



Zasada zachowania pędu a zderzenia niesprężyste

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



Zasada zachowania pędu a zderzenia niesprężyste

Źródło: dostępny w internecie: https://cdn.pixabay.com/photo/2017/08/05/21/08/tennis-2585621_960_720.jpg [dostęp 4.05.2022], <https://www.toivakka.fi/wp-content/uploads/2019/05/Tennispallot.jpg> [dostęp 4.05.2022].
<https://pixabay.com/pl/service/license/>.

Czy to nie ciekawe?

W naukach przyrodniczych posługujemy się określeniami: zasada, reguła, twierdzenie lub prawo. Określenia te nie są synonimami. W fizyce reguła określa na ogół sposób postępowania, a prawo dotyczy doświadczalnie odkrytej prawidłowości, słusznej w obrębie pewnej klasy zjawisk. Natomiast zasadę fizycy zarezerwowali dla bardziej ogólnych praw, słusznych we wszystkich znanych zjawiskach. Mamy tu na myśli zasady związane ze stałością w czasie pewnych wielkości - takich jak pęd, energia, moment pędu czy ładunek elektryczny. Jeśli wydaje się nam, że odkryliśmy zjawisko, w którym te zasady nie obowiązują, to znaczy, że albo czegoś nie dostrzegamy, albo obaliliśmy zasadę.

Zderzenia niesprężyste to takie, w których po zderzeniu ciała łączą się ze sobą i, jeśli się poruszają, to ze wspólną prędkością. Jak zjawisko to potwierdza zasadę zachowania pędu - dowiesz się w tym e-materiale.

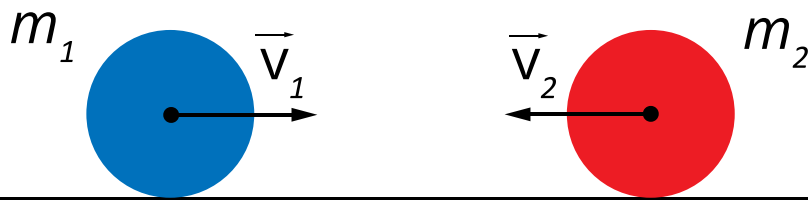
Twoje cele

- poznasz zjawiska, które można opisywać jako zderzenia niesprężyste;
- zastosujesz zasadę zachowania pędu do opisu zderzeń niesprężystych;
- wykorzystasz zasadę zachowania pędu w zadaniach i przykładach zderzeń.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Nie wszystkie ciała przy zderzeniu odbijają się od siebie. Wyobraź sobie dwie kulki z plasteliny, o równych masach, które toczą się centralnie naprzeciw siebie z prędkościami równymi co do wartości. Gdyby to były kule bilardowe, odbiłyby się od siebie. Jednak kulki z plasteliny są plastyczne i zlepią się. Jest to **zderzenie niesprężyste, centralne**. Jak będzie się poruszał taki „zlepek” po zderzeniu?



Rys. 1. Dwie identyczne kulki z plasteliny toczą się naprzeciw siebie z jednakowymi prędkościami, wektory prędkości leżą na jednej prostej. ($m_1 = m_2$, $|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2|$).

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

Obie kulki mają takie same masy, a przed zderzeniem miały prędkości o jednakowych wartościach, ale przeciwnych zwrotach. Wobec tego także ich pędy miały jednakową wartość, ale przeciwny zwrot. Przypomnijmy: pęd to wielkość wektorowa – iloczyn masy i prędkości:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Jeśli oznaczymy pędy kulek przez $\vec{p}_1$ i $\vec{p}_2$, to możemy napisać:

$$\vec{p}_1 = -\vec{p}_2.$$

Skoro tak, to całkowity pęd układu kulek przed zderzeniem wynosi zero:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{0}.$$

Czy do tego zjawiska, które jest zderzeniem niesprężystym centralnym, stosuje się zasada zachowania pędu? Oczywiście. Jest to ogólna zasada stałości wielkości fizycznej, jaką jest pęd układu izolowanego. Mówi ona, że

W układzie izolowanym całkowity pęd oddziałujących ciał jest stały.

Kulki możemy traktować jako **układ odosobniony**. Zasada musi być spełniona. Po zderzeniu mamy do czynienia z jednym ciałem, składającym się z dwóch zlepionych kulek. Oznaczmy

pęd tego ciała po zderzeniu symbolem $\vec{p}_{12}$. Pęd ten - zgodnie z przytoczoną zasadą - wynosi zero:

$$\vec{p}_{12} = \vec{0}.$$

Pęd pojedynczego ciała o niezerowej masie wynosi zero wtedy i tylko wtedy, gdy to ciało spoczywa. Okazuje się więc, że jeżeli nasze dwie kulki podczas zderzenia zlepią się ze sobą, to znieruchomią. Jeśli wydaje Ci się to zaskakujące, spróbuj zrobić dwie kulki z plasteliny, nadać im jednakowe prędkości i doprowadzić do centralnego zderzenia.

Zwróć uwagę, jak w czasie omawianego zderzenia zmienia się energia kulek. Na początku każda z nich ma niezerową prędkość, a więc dodatnią energię kinetyczną $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$. Energia, w przeciwieństwie do pędu, jest wielkością skalarną, wobec tego całkowita energia kinetyczna kulek przed zderzeniem ma niezerową, dodatnią wartość. Po zderzeniu jednak, kiedy „zlepek” spoczywa, jego energia kinetyczna wynosi zero. Wygląda na to, że w zderzeniu kulek z plasteliny nie jest zachowana energia mechaniczna. Co się dzieje z tą utraconą energią mechaniczną?

Zasada zachowania energii, kolejna ważna zasada zachowania obowiązująca w fizyce, głosi, że:

Energia izolowanego układu ciał jest zachowana zawsze, może jedynie zmienić postać.

Zauważ, że w omawianym zderzeniu kulki odkształcają się – w czasie zderzenia część energii jest wykorzystana na wykonanie związanej z tym odkształceniem pracy. Co więcej, gdyby dokonać dokładnych pomiarów temperatury kulek przed i po zderzeniu, okazałoby się, że temperatura części odkształconych nieco wzrosła. Ogólniej możemy stwierdzić, że **w zderzeniu niesprężystym całkowita energia kinetyczna ciał po zderzeniu jest mniejsza niż przed zderzeniem.**

Dochodzimy zatem do wniosku, że w zderzeniu niesprężystym ciała odkształcają się i zwiększa się ich energia wewnętrzna kosztem części energii mechanicznej. Jeżeli w wyniku zderzenia obiekty całkowicie się ze sobą łączą (a więc po zderzeniu mają jednakową prędkość), ubytek energii kinetycznej jest największy. Mówimy wtedy o zderzeniu doskonale niesprężystym. Jego przykładem jest omówione wyżej zderzenie dwóch kulek z plasteliny.

Zderzenie dwóch kulek, które poruszają się z jednakowymi prędkościami i mają taką samą masę, jest sytuacją wyjątkową. Przejdźmy teraz do bardziej ogólnego opisu. Masy zderzających się ciał (niekoniecznie kulek) będą różne i ich prędkości również. Pozostanie założenie upraszczające, że ruch odbywa się wzdłuż jednej prostej, a więc zderzenie jest centralne.

Przyjmijmy, że ciało o masie m_1 porusza się z prędkością $\vec{v}_1$ i uderza w ciało o masie m_2 , poruszające się z prędkością $\vec{v}_2$ (zakładamy oczywiście, że prędkości te są takie, że zetknięcie ciał w ogóle nastąpi). W wyniku zderzenia ciała łączą się ze sobą i kontynuują ruch z prędkością $\vec{v}_{12}$.

Całkowity pęd początkowy $\vec{p}_p$ to suma pędów obu ciał (należy pamiętać, że pęd i prędkość to wielkości wektorowe):

$$\vec{p}_p = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 .$$

Całkowity pęd końcowy połączonych ciał wynosi

$$\vec{p}_k = (m_1 + m_2)\vec{v}_{12} .$$

Zasada zachowania pędu mówi, że $\vec{p}_k = \vec{p}_p$, zatem

$$(m_1 + m_2)\vec{v}_{12} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 .$$

Ostatecznie, po podzieleniu obu stron równania przez łączną masę $m_1 + m_2$, otrzymujemy wzór na prędkość po zderzeniu:

$$\vec{v}_{12} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2} .$$

Prędkość końcowa w zderzeniu doskonale niesprężystym dwóch ciał jest średnią ważoną prędkości tych ciał przed zderzeniem, w której wagami są masy badanych ciał.

Sugestywnym i pouczającym przykładem zderzenia niesprężystego jest wypadek samochodowy. Gdy dwa pojazdy zderzają się ze sobą, ich energia kinetyczna jest tracona – odkształca się karoseria, pasażerowie doznają obrażeń, na skutek tarcia podnosi się temperatura zderzających się elementów. Teorię zderzeń niesprężystych wykorzystuje się między innymi do odtwarzania przebiegu wypadków drogowych. Na podstawie śladów hamowania i innych wskazówek policjanci mogą obliczyć przybliżoną prędkość pojazdów po zderzeniu. Wykorzystując zasadę zachowania pędu można wtedy oszacować ich prędkości przed zderzeniem.



Rys. 2. Wypadek samochodowy jest przykładem zderzenia niesprężystego. Duża część początkowej energii kinetycznej pojazdów jest zamieniana na pracę odkształcenia karoserii i energię cieplną.

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.pexels.com/photo/red-and-yellow-hatchback-axa-crash-tests-163016/> [dostęp 4.05.2022]. <https://www.pexels.com/creative-commons-images/>.

Słowniczek

Zderzenie centralne

(*ang.: central collision*) zderzenie dwóch ciał, w którym oba ciała poruszają się wzdłuż tej samej prostej, zarówno przed, jak i po zderzeniu. W wyniku zderzenia centralnego następuje największa możliwa wymiana pędów oraz energii.

Zderzenie niesprężyste

(*ang.: inelastic collision*) zderzenie, w którym zachowany jest pęd, ale część energii kinetycznej zderzających się ciał jest tracona (np. zamieniana na ciepło albo pracę potrzebną do odkształcenia ciał). Gdy w zderzeniu jest tracona maksymalna możliwa ilość energii kinetycznej, mówimy o zderzeniu doskonale niesprężystym.

Zderzenie sprężyste

(*ang.: elastic collision*) zderzenie, w którym zachowany jest pęd oraz energia kinetyczna zderzających się ciał.

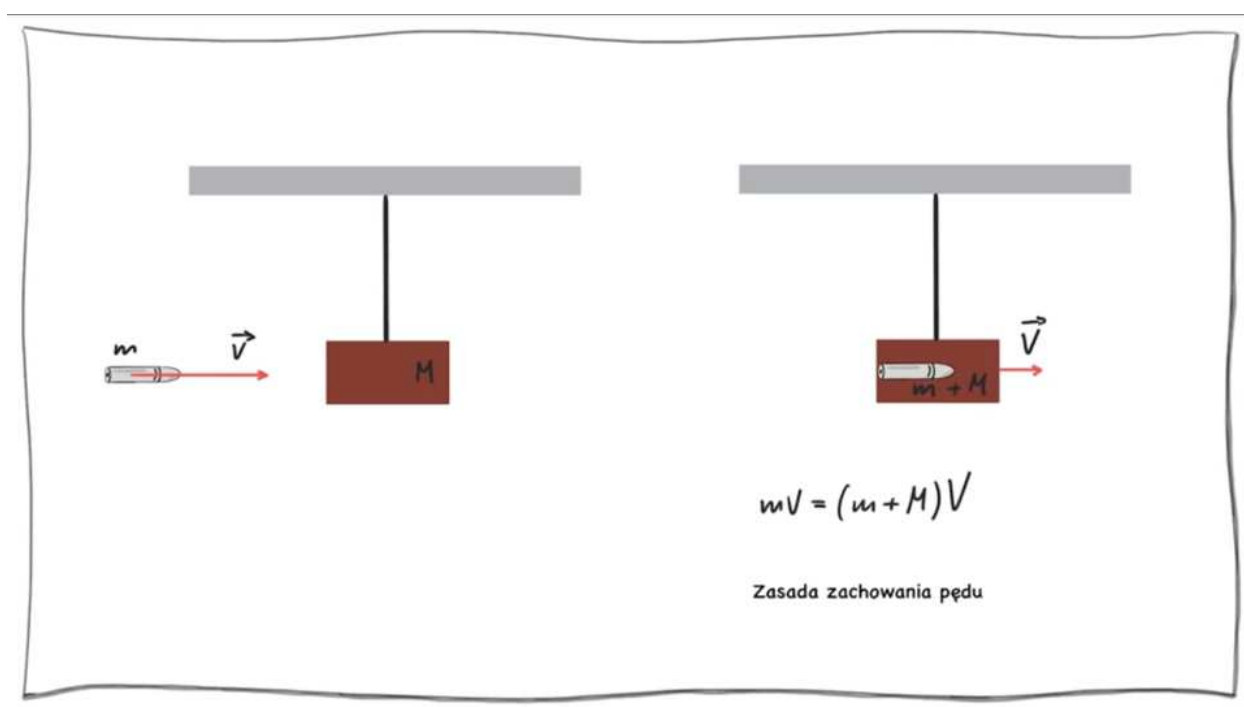
Układ izolowany

(*ang.: isolated system*) dowolny wyizolowany od otoczenia układ, na który nie działają żadne siły zewnętrzne (siły mogą działać jedynie pomiędzy obiektami tworzącymi układ).

Film samouczek

Zasada zachowania pędu a zderzenia niesprężyste

Obejrzyj film samouczek, który omawia zasadę działania wahadła balistycznego. Przekonasz się, w jaki sposób można wykorzystać zderzenie niesprężyste do zmierzenia prędkość pocisku wylatującego z lufy broni palnej.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RXipc4qRr3efi>

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

Wysłuchaj alternatywnej ścieżki lektorskiej

Polecenie 1

W wyprowadzeniu wzorów opisujących ideę działania wahadła balistycznego korzystaliśmy z zasady zachowania energii mechanicznej. Jaki warunek musi być spełniony (nie było o nim mowy), aby można było tę zasadę zastosować?

Polecenie 2

Wychylenia wahadła balistycznego są na ogół małe. W jaki sposób możliwie dokładnie zmierzyć wysokość h ?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Dwie plastelinowe kulki o równych masach poruszają się naprzeciw siebie z prędkościami równymi co do wartości. Kulki zderzają się i podczas zderzenia sklejąją. Jaki będzie ruch „zlepka” po zderzeniu?

- ☐ Zlepek porusza się z prędkością większą, niż prędkość kulek przed zderzeniem.
- ☐ Zlepek porusza się z prędkością mniejszą, niż prędkość kulek przed zderzeniem.
- ☐ Zlepek porusza się z taką prędkością, jaka była prędkość kulek przed zderzeniem.
- ☐ Zlepek nie porusza się.

Ćwiczenie 2



Uzupełnij tekst poprawnym wyrażeniem.

Zderzenie, w którym całkowita energia kinetyczna ciał po zderzeniu jest mniejsza, niż przed zderzeniem, nazywamy zderzeniem .

niezachowawczym

stratnym

niesprężystym

sprężystym

Ćwiczenie 3



W pewnym zderzeniu niesprężystym ciała miały przed zderzeniem energie kinetyczne odpowiednio 100 J oraz 200 J. Co można powiedzieć o energii ciał po zderzeniu? Wybierz zdanie prawdziwe.

- ☐ Całkowita energia kinetyczna ciał po zderzeniu jest równa 100 J.
- ☐ Całkowita energia kinetyczna ciał po zderzeniu jest większa niż 300 J.
- ☐ Całkowita energia kinetyczna ciał po zderzeniu jest mniejsza niż 300 J.
- ☐ Całkowita energia kinetyczna ciał po zderzeniu jest równa 300 J.

Ćwiczenie 4



Pewne dwa ciała podczas zderzenia skleiły się. Co można powiedzieć o ruchu sklejonnych ciał, jeżeli wiadomo, że przed zderzeniem ich całkowity pęd miał wartość 0? Oceń prawdziwość podanych zdań.

Sklejone ciała po zderzeniu spoczywają. P ☐ / F ☐

Energia związana z ruchem ciał jest po zderzeniu niezerowa. P ☐ / F ☐

Całkowity pęd ciał po zderzeniu ma wartość 0. P ☐ / F ☐

Ćwiczenie 5



Końcowa prędkość połączonych ciał w zderzeniu doskonale niesprężystym jest dana wzorem:

$$v_{12} = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Analizując wzór, spróbuj przewidzieć zachowanie zderzających się ciał w sytuacjach opisanych poniżej. Połącz opisy sytuacji z przewidywanym zachowaniem ciał.

Przed zderzeniem	Po zderzeniu
Ciało masywne uderza w spoczywające ciało o znikomej masie. $m_1 \gg m_2, v_1 > 0, v_2 = 0.$	
Ciało o znikomej masie uderza w spoczywające masywne ciało. $m_1 \ll m_2, v_1 > 0, v_2 = 0.$	
Dwa ciała mają identyczne masy. Jedno z nich uderza w drugie, które spoczywa. $m_1 = m_2, v_1 > 0, v_2 = 0.$	
Dwa ciała o identycznych masach i wartościach prędkości poruszają się naprzeciw siebie. $m_1 = m_2,$	

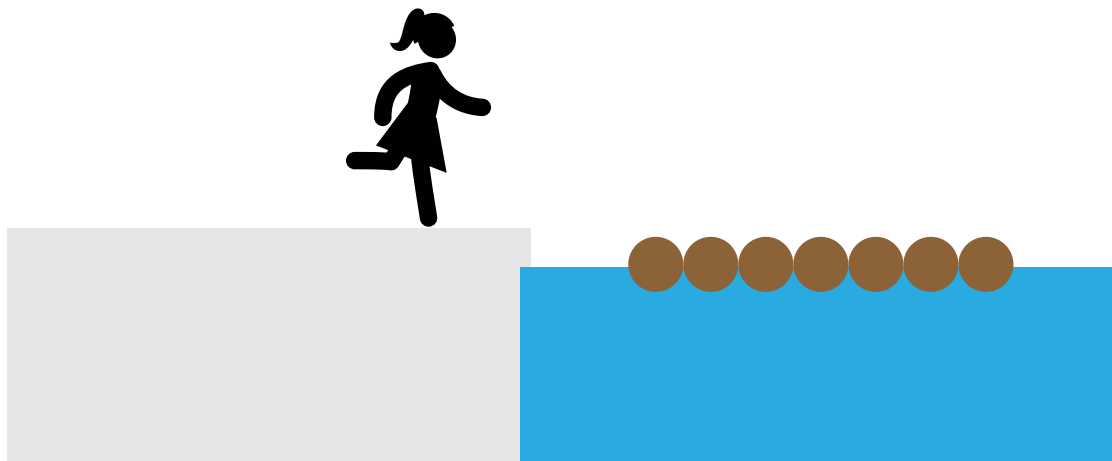
Połączone ciała spoczywają. $v_{12} = 0.$

Prędkość połączonych ciał stanowi połowę prędkości początkowej pierwszego ciała.

$$v_{12} = \frac{1}{2} v_1.$$

Połączone ciała spoczywają. $v_{12} = 0.$

Połączone ciała poruszają się z prędkością taką, jaką miało pierwsze ciało przed zderzeniem. $v_{12} = v_1.$



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Na końcu pomostu (patrz rysunek) spoczywa tratwa o masie 450 kg. Dziewczyna o masie 50 kg biegnie po pomoście z prędkością 2 m/s i wskakuje na tratwę, tak że razem z tratwą odpływa. Potraktuj oddziaływanie dziewczyny i tratwy jako jednowymiarowe zderzenie doskonale niesprężyste i oblicz końcową prędkość tratwy z dziewczyną (wynik podaj z dokładnością do jednego miejsca po przecinku).

Odpowiedź: Końcowa prędkość tratwy z dziewczyną to m/s.

Ćwiczenie 7



W zderzeniu niesprężystym ciała po zderzeniu mają mniejszą energię kinetyczną niż przed zderzeniem, gdyż energia kinetyczna jest tracona w związku z deformacją ciał i wydzielaniem ciepła. Możliwy jest proces odwrotny – gdy w czasie „zderzenia” zostanie uwolniona dodatkowa energia. Wtedy energia kinetyczna ciał po zderzeniu może być większa, niż przed zderzeniem. Takie zjawisko nazywa się zderzeniem superelastycznym (elastyczny to inaczej sprężysty). Przykładem może być wybuch spoczywającego fajerwerku – jego kawałki po wybuchu mają energię kinetyczną, chociaż przed wybuchem spoczywały. Oczywiście w zderzeniu superelastycznym, tak jak w każdym zderzeniu, całkowity pęd jest zachowany. Kierując się tą wskazówką, rozwiąż następujące zadanie.

Uczniowie przeprowadzili następujące doświadczenie na torze powietrznym. Ustawili dwa wózki połączone nitką, a pomiędzy nimi umieścili ściśniętą sprężynę. Następnie przepalili nitkę. Energia potencjalna sprężystości sprężyny została wyzwolona i wózki nabrały prędkości. Oblicz wartość prędkości drugiego z wózków, wiedząc, że zmierzona przez uczniów prędkość pierwszego wózka po przepaleniu nitki wyniosła 20 cm/s. Pierwszy wózek miał masę 800 g, drugi wózek 400 g. Oba wózki początkowo spoczywały.

Odpowiedź: Drugi wózek zyskał prędkość o wartości cm/s.

Ćwiczenie 8



Gdy zderzają się dwie rzeczywiste kule bilardowe, jest to zderzenie niesprężyste. Część energii mechanicznej kul jest tracona w postaci ciepła. Wyobraźmy sobie, że kula bilardowa uderza w drugą kulę, która spoczywa. Znamy masy obu kul oraz początkową prędkość pierwszej kuli. Czy możliwe jest dokładne obliczenie prędkości kul po zderzeniu?

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Anna Kaczorowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Zderzenia niesprężyste w doświadczeniach
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji; 11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość; 16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych. II. Mechanika. Uczeń: 15) wykorzystuje zasadę zachowania pędu do opisu zachowania się izolowanego układu ciał; 16) rozróżnia i analizuje zderzenia sprężyste i niesprężyste.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • 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:	Uczeń: 1. stosuje przybliżenie modelu zderzenia niesprężystego do zjawisk dostrzeganych w praktyce; 2. wskazuje zastosowanie zasady zachowania pędu w zderzeniach niesprężystych; 3. analizuje przebieg doświadczenia, wykonuje pomiary i obliczenia; 4. doświadczalnie weryfikuje postawioną hipotezę badawczą.
Strategie nauczania:	IBSE - nauczanie przez odkrywanie
Metody nauczania:	nauczanie problemowe; odkrywanie praw fizyki w eksperymentach
Formy zajęć:	eksperyment fizyczny realizowany równym frontem, praca całej klasy
Środki dydaktyczne:	tor jezdny z wózkami pomiarowymi (taki, jak np. PASCO) albo powietrzny z fotokomórkami albo dwa wózki poruszające się z małym tarcim i dwa stopery
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel wprowadza pojęcie zderzenia niesprężystego i pyta uczniów, czy w zjawiskach codziennie obserwowanych mogą podać przykłady takich, które można nazwać zaklasyfikować jako niesprężyste. Nauczyciel pyta uczniów, jaka jest definicja pędu, czy jest to wielkość wektorowa, czy skalarna. Następnie naprowadza uczniów na sformułowanie dwóch problemów: 1. Czy w zderzeniach niesprężystych jest zachowany pęd? 2. Czy w zderzeniach niesprężystych zachowana jest energia kinetyczna?	

Faza realizacyjna:

Nauczyciel omawia technikę wykonania doświadczenia i pomiarów dla sprzętu, którym dysponuje. Pokazuje, jak wyznaczyć prędkość wózków. Po takiej prezentacji pyta uczniów, jak wykonać doświadczenia, które posłużyłyby do zweryfikowania problemów postawionych na początku lekcji. Uczniowie przedstawiają pomysły, z których wyłania się prawidłowy plan wykonania eksperymentu.

1. Należy zważyć wózki i tak je wyregulować, aby miały jednakowe masy. Te masy znamy.
2. Przeprowadzić serię 5-6 zderzeń niesprężystych wózków, mierząc za każdym razem prędkość wózka najeżdżającego i wózków związanych po zderzeniu. Drugi wózek przed zderzeniem pozostaje w spoczynku.
3. Sprawdzić relację pomiędzy pędem początkowym i pędem końcowym układu (w jednostkach umownych lub w układzie SI).
4. Na podstawie pomiarów obliczyć energię kinetyczną wózka przed zderzeniem i związanych wózków po zderzeniu.

Uczniowie wykonują opis doświadczenia, notują wyniki pomiarów, wykonują obliczenia, które pozwolą na sformułowanie wniosków.

Faza podsumowująca:

Na podstawie wyników doświadczeń uczniowie stwierdzają, że w zderzeniach niesprężystych zachowany jest pęd, a energia kinetyczna przed zderzeniem jest większa niż po zderzeniu. Oznacza to, że energia mechaniczna nie jest zachowana. Nauczyciel wstawia oceny do dziennika, oceniając aktywność uczniów na lekcji.

Praca domowa:

Rozwiązanie zadania 7 i 8 z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Film samouczek można wykorzystać do samodzielnej nauki uczniów. Film może posłużyć do realizacji lekcji, w której uczniowie zaprezentują dawne i współczesne sposoby wyznaczania prędkości pocisków.