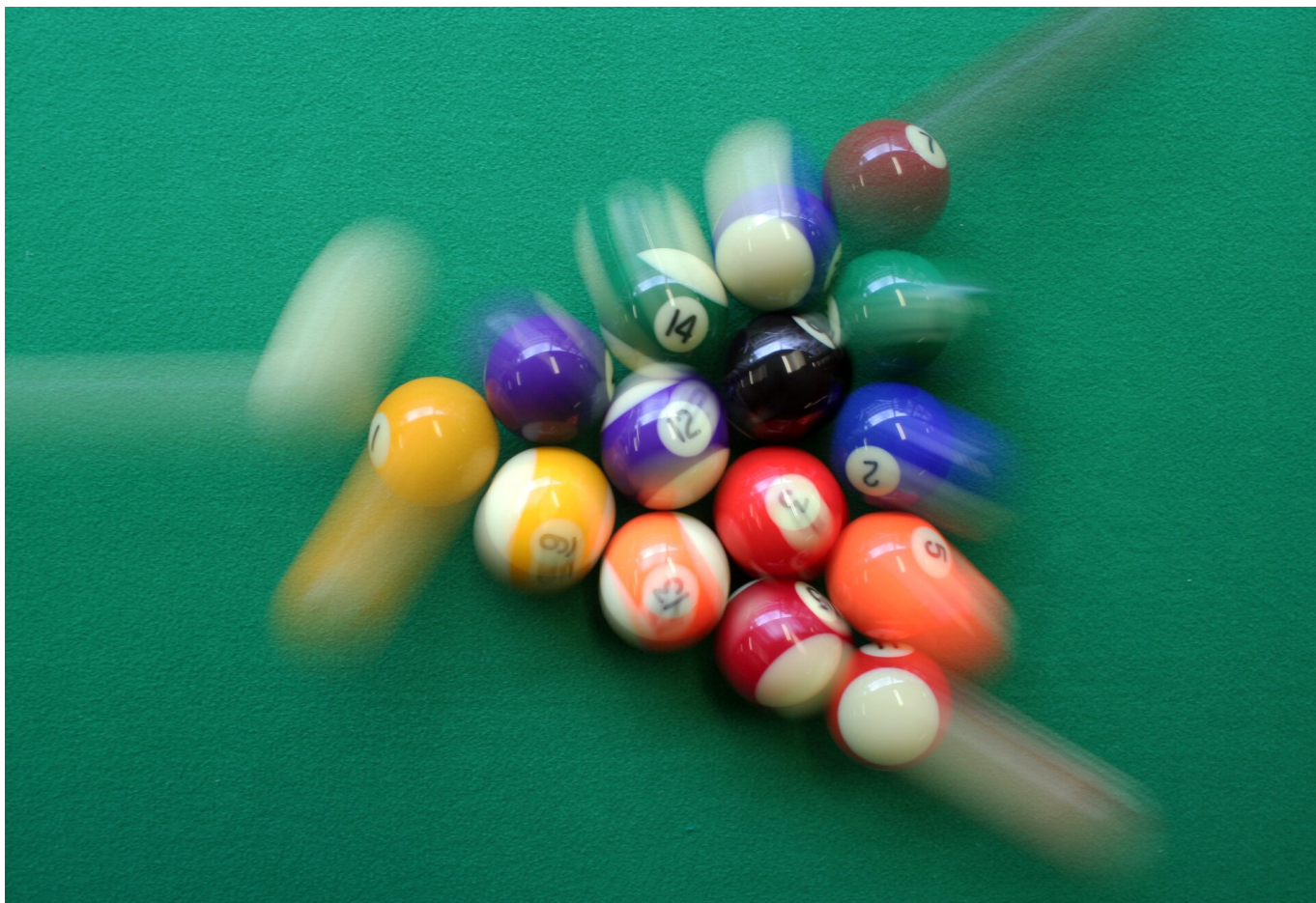




Zasada zachowania pędu a zderzenia sprężyste

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Symulacja
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Zasada zachowania pędu a zderzenia sprężyste

Źródło: dostępny w internecie: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/86/Billard.JPG> [dostęp 25.04.2022],
licencja: CC BY-SA 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>.

Czy to nie ciekawe?

Przedstawiając zderzenia sprężyste, możemy zaprezentować dwa zaskakujące doświadczenia: w pierwszym – kulka poruszająca się zatrzymuje się w wyniku zderzenia, przekazując całą swoją prędkość drugiej, poprzednio spoczywającej. Sama staje jak wryta! A drugie to takie, w którym lekka kuleczka odbijając się od poruszającej się ciężkiej kulki uzyskuje zaskakująco dużą prędkość – takiego „odrzutu” zupełnie się nie spodziewamy. Dlaczego tak jest – o tym w tym materiale.

Twoje cele

Pracując z tym e-materiałem:

- poznasz zderzenia sprężyste jako model zderzenia rzeczywistego,
- zastosujesz zasadę zachowania pędu i energii mechanicznej do opisu zderzenia sprężystego,
- poznasz wzory opisujące prędkości ciał po zderzeniu i przeanalizujesz przypadki graniczne,
- zastosujesz uzyskaną wiedzę do rozwiązywania zadań rachunkowych.

Warto przeczytać

Gdy ściskamy sprężynę, wykonujemy pracę i w sprężynie zostaje zmagazynowana energia potencjalna sprężystości. Po uwolnieniu sprężyny energia ta może zostać zamieniona w energię kinetyczną – jak na przykład w armatce z zestawu LEGO (Rys. 1.).



Rys. 1. Armatka LEGO. Po naciągnięciu i uwolnieniu sprężyny można wystrzelić z niej klocki. Energia potencjalna sprężystości jest zamieniana w energię kinetyczną pocisku.

Źródło: dostępny w internecie: <https://archiwum.allegro.pl/oferta/lego-pirates-western-armata-dzialo-dodatki-i7174458357.html> [dostęp 8.08.2022], Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).

Większość ciał fizycznych wykazuje sprężystość – to znaczy zachowują się, do pewnego stopnia, jak sprężyna. Ma to wpływ między innymi na przebieg zjawisk, w których ciała zderzają się ze sobą. Wyobraź sobie, w zwolnionym tempie, dwie identyczne kauczukowe piłeczki, które zderzają się ze sobą z jednakowymi co do wartości prędkościami. Tuż przed zetknięciem obie piłeczki mają pewną energię kinetyczną. W momencie zetknięcia piłeczki zaczynają jednocześnie hamować i zmieniać kształt: spłaszczają się, jakby były ściskane sprężynami – ich energia kinetyczna zamienia się w energię potencjalną sprężystości. W końcu piłeczki wyhamowują całkowicie – ich początkowa energia kinetyczna jest całkowicie zamieniona w energię potencjalną. Teraz zaczyna się proces odwrotny: piłeczki wracają do swojego naturalnego kształtu, jednocześnie uwalniając zgromadzoną w sobie energię potencjalną sprężystości. Energia ta na powrót zmienia się w energię kinetyczną i piłeczki odskakują od siebie z prędkościami co do wartości równymi prędkościom początkowym.



Rys. 2. Piłka bejsbolowa odkształcona w trakcie zderzenia z kijem. Energia kinetyczna piłki w czasie zderzenia zamienia się na energię potencjalną sprężystości i z powrotem na energię kinetyczną.

Źródło: dostępny w internecie: <https://energyeducation.ca/encyclopedia/File:Ballbat.jpg> [dostęp 8.08.2022], domena publiczna. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energy_Education:Terms_of_use.

Taki opis zderzenia piłeczek jest uproszczeniem. W rzeczywistości podczas odkształcania występuje wewnętrzne tarcie i część energii mechanicznej jest bezpowrotnie tracona w postaci ciepła, energii fali dźwiękowej czy pracy powodującej trwałe odkształcenia ciał. Często jednak strata jest na tyle niewielka, że możemy przyjąć, że energia mechaniczna jest zachowana. Mało tego: zmiana energii kinetycznej w potencjalną i z powrotem następuje jedynie w krótkim przedziale czasu, tj. podczas zderzenia. Porównując jedynie stany przed i po zderzeniu możemy stwierdzić, że zachowana jest sama energia kinetyczna.

Zderzenie, w którym łączna energia kinetyczna ciał przed i po zderzeniu jest taka sama, nazywamy zderzeniem sprężystym.

W każdym zderzeniu zachowany jest całkowity pęd zderzających się ciał. W zderzeniu sprężystym dodatkowo zachowana jest energia kinetyczna. Oznacza to, że w takim zderzeniu:

1. Wektorowa suma pędów ciał przed zderzeniem jest równa wektorowej sumie ich pędów po zderzeniu.
2. Suma energii kinetycznych ciał przed zderzeniem jest równa sumie ich energii kinetycznych po zderzeniu.

Zasadę zachowania pędu i energii kinetycznej możemy zapisać za pomocą wzorów jako układ równań:

$$\vec{p}_{1p} + \vec{p}_{2p} = \vec{p}_{1k} + \vec{p}_{2k} ,$$

$$E_{1p} + E_{2p} = E_{1k} + E_{2k} . \quad (2)$$

Indeksy dolne są skrótami od „początkowy” (przed zderzeniem) oraz „końcowy” (po zderzeniu). Zauważ, że pierwsze równanie jest równaniem wektorowym – kryją się pod nim tak naprawdę trzy równania – po jednym dla każdej z trójwymiarowych współrzędnych pędu.

W tym e-materiale ograniczymy się do **zderzeń centralnych**, w których prędkości ciał przed zderzeniem i po zderzeniu leżą na jednej prostej.

Mamy zatem przypadek jednowymiarowy, więc pierwsze równanie można zapisać skalarnie. Otrzymamy układ dwóch równań,

$$p_{1p} + p_{2p} = p_{1k} + p_{2k} , \quad (3)$$

$$E_{1p} + E_{2p} = E_{1k} + E_{2k} , \quad (4)$$

który - po zastosowaniu wzorów na pęd ($p = mv$) i energię kinetyczną ($E = \frac{1}{2}mv^2$), przyjmuje postać

$$m_1 v_{1p} + m_2 v_{2p} = m_1 v_{1k} + m_2 v_{2k} , \quad (5)$$

$$\frac{m_1}{2} v_{1p}^2 + \frac{m_2}{2} v_{2p}^2 = \frac{m_1}{2} v_{1k}^2 + \frac{m_2}{2} v_{2k}^2 . \quad (6)$$

Otrzymane równania wiążą ze sobą współrzędne prędkości ciał po zderzeniu ze współzrędnymi ich prędkości przed zderzeniem, przy czym znak współrzędnej prędkości powie nam o jej zwrocie.

Można - choć wymaga to sporo matematycznej gimnastyki - rozwiązać podany układ równań, jako niewiadome traktując prędkości końcowe (patrz e-materiał „Co to jest zderzenie sprężyste?”). Końcowy wynik pozwala przewidzieć efekt dowolnego (sprężystego i centralnego) zderzenia dwóch ciał, których ruch jest ograniczony do jednego wymiaru, o ile tylko znamy ich masy i prędkości początkowe.

Gdy jedno z ciał początkowo spoczywa, np. $v_{2p} = 0$, przekształcenia nieco się upraszczają i końcowe wzory przybierają postać:

$$v_{1k} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1p} ,$$

$$v_{2k} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1p} .$$

Wzorów tych nie warto zapamiętywać; w razie potrzeby można je z łatwością odnaleźć w Internecie. Analizując je, można dojść do ciekawych wniosków.

Zderzenie sprężyste ciał o jednakowych masach, z których jedno spoczywa.

Gdy oba ciała mają jednakowe masy, $m_1 = m_2 = m$, wzory upraszczają się:

$$v_{1k} = \frac{m - m}{m + m} v_{1p} = \frac{0}{2m} v_{1p} = 0$$

$$v_{2k} = \frac{2m}{m + m} v_{1p} = \frac{2m}{2m} v_{1p} = v_{1p}$$

Można powiedzieć, że „ciała wymieniają się prędkościami”: pierwsze zatrzymuje się w miejscu, za to drugie rozpoczyna ruch z prędkością pierwszego. Można to łatwo zaobserwować w przypadku zderzenia kul bilardowych; zderzenie to można w przybliżeniu traktować jako zderzenie sprężyste (Rys. 3.).



Rys. 3. Zderzenie kul bilardowych można w przybliżeniu traktować jako zderzenie sprężyste ciał o jednakowych masach. W zderzeniu centralnym uderzająca kula zatrzymuje się, przekazując cały pęd i energię kinetyczną kuli, która wcześniej spoczywała.

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdj%C4%99cie/bilardowymi-kij-bilardowy-i-pi%C5%82ki-gm489639274-49774442> [dostęp 23.10.2020], iStockphoto, tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Zderzenie sprężyste z ciałem spoczywającym o bardzo dużej masie.

Co się stanie, gdy bardzo lekkie ciało uderzy w ciało bardzo ciężkie? W takiej sytuacji masa m_1 jest dużo mniejsza niż m_2 . Możemy więc przybliżyć różnicę $m_1 - m_2$ przez $-m_2$, a sumę $m_1 + m_2$ przez m_2 . Otrzymujemy wtedy:

$$v_{1k} \approx -\frac{m_2}{m_2}v_{1p} = -v_{1p}.$$

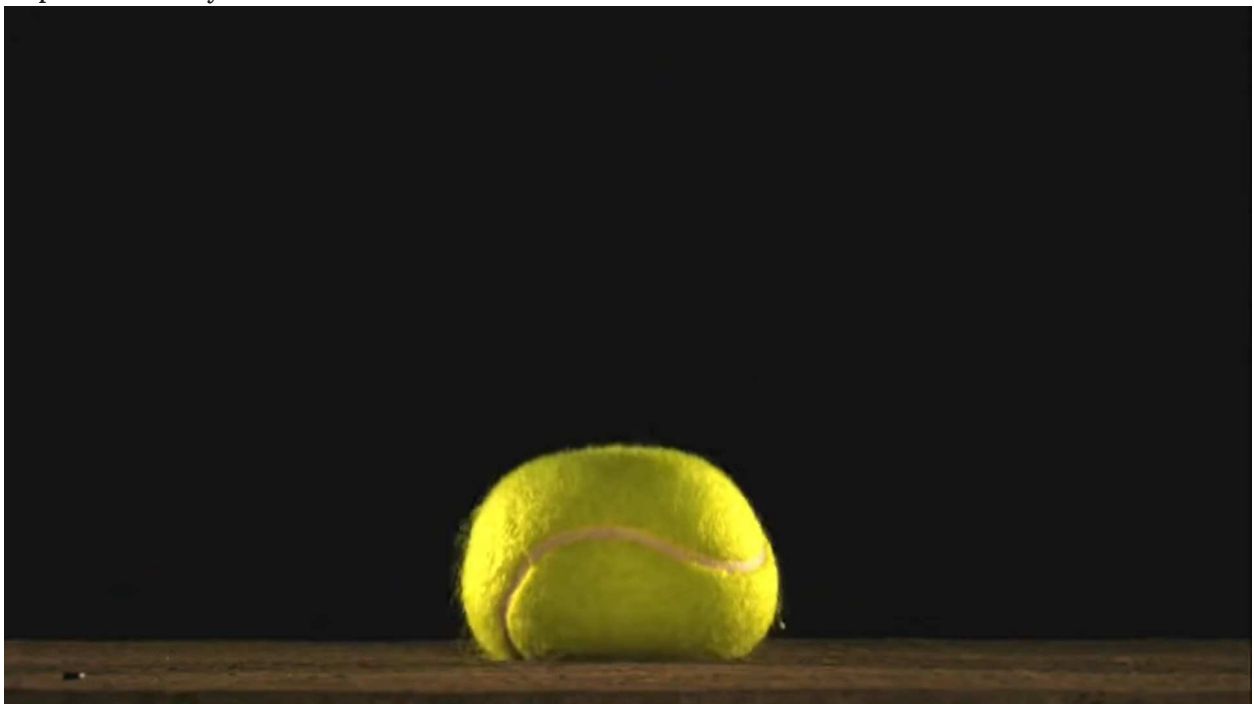
Prędkość uderzającego ciała po prostu zmienia zwrot na przeciwny – lekkie ciało odbija się od ciężkiego, na przykład jak piłka od ściany.

Jednocześnie iloraz $\frac{2m_1}{m_1+m_2}$ jest bliski zera i można w przybliżeniu napisać:

$$v_{2k} \approx 0,$$

czyli ciężkie ciało po zderzeniu nadal spoczywa.

Czy jest tak rzeczywiście? Wyobraź sobie, że rzucasz piłką tenisową w czoło stojącego na torach wagonu kolejowego – czy wynik takiego „eksperymentu” zgadza się z przeprowadzonymi tu rachunkami?



Rys. 4. Uderzenie piłki o podłogę – piłka odbija się, ale na podłogę nie ma to wpływu. Biorąc pod uwagę masę piłki, podłogę połączoną fundamentem z Ziemią można traktować jak ciało o nieskończenie wielkiej masie.

Źródło: dostępny w internecie: <https://youtu.be/1yT0hxpIVBg> [dostęp 8.08.2022], Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).

Zderzenie sprężyste z ciałem spoczywającym o znikomej masie.

A co jeśli lekkie, spoczywające ciało zostanie uderzone przez rozpędzone ciało ciężkie?

Gdy przyjmiemy, że masa m_1 jest dużo większa od m_2 , możemy przyjąć przybliżenia:

$$m_1 - m_2 \approx m_1 \text{ oraz } m_1 + m_2 \approx m_1$$

W takim wypadku:

$$v_{1k} \approx \frac{m_1}{m_1} v_{1p} = v_{1p}$$

$$v_{2k} \approx \frac{2m_1}{m_1} v_{1p} = 2v_{1p}$$

Zderzenie w znikomy sposób wpływa na ruch ciężkiego ciała, co wydaje się jasne. Dużo mniej oczywiste jest to, że lekkie ciało, które wcześniej spoczywało, nabierze po zderzeniu prędkości dwukrotnie większej niż ciało uderzające! Faktycznie tak jest. Im cięższe jest ciało uderzające, tym prędkość ciała uderzonego bliższa jest granicznej wartości $2v_{1p}$.

Można się o tym przekonać wykonując następujący eksperyment: Dwie piłki należy umieścić jedna nad drugą – małą (wyżej) i dużą (niżej). Może to być np. piłka do koszykówki i piłka tenisowa albo piłka-zabawka z kauczuku i mała, twarda kulka z modeliny. Następnie należy obie piłki jednocześnie upuścić z niskiej wysokości tak, by po odbiciu się od ziemi większa piłka zderzyła się z nadlatującą mniejszą. Mała piłka wznosi się po odbiciu na zaskakująco dużą wysokość. Prędkość nie jest 2 razy większa, bo stosunek mas jest skończony. Jednak już przy stosunku mas 10:1 prędkość końcowa małej piłki to 1,8 prędkości piłki dużej. Fakt, że mała piłka w chwili zderzenia ma pewną prędkość również nie odgrywa dużej roli.

O tym, że prędkość uderzonego ciała może być prawie dwukrotnie większa niż prędkość ciała uderzającego, wiedzą doskonale gracze w golfiści (Rys. 5.). Przepisowa piłka golfowa ma masę nie większą niż 46 g, podczas gdy typowa główka kija waży ok. 200 g. Jeżeli przyjmiemy, że zderzenie główki z piłką jest idealnie sprężyste, to przy takich wartościach piłka uzyskuje prędkość 1,6 prędkości główki kija w momencie uderzenia.



Rys. 5. Golfista tuż po uderzeniu piłki. Zderzenie piłki z główką kija golfowego można w przybliżeniu potraktować jako zderzenie sprężyste ciał o znacznie różnych masach.

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Retief_Goosen.jpg [dostęp 8.08.2022], licencja: CC BY 2.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>.

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.

Reaktor jądrowy

(*ang.: nuclear reactor*) urządzenie, w którym uzyskuje się energię powstającą w wyniku kontrolowanej reakcji rozszczepienia jąder atomowych.

Rozszczepienie jąder atomowych

(*ang.: nuclear fission*) reakcja rozpadu jądra ciężkiego pierwiastka w wyniku zderzenia i pochłonięcia neutronu na dwa lub trzy jądra. Reakcja taka jest silnie egzoenergetyczna.

Symulacja

Zasada zachowania pędu a zderzenia sprężyste

Symulacja ilustruje efekt zderzenia sprężystego dwóch ciał w trzech przypadkach:

1. ciało 1. uderza w spoczywające ciało 2. o jednakowej masie,
2. ciało 1. o niewielkiej masie uderza w masywne, spoczywające ciało 2.,
3. masywne ciało 1. uderza w spoczywające ciało 2. o niewielkiej masie.

Obejrzyj symulację i wykonaj polecenie.

Uwaga: Praca z symulacją jest wygodniejsza po przełączeniu na widok pełnoekranowy.

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

Polecenie 1

Połącz relację między masami m_1 i m_2 ciał z wynikiem ich sprężystego zderzenia. Ciało o masie m_1 uderza w spoczywające ciało o masie m_2 .

$$m_1 \gg m_2$$

Ciało o masie m_1 zatrzymuje się, a drugie ciało "przejmuje prędkość pierwszego".

$$m_1 = m_2$$

Ciało o masie m_1 porusza się w przeciwną stronę, ciało o masie m_2 dalej spoczywa.

$$m_1 \ll m_2$$

Prędkość ciała o masie m_1 maleje, a ciało o masie m_2 porusza się szybciej niż ciało o masie m_1 .

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zderzenie, w którym zachowany jest zarówno całkowity pęd, jak i całkowita energia kinetyczna ciał, nazywamy:

- ☐ zderzeniem niesprężystym
- ☐ zderzeniem sprężystym
- ☐ zderzeniem doskonałym
- ☐ zderzeniem zachowawczym

Ćwiczenie 2



Zaznacz te zdania spośród poniższych, które prawidłowo opisują zderzenie sprężyste:

- ☐ Ciała w czasie zderzenia łączą się ze sobą.
- ☐ Znając masy ciał i ich prędkości przed zderzeniem, można jednoznacznie obliczyć prędkości ciał po zderzeniu.
- ☐ Jedno z ciał przed zderzeniem spoczywa.
- ☐ W czasie zderzenia energia mechaniczna nie jest tracona, np. w postaci ciepła.
- ☐ Przed zderzeniem całkowity pęd jest zerowy.
- ☐ Wektorowa suma pędów ciał przed zderzeniem i po zderzeniu jest taka sama.
- ☐ Suma energii kinetycznych ciał po zderzeniu jest mniejsza niż przed zderzeniem.

Ćwiczenie 3



Dwa ciała zderzyły się sprężysto. Przed zderzeniem całkowity pęd obu ciał miał wartość $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, a ich łączna energia kinetyczna wynosiła $8,5 \text{ J}$. Wybierz poprawne dokończenia zdań:

Po zderzeniu całkowity pęd ciał wyniósł:

- $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ☐ $9,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ☐ 1 J ☐ $9,5 \text{ J}$ ☐

Po zderzeniu całkowita energia ciał wyniosła:

- $8,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ☐ $9,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ☐ $8,5 \text{ J}$ ☐ $9,5 \text{ J}$ ☐

Ćwiczenie 4



Dwa ciała o identycznych masach pędzą naprzeciw siebie z równymi co do wartości prędkościami. Wybierz poprawne dokończenie zdania:

Po zderzeniu sprężystym ciała te...

- ☐ będą miały prędkości o mniejszych wartościach i przeciwnych zwrotach.
- ☐ będą miały prędkości o tych samych wartościach i zwrotach.
- ☐ będą miały prędkości o tych samych wartościach, ale przeciwnych zwrotach.
- ☐ zatrzymają się w miejscu.

Ćwiczenie 5



Gdy piłka o masie m uderza w ścianę z prędkością $\vec{v}_p$, ma pęd $\vec{p}_p = m\vec{v}_p$. Po odbiciu sprężystym od ściany ma ona pęd o tej samej wartości, ale o przeciwnym zwrocie: $\vec{p}_k = -\vec{p}_p = -m\vec{v}_p$. Tymczasem ściana zarówno przed zderzeniem jak i po zderzeniu ma pęd wynoszący zero. Oznacza to, że w zderzeniu piłki ze ścianą całkowity pęd początkowy i końcowy nie są sobie równe! Czy oznacza to, że w takim zderzeniu złamana jest zasada zachowania pędu? Wybierz spośród poniższych propozycji najlepsze wyjaśnienie tego paradoksu.

- ☐ W zderzeniu sprężystym zachowana jest całkowita energia kinetyczna, a nie całkowity pęd układu ciał.
- ☐ Nie jest niczym dziwnym, że całkowity pęd układu ciał w omawianym zderzeniu nie jest zachowany, gdyż zasada zachowania pędu obowiązuje jedynie w przypadku ciał o podobnych masach.
- ☐ Nie jest to paradoks. Jeśli potraktujemy ścianę jako ciało o masie dużo większej niż masa piłki, możemy przyjąć, że w czasie zderzenia piłka przekazuje jej pęd, ale ze względu na dużą masę, pęd ten nie wystarcza, żeby prędkość ściany wzrosła zauważalnie. Warto też pamiętać, że ściana zazwyczaj nie jest w tym zderzeniu "sama" - jest sztywno połączona poprzez fundament budynku z całą Ziemią.

Ćwiczenie 6



Na torze powietrznym zderzają się dwa wózki, przy czym pierwszy, o masie $m_1 = 800$ g, nadbiega z lewej strony z prędkością $v_{1p} = 1,2$ m/s i uderza w drugi, o masie $m_2 = 400$ g, który początkowo spoczywa.

a) Oblicz wartości prędkości obu wózków po zderzeniu. Uzupełnij równości poniżej.

Wózek pierwszy: $|v_{1k}| =$ m/s

Wózek drugi: $|v_{2k}| =$ m/s

b) Uzupełnij zdanie wskazując odpowiedni element.

Prędkości obu wózków po zderzeniu mają ten sam zwrot ☐ / przeciwne zwroty ☐.

Ćwiczenie 7



Aby w reaktorach jądrowych – np. w elektrowni atomowej – mogła zachodzić reakcja łańcuchowa, neutrony emitowane w kolejnych rozszczepieniach jąder atomowych muszą zostać spowolnione, by móc wywołać reakcje rozszczepienia kolejnych jąder. Stosuje się więc tak zwane moderatory, czyli substancje, które spowalniają neutrony, gdy te przez nie przechodzą. Na moderatory najlepiej nadają się pierwiastki i związki chemiczne składające się z atomów o lekkich jądrach (na przykład woda lub grafit). Spróbuj, opierając się na teorii zderzeń sprężystych, uzasadnić, dlaczego tak jest.

Ćwiczenie 8



W zderzeniu sprężystym zachowany jest pęd oraz energia kinetyczna. W przypadku jednowymiarowym, w którym jedno z ciał – to o numerze 2 – spoczywa, możemy zapisać ten fakt za pomocą układu dwóch równań.

$$(1) m_1 v_{1p} = m_1 v_{1k} + m_2 v_{2k}$$

$$(2) \frac{1}{2} m_1 v_{1p}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1k}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2k}^2$$

Gdy przyjmiemy jako dane prędkość początkową v_{1p} pierwszego ciała oraz masy m_1 i m_2 obu ciał, możemy rozwiązać powyższy układ równań z niewiadomymi prędkościami końcowymi v_{1k} i v_{2k} . Spróbuj w ten sposób wyprowadzić znane wzory na prędkości końcowe ciał w takim zderzeniu.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jan Kamiński
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Zderzenia sprężyste 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: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 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. 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. rozróżnia zderzenia sprężyste i niesprężyste; 2. opisuje w postaci formuły matematycznej zasadę zachowania pędu i energii w zastosowaniu do zderzeń sprężystych; 3. przeprowadza eksperyment weryfikujący hipotezę wynikającą z analizy wzorów wyprowadzonych na mocy teorii; 4. przeprowadza obliczenia liczbowe opisujące zderzenia sprężyste.
Strategie nauczania:	IBSE - nauczanie przez odkrywanie
Metody nauczania:	Nauczanie problemowe. Praca metodą eksperymentu.
Formy zajęć:	Eksperyment fizyczny realizowany równym frontem - praca całej klasy.
Środki dydaktyczne:	Tor powietrzny z fotokomórkami, wózki
Materiały pomocnicze:	e- materiały: „Co to jest zderzenie sprężyste?”, „Jak brzmi zasada zachowania pędu?”, „Zasada zachowania pędu doświadczalnie”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel sprawdza pracę domową oraz wiedzę uczniów z poprzedniej lekcji, dotyczącą rozróżnienia zderzeń sprężystych i niesprężystych. Celem lekcji jest przeprowadzanie ilościowych eksperymentów na torze powietrznym, na którym wózki mogą zderzać się sprężysto, a przy pomocy fotokomórki można porównywać ich prędkości. Nauczyciel wypisuje na tablicy wzory na prędkości końcowe wózków zderzających się sprężysto. Uczniowie, na tej podstawie oraz znajomości działania toru powietrznego, planują eksperyment, którego celem jest oszacowanie, na ile zderzenia obserwowane na torze są sprężyste.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie ustawiają jednakowe wózki na torze i mierzą prędkości wózków przed i po zderzeniu w przypadku, gdy jeden z wózków spoczywa. Następnie opisują doświadczenie w zeszytach i wpisują wyniki pomiarów.

Drugi eksperyment polega na pomiarze prędkości, gdy wózek o masie m zderza się ze stojącym na torze wózkiem o masie $2m$. Po zapisaniu wyników w zeszytach uczniowie wykonują obliczenia i oceniają, z uwzględnieniem oszacowania błędów w doświadczeniu, czy wyniki doświadczenia zgadzają się z przewidywaniami. Nauczyciel i uczniowie weryfikują hipotezę, określającą, że zderzenia były sprężyste.

Faza podsumowująca:

Celem tej części lekcji jest analiza wyników doświadczenia i ocena pracy uczniów. Jako podsumowanie uczniowie rozwiązują zadanie rachunkowe nr 6 z zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Jako pracę domową uczniowie wykonują zadania: 7 i 8 z zestawu ćwiczeń.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Animacja może być wykorzystana na lekcji, jeśli w pracowni nie ma toru powietrznego. Innym zastosowaniem jest obejrzenie animacji przez uczniów w domu przed lekcją, żeby przygotować ich do prowadzenia eksperymentów.