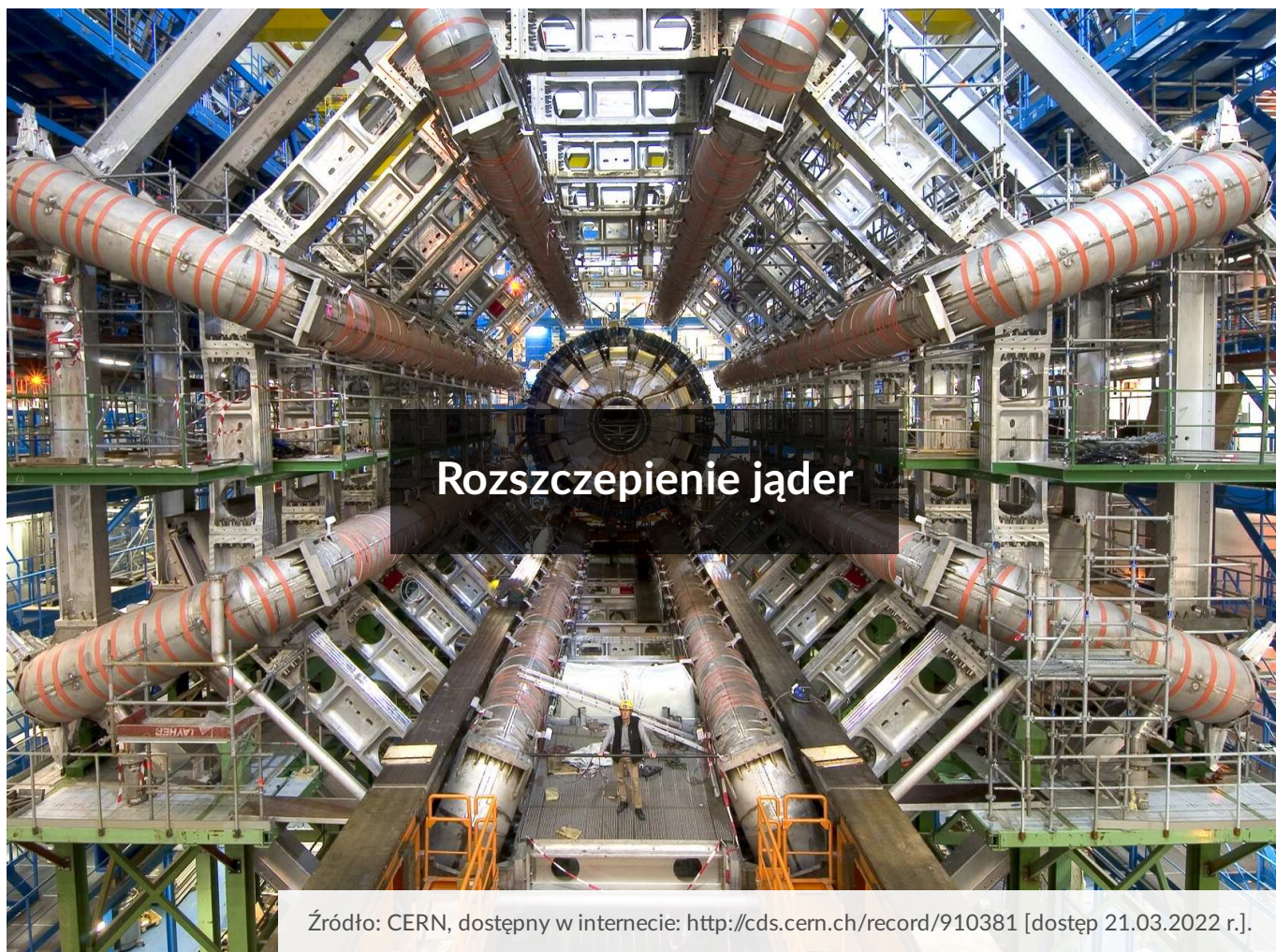


Rozszczepienie jąder

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



Czy to nie ciekawe ?

Końcówka XIX i pierwsza połowa XX wieku niewątpliwie należały do fizyki jądrowej. Po odkryciu przez Henriego Becquerela oraz Marię i Piotra Curie promieniotwórczości, badania własności jąder atomowych stały się najgorętszym i najczęściej nagradzonym Nagrodą Nobla działem fizyki. Jednym z kroków milowych było odkrycie neutronu, czego dokonał James Chadwick. Praca Chadwicka zainspirowała innego naukowca, Enrico Fermiego. Uczony badał wpływ neutronów na radioaktywność próbki. Fermi zauważył, że napromieniowanie materiałów niskoenergetycznymi neutronami zwiększa radioaktywność próbki.

Zainteresowani tymi wynikami Otto Hahn i Fritz Straßmann powtórzyli badania, wykorzystując rudę uranu. Znając wyniki Fermiego, oczekiwali wzrostu radioaktywności próbki, a w konsekwencji powstania izotopów radu, czyli produktów rozpadu uranu. Początek eksperymentu odbył się zgodnie z oczekiwaniami, napromieniowany uran stał się wysoce radioaktywny. Zaskoczenie przyniosła analiza chemiczna próbki. Zamiast spodziewanych izotopów radu, uczeni wykryli obecność baru. Było to o tyle zaskakujące, że jądra baru mają niemalże dwa razy mniejszą liczbę atomową od jąder uranu, nie mogły więc

powstać w wyniku żadnej ze znanych wcześniej przemian jądrowych. Był to nowy, nieodkryty dotąd proces, który uczeni nazwali rozszczepieniem.

Czym jest rozszczepienie, w jakich warunkach zachodzi oraz gdzie jest wykorzystywane, o tym dowiesz się z lektury tego materiału.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- dowiesz się, czym jest rozszczepienie,
- zapiszesz przykładowe równania procesu rozszczepienia,
- zrozumiesz różnice pomiędzy rozszczepieniem spontanicznym a wymuszonym,
- poznasz źródło energii uwalnianej w rozszczepieniu,
- wykorzystasz zdobytą wiedzę do rozwiązania zadań i problemów dotyczących procesu rozszczepiania.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Rozszczepienie jest procesem, w którym jądro atomowe ulega podziałowi na dwa lżejsze fragmenty o zbliżonej masie. Proces może zachodzić **samoistnie**, nie wymuszony żadnymi czynnikami zewnętrznymi, czego przykładem jest rozszczepienie jądra kalifornu 252. Izotop ^{252}Cf jest nietrwały i w 97% ulega rozpadowi alfa. W pozostałych 3% przypadków jądro rozdziela się na dwa fragmenty. Podziałowi towarzyszy emisja kilku neutronów i promieniowania γ . Przykład samoistnego rozszczepienia opisuje poniższy wzór:



Po lewej stronie jest jądro kalifornu ^{252}Cf . Jądro ulega podziałowi na ruten ^{109}Ru i ksenon ^{139}Xe oraz 4 neutrony. Zgodnie z równaniem, całkowita liczba protonów i neutronów zostaje zachowana.

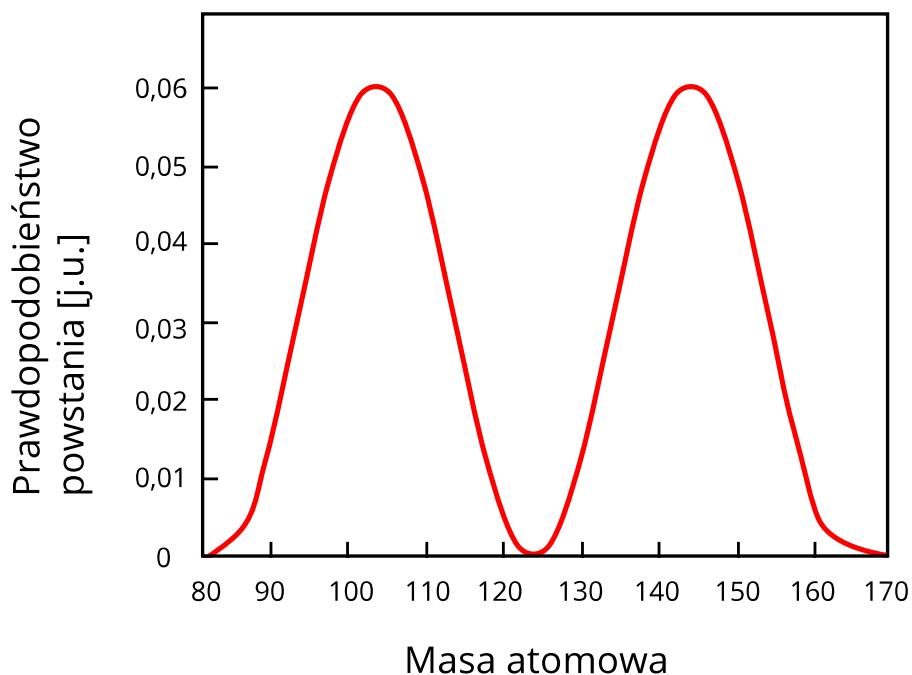
Rozszczepienie może też nastąpić w sposób **wymuszony**, na przykład na skutek pochłonięcia neutronu, protonu czy fotonu. Przykładem procesu **wymuszonego** jest zachodzące w elektrowniach jądrowych rozszczepienie jądra uranu 235. Izotop ^{235}U jest niestabilny, w naturze ulega rozpadowi α , jednak po pochłonięciu neutronu może ulec rozszczepieniu. W procesie tym powstają dwa niesymetryczne produkty rozszczepienia, 2-3 neutrony oraz promieniowanie γ .

Przykładową reakcję rozszczepienia uranu ^{235}U prezentuje poniższy wzór:



Podobnie jak w przypadku **spontanicznego** rozszczepienia kalifornu, liczba protonów i neutronów jest zachowana.

W każdym akcie rozszczepienia mogą powstać różne produkty oraz różna liczba neutronów. W przypadku **spontanicznego** rozszczepienia kalifornu ^{252}Cf emitowane są najczęściej 4 neutrony. W wywołanym neutronami rozszczepieniu jądra uranu ^{235}U jest ich najczęściej 2 lub 3. Rozkład prawdopodobieństwa powstania konkretnych produktów przypomina dwa pagórki wyznaczające lżejsze i cięższe fragmenty, co zostało zaprezentowane na Rys. 1. Pagórek znajdujący się po lewej stronie prezentuje prawdopodobieństwo powstania lżejszego fragmentu rozszczepienia o konkretnej liczbie masowej. Analogicznie, pagórek leżący po stronie prawej wyznacza prawdopodobieństwo powstania cięższego fragmentu o konkretnej liczbie masowej.



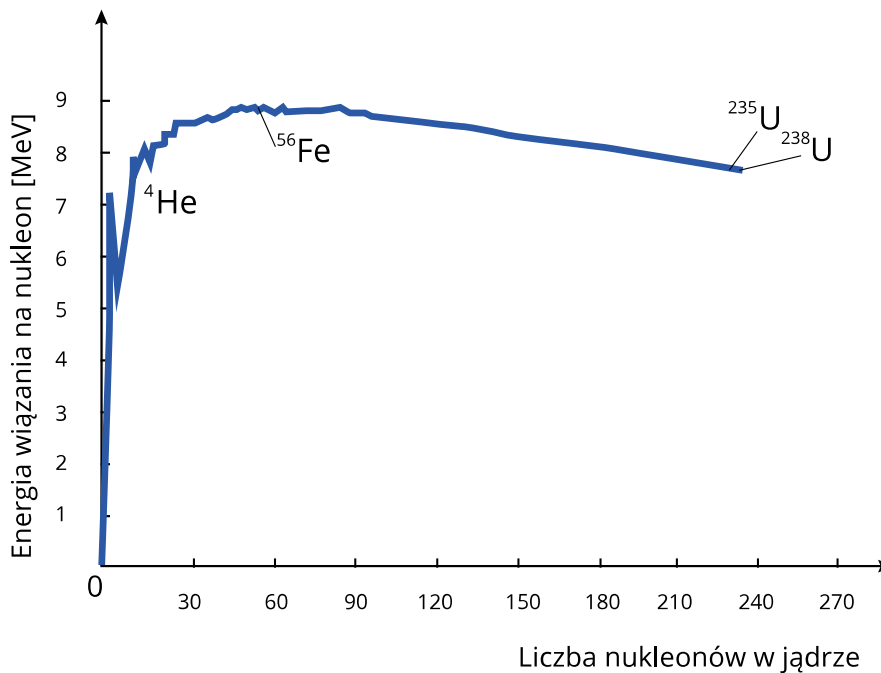
Rys. 1. Rozkład prawdopodobieństwa powstania jąder o danej masie atomowej w reakcji spontanicznego rozszczepienia jądra ^{252}Cf .

Warto wiedzieć, że niemalże wszystkie produkty rozszczepienia mają nadwyżkę neutronów w stosunku do jąder stabilnych, co oznacza, że ulegają przemianie beta minus. Większość produktów rozszczepienia jest radioaktywna!

Proces rozszczepienia jest wykorzystywany do pozyskiwania energii w reaktorach jądrowych. Każda pojedyncza reakcja prowadzi do uwolnienia energii wynoszącej ok. 200 MeV. Wielkość tę warto porównać z energią uwolnioną w spalaniu jednego atomu węgla, która wynosi ok 4 eV, czyli 50 milionów razy mniej! Co jest źródłem tak dużej energii?

Odpowiedź kryje się na Rys. 2., który przedstawia **energię wiązania** nukleonów w jądrze atomowym w przeliczeniu na jeden nukleon w funkcji masy jądra. Zanim przeanalizujemy wykres, zastanówmy się przez chwilę nad tym, czym jest **energia wiązania** nukleonów w jądrach atomowych. Zgodnie z definicją, **energia wiązania** jest energią potrzebną do rozdzielenia jądra atomowego na nukleony, czyli protony i neutrony. **Energia wiązania** pojedynczego nukleonu wynosi ok. 8 MeV, czyli ponad milion razy więcej, niż energia potrzebna do zjonizowania atomu wodoru.

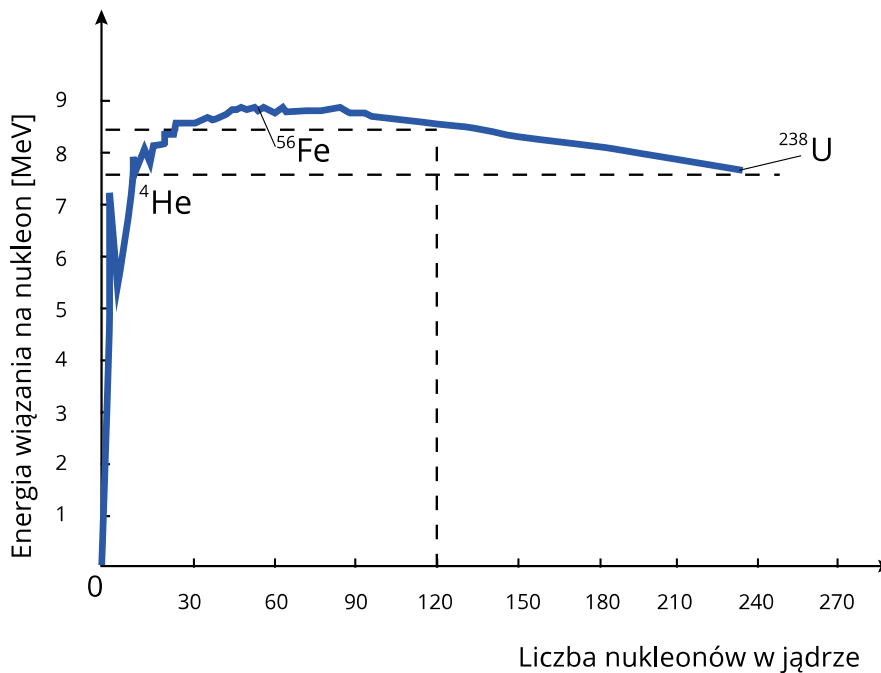
Wracając do Rys. 2., energia wiązania rośnie aż do masy 56. Zaznaczone na wykresie jądro żelaza 56 jest najsilniej związanym jądrem występującym w przyrodzie. Idąc w kierunku wyższych mas, energia wiązania jąder maleje. Tym samym ciężkie jądra uranu, plutonu czy kalifornu są słabiej związane, niż jądra o dwukrotnie mniejszej masie. Różnica w energii wiązania lekkich jąder powstałych po rozszczepianiu i jądra początkowego stanowi energię uwolnioną w rozszczepieniu.



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

Przyglądając się powyższemu wykresowi można odnieść wrażenie, że energia wiązania ciężkich jąder niewiele różni się od energii wiązania jąder o połowę lżejszych. Aby upewnić się, czy ta różnica rzeczywiście tłumaczy emisję tak dużej energii w rozszczepieniu wykonamy jej proste oszacowanie.

Wyznamy energię uwolnioną w rozszczepieniu uranu ^{238}U . Upraszczając zadanie założymy, że jądro ulega podziałowi na dwa równe fragmenty, czyli posiadające liczbę masową 119. Zgodnie z Rys. 3., energia wiązania jądra uranu ^{238}U wynosi ok 7,5 MeV/nukleon, czyli jego całkowita energia wiązania wynosi $7,5 \text{ MeV} \cdot 238 = 1785 \text{ MeV}$. Energia wiązania jądra o masie 119 wynosi ok 8,5 MeV na nukleon. Całkowita energia wiązania dwóch takich jąder wynosi $8,5 \text{ MeV} \cdot 119 \cdot 2 = 2023 \text{ MeV}$. Różnica energii wiązania, wynosząca $2023 \text{ MeV} - 1785 \text{ MeV} = 238 \text{ MeV}$, jest przybliżoną wartością energii uwolnionej w rozszczepieniu jądra uranu ^{238}U .



Rys. 3. Energia wiązania nukleonów w jądrze atomowym w przeliczeniu na jeden nukleon w funkcji liczby masowej jądra - ilustracja do przykładu.

Słowniczek

Rozszczepienie spontaniczne

(*ang.: spontaneous fission*) przemiana jądrowa polegająca na samoczynnym podziale jądra atomowego na dwa lżejsze fragmenty o zbliżonej masie, czemu towarzyszy emisja neutronów oraz uwolnienie energii. Spontanicznemu rozczepieniu ulegają najcięższe jądra atomowe (aktynowce).

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.

Energia wiązania jądra atomowego

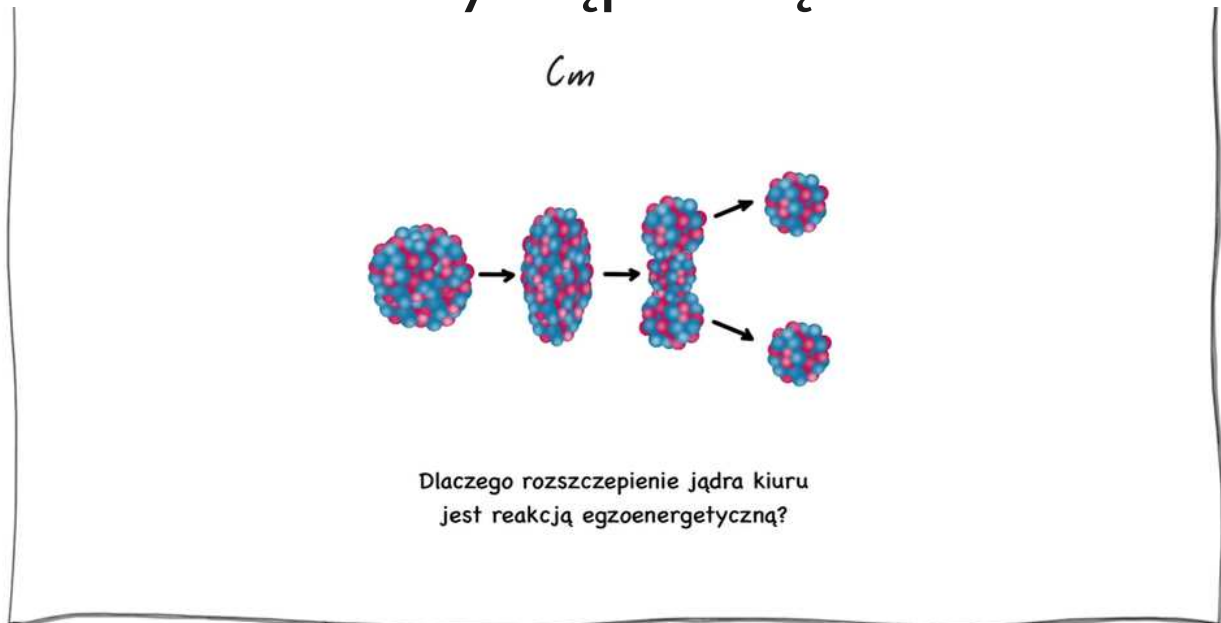
(*ang.: nuclear binding energy*) energia potrzebna do rozdzielenia jądra atomowego na nukleony, czyli protony i neutrony. Zgodnie z zasadą równoważności masy i energii, energia wiązania równa jest wymnożonej przez kwadrat prędkości światła różnicy masy nukleonów, z których zbudowane jest jądro atomowe,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

Film samouczek

Rozszczepienie jąder

Zapoznaj się z filmem samouczkiem i dowiedz się, od czego zależy energia wiązania.

Wystąpił błąd



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R3ghpu0H2EOvA>

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Polecenie 1

Polecenie 2

Polecenie 3

Jasio naładował nieprzewodzącą kulę o promieniu R ładunkiem Q w taki sposób, że ładunek ten rozmieścił równomiernie w całym wnętrzu kuli. Wykonał przy tym pracę W . Kazio postanowił ten sam ładunek Q zgromadzić w dwóch jednakowych porcjach q ($q = \frac{1}{2}Q$), we wnętrzu dwóch jednakowych kul, każda o promieniu r . Łączna objętość tych kul jest równa objętości V kuli Jasia. Porównaj prace W i W' .

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   



Ćwiczenie 1

Ćwiczenie 2

Ćwiczenie 3

Ćwiczenie 4

Wybierz spośród następujących elementów takie, z których zbudujesz trzy równania spontanicznego rozszczepienia ^{252}Cf .

Ćwiczenie 5

Ćwiczenie 6

Uzupełnij równania reakcji rozszczepienia.

Ćwiczenie 7

Ćwiczenie 8

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Aleksandra Fijałkowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Rozszczepienie jąder
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:

2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;

14) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych.

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:

2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;

16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych.

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 cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. tłumaczy, czym jest rozszczepienie, 2. zapisuje przykładowe równanie rozszczepienia, 3. wyszukuje na tablicy nuklidów produkty rozszczepienia uranu, 4. oszacowuje energię uwolnioną w rozszczepieniu jądra ^{235}U.
Strategie nauczania:	IBSE
Metody nauczania:	wykład informacyjny
Formy zajęć:	praca zespołowa
Środki dydaktyczne:	tablica, tablety
Materiały pomocnicze:	tablica nuklidów
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel wprowadza temat zajęć, przedstawiając rys historyczny odkrycia rozszczepienia (zgodnie z pierwszą częścią materiału).</p> <p>Nauczyciel wspólnie z uczniami ustalają cele lekcji.</p>	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel wprowadza pojęcie rozszczepienia i zapisuje przykładowe równanie reakcji spontanicznego rozszczepienia kalifornu ^{252}Cf .

Nauczyciel omawia różnice pomiędzy rozszczepieniem spontanicznym a wymuszonym.

Uczniowie uzupełniają reakcje rozszczepiania zgodnie z zadaniem 4, a następnie wyszukują produkty rozszczepiania na tablicy nuklidów.

Nauczyciel przedstawia i omawia wykres energii wiązania nukleonów w jądrze atomowym.

Uczniowie oszacowują energię uwalnianą podczas spontanicznego rozszczepienia ^{252}Cf .

Nauczyciel ocenia pracę uczniów rozwiązujących zadanie, dając im informację zwrotną odnośnie ich wiedzy.

Faza podsumowująca:

Uczniowie porównują energię uwolnioną w rozszczepieniu z energią powstającą w procesie chemicznego spalania. Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają, które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy (jakiej i kiedy). W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.

Praca domowa:

Uczniowie powtarzają i utrwalają wiedzę przez rozwiązanie w domu zadań 4 i 7 z zestawu ćwiczeń e-materiału.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Multimedium do wykorzystania po lekcji w celu poszerzenia wiedzy o rozszczepieniu.