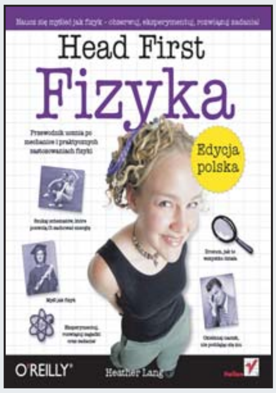
helion.pl

Head First. Fizyka. Edycja polska



Autor: Heather Lang
Tłumaczenie: Julia Szajkowska, Paweł Szajkowski
ISBN: 978-83-246-2178-1
Tytuł oryginału: Head First Physics: A Learner
Format: 200×230, stron: 936

Naucz się myśleć jak fizyk – obserwuj, eksperymentuj, rozwiązuj zadania!

Jeśli przeraża Cię myśl o kolejnej klasówce z fizyki, chciałbyś zrozumieć, jak funkcjonuje otaczający Cię świat, albo lubisz poznawać nowe rzeczy – ta niezwykła książka jest właśnie dla Ciebie. Masz przed sobą nowoczesny podręcznik, skonstruowany według najnowszych metod z zakresu teorii nauczania. Dzięki niemu nie tylko zrozumiesz prawa fizyki, ale również polubisz rozwiązywanie zadań z tej dziedziny. Oto książka, z którą fizyka stanie się Twoim ulubionym przedmiotem.

Książka „Head First. Fizyka. Edycja polska” stanowi kompletny podręcznik do mechaniki i podstawowych zastosowań fizyki. Dzięki niej opanujesz zapis liczb w notacji naukowej, poznasz jednostki układu SI, dowiesz się, jak pracować z wektorami, zrozumiesz zasady dynamiki Newtona i prawa rządzące ruchem po okręgu oraz prostym ruchem harmonicznym. Krótko mówiąc, z pomocą tego podręcznika nauczysz się utożsamiać wiedzę fizyczną ze zjawiskami, które obserwujesz codziennie wokół siebie, a także wykształcisz w sobie umiejętność rozwiązywania rozmaitych problemów fizycznych.

- Wykresy, równania i wektory
- Równania ruchu
- II i III zasada dynamiki Newtona
- Zasada zachowania energii
- Ruch obrotowy i ruch po okręgu
- Potencjał grawitacyjny
- Funkcje sinus i cosinus
- Prosty ruch harmoniczny

Z tym podręcznikiem fizyka stanie się prosta i fascynująca!

Helion SA
ul. Kościuszki 1c
44-100 Gliwice
tel. 032 230 98 63
e-mail: helion@helion.pl

Spis treści (skrócony)

Spis treści (z prawdziwego zdarzenia)

Wstęp

Twój mózg a fizyka. Wyobraź sobie — starasz się *nauczyć* fizyki, a Twój *mózg* próbuje wyświadczyć Ci przysługę, upewniając się, żeby nic z tego, co czytasz, *nie zostało Ci w głowie.* Mózg myśli „Lepiej stąd wyjdźmy i zajmijmy się naprawdę ważnymi sprawami. Trzeba zastanowić się, których dzikich zwierząt należy unikać w dżungli, a poza tym wcale nie wiemy, czy jazda na desce snowboardowej nago jest takim złym pomysłem". Dlatego warto opracować plan przechytrzenia Twojego mózgu — niech uważa, że Twoje życie zależy od poznania fizyki!

Myśl jak fizyk

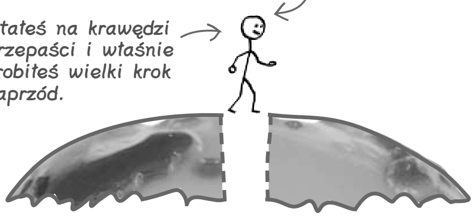
1

Na początku...

Fizyka to nauka opisująca otaczający Cię świat i sposób działania jego poszczególnych elementów. Każdego dnia **stykasz się** z fizyką! Niemniej na samą myśl o **uczeniu się** fizyki możesz **czuć się**, jak gdybyś wpadał w dół bez dna — dół, z którego nie ma ucieczki. Nie przejmuj się tym, albowiem z niniejszego rozdziału dowiesz się, co powinieneś zrobić, by **myśleć jak fizyk**. Nauczysz się, w jaki sposób należy zagłębiać się w problemy fizyczne oraz jak korzystać z **intuicji**, by dostrzegać w tych problemach **prawidłowości** i **„punkty szczególne”**, których znajomość ułatwia rozwiązywanie zadań. Umiejętność **stawania się** częścią problemu fizycznego pozwoli Ci zbliżyć się o jeden krok do uzyskania odpowiedzi na nurtujące Cię pytanie.

Rozwiązywanie wszystkich problemów fizycznych zaczynaj od ustalenia, co działo się w chwilach początkowych zdarzenia, które chcesz opisać. Następnie STAWAJ SIĘ częścią problemu!

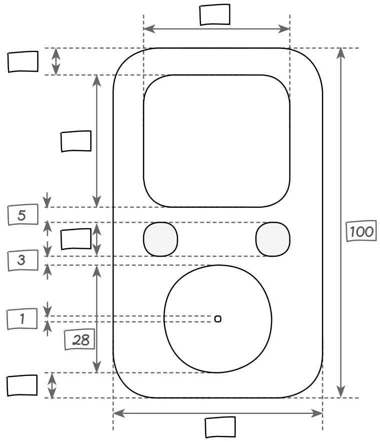
Stałeś na krawędzi przepaści i właśnie zrobiłeś wielki krok naprzód.



Nadajmy temu wszystkiemu jakieś ZNACZENIE

2 Jednostki i pomiary

Jak długi jest kawałek sznurka? Podstawą fizyki są **pomiary** określające **rozmiary** obiektów. W tym rozdziale nauczysz się korzystać z **jednostek** i **zaokrąglać** wyniki tak, by uniknąć pomyłek. Dowiesz się też, dlaczego **błędy** są tak ważne w fizyce. Gdy zakończysz lekturę, będziesz już wiedzieć, czy dany zapis jest **znaczący**, i na pewno wyrobisz sobie własne zdanie na temat, czy rozmiar **jest** faktycznie wszystkim.



Długość

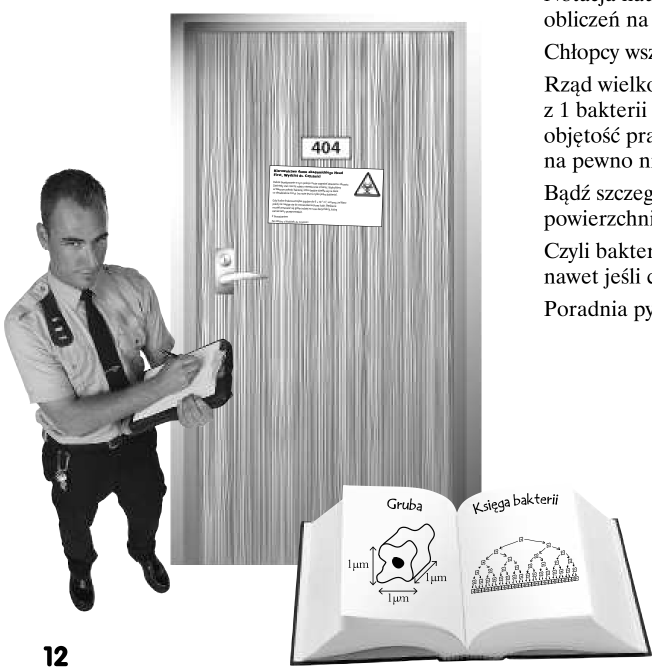
Czas

Masa

Notacja naukowa oraz pole powierzchni i objętość

3 Wszystkie liczby duże i małe

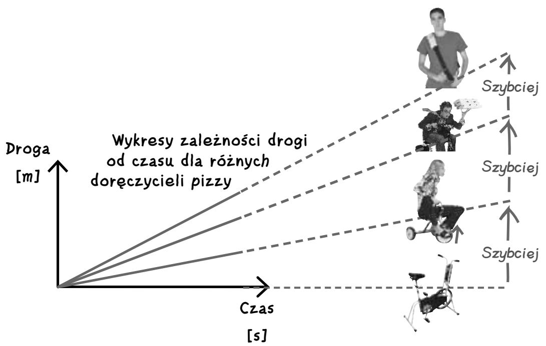
W prawdziwym świecie nieraz zetkniesz się z różnymi typami liczb, nie tylko z tymi, które wyglądają przyjemnie. Z tego rozdziału dowiesz się, jak radzić sobie z niewygodnymi liczbami za pomocą **notacji naukowej** oraz dlaczego zaokrąglanie dużych liczb nie musi oznaczać zapisywania dziesiątków zer na końcu każdej z nich. Nowo nabyte umiejętności będziesz miał okazję wypróbować, starając się okiełznać jednostki **pola** i **objętości** . Dzięki notacji naukowej unikniesz wielu trudności (i zaoszczędzisz nieco czasu) podczas pracy z liczbami.



Równania i wykresy

4 Nauka języka

Porozumiewanie się to podstawa. Jesteś na doskonałej drodze, by myśleć jak fizyk, ale musisz jeszcze nauczyć się **przekazywać swoje myśli**. W tym rozdziale przedstawię Ci dwa uniwersalne narzędzia pozwalające komunikować się z innymi ludźmi — **wykresy** i **równania** — obrazy, które *przemówią z siłą tysiąca słów*, opisując wykonane doświadczenia i problemy fizyki, z którymi przyjdzie Ci się zmierzyć. *Zobaczyć znaczy uwierzyć.*

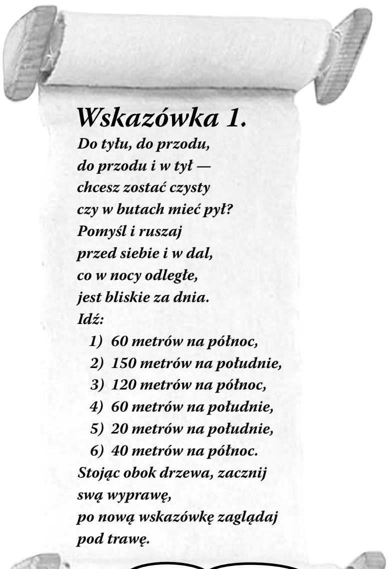


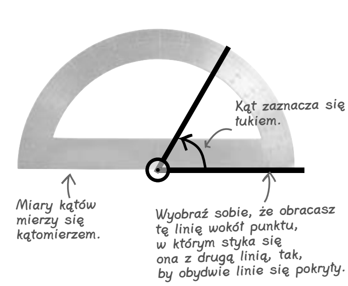
Zabawa w kierunki

5 Wektory

Czas, szybkość i odległość to bardzo przydatne parametry, ale jeśli chcesz coś osiągnąć w życiu, potrzebujesz KIERUNKU.

Posiadłeś już kilka supermocy fizyka: nauczyłeś się, czym są wykresy i równania, umiesz również na oko ocenić rząd wielkości odpowiedzi, których szukaniem zajmujesz się, rozwiązując zadania z fizyki, ale **wielkość** to nie wszystko. Z niniejszego rozdziału dowiesz się, czym są **wektory**. Dzięki tej wiedzy w Twoich odpowiedziach zaczną pojawiać się informacje o **kierunkach**. Ponadto nauczysz się szukać **skutecznych skrótów** na drodze do rozwiązań problemów, które wydają się być skomplikowane.





Przemieszczenie, prędkość i przyspieszenie

6

O co chodzi?

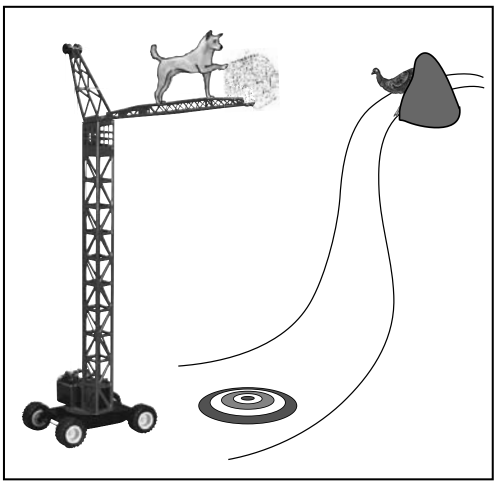
Ciężko śledzi się naraz więcej niż jedną rzecz. Wyobraź sobie spadający przedmiot. W tym samym **czasie** powinieneś śledzić jego **przemieszczenie**, **prędkość** i **przyspieszenie**. W jaki sposób odnotować wszystkie trzy czynniki i nie pominąć niczego istotnego? Z tego rozdziału dowiesz się, jak rozwinąć supermoce **doświadczenia**, **wykresu** i **nachylenia**, aby przygotować się na spięcie tego wszystkiego **równaniem** czy dwoma.

Równania ruchu (część I)

7 Czas na równania

Już czas, żebyś osiągnął wyższy stopień wtajemniczenia.

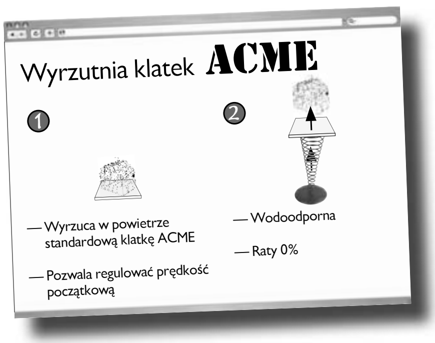
Do tej pory, uczestnicząc w przygotowanym przeze mnie kursie fizyki, zajmowałeś się projektowaniem i przeprowadzaniem eksperymentów, rysowaniem rozmaitych wykresów, a także wymyślaniem równań na podstawie kształtu niektórych spośród tych wykresów. Poznałeś wiele przydatnych umiejętności, ale polegając tylko na nich, nie zajdziesz zbyt daleko, ponieważ na świecie, oprócz wykresów łatwych do zinterpretowania, istnieją również wykresy przedstawiające linie, które nie są liniami prostymi. W tym rozdziale zajmiemy się poszerzeniem Twojej wiedzy matematycznej, abyś robiąc odpowiednie **podstawienia**, mógł dojść do jednego z ważnych równań fizyki. Dokładniej mówiąc, poznasz i zrozumiesz **równanie ruchu** nierozerwalnie związane z wykresem zależności przemieszczenia od czasu, opisującym ruch swobodnie spadającego obiektu. Ponadto osobiście sprawdzisz, że warto swoje odpowiedzi poddawać **testowi** W.J.W.P.



Równania ruchu (część II)

8 Wyżej, w górę i... znów na dół

Wszystko, co wzleci, musi kiedyś opaść. Wiesz już, jak radzić sobie z przedmiotami, które swobodnie **spadają** na ziemię. Świetnie, ale co z pozostałą częścią problemu? Co z ciałami **wystrzelonymi** w powietrze? W tym rozdziale poznasz trzecie z kluczowych **równań ruchu**. Mając do dyspozycji taki arsenał, **poradzisz sobie** z (prawie) **wszystkim**! Dowiesz się też, jak rozwiązywać problemy nierozwiązywalne za pomocą odrobiny **symetrii**.

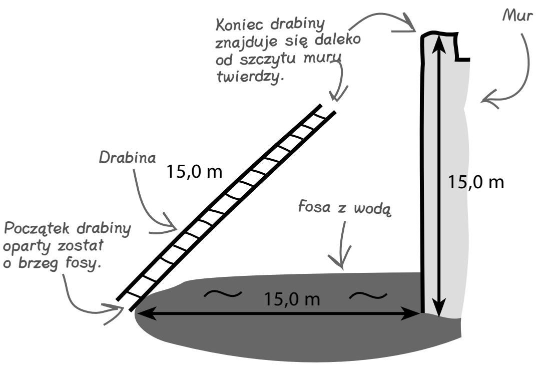


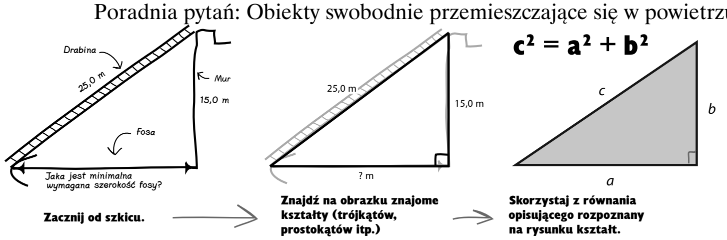
Trójkąty, trygonometria i trajektorie

9 Przejście w drugi wymiar

Potrafisz już rozwiązywać jednowymiarowe problemy fizyczne. Co powiesz na to, żebyśmy zajęli się czymś bardziej życiowym?

W prawdziwym życiu obiekty nie poruszają się tylko w górę i w dół, ale również na boki! Jednak nie ma powodu do niepokoju, albowiem już niedługo zyskasz nowe, **trygonometryczne** supermoce, dzięki którym wszędzie będziesz dostrzegał **trójkąty prostokątne**, a to umożliwi Ci **sprowadzanie zadań wyglądających na skomplikowane do prostych problemów fizycznych, które potrafisz rozwiązać**.

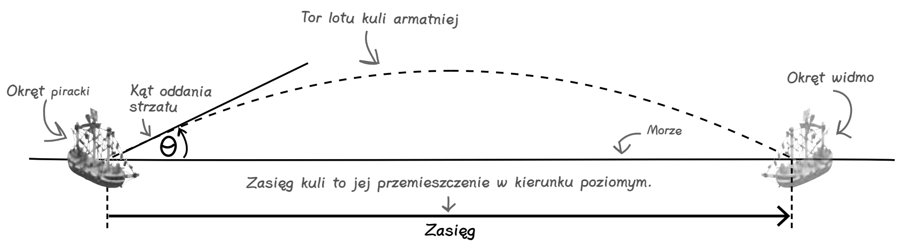




10 Zasada zachowania pędu

Co zrobił pan Newton?

Nikt nie lubi żyć w niewiedzy. Jak dotąd nauczyłeś się radzić sobie z problemami, w których ciała były już w ruchu. Ale co wprawia je w ruch? Wiesz, że ciało zacznie się poruszać, jeśli coś je popchnie — ale *jak* będzie się poruszać? W tym rozdziale nauczysz się, dzięki **zasadom dynamiki Newtona**, pokonywać **bezwładność**. Dowiesz się także, czym jest pęd i dlaczego podlega **zasadzie zachowania** oraz jak wykorzystywać ją do rozwiązywania zadań.

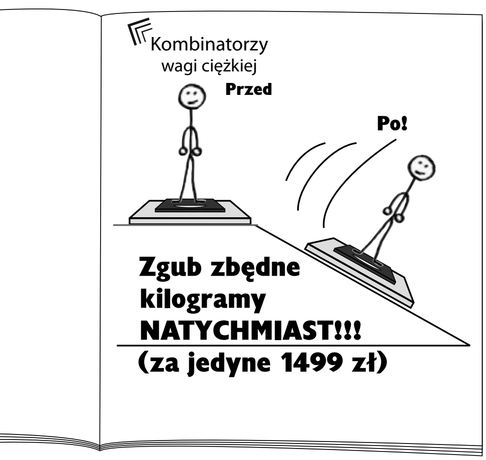


Ciężar i siła normalna

11 Siły na start

Czasami musisz wspomóc się siłą argumentów.

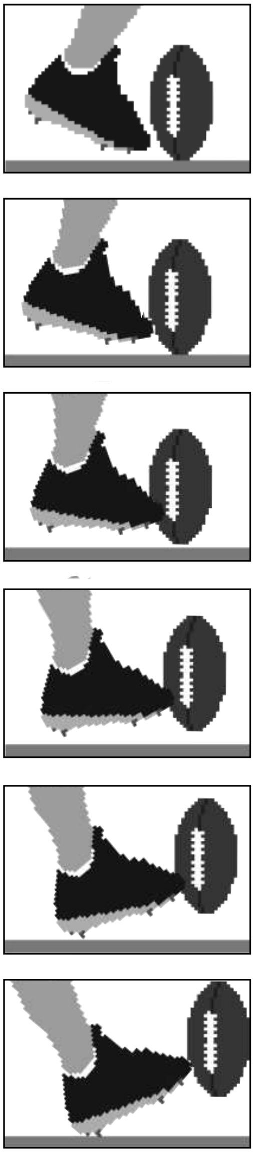
W tym rozdziale wykorzystasz swoją wiedzę na temat zasady zachowania pędu i wyprowadzisz dzięki niej **II zasadę dynamiki Newtona**, $\mathbf{F_{wyp}} = m\mathbf{a}$. Mając do dyspozycji to równanie, **III zasadę dynamiki Newtona** (akcja-reakcja) i wiedzę o sporządzaniu **diagramu rozkładu sił**, dasz sobie radę z (prawie) wszystkim. Dowiesz się też, czym różni się masa od **ciężaru**, i nauczysz się pomagać sobie w dyskusjach **siłą normalną** argumentów.



O posługiwaniu się siłami, pędem, tarciem oraz popędem siły

12 Poukładajmy to jakoś

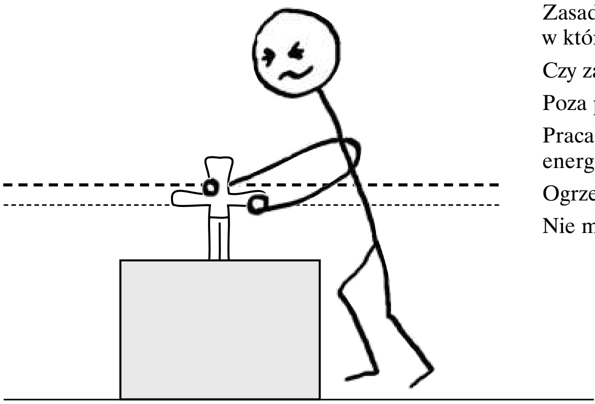
Zapamiętanie całego mnóstwa wzorów nie zda Ci się na nic, jeśli nie będziesz umiał ich zastosować. Znasz już równania ruchu, potrafisz rozkładać wektory na składowe, narysować diagram rozkładu sił, wiesz też, czym są zasady dynamiki Newtona. Z tego rozdziału dowiesz się, jak stosować wszystkie te narzędzia do rozwiązywania **bardziej złożonych** problemów fizycznych. Nieraz zdarzy Ci się odkryć, że problem, z którym się mierzysz, **przypomina** Ci coś, co już kiedyś robiłeś. Postaramy się też dodać nieco realizmu do rozwiązywanych zadań przez wprowadzenie **siły tarcia** i pokażemy Ci, dlaczego **popęd siły** bywa czasami pomocny.



Moment siły i praca

13 Chwila uniesienia

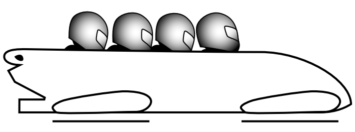
Fizyka pozwala dokonywać nadludzkich czynów. W tym rozdziale dowiesz się, jak wykorzystać moment obrotowy, by za pomocą dźwigni dać pokaz niezwykłej siły. Ale jak wiadomo, na świecie nie ma nic za darmo — **energia** musi być **zachowana**, więc **praca**, jaką musisz wykonać, by nadać ciału **energię potencjalną grawitacji**, będzie zawsze taka sama.



Zasada zachowania energii

14 Ułatw sobie życie

Po co się męczyć, skoro można ułatwić sobie życie? Na razie rozwiązywałeś wszystkie problemy, posługując się równaniami ruchu, siłami i składowymi wektorów. To doskonałe narzędzia, ale czasami wiążą Cię na długi czas w skomplikowanych obliczeniach matematycznych. Z tego rozdziału dowiesz się, jak zauważać, kiedy możesz uprościć rozwiązanie skomplikowanego problemu, posługując się **zasadą zachowania energii**.



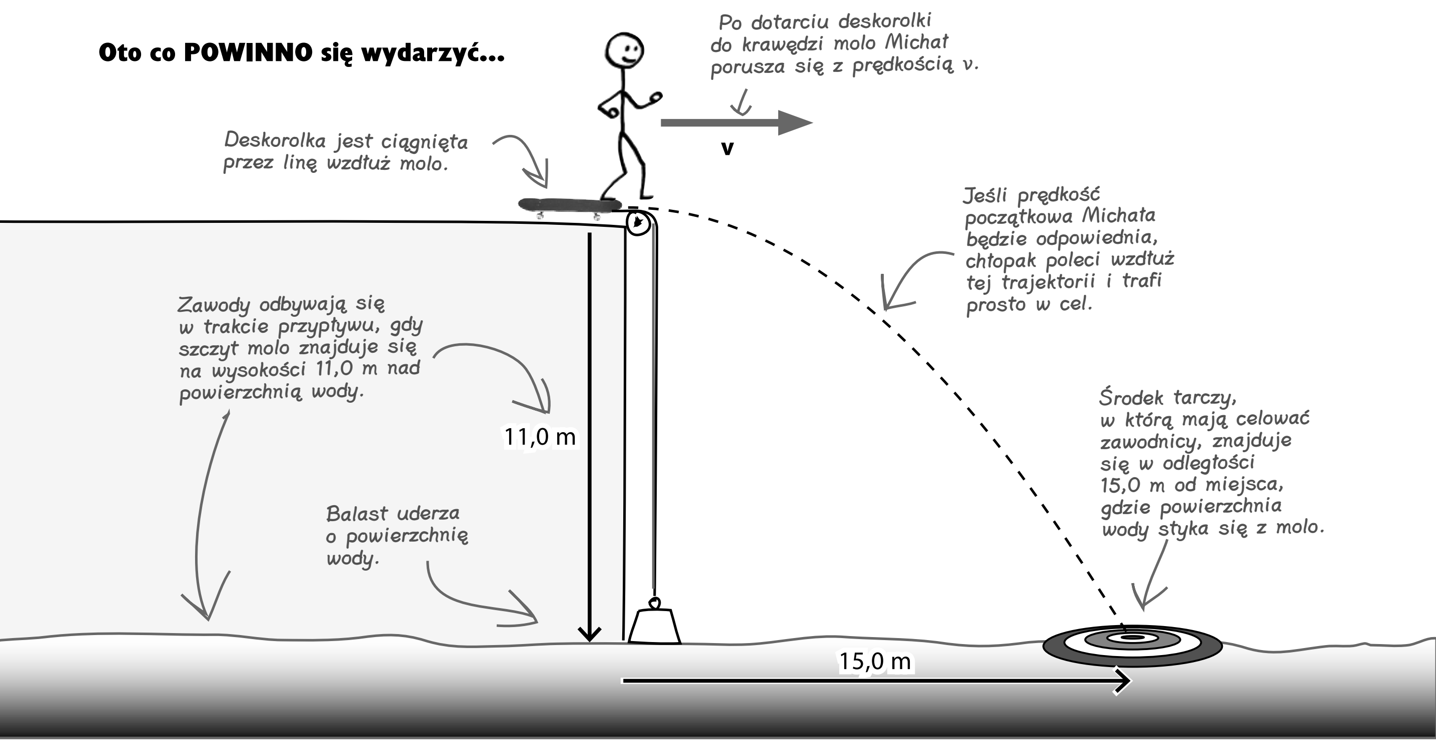
15 Naprężenia, bloczki i technika rozwiązywania problemów fizycznych

Inny kierunek

Czasami musisz sobie radzić z sytuacjami pełnymi napięć

Do tej pory korzystałeś z wiedzy na temat sił, rysowałeś diagramy rozkładu sił, a także zapoznałeś się z zasadą zachowania energii. W tym rozdziale zajmiemy się linami, **bloczkami** i **naprężeniami**, zwanymi czasem również **napięciami**. Przy okazji nauczysz się dostrzegać znajome znaki rozpoznawcze podczas rozwiązywania nieznanych sobie problemów fizycznych.

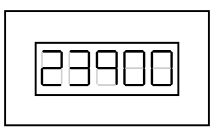
Oto co POWINNO się wydarzyć…

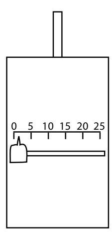


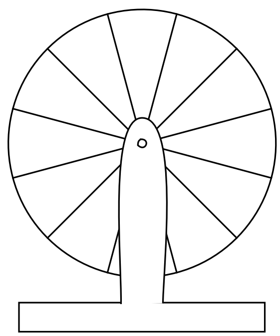
Ruch po okręgu (część I)

16 Od a do ω

Więc mówisz, że sprawy mogą obrócić się przeciw nam? W tym rozdziale poznasz zagadnienia dotyczące **ruchu obrotowego**, przejdziesz intensywny kurs anatomii **okręgu**, dowiesz się, co łączy **promień** i **obwód** z Piastem Kołodziejem (choć powinnam raczej powiedzieć o Πaście Kołodzieju). Gdy dowiesz się już, czym są **częstotliwość** i **okres**, będziesz musiał nauczyć się przechodzenia od wartości **liniowych** do wartości **kątowych**. Ale nie martw się — wystarczy, że zrozumiesz, czym jest **radian**, by nie mieć z tym problemów.





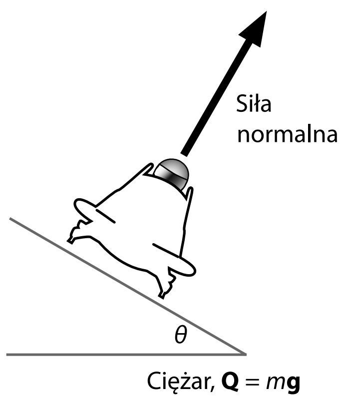


Ruch po okręgu (część II)

17 Nie zgub tropu

Czy poczułeś kiedyś, że Twój rozmówca wypadł z toru? A to właśnie ma miejsce, gdy próbujesz zmusić ciało do poruszania się **po okręgu**, ale nie zapewniasz odpowiedniej **siły dośrodkowej**. Z tego rozdziału dowiesz się, czym dokładnie jest siła dośrodkowa i dlaczego dzięki niej nie zboczysz z utartych szlaków, a przy okazji rozwiążesz kilka dość poważnych problemów dręczących astronautów stacji kosmicznej Head First. Nie ma co zwlekać. Odwróć kartkę i zaczynamy!

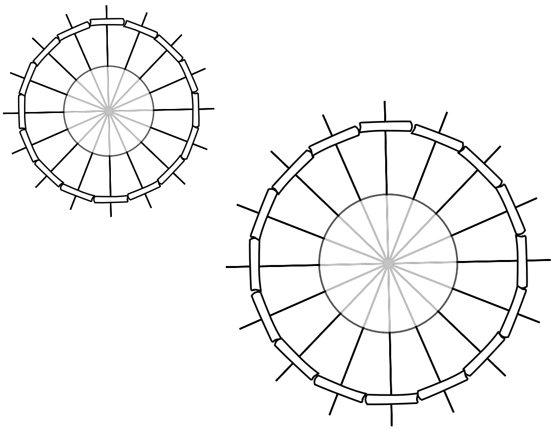
Astronauci mają dość ciągłego unoszenia się w pustce. Chcą znów poczuć grunt pod nogami — w przestrzeni kosmicznej!

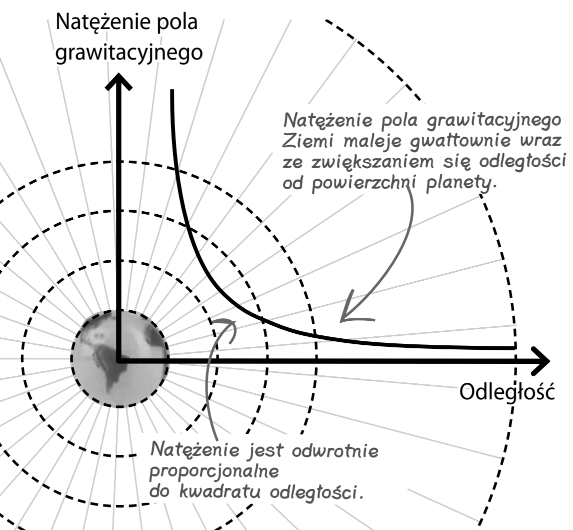


Grawitacja i orbity

18 Uciec od tego wszystkiego

Nawiązałeś już bardzo bliską znajomość z grawitacją, ale co stanie się z wzajemnym przyciąganiem, gdy Twoje stopy oderwą się od ziemi? W tym rozdziale zapoznasz się z nową twarzą grawitacji — **zależnością odwrotności kwadratu** — i ujarzmisz **potencjał grawitacyjny**, dzięki czemu odbędziesz podróż ku **nieskończoności**... i jeszcze dalej. Powracając do domu, dowiesz się nieco o **orbitach** i podniesiesz swoje zdolności (tele)komunikacyjne.

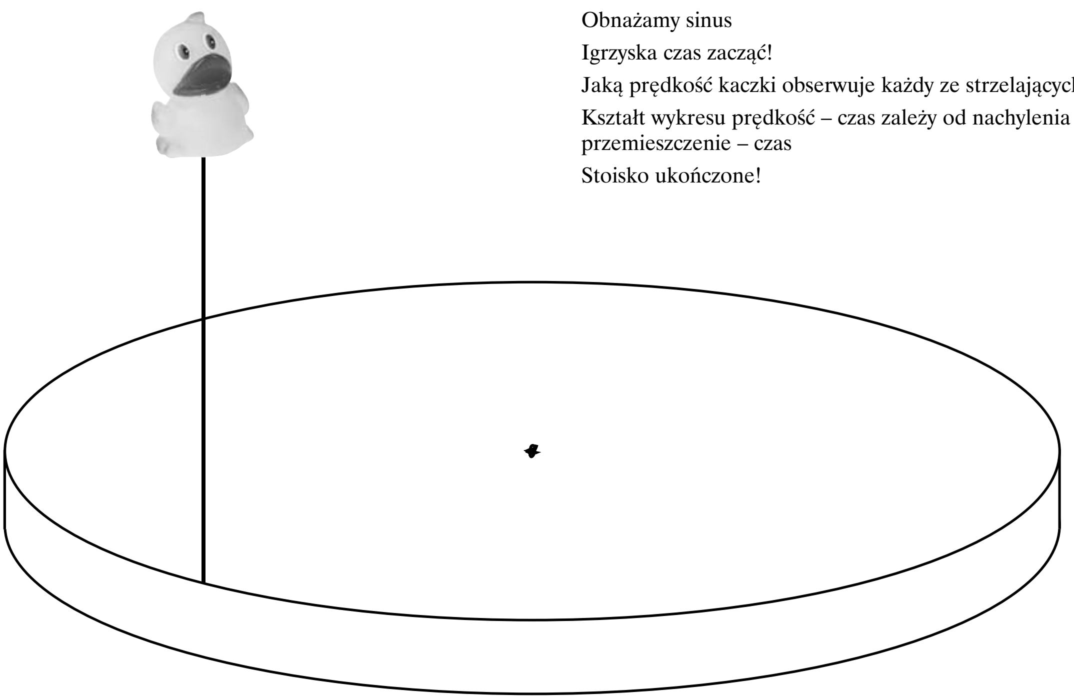




Drgania (część I)

19 W kółko i na okrągło

Sprawy widziane pod innym kątem potrafią zupełnie zmienić swój wydźwięk. Do tej pory śledziłeś ruch po okręgu wyłącznie z góry, nie zastanawiając się, jak to wygląda z boku. W tym rozdziale połączysz swoją wiedzę na temat **ruchu po okręgu** ze znajomością **trygonometrii**, by poznać definicje funkcji **sinus** i **cosinus**. Gdy nie będą już one stanowiły dla Ciebie tajemnic, bez trudu poradzisz sobie z każdym ciałem poruszającym się po okręgu — niezależnie od tego, jak na nie spojrzysz.

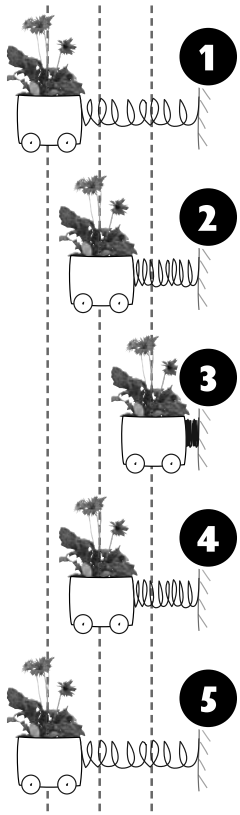


20

Drgania (część II)

Sprężyny i huśtawki

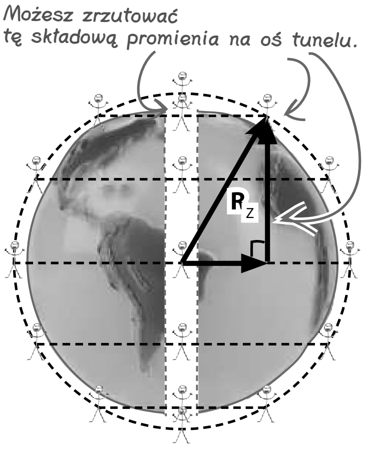
Co zrobić, gdy coś powtarza się w kółko i na okrągło? Ten rozdział, poświęcony **drganiom**, ma pomóc Ci dostrzec całość obrazu. Zbierzesz całą zgromadzoną dotąd wiedzę — o wykresach, równaniach, siłach, zasadzie zachowania energii i ruchu okresowym — żeby okiełznać sprężyny i wahadła poruszające się **prostym ruchem harmonicznym**. Mamy nadzieję, że wkrótce przeżyjesz jedyne w swoim rodzaju doświadczenie towarzyszące myśli „i kto tu rządzi?”... bez zbytniego powtarzania się.



Myśl jak fizyk

21 To już ostatni rozdział

Czas ostro wziąć się do pracy. Zapoznając się z treścią tej książki, uczyłeś się **utożsamiać** wiedzę fizyczną ze zjawiskami, które **obserwujesz na co dzień wokół siebie**, a także wykształcałeś w sobie umiejętność **rozwiązywania rozmaitych** problemów fizycznych. W tym rozdziale będziesz miał okazję użyć swego nowego zestawu **narzędzi fizyka** do rozwiązania problemu, który omówiłam w rozdziale 1., czyli problemu tunelu bez końca wiodącego przez środek Ziemi. Musisz zadać sobie ważne pytanie: „Jak mogę wszystko to, co wiem, wykorzystać, żeby dowiedzieć się tego, czego jeszcze nie wiem?”.

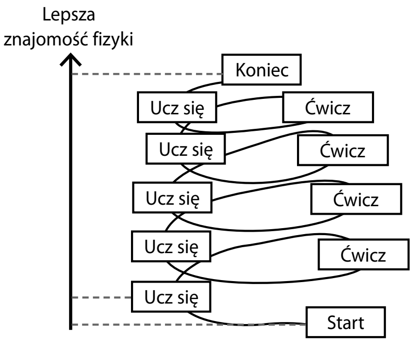


Dodatek A

A

W żadnej książce nie znajdziesz odpowiedzi na wszystkie pytania.

Na stronach tej książki udało nam się omówić naprawdę wiele zagadnień z dziedziny fizyki. Czytając ją, zdobyłeś niemałą wiedzę i wykształciłeś w sobie umiejętności, które przydadzą Ci się w przyszłości, niezależnie od tego, czy będziesz przygotowywał się do egzaminów, czy po prostu zechcesz dowiedzieć się, jak działa świat wokół Ciebie. Tworząc niniejszy podręcznik, niejednokrotnie musieliśmy dokonywać trudnych wyborów, jakie zagadnienia omówić, a jakie pozostawić niewyjaśnione. W tym dodatku poruszymy kilka tematów, o których dotąd nie wspomnieliśmy nawet słowem, a które niewątpliwe są bardzo **istotne** i **użyteczne**.



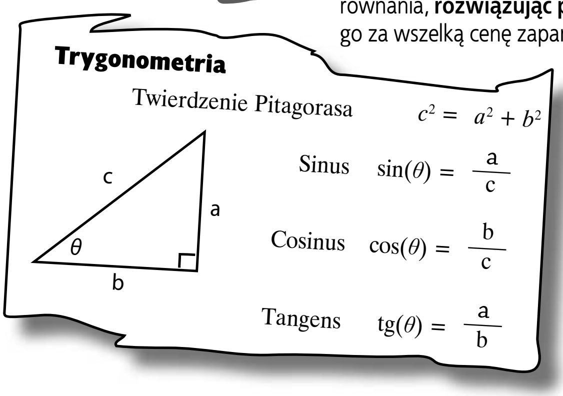
Dodatek B Tablice wzorów

B

Skarbnica wiedzy

Bardzo trudno jest zapamiętać coś, co widziało się tylko raz.

W fizyce zdarzenia opisuje się **równaniami**. Za każdym razem, gdy korzystasz z jakiegoś równania, **rozwiązując problem fizyczny**, oswajasz się z nim, mimo że nie starasz się go za wszelką cenę zapamiętać. Zanim jednak określone równanie samo zapadnie Ci w pamięć, możesz chcieć móc **sprawdzić** jego kształt w odpowiednich tablicach. Po to właśnie tworzy się w książkach dodatki z **tablicami wzorów** — są one łatwo dostępnymi zbiorami informacji, z których możesz korzystać, gdy tylko zajdzie taka potrzeba.

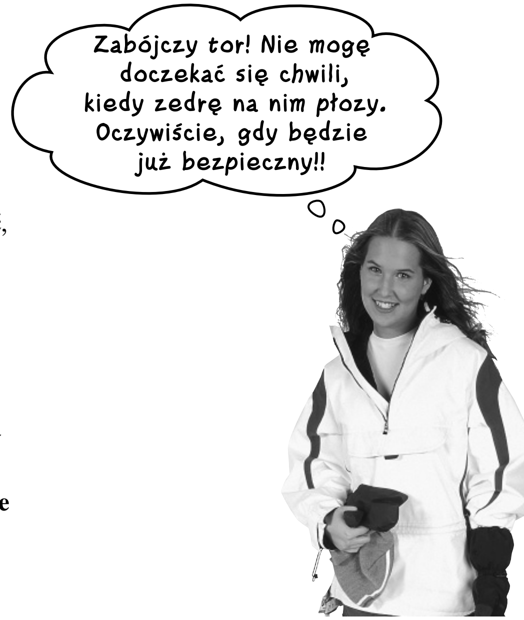


14. Zasada zachowania energii

Ułatw sobie życie

Po co się męczyć, skoro można ułatwić sobie życie? Na razie rozwiązywałeś wszystkie problemy, posługując się równaniami ruchu, siłami i składowymi wektorów. To doskonałe narzędzia, ale czasami wiążą Cię na długi czas w skomplikowanych obliczeniach matematycznych. Z tego rozdziału dowiesz się, jak zauważać, kiedy możesz uprościć rozwiązanie skomplikowanego problemu, posługując się **zasadą zachowania energii**.

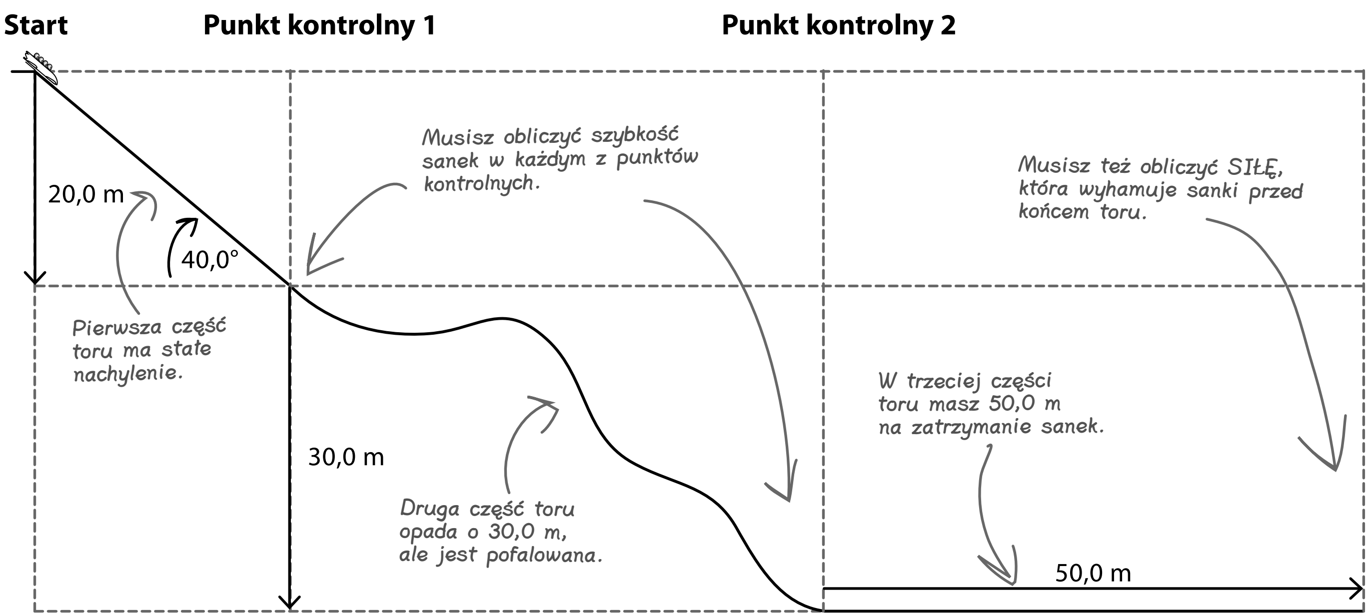
Jedyny w swoim rodzaju tor bobslejowy



Wesołe miasteczko przygotowało na otwarcie w tym sezonie nową atrakcję — wspaniały, najnowocześniejszy tor bobslejowy. Zanim jednak nowa atrakcja stanie się dostępna dla turystów, trzeba sprawdzić, czy jest bezpieczna. I to właśnie Twoje zadanie. Co prawda nie jesteś saneczkarzem, ale znasz fizykę i dzięki temu możesz stwierdzić, czy projekt wymaga poprawek.

Tor dzieli się na trzy części. Do pierwszego punktu kontrolnego jego **nachylenie jest stałe**. Pomiędzy pierwszym a drugim punktem kontrolnym jego wysokość **obniża się o 30,0 m**, ale tor jest **pofalowany** tak, że sanki przez chwilę jadą też pod górę! Trzecia część toru jest zupełnie płaska — na niej uruchamia się hamulec, który **zatrzymuje** sanki.

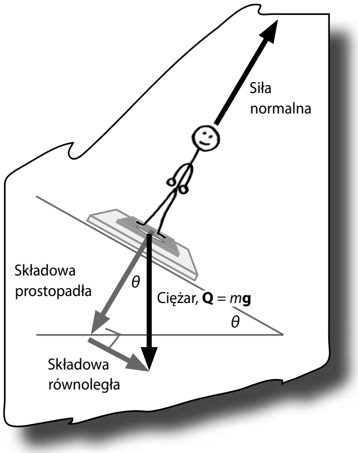
Musisz obliczyć **szybkość** sanek w każdym z punktów kontrolnych oraz siłę hamowania potrzebną do zatrzymania sanek.



Rozwiązanie zaczynaj zawsze od rysunku i odpowiedzi na pytanie „Co mi to PRZYPOMINA?”.

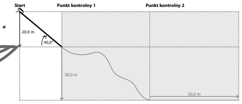
WYSIL SZARE KOMÓRKI

Czy jest taka część toru, z którą **wiesz już**, jak sobie poradzić?



Chwilkę... czy nie opisywaliśmy już ruchu ciała zsuwającego się po równi?!

Jesteś tutaj.



Wiesz już, jak to policzyć!

Pierwsza część toru wygląda jak urządzenie Kombinatorów wagi ciężkiej znane Ci z rozdziału 11., służące do zjeżdżania na wadze po pochyłości.

Co prawda dalsze części toru bobslejowego mogą przyprawić o ból głowy, ale tę część potrafisz zanalizować tak, jak **poprzednio**!

Pierwsza część toru nie powinna stanowić dla Ciebie problemu.

Zaostrz ołówek

Sanki o masie m zjeżdżają w dół po równi pochyłej nachylonej pod kątem 40° do poziomu i pokonują różnicę wysokości 20,0 m.

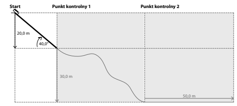
a. Oblicz drogę pokonaną przez sanki pomiędzy startem a pierwszym punktem kontrolnym.

b. Oblicz składową ciężaru sanek równoległą do powierzchni równi.

Wskazówka: Ponieważ masa sanek nie została podana liczbowo, uzyskana odpowiedź też nie będzie liczbą — będzie zawierać w sobie składnik „m”.

c. Oblicz szybkość sanek w pierwszym punkcie kontrolnym.

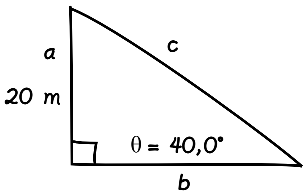
Wskazówka: Skorzystaj z II zasady dynamiki Newtona i wyznacz wartość przyspieszenia z równania na siłę wypadkową, a potem podstaw wynik do równania ruchu, z którego obliczysz szybkość.



Zaostrz ołówek: Rozwiązanie

Sanki o masie m zjeżdżają w dół po równi pochyłej nachylonej pod kątem 40° do poziomu i pokonują różnicę wysokości 20,0 m.

a. Oblicz drogę pokonaną przez sanki pomiędzy startem a pierwszym punktem kontrolnym.

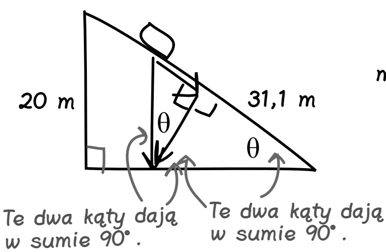


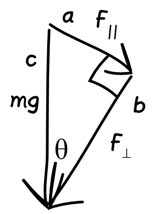
$$\sin(\theta) = \frac{a}{c}$$

$$c = \frac{20{,}0\ \text{m}}{\sin(40{,}0°)}$$

$$c \approx \underline{\underline{31{,}1\ \text{m}}}$$

b. Oblicz składową ciężaru sanek równoległą do powierzchni równi.





Ciężar sanek Q = mg

$F_{||}$ jest składową równoległą do równi i leży naprzeciw kąta θ.

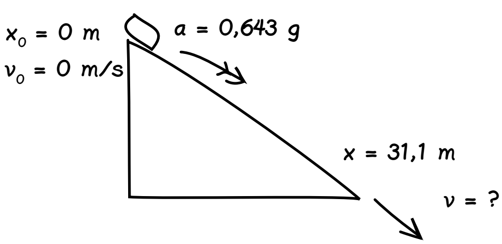
Jej wartość obliczam z podobieństwa trójkątów:

$$\frac{F_{||}}{mg} = \frac{20{,}0\ \text{m}}{31{,}1\ \text{m}}$$

$$F_{||} \approx \underline{\underline{0{,}643\ mg}}$$

Jeżeli w odpowiedzi pojawiają się zmienne, na przykład „m” czy „g”, nie musisz podawać jednostek wyniku, ponieważ te wielkości fizyczne mają jednostki. Oczywiście w przypadku działań na liczbach musisz podawać jednostki.

c. Oblicz szybkość sanek w pierwszym punkcie kontrolnym.



$$F_{wyp} = ma$$

$$0{,}643\ \cancel{m}g = \cancel{m}a$$

$$a = 0{,}643\ g$$

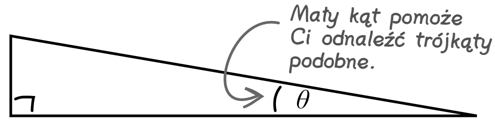
Przyspieszenie wynosi 0,643 g, więc nie zapomnij podstawić do wzoru wartości 9,8 m/s².

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

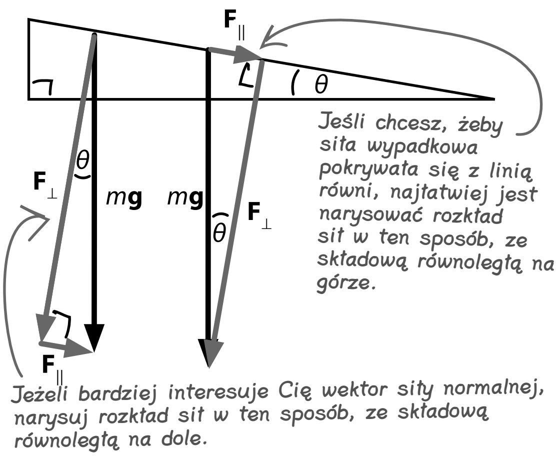
$$v = \sqrt{(0\ \text{m/s})^2 + 2 \times 0{,}643 \times 9{,}8\ \text{m/s}^2 \times 31{,}1\ \text{m}} \approx \underline{\underline{19{,}8\ \text{m/s}}}$$

O trójkątach słów kilka — narysuj bardzo małe kąty

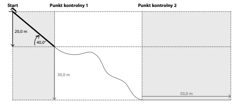
Jeżeli nie jesteś pewien, który z kątów rozkładu wektorów odpowiada kątowi równi, naszkicuj sobie wykres przedstawiający sytuację dla bardzo **małego kąta** *θ*.

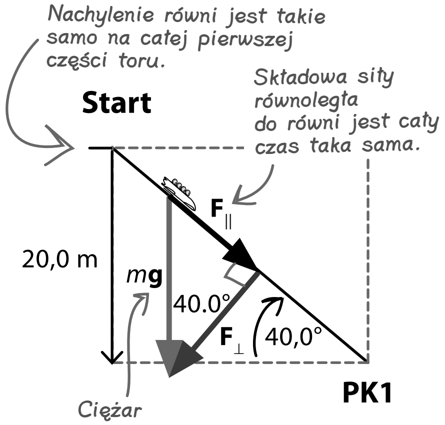


Narysuj teraz trójkąt sił. Wektor siły ciężkości jest skierowany prosto w dół. Jego składowe będą prostopadłe i równoległe do równi. To, jak je narysujesz, nie ma znaczenia, ponieważ ich długości zawsze będą takie same.



Kąt *θ* to najmniejszy kąt trójkąta równi, więc będzie też najmniejszym kątem trójkąta rozkładu sił.





Pierwszą część zadania rozwiążesz, rozkładając siły na składowe...

Pierwsza część toru jest nachylona do poziomu pod **stałym kątem**, co sprawia, że **siła wypadkowa** działająca na sanki jest zawsze taka sama — składowa ciężaru sanek **równoległa** do równi jest stała.

Wiesz już, że sanie, mijając pierwszy punkt kontrolny, będą poruszały się z szybkością 19,8 m/s. Na razie idzie dobrze…

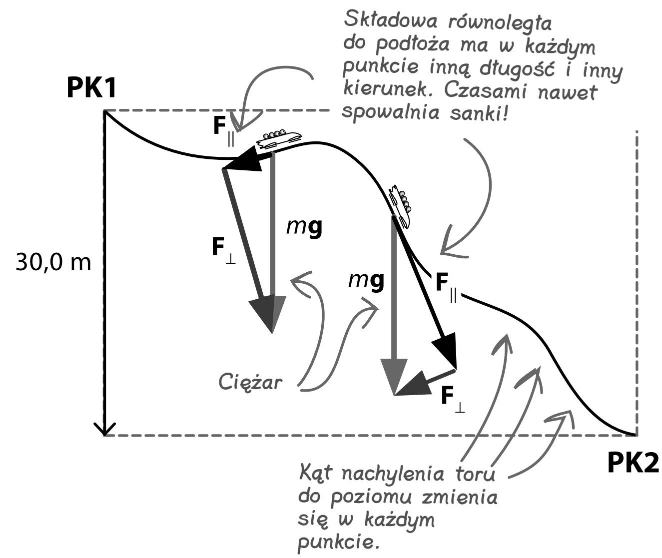
Chcesz poznać szybkość sanek w każdym z punktów kontrolnych.

... ale w drugiej części tor nie ma już stałego nachylenia

Niestety druga część toru bobslejowego nie jest już tak przyjemna. Różnica poziomów jest wprawdzie znana i wynosi 30,0 m, ale nachylenie toru do poziomu wcale nie jest jednorodne — na całej jego długości pojawiają się wzniesienia i zagłębienia. Zdarza się nawet, że sanki jadą pod górkę!

Każda zmiana **kąta** nachylenia toru powoduje zmianę składowej ciężaru równoległej do nawierzchni. To oznacza, że siła wypadkowa działająca na sanki zmienia się, powodując tym samym **zmiany** długości i kierunku wektora **przyspieszenia**.

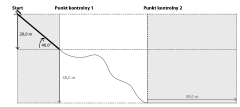
To utrudnia nieco Twoje zadanie, ponieważ równania ruchu w znanej Ci postaci pozwalają opisywać wyłącznie te przypadki, w których ciało porusza się ze stałym przyspieszeniem. Metoda, którą posłużyłeś się ostatnio, nie sprawdzi się teraz.



Ciało poruszające się po nachyleniu przyspiesza pod wpływem działającej na nie równoległej do podłoża składowej swojego ciężaru.

WYSIL SZARE KOMÓRKI

Jak obliczyć szybkość sanek w drugim punkcie kontrolnym, gdy pokonują one różnicę wysokości 30,0 m po **pofalowanym** torze?



Krzysiek: Niestety następny odcinek toru jest bardziej wymagający — jego nachylenie do poziomu ulega ciągłym zmianom! Przyspieszenie ciała nie będzie stałe.

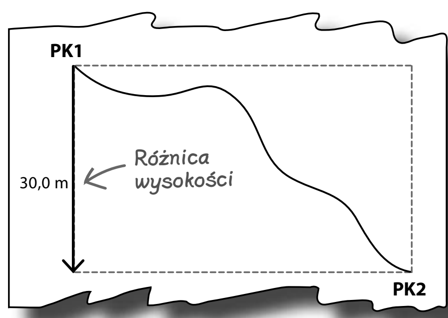
Kuba: A może podzielimy ten fragment toru na wiele małych kawałków? Jeżeli nachylenie będzie stałe choćby przez kilka metrów, zdołamy przeprowadzić potrzebne obliczenia, potem powtórzymy tę procedurę dla następnego fragmentu i tak dalej. Następnie dodamy do siebie wyniki obliczeń i otrzymamy całkowitą zmianę prędkości.

Krzysiek: Przecież to zajmie całe wieki! Nie wydaje mi się, żebyśmy mieli szansę obliczyć to ręcznie.

Franek: Pewnie dałoby się napisać działający w ten sposób program komputerowy… ale nie mam pojęcia, jak się to robi.

Kuba: Może źle się do tego zabieramy? Tak bardzo skupiliśmy się na **siłach**, że zupełnie zapomnieliśmy o **energii**.

Krzysiek: Hmm, sanki obniżają swoje położenie o 30,0 m, więc na początku tej części toru dysponują większą **energią potencjalną grawitacji** niż na jej końcu. Zmiana ta wynika z **różnicy wysokości**.



Zawsze gdy natkniesz się w zadaniu na zmianę wysokości, na której znajduje się ciało, zastanów się nad użyciem zasady zachowania energii.

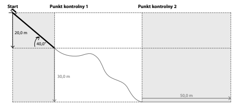
Franek: Ale jak to policzyć? Nie do końca wiem, w co zmieniła się ta energia!

Kuba: Racja, ale wiemy przecież, że **energia układu jest zachowana**, prawda?! To oznacza, że energia potencjalna grawitacji musiała zmienić postać w czasie zjazdu sanek po torze!

Krzysiek: Zastanawiam się, czy sanki mają energię tylko dlatego, że się poruszają?! Przecież energia miała określać zdolność ciała do wykonania pracy, czyż nie?

Franek: Tak… jeśli poruszające się ciało uderzy w inne ciało, wywrze na nie tym samym **siłę**, która **przemieści** to drugie ciało. A to oznacza wykonanie pracy. Jak młotek! Poruszający się młotek działa na gwóźdź, dzięki czemu ten wbija się w drewno. To chyba właśnie wykonywanie pracy?

Krzysiek: Chyba powinniśmy rozwinąć tę myśl.



Sanki poruszają się, mijając pierwszy z punktów kontrolnych, więc można powiedzieć, że na tym etapie ruchu dysponują pewną energią kinetyczną i pewną energią potencjalną.

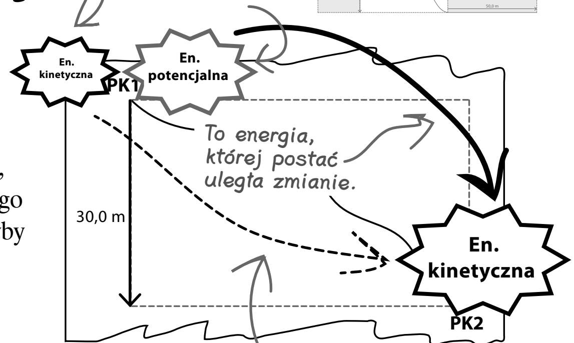
Poruszające się ciało ma energię kinetyczną

Sanki znajdujące się na górze toru bobslejowego mają większą **energię potencjalną grawitacji** niż w połowie toru lub na jego dole. Przyczyną jest różnica **wysokości**, na jakiej znajdują się sanki.

Mówimy, że poruszające się ciała mają **energię kinetyczną**. Oznacza to, że mogą wykonać pracę, działając na inne ciało siłą, która spowoduje jego przesunięcie — na tej zasadzie działa wbijanie gwoździa młotkiem. Gdyby młotek pozostawał w jednym miejscu, czyli nie miał żadnej **prędkości**, nie mógłby wykonać pracy!

Różnice wywołują zmiany odpowiedzialne za przekazywanie energii. Różnica **wysokości**, na jakich znajdują się sanki, sprawia, że zmienia się ich **prędkość**. Inaczej mówiąc, energia potencjalna grawitacji sanek zostaje przekształcona w energię kinetyczną. Jeśli energia potencjalna grawitacji pojazdu zmniejsza się o 1000 J ze względu na zmianę wysokości, na której się on znajduje, jego energia kinetyczna musi wzrosnąć o 1000 J.

Gdy uda Ci się odkryć **równanie** opisujące energię kinetyczną ciała, będziesz mógł posłużyć się **zasadą zachowania energii** do wyznaczenia prędkości sanek powstałej w wyniku obniżenia ich położenia w drugim z punktów kontrolnych.



Ta część energii kinetycznej pozostała w niezmienionej postaci.

Zmiana energii potencjalnej jest równa zmianie energii kinetycznej, ponieważ całkowita energia układu musi być zachowana.

Zakładamy tu brak tarcia, ale pamiętaj, że na lodzie prawie się go nie odczuwa.

Zaostrz ołówek

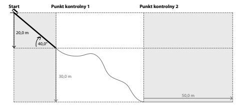
To wykonywanie pracy. Praca = $F\Delta x$.

a. Wyobraź sobie **poruszający się** młotek, który uderza z pewną siłą w gwóźdź, przesuwając go w głąb drewnianej deski. Siła oddziałująca na gwóźdź wykonuje w ten sposób pewną pracę. Wiedząc to, postaraj się określić, które zmienne mogą mieć wpływ na wartość **energii kinetycznej** młotka. Uzasadnij swoją odpowiedź.

Możesz teraz wypisać równania, które pomogą Ci odnaleźć wzór opisujący energię kinetyczną. Pamiętaj, że w tym „Zaostrzonym ołówku” masz jedynie wypisać odpowiednie równania. Ich przekształcaniem zajmiemy się na następnej stronie. Jeżeli nie pamiętasz wszystkich wzorów, sprawdź je w dodatku B.

b. Zapisz równanie opisujące energię potencjalną grawitacji sanek o masie *m*, znajdujących się w szczytowym punkcie toru na wysokości **h** .

c. Zapisz równanie ruchu spadającego ciała, posługując się wielkościami **x**, $\mathbf{x_0}$, $\mathbf{v_0}$, **v** i **a**.



Zaostrz ołówek: Rozwiązanie

a. Wyobraź sobie **poruszający się** młotek, który uderza z pewną siłą w gwóźdź, przesuwając go w głąb drewnianej deski. Siła oddziałująca na gwóźdź wykonuje w ten sposób pewną pracę. Wiedząc to, postaraj się określić, które zmienne mogą mieć wpływ na wartość **energii kinetycznej** młotka. Uzasadnij swoją odpowiedź.

Młotek poruszający się z większą szybkością wykona większą pracę.

Młotek o większej masie wykona większą pracę.

Gdy siła działająca na gwóźdź wykonuje większą pracę, przemieszczenie gwoździa jest większe.

Z powyższych stwierdzeń wynika, że energia kinetyczna musi zależeć od masy i prędkości.

Możesz teraz wypisać równania, które pomogą Ci odnaleźć wzór opisujący energię kinetyczną. Pamiętaj, że w tym „Zaostrzonym ołówku" masz jedynie wypisać odpowiednie równania. Ich przekształcaniem zajmiemy się na następnej stronie. Jeżeli nie pamiętasz wszystkich wzorów, sprawdź je w dodatku B.

b. Zapisz równanie opisujące energię potencjalną grawitacji sanek o masie *m*, znajdujących się w szczytowym punkcie toru na wysokości **h** .

$E_{pg} = F\Delta x = mgh$

To wyrażenie pozwalające wyznaczyć wartość energii potencjalnej, która częściowo zostanie przekształcona w energię kinetyczną.

c. Zapisz równanie ruchu spadającego ciała, posługując się wielkościami $\mathbf{x}$, $\mathbf{x_0}$, $\mathbf{v_0}$, $\mathbf{v}$ i $\mathbf{a}$.

$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$

Ten wzór pomoże Ci znaleźć związek między różnicą wysokości położenia ciała a jego prędkością.

Nie istnieją głupie pytania

P: Gdybym znał różnicę w wysokościach początku i końca toru o stałym nachyleniu, mógłbym bez trudu wyznaczyć prędkość ciała na końcu toru, prawda?

O: Oczywiście. Jeżeli tor jest nachylony do poziomu pod stałym kątem (jak na przykład pierwszy fragment toru z tego zadania), możesz wykonać rozkład sił działających na sanki, wyznaczyć siłę wypadkową, obliczyć przyspieszenie, jakiego doznaje ciało, i w ten sposób odszukać wartość prędkości.

P: A co mam zrobić, gdy tor jest falisty? Czy ta metoda zadziała?

O: Teoretycznie tak, choć wszystko będzie bardziej skomplikowane. Musiałbyś wyznaczyć siłę wypadkową działającą na ciało w każdym, mikroskopijnym fragmencie toru. Żaden człowiek nie zdoła zrobić tego ręcznie. Takie obliczenia przeprowadza się wyłącznie dzięki programom komputerowym napisanym specjalnie w tym celu.

P: Czy rozwiązanie każdego zadania, w którym pojawia się ruch ciała na nieregularnym stoku, wymaga użycia komputera?

O: Nie. Zawsze możesz posłużyć się zasadą zachowania energii. Energia **potencjalna grawitacji**, którą ciało dysponuje na szczycie stoku, zostanie przekształcona w czasie zjazdu na energię **kinetyczną**.

P: Czym jest energia kinetyczna?

O: Energia kinetyczna określa zdolność ciała do wykonania pracy dzięki prędkości, z jaką się ono porusza. Każde poruszające się ciało ma energię kinetyczną.

P: Wiem, że energię potencjalną grawitacji opisuje wzór mgh, ale nie znam równania energii kinetycznej.

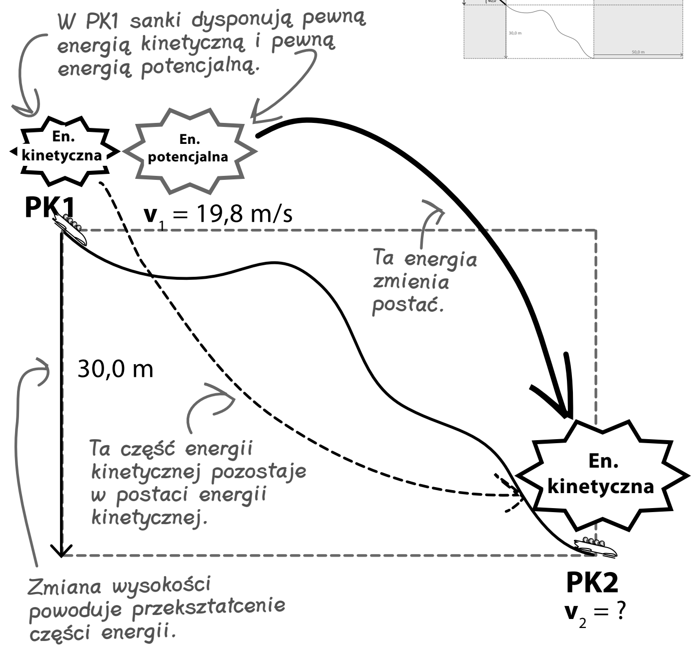
O: Właśnie zajmujemy się odnalezieniem tego wzoru. Na razie odkryłeś, że energia kinetyczna musi zależeć od masy ciała i jego prędkości. Teraz wykonasz kilka podstawień, żeby określić dokładny charakter tej zależności...

Energia kinetyczna zależy od prędkości ciała

Każde poruszające się ciało dysponuje **energią kinetyczną**.

Gdy sanki zjeżdżają w dół po torze bobslejowym, część ich **energii potencjalnej grawitacji** zostaje **przekształcona** na energię kinetyczną. Energia kinetyczna, którą zyskują sanki, musi być **równa** energii potencjalnej grawitacji, którą tracą.

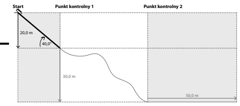
Energia kinetyczna zależy w jakiś sposób od **masy** sanek i ich **prędkości**. Gdyby udało Ci się opisać wzorem zmianę energii kinetycznej sanek, zdołałbyś określić zmianę ich prędkości pomiędzy pierwszym punktem kontrolnym a drugim punktem kontrolnym. Byłoby to równoznaczne z wyznaczeniem prędkości sanek w drugim punkcie kontrolnym.



Zaostrz ołówek

a. Równania, które zapisałeś na poprzedniej stronie — $E_{pg} = m\mathbf{gh}$ i $\mathbf{v}^2 = \mathbf{v}_0^2 + 2\mathbf{a}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)$ — opisują te same wielkości różnymi symbolami. Przypuśćmy, że masz rozwiązać zadanie, w którym ciało puszczone swobodnie spada w dół. Które z wielkości podanych w powyższych wzorach będą swoimi odpowiednikami?

b. Wykonaj odpowiednie podstawienia i wykaż, że energia kinetyczna ciała (E_k) puszczonego swobodnie na pewnej wysokości **h** (mającego zatem energię potencjalną grawitacji $E_{pg} = m\mathbf{gh}$) jest opisana wzorem $E_k = ½m\mathbf{v}^2$.



Zaostrz ołówek: Rozwiązanie

a. Równania, które zapisałeś na poprzedniej stronie — $E_{pg} = m\mathbf{g}\mathbf{h}$ i $\mathbf{v}^2 = \mathbf{v}_0^2 + 2\mathbf{a}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)$ — opisują te same wielkości różnymi symbolami. Przypuśćmy, że masz rozwiązać zadanie, w którym ciało puszczone swobodnie spada w dół. Które z wielkości podanych w powyższych wzorach będą swoimi odpowiednikami?

$E_p = mgh$ $\qquad v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$

Przemieszczenie ciała jest oznaczone w pierwszym równaniu literą h, w drugim zaś odpowiada mu wyrażenie $(x - x_0)$.

Przyspieszenie jest oznaczone w pierwszym równaniu literą g, w drugim natomiast literą a.

b. Wykonaj odpowiednie podstawienia i wykaż, że energia kinetyczna ciała (E_k) puszczonego swobodnie na pewnej wysokości **h** (mającego zatem energię potencjalną grawitacji $E_{pg} = m\mathbf{g}\mathbf{h}$) jest opisana wzorem $E_k = ½m\mathbf{v}^2$.

Początkowo ciało nie porusza się, więc $v_0 = 0$ m/s.

Z zasady zachowania energii $E_{p0} = E_{k1}$.

Zmiana wysokości ciała, h, odpowiada wyrażeniu $(x - x_0)$, więc dokonuję odpowiednich przekształceń i podstawienia.

Podstaw „g” za „a”.

$$v^2 = 2g(x - x_0)$$

$$(x - x_0) = \frac{v^2}{2g}$$

Podstaw „h” za „$x - x_0$”.

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

Podstaw za „h”.

$$E_{k1} = E_{p0} = mgh = m\cancel{g}\frac{v^2}{2\cancel{g}}$$

$$\underline{\underline{E_{k1} = ½mv^2}}$$

Czasami wygodniej jest opuścić indeks dolny „g” w oznaczeniu energii potencjalnej grawitacji.

Jest on potrzebny przede wszystkim po to, by odróżnić energię potencjalną grawitacji E_{pg} od energii potencjalnej sprężystości E_{ps}.

Jeżeli w zadaniu nie występują żadne sprężyny, nie ma konieczności wprowadzania dodatkowego indeksu „g”, który przy nieuważnym zapisie może pomylić się dodatkowo z oznaczeniem przyspieszenia ziemskiego. Poza tym mniejszy natłok indeksów pozwala wprowadzić oznaczenia E_{p0} i E_{p1} dla odróżnienia energii w początkowej fazie zdarzenia od energii w jego fazie końcowej.

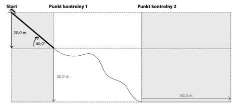
Wspaniale, tylko że to równanie opisuje lot ciała puszczonego swobodnie w dół, a sanki wcale nie spadają!

Taka sama zmiana wysokości zawsze wywoła identyczną zmianę energii potencjalnej grawitacji, bez względu na tor, po jakim porusza się ciało.

Ilość przekształconej energii zależy wyłącznie od zmiany wysokości, na której znajduje się ciało.

Sanki dysponują pewną **energią potencjalną grawitacji**, zależną od wysokości, na której się znajdują. Ilość zmagazynowanej energii nie zależy od ścieżki, jaką sanki dostały się na szczyt.

Określona zmiana wysokości wywoła zawsze taką samą zmianę energii potencjalnej grawitacji, zarówno w przypadku, gdy sanki będą poruszały się w dół, jak i gdy będą jechały pod górę. Oznacza to, że zmiana energii potencjalnej grawitacji zawsze wiąże się ze zmianą **energii kinetycznej** (przy założeniu braku tarcia), niezależnie od ścieżki, po jakiej poruszają się sanki. Określona zmiana wysokości zawsze wywoła identyczną zmianę energii kinetycznej ciała.



Oblicz prędkość sanek, znając zasadę zachowania energii i zmianę wysokości na torze

Poruszające się ciało dysponuje energią kinetyczną opisaną wzorem:

$$E_k = \tfrac{1}{2}m\mathbf{v}^2$$

Znając **masę** sanek i ich **energię kinetyczną**, możesz wyznaczyć **prędkość**, z jaką mijają drugi punkt kontrolny.

Energia kinetyczna

Masa

$$E_k = \tfrac{1}{2}mv^2$$

Prędkość

Energię kinetyczną sanek wyznaczysz, korzystając z zasady zachowania energii. Różnica prędkości sanek mierzona pomiędzy pierwszym a drugim punktem kontrolnym wynika z różnicy wysokości, na których umieszczono te punkty. Stąd wynika zaś, że zmiana energii **potencjalnej grawitacji** musi być równa zmianie energii **kinetycznej**.

Jesteś gotów do obliczenia prędkości sanek w drugim z punktów kontrolnych? Świetnie!

Zaostrz ołówek

Sanki zjeżdżające po torze bobslejowym minęły właśnie pierwszy punkt kontrolny (PK1). Drugi punkt kontrolny znajduje się u podnóża stoku, 30,0 m poniżej pierwszego.

Skoro mijając PK1, sanki poruszały się z szybkością 19,8 m/s, z jaką szybkością miną PK2? (Energia potencjalna grawitacji sanek + energia kinetyczna na początku trasy będą równe energii kinetycznej sanek na dole toru).

Warto oznaczyć wszystkie rodzaje energii ciała w danym punkcie kontrolnym jednym indeksem, na przykład E_{k1}, E_{p1}, E_{k2}, E_{p2} itd.

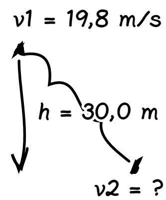
Zaostrz ołówek:
Rozwiązanie

Sanki zjeżdżające po torze bobslejowym minęły właśnie pierwszy punkt kontrolny (PK1). Drugi punkt kontrolny znajduje się u podnóża stoku, 30,0 m poniżej pierwszego.

Skoro mijając PK1, sanki poruszały się z szybkością 19,8 m/s, z jaką szybkością miną PK2? (Energia potencjalna grawitacji sanek + energia kinetyczna na początku trasy będą równe energii kinetycznej sanek na dole toru).

PK1: $E_{k1} + E_{p1} = mgh + \frac{1}{2}mv_1^2$

PK2: $E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2$



$$\frac{1}{2}\cancel{m}v_2^2 = \cancel{m}gh + \frac{1}{2}\cancel{m}v_1^2$$

$$v_2^2 = 2gh + v_1^2$$

$$v_2 = \sqrt{2gh + v_1^2}$$

$$v_2 = \sqrt{(2 \times 9{,}8\ \mathrm{m/s^2} \times 30{,}0\ \mathrm{m}) + (19{,}8\ \mathrm{m/s})^2}$$

$$v_2 = \underline{\underline{31{,}3\ \mathrm{m/s}}}$$

W każdym z wyrazów pojawia się czynnik „m", więc po podzieleniu obydwu stron równania przez tę wielkość, znika ona z równania.

Rozwiązywanie zadań z wykorzystaniem zasady zachowania energii jest prostsze niż analizowanie ich z użyciem sił.

Wspominaliśmy wcześniej, że praca jest skalarem. Czy to oznacza, że energia kinetyczna również jest skalarem?

Zwrot wielkości wektorowej określamy odpowiednim znakiem. Pamiętaj jednak, że wynik podnoszenia liczby do kwadratu jest zawsze dodatni, więc wyrażenie v^2 musi być skalarem, ponieważ w czasie potęgowania tracimy informację o zwrocie prędkości (jej znak). Idąc dalej tym tropem, odkrywamy, że energia kinetyczna też jest skalarem, gdyż $E_k = \frac{1}{2}mv^2$.

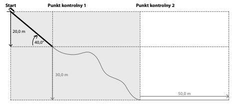
Energia, tak samo jak praca, jest wartością skalarną.

Praca jest wielkością skalarną, ponieważ dana siła, przesuwająca ciało na tę samą odległość, wykona zawsze taką samą pracę, niezależnie od kierunku swojego działania.

Energia kinetyczna jest również skalarem, ponieważ ciało obdarzone prędkością **v** będzie miało zawsze taką samą ilość energii, $E_k = \frac{1}{2}m\mathbf{v}^2$, niezależnie od kierunku wektora prędkości.

Zmiana energii kinetycznej może mieć znak dodatni albo ujemny. W tym przypadku znak nie określa kierunku wektora, a jedynie charakter zmiany **ilości** energii (przyrost lub ubywanie energii). Tak samo zmiana masy określa zmianę ilości materii i również może mieć znak dodatni lub ujemny.

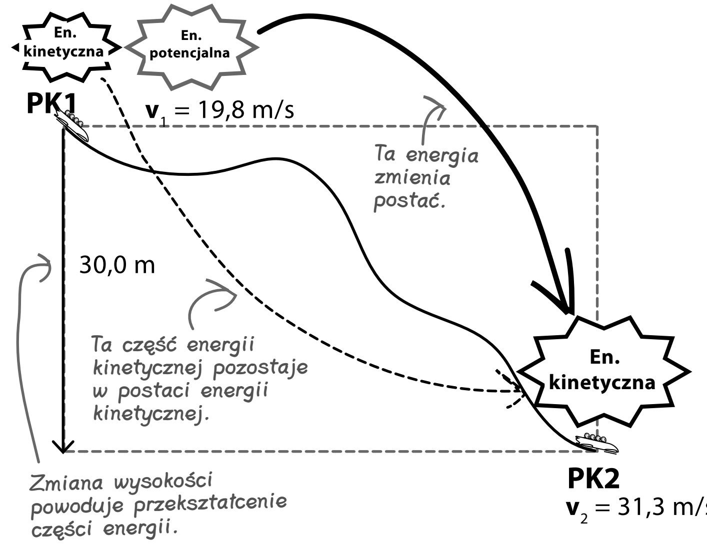
Identyczna prędkość oznacza zawsze taką samą energię kinetyczną, niezależnie od zwrotu wektora prędkości.



Rozwiązałeś drugą część zadania, posługując się zasadą zachowania energii

Dzięki zasadzie zachowania energii zdołałeś wyznaczyć szybkość jazdy sankami podczas mijania drugiego punktu kontrolnego, znajdującego się 30,0 m poniżej pierwszego z nich. Wynosi ona 31,3 m/s.

Wiesz już też, że określona **zmiana wysokości** wywołuje zawsze taką samą **zmianę energii potencjalnej grawitacji** i identyczną **zmianę energii kinetycznej**, oczywiście przy założeniu braku tarcia.

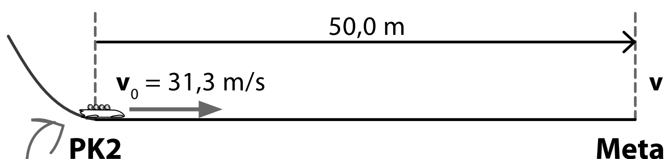


W trzeciej części zadania musi pojawić się siła, która zatrzyma sanki

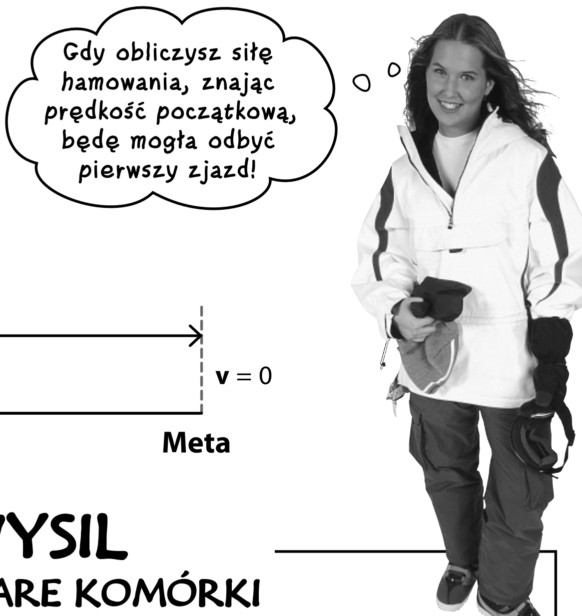
Trzecia część toru jest zupełnie płaska. To przestrzeń, na której musisz posłużyć się hamulcem, by zatrzymać sanki. Projekt zakłada, że sanki ważące 630 kg zatrzymają się w czasie niezbędnym im do pokonania odległości 50,0 m.

Sanki z pasażerami mogą ważyć maksymalnie 630 kg.

Jak zabrać się do obliczenia **siły**, z którą hamulec ma zadziałać na sanki?

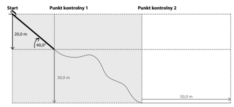


Musisz obliczyć SIŁĘ hamowania zdolną zatrzymać sanki przed końcem toru.



WYSIL SZARE KOMÓRKI

Jak obliczyć **siłę** potrzebną do zatrzymania sanek?



Jak mamy obliczyć siłę hamowania?

Kuba: Wysokość, na jakiej znajdują się sanki, nie ulega zmianie, więc nie zdołamy obliczyć żadnej energii. Nie pozostaje nam nic innego, jak użyć **równań ruchu**, żeby wyznaczyć **przyspieszenie** sanek, a potem podstawić je do wzoru na II zasadę dynamiki Newtona, $\mathbf{F}_{wyp} = m\mathbf{a}$, żeby obliczyć **siłę**. To powinno zadziałać!

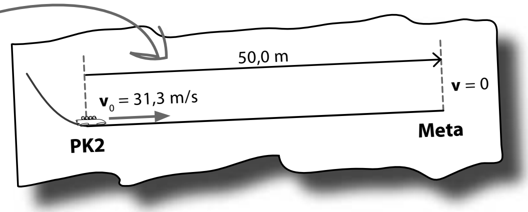
Krzysiek: Ale to przecież mnóstwo liczenia. Jesteś **pewien**, że nie zdołamy posłużyć się **zasadą zachowania energii**? Te obliczenia były znacznie prostsze niż rachunki prowadzone w pierwszej części zadania.

Kuba: Ja nie widzę innego wyjścia. Nie ma zmiany wysokości, więc energia potencjalna grawitacji nie ulega zmianie. Jak zatem skorzystać z zasady zachowania energii?

Krzysiek: Właśnie się zastanawiam… Przecież w zadaniu jest mowa o zatrzymaniu sanek na pewnej **odległości** poprzez przyłożenie odpowiedniej **siły**. Mnie to pachnie wykonywaniem **pracy**!

Franek: Racja! Przykładając siłę, wykonujesz pewną pracę, ale wydawało mi się, że żeby móc posługiwać się pojęciem pracy, musisz najpierw przesunąć ciało, a nie po prostu szorować hamulcem po lodzie!

Zadziałaj SIŁĄ na pewnym DYSTANSIE, żeby zatrzymać sanki.

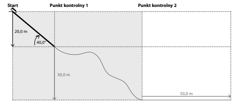


Zawsze, gdy masz do czynienia z siłą działającą na ciało na pewnym dystansie, myśl w kategoriach pracy i energii!

Kuba: Czekaj, czekaj… on może mieć rację. Wyobraź sobie, że masz złapać w rękawicę piłkę bejsbolową. Przecież działasz na nią pewną siłą, a łapiąc piłkę, przesuwasz rękę do tyłu, więc siła działa na pewnym dystansie. Takie działanie zmienia energię kinetyczną piłki.

Krzysiek: Czy to oznacza, że możemy posłużyć się tą zasadą, obliczając siłę potrzebną do zatrzymania sanek? Znamy ich masę i prędkość, więc możemy obliczyć **energię kinetyczną**. POZA TYM wiemy, na jakiej odległości ma działać ta siła — 50,0 m.

Franek: Tylko co dzieje się z energią kinetyczną sanek lub piłki, gdy się je zatrzyma?! Przecież nie zamienia się w energię potencjalną?



Hamulec pracuje

Musisz wyhamować sanki, zanim dojadą do końca toru. Hamulec musi zatrzymać je, zanim pokonają 50,0 m ostatniego odcinka toru. Oznacza to, że musisz przyłożyć do sanek odpowiednią **siłę**.

Żeby rozwiązać ten problem, możesz obliczyć opóźnienie, jakiego doświadczają sanki, a potem podstawić je do równania $\mathbf{F}_{wyp} = m\mathbf{a}$, z którego obliczysz wartość siły. To poprawny sposób rozwiązywania tego typu zadań, więc na pewno otrzymałbyś dobry wynik.

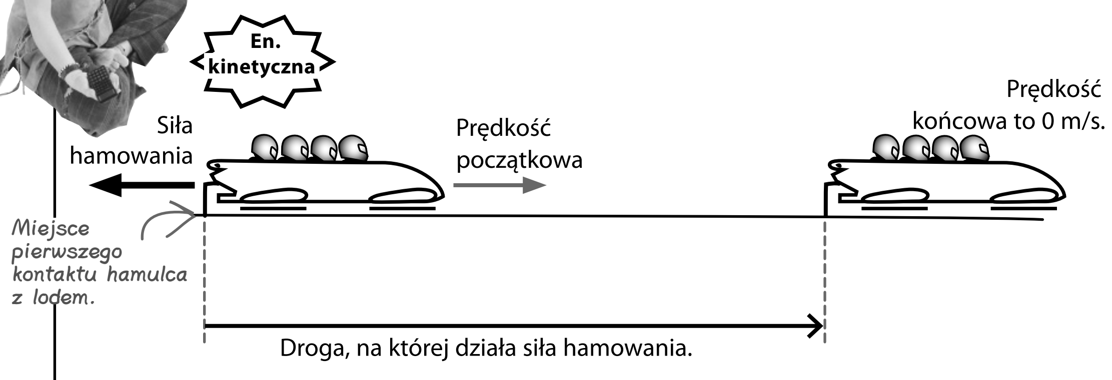
Jeśli tylko możesz, rozwiązuj zadania, posługując się zasadą zachowania energii.

Jednak obliczając prędkość sanek po pokonaniu drugiej części toru odkryłeś, że stosowanie **zasady zachowania energii** znacznie ułatwia rozwiązanie — obliczenia nie są tak skomplikowane, jak w przypadku obliczania sił. Praca jest opisana wzorem W = **F**Δ**x**, a to oznacza, że przyłożenie siły na pewnym dystansie za pomocą hamulca wiąże się z wykonaniem pracy.

Powstaje tylko pytanie, gdzie zostaje **przekazana energia kinetyczna** sanek w czasie ich zatrzymywania.

BĄDŹ hamulcem

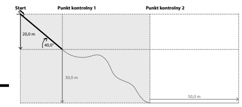
Musisz wyobrazić sobie, jak to jest być hamulcem. Postaraj się wyrazić za pomocą energii to, co ma miejsce od chwili przyłożenia hamulca do powierzchni lodu do chwili zatrzymania się sanek. Opisz odpowiednio rysunek i udziel wyjaśnienia pod spodem.



....

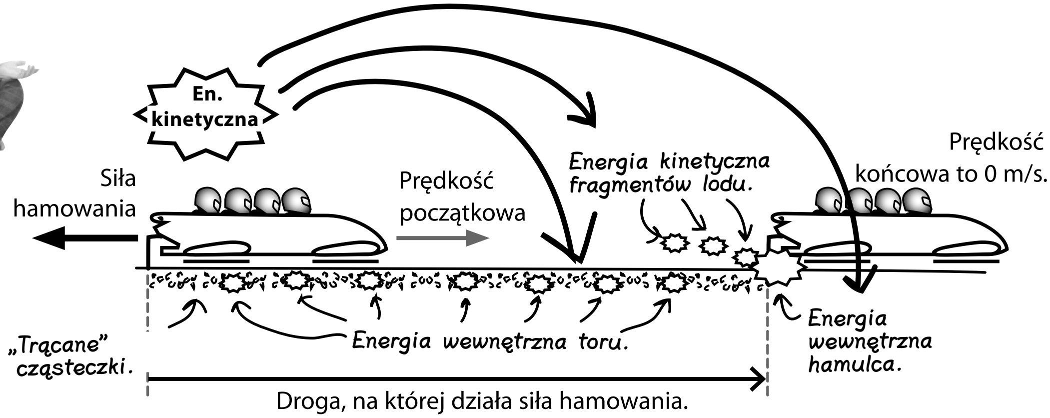
....

....



BĄDŹ hamulcem — rozwiązanie

Musisz wyobrazić sobie, jak to jest być hamulcem. Postaraj się wyrazić za pomocą energii to, co ma miejsce od chwili przyłożenia hamulca do powierzchni lodu do chwili zatrzymania się sanek. Opisz odpowiednio rysunek i udziel wyjaśnienia pod spodem.



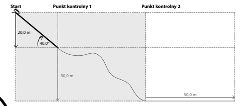
Na początku toru sanki mają pewną energię kinetyczną. Na końcu toru energia ta jest równa zero. Energia kinetyczna sanek zostaje zamieniona na energię wewnętrzną hamulca i toru, ponieważ pomiędzy powierzchnią toru a powierzchnią hamulca pojawia się tarcie. Przesuwający się po powierzchni lodu hamulec „trąca” cząsteczki lodu, sprawiając, że ich ruch staje się bardziej intensywny. To samo dzieje się z cząsteczkami materiału, z którego wykonany jest hamulec.

Wykonywanie pracy przeciw sile tarcia zwiększa energię wewnętrzną

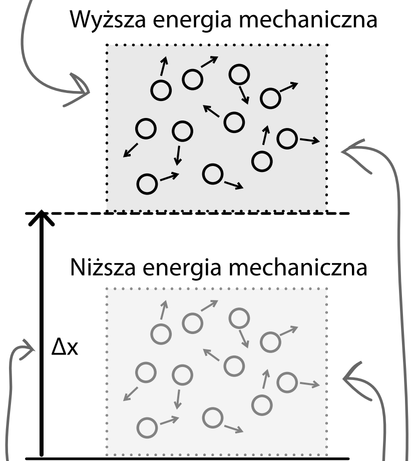
Z chwilą dociśnięcia hamulca do powierzchni toru **zamieniasz** część energii **kinetycznej** sanek na energię **wewnętrzną** hamulca i toru, ponieważ poruszające się sanki mimowolnie wykonują pracę przeciwko sile tarcia. W efekcie zmniejsza się energia kinetyczna sanek, a co za tym idzie, maleje ich prędkość, ponieważ $E_k = ½m\mathbf{v}^2$.

Energia kinetyczna sanek zmienia postać również wtedy, gdy od powierzchni toru odrywają się małe fragmenty lodu. Każdy z nich ma swoją energię **kinetyczną**, niewielką w porównaniu z energią kinetyczną sanek, ale na drodze 50,0 m sumaryczny efekt staje się istotny.

Wykonując pracę przeciw sile tarcia, zwiększasz ENERGIĘ WEWNĘTRZNĄ przesuwających się po sobie powierzchni.



Na czym polega różnica pomiędzy zwiększaniem energii wewnętrznej ciała (co powoduje wzrost energii kinetycznej jego cząsteczek) a zwiększaniem energii kinetycznej całego ciała?



Zwiększanie energii mechanicznej przesuwa wszystkie cząsteczki naraz w uporządkowany sposób.

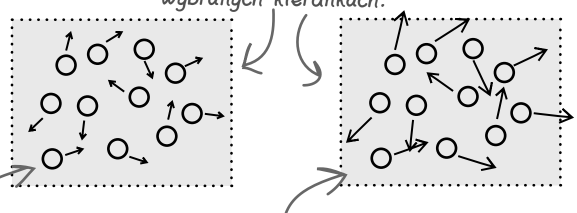
Gdy zmagazynowana w ciele energia mechaniczna może zostać wykorzystana do wykonania pewnej pracy, mówimy, że ciało dysponuje **energią mechaniczną**. Energia **potencjalna grawitacji**, energia **kinetyczna** i energia **potencjalna sprężystości** (właściwa rozciągniętej lub ściśniętej sprężynie) — wszystkie one są rodzajami energii mechanicznej.

Zmiana energii mechanicznej ciała wiąże się z przesunięciem wszystkich jego cząsteczek **naraz**, na przykład poprzez uniesienie ciała, przesunięcie go czy nadanie mu prędkości. Mimo że wszystkie jego cząsteczki nadal poruszają się w losowo wybranych kierunkach, możemy zaobserwować **wypadkowe przemieszczenie** ciała w **skali makroskopowej** (dużej skali).

Zwiększanie energii wewnętrznej sprawia, że cząsteczki ciała zaczynają poruszać się szybciej, ale nadal chaotycznie.

Jeśli zwiększysz energię wewnętrzną ciała, sprawisz, że **przypadkowy** ruch jego cząstek będzie bardziej intensywny.

Gdy masz do czynienia z gazem lub cieczą, możesz wyobrażać sobie, że zwiększasz energię kinetyczną każdej poruszającej się w naczyniu cząsteczki.



Cząsteczki ciała mającego energię potencjalną lub kinetyczną przemieszczają się razem w sposób uporządkowany.

Gdy zwiększa się energia wewnętrzna ciała stałego, zwiększa się też częstotliwość drgań atomów sieci krystalicznej. Możesz myśleć o tym jako o procesie przekazywania atomom energii kinetycznej, a łączącym je wiązaniom — energii potencjalnej (jak w przypadku ściskania i rozciągania sprężyny).

Zwiększenie energii wewnętrznej ciała powoduje pojawienie się małych przyrostów energii kinetycznej lub potencjalnej, ale te obserwuje się wyłącznie w **skali mikroskopowej**. Ponieważ zmiany te powodują wzbudzanie cząsteczek w **losowo wybranych kierunkach**, energia mechaniczna ciała w skali makroskopowej nie ulega zmianie. Nie pojawia się **całkowite przesunięcie wypadkowe**.

Nie istnieją głupie pytania

P: Na czym polega różnica między energią mechaniczną a energią kinetyczną? Nazwy są dość podobne.

O: Energia mechaniczna to ogólna nazwa wszystkich rodzajów energii potencjalnych i energii kinetycznej, czyli wszystkich typów energii, które można łatwo przekształcić na pracę.

P: Jak obliczyć energię mechaniczną układu?

O: Energia mechaniczna układu to suma jego całkowitej energii potencjalnej i całkowitej energii kinetycznej.

P: Czy energia mechaniczna przydaje się do czegoś?

O: Jeśli na ciała w układzie nie działa siła tarcia, energia mechaniczna tego układu jest zachowana. Dzięki temu możesz obliczyć szybkość ciała znajdującego się na niższej wysokości niż początkowa. Wystarczy, że wyznaczysz zmianę jego energii potencjalnej. Zmiana ta musi równać się zmianie energii kinetycznej, a wiedząc to, bez trudu obliczysz szybkość ciała.

P: Czym jest energia wewnętrzna?

O: Każde ciało dysponuje pewną energią wewnętrzną. Wynika to z faktu, że wszystkie cząsteczki tego ciała pozostają w ciągłym ruchu — atomy ciała stałego drgają, a cząsteczki cieczy i gazów poruszają się chaotycznie.

P: Dlaczego energia wewnętrzna ciała jest czymś innym niż jego energia mechaniczna?

O: Energia mechaniczna ciała zmienia się, gdy wszystkie jego atomy doznają takiego samego przesunięcia w skali makroskopowej (dużej).

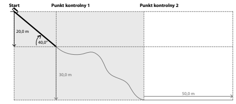
Na przykład wszystkie cząsteczki ciała podnoszonego na pewną wysokość poruszają się razem, w sposób uporządkowany, przez co energia potencjalna grawitacji tego ciała wzrasta. Jeżeli ciało nabiera szybkości, jego cząsteczki poruszają się razem w sposób uporządkowany i przez to wzrasta jego energia kinetyczna.

P: Ale energia wewnętrzna też wiąże się z ruchem cząsteczek. Przecież one same mają własne zasoby energii potencjalnej i kinetycznej. Dlaczego ten ruch cząsteczek nie wpływa na energię mechaniczną?

O: Cząsteczki ciała drgają w sposób przypadkowy, tak samo poruszają się cząsteczki gazu lub cieczy. Zwiększając energię wewnętrzną ciała, nie sprawisz, by jego atomy zaczęły nagle poruszać się w sposób uporządkowany. Każda cząsteczka uzyska większą energię w skali mikroskopowej, ale w skali makroskopowej ciało nie zmienia swojego położenia!

Energia mechaniczna odpowiada zmianom zachodzącym w skali makroskopowej.

Energia wewnętrzna wynika ze zmian zachodzących w skali mikroskopowej.



Zaostrz ołówek

Sanki o masie 630 kg poruszające się z szybkością 31,3 m/s muszą zostać wyhamowane na oblodzonym torze.

a. Opisz to zjawisko z punktu widzenia przekazywania energii.

b. Jakiej siły należy użyć, żeby sanki zatrzymały się po 50,0 m?

c. Sanki będą hamować skuteczniej, jeśli ostatnia część toru będzie nieco uniesiona. Jaka powinna być siła hamowania, żeby zatrzymać sanki na torze, który na dystansie 50,0 m unosi się o 10,0 m?

d. W jakim najkrótszym czasie uda się przesunąć sanki do punktu startu (50,0 m, licząc od najniższego punktu toru), jeśli do ich poruszenia używamy silnika o mocy 10,0 kW pracującego z 90-procentową wydajnością?

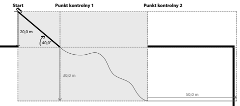
Wat (W) to jednostka mocy. 1 wat = 1 dżul na sekundę.

Ten zapis oznacza, że silnik wykorzystuje jedynie 90% swojej energii na wykonanie „efektywnej" pracy. Pozostała energia zwiększa energię wewnętrzną różnych ruchomych części układu.

Wskazówka: Załóż, że w układzie nie występuje tarcie, przez co silnik będzie musiał pokonać jedynie siłę grawitacji.

Wskazówka: Oblicz całkowitą energię potrzebną do wepchnięcia sanek na szczyt toru, a następnie sprawdź, ile czasu zabierze silnikowi wytworzenie takiej energii.

Zaostrz ołówek: Rozwiązanie



Sanki o masie 630 kg poruszające się z szybkością 31,3 m/s muszą zostać wyhamowane na oblodzonym torze.

a. Opisz to zjawisko z punktu widzenia przekazywania energii.

Poruszające się sanki mają energię kinetyczną. Gdy sanki zaczynają zwalniać, energia ta zmienia postać, zwiększając energię wewnętrzną toru i hamulca. Po zatrzymaniu sanek powierzchnia toru i powierzchnia hamulca będą miały wyższą temperaturę, ponieważ wzrośnie ich energia wewnętrzna.

b. Jakiej siły należy użyć, żeby sanki zatrzymały się po 50,0 m?

Wykonana praca $= F\Delta x$ $\qquad E_k = \frac{1}{2}mv^2$

Muszę „pozbyć się" całej energii kinetycznej sanek, zużywając ją na wykonanie pracy przeciw sile tarcia.

$$F\Delta x = \tfrac{1}{2}mv^2$$

$$F = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\Delta x} = \frac{0{,}5 \times 630\text{ kg} \times (31{,}3\text{ m/s})^2}{50{,}0\text{ m}} \approx \underline{\underline{6170\text{ N}}}$$

c. Sanki będą hamować skuteczniej, jeśli ostatnia część toru będzie nieco uniesiona. Jaka powinna być siła hamowania, żeby zatrzymać sanki na torze, który na dystansie 50,0 m unosi się o 10,0 m?

Część energii kinetycznej zostanie zamieniona na energię potencjalną grawitacji. Pozostała część będzie starała się pokonać siłę tarcia.

$$F\Delta x + mgh = \tfrac{1}{2}mv^2$$

$$F = \frac{\frac{1}{2}mv^2 - mgh}{\Delta x} = \frac{(0{,}5 \times 630\text{ kg} \times (31{,}3\text{ m/s})^2) - (630\text{ kg} \times 9{,}8\text{ m/s}^2 \times 10{,}0\text{ m})}{50{,}0\text{ m}}$$

$$F = \underline{\underline{4940\text{ N}}}$$

d. W jakim najkrótszym czasie uda się przesunąć sanki do punktu startu (50,0 m, licząc od najniższego punktu toru), jeśli do ich poruszenia używamy silnika o mocy 10,0 kW pracującego z 90-procentową wydajnością?

Praca potrzebna na wepchnięcie sanek na górę toru $= mgh = 630\text{ kg} \times 9{,}8\text{ m/s}^2 \times 50{,}0\text{ m} \approx 309000\text{ J}$.

Silnik wytwarza 10 000 dżuli na sekundę, z tego efektywnie można wykorzystać tylko 9000 dżuli na sekundę.

Czas wpychania $= \dfrac{309000\text{ J}}{9000\text{ J/s}} \approx 34{,}3\text{ s}.$

Droga, jaką przebywają sanki w poziomie, nie ma znaczenia. Dopóki górny punkt toru znajduje się 50,0 m ponad punktem najniższym, tyle energii będzie trzeba zużyć na wepchnięcie tam sanek.

Nie istnieją głupie pytania

P: Skoro dzięki zasadzie zachowania pędu mogę tak łatwo rozwiązywać trudne zadania, po co wymyślono równania ruchu i siły?

O: Do zrozumienia zasady zachowania energii są Ci potrzebne pojęcia, o których wspominałeś. Poza tym nie każdy problem daje się rozwiązać z zasady zachowania energii! Te wzory to kolejne narzędzia w Twoim przyborniku, lecz nie możesz się do nich ograniczać.

P: Ale często będę się nimi posługiwać?

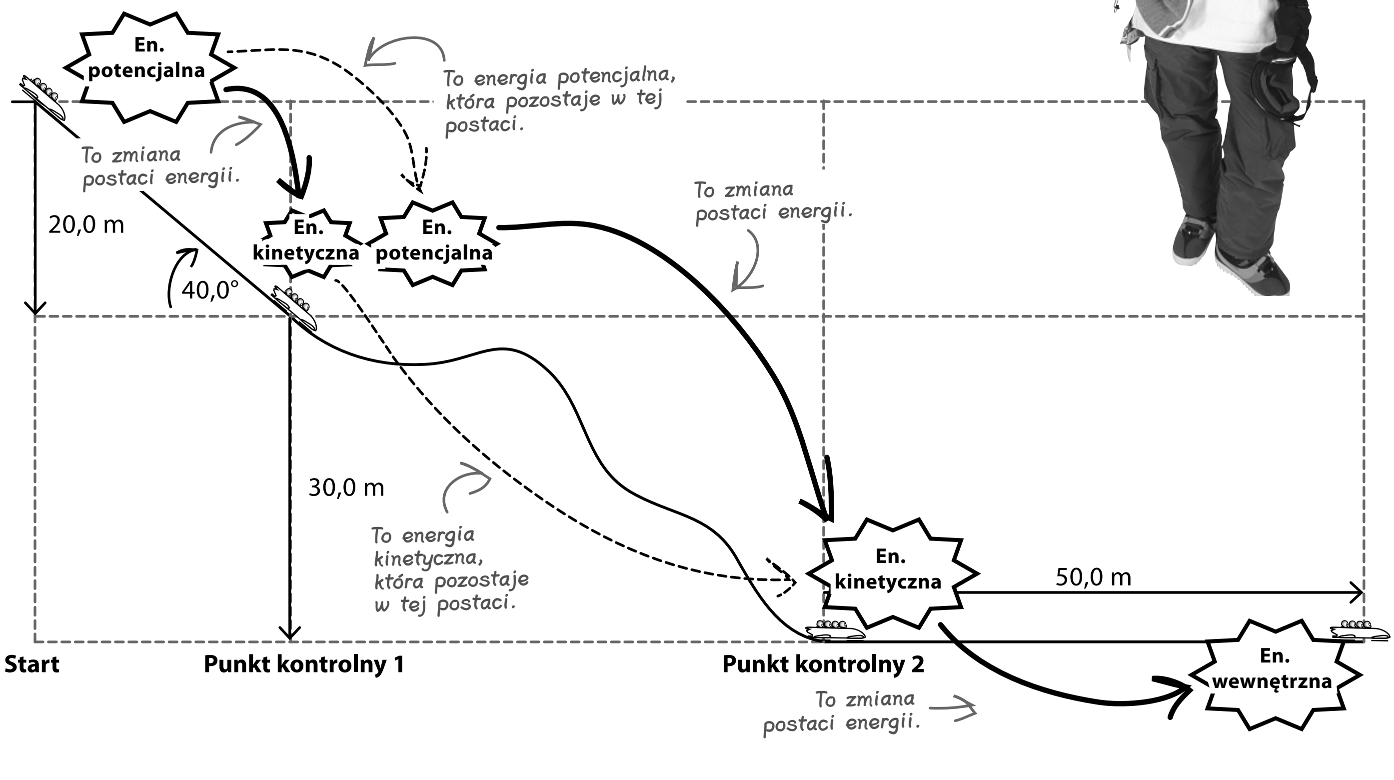
O: Tak… gdy tylko będzie taka potrzeba. W wielu zadaniach pojawiają się zderzenia, w których energia mechaniczna układu nie jest zachowana, a nie potrafisz wyznaczyć dokładnie zmiany energii wewnętrznej ciała. W takich przypadkach będziesz musiał posługiwać się również innymi narzędziami.

Zasada zachowania energii pomaga łatwiej rozwiązywać złożone problemy

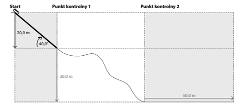
Dzięki zasadzie zachowania energii rozwiązałeś właśnie sprawnie problem, który z początku wydawał się bardzo skomplikowany, żeby nie powiedzieć, że niemożliwy do rozwiązania.

Gdy masz do czynienia z ciałem, które porusza się w dół lub w górę po podłożu nachylonym do poziomu, możesz zawsze obliczyć zmianę **energii potencjalnej** grawitacji tego ciała, uwzględniając **zmianę jego wysokości**. Droga, jaką ciało pokonuje stok, jest nieistotna. Ten wynik pozwoli Ci wyznaczyć zmianę **energii kinetycznej** i szybkość ciała.

Gdy w takim zadaniu pojawi się siła tarcia, potraktuj skutki jej działania jako **zmianę postaci energii** i nie myśl o tym, że masz do czynienia z siłą. W ten sposób zdołałeś wyznaczyć wartość siły hamowania sanek, 6170 N.



Szukaj <u>różnic poziomów</u>, prędkości itd. występujących między punktem początkowym ruchu a jego punktem końcowym. One pozwolą Ci skorzystać z <u>zasady zachowania energii.</u>

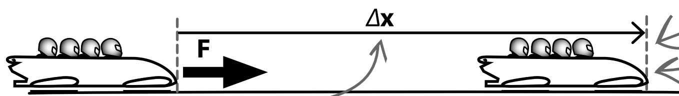


Nie do końca rozumiem różnicę pomiędzy pędem (mv) a energią kinetyczną ($\frac{1}{2}mv^2$). Poruszające się ciało charakteryzuje się obydwiema tymi wielkościami, wzory je opisujące są podobne i obie te wielkości są zachowane. Czy energia kinetyczna i pęd nie są tym samym, ujętym w nieco inny sposób?

Niezupełnie. Pęd i energia kinetyczna to inne pojęcia.

Jeżeli ciało nie porusza się, możesz wprawić je w ruch, na przykład popychając je, czyli działając na nie pewną siłą.

Siła działa przez czas Δt potrzebny do pokonania dystansu Δx.



Siła działa na drodze Δx.

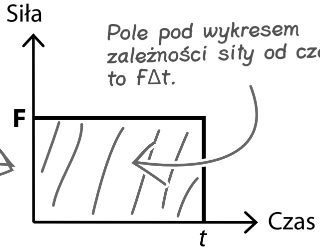
Poruszające się sanki mają zarówno pęd, p, jak i energię kinetyczną, E_k.

Równanie **popędu siły** stwierdza, że **siła** wypadkowa działająca na ciało przez pewien czas powoduje zmianę jego pędu — $\mathbf{F}\Delta t = \Delta\mathbf{p} = \Delta(m\mathbf{v})$.

Równanie **energii kinetycznej** stwierdza, że jeśli **siła** działająca na ciało, wykonując pracę, **przemieści** je, ciało to zyska energię kinetyczną, $\mathbf{F}\Delta\mathbf{x} = \Delta E_k = {}^1/_2 m\mathbf{v}^2$.

$$\mathbf{F}\Delta t = \Delta \mathbf{p}$$

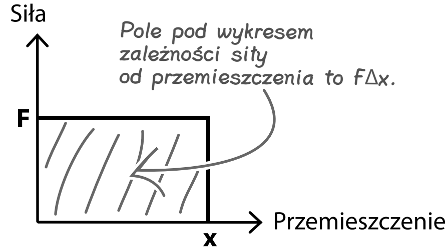
Pole pod wykresem ma kształt prostokąta o wysokości F i szerokości Δt, a to oznacza, że powierzchnia pola wynosi $F\Delta t$.



Pole pod wykresem zależności siły od czasu to $F\Delta t$.

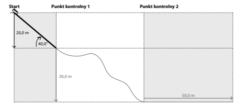
Pęd ciała wyznaczysz, określając czas, w jakim działała na nie siła.

$$\mathbf{F}\Delta \mathbf{x} = \Delta E_k$$

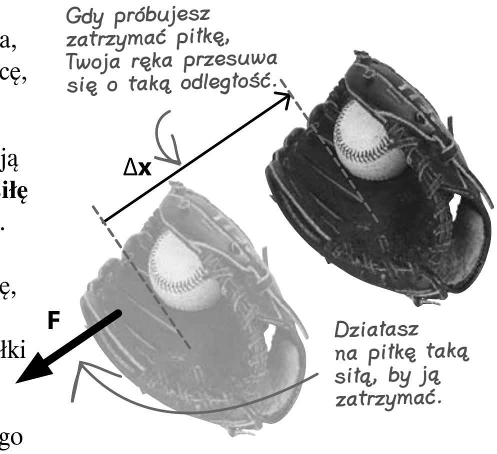


Pole pod wykresem zależności siły od przemieszczenia to $F\Delta x$.

Energię kinetyczną ciała wyznaczysz, określając przemieszczenie, jakiego doznaje ciało pod działaniem siły.



Pomiędzy pędem a energią kinetyczną istnieje praktyczna różnica



Próba dostrzeżenia jej na przykładzie **popychania** ciała, by ruszyć je z miejsca, jest zbyt oderwana od rzeczywistości. Spróbuj raczej wyobrazić sobie tę różnicę, myśląc o **zatrzymaniu** już poruszającego się ciała.

Wyobraź sobie, że masz złapać lecącą w Twoim kierunku piłkę. Piłka ma swoją masę i pewną prędkość. Żeby ją zatrzymać, musisz wywrzeć na piłkę pewną **siłę** swoją ręką. **Czas**, przez jaki musisz działać siłą na piłkę, zależy od **pędu** piłki. **Odległość**, na jakiej stosujesz siłę do zatrzymania piłki, zależy od jej **energii kinetycznej**. Siła, z jaką zatrzymywana piłka działa na Twoje ramię i rękawicę, wykonuje pewną pracę, przez co rękawica odkształca się nieco, a Ty musisz wyciągnąć rękę. Tylko dzięki temu możesz zredukować energię kinetyczną piłki do zera.

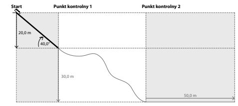
Poniższe ćwiczenie ma pokazać Ci **praktyczną** różnicę między **czasem**, jakiego potrzeba na zatrzymanie ciała, a **odległością** niezbędną do tego. Jednocześnie będzie to doskonałą ilustracją różnicy pomiędzy pędem a energią kinetyczną.

Ćwiczenie

a. Piłka bejsbolowa o masie 145 g została wybita z prędkością 35,8 m/s. Oblicz (i) jej pęd i (ii) jej energię kinetyczną.

b. Pocisk o masie 3,45 g zostaje wystrzelony z prędkością 1500 m/s. Oblicz (i) jego pęd oraz (ii) jego energię kinetyczną.

c. Działając pewną siłą na piłkę bejsbolową, jesteś w stanie złapać ją ręką. Wyjaśnij, dlaczego z punktu widzenia fizyki nie byłbyś w stanie zatrzymać pocisku, działając na niego tą samą siłą. (Załóż, że łapiąc piłkę rękawicą, zdołasz ją zatrzymać, działając siłą na drodze 30 cm).



Rozwiązanie ćwiczenia

a. Piłka bejsbolowa o masie 145 g została wybita z prędkością 35,8 m/s. Oblicz (i) jej pęd i (ii) jej energię kinetyczną.

(i) $p = mv = 0{,}145\ \mathrm{kg} \times 35{,}8\ \mathrm{m/s}$

$p = \underline{5{,}19\ \mathrm{kg \cdot m/s}}$

(ii) $E_K = \frac{1}{2}mv^2 = 0{,}5 \times 0{,}145\ \mathrm{kg} \times (35{,}8\ \mathrm{m/s})^2$

$E_K = \underline{\underline{107\ \mathrm{J}}}$

b. Pocisk o masie 3,45 g zostaje wystrzelony z prędkością 1500 m/s. Oblicz (i) jego pęd oraz (ii) jego energię kinetyczną.

(i) $p = mv = 0{,}00345\ \mathrm{kg} \times 1500\ \mathrm{m/s}$

$p = \underline{5{,}18\ \mathrm{kg \cdot m/s}}$

(ii) $E_K = \frac{1}{2}mv^2 = 0{,}5 \times 0{,}00345\ \mathrm{kg} \times (1500\ \mathrm{m/s})^2$

$E_K = \underline{\underline{3880\ \mathrm{J}}}$

c. Działając pewną siłą na piłkę bejsbolową, jesteś w stanie złapać ją ręką. Wyjaśnij, dlaczego z punktu widzenia fizyki nie byłbyś w stanie zatrzymać pocisku, działając na niego tą samą siłą. (Załóż, że łapiąc piłkę rękawicą, zdołasz ją zatrzymać, działając siłą na drodze 30 cm).

Energia kinetyczna pocisku jest około 35 razy większa niż energia kinetyczna piłki. Żeby zatrzymać lecące ciało, muszę wykonać pracę równą jego energii kinetycznej.

Oznacza to, że do zatrzymania pocisku muszę wykonać pracę większą około 35 razy.

Praca = $F\Delta x$. Gdyby próbować zatrzymać pocisk, działając na niego taką samą siłą jak na piłkę, trzeba by było używać tej siły na drodze 30 × 30 cm = 900 cm = 9 m. Nie jest to możliwe fizycznie, więc kula przebije rękawicę (i nie tylko). Nie polecam wykonywania podobnych prób.

Nie istnieją głupie pytania

P: Czy dobrze rozumiem, że energia kinetyczna i pęd to dwa różne pojęcia, choć ich równania są tak podobne?

O: Tak. To inne wielkości, opisane innymi jednostkami.

P: Ale i jedna, i druga są zachowane dla całego układu?

O: Pęd jest zachowany zawsze, tak samo jak całkowita energia układu, ale pamiętaj, że całkowita energia to niekoniecznie sama energia kinetyczna. Są też energie potencjalne i energia wewnętrzna.

P: Skoro piłka i pocisk mają taki sam pęd, dlaczego pocisk wyrządza tyle szkód?

O: Pęd ciała zależy od jego prędkości, a energia kinetyczna zależy od kwadratu prędkości. Gdy ciało porusza się z dużą prędkością, czynnik v^2 zaczyna decydować o wartości energii. Jeżeli jedno z dwóch identycznych ciał zaczyna poruszać się 3 razy szybciej niż drugie, jego energia kinetyczna będzie dziewięciokrotnie większa! To oznacza, że chcąc zatrzymać to ciało, działając na niego taką samą siłą, jak w przypadku ciała poruszającego się wolniej, musisz przykładać ją na dziewięciokrotnie dłuższej drodze. To między innymi dlatego pocisk wbije się głęboko w drewno, podczas gdy piłka mająca taki sam pęd zrobi jedynie niewielkie wgniecenie.

<u>Droga</u> potrzebna do zatrzymania ciała zależy od jego <u>energii kinetycznej.</u>

Tak się zastanawiam... czym w zasadzie jest energia? Korzystam z tego pojęcia już w kolejnym rozdziale, ale nadal nie wiem, czym ona jest.

Energia opisuje zdolność ciała do wykonania pracy. Całkowita energia układu jest zawsze zachowana.

Energię definiuje się jako zdolność ciała do wykonania pracy, zakładając, że cała ona może zostać wykorzystana na ten cel.

Zazwyczaj daje się mierzyć zmiany postaci energii i wykorzystywać tę wielkość w obliczeniach.

Czy to oznacza, że powinienem raczej myśleć o zmianach energii, a nie o „całkowitej" energii posiadanej przez ciało?

Zachowanie energii to jedna z podstawowych zasad w fizyce.

Zasada zachowania energii jest jednym z praw natury. Pamiętaj, że takie prawo nie jest przedmiotem, który możesz wsadzić do kieszeni, mówiąc „to zasada zachowania energii". Możesz jedynie obserwować zachowania ciał spełniające tę zasadę.

Możesz obserwować efekty **zmian** energii kinetycznej, potencjalnej czy wewnętrznej. Gdy sprawdzisz, jak zmieniały się poszczególne rodzaje energii ciała i zsumujesz wartości tych zmian, po czym stwierdzisz, że zmiana całkowitej energii ciała wynosi zero, to oznacza, że całkowita energia układu jest zachowana. Przykładowo przyrost energii kinetycznej może wiązać się z ubytkiem energii potencjalnej.

Mówi się o zmianach energii potencjalnej, kinetycznej, wewnętrznej itp., a nie o jej bezwzględnych wartościach.

Choć energii nie widać, możesz opisywać ją słowami lub wzorami i korzystać z zasady jej zachowania do rozwiązywania problemów z fizyki.

Poradnia pytań — „wykaż, że…”

Zadania polegające na wykazaniu prawdziwości jakiegoś twierdzenia różnią się od zwyczajnych zadań tym, że od razu oferują wynik końcowy. Twoje zadanie polega na uzyskaniu go po rozpoczęciu obliczeń we wskazanym przez autorów punkcie. Cała trudność polega na tym, żeby zrozumieć, że zadanie można rozwiązywać również od tyłu! Przyjrzyj się równaniu, które masz otrzymać w wyniku przekształceń, i zastanów się, co podstawić za odpowiednie zmienne w równaniu, z którego masz zacząć dowód. Przyjrzyj się także wcześniejszym postaciom równania początkowego, ponieważ najprawdopodobniej proszono Cię już o wykonanie pewnych przekształceń, które teraz mogą okazać się pomocne.

Pamiętaj, że równania podane w treści pytania mogą używać innych zmiennych na oznaczenie tych samych wielkości.

Litery a i g oznaczają to samo przyspieszenie.

Zmienna h i wyrażenie $(x - x_0)$ oznaczają zmianę położenia sanek.

To słowo klucz równoważne stwierdzeniu „spełnienie zasady zachowania energii mechanicznej”.

2. Sanki zjeżdżają bez tarcia po niejednorodnym torze saneczkowym.

a. Korzystając z równań $E_p = m\mathbf{gh}$ oraz $\mathbf{v}^2 = \mathbf{v}_0^2 + 2\mathbf{a}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)$ i wiedząc, że energia potencjalna grawitacji sanek znajdujących się na szczycie toru jest równa ich energii kinetycznej na dole toru, wykaż, że energia kinetyczna jest opisana wzorem $E_k = {}^1/_2 m\mathbf{v}^2$.

b. Drugi punkt kontrolny znajduje się 30,0 m poniżej pierwszego. Jeśli mijając pierwszy punkt kontrolny, sanki poruszają się z szybkością 19,8 m/s, to jaka będzie ich szybkość w drugim punkcie kontrolnym?

To stwierdzenie oznacza, że masz do czynienia z zadaniem algebraicznym. Musisz przekształcić podane równania tak, by otrzymać równanie, którego prawdziwości masz dowieść.

Druga część zadania jest zazwyczaj związana z częścią pierwszą. W tym przypadku musisz zauważyć, że w podpunkcie b należy skorzystać z zasady zachowania energii i równania, którego prawdziwości dowiodłeś w części a.

Nawet jeżeli nie zdołasz wykazać prawdziwości równania w pierwszej części zadania, możesz skorzystać z podanego równania w drugiej części.

Gdy natkniesz się na zadanie wymagające przeprowadzenia dowodu, sprawdź, czy w poprzedzających je podpunktach nie pojawiły się jakieś przydatne informacje. Nawet jeżeli utkniesz gdzieś w trakcie przekształcania wzorów i nie zdołasz dowieść prawdziwości danego równania, możesz używać go w innych podpunktach zadania głównego, tak jakbyś wykazał jego prawdziwość.

Poradnia pytań — przekazywanie energii

Zawsze gdy zobaczysz w zadaniu pojęcie siły czy przemieszczenia, zastanów się, czy dasz radę rozwiązać ten problem za pomocą zasady zachowania energii. Szukaj w treści zadania wzmianek dotyczących różnic wysokości — powinny one natychmiast kojarzyć Ci się z energią potencjalną grawitacji! Szukaj też informacji o sile wypadkowej działającej na ciało pokonujące jakąś drogę. Takie dane powinny przywoływać na myśl zwiększenie energii kinetycznej ciała, wykonywanie pracy przeciwko sile tarcia lub obydwa te aspekty ruchu ciała.

Słowo klucz „hamulec" oznacza, że energia kinetyczna zostanie przekształcona w energię wewnętrzną po wykonaniu pracy przeciwko sile tarcia.

Musisz stwierdzić, że całkowita energia układu jest zachowana, i wyjaśnić, jak zmienia się jej postać.

3. Sanki o masie 630 kg jadące z prędkością 31,3 m/s muszą zatrzymać się po naciśnięciu hamulca.

a. Opisz zjawiska zachodzące w czasie hamowania w kontekście zmian postaci energii.

b. Jaką siłą trzeba zadziałać na sanki, żeby zatrzymały się po pokonaniu drogi 50,0 m?

c. Sanki zatrzymają się szybciej, jeśli ostatnia część toru będzie nieco nachylona do poziomu. Jaką siłą trzeba działać na sanki, żeby zatrzymać je na dystansie 50,0 toru, który unosi się o 10,0 m?

Zawsze gdy w zadaniu pojawia się wzmianka na temat siły działającej na ciało i drogi, jaką to ciało przebywa, zastanów się, czy siła nie wykonuje pracy.

To stwierdzenie oznacza, że masz opisać słownie pewne idee fizyczne, kryjące się za badanym zjawiskiem.

Siła ta będzie inna od obliczonej poprzednio, ponieważ część energii kinetycznej zostanie zamieniona na energię potencjalną, jaką zyska ciało po osiągnięciu wysokości 10,0 m.

Gdy w zadaniu pojawi się wzmianka o zmianie wysokości, zastanów się nad możliwością wykorzystania energii potencjalnej grawitacji.

Pamiętaj zawsze, że całkowita energia układu jest zachowana. Jeżeli treść zadania sugeruje, że na ciało nie działa siła tarcia, oznacza to, że zachowana jest energia mechaniczna układu (energia potencjalna + energia kinetyczna). Jeżeli w zadaniu pojawia się tarcie, oznacza to, że energia zmienia postać na różne sposoby — na przykład energia kinetyczna może zmieniać się w energię potencjalną grawitacji i w energię wewnętrzną ciała.

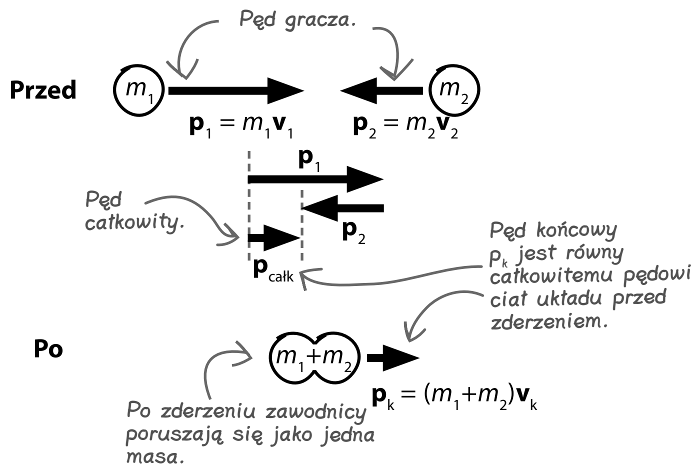
Po sukcesie, jaki osiągnęła gra SimFutbol, nadeszła pora na SimBilard

Nie minęło kilka tygodni od chwili, gdy zakończyłeś prace konsultanta zespołu programistów gry SimBilard, która sprzedała się w nakładzie wielu milionów egzemplarzy, a znów zgłosił się do Ciebie znany Ci już programista. W tej chwili zespół pracuje nad grą SimBilard, ale natknął się na pewien problem.

Używałem wszystkich zasad fizycznych, o których mi opowiedziałeś, ale teraz zupełnie utknąłem. Zawodnicy futbolu po szarży zawsze poruszali się razem, ale bile muszą odskakiwać od siebie po zderzeniu — to główna zasada gry!

Użycie starego kodu sprawia, że bile sklejają się razem!

Bile muszą odbić się od siebie po zderzeniu, ale programista nie wie, jak obliczyć ich prędkości. Do tej pory programował jedynie ruch modeli zawodników drużyny futbolowej, a ci nie odbijali się od siebie po zderzeniu.



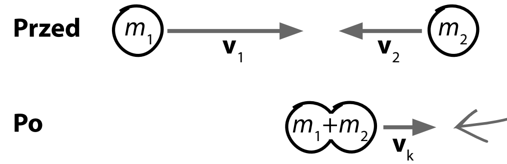
Gdy programista użył starego kodu w grze w bilard, bile skleiły się razem po zderzeniu, a wiadomo, że tak się nie dzieje!

Zasada zachowania pędu nadaje się do rozwiązywania problemu zderzeń niesprężystych

Zderzenie modelowane w grze SimFutbol to **zderzenie niesprężyste**. Nazywamy je tak, ponieważ zawodnicy po kontakcie ze sobą nie odbijają się i nie zaczynają poruszać się w inne strony.

W czasie zderzenia **pęd układu jest zawsze zachowany**. Ponieważ znamy **masę** i **prędkość** każdego z zawodników, po zderzeniu możemy opisać układ **jednym równaniem** (równaniem zasady zachowania pędu) z **jedną niewiadomą** (nie znamy prędkości złączonych ze sobą po zderzeniu zawodników), więc możemy bez trudu je rozwiązać.

Po zderzeniu zawodnicy grający w futbol poruszają się jako jedna masa.



Zasada zachowania pędu:

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = (m_1+m_2)\mathbf{v}_k$$

✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ?

Zmienna v_k jest jedyną niewiadomą w tym równaniu, więc wyznaczysz ją z niego bez problemu.

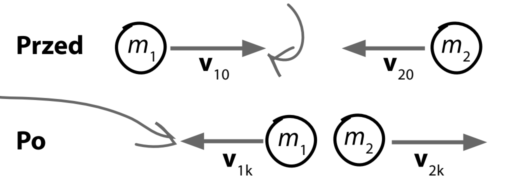
Do obliczenia niewiadomych w zderzeniu sprężystym będziesz potrzebować drugiego równania

Zderzenia, jakie mają miejsce podczas gry w bilard, to **zderzenia sprężyste**. Nazywamy je tak dlatego, że po zajściu zderzenia bile odskakują do siebie.

Gdy dwa ciała zderzą się ze sobą niesprężyście, poruszają się później jako jedna masa mająca jedną prędkość. Po zderzeniu sprężystym każda z mas porusza się niezależnie z własną prędkością. Nie znamy prędkości żadnej z mas po zderzeniu. Oznacza to, że w tym przypadku masz do wyznaczenia dwie niewiadome.

W czasie zderzenia **zasada zachowania pędu jest spełniona**, ale jedno równanie nie wystarczy, by wyznaczyć z niego wartości dwóch niewiadomych. Musimy wymyślić drugie równanie, które pozwoli zaprogramować grę w bilard. Gdy będziesz mieć obydwa równania, zdołasz wyznaczyć dwie niewiadome.

Symbol v_{10} oznacza „prędkość początkowa ciała 1". Symbol v_{1k} oznacza „prędkość końcowa ciała 1". Indeksy pomogą Ci odróżnić zmienne opisujące obydwa ciała.



Zasada zachowania pędu:

$$m_1\mathbf{v}_{10} + m_2\mathbf{v}_{20} = m_1\mathbf{v}_{1k} + m_2\mathbf{v}_{2k}$$

✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ? ✓ ?

Nie znasz ani wartości v_{1k}, ani wartości v_{2k}. Ponieważ w problemie pojawiają się dwie niewiadome i tylko jedno równanie, nie zdołasz wyznaczyć wartości żadnej z nich.

Żeby rozwiązać problem z <u>dwiema niewiadomymi,</u> potrzebujesz <u>dwóch równań.</u>

WYSIL SZARE KOMÓRKI

Skąd wziąć drugie równanie, które pozwoli wyznaczyć dwie nieznane wartości prędkości.

Koniecznie musimy rozwiązać zadanie z bilardem. Bile na pewno nie powinny sklejać się ze sobą. Przecież to zderzenie *sprężyste*!

W zderzeniach sprężystych pęd jest zachowany.

Kuba: Racja, ale przez to musimy się zmierzyć z kłopotami, jakich nie mieliśmy w przypadku **zderzeń niesprężystych**. Po zderzeniu ciała poruszają się z dwiema różnymi **prędkościami**, a nie z jedną.

Krzysiek: Tym razem nie wystarczy nam **zasada zachowania pędu**. Nie można przecież wyznaczyć wartości dwóch niewiadomych z jednego równania.

Franek: Prawda, lecz to chyba nie zmienia faktu, że pęd jest zachowany również w zderzeniach sprężystych? Pozostaje zatem znaleźć drugie równanie, które posłuży nam do opisania tego problemu.

Kuba: A co z **zasadą zachowania energii**? Już wcześniej pomagała nam rozwiązywać różne problemy.

Krzysiek: Nie jestem pewien. Przecież wysokość położenia kul bilardowych nie ulega zmianie, więc nie zdziałamy nic z energią potencjalną grawitacji.

Franek: Ale bile się poruszają, prawda? Zastanówmy się, co wiemy o ich **energii kinetycznej**?

Kuba: No właśnie! Kule poruszają się przed zderzeniem i po nim, więc zarówno przed, jak i po nim muszą mieć energię kinetyczną.

Krzysiek: Ale skąd pewność, że w chwili zderzenia część energii kinetycznej nie zamienia się na energię wewnętrzną?

Franek: Wiesz, kule nie są specjalnie gorące po zderzeniu. Na pewno nie tak gorące, jak hamulce po hamowaniu.

Kuba: Poza tym nie odkształcają się, więc możemy założyć, że ich cząsteczki nie doznają przemieszczenia.

Krzysiek: Tak, chyba macie rację. Odbicie jest sprężyste, prawda? Dalej — energia musi być zachowana. Przed zderzeniem każda bila ma pewną energię kinetyczną, tak samo jest po zderzeniu. Skoro zmiana energii wewnętrznej jest minimalnie mała, możemy założyć, że całkowita energia kinetyczna przed zderzeniem i po zderzeniu jest taka sama.

W zderzeniach sprężystych zachowane są pęd i energia kinetyczna.

Franek: Czyli jedno równanie to zasada zachowania pędu.

Kuba: A skoro energia kinetyczna jest taka sama przed zderzeniem i po zderzeniu, to mamy drugie równanie!

Krzysiek: W obydwu równaniach pojawiają się prędkości kul, więc możemy rozwiązać to zadanie!

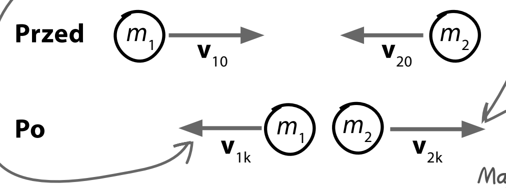
Zasada zachowania energii to drugie z potrzebnych Ci równań

Zderzenie dwóch kul bilardowych to **zderzenie sprężyste**. Energia wewnętrzna ciał biorących udział w takim zderzeniu nie wzrasta w sposób znaczący, ponieważ ciała nie doznają odkształcenia (zawodnicy futbolu amerykańskiego nie odbijali się od siebie po zderzeniu, a ich ochraniacze ulegały odkształceniu, więc zmieniała się ich energia wewnętrzna).

Ponieważ energia wewnętrzna zderzających się bil nie ulega zmianie, możemy stwierdzić, że ich **całkowita energia kinetyczna** jest taka sama przed zderzeniem i po nim. To właśnie drugie równanie, które pozwoli nam obliczyć prędkości bil.

Masz już **dwa równania** (równanie zasady zachowania pędu i równanie zasady zachowania energii), więc możesz wyznaczyć wartości **dwóch niewiadomych** — prędkości końcowych kul bilardowych po zderzeniu.

To tylko przykładowy rysunek, pokazujący, jakie prędkości MOGŁYBY osiągnąć kule po zderzeniu.



Mając dwa równania, obliczysz wartości dwóch niewiadomych.

Zasada zachowania pędu:

$$m_1\mathbf{v}_{10} + m_2\mathbf{v}_{20} = m_1\mathbf{v}_{1k} + m_2\mathbf{v}_{2k}$$

✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ? ✓ ?

Zasada zachowania energii:

$$\tfrac{1}{2}m_1\mathbf{v}_1^2 + \tfrac{1}{2}m_2\mathbf{v}_2^2 = \tfrac{1}{2}m_1\mathbf{v}_{1k}^2 + \tfrac{1}{2}m_2\mathbf{v}_{2k}^2$$

✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ? ✓ ?

Zaostrz ołówek

Ten zapis oznacza, że $m_1 = m_2 = m$.

To oznacza, że prędkość $v_{20} = 0$, a to powinno nieco ułatwić obliczenia.

Na stole do bilardu znajdują się dwie kule bilardowe o identycznych masach *m*. Pierwsza z nich, poruszająca się z prędkością $\mathbf{v}_{10}$, uderza centralnie w drugą — **spoczywającą**. Po zderzeniu pierwsza kula ma prędkość $\mathbf{v}_{1k}$, a druga ma prędkość $\mathbf{v}_{2k}$.

a. Zapisz równanie zasady zachowania pędu.

b. Zapisz równanie zasady zachowania energii kinetycznej.

c. Przekształć równanie z podpunktu a w taki sposób, by wyznaczyć z niego zmienną $\mathbf{v}_{2k}$, po czym podstaw ją do równania z podpunktu b, by otrzymać jeden wzór z jedną niewiadomą — $\mathbf{v}_{1k}$.

d. Usuń nawiasy z zapisu równania i postaraj się możliwie je uprościć. (Nie przejmuj się, że nie zdołasz zapisać go w postaci „$\mathbf{v}_{1k}$ = coś” — tym zajmiemy się na następnej stronie).

Zaostrz ołówek: Rozwiązanie

Ten zapis oznacza, że $m_1 = m_2 = m$.

To oznacza, że prędkość $v_{20} = 0$, a to powinno nieco ułatwić obliczenia.

Na stole do bilardu znajdują się dwie kule bilardowe o identycznych masach *m*. Pierwsza z nich, poruszająca się z prędkością $\mathbf{v_{10}}$, uderza centralnie w drugą — **spoczywającą**. Po zderzeniu pierwsza kula ma prędkość $\mathbf{v_{1k}}$, a druga ma prędkość $\mathbf{v_{2k}}$.

a. Zapisz równanie zasady zachowania pędu.

$$mv_{10} + 0 = mv_{1k} + mv_{2k}$$

b. Zapisz równanie zasady zachowania energii kinetycznej.

$$\tfrac{1}{2}mv_{10}^2 + 0 = \tfrac{1}{2}mv_{1k}^2 + \tfrac{1}{2}mv_{2k}^2$$

Prędkość $v_{20} = 0$, a to oznacza, że czynniki ją zawierające znikają z równania.

c. Przekształć równanie z podpunktu a w taki sposób, by wyznaczyć z niego zmienną $\mathbf{v_{2k}}$, po czym podstaw ją do równania z podpunktu b, by otrzymać jeden wzór z jedną niewiadomą — $\mathbf{v_{1k}}$.

$$\cancel{m}v_{10} = \cancel{m}v_{1k} + \cancel{m}v_{2k} \quad (a)$$

$$v_{10} = v_{1k} + v_{2k}$$

$$v_{2k} = v_{10} - v_{1k}$$

Wszystkie wyrazy zawierają zmienną m, więc można usunąć ją z równania przez obustronne dzielenie.

$$\cancel{\tfrac{1}{2}m}v_{10}^2 = \cancel{\tfrac{1}{2}m}v_{1k}^2 + \cancel{\tfrac{1}{2}m}v_{2k}^2 \quad (b)$$

$$v_{10}^2 = v_{1k}^2 + v_{2k}^2$$

Wszystkie czynniki są mnożone przez wartość ½ m, więc można podzielić obie strony równania przez tę wartość i w ten sposób ją zlikwidować.

Podstawiam wynik do (b).

$$v_{10}^2 = v_{1k}^2 + (v_{10} - v_{1k})^2$$

Jedyną niewiadomą w tym równaniu jest zmienna v_{1k}.

d. Usuń nawiasy z zapisu równania i postaraj się możliwie je uprościć. (Nie przejmuj się, że nie zdołasz zapisać go w postaci „$\mathbf{v_{1k}}$ = coś" — tym zajmiemy się na następnej stronie).

$$v_{10}^2 = v_{1k}^2 + (v_{10} - v_{1k})^2$$

$$\cancel{v_{10}^2} = v_{1k}^2 + \cancel{v_{10}^2} - 2v_{10}v_{1k} + v_{1k}^2$$

$$0 = \cancel{2}v_{1k}^2 - \cancel{2}v_{10}v_{1k}$$

$$v_{1k}^2 - v_{10}v_{1k} = 0$$

Czynnik v_{10}^2 znajduje po obu stronach równania, więc można odjąć go obustronnie i w ten sposób usunąć.

Każdy wyraz równania możesz podzielić przez 2.

To równanie, w którym wszystkie wyrazy zawierające zmienną v_{1k} znajdują się po lewej stronie znaku równości.

Świetnie, udało mi się wyznaczyć to... to $v_{1k}^2 - v_{10}v_{1k} = 0$. Wiem, że powinnam otrzymać zapis „v_{1k} = coś", ale jak to zrobić?!

Pomoże nam rozłożenie równania na czynniki.

Czasami okazuje się, że przekształcenie równania do postaci „$\mathbf{v_{1k}}$ = coś" jest zbyt skomplikowane. Wtedy z pomocą może przyjść **rozkładanie** całości **na czynniki**. Rozkładanie równania na czynniki polega na dostrzeżeniu, które ze zmiennych można umieścić w jednym nawiasie — w zasadzie jest to działanie odwrotne do wymnażania nawiasów.

Gdy wynikiem mnożenia dwóch wielkości jest zero, możemy z całą pewnością stwierdzić, że przynajmniej jedna z nich wynosi zero. Gdy przykładowo $xy = 0$, wiadomo od razu, że albo x, albo y muszą być równe zero (ewentualnie obydwie zmienne są równe zero). Masz do rozwiązania równanie $\mathbf{v_{1k}}^2 - \mathbf{v_{10}v_{1k}} = 0$, po którego prawej stronie stoi wartość zero.

Gdyby udało się rozłożyć lewą stronę równania na czynniki, otrzymałbyś do rozwiązania problem, w którym iloczyn dwóch wyrażeń jest równy zero, więc mógłbyś stwierdzić na pewno, że przynajmniej jedno z tych wyrażeń **musi być równe zero**. Zazwyczaj **kontekst** zadania pozwala określić, który z czynników musi przyjmować wartość 0.

Jeżeli wyrażenie $xy = 0$, to albo x, albo y MUSI być równe 0 (ewentualnie obie liczby są równe 0).

Rozkładanie na czynniki oznacza wstawienie nawiasów

Zmienna *a* jest wspólna dla wyrazów *ab* i *ac*, a to oznacza, że wszystkie inne zmienne tych wyrazów są mnożone przez zmienną *a*. Dlatego też zmienną a nazywamy **czynnikiem wspólnym** wyrazów — czynnik ten pojawia się w każdym z nich.

Rozkładanie równania na czynniki oznacza wyprowadzenie czynnika wspólnego przed nawias zawierający pozostałą część wyrazów. Zgodnie z tą zasadą wyrażenie $ab + ac$ można zapisać jako $a(b + c)$.

$$ab + ac = a(b + c)$$

Zmienna a jest czynnikiem wspólnym, przez który mnożone są pozostałe części wyrazów.

Jeżeli masz do rozwiązania równanie $a(b + c) = 0$, możesz stwierdzić, że zachodzi warunek $a = 0$ lub $(b + c) = 0$. Wynika on z faktu, że zerowy wynik mnożenia dwóch czynników występuje wtedy, gdy przynajmniej jeden z nich jest równy zeru.

Jeżeli ta sama zmienna pojawia się w więcej niż jednym wyrazie równania, możesz przeprowadzić rozłożenie tego równania na czynniki.

Zaostrz ołówek

a. Która ze zmiennych równania $\mathbf{v}_{1k}^{\,2} - \mathbf{v}_{10}\mathbf{v}_{1k} = 0$ pojawia się w obydwu jego członach?

b. Równanie, w którym pojawiają się nawiasy, można zawsze uprościć do postaci bez nawiasów, na przykład $a(b + c) = ab + ac$. W ten sposób zmienna a staje się czynnikiem wspólnym obydwu wyrazów równania.

Wiedząc to, zapisz równanie $\mathbf{v}_{1k}^{\,2} - \mathbf{v}_{10}\mathbf{v}_{1k} = 0$ w taki sposób, by po jego lewej stronie znalazł się iloczyn jakiejś zmiennej i wyrażenia zapisanego w nawiasach.

c. Gdy iloczyn dwóch czynników daje zero, przynajmniej jeden z nich musi być równy zero. Skorzystaj z tej wiedzy, by wyznaczyć dwie możliwe wartości zmiennej $\mathbf{v}_{1k}$, a następnie posłuż się kontekstem zadania do wskazania poprawnej odpowiedzi.

Zaostrz ołówek: Rozwiązanie

a. Która ze zmiennych równania $\mathbf{v}_{1k}^2 - \mathbf{v}_{10}\mathbf{v}_{1k} = 0$ pojawia się w obydwu jego członach?

W obydwu wyrazach pojawia się zmienna v_{1k}.

b. Równanie, w którym pojawiają się nawiasy, można zawsze uprościć do postaci bez nawiasów, na przykład a(b + c) = ab + ac. W ten sposób zmienna a staje się czynnikiem wspólnym obydwu wyrazów równania.

Wiedząc to, zapisz równanie $\mathbf{v}_{1k}^2 - \mathbf{v}_{10}\mathbf{v}_{1k} = 0$ w taki sposób, by po jego lewej stronie znalazł się iloczyn jakiejś zmiennej i wyrażenia zapisanego w nawiasach.

$$v_{1k}^2 - v_{10}v_{1k} = 0$$
$$v_{1k}(v_{1k} - v_{10}) = 0$$

c. Gdy iloczyn dwóch czynników daje zero, przynajmniej jeden z nich musi być równy zero. Skorzystaj z tej wiedzy, by wyznaczyć dwie możliwe wartości zmiennej $\mathbf{v}_{1k}$, a następnie posłuż się kontekstem zadania do wskazania poprawnej odpowiedzi.

Rozwiązaniem równania jest $v_{1k} = 0$ lub $(v_{1k} - v_{10}) = 0$.

Gdyby miał być spełniony warunek $(v_{1k} - v_{10}) = 0$, oznaczałoby to, że $v_{1k} = v_{10}$, czyli pierwsza bila musiałaby poruszać się po zderzeniu z niezmienioną prędkością, zupełnie jakby nie zderzyła się z drugą kulą. Takie rozwiązanie nie jest możliwe.

Drugim dopuszczalnym rozwiązaniem jest $v_{1k} = 0$. Odpowiedź ta wydaje się być poprawna, ponieważ w przypadku uderzenia jednej kuli bilardowej centralnie drugą, pierwsza z nich często zatrzymuje się.

Teraz wiesz już, jak radzić sobie ze zderzeniami sprężystymi

Pęd układu jest zachowany w każdym rodzaju zderzeń, zarówno w zderzeniach sprężystych, jak i w zderzeniach niesprężystych. **Energia** również jest zachowana zawsze, lecz w zderzeniach niesprężystych część energii mechanicznej może przyjąć postać energii wewnętrznej. Jeżeli zderzenie jest sprężyste, całkowita energia kinetyczna układu jest zachowana.

Rodzaj zderzenia określa się najłatwiej, stwierdzając, czy w efekcie zdarzenia któreś z ciał doznało odkształcenia. Jeżeli tak, wiadomo, że było to zderzenie niesprężyste, ponieważ cząsteczki zdeformowanego ciała zmieniły swoje położenie, czyli doszło do zwiększenia energii wewnętrznej tego ciała.

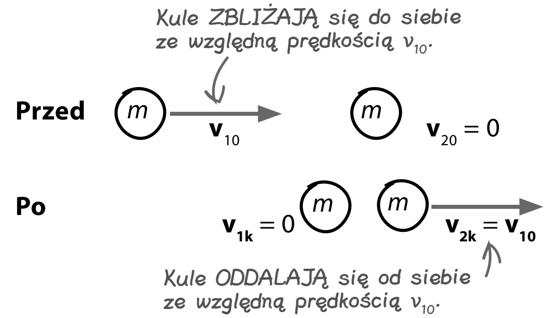
W każdym zadaniu opisującym zderzenie skorzystaj z zasady zachowania pędu. Jeżeli zderzenie jest sprężyste i masz do czynienia z dwiema niewiadomymi, posłuż się również zasadą zachowania energii.

Rozwiązując zadanie, w którym pojawia się zderzenie **sprężyste**, korzystaj zawsze z **zasady zachowania pędu**. Jeżeli występuje w nim tylko jedna niewiadoma, problem jest już właściwie rozwiązany.

Jeżeli w zadaniu pojawiają się dwie niewiadome, musisz zapisać drugie równanie. Wtedy niezastąpiona okazuje się zasada **zachowania energii**.

Prędkość względna w zderzeniu sprężystym zmienia kierunek

Rozwiązałeś właśnie problem zderzenia dwóch kul bilardowych — poruszającej się ze spoczywającą. Gdy poruszająca się kula uderza w kulę spoczywającą, sama zatrzymuje się, a druga kula, pozostająca dotąd w spoczynku, zaczyna się poruszać z prędkością równą prędkości pierwszej kuli przed zderzeniem.



Wyobraź sobie teraz, że siedzisz na szczycie drugiej kuli. Widzisz najpierw, jak zbliża się do Ciebie pierwsza kula, poruszająca się z prędkością $\mathbf{v}_{10}$. Po zderzeniu wydaje się, że pierwsza kula oddala się od Ciebie z prędkością $-\mathbf{v}_{10}$ (choć faktycznie porusza się przecież kula druga).

Zasada ta jest słuszna również w drugą stronę. Jeżeli po zderzeniu prędkość względna dwóch ciał ulega odwróceniu, wiadomo, że zderzenie to musiało być sprężyste.

To szczególny przypadek ogólnej zasady dotyczącej prędkości względnej w zderzeniach sprężystych, która mówi, że po **zderzeniu sprężystym** kierunek prędkości względnej ulega **odwróceniu**. Zasada ta jest spełniona również wtedy, gdy obydwa ciała są początkowo w ruchu.

Nie istnieją głupie pytania

P: Czy w każdym zadaniu dotyczącym zderzeń sprężystych muszę używać zasady zachowania pędu ORAZ zasady zachowania energii?

O: Nie zawsze. Czasami w zadaniu pojawia się tylko jedna wielkość niewiadoma. W takim przypadku wystarczy Ci jedno równanie.

P: Z którego równania powinienem skorzystać, jeżeli nie znam wartości tylko jednej z prędkości — z zasady zachowania pędu czy z zasady zachowania energii?

O: Lepiej korzystać z zasady zachowania pędu, ponieważ w zadaniach tego typu zwrot wektora prędkości ma znaczenie. Zasada zachowania pędu daje informacje nie tylko o wartości wektora prędkości, ale również o jego zwrocie, ponieważ pęd jest także wektorem.

P: Czy równanie energii kinetycznej zawiera informację o kierunku wektora prędkości?

O: Nie, ponieważ energia kinetyczna jest wielkością skalarną. Ciało o pewnej masie ma zawsze taką samą energię kinetyczną, niezależnie od kierunku prędkości.

P: Czy z równania energii kinetycznej da się odtworzyć zwrot wektora prędkości?

O: Równanie energii kinetycznej ma postać $E_k = ½m\mathbf{v}^2$. Prędkość jest tu **podnoszona do kwadratu**. Wynik mnożenia dwóch liczb dodatnich jest dodatni, ale wynik mnożenia dwóch liczb ujemnych też jest dodatni.

Oznacza to, że niezależnie od znaku stojącego przy wartości $\mathbf{v}$ (a znak określa kierunek wektora) wyrażenie $\mathbf{v}^2$ będzie zawsze dodatnie. To sprawia, że nie da się określić kierunku prędkości (wektora) z równania energii kinetycznej (skalara). Równanie to pozwala jedynie wyznaczyć wartość prędkości.

P: W zadaniu, które właśnie skończyłem rozwiązywać, pojawiły się dwie możliwe odpowiedzi. Jak określić, która jest poprawna?

O: Dwie odpowiedzi pojawiły się dlatego, że w równaniu energii kinetycznej występuje czynnik $\mathbf{v}^2$. Właściwą odpowiedź wskażesz dopiero po rozważeniu kontekstu zadania. Wybierz tę, która ma sens z punktu widzenia fizyki.

P: Co mam zrobić, gdy zderzenie sprężyste zajdzie pod pewnym kątem, a nie wzdłuż linii prostej?

O: Pamiętaj, że najpierw powinieneś skorzystać z zasady zachowania pędu. W przypadku zderzenia pod pewnym kątem rozłóż wektory na składowe i zastosuj zasadę zachowania pędu do każdej ze składowych (robiłeś coś takiego w rozdziale 12.).

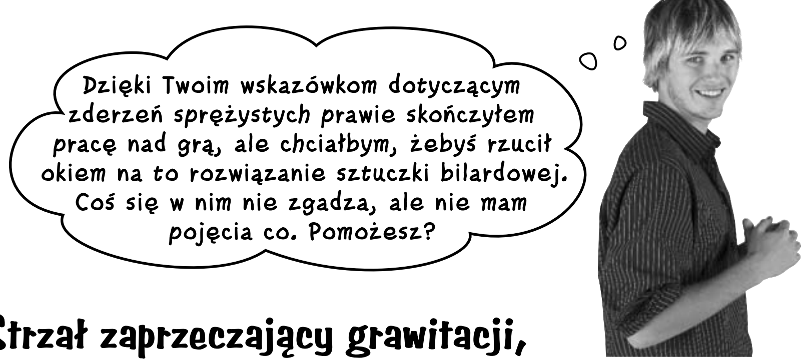
P: Czy prędkość względna w zderzeniu sprężystym zawsze ulega odwróceniu? Nawet gdy ciała mają różne masy?

O: Tak. Wyobraź sobie gumową piłkę odbijającą się od ściany. Piłka leci w kierunku ściany z prędkością $\mathbf{v}$, a następnie odbija się od niej z prędkością $-\mathbf{v}$ (przy założeniu, że zderzenie jest całkowicie sprężyste). To samo będzie miało miejsce w miej skrajnym przypadku — prędkość względna ulegnie odwróceniu.

Zderzenia w bilardzie działają doskonale!

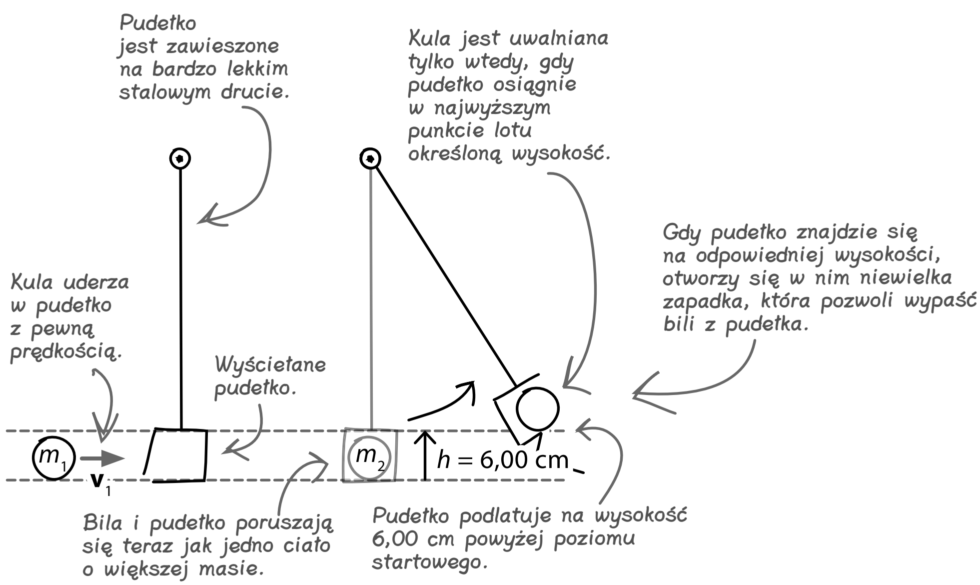
Programista wprowadził do gry kod zgodny z Twoimi wskazówkami.
Rozwiązanie okazało się strzałem w dziesiątkę!

Ale na kilka dni przed premierą gry znów zgłosił się do Ciebie
z nowym, trudniejszym problemem…



Strzał zaprzeczający grawitacji, który wymaga nieco doszlifowania…

Gracz może zdecydować się na uruchomienie gry w specjalnym trybie, w którym da się wykonywać sztuczki bilardowe z użyciem przedmiotów niepojawiających się zazwyczaj na stołach do gry. Programista ma kłopot z konkretną sztuczką, polegającą na wbiciu bili do wyściełanego obiciem pudełka. Pudełko ma podlecieć z bilą w górę i jeżeli w najwyższym punkcie lotu osiągnie określoną wysokość (6,00 cm), uwolni bilę.



Na czym polega błąd w rozumowaniu programisty?

Programista próbował samodzielnie obliczyć prędkość, z jaką gracz ma uderzyć w bilę, korzystając z tego, czego nauczyłeś go na temat **zasady zachowania energii**.

Założył, że początkowa **energia kinetyczna** kuli zostaje przekształcona w **energię potencjalną** kuli i pudełka, które podlatują na wysokość 6,00 cm powyżej poziomu początkowego (rozwiązanie tego zadania za pomocą sił i równań ruchu byłoby bardzo skomplikowane!).

Jednak okazało się, że obliczona przez niego prędkość kuli jest mniejsza niż zmierzona w czasie testów wykonanych przez prawdziwego gracza. Gracz musi uderzyć bilę z większą prędkością, a programista nie wie, gdzie tkwi błąd.

Zaostrz ołówek

Musisz się zastanowić, na czym polega błąd programisty. Po prawej stronie znajdziesz notatki z jego obliczeniami, a poniżej masz nieco miejsca na wyjaśnienie jego pomyłki.

Masa piłki to 165 g, a masa pudełka to 95 g.

(1)

$m_1 = 0{,}165$ kg

$v_1 = ?$

(2)

$m_2 = 0{,}260$ kg

$v_2 = 0$ m/s

Wysokość = 0,060 m

E_k kuli w (1) = E_p kuli i pudełka w (2)

Z zasady zachowania energii:

$$E_k = \tfrac{1}{2} m_1 v_1^2 = m_2 g h$$

$$v_1^2 = \frac{2 m_2 g h}{m_1}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 m_2 g h}{m_1}} = \sqrt{\frac{2 \times 0{,}260\ \text{kg} \times 9{,}8\ \text{m/s}^2 \times 0{,}060\ \text{m}}{0{,}165\ \text{kg}}}$$

$$v_1 \approx 1{,}36\ \text{m/s}$$

Ale w rzeczywistości gracz wykonujący tę sztuczkę musi nadać bili większą prędkość. Nie mam pojęcia dlaczego! Wrrr!

Zaostrz ołówek:
Rozwiązanie

Musisz się zastanowić, na czym polega błąd programisty. Po prawej stronie znajdziesz notatki z jego obliczeniami, a poniżej masz nieco miejsca na wyjaśnienie jego pomyłki.

Masa piłki to 165 g, a masa pudełka to 95 g.

Programista założył, że cała energia kinetyczna kuli zostaje zamieniona na energię potencjalną grawitacji układu kula – pudełko.

Należy jednak pamiętać, że pudełko jest w środku wyścielane obiciem. Kula wpadająca do pudełka zderza się niesprężyście z tym obiciem, więc energia mechaniczna układu nie jest zachowana.

Gdy bila uderza w ściankę pudełka, pokrywające je obicie odkształca się, przez co zwiększa się jego energia wewnętrzna. Oznacza to, że nie cała energia kinetyczna bili zostaje zamieniona na energię potencjalną grawitacji.

W efekcie gracz musi nadać piłce większą prędkość, by pudełko wzniosło się na odpowiednią wysokość, co widać po wynikach testów przeprowadzonych w rzeczywistości.

(1)

$m_1 = 0{,}165$ kg

$v_1 = ?$

(2)

$m_2 = 0{,}260$ kg

$v_2 = 0$ m/s

Wysokość = 0,060 m

E_k kuli w (1) = E_p kuli i pudełka w (2)

Z zasady zachowania energii:

$$E_k = \tfrac{1}{2}m_1v_1^2 = m_2gh$$

$$v_1^2 = \frac{2m_2gh}{m_1}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2m_2gh}{m_1}} = \sqrt{\frac{2 \times 0{,}260\ \text{kg} \times 9{,}8\ \text{m/s}^2 \times 0{,}060\ \text{m}}{0{,}165\ \text{kg}}}$$

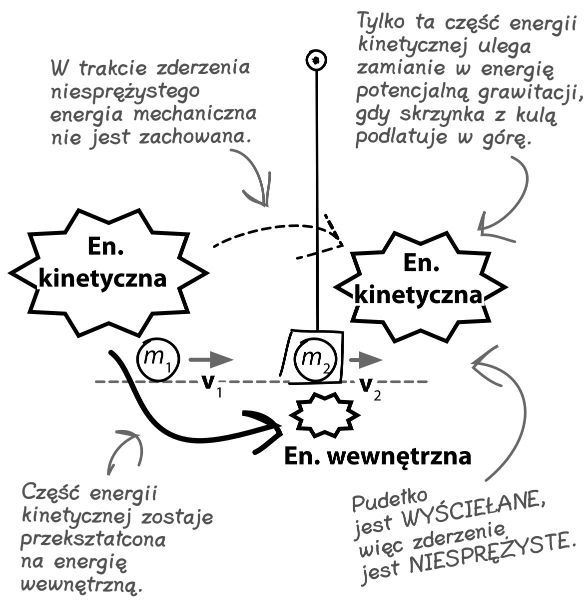
$$v_1 \approx 1{,}36\ \text{m/s}$$

Ale w rzeczywistości gracz wykonujący tę sztuczkę musi nadać bili większą prędkość. Nie mam pojęcia dlaczego! Wrrr!

Początkowe zderzenie jest niesprężyste, więc energia mechaniczna układu nie jest zachowana

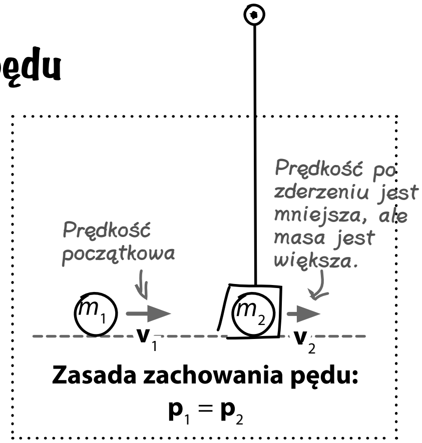
W chwili zderzenia kuli z obitą **wyściółką** ścianą pudełka część energii kinetycznej piłki zostaje przekształcona w **energię wewnętrzną**. Zderzenie jest **niesprężyste**. Pudełko jest pokryte od wewnątrz odkształcającą się wyściółką, przez co energia mechaniczna układu zmniejsza się o wartość zmiany energii wewnętrznej związanej z odkształceniem obicia.

Z tego wynika, że założenie programisty dotyczące zamiany energii kinetycznej kuli na energię potencjalną grawitacji układu bila – pudełko jest niepoprawne.



Zanim zabierzesz się za obliczenia, zastanów się, czy zderzenie jest sprężyste, czy niesprężyste.

Zderzenie niesprężyste opisz zasadą zachowania pędu

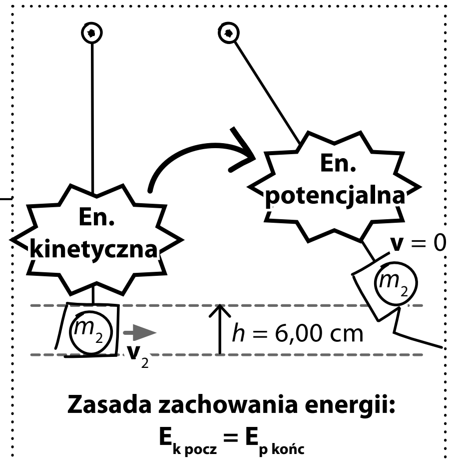


Cała sztuczka w opisie tej sztuczki polega na rozłożeniu jej na dwa etapy.

Etap pierwszy to zderzenie kuli z pudełkiem. To zderzenie **niesprężyste**, więc spełniona jest zasada zachowania pędu, ale energia mechaniczna nie jest już zachowana. Ponieważ znasz masy kuli i pudełka, możesz użyć zasady zachowania pędu, by uzależnić ich prędkość po zderzeniu (czyli również ich energię kinetyczną) od początkowej prędkości kuli.

Drugi etap to uniesienie pudełka z piłką na określoną wysokość. **Energia kinetyczna** układu kula – pudełko zostaje w całości zamieniona na jego **energię potencjalną grawitacji**. Znasz **wysokość**, na jaką uniesie się pudełko, więc możesz wyznaczyć energię potencjalną układu. W ten sposób poznasz też energię kinetyczną układu po zderzeniu i prędkość kuli i pudełka, które uzależniłeś przecież od początkowej prędkości kuli.

Pokaż, co potrafisz!



Zaostrz ołówek

Kula bilardowa o masie 165 g zostaje wbita do obitego wyściółką pudełka, które jest zaczepione na lekkim stalowym drucie, dzięki czemu może unieść się na pewną wysokość. Sztuczka zadziała wtedy, gdy pudełko z kulą osiągnie w najwyższym punkcie swojego lotu wysokość 6,00 cm ponad poziomem, z którego się unosi.

Oblicz prędkość początkową kuli, jeżeli masa pudełka wynosi 95 g.

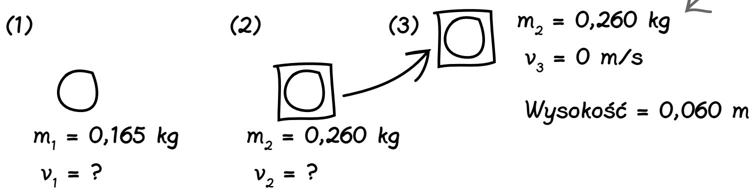
Wskazówka: Zadanie rozwiążesz najszybciej, jeśli obliczysz prędkość, jaką muszą mieć kula i pudełko po zderzeniu, a potem cofniesz się do wcześniejszego etapu.

Zaostrz ołówek: Rozwiązanie

Kula bilardowa o masie 165 g zostaje wbita do obitego wyściółką pudełka, które jest zaczepione na lekkim stalowym drucie, dzięki czemu może unieść się na pewną wysokość. Sztuczka zadziała wtedy, gdy pudełko z kulą osiągnie w najwyższym punkcie swojego lotu wysokość 6,00 cm ponad poziomem, z którego się unosi.

Oblicz prędkość początkową kuli, jeżeli masa pudełka wynosi 95 g.

Jeżeli chcesz obliczyć wartość prędkości w m/s, musisz prowadzić obliczenia w kg i m, a nie w g i cm.



E_k kuli i pudełka w (2) = E_p kuli i pudełka w (3)

Wyznaczam v_2 z zasady zachowania energii.

To rozwiązanie różni się od pomysłu programisty, ponieważ używasz zasady zachowania energii w chwili, gdy kula jest już w pudełku.

$$E_k = \tfrac{1}{2}\cancel{m_2}v_2^2 = \cancel{m_2}gh$$

$$v_2 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9{,}8\ \text{m/s}^2 \times 0{,}060\ \text{m}} \approx 1{,}08\ \text{m/s}$$

Wyznaczam v_1 z zasady zachowania pędu.

$$m_1v_1 = m_2v_2$$

$$v_1 = \frac{m_2v_2}{m_1} = \frac{0{,}260\ \text{kg} \times 1{,}08\ \text{m/s}}{0{,}165\ \text{kg}} \approx \underline{\underline{1{,}70\ \text{m/s}}}$$

Nie istnieją głupie pytania

P: Czyli czasami sama zasada zachowania energii nie wystarcza do rozwiązania zadania?

O: Właśnie. Jeśli energia wewnętrzna układu zmieni się w sposób ciężki do określenia (jak w przypadku deformacji wyściółki), sama wiedza o zachowaniu energii nie wystarczy, bo nie będziesz mógł przeprowadzić obliczeń!

P: Czy to znaczy, że energia wewnętrzna może zmieniać się w sposób pozwalający przeprowadzać obliczenia? Przecież nie można zobaczyć tego, co dzieje się wewnątrz ciała!

O: Jeżeli energia wewnętrzna ciała wzrasta wyłącznie z powodu wykonywania pracy przeciwko sile tarcia, zmiana energii wewnętrznej jest równa wyrażeniu **FΔx**, czyli całkowitej energii wykorzystanej na wykonanie pracy.

P: Co mam zrobić, jeśli nie będę mógł obliczyć, o ile wzrosła energia wewnętrzna?

O: Wtedy musisz skorzystać z zasady zachowania pędu, żeby opisać nią zderzenie niesprężyste. W ten sposób poznasz wartość prędkości ciał po zderzeniu. Tej prędkości możesz użyć do obliczenia energii kinetycznej układu ciał po zderzeniu.

Poradnia pytań — wahadło balistyczne

Sztuczka bilardowa opisana w tym rozdziale to przykład zadania z wahadłem balistycznym. Nazwa tego urządzenia wiąże się z jego zastosowaniem do określania prędkości pocisku. Pomiar polega na oddaniu strzału do drewnianego klocka zawieszonego na stalowych linkach i zmierzeniu wysokości, na jaką wychyli się klocek po trafieniu przez kulę. Najistotniejsze w tego typu zadaniach jest to, byś pamiętał, że zderzenie, które ma miejsce po trafieniu kulą w blok wahadła, jest zderzeniem niesprężystym. W związku z tym energia mechaniczna układu (tj. suma energii kinetycznej i energii potencjalnej) nie jest zachowana. W chwili zderzenia część energii mechanicznej zostaje przekształcona w energię wewnętrzną kuli i bloku drewna.

To słowo klucz mogące sugerować zderzenie sprężyste, ale charakter zderzenia zależy również od drugiego ciała biorącego w nim udział!

To słowa klucze tożsame ze stwierdzeniem „zderzenie niesprężyste".

Nie zdołasz opisać zderzenia niesprężystego za pomocą zasady zachowania energii, więc w tej części zadania będziesz musiał posłużyć się zasadą zachowania pędu.

3. Kula bilardowa o masie 165 g zostaje wbita do obitego wyściółką pudełka, które jest zaczepione na lekkim stalowym drucie, dzięki czemu może unieść się na pewną wysokość. Sztuczka zadziała wtedy, gdy pudełko z kulą osiągnie w najwyższym punkcie swojego lotu wysokość 6,00 cm ponad poziomem, z którego się unosi.

Oblicz prędkość początkową kuli, jeżeli masa pudełka wynosi 95 g.

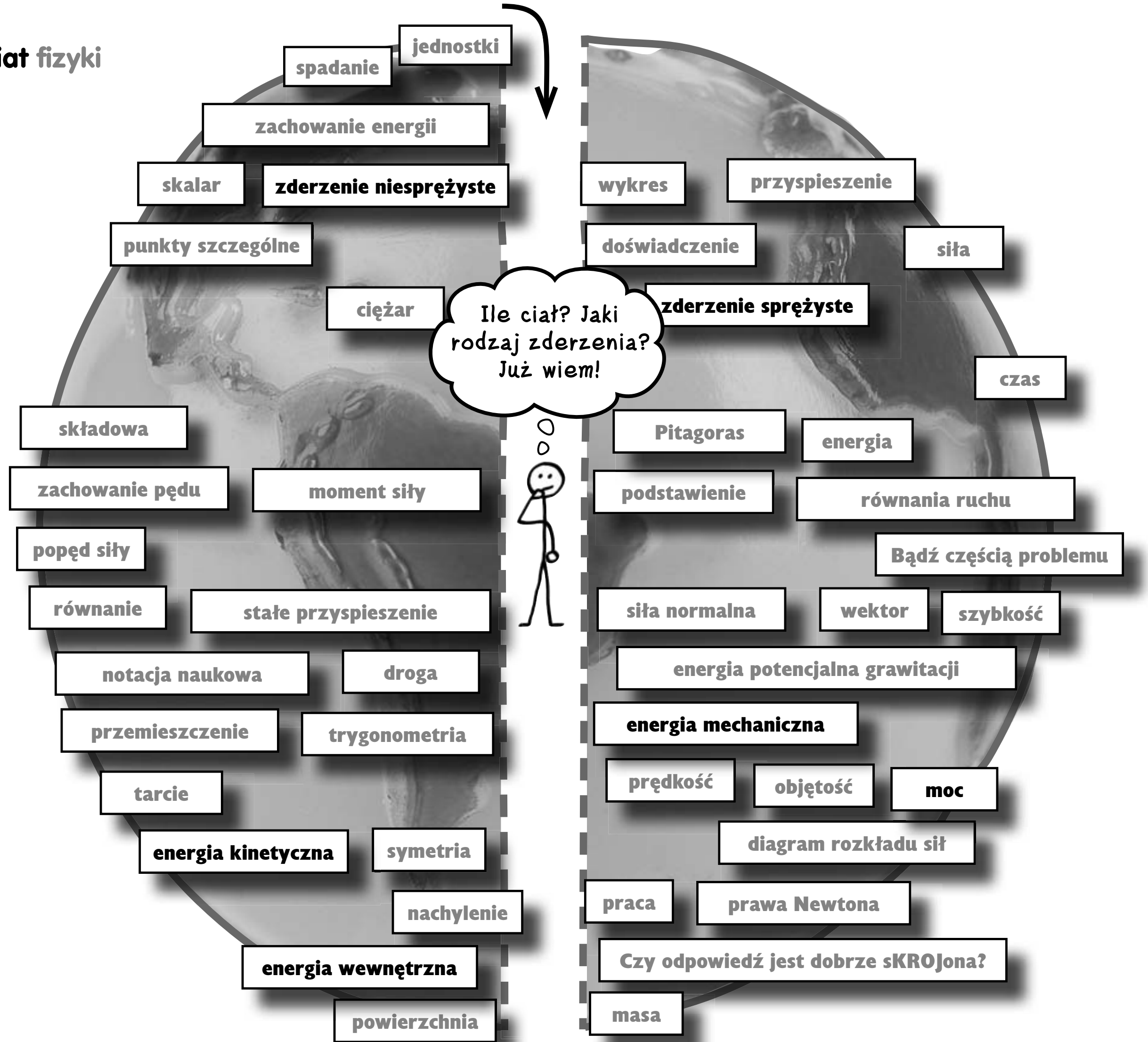
To stwierdzenie oznacza, że w obliczeniach nie musisz uwzględniać masy linki.

Część początkowej energii kinetycznej kuli zostaje przekształcone w energię wewnętrzną układu.

Różnica poziomów powinna przywodzić Ci na myśl energię potencjalną grawitacji.

Określ energię kinetyczną układu kula – pudełko po zderzeniu. Energia ta zostaje następnie zamieniona na energię potencjalną. Potem skorzystaj z zasady zachowania pędu, z której wyznaczysz prędkość początkową kuli.

Cała tajemnica rozwiązywania tego typu zadań polega na stwierdzeniu, czy w opisywanym problemie nie pojawia się czasem zderzenie niesprężyste. Dopiero gdy znajdziesz odpowiedź na to pytanie, możesz zabrać się za obliczenia. W zderzeniu niesprężystym pęd układu jest zachowany, ale całkowita energia kinetyczna przed zderzeniem ma inną wartość niż po zderzeniu. Dlatego najpierw musisz wyznaczyć z zasady zachowania energii prędkość nowej masy (pudełko + kula) po zderzeniu, czyli de facto jej energię kinetyczną. Potem z zasady zachowania pędu wyznaczysz prędkość początkową kuli.



☑	**Energia kinetyczna**	**Zdolność ciała do wykonania pracy związana z prędkością ciała.**
☑	**Energia wewnętrzna**	**Całkowita energia kinetyczna i potencjalna wynikająca z przypadkowych drgań cząsteczek bądź ich ruchu w losowych kierunkach pojawiających się w skali mikroskopowej.**
☑	**Energia mechaniczna**	**Suma całkowitej energii kinetycznej i całkowitej energii potencjalnej układu ciał w skali makroskopowej.**
☑	**Moc**	**Tempo przekształcania energii na wykonanie pracy. Moc mierzymy w watach (1 W = 1 dżul na sekundę).**
☑	**Zderzenie niesprężyste**	**Zderzenie, w którym pęd jest zachowany, ale energia kinetyczna nie.**
☑	**Zderzenie sprężyste**	**Zderzenie, w którym zachowane są i pęd, i energia kinetyczna.**

Niezbędnik fizyka

Masz już za sobą rozdział 14., więc możesz dodać do swojego przybornika nieco pojęć i utrwalić sobie pewne umiejętności pozwalające sprawdzać poprawność odpowiedzi.

Pęd a energia kinetyczna

Zmiana pędu wiąże się z działaniem siły na ciało przez pewien czas.

Zmiana energii kinetycznej wiąże się z działaniem siły na ciało na pewnej drodze.

Zderzenie niesprężyste

Mówimy, że zderzenie jest niesprężyste, jeżeli przynajmniej jedno z ciał biorących w nim udział zostaje w jakiś sposób odkształcone albo jeśli ciała łączą się w wyniku zderzenia.

Całkowity pęd układu jest zachowany, ale ponieważ w czasie zderzenia niesprężystego ciało trwale zmienia swój kształt, energia kinetyczna układu nie jest zachowana. Jej część jest przekazywana na zmianę energii wewnętrznej układu.

Zderzenie sprężyste

W czasie zderzenia sprężystego ciała nie ulegają odkształceniu i zawsze odbijają się od siebie.

Zderzenia sprężyste są trudniejsze w opisie matematycznym, ponieważ po zakończeniu zdarzenia nadal trzeba rozpatrywać dwa oddzielne ciała.

Na szczęście w czasie zderzenia sprężystego zachowane są i pęd, i energia kinetyczna, więc cały układ można opisać dwoma równaniami i wyznaczyć wartości dwóch niewiadomych.

Różnica poziomów

Zawsze gdy w zadaniu pojawia się wzmianka o różnicy poziomów położenia ciała, warto zastanowić się nad rozwiązywaniem go z wykorzystaniem zasady zachowania energii. Taki sposób rozwiązania jest prawie zawsze prostszy niż opisanie problemu równaniami ruchu.

Całkowita energia układu na początku zdarzenia musi być równa całkowitej energii układu na końcu zdarzenia, więc wszelkie zmiany energii potencjalnej grawitacji będą równe zmianom energii kinetycznej.

Zatrzymywanie ciała

Jeśli chcesz szybko obliczyć siłę potrzebną do zatrzymania ciała na pewnej drodze, wyznacz jego energię kinetyczną.

Energia ta będzie równa pracy potrzebnej do pokonania siły tarcia w czasie hamowania. Ponieważ praca opisana jest równaniem $F\Delta x$, odnalezienie wartości siły nie powinno nastręczać większych problemów.