WIRTUALNE LABORATORIA FIZYCZNE NOWOCZESNĄ METODĄ NAUCZANIA

INNOWACYJNY PROGRAM NAUCZANIA FIZYKI W SZKOŁACH PONADGIMNAZJALNYCH

Moduł dydaktyczny: fizyka - informatyka

Energia mechaniczna

Elżbieta Kawecka

Człowiek - najlepsza inwestycja

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WARSZAWSKA WYŻSZA SZKOŁA INFORMATYKI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Tytuł: ***Energia mechaniczna***

Autor: ***mgr inż. Elżbieta Kawecka***

Redaktor merytoryczny: ***dr hab. inż. prof. WWSI Zenon Gniazdowski***

Materiał dydaktyczny opracowany w ramach projektu edukacyjnego
WIRTUALNE LABORATORIA FIZYCZNE NOWOCZESNĄ METODĄ NAUCZANIA.
PROGRAM NAUCZANIA FIZYKI
Z ELEMENTAMI TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH

www.wlf.wwsi.edu.pl

wlf@wwsi.edu.pl

Wydawca: Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki
ul. Lewartowskiego 17, 00-169 Warszawa
www.wwsi.edu.pl
rektorat@wwsi.edu.pl

Projekt graficzny: *Maciej Koczanowicz*

Warszawa 2013

Człowiek - najlepsza inwestycja

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

MODUŁ 5

ENERGIA MECHANICZNA

FIZYKA – ZAKRES ROZSZERZONY

OPRACOWANE W RAMACH PROJEKTU:

WIRTUALNE LABORATORIA FIZYCZNE NOWOCZESNĄ METODĄ NAUCZANIA.

PROGRAM NAUCZANIA FIZYKI

Z ELEMENTAMI TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH

Komentarz metodyczny

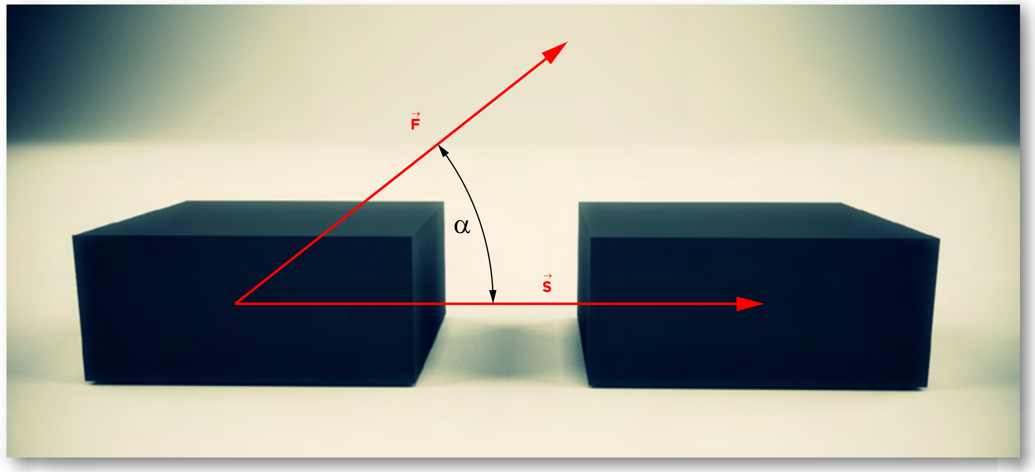
Realizacja opisanych tematów wymaga znajomości zagadnień i metod stosowanych w module „Ruch punktu materialnego". W szczególności dotyczy to analizy ruchu metodą wideo pomiarów, modelowania oraz opracowywania wyników pomiaru w arkuszu kalkulacyjnym. W ramach tego modułu można rozbudować poprzednie modele oraz wykorzystać posiadane dane pomiarowe do analizy przemian energii mechanicznej podczas ruchu ciał. Zaproponowane ćwiczenia mogą być realizowane na lekcjach fizyki i informatyki oraz na zajęciach dodatkowych, prowadzonych przez nauczycieli obu przedmiotów.

Wstęp do modułu

Zagadnienia realizowane w ramach tego modułu są znane z nauki fizyki w gimnazjum. Były one wprowadzane w uproszczonej formie, teraz zostaną uogólnione i rozszerzone. Zaczniemy od definicji pracy i jej związku z różnymi rodzajami energii mechanicznej oraz definicji mocy. Zaproponowane doświadczenie pokazuje prosty sposób wyznaczania sprawności maszyn prostych na przykładzie kołowrotu. Kolejne zagadnienia dotyczą zasady zachowania energii mechanicznej, która jest szczególnym przypadkiem fundamentalnego prawa fizyki – prawa zachowania energii. Na zakończenie zajmiemy się zastosowaniem praw zachowania energii i pędu w zderzeniach sprężystych i niesprężystych.

Temat 1
Praca

Podczas nauki w gimnazjum praca była definiowana jako wielkość fizyczna o wartości równej iloczynowi siły i przesunięcia. Analizowane były przykłady, gdy kierunek i zwrot siły był zgodny z kierunkiem i zwrotem wektora przesunięcia. Teraz uogólnimy pojęcie pracy. Rozważmy sytuację, gdy wektor siły $\vec{F}$ tworzy z wektorem przesunięcia $\vec{s}$ kąt α (rys. 1.1).



Rys. 1.1.

Pracę W wykonaną przez siłę $\vec{F}$ przy przesunięciu ciała o wektor $\vec{s}$ definiujemy jako iloczyn wartości: siły, przesunięcia i kosinusa kąta α między wektorami siły i przesunięcia.

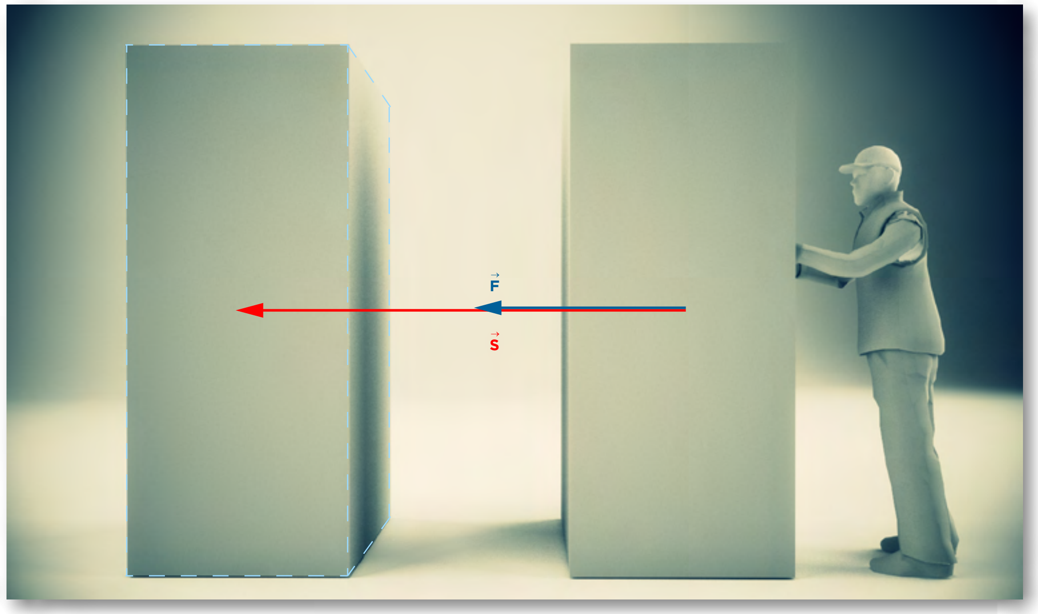
$$W = F \cdot s \cdot cos\alpha$$

Praca jest wielkością skalarną, może przyjmować wartości dodatnie i ujemne, a nawet zero!

Jednostką pracy jest dżul (J).

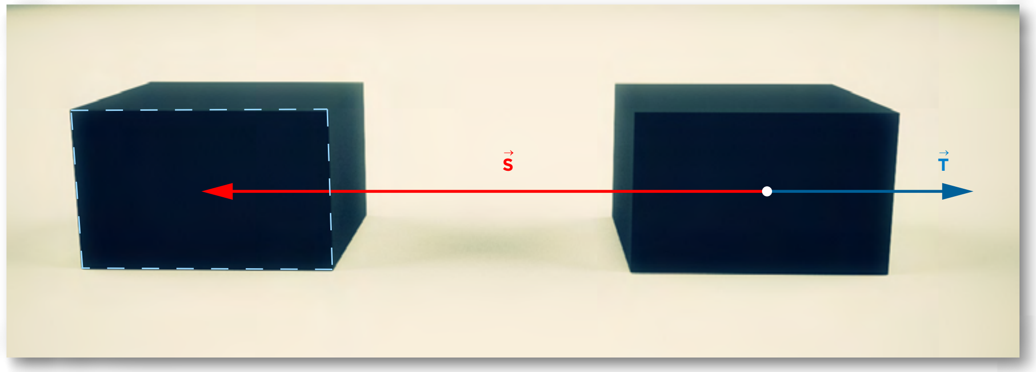
Wzór na pracę upraszcza się w szczególnych sytuacjach:

- Gdy $\alpha = 0^o$ to praca jest dodatnia i równa $W = F \cdot s$, gdyż $\cos 0^o = 1$, (rys. 1.2)



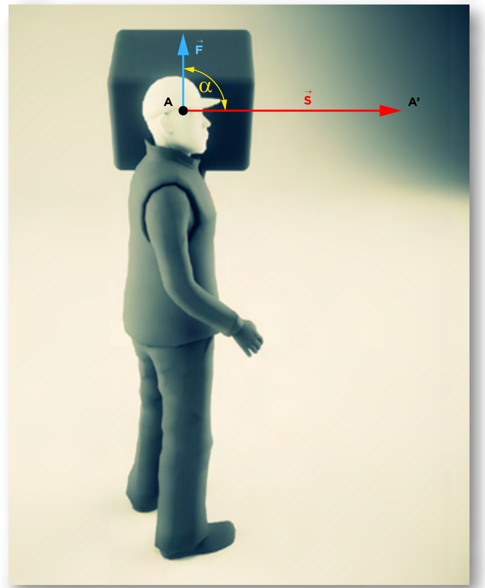
Rys. 1.2. Przesuwając ciężką szafę po podłodze wykonujemy pracę W>0

- Gdy $\alpha = 180^o$, to praca jest ujemna i równa $W = -F \cdot s$, gdyż $\cos 180^o = -1$, (rys. 1.3)



Rys. 1.3. Praca wykonana przez siłę tarcia jest ujemna.

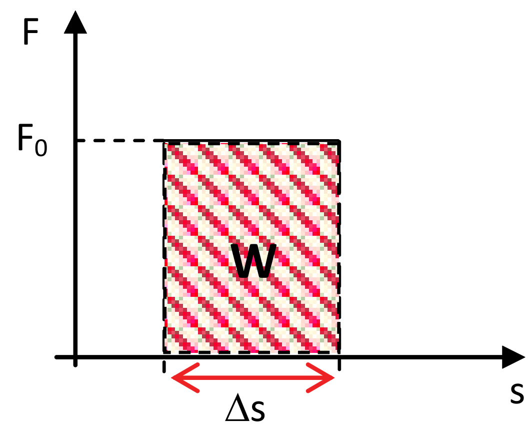
- Gdy $\alpha = 90^o$, to praca jest równa zero ($W = 0$), gdyż $\cos 90^o = 0$, (rys. 1.4)



Rys .1.4. Praca wykonana przy przenoszeniu ciężaru jest równa zero!

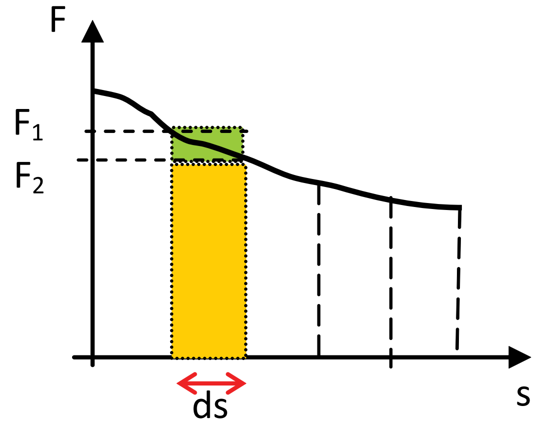
Pracę można obliczyć na postawie wykresu zależności siły od przesunięcia.

Gdy siła jest stała, praca jest równa polu prostokąta (rys. 1.5).



Rys. 1.5. Praca stałej siły jest równa polu prostokąta $W = F_0 \cdot \Delta s$

Gdy siła jest zmienna (rys. 1.6), aby obliczyć pole pod wykresem, trzeba podzielić cały obszar na wąskie paski o szerokości *ds* i wysokości równej wybranej wartości siły dla tego przedziału. Jeśli wybierzemy wartość siły z końca przedziału (F_2), to obliczone pole $F_2 \cdot ds$ będzie mniejsze od pola pod wykresem. Gdy zaś wybierzemy wartość siły dla wartości s na początku przedziału (F_1), to obliczone pole $F_1 \cdot ds$ będzie większe od pola pod wykresem. Aby zwiększyć dokładność obliczeń należy zmniejszyć wartość *ds*. Wartości sumy tych pól możemy obliczyć w arkuszu kalkulacyjnym.



Rys. 1.6. Praca zmiennej siły jest równa polu pod wykresem F(s).

Projekt interdyscyplinarny – Obliczanie pracy zmiennej siły w arkuszu kalkulacyjnym

Temat 2

Energia kinetyczna i potencjalna

Wykonanie pracy może zmienić energię ciała. Na razie zajmiemy się tylko energią mechaniczną: kinetyczną i potencjalną.

Ciało posiada **energię kinetyczną**, jeśli się porusza. Ze względu na rodzaj ruchu wyróżniamy:

- energię kinetyczną ruchu postępowego $E_k = \frac{mv^2}{2}$, proporcjonalną do masy i kwadratu prędkości ciała,
- energię kinetyczną ruchu obrotowego $E_{ko} = \frac{I\omega^2}{2}$, proporcjonalną do momentu bezwładności ciała i kwadratu prędkości kątowej.

Przykład 2.1.

Praca a energia kinetyczna

Wyznaczmy pracę jaką trzeba wykonać, aby rozpędzić ciało o masie m do prędkości v.

Załóżmy, że na spoczywające ciało działamy stałą siłą F, której kierunek i zwrot jest zgodny z kierunkiem i zwrotem wektora przesunięcia. Zgodnie z II zasadą dynamiki ciało porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, czyli obowiązują następujące zależności:

$$a = \frac{F}{m}$$

$$s = \frac{at^2}{2}, \qquad v = at, \qquad (v_0 = 0)$$

Praca

$$W = F \cdot s = ma \cdot s = ma \cdot \frac{at^2}{2} = \frac{m(at)^2}{2} = \frac{mv^2}{2}$$

Zatem wykonana praca jest równa energii kinetycznej ciała.

W podobny sposób można wykazać, że praca wykonana przy zmianie prędkości jest równa zmianie energii kinetycznej ciała.

$$W = E_{k2} - E_{k1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

Przykład 2.2.

Ruch z tarciem

Samochód hamujący na poziomym, prostoliniowym torze, z wyłączonym silnikiem, zmniejsza prędkość od 90 km/h do 60 km/h. Oblicz drogę przebytą przez hamujący samochód, jeśli współczynnik tarcia opon o jezdnię wynosi 0,7. Opór powietrza pomijamy.

Dane:

$$v_1 = 90\frac{km}{h} = \frac{90 \cdot 1000m}{3600s} = 25\frac{m}{s}$$

$$v_2 = 60\frac{km}{h} = \frac{60 \cdot 1000m}{3600s} \approx 16{,}7\frac{m}{s}$$

$$f = 0{,}4$$

$$s = ?$$

Praca wykonana przez siłę tarcia opon o jezdnię jest równa zmianie energii kinetycznej samochodu, czyli:

$$-fmgs = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

gdzie m oznacza masę samochodu.

Po wykonaniu przekształceń matematycznych, otrzymujemy:

$$s = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2fg}$$

$$s = \frac{25^2 - (16{,}7)^2}{2 \cdot 0{,}7 \cdot 9{,}81} \approx 25{,}2m$$

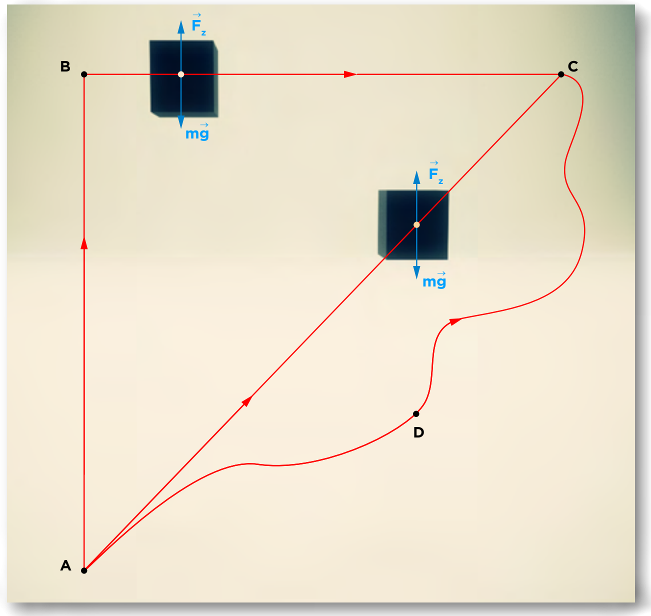
$$[s] = \frac{(\frac{m}{s})^2}{\frac{m}{s^2}} = m$$

Odp. Hamujący samochód przebył drogę około 25,2 m.

Pokazaliśmy, że wykonanie pracy może zmienić energię kinetyczną ciała, zmieniając wartość prędkości. A co w przypadku, gdy podnosimy ciało ze stałą prędkością, działając siłą równą co do wartości ciężarowi ciała ?

Zmiana położenia ciała w polu grawitacyjnym może spowodować zmianę **energii potencjalnej ciężkości** (grawitacyjnej). Pole grawitacyjne ma bardzo ważną własność: jest polem zachowawczym. Praca wykonana przez siły pola (lub siły równoważące siły pola) nie zależy od wyboru drogi, po której przesuwamy ciało, a tylko od położenia początkowego i końcowego (rys. 2.1).

Praca wykonana przez siłę zewnętrzną (równoważącą siły pola) jest równa różnicy energii potencjalnej ciała w położeniu końcowym i początkowym.



Rys. 2.1. Zachowawczy charakter pola grawitacyjnego.

$$W = E_{p2} - E_{p1}.$$

Wartość energii potencjalnej ciała zależy od jego masy i od wysokości ponad przyjęty poziom zerowy.

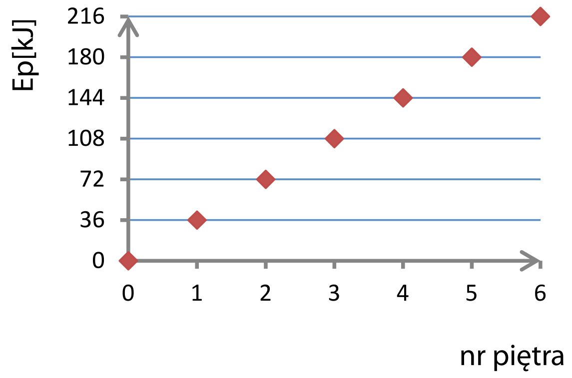
$$E_p = mgh$$

gdzie m – masa ciała, g – przyspieszenie ziemskie, h – wysokość ponad przyjęty poziom zerowy.

Posiadanie energii potencjalnej oznacza zdolność do wykonania pracy. Jeśli podniesiemy piłkę lekarską na pewną wysokość, wykonamy pracę równą przyrostowi energii potencjalnej piłki. Piłka spoczywająca na pewnej wysokości posiada energię potencjalną, która podczas spadku piłki może zostać zamieniona na energię kinetyczną i pracę sił oporu.

Przykład 2.3.

Sześciopiętrowy budynek mieszkalny obsługuje winda, której masa wraz z dwoma pasażerami wynosi 900 kg. Wysokość każdego piętra wynosi 4 m. Oblicz i przedstaw na wykresie energię potencjalną windy na poszczególnych piętrach. Przyjmij $g = 10\frac{m}{s^2}$. A jaka będzie energia potencjalna windy, gdy zjedzie ona do piwnicy położonej 5 m poniżej parteru?



Dane:

m = 900 kg

h_1 = 4 m

y = 5 m

E_p (h) = ?

Przyjmijmy poziom odniesienia energii potencjalnej na wysokości parteru budynku. Energia potencjalna windy na poziomie pierwszego piętra wynosi:

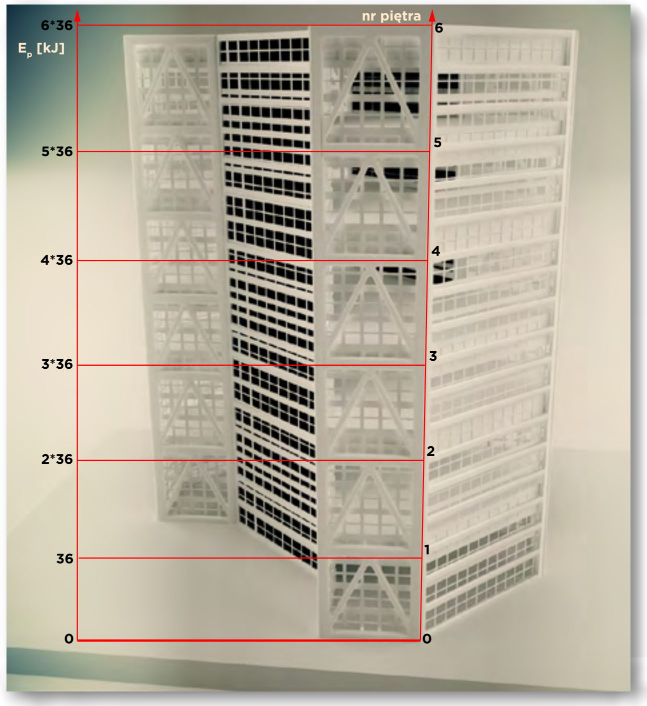
$$E_{p1} = mgh_1 = 900kg \cdot 10\frac{m}{s^2} \cdot 4m = 36kJ$$

Wykres energii potencjalnej windy na kolejnych piętrach można przedstawić w postaci wykresu punktowego lub jako „drabinkę” wartości energii (rys. 2.2).

Energia potencjalna windy na poziomie piwnicy jest ujemna i równa:

$$E_{p(-1)} = 900kg \cdot 10\frac{m}{s^2} \cdot (-5m) = -45kJ$$

Energię potencjalną ciężkości uzyskaną podczas wjazdu wyciągiem na szczyt góry wykorzystują narciarze w czasie zjazdu.



Rys. 2.2. Zmiany energii potencjalnej windy.

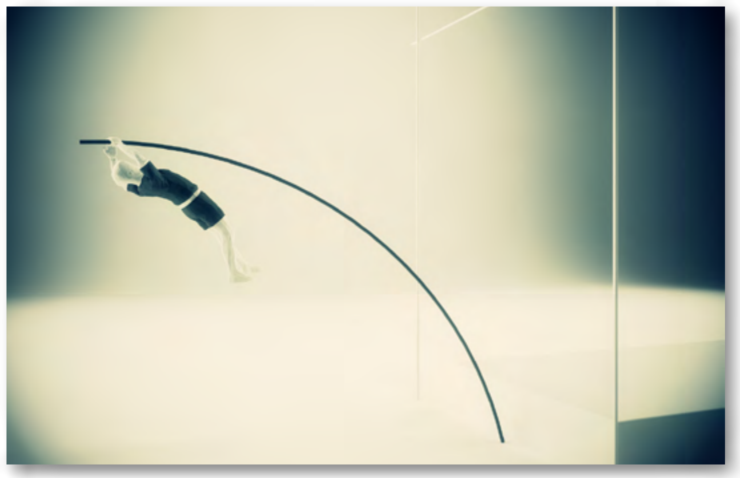
Obejrzyj animację.

Innym przykładem energii potencjalnej jest **energia potencjalna sprężystości**. Posiada ją na przykład rozciągnięta lub ściśnięta sprężyna, napięta cięciwa łuku, ugięty batut czy tyczka lekkoatlety wygięta podczas skoku (rys. 2.3).

Energia potencjalna sprężystości jest równa pracy wykonanej przy odkształceniu sprężystym (zmianie wymiarów) ciała. Można ją obliczyć według zależności:

$$E_{ps} = \frac{kx^2}{2}$$

gdzie k – współczynnik sprężystości, x – miara odkształcenia, np. wydłużenie sprężyny.



Rys. 2.3. Podczas skoku o tyczce sportowiec wykorzystuje energię potencjalną sprężystości.

Energią potencjalną sprężystości i jej przemianami zajmiemy się szerzej w module „Drgania i fale mechaniczne”.

Temat 3

Moc i sprawność

Często posługujemy się pojęciem mocy i sprawności różnych urządzeń. Przypomnijmy definicję mocy i jej jednostki.

Moc określa szybkość wykonywania pracy. Można ją obliczyć dzieląc pracę przez czas jej wykonania:

$$P = \frac{W}{t}$$

Uwaga: Moc jest zawsze dodatnia, więc w przypadku, gdy praca jest ujemna we wzorze należy wstawić wartość bezwzględną pracy.

Podstawową jednostką mocy w układzie SI jest wat (W).

$$1\,W = \frac{1J}{1s} = \frac{Nm}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3}$$

Można też spotkać inne jednostki. Na przykład moc silnika samochodu podaje się w koniach mechanicznych (KM). Jest to jednostka, która powstała w XIX wieku w Niemczech, aby porównać moc maszyn parowych z mocą zaprzęgów konnych.

$$1\,KM \approx 735{,}5\,W$$

Współczesne samochody posiadają silniki o mocy od kilkudziesięciu do kilkuset koni mechanicznych. Ich moc jest związana z pojemnością i rodzajem silnika.

Innym ważnym parametrem charakteryzującym różne urządzenia wykorzystywane w życiu codziennym i technice jest **sprawność**, określająca stopień wykorzystania zużytej energii. Sprawność urządzenia jest zdefiniowana jako stosunek pracy (energii) uzyskanej do pracy (energii) włożonej.

Sprawność może być wyrażona w procentach i wtedy obliczamy ją według wzoru:

$$k = \frac{W}{E} \cdot 100\%$$

gdzie *k* – sprawność, *W* – wykonana praca, *E* – energia potrzebna do wykonania pracy *W*.

Przykładem urządzeń mechanicznych, ułatwiających wykonanie pracy są maszyny proste.

Patrz: Doświadczenie 1. Badanie sprawności kołowrotu

Temat 4

Zasada zachowania energii mechanicznej

Wiemy już, że wykonując pracę można zmienić energię kinetyczną lub potencjalną ciała. Praca wykonana przez siły zewnętrzne jest równa zmianie energii mechanicznej ciała, czyli:

$$W = \Delta E_{mech} = \Delta(E_p + E_k)$$

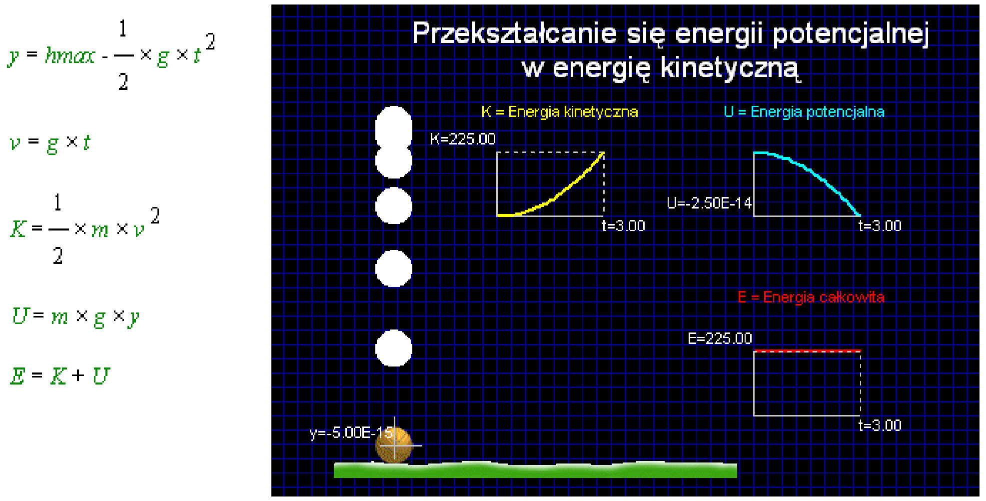
(Uwaga. Na razie ograniczamy się tylko do energii mechanicznej. W ogólnym przypadku wykonując pracę możemy też zmienić energię wewnętrzną ciała (lub układu fizycznego). Na przykład praca wykonana przez siły oporu, a w szczególności siłę tarcia, zamienia się na ciepło. Praca wykonana przy szybkim sprężaniu gazu powoduje wzrost temperatury, a więc energii wewnętrznej gazu. Zagadnienia te będą omawiane w module „Termodynamika".)

A co się dzieje w sytuacji, gdy nie działają siły zewnętrzne, gdy pomijamy opory ruchu?

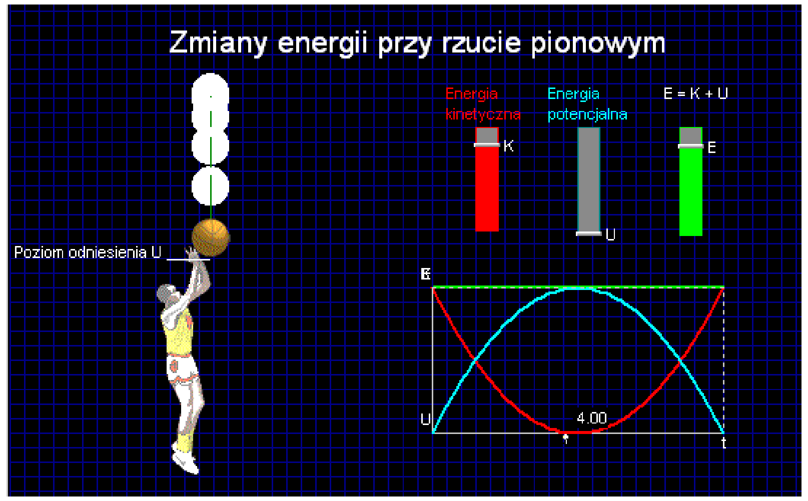
Wtedy ciało zachowuje swoją energię mechaniczną, czyli suma energii kinetycznej i potencjalnej jest stała.

$$E_k + E_p = const.$$

Oznacza to, że wzrostowi energii kinetycznej odpowiada taki sam spadek energii potencjalnej i na odwrót. Najprostszym przykładem jest analiza przemian energii spadającego swobodnie (rys. 4.1) lub wyrzuconego pionowo do góry ciała (rys. 4.2).



Rys. 4.1. Model i animację ilustrującą przemiany energii swobodnie spadającej piłki możesz obejrzeć w programie Modellus.



Rys. 4.2. Suma energii kinetycznej i potencjalnej piłki jest stała.

Podobne wykresy możesz otrzymać analizując dane otrzymane w czasie rejestracji ruchu piłki (lub innych obiektów) za pomocą detektora ruchu lub stosując metodę wideopomiarów.

Ćwiczenie 4.1.

Uruchom symulację Energy Skate Park ze strony [http: //phet.colorado.edu/en/simulation/energy-skate-park](http://phet.colorado.edu/en/simulation/energy-skate-park).

1. Przeanalizuj przemiany energii deskorolkowca z pominięciem oporów ruchu.
   a. Obserwuj wykresy zależności energii kinetycznej i potencjalnej deskorolkowca od czasu podczas ruchu.
   b. Wyświetl wykres zależności energii kinetycznej i potencjalnej deskorolkowca od jego położenia. Zwróć uwagę na różnice w stosunku do poprzedniego wykresu.
2. Przeanalizuj przemiany energii i ruch deskorolkowca z uwzględnieniem siły tarcia. Wyświetl wykres energii w funkcji czasu. Dlaczego maleje energia mechaniczna?
3. Sprawdź jak poruszałby się deskorolkowiec, gdyby tor przenieść na Jowisz i na Księżyc. Opisz i wyjaśnij przyczyny zaobserwowanych zmian.

Przemiany energii zachodzące podczas ruchu można analizować bawiąc się w wesołym miasteczku czy podczas występu akrobatów. Dużo emocji dostarcza zawsze tzw. „pętla śmierci". Jeśli masz w pracowni przyrząd zwany „Martwą pętlą" (rys. 4.3) wykonaj doświadczenie 2 (patrz: Doświadczenie 2) i porównaj uzyskane wyniki z obliczeniami.

Rys. 4.3. Z jakiej wysokości należy puścić kulkę, aby zatoczyła pełny okrąg?

Innym przykładem urządzenia wykorzystującego przemiany energii jest koło wodne (rys. 4.4). Koła wodne o różnej konstrukcji, znane już w czasach średniowiecza, stosowano do zamiany energii potencjalnej i kinetycznej wody na pracę użyteczną.

W zabytkowej Kuźni Wodnej w Gdańsku Oliwie ([http: //pl.wikipedia.org/wiki/Zabytkowa_Ku%C5%BAnia_Wodna_w_Oliwie](http://pl.wikipedia.org/wiki/Zabytkowa_Ku%C5%BAnia_Wodna_w_Oliwie)) znajduje się młot napędzany kołem wodnym. Ułatwiało to pracę kowalom, gdyż podnoszenie ciężkiego młota wymagało wykonania pracy równej jego energii potencjalnej.

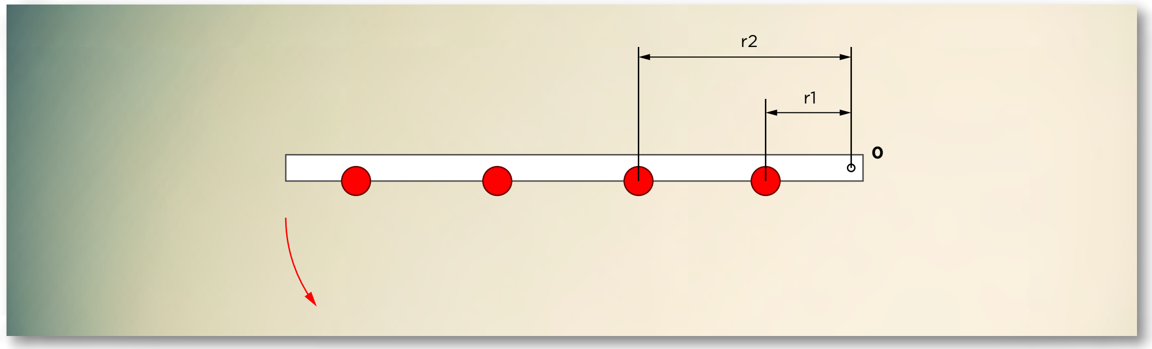
Rys. 4.4. Koło wodne na Gowienicy w Babigoszczy (źródło: [http: //pl.wikipedia.org/wiki/Plik: Gowienica_w_Babigoszczy.jpg](http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Gowienica_w_Babigoszczy.jpg) – plik udostępniony jest na licencji Creative Commons CC0 1.0 Uniwersalna Licencja Domeny Publicznej)

Przykład 2.4.

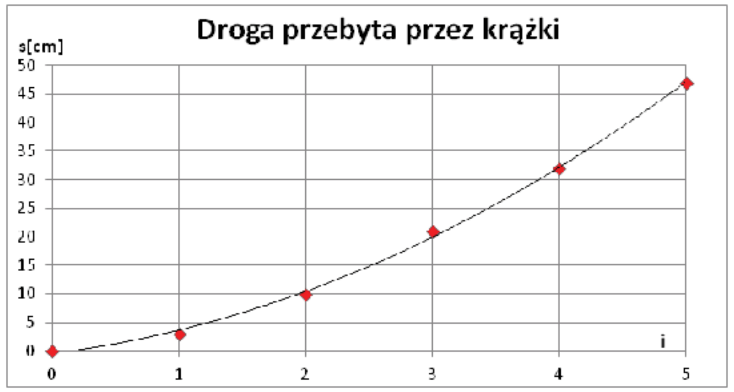
Dlaczego krążki układają się na paraboli?

W długiej wąskiej deseczce wycięto przy brzegach, w równych odstępach, kilka półkolistych otworów, a przez jeden z końców przewiercono dziurkę. Gdy deseczka leży płasko na podłodze, bolec przechodzący przez tę dziurkę stanowi oś (punkt O), wokół której deseczkę możemy obracać. W półkoliste otwory wkładamy dopasowane do nich jednakowe, płaskie, metalowe krążki (rys. 4.5).

Przyciskamy bolec do podłogi i wprawiamy deseczkę w ruch obrotowy, a po chwili zatrzymujemy. Krążki poruszają się dalej, a każdy z nich przebywa inną drogę do chwili zatrzymania. Obserwacje i wyniki pomiarów przedstawione na wykresie (rys 4.6) pokazują, że krążki po zatrzymaniu ułożą się na paraboli.



Rys. 4.5. Schemat zestawu doświadczalnego.



Rys. 4.6. Wyniki pomiarów odległości przebytych przez kolejne krążki.

Jak wyjaśnić wynik doświadczenia?

Załóżmy, że podłoże jest jednorodne, tj. że współczynnik tarcia jest wszędzie taki sam, i że nie zależy on od prędkości.

Poszukajmy odpowiedzi na następujące pytania:

1. Jak mają się do siebie prędkości poszczególnych krążków w chwili „wystrzelenia" ?
2. Jak mają się do siebie drogi, które krążki przebywają na podłodze?

Ponieważ odległości r_i („i" numeruje krążki) krążków od osi obrotu są różne, to i prędkości liniowe v_i krążków są różne: $v_i = \omega r_i$, gdzie ω jest prędkością kątową obracanej deski.

Naszą deskę zrobiono tak, że

$$r_1 : r_2 : r_3 : r_4 : r_5 = 1 : 2 : 3 : 4 : 5.$$

Mamy więc też

$$v_1 : v_2 : v_3 : v_4 : v_5 = 1 : 2 : 3 : 4 : 5.$$

Jak mają się do siebie odległości s_i przebyte przez poszczególne krążki po zatrzymaniu deski?

Na poruszające się krążki działa siła tarcia. Zostały one „wystrzelone" z prędkościami początkowymi v_i, więc ich energie kinetyczne są równe $E_k^{(i)} = mv_i^2/2$. Ponieważ masy krążków są równe, mamy

$$E_k^{(1)} : E_k^{(2)} : ... : E_k^{(5)} = v_1^2 : v_2^2 : ... : v_5^2 = 1 : 4 : 9 : 16 : 25.$$

Na każdy z krążków działa ta sama siła tarcia T. Energia kinetyczna każdego z krążków idzie na wykonanie pracy przeciw sile tarcia:

$$E_k^{(i)} = W_i = T\, s_i.$$

Ponieważ energie kinetyczne mają się do siebie jak 1 : 4 : 9 : 16 : 25, stosunki wykonanej pracy są takie same, a więc i stosunki przebytych odległości.

Wykres zależności drogi przebytej przez krążki od ich prędkości (a także od numeru krążka) ma kształt paraboli.

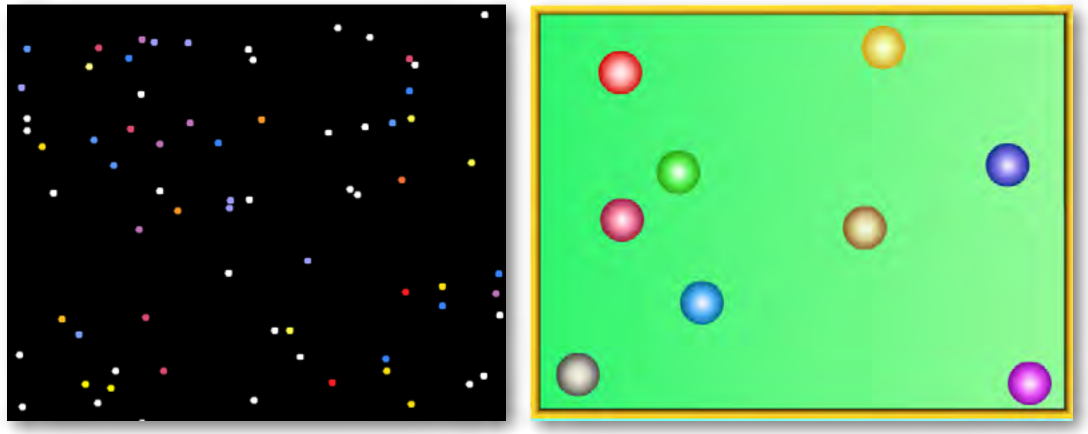
Temat 5

Zderzenia sprężyste i niesprężyste

Zderzenia ciał analizowaliśmy już w module „Ruch punktu materialnego" przy omawianiu prawa zachowania pędu, które obowiązuje we wszystkich rodzajach zderzeń.

Analiza zderzeń z punktu zachowania energii mechanicznej prowadzi do ich podziału na zderzenia sprężyste i niesprężyste.

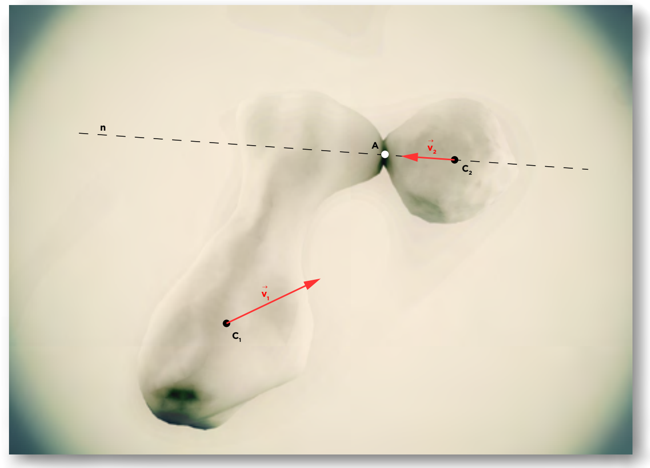
Zderzenia sprężyste to zderzenia, w których jest zachowana energia kinetyczna, to znaczy suma energii kinetycznych zderzających się ciał jest taka sama przed i po zderzeniu. Oczywiście jest to sytuacja idealna, ale dobrym przykładem zderzeń sprężystych mogą być zderzenia kul bilardowych, zderzenia cząsteczek gazu (rys. 5.1) czy zderzenia cząstek elementarnych.



Rys. 5.1. W symulacjach zderzeń sprężystych cząsteczek gazu (http: //www.falstad.com/gas) i kul bilardowych (http: // fatcat.ftj.agh.edu.pl/~mof/gajda/) zastosowano prawo zachowania energii mechanicznej i prawo zachowania pędu.

Czy zderzenia kul metalowych kołyski Newtona to zderzenia sprężyste?

W przypadku zderzeń ciał o różnych rozmiarach ważna jest też geometria układu (rys. 5.2). Jeśli środki masy zderzających się ciał (C_1 i C_2) leżą na linii zderzenia (prostej normalnej do powierzchni styku obu ciał podczas zderzenia) to takie zderzenie nazywamy centralnym.



Rys. 5.2. Zderzenie niecentralne może spowodować ruch obrotowy.

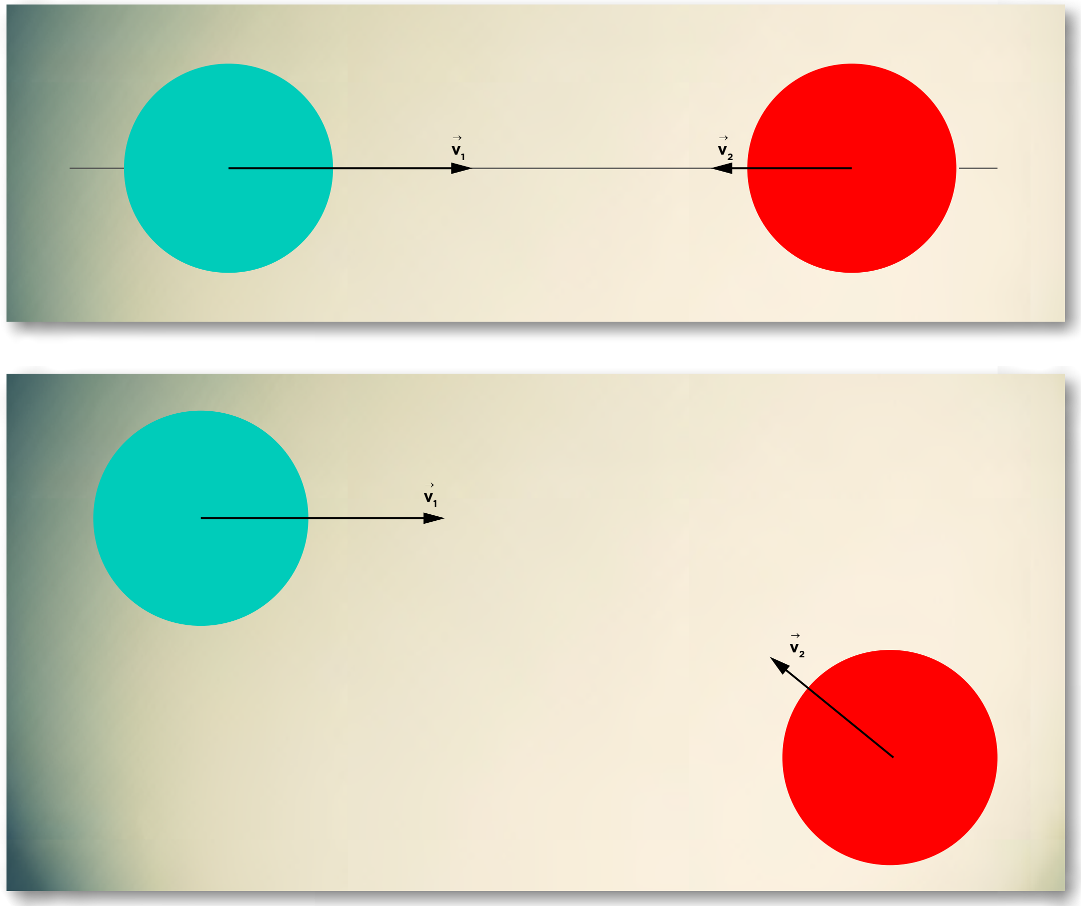
Zderzenia centralne (rys. 5.3) mogą być **proste** (jeśli wektory prędkości leżą na prostej przechodzącej przez środki masy ciał) lub **skośne**.

Ograniczymy się do zderzeń centralnych, gdy środki masy ciał leżą na linii zderzenia.

Rozważmy zderzenia dwóch kul o masach m_1 i m_2. Oznaczmy prędkości kul przed zderzeniem przez $\overrightarrow{v_1}, \overrightarrow{v_2}$, a po zderzeniu: $\overrightarrow{u_1}, \overrightarrow{u_2}$. W zderzeniu sprężystym spełnione są prawa zachowania energii mechanicznej i pędu, czyli:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}$$

$$m_1 \overrightarrow{v_1} + m_2 \overrightarrow{v_2} = m_1 \overrightarrow{u_1} + m_2 \overrightarrow{u_2}$$

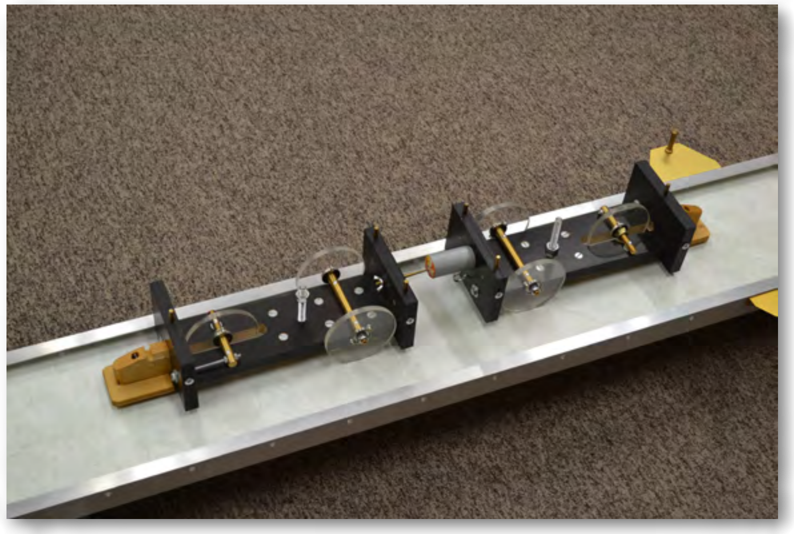


Rysunek 5.3. Zderzenia centralne: proste i skośne.

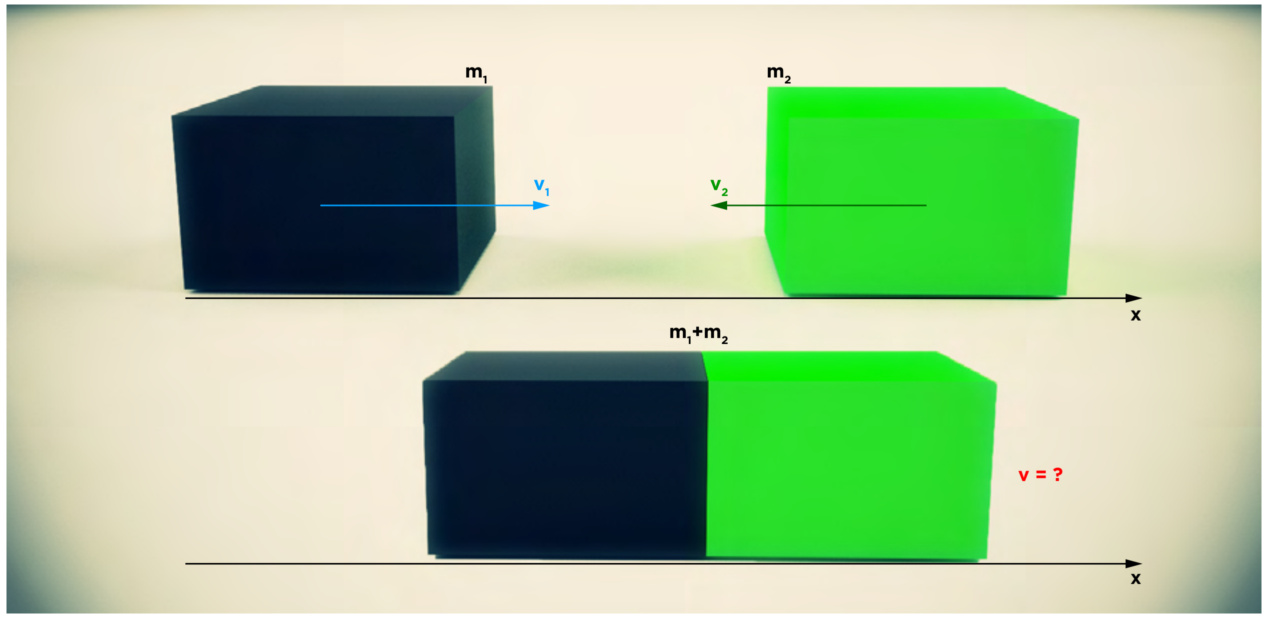
Rozwiązanie układu tych równań w ogólnym przypadku umożliwia wyliczenie prędkości kul po zderzeniu pod warunkiem, że znamy ich masy i prędkości przed zderzeniem. Doświadczenia zarejestrowane na filmie można analizować techniką wideopomiarów. Obejrzyj animację wybranych przypadków zderzeń.

W zderzeniach niesprężystych energia kinetyczna ciał po zderzeniu jest mniejsza niż przed zderzeniem. W przypadku, gdy zderzające się ciała łączą się w trakcie zderzenia i po zderzeniu poruszają się razem, mówimy o **zderzeniu doskonale niesprężystym**.

Przykładem mogą być zderzenia wózków, gdy do jednego przymocujemy zderzak z plasteliną, a do drugiego metalowy bolec (rys. 5.4).



Rys. 5.4. Podczas zderzenia wózki łączą się.



Rys. 5.5. Zderzenie doskonale niesprężyste.

Uproszczony schemat takiego zderzenia przedstawia rysunek 5.5.

Prędkość obu ciał po zderzeniu obliczamy z zasady zachowania pędu. Zgodnie z oznaczeniami i przyjętym zwrotem osi x (rys. 5.5) otrzymujemy:

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v$$

$$v = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

Po podstawieniu danych liczbowych i wykonaniu obliczeń możemy otrzymać wynik dodatni, ujemny lub zero, co odpowiada sytuacji, gdy po zderzeniu ciała poruszają się odpowiednio w prawo, w lewo lub zatrzymują się.

Innym przykładem zderzeń niesprężystych są zderzenia samochodów. Aby zwiększyć bezpieczeństwo kierowcy i pasażerów podczas wypadków drogowych ciągle poszukuje się nowych rozwiązań technicznych. Prowadzone są liczne testy laboratoryjne i symulacje komputerowe oparte na modelach, uwzględniających prawa fizyki, elementy konstrukcji i wytrzymałość materiałów. Istotnym założeniem tych modeli jest fakt, że duża część początkowej energii zderzających się obiektów zamienia się na energię wewnętrzną (ciepło) i pracę związaną z odkształceniem samochodów.

Człowiek - najlepsza inwestycja

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego