

Zasada zachowania pędu i momentu pędu w reakcjach jądrowych

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



Zasada zachowania pędu i momentu pędu w reakcjach jądrowych

Czy to nie ciekawe?

Zasady zachowania pędu i momentu pędu są podstawowymi zasadami fizyki. Znamy je z mechaniki klasycznej dla ciał makroskopowych. Obowiązują także w mikroświecie. Jednak zarówno pęd, jak i moment pędu nie zawsze można opisać w sposób znany z mechaniki klasycznej.

Twoje cele

- dowiesz się, jakie są przejawy zasad zachowania pędu i momentu pędu w reakcjach jądrowych;
- poznasz sposób opisanie momentu pędu jądra atomowego;
- zrozumiesz znaczenie zasad zachowania pędu i momentu pędu w opisie reakcji jądrowych;
- zrozumiesz, dlaczego większą część energii rozpadu zabierają cząstki lekkie;
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania problemów.

Przeczytaj

Warto przeczytać

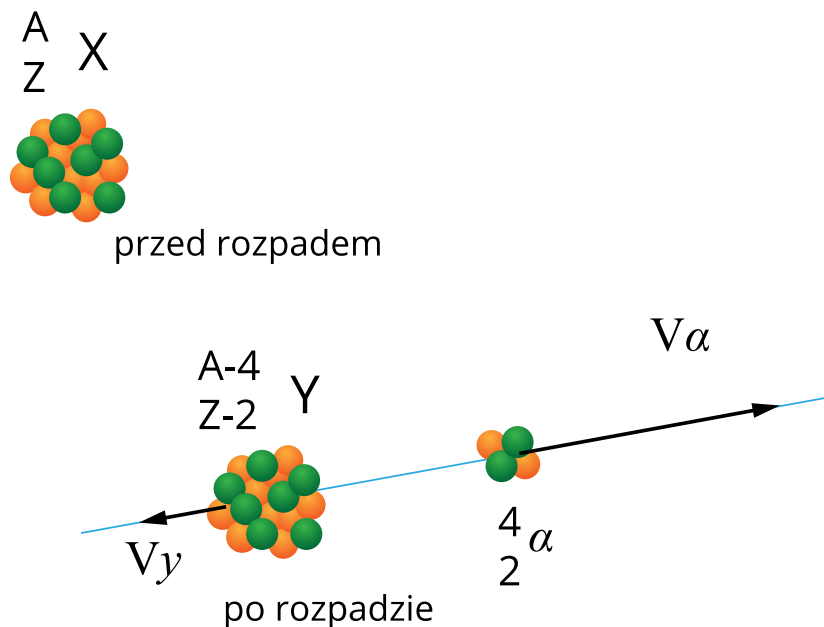
Pęd ciała $\vec{p} = m \vec{v}$, gdzie m , to masa ciała a \vec{v} - jego prędkość. Dla układu ciał, jego pęd jest równy sumie wektorów pędu ciał tworzących ten układ:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots$$

Zasada zachowania pędu stwierdza, że jeżeli wypadkowa sił zewnętrznych działających na układ ciał wynosi zero, to całkowity pęd układu się nie zmienia. Zasada ta jest spełniona również w reakcjach jądrowych.

Korzystając z tej zasady możemy wyznaczyć, na przykład, podział energii między produkty rozpadów promieniotwórczych.

Rozpatrzmy rozpad alfa przykładowego jądra A_ZX . Przyjmijmy, że jądro X przed rozpadem spoczywa (Rys. 1.). Szerzej o rozpadzie alfa przeczytasz w e-materiale „Opisujemy rozpad alfa”.



Rys. 1. Rozpad alfa jądra A_ZX . Produkty rozpadu, zgodnie z zasadą zachowania pędu, poruszają się w przeciwną stronę z jednakowym co do wartości pędami.

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

Jądro będące produktem rozpadu oznaczmy literą Y. Równanie reakcji rozpadu ma postać:



Wielkości związane z cząstką alfa zapiszemy z indeksem α a z jądrem Y, indeksem Y.

Z zasady zachowania pędu wynika, że wartości pędów produktów rozpadu są jednakowe:

$$\vec{p}_\alpha + \vec{p}_Y = 0 \Rightarrow p_\alpha = p_Y \leftrightarrow m_\alpha v_\alpha = m_Y v_Y$$

Energię kinetyczną możemy powiązać z pędem, wykonując następujące przekształcenia:

$$E = \frac{mv^2}{2} \Leftrightarrow E = \frac{mv^2 m}{2m} = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

Stosunek energii kinetycznej wyemitowanej cząstki α do energii odrzutu jądra Y możemy zapisać:

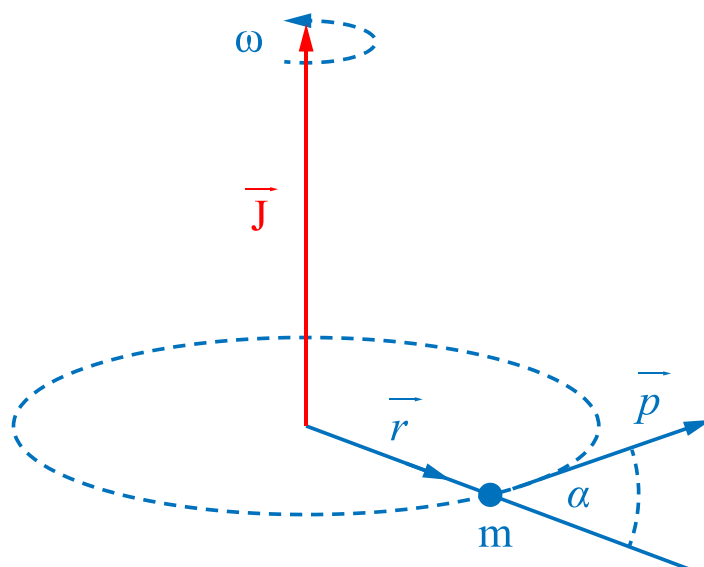
$$\frac{E_\alpha}{E_Y} = \frac{p_\alpha^2}{2m_\alpha} \cdot \frac{2m_Y}{p_Y^2} = \frac{m_Y}{m_\alpha}$$

Jak widać, stosunek energii produktów rozpadu jest równy odwrotności stosunku ich mas. Innymi słowy, energia cząstki alfa jest tyle razy większa od energii powstałego w wyniku rozpadu jądra Y, ile razy masa jądra Y jest większa od masy cząstki alfa.

Energie cząstek najczęściej podajemy w **megaelektronowoltach** (MeV).

Podobnie, w przypadku innych rozpadów, większą część energii zabiera cząstka o mniejszej masie. W przypadku rozpadów beta i gamma, pędy powstających w wyniku rozpadu cząstek należy liczyć w inny sposób. Dla rozpadu beta, przy obliczaniu pędu emitowanego elektronu, ze względu na prędkość elektronów porównywalną z prędkością światła, należy zastosować relatywistyczny wzór na pęd. Przy emisji fotonu gamma, jego pęd opiszemy wzorem: $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{hf}{c}$, gdzie λ , to długość fali **fotonu gamma**, a f - jego częstotliwość.

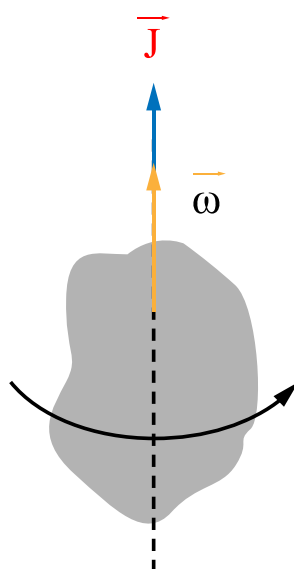
Moment pędu w fizyce klasycznej jest wielkością opisującą ruch obrotowy bryły lub ruch punktu po linii krzywej. **Moment pędu** \vec{J} punktu materialnego o pędzie \vec{p} , którego położenie względem osi obrotu opisane jest wektorem wodzącym \vec{r} , definiuje się jako **iloczyn wektorowy** wektorów położenia i pędu punktu: $\vec{J} = \vec{r} \times \vec{p}$ (Rys. 2.). Wartość momentu pędu jest równa: $J = p \cdot r \cdot \sin \alpha$.



Rys. 2. Moment pędu punktu materialnego. \vec{J} , to moment pędu, \vec{r} – promień wodzący punktu, \vec{p} – pęd punktu, α – kąt między promieniem wodzącym a wektorem pędu punktu, ω – prędkość kątowa punktu.

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

Dla wirującej bryły, jej moment pędu opisuje wzór $\vec{J} = I\vec{\omega}$ (Rys. 3.), gdzie \vec{J} , to moment pędu bryły, I – moment bezwładności bryły, $\vec{\omega}$ – prędkość kątowa bryły.



Rys. 3. Moment pędu bryły: \vec{J} – moment pędu, $\vec{\omega}$ – prędkość kątowa bryły.

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

Moment pędu pełni podobną funkcję w ruchu obrotowym, jak pęd w ruchu postępowym i podobnie pozostaje zachowany dla układu, jeżeli wypadkowy moment sił zewnętrznych

wynosi zero.

Każdy nukleon wykazuje własny moment pędu, wynikający z ich właściwości falowych. Moment ten nazywa się spinowym momentem pędu. Wartość spinowego momentu pędu nukleonów (J_s) jest równa:

$$J_s = \frac{h}{2\pi} [s(s + 1)]^{\frac{1}{2}}$$

gdzie h , to stała Plancka, a $s = \frac{1}{2}$, to spinowa liczba kwantowa, nazywana potocznie spinem nukleonu. Ponadto, w jądrze atomowym nukleony wykazują tak zwany orbitalny moment pędu, wynikający z ruchu wewnątrz jądra. Wartość tego momentu (J_l) opisuje równanie:

$$J_l = \frac{h}{2\pi} [l(l + 1)]^{\frac{1}{2}}$$

gdzie l , to orbitalna liczba kwantowa, która może przyjmować wartości 0, 1, 2, 3 ...

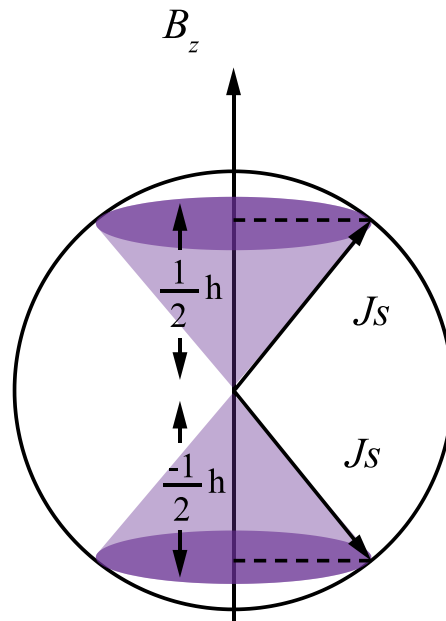
Suma wektorów momentów pędów spinowych i orbitalnych wszystkich nukleonów stanowi moment pędu jądra J . Wartość momentu pędu jądra można opisać wzorem:

$$J = \frac{h}{2\pi} [I(I + 1)]^{\frac{1}{2}}$$

gdzie I to spinowa liczba kwantowa jądra.

Momenty pędu, zarówno nukleonów, jak i jądra, wytwarzają pole magnetyczne, dzięki czemu nukleony i jądro oddziałują z zewnętrznym polem magnetycznym. Na przykład z polem magnetycznym wynikającym z orbitalnego ruchu elektronów. Względem tego pola, momenty pędu wykonują ruch wirowy, ustawiając się pod określonym kątem – tak, aby rzut wektora momentu pędu na kierunek zewnętrznego pola miał ściśle określone wartości. Dla spinowego momentu pędu wartość ta wynosi $\frac{h}{2\pi}$ (Rys. 4.), a dla jądrowego – $I \frac{h}{2\pi}$.

Maksymalna wartość rzutu jądrowego momentu pędu nazywana jest często spinem jądra, chociaż określenia tego używa się także w stosunku do maksymalnej wartości I – spinowej liczby kwantowej jądra.



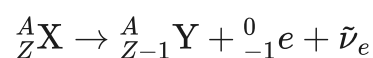
Rys. 4. Spinowy moment pędu nukleonu J_s . Względem zewnętrznego pola magnetycznego B_z moment ten wykonuje ruch precesyjny, ustawiając się pod takim kątem, aby wartość rzutu wektora J_s na kierunek zewnętrznego pola wynosiła $\frac{h}{2\pi}$. Wyrażenie $\frac{h}{2\pi}$ oznacza się za zwyczaj symbolem \hbar .

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

Nukleony tego samego rodzaju mają w jądrach tendencję do łączenia się w pary o przeciwnie zwróconych momentach pędu, zarówno spinowych, jak i orbitalnych. Taka para nukleonów ma wypadkowy moment pędu równy zero. Dlatego dla jąder o parzystej liczbie protonów i parzystej liczbie neutronów I wynosi 0, dla jąder o parzystej liczbie nukleonów ma wartość całkowitą, a dla jąder o nieparzystej liczbie nukleonów przyjmuje wartości $\frac{1}{2}$; $\frac{3}{2}$; $\frac{5}{2}$ itd.

W praktyce, moment pędu w fizyce jądrowej można opisać spinem (spinową liczbą kwantową) uwzględniając możliwe dwie przeciwne orientacje w przestrzeni względem kierunku ustalonego przez zewnętrzne pole magnetyczne. Spinom tym przypisuje się przeciwny znak. Nukleonom można zatem przypisać spin $\frac{1}{2}$ lub $-\frac{1}{2}$. Moment pędu, spin, jest zachowany we wszystkich reakcjach jądrowych.

Zasada zachowania momentu pędu była jednym z powodów poszukiwania dodatkowych cząstek, powstających (oprócz elektronów) w rozpadach beta minus. Rozpad ten opisuje równanie:



gdzie: X – jądro wyjściowe, Y – jądro powstałe w wyniku rozpadu, e – elektron $\tilde{\nu}_e$ – **antyneutrino** elektronowe.

Istnienie **neutrin** zostało przewidziane przez Wolfganga Pauliego w 1930 r. między innymi dlatego, że jądro emituje elektron o wartości spinu $s = \frac{1}{2}$, ale zwyczaj spin powstającego jądra jest taki sam, jak jądra wyjściowego. Kolejnym powodem był fakt, że emitowane w rozpadach elektrony mają energie leżące w bardzo szerokim zakresie, a zgodnie z zasadą zachowania pędu, powinny unosić niemal całą energię rozpadu danego jądra. Oznaczało to, że w rozpadzie powinna powstawać także cząstka unosząca część energii wydzielanej w wyniku rozpadu, a także spin o takiej samej wartości, jak elektronu, ale zwrócony przeciwnie.

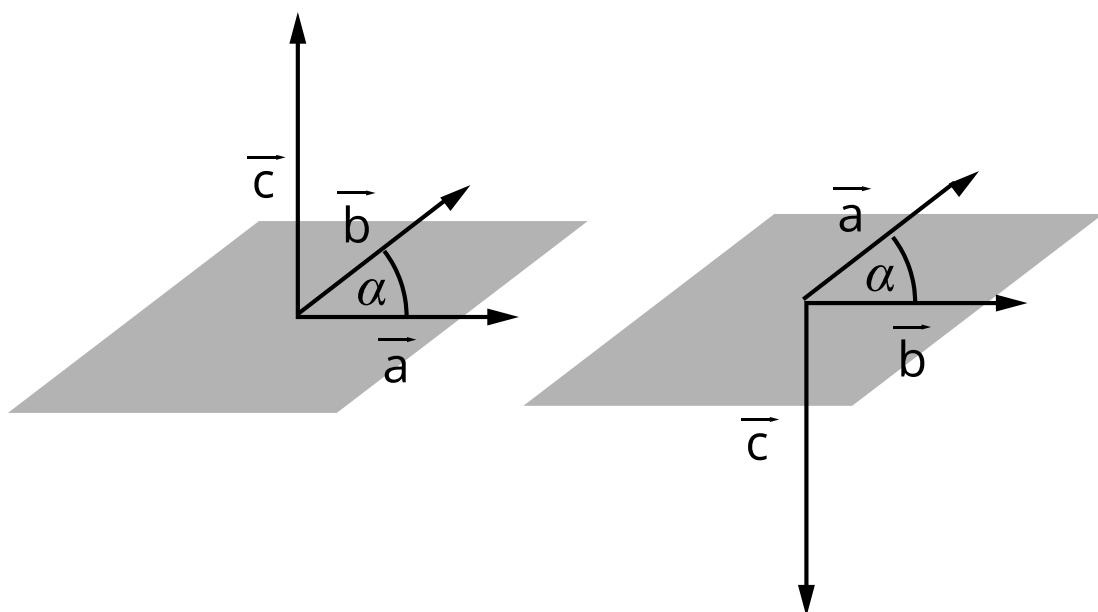
Możliwe są również rozpady beta, w których spiny elektronu i antyneutrina są zwrócone zgodnie. Ponieważ wartości spinów elektronów i antyneutrino wynoszą $\frac{1}{2}$, powstające jądro Y musi różnić się w tym przypadku spinem o 1 od jądra X. Tego typu rozpad zachodzi średnio raz na 10^4 zachodzących rozpadów beta danego jądra.

Słowniczek

Iloczyn wektorowy

(ang. *vector product*) – iloczynem wektorowym wektorów \vec{a} i \vec{b} nazywa się taki wektor \vec{c} , że:

- $c = ab \sin \alpha$, gdzie α kąt między wektorem \vec{a} i \vec{b} ;
- wektor \vec{c} jest prostopadły do wektora \vec{a} i \vec{b} ;
- zwrot wektora \vec{c} określa reguła śruby prawoskrętnej: jeżeli śrubę prawoskrętną ustawimy równoległe do kierunku wektora \vec{c} i będziemy obracać tak, aby wektor \vec{a} „nakręcać” na wektor \vec{b} po mniejszym kącie, to ruch postępowy śruby wskaże zwrot wektora \vec{c} (Rys.).



Megaelektronowolt (MeV)

(ang. *megaelectronvolt*) – jednostka energii stosowana przy opisie cząstek elementarnych. $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

Neutrino

(ang. *neutrino*) – cząstka elementarna należąca do leptonów. Jest fermionem o spinie równym $\frac{1}{2}$ i zerowym ładunku elektrycznym. Neutrina są cząstkami podstawowymi w modelu standardowym. Doświadczenia przeprowadzone w ostatnich latach wskazują, że neutrina mają bliską zera, ale niezerową, masę spoczynkową (Wikipedia).

Antyczątki

(ang. *antiparticles*) – cząstki elementarne różniące się od odpowiadających im cząstek odwrotnym znakiem wszystkich liczb kwantowych (na przykład: ładunku elektrycznego, liczby barionowej, leptonowej, składowej izospinu, momentu magnetycznego), mające zaś taką samą masę i czas życia.

Fotony gamma

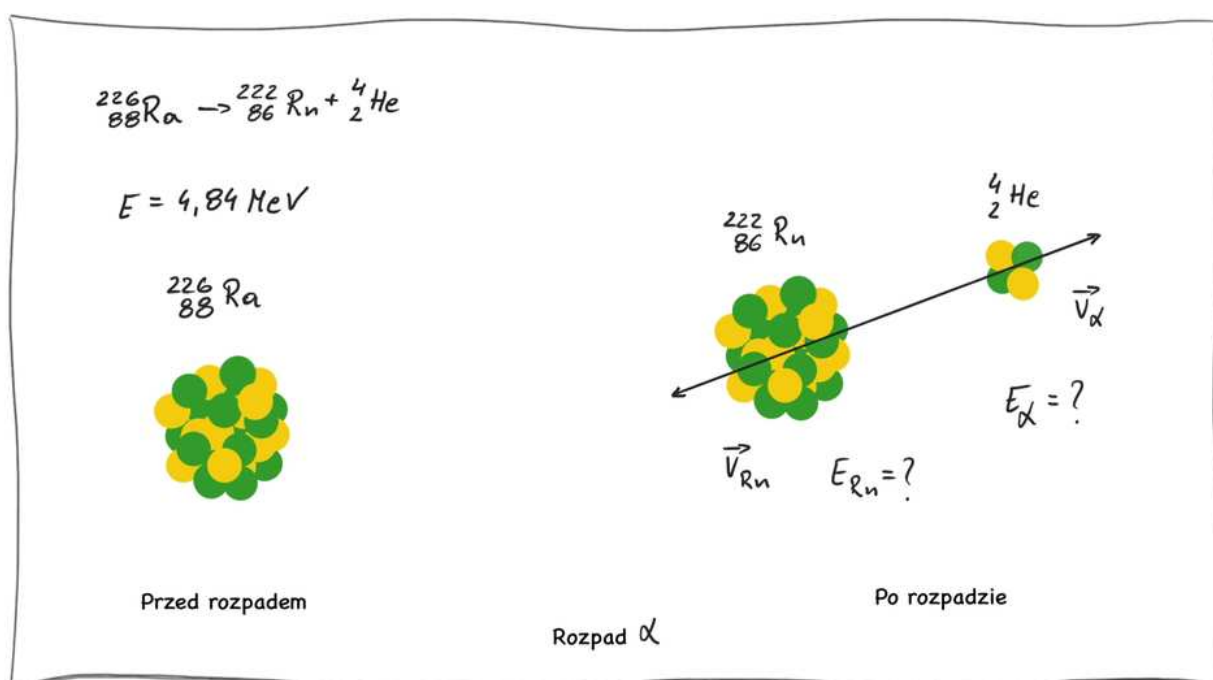
(ang. *gamma photons*) – wysokoenergetyczne fotony promieniowania elektromagnetycznego, o długości fali poniżej 0,1 nm. Towarzyszą zazwyczaj przemianom jądrowym. Energię fotonu opisuje wzór $E = hf$, gdzie h , to stała Plancka, a f – częstotliwość fotonu. Pęd fotonu opisuje równanie $p = \frac{h}{\lambda}$, gdzie λ to długość fali fotonu. Związek między długością fali a częstotliwością opisuje wzór $\lambda = \frac{c}{f}$.

Film samouczek

Zasada zachowania pędu i momentu pędu w reakcjach jądrowych

Film pokazuje zastosowanie zasady zachowania pędu do obliczenia energii cząstki alfa i jądra, powstałych w wyniku rozpadu innego jądra.

Trwa wczytywanie danych ..



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/Ro8qrmFvC3yU3](#)

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

Udowodnij związek energii kinetycznej cząstki z jej pędem: $E_{kin} = \frac{p^2}{2m}$

Polecenie 2

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Ćwiczenie 9



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Zasady zachowania pędu i momentu pędu w reakcjach jądrowych
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, rozszerzenie zapisu podstawy programowej dla zakresu rozszerzonego.
Podstawa programowa	Cele kształcenia - wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania - wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.
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"> wymieni przejawy zasad zachowania pędu i momentu pędu w reakcjach jądrowych; opisze moment pędu jądra atomowego; wyjaśni znaczenie zasad zachowania pędu i momentu pędu w opisie reakcji jądrowych; wytłumaczy, dlaczego większą część energii rozpadu zabierają cząstki lekkie; zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania problemów.
Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
Metody nauczania:	wykład problemowy
Formy zajęć:	praca zespołowa, praca w grupach
Środki dydaktyczne:	komputer z dostępem do Internetu, rzutnik, zestawy zadań
Materiały pomocnicze:	grafika ilustrująca pęd i moment pędu, symulacje ilustrujące zasady zachowania pędu i momentu pędu
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel zadaje pytania:</p> <ul style="list-style-type: none"> Jakie znacie przejawy zasady zachowania pędu? Uczniowie wymieniają zjawiska zderzeń i odrzutu oraz podają przykłady tych zjawisk. Jakie znacie przejawy zasady zachowania momentu pędu? Uczniowie podają przykłady zjawisk, w których przejawia się zasada zachowania momentu pędu. Jakie znacie reakcje jądrowe? Uczniowie podają przykłady reakcji rozpadów promieniotwórczych, syntezy jądrowej i sztucznych przemian jader. 	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie analizują zjawiska odrzutu, na przykładzie rozpadu alfa i gamma, wykorzystując symulacje interaktywne lub grafikę.
Dla rozpadu alfa, uczniowie wyprowadzają wzór opisujący podział energii rozpadu między produkty. W razie potrzeby, posługują się filmem samouczkiem.
Uczniowie analizują zachowanie pędu dla sztucznych przemian jądrowych, wykorzystując symulacje internetowe (na przykład: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=jadro_reakce&l=pl). Nauczyciel omawia pojęcie momentu pędu jądra atomowego. Nauczyciel omawia znaczenie zasady zachowania momentu pędu przy odkryciu neutronu.

Faza podsumowująca

Uczniowie, wykorzystując zdobytą wiedzę, rozwiązują zadania: 1, 2, 5, 6 z zestawu ćwiczeń.
Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów.

Praca domowa:

Uczniowie powtarzają i utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie w domu zadań, których nie rozwiązyali na lekcji: 3, 4, 7, 8, 9.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Multimedium można wykorzystać przy powtarzaniu wiadomości i innych lekcjach na temat przemian jądrowych.