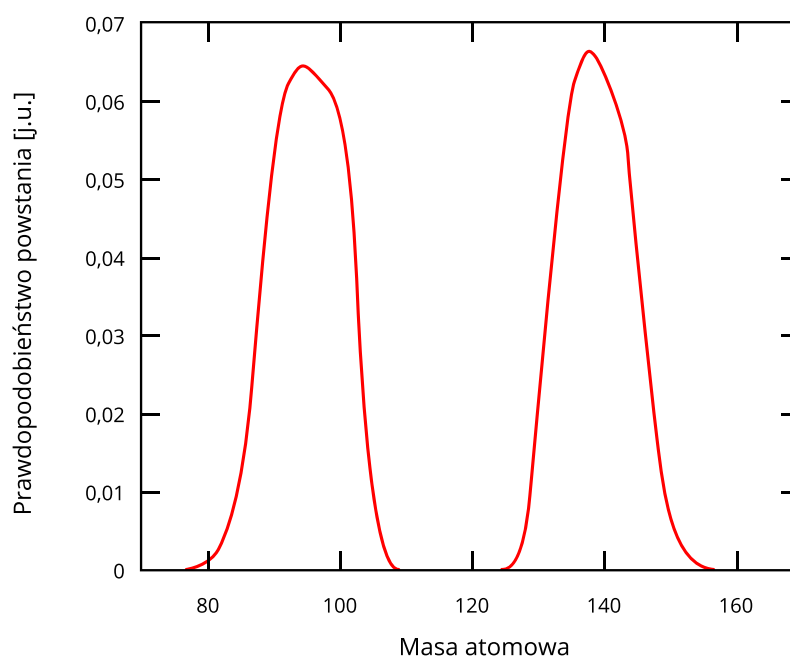
Rozszczepienie jest procesem, w którym ciężkie jądro atomowe ulega podziałowi na dwa lżejsze fragmenty, czemu towarzyszy emisja 2-3 neutronów oraz promieniowania γ . Niektóre jądra ulegają spontanicznemu rozszczepieniu, czyli proces zachodzi samoistnie, bez udziału czynników zewnętrznych. Inne, takie jak uran ^{235}U , ulegają rozszczepieniu wskutek działania czynników zewnętrznych, np. po pochłonięciu neutronu. Mówmy wtedy o **rozszczepieniu wymuszonym** (indukowanym). Aby jądro uranu ^{235}U pochłonęło neutron musi mieć on bardzo małą energię. Takie neutrony nazywamy termicznymi.

Przykładową reakcję rozszczepienia jądra uranu ^{235}U prezentuje poniższa reakcja:



Podane produkty reakcji są tylko przykładem. W rzeczywistości istnieje cały rozkład możliwych produktów rozszczepienia. **Poprawnie napisane równanie reakcji musi jednak zachowywać liczbę atomową i masową.**

Dwa produkty rozszczepiania są niesymetryczne, zawsze wyróżnia się produkt lżejszy i cięższy. Wykres (Rys. 1.) przedstawia rozkład prawdopodobieństwa powstania jąder o określonej masie atomowej w rozszczepieniu jądra ^{235}U . Posiada on dwa wyraźnie rozdzielone piki prezentujące lżejsze i cięższe produkty rozszczepienia.



Rys. 1. Rozkład prawdopodobieństwa powstania jąder o danej masie atomowej w reakcji rozszczepiania jądra ^{235}U

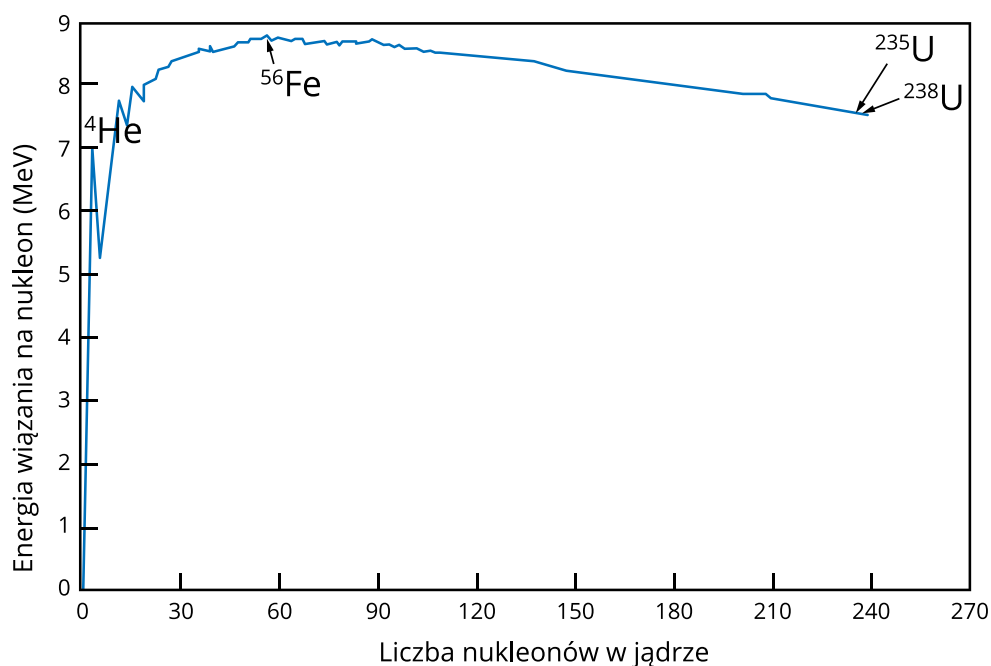
Całkowita energia uwalniana w rozszczepieniu jądra ^{235}U wynosi ponad 200 MeV, energia ta jest rozdzielana pomiędzy produkty reakcji w następujący sposób:

- Energia kinetyczna fragmentów rozszczepienia – ok. 170 MeV,
- Energia kinetyczna neutronów – ok. 5 MeV,
- Energia promieniowania γ – ok. 7 MeV.

Ponadto powstałe jądra są w większości radioaktywne i ulegają **przemianie β minus**, w wyniku której są emitowane cząstki β , czyli elektrony oraz promieniowanie γ i czasem neutrony. Całkowita energia uwolniona w rozpadach promieniotwórczych produktów rozszczepiania wynosi około 20 MeV.

Co jest źródłem tak ogromnej energii? Spójrz na wykres zależności energii wiązania nukleonów w jądrze atomowym (Rys. 2.). Przedstawia on energię wiązania jąder, czyli energię potrzebną do rozdzielenia jądra atomowego na nukleony nukleonów, w przeliczeniu na jeden nukleon w funkcji masy jądra.

Energia wiązania jąder atomowych rośnie, aż do masy 56. Zaznaczone na wykresie jądro żelaza 56 jest najsilniej związanym jądrem występującym w przyrodzie. Idąc w kierunku wyższych mas, energia wiązania jąder maleje. Tym samym ciężkie jądra uranu są słabiej związane niż jądra o dwukrotnie mniejszej masie, jakimi są produkty rozszczepienia. Różnica w energii wiązania lekkich jąder powstałych po rozszczepianiu i jądra początkowego stanowi energię uwolnioną w rozszczepieniu. Wydawać by się mogło, że te różnice są niewielkie. Jednakże zwróć uwagę, że jednostkami energii na wykresie są megaelektronowolty. Jeden megaelektronowolt (MeV) to ponad milion razy więcej niż typowa energia uwalniana w reakcjach chemicznych, na przykład procesie spalania jednego atomu węgla.



Rys. 2. Energia wiązania nukleonów w jądrze atomowym w przeliczeniu na jeden nukleon w funkcji liczby masowej jądra

Na koniec przeprowadźmy obliczenia sprawdzające, jaką ilość wody można doprowadzić do wrzenia, dzięki rozszczepieniu jednego „cukierka” uranu ^{235}U .

Założmy, że objętość cukierka tic-tac wynosi ok $0,5 \text{ cm}^3$. Gęstość uranu to $19,1 \text{ g/cm}^3$. W jednej pastylce znajduje się ok. $9,5 \text{ g}$ uranu, co stanowi $N = 9,5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} / 235 = 244 \cdot 10^{20}$ jąder.

Rozszczepienie każdego jądra uranu powoduje emisję ok. 200 MeV energii. Rozszczepienie wszystkich jąder w pastylce powoduje uwolnienie $200 \cdot 244 \cdot 10^{20} \text{ MeV} = 488 \cdot 10^{22} \text{ MeV}$, co w przeliczeniu na dżule wynosi $488 \cdot 10^{22} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 780 \text{ GJ}$ (gigadzuli).

Energię potrzebną do doprowadzenia do wrzenia od temperatury pokojowej (20°C) jednego litra wody oblicza się ze wzoru: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, gdzie c to ciepło właściwe wody równe $4200 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, m – masa 1 litra wody czyli 1 kg , zaś ΔT to różnica temperatur równa $100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 80^\circ\text{C} = 80 \text{ K}$. Podstawiając dane liczbowe otrzymujemy $Q = 336 \text{ kJ}$. Dysponując zaś energią 780 GJ możemy doprowadzić do wrzenia $780 \text{ GJ} / 336 \text{ kJ} = 2,3 \cdot 10^6$ litrów wody, czyli ok. $10\,000$ wanien wody!

Słowniczek

Rozszczepienie wymuszone

(ang. *induced fission*) – wywołany czynnikiem zewnętrznym (np. pochłonięciem neutronu lub protonu) proces podziału ciężkiego jądra atomowego na dwa lżejsze fragmenty. Rozszczepieniu towarzyszy emisja neutronów oraz uwolnienie znacznych ilości energii.

Przemiana beta minus

(ang. *beta minus decay*) – jeden z podstawowych procesów, którym ulegają niestabilne jądra atomowe. Przemiana beta polega na zmianie jednego neutronu w jądrze atomowym na proton, elektron, zwany cząstką beta oraz antyneutrino elektronowe. Najprostszym przykładem przemiany beta minus jest rozpad swobodnego neutronu.

Energia wiązania jądra atomowego

(ang. *nuclear binding energy*) – energia potrzebna do rozdzielenia jądra atomowego na nukleony, czyli protony i neutrony. Zgodnie z zasadą równoważności masy i energii, energia wiązania równa jest różnicy masy nukleonów z których zbudowane jest jądro atomowe i masy jądra, wymnożonej przez kwadrat prędkości światła.

Film samouczek

Obejrzyj animację przedstawiającą reakcję rozszczepienia uranu - 235 pod wpływem neutronów termicznych

Zapoznaj się z animacją, prezentującą indukowane neutronami rozszczepienie jądra uranu 235. Powstałe produkty rozszczepienia są tylko przykładowymi spośród kilkuset możliwych jąder. Zapamiętaj, że w każdym akcie rozszczepienia emitowane są 2-3 neutrony, które mogą posłużyć do indukcji kolejnych rozszczepień, co w określonych warunkach prowadzi do powstania samopodtrzymującej się reakcji łańcuchowej, wykorzystywanej w elektrowniach jądrowych.

Polecenie 1

Korzystając z zasady zachowania ładunku i zasady zachowania sumy mas protonów i neutronów (liczby masowej), zaproponuj przebieg reakcji rozszczepienia inny niż pokazany w filmie.

Polecenie 2

Co nazywamy reakcją łańcuchową?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Wyobraź sobie, że dysponujesz wagą o bardzo dużej dokładności. Jakie otrzymasz wskazanie, jeśli na jednej szalce położysz jądro uranu ${}_{92}^{235}\text{U}$, a na drugiej jądra strontu ${}_{38}^{94}\text{Sr}$, ksenonu ${}_{54}^{138}\text{Xe}$ oraz dwa neutrony? Która strona okaże się cięższa? Odpowiedź uzasadnij.

Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Aleksandra Fijałkowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Reakcja rozszczepienia jądra uranu ^{235}U
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

**Podstawa
programowa:**

Cele kształcenia – wymagania ogólne

II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik;

4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;

7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.

XI. Fizyka jądrowa. Uczeń:

9) opisuje reakcję rozszczepienia jądra uranu ^{235}U zachodzącą w wyniku pochłonięcia neutronu; podaje warunki zajścia reakcji łańcuchowej.

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik;

4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;

7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.

XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa. Uczeń:

15) opisuje reakcję rozszczepienia jądra uranu ^{235}U zachodzącą w wyniku pochłonięcia neutronu; podaje warunki zajścia reakcji łańcuchowej.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r. <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. określa poprawnie, czym jest reakcja rozszczepienia; 2. zapisuje równanie reakcji rozszczepienia; 3. porównuje energię uwolnioną w procesie rozszczepienia uranu 235 z energią wyemitowaną podczas spalania węgla kamiennego.
Strategie nauczania:	IBSE
Metody nauczania:	wykład informacyjny
Formy zajęć:	praca zespołowa
Środki dydaktyczne:	tablica
Materiały pomocnicze:	kalkulator/komputer
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>W ramach fazy wprowadzającej nauczyciel wypytuje uczniów o rodzaje elektrowni, jakie działają w naszym kraju oraz o planowanej budowie elektrowni jądrowej. Nauczyciel pyta, co jest źródłem energii w każdym z rodzajów elektrowni.</p>	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel wprowadza definicję rozszczepienia wymuszonego, zgodnie z definicją podaną w słowniczku.

Nauczyciel zapisuje przykładową reakcję indukowanego neutronami rozszczepienia jądra uranu ^{235}U , zwracając na konieczność zachowania liczby atomowej i masowej.

Uczniowie utrwalają tę informację rozwiązując zadanie 6 z zestawu ćwiczeń.

Uczniowie otrzymują zadanie, aby zastanowić się, dlaczego w rozszczepieniu emitowana jest energia. Jako wskazówkę mogą w pierwszym kroku zastanowić się, dlaczego w spalaniu węgla emitowana jest energia. Nauczyciel może naprowadzać uczniów na energię wiązania elektronów w cząsteczkach CO_2 i przez analogię opowiedzieć o energii wiązania nukleonów w jądrach atomowych.

Uczniowie porównują energię uwolnioną w rozszczepieniu ^{235}U i spalaniu węgla rozwiązując zadanie 8.

Faza podsumowująca:

Uczniowie oszacowują ile ton węgla jest potrzebnych do zasilenia przez miesiąc przeciętnej elektrowni węglowej (np. o mocy 1000 MW) a ile uranu ^{235}U w przypadku elektrowni jądrowej o tej samej mocy. Aby urealnić zadanie uczniowie przyjmują, że we współczesnych elektrowniach jądrowych typowe wypalenia paliwa jądrowego wynoszą około $55 \frac{\text{MWd}}{\text{kg}}$ (megawatodni na kilogram).

Praca domowa:

Obejrzenie animacji dołączonej do materiału.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane na lekcji w fazie wprowadzającej.