

Zasada zachowania ładunku elektrycznego i całkowitej liczby nukleonów w reakcjach jądrowych

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek \(Multimedium zastępcze\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Zasada zachowania ładunku elektrycznego i całkowitej liczby nukleonów w reakcjach jądrowych

Czy to nie ciekawe?

Dana reakcja jądrowa może prowadzić do wielu różnych rezultatów. To, jakie cząstki mogą powstać w reakcji, jakie są ich energie i pędy, zależy od wielu czynników, takich jak dostępna energia, centralność zderzenia czy rodzaj i liczba nukleonów biorących udział w procesie. W każdej reakcji jądrowej zawsze obowiązują zasady zachowania ładunku elektrycznego i całkowitej liczby nukleonów oraz zasady zachowania energii, pędu i momentu pędu. W tym e-materiale dowiesz się, jak stosować zasady zachowania ładunku elektrycznego i całkowitej liczby nukleonów w praktyce.

Twoje cele

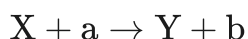
W tym e-materiale:

- dowiesz się, jak zapisać schemat reakcji jądrowej,
- poznasz dwa sposoby zapisu schematu reakcji jądrowej,
- zrozumiesz, jak stosować zasadę zachowania ładunku w reakcjach jądrowych,
- zrozumiesz, jak stosować zasadę zachowania całkowitej liczby nukleonów w reakcjach jądrowych,
- uzupełnisz schematy różnych reakcji jądrowych.

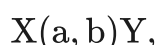
Przeczytaj

Warto przeczytać

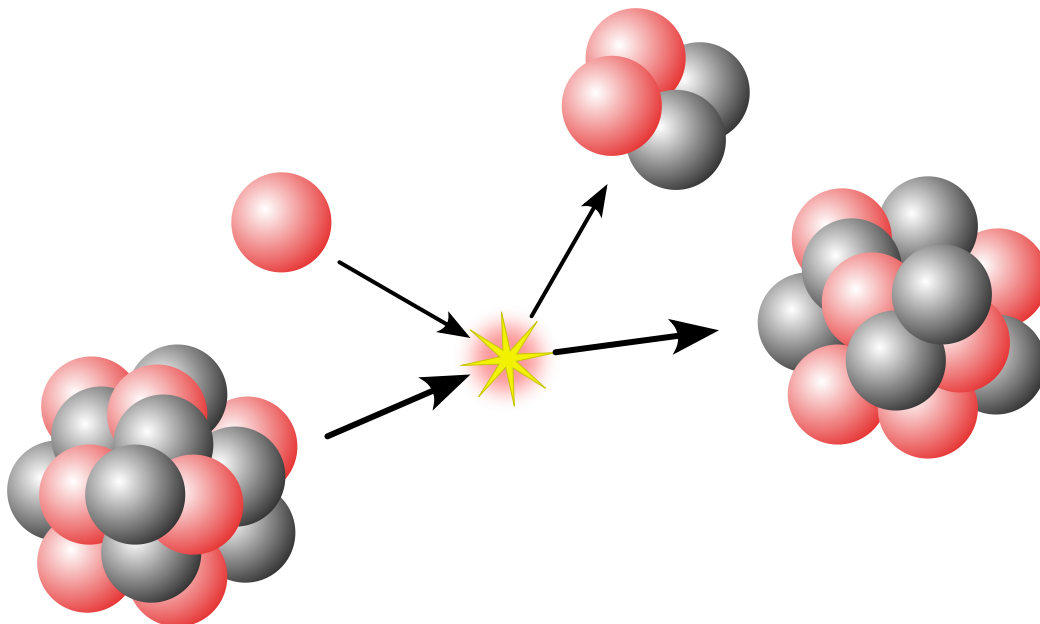
Reakcjami jądrowymi nazywamy procesy, w których w wyniku oddziaływania jądrowego pomiędzy pojedynczymi jądrami atomowymi lub cząstkami następuje przemiana tych obiektów w inne. Schemat typowej reakcji jądrowej można zapisać na dwa sposoby:



lub



gdzie X to tzw. **jądro początkowe**, które w wyniku zderzenia z cząstką a wywołującą reakcję, ulega przemianie w **jądro końcowe** Y, emitując przy tym cząstkę b. W ogólności cząstka a może być neutronem (n), fotonem (γ), lekką cząstką naładowaną, np. protonem (p), czy cząstką alfa (α). Cząstka a może być też tzw. **ciężkim jonem**, czyli jonem pierwiastka cięższego od helu. To samo dotyczy się cząstki b powstałej w reakcji. Więcej na temat zapisu schematu reakcji jądrowych można przeczytać w e-materiale „Zapis równań reakcji jądrowych”.



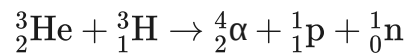
Rys. 1. Przykład reakcji jądrowej, która jest częścią cyklu reakcji zachodzących we wnętrzu Słońca, zwanych cyklem CNO. W wyniku zderzenia protonu z jądrem azotu N-15 powstaje jądro węgla C-12 i cząstka alfa. Czerwonym kolorem oznaczono protony, a szarym - neutrony.

Substraty reakcji, czyli jądro X i cząstkę a, nazywamy **kanalem wejściowym reakcji**.

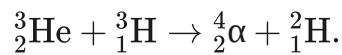
Produkty reakcji, czyli jądro Y i cząstkę b nazywamy **kanalem wyjściowym reakcji**. Dany

kanal wejściowy może prowadzić do wielu różnych kanałów wyjściowych, w tym do takich, w których powstają więcej niż dwa produkty.

Przykładem może być reakcja zachodząca pomiędzy helem ${}^3_2\text{He}$ i trytem ${}^3_1\text{H}$ w gwiazdach, która może prowadzić do powstania cząstki alfa, protonu i neutronu,



lub do powstania cząstki alfa i jądra deuteru ${}^2_1\text{H}$,

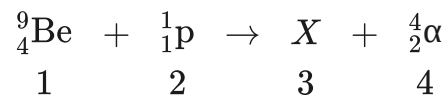


Jeżeli w kanale wyjściowym powstają tylko dwa obiekty, reakcję nazywamy **dwuciałową**, gdy produktów jest więcej, mówimy, że reakcja jest **wielociałowa**. Liczba możliwych kanałów wyjściowych oraz to, jakie cząstki mogą powstać w reakcji, zależy od wielu czynników, takich jak dostępna energia, centralność zderzenia, czy rodzaj i liczba nukleonów biorących udział w reakcji. W każdej reakcji jądrowej zawsze obowiązują **zasady zachowania energii, pędu i momentu pędu** oraz **zasada zachowania ładunku elektrycznego i całkowitej liczby nukleonów**.

Zasady zachowania nakładają ograniczenia na możliwe rezultaty reakcji jądrowych i są bardzo użyteczne w badaniach materii jądrowej i procesów zachodzących w zderzeniach obiektów subatomowych. W wielu eksperymentach, z różnych przyczyn, fizycznych lub technicznych, nie jest możliwa detekcja wszystkich produktów reakcji. Często jednak wystarcza rejestracja tylko jednego z produktów reakcji, aby wyciągnąć wnioski na temat badanego procesu. W wielu reakcjach dwuciałowych rejestrujemy tylko cząstkę b lub jądro B. Jednak dzięki zasadom zachowania, które są zawsze spełnione w reakcjach jądrowych, można określić przebieg procesu dwuciałowego i wielkości charakteryzujące oba obiekty, rejestrując tylko jeden z nich. Jeżeli znamy energię, pęd i masę jednej z powstałych w badanej reakcji cząstek, jesteśmy w stanie jednoznacznie określić energię, pęd i masę drugiej cząstki. W reakcjach wielociałowych rejestracja tylko jednego z produktów nie pozwala na jednoznaczne określenie kanału wyjściowego reakcji. Możemy jednak określić możliwe scenariusze, gdyż prawa zachowania nakładają ograniczenia na to, jakie cząstki mogą powstać w reakcji i jakie mogą być ich energie i pędy. Prawa zachowania obowiązują również w przypadku samorzutnych przemian jądrowych. W procesach z udziałem cząstek elementarnych (np. elektronów) obowiązują jednak dodatkowe zasady zachowania, których nie będziemy tu dyskutować. Można o nich przeczytać w e-materiałach dotyczących przemian beta, np. „Opisujemy rozpad β^- ”.

Prześledzimy na przykładzie wykorzystanie praw zachowania do określenia produktów reakcji dwuciałowej. W wyniku oddziaływania protonu (p) z jądrem berylu ${}^9_4\text{Be}$ powstaje cząstka alfa (α), która jest rejestrowana w detektorze, oraz pewne jądro X o nieznanych liczbach atomowej i masowej. Korzystając z praw zachowania, możemy łatwo określić, jakie

jądro powstało w reakcji. Dla uproszczenia zapisu ponumerujemy cząstki w kanałach wejściowym i wyjściowym. Schemat rozpatrywanej reakcji możemy zapisać jako



gdzie pod symbolem danej cząstki zapisano przyporządkowany jej numer.

Zasada zachowania ładunku elektrycznego mówi nam, że całkowity ładunek substratów reakcji w kanale wejściowym musi być taki sam jak całkowity ładunek produktów reakcji w kanale wyjściowym. W naszym przypadku oznacza to, że sumaryczny ładunek jądra berylu-9 i protonu (jądra wodoru), musi być taki sam jak sumaryczny ładunek jądra X i cząstki alfa (jądra helu-4). Ładunek jądra atomowego jest określony przez liczbę protonów wchodzących w jego skład i wynosi $+Ze$, gdzie Z to **liczba atomowa** jądra, a e to ładunek elementarny, równy co do wartości bezwzględnej ładunkowi pojedynczego elektronu. Zasadę zachowania ładunku możemy zapisać w następujący sposób:

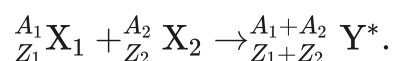
$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4.$$

Zasada zachowania liczby nukleonów mówi nam, że sumaryczna liczba **nukleonów** przed i po zajściu reakcji musi być taka sama. Liczbę nukleonów wchodzących w skład jądra atomowego określa **liczba masowa** A . Zasadę zachowania liczby nukleonów możemy zapisać zatem w postaci

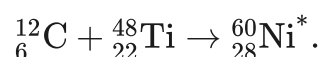
$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4.$$

Na podstawie schematu reakcji dostajemy dwa równania określające liczby atomową i masową szukanego jądra: $4 + 1 = Z_3 + 2$ oraz $9 + 1 = A_3 + 4$. Po przekształceniach otrzymujemy $Z_3 = 3$ oraz $A_3 = 6$. Zatem powstałe w reakcji jądro atomowe X to jądro litu-6, ${}^6_3\text{Li}$.

Zobaczmy, jak korzystając z praw zachowania, można określić, jakie jądro powstaje w wyniku fuzji dwóch jąder X_1 i X_2 . Zgodnie z zasadą zachowania liczby nukleonów i zasadą zachowania ładunku całkowita liczba nukleonów i całkowity ładunek substratów reakcji muszą być takie same jak całkowita liczba nukleonów i całkowity ładunek produktów reakcji. W reakcji kompletnej fuzji w kanale wyjściowym powstaje wzbudzone jądro złożone Y^* , co możemy zapisać schematycznie jako



Na przykład: w wyniku kompletnej fuzji jądra węgla-12 z jądrem tytanu-48 powstaje wzbudzone jądro niklu-60:



Jądro złożone może pozbyć się nadwyżki energii na różne sposoby, w zależności od jego energii wzbudzenia i struktury. Pozbycie się nadwyżki energii może nastąpić poprzez emisję neutronów i promieniowania gamma. Lekkie cząstki naładowane, takie jak proton, czy cząstka alfa, również mogą być emitowane, jednak tylko wtedy, gdy energia wzbudzenia jest dostatecznie wysoka. W przypadku bardzo ciężkich jąder nawet niewielka nadwyżka energii ponad stan podstawowy może doprowadzić do ich rozszczepienia, jak ma to na przykład miejsce w reakcji wymuszonego rozszczepienia uranu-235. Wszystkie prawa zachowania obowiązujące w reakcjach jądrowych obowiązują również w rozpadach wzbudzonych jąder atomowych i w przemianach promieniotwórczych.

Słowniczek

Kanał wejściowy reakcji

(*ang.: substrates*) inaczej substraty reakcji jądrowej.

Kanał wyjściowy reakcji

(*ang.: products*) inaczej produkty reakcji jądrowej.

Ciężkie jony

(*ang.: heavy ions*) jony pierwiastków cięższych od helu.

Nukleony

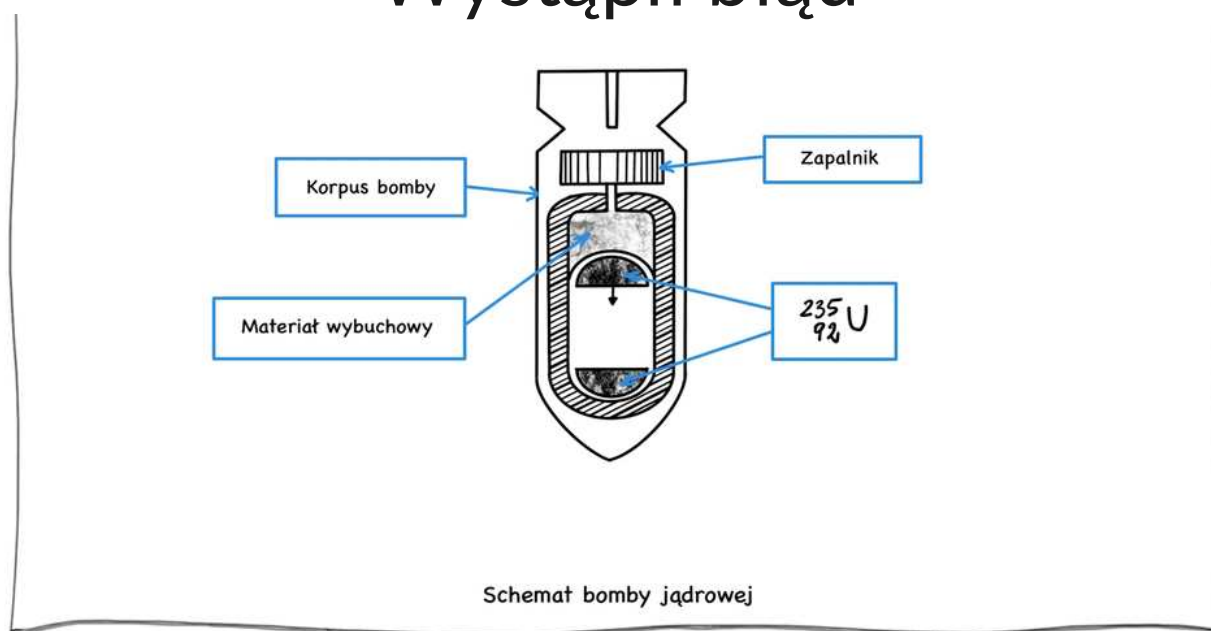
(*ang.: nucleons*) składniki jąder atomowych, wspólna nazwa dla protonów i neutronów.

Film samouczek (Multimedia zastępcze)

Zasada zachowania ładunku elektrycznego i całkowitej liczby nukleonów w reakcjach jądrowych

W samouczku omówiono przebieg reakcji rozszczepienia jądra U-235 oraz warunki jej wykorzystania w sposób kontrolowany. Obejrzyj samouczek i wykonaj polecenia.

Wystąpił błąd



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/R1P3gAs7NLeyk](#)

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

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Polecenie 1

Polecenie 2

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Jądra najcięższych znanych pierwiastków otrzymywane są w wyniku reakcji fuzji (połączenia) jąder lżejszych pierwiastków. W praktyce lżejsze z dwóch jąder używane jest jako pocisk, którym bombarduje się tarczę wykonaną z cięższego pierwiastka.

W 2002 roku w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej w Rosji dokonano udanej syntezy 118. pierwiastka w reakcji fuzji jądra wapnia $^{48}_{20}\text{Ca}$ (pocisk) i jądra kalifornu $^{249}_{98}\text{Cf}$ (tarcza). Nowemu pierwiastkowi nadano nazwę oganesson (Og) na cześć pioniera badań nad syntezą najcięższych pierwiastków Yuriego Oganessiana. Pierwiastek 118. jest obecnie najcięższym znanym pierwiastkiem. Jądra 118.

pierwiastka można próbować wytworzyć, wykorzystując również inne kombinacje pocisk-tarcza. Jąder których pierwiastków należy użyć jako pocisków, aby możliwa była synteza 118. pierwiastka w reakcjach z jądrami ołowiu (Pb), ameryku (Am), kiuru (Cm), berkelu (Bk) i einsteina (Es)? Skorzystaj z układu okresowego pierwiastków i uzupełnij schematy reakcji.

Grupa → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

↓ Okres

Układ Okresowy Pierwiastków

1	1 H																2 He	
2	3 Li	4 Be										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
Lantanowce	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Aktynowce	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Cap
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Zasada zachowania ładunku elektrycznego i całkowitej liczby nukleonów w reakcjach jądrowych
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

**Podstawa
programowa:**

Cele kształcenia – wymagania ogólne

I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.

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;

6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi;

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:

2) zapisuje reakcje jądrowe stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku.

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;

6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi;

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:

6) zapisuje reakcje jądrowe stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku.

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. zapisuje schemat reakcji jądrowej dwoma sposobami; 2. stosuje zasadę zachowania ładunku i zasadę zachowania liczby nukleonów do opisu reakcji jądrowych; 3. wskazuje jakie kombinacje jąder pocisku i tarczy mogą prowadzić do powstania danego jądra w wyniku reakcji kompletnej fuzji; 4. stosuje zasadę zachowania ładunku i zasadę zachowania liczby nukleonów do opisu przemiany alfa.
Strategie nauczania:	nauczanie problemowe
Metody nauczania:	wykład informacyjny, rozwiązywanie zadań rachunkowych
Formy zajęć:	praca indywidualna, praca w parach
Środki dydaktyczne:	rzutnik lub ekran do wyświetlania multimediu
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

Nauczyciel przypomina uczniom definicję reakcji jądrowej. Następnie, na przykładzie reakcji ${}_{13}^{27}\text{Al} + \alpha \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + n$, przeprowadzonej przez Fryderyka i Irenę Joliot-Curie, wprowadza terminy używane do opisu reakcji jądrowych, takie jak kanały wejściowy i wyjściowy, substraty, produkty, lekkie cząstki naładowane itd. Nauczyciel rozwiązuje razem z uczniami zadanie 5 z zestawu ćwiczeń i omawia różne sposoby zapisu tej samej reakcji jądrowej. Następnie aktywizuje uczniów, pytając, czy z przedstawionych sposobów zapisu omawianego procesu można wywnioskować, jakie wielkości są zachowane w reakcjach jądrowych. Uczniowie powinni dojść do wniosków, że sumaryczna liczba atomowa oraz sumaryczna liczba masowa substratów są takie same jak sumaryczna liczba atomowa, oraz sumaryczna liczba masowa produktów reakcji. Nauczyciel podsumowuje zadanie oraz rozważania uczniów i mówi, że w reakcjach jądrowych spełnione są zasady zachowania energii, pędu, momentu pędu, ładunku i liczby nukleonów. Następnie zapisuje omówione zasady symbolicznie i wyjaśnia, jak przy ich wykorzystaniu określić wielkości charakteryzujące produkty reakcji.

Faza realizacyjna:

Nauczyciel wprowadza pojęcia reakcji dwuciałowej i wielociałowej i pokazuje na przykładzie zadania 3 z zestawu ćwiczeń, jak - korzystając z zasad zachowania - określić liczby atomową i masową jądra końcowego. Nauczyciel podaje kilka wybranych przez siebie jąder początkowych i końcowych oraz wybrane cząstki, takie jak neutron, kwant gamma, proton itd., a następnie prosi uczniów, aby w parach napisali przykładowe schematy reakcji z udziałem podanych obiektów (np. ${}_{8}^{16}\text{O} + {}_{2}^{4}\alpha \rightarrow {}_{9}^{19}\text{F} + {}_{1}^{1}\text{p}$). Na koniec nauczyciel pokazuje schemat wybranej przez siebie reakcji wielociałowej. Nauczyciel wprowadza pojęcie reakcji kompletnej fuzji, zapisuje ogólny schemat takiej reakcji i pokazuje na wybranym przykładzie, jak - stosując zasadę zachowania ładunku i liczby nukleonów - określić, jakie jądro złożone powstanie w takim procesie. Uczniowie rozwiązują zadanie 2 z zestawu ćwiczeń, a następnie zadanie 6 z zestawu ćwiczeń dotyczące syntezy izotopów 102. pierwiastka. Nauczyciel komentuje wyniki, zwracając uwagę, że powstałe jądra złożone są wzbudzone i mogą pozbywać się nadmiaru energii na różne sposoby, np. emitując neutrony i kwanty gamma. Nauczyciel pokazuje następnie, jak zmienia się liczba masowa wybranego izotopu 102. pierwiastka w wyniku emisji jednego, dwóch lub trzech neutronów, zwracając dodatkowo uwagę na związek pomiędzy energią wzbudzenia i energią dostępną w zderzeniu.

Faza podsumowująca:

Nauczyciel zwraca uwagę uczniów na to, że zasada zachowania ładunku i liczby nukleonów obowiązuje również w przemianach promieniotwórczych. Nauczyciel opisuje krótko przemianę alfa i zapisuje jej schemat, podkreślając, w jaki sposób zmieniają się liczby atomowa i masowa jądra ulegającego przemianie. Następnie uczniowie rozwiązują zadanie 7 z zestawu ćwiczeń dotyczące przemian promieniotwórczych jądra uranu. Na koniec nauczyciel omawia otrzymane wyniki i zwraca uwagę uczniów, że procesy z zadania 7 są częścią uranowo-radowego szeregu promieniotwórczego, który można prześledzić, korzystając z omawianych na zajęciach praw zachowania.

Praca domowa:

Zadanie 1 i 4 z zestawu ćwiczeń.

Dla chętnych dodatkowo zadanie 8 z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane przez uczniów przed lekcją, przy strategii odwróconej klasy oraz na lekcji w fazie podsumowującej.