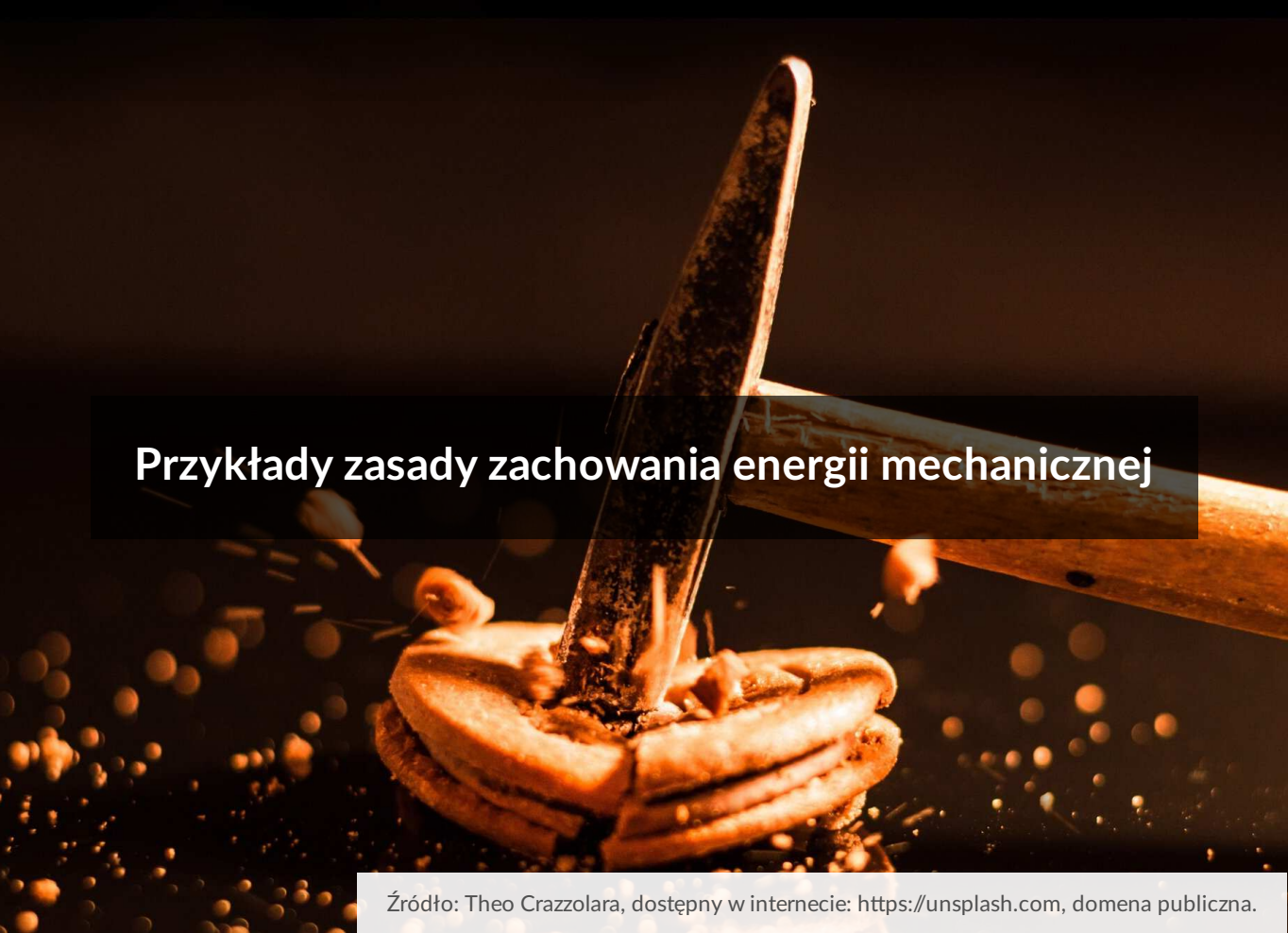




Przykłady zasady zachowania energii mechanicznej



Przykłady zasady zachowania energii mechanicznej

Źródło: Theo Crazzolaro, dostępny w internecie: <https://unsplash.com>, domena publiczna.

Zasada zachowania energii mechanicznej to jedno z podstawowych praw fizycznych. Została sformułowana już w XVIII wieku. Zakłada ona, że wartości energii mogą się zmieniać, ale całkowita energia pozostaje stała, jeśli żadne siły zewnętrzne nie wykonują pracy nad rozpatrywanym układem ciał. Energia może zmieniać swoją formę i przekształcać się np. z kinetycznej w potencjalną. Jaki wpływ na energię ciał mają zderzenia sprężyste i niesprężyste? Dowiesz się z tego materiału.

Twoje cele

- opisziesz, jakie mogą być rodzaje energii mechanicznej;
- uporządkujesz wiadomości dotyczące zasady zachowania energii;
- zdefiniujesz, czym są zderzenia sprężyste i niesprężyste;
- obliczysz zmiany energii na wybranych przykładach;

Przeczytaj

Do tej pory poznałeś podstawowe rodzaje energii mechanicznej – energię kinetyczną i potencjalną. Energia kinetyczna związana jest z ruchem ciała i zależy od jego prędkości. Energia potencjalna może być energią potencjalną grawitacji – zależna jest wtedy od względnego położenia ciała i wynika z działania siły grawitacji – lub energią potencjalną

sprężystości – wynika wtedy z działania siły sprężystości. Wyrażamy je następującymi wzorami:

- energia kinetyczna:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2},$$

gdzie:

m – masa,

v – prędkość;

- energia potencjalna grawitacji:

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h,$$

gdzie:

m – masa,

g – przyspieszenie ziemskie,

h – wysokość;

- energia potencjalna sprężystości:

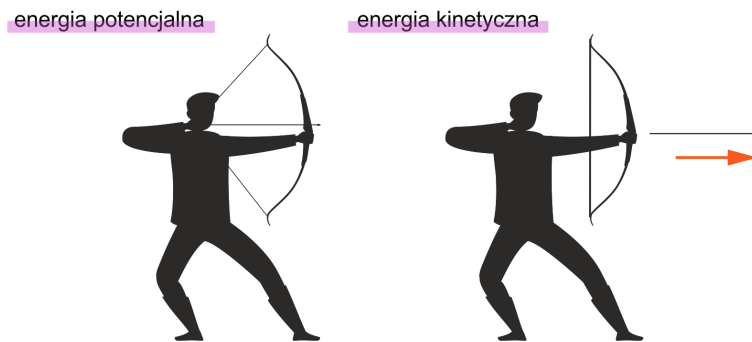
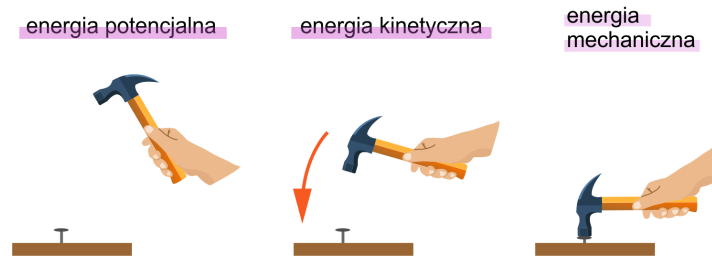
$$E_{ps} = \frac{k \cdot x^2}{2},$$

gdzie:

k – współczynnik sprężystości,

x – odkształcenie ciała.

Energie te mogą przechodzić jedna w drugą, ale energia mechaniczna całego układu jest zachowana zgodnie z zasadą zachowania energii.



Różne rodzaje energii mogą przechodzić w inne, ale energia mechaniczna układu pozostaje zachowana

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Przykład 1

Oblicz prędkość, jaką uzyska kamień na wysokości 2 metrów po wystrzeleniu z procy. Masa kamienia wynosi 5 g, proca została naciągnięta o 25 cm, a współczynnik sprężystości procy wynosi $13,2 \frac{\text{N}}{\text{m}}$. Załóż, że wystrzelenie kamienia jest bezstratne i jest on wyrzeliwany z wysokości 1 metra.

Rozwiązanie:

W opisanej sytuacji przed wystrzeleniem kamienia, posiada on energię potencjalną grawitacji i energię potencjalną sprężystości, a w interesującym nas momencie energię potencjalną grawitacji i energię kinetyczną. Z zasady zachowania energii wynika:

$$E_{pg1} + E_{ps} = E_{pg2} + E_k$$

a zatem:

$$m \cdot g \cdot h_1 + \frac{k \cdot x^2}{2} = m \cdot g \cdot h_2 + \frac{m \cdot v^2}{2}$$

po przemnożeniu stronami przez 2 otrzymujemy:

$$2 \cdot m \cdot g \cdot h_1 + k \cdot x^2 = 2 \cdot m \cdot g \cdot h_2 + m \cdot v^2$$

przekształcamy wzór aby obliczyć prędkość:

$$2 \cdot m \cdot g \cdot h_1 + k \cdot x^2 - 2 \cdot m \cdot g \cdot h_2 = m \cdot v^2$$

$$2 \cdot m \cdot g(h_1 - h_2) + k \cdot x^2 = m \cdot v^2$$

$$2 \cdot g(h_1 - h_2) + \frac{k \cdot x^2}{m} = v^2$$

a zatem:

$$v = \sqrt{2 \cdot g(h_1 - h_2) + \frac{k \cdot x^2}{m}}$$

po wstawieniu wartości liczbowych obliczamy prędkość:

$$x = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$k = 13,2 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 13,2 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

$$m = 5 \text{ g} = 0,005 \text{ kg}$$

$$h_1 = 1 \text{ m}$$

$$h_2 = 2 \text{ m}$$

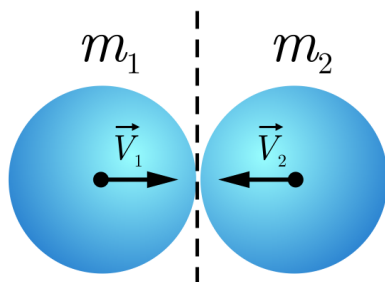
$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (1 \text{ m} - 2 \text{ m}) + \frac{13,2 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \cdot (0,25 \text{ m})^2}{0,005 \text{ kg}}} = \sqrt{-20 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 165 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

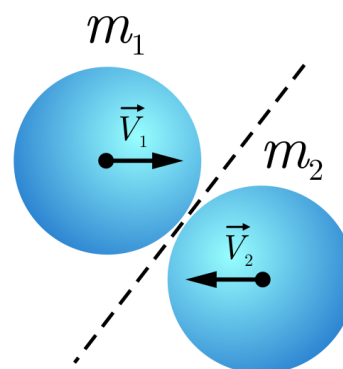
Zderzenie jest pojęciem powszechnie używanym w życiu codziennym. Pełni ono ważną rolę również w fizyce. Zderzenie to zjawisko występujące, gdy jedno ciało będące w ruchu styka się gwałtownie z innym ciałem. Nie wszystkie takie oddziaływania są jednakowe i mogą mieć zupełnie inny charakter. Efektem zderzenia może być rozpadnięcie się ciała na wiele elementów, dwa ciała mogą połączyć się w jedno lub ciała mogą odbijać się od siebie. Wyróżnia się zderzenia sprężyste i niesprężyste oraz centralne i niecentralne.

Zderzenie centralne to takie, w którym środki mas zderzających się ciał pozostają na prostej zarówno przed jak i po zderzeniu. Zderzenie niecentralne to takie, w wyniku którego przynajmniej jedno ciało zmienia kierunek swojego ruchu. Zderzenie niecentralne nazywane jest rykoszetem.

Zderzenie centralne



Zderzenie niecentralne



W zderzeniu centralnym środki mas i wektory prędkości zderzających się ciał znajdują się na jednej prostej, natomiast w zderzeniu niecentralnym tak nie jest

Na czym zatem polega sprężystość zderzeń? Sprężystość jest to właściwość ciał, która polega na przeciwstawianiu się efektowi odkształcenia czyli powracaniu do pierwotnego kształtu i rozmiaru po usunięciu działającej na ciało siły. Wiele materiałów posiada właściwości elastyczne np. guma, ale nawet takie jak stal, drewno czy kryształy. Sprężystość jest wprost proporcjonalna do siły, jaką ciało może wytrzymać bez uszkodzenia lub trwałej zmiany kształtu. Sprężystość może zależeć od wielu czynników jak temperatura (zwykle wzrost temperatury powoduje zmniejszenie sprężystości danego materiału) czy sama struktura lub zanieczyszczenia materiału. Elastyczność ciał można też modyfikować przez odpowiednią obróbkę.

W zależności zatem od zderzających się ciał zderzenia mogą być sprężyste lub niesprężyste. Bez względu na rodzaj zderzenia spełniona jest **zasada zachowania pędu** dla układu ciał. Oznacza to, że pęd układu przed zderzeniem jest taki sam jak po zderzeniu. Dla przypomnienia pęd wyrażany jest jako iloczyn masy m i prędkości v ciała:

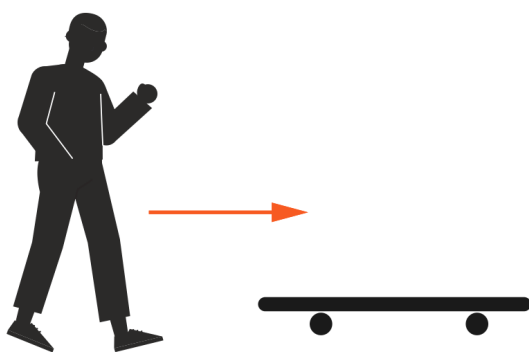
$$p = m \cdot v.$$

Występuje wtedy zarówno zachowanie pędu jak i energii kinetycznej. Oznacza to, że nie występuje żadna siła, która powodowałaby zmianę energii. Zasada ta spełniona jest tylko dla zderzeń doskonale sprężystych. W tym przypadku nie ma strat energii kinetycznej. Zderzenia jakie znamy z otaczającego nas świata nie są doskonale sprężyste, następuje rozproszenie pewnych ilości energii. Zderzenie, w którym energia kinetyczna zmienia się w inny rodzaj energii podczas tego zderzenia lub rozprasza się, jest zderzeniem niesprężystym. Należy tutaj wyróżnić zderzenie doskonale niesprężyste, w którym ciała po zderzeniu łączą się i poruszają dalej razem.

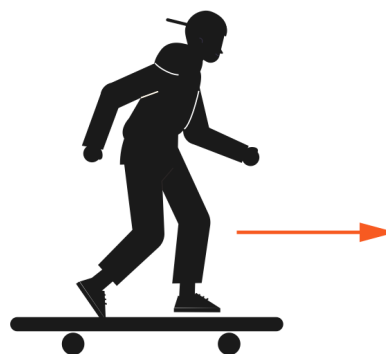
Przykład 2

Oblicz prędkość jaką uzyska wózek sklepowy o masie 7 kg po wskoczeniu do niego chłopca o masie 50 kg, biegnącego z prędkością $4 \frac{m}{s}$.

Przed zderzeniem



Po zderzeniu



Ilustracja do przykładu 2. Przed zdarzeniem porusza się jedynie postać, po zdarzeniu deskorolka porusza się z postacią

Rozwiązanie:

Sytuację można rozpatrywać jako zderzenie chłopca z wózkiem. W tej sytuacji zadziała zasada zachowania pędu. Pęd przed zderzeniem posiadał tylko chłopiec, po zderzeniu pęd posiadają połączone masy chłopca i wózka, a zatem:

$$m_{\text{ch}} \cdot v_1 = (m_{\text{ch}} + m_{\text{w}}) \cdot v_2$$

gdzie:

$$m_{\text{ch}} = 50 \text{ kg}$$

$$m_{\text{w}} = 7 \text{ kg}$$

$$v_1 = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

v_2 – to szukana prędkość wózka z chłopcem.

Po podstawieniu:

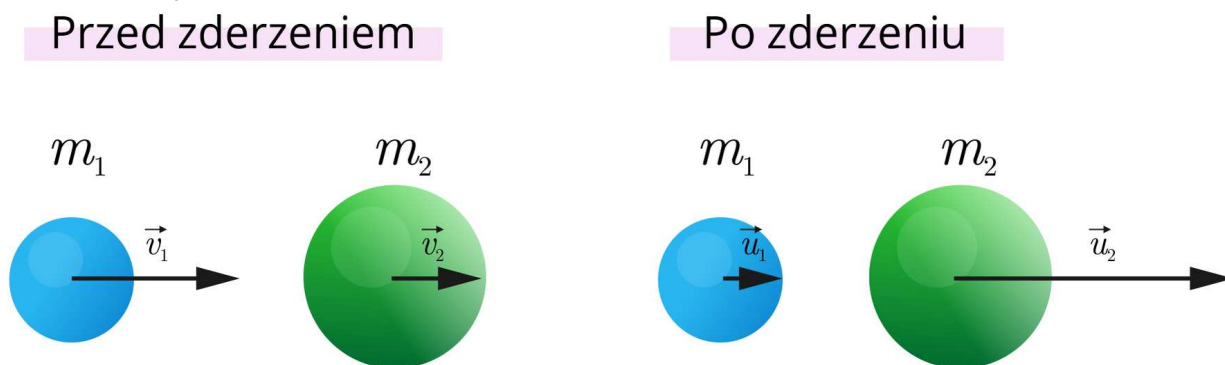
$$50 \text{ kg} \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} = (50 \text{ kg} + 7 \text{ kg}) \cdot v_2$$

$$v_2 = \frac{50 \text{ kg} \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{50 \text{ kg} + 7 \text{ kg}} = 3,51 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Przykład 3

Udowodnij, że opisane poniżej zderzenie jest zderzeniem sprężystym.

Piłka o masie 4 kg porusza się z prędkością $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ i zderza się z piłką o masie 2 kg poruszającą się z prędkością $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Po zderzeniu prędkość pierwszej piłki wynosi $\frac{5}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a drugiej piłki $\frac{2}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Ilustracja do przykładu 3. Zarówno przed zderzeniem, jak i po nim, środki mas kulek i ich wektory prędkości znajdują się na jednej prostej

Rozwiązanie:

Zderzenie sprężyste to takie, w którym zachowana jest energia kinetyczna, a zatem:

$$E_{\text{K przed}} = E_{\text{K po}}$$

$$E_{K \text{ przed}} = \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2}$$

$$E_{K \text{ po}} = \frac{m_1 \cdot u_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot u_2^2}{2}$$

gdzie:

m_1 – masa pierwszej piłki,

m_2 – masa drugiej piłki,

v_1 – prędkość pierwszej piłki przed zderzeniem,

v_2 – prędkość drugiej piłki przed zderzeniem

u_1 – prędkość pierwszej piłki po zderzeniu,

u_2 – prędkość drugiej piłki po zderzeniu.

Po podstawieniu:

$$E_{K \text{ przed}} = \frac{4 \text{ kg} \cdot \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} + \frac{2 \text{ kg} \cdot \left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 2 \text{ J} + 4 \text{ J} = 6 \text{ J}$$

$$E_{K \text{ po}} = \frac{4 \text{ kg} \cdot \left(\frac{5}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} + \frac{2 \text{ kg} \cdot \left(\frac{2}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = \frac{50}{9} \text{ J} + \frac{4}{9} \text{ J} = \frac{54}{9} \text{ J} = 6 \text{ J}$$

Podsumowując, kiedy ciała przylegają do siebie po zderzeniu, to zderzenie jest doskonale niesprężyste. Jeśli ciała nie połączyły się, to rodzaj zderzenia możemy opisać, jeśli określimy czy początkowa energia kinetyczna jest taka sama jak końcowa. Jeśli jest taka sama, to zderzenie jest doskonale sprężyste. Jeśli energia kinetyczna zmieniła się, to zderzenie jest niesprężyste. Jeżeli nie ma udziału sił zewnętrznych, to pęd jest zachowany w tych przypadkach.

W otaczającym nas świecie możemy spotkać się z wieloma przykładami zderzeń. Począwszy od sprężystych zderzeń między atomami, zderzeń bil podczas gry w bilard, czy kozłowaniu piłki, po niesprężyste zderzenia pojazdów. Podczas zderzeń występują straty energii, ale często nie są one duże, a zderzenia takie można traktować jak doskonale sprężyste.

Wiedza na temat zderzeń wykorzystywana jest w wielu dziedzinach nauki, w tym także w balistyce, do analizy ruchu pocisku. Stosuje się często urządzenie zwane wahadłem balistycznym. Pocisk jest wystrzelony w zawieszony drewniany, nieruchomy blok. Pewne ilości energii kinetycznej zamieniane są w ciepło i dźwięk podczas wystrzału, a pozostała część jest wykorzystywana do deformacji drewnianego bloku. Jest to zderzenie niesprężyste, w którym pęd jest zachowany. Dzięki temu po zderzeniu blok odchyła się. Innym sposobem zastosowania zderzeń w balistyce jest badanie toru pocisku w specjalnym żelu balistycznym. Energia kinetyczna pocisku jest w tym przypadku wytracana po zderzeniu z żelem.

Zderzenie niesprężyste - ilustracja interaktywna

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 1

Przyjmując, że masa kuli to m , prędkość kuli to v a masa klocka to M , zapisz ile wynosi suma pędów oraz suma energii kinetycznych w sytuacji pierwszej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 2

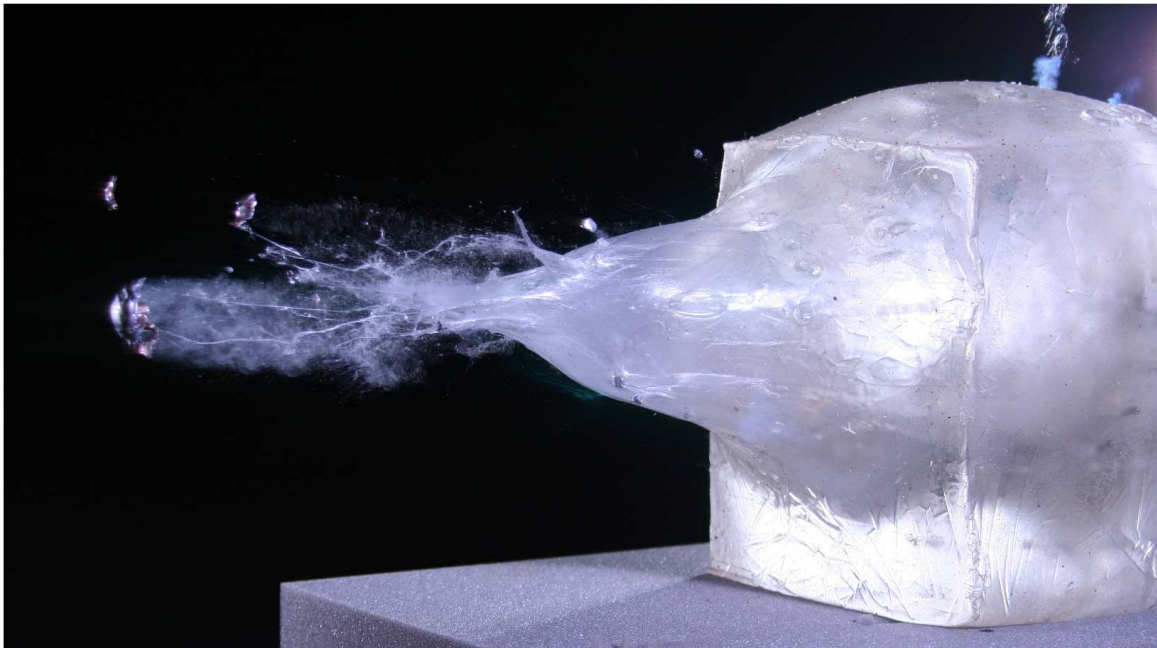
Przyjmując, że masa kuli to m a masa klocka to M , zapisz co dzieje się z energią w sytuacji drugiej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 3

Przyjmując, że masa kuli to m , prędkość kuli i klocka to u a masa klocka to M , zapisz ile wynosi suma pędów oraz suma energii kinetycznych w sytuacji trzeciej. Załóż, że klocek lewituje (a nie wisi).

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.



Pocisk przelatujący przez żel balistyczny wytraca energię

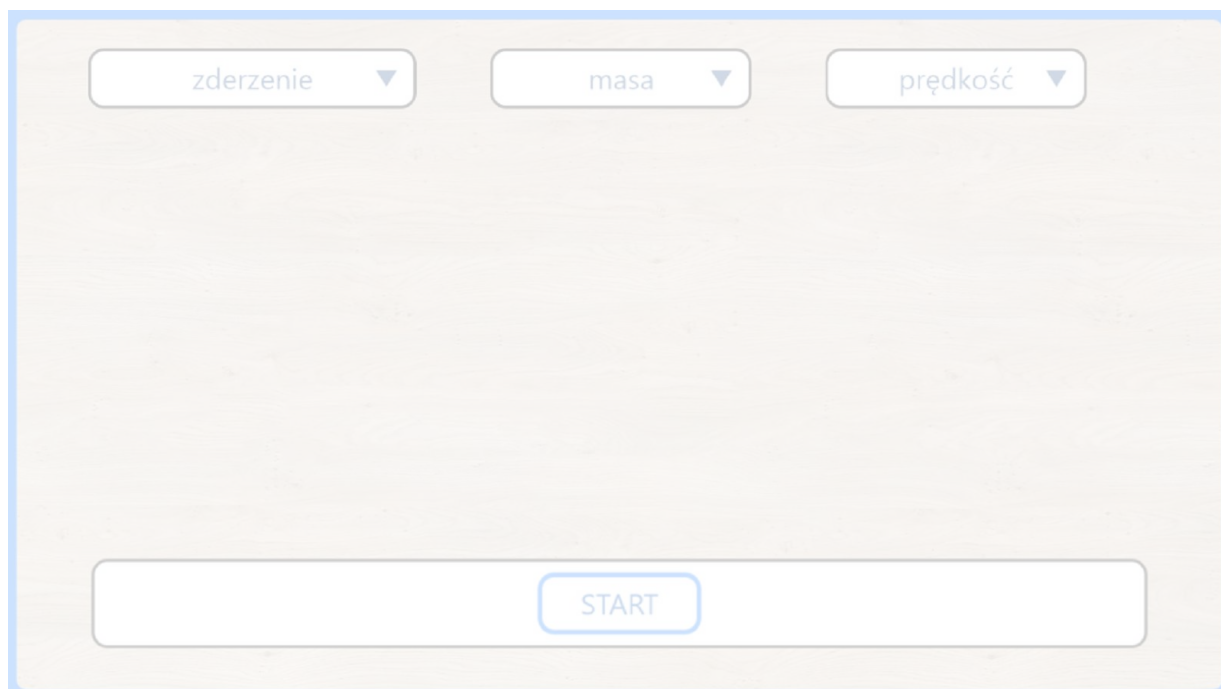
Źródło: dostępny w internecie: Wikipedia.org, licencja: CC BY-SA 3.0.

Wiedza o zderzeniach oraz zasada zachowania pędu i energii, znajduje swoje zastosowanie w analizie sportów. Oczywiście jest tutaj gra w bilard, która polega na zderzeniach kul i zmianach ich energii i prędkości. Możemy jednak pójść krok dalej i opisać w ten sposób nawet jazdę na deskorolce. Jazda zaczyna się od wejścia, wskoczenia na deskę, jest to więc rodzaj zderzenia niesprężystego, w wyniku którego dwa ciała zaczynają poruszać się razem. Podczas jazdy w skateparku [skejtpak] na tzw. halfpipe [hafpajp] (dwustronna rampa do wyskoków w kształcie litery U) następują dla odmiany ciągłe zmiany energii potencjalnej na kinetyczną i kinetycznej na potencjalną, dzięki czemu zawodnik może wyskoczyć ponad halfpipe i wykonać triki. Energia potencjalna zawodnika zależy od wysokości na jakiej się on znajduje - im jest wyżej, tym więcej ma energii potencjalnej. Zaczynając ruch na wysokości, zawodnik nie ma jeszcze energii kinetycznej, a dopiero zacznie ją zyskiwać jadąc w dół. Traci on wtedy energię potencjalną nabierając prędkości. Jego energia potencjalna zamienia się w energię kinetyczną. Po dotarciu do środka na dnie halfpipe'a, traci on całą energię potencjalną (przy założeniu, że znajduje się tam poziom zero), ale zyskuje dużo energii kinetycznej - posiada więc dużą prędkość. Dzięki temu zawodnik może wjechać na drugą stronę halfpipe'a i wyskoczyć w górę w celu wykonania trików. Podstawą jazdy jest zatem zasada zachowania energii - całkowita ilość energii kinetycznej i potencjalnej nie zmienia się, ale mogą być wzajemnie w siebie przekształcone. Oczywiście podczas jazdy na deskorolce zawodnik traci trochę energii na skutek tarcia kółek o podłoże. Z tego powodu jazda na deskorolce w górę i w dół halfpipe'a nie jest samoczynna i wymaga często dołożenia energii przez odepchnięcie się zawodnika.

Zasada zachowania energii czy energia zachowania pędu i zderzenia są powszechne i w mniejszej lub większej skali występują wokół nas.

Analiza ruchu

Poniższa symulacja służy do zobrazowania zderzeń centralnych sprężystych i niesprężystych. Po wyborze rodzaju zderzenia, stosunku mas kulek oraz stosunku ich prędkości zobaczysz, jak dobór tych parametrów wpływa na zachowanie kulek.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/b/PekWtWzIC>

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 4

Jak zachowują się kulki w sytuacji, gdy ich masy i prędkości są identyczne, a zderzenie jest sprężyste, a jak gdy zderzenie tych samych kulek jest niesprężyste? Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 5

Czy w zderzeniach sprężystych taka sama masa gwarantuje zawsze zachowanie prędkości kul po zderzeniu? Odpowiedz na pytanie. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 6

Wyjaśnij, dlaczego w przypadku zderzenia niesprężystego, kiedy kule mają takie same masy i takie same prędkości przed zderzeniem, a po zderzeniu zatrzymują się, to pęd jest zachowany. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Analiza ruchu – ciąg dalszy

Poniższe wirtualne laboratorium służy do zobrazowania wpływu masy na ruch ciał. Zobaczysz, jak dobór tych parametrów wpływa na zachowanie ciał.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/b/PekWtWzlc>

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Raport z wirtualnego laboratorium

Obserwacje:

Wnioski:

Polecenie 7

Zastanów się, czy rzeczywiście (jak to pokazano w pierwszej części powyższego multimedium) posiadanie większej masy ułatwiałyby jazdę na deskorolce. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 8

W którym momencie jazdy na deskorolce po rampie największa jest energia kinetyczna, a w którym energia potencjalna? Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 9

Postaraj się przewidzieć, co mogłoby się stać, gdyby kula z drugiej części powyższego multimedium była stworzona z lodu. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Sprawdź się

Ćwiczenie 1

Zaznacz poprawną odpowiedź.
W zderzeniach doskonale sprężystych

- zachowany jest tylko pęd.
- zachowana jest energia kinetyczna i pęd.
- zachowana jest tylko energia kinetyczna.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 2

Zaznacz poprawną odpowiedź.
W zderzeniu niesprężystym:

- zmienia się energia kinetyczna i pęd.
- energia kinetyczna nie zmienia się.
- energia kinetyczna zmienia się.
- zmienia się tylko pęd.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 3

Uzupełnij zdania.

Podczas zderzenia energia kinetyczna zachowana. Podczas zderzenia doskonale dwa ciała poruszające się naprzeciwko siebie łączą się ze sobą, a energia kinetyczna zachowana.

niesprężystego nie zostaje nie zostaje centralnego zostaje sprężystego

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 4

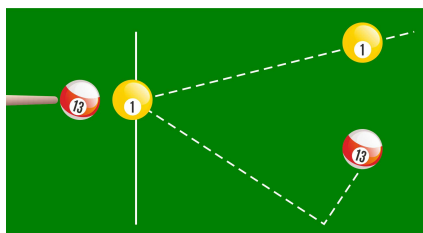
Zaznacz **Prawda** jeśli zdanie jest prawdziwe lub **Fałsz** jeśli jest fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Zderzenie samochodów jest zderzeniem doskonale sprężystym.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zderzenie samochodów jest zderzeniem doskonale niesprężystym.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Podczas zderzenia samochodów zachowany jest pęd układu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Podczas zderzenia samochodów nie jest zachowana energia kinetyczna.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

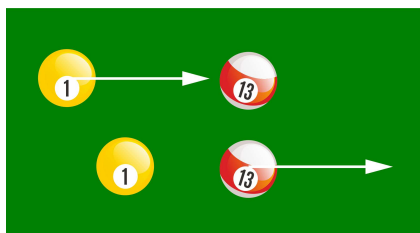
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 5

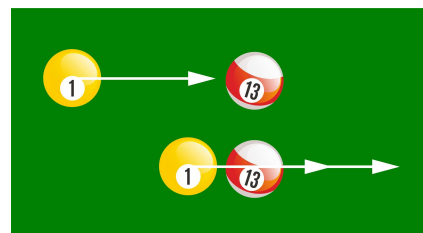
Do rysunków dobierz rodzaje zderzeń.



Zderzenie niecentralne sprężyste.



Zderzenie centralne sprężyste.



Zderzenie centralne niesprężyste.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 6

Określ, co stanie się z energią kinetyczną i pędem, gdy samochód o masie 900 kg zwiększy swoją prędkość od $10 \frac{m}{s}$ do $20 \frac{m}{s}$.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 7

Zaznacz dwie prawidłowe odpowiedzi. Ciało o masie 500 gramów poruszające się z prędkością $54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ posiada

pęd wynoszący $27 \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}}$.

pęd wynoszący $7,5 \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}}$.

energię kinetyczną wynoszącą 729 J.

energię kinetyczną wynoszącą 56,25 J.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 8

Ciało **A** o masie $2,5m$ poruszające się z prędkością $2v$ zderza się centralnie z ciałem **B** o masie $1,25m$, poruszającym się z prędkością v w przeciwnym kierunku. W wyniku zderzenia ciało **A** zatrzymuje się, a ciało **B** zaczyna się poruszać w przeciwnym kierunku niż pierwotnie. Wiedząc, że zderzenie było doskonale sprężyste (zachowana jest energia kinetyczna), zapisz energię kinetyczną ciała **B** po zderzeniu.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Słownik

zasada zachowania energii

zasada mówiąca o tym, że energia układu – na który nie działają siły spoza tego układu – przed zderzeniem jest taka sama, jak po zderzeniu.

zasada zachowania pędu

zasada mówiąca o tym, że pęd układu – na który nie działają siły spoza tego układu – przed zderzeniem jest taki sam, jak po zderzeniu; należy zwrócić uwagę na to, że pęd jest wielkością wektorową.

Bibliografia

Sagnowska B., Szot-Gawlik D., Godlewska M., Rozenbajgier M., Rozenbajgier R., 2017, *Świat fizyki*, Warszawa, WSiP

Notatki

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.