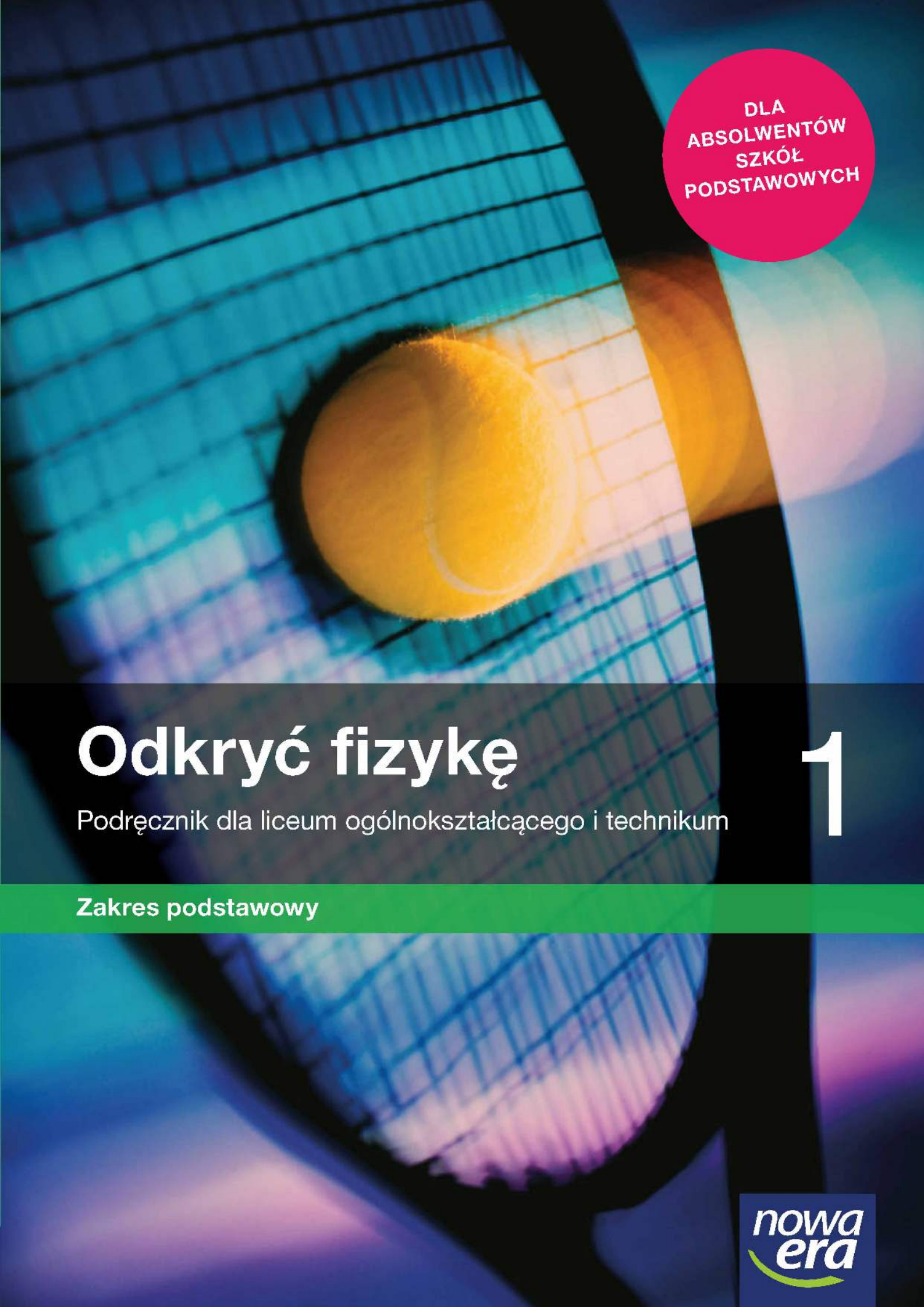


DLA ABSOLWENTÓW SZKÓŁ PODSTAWOWYCH

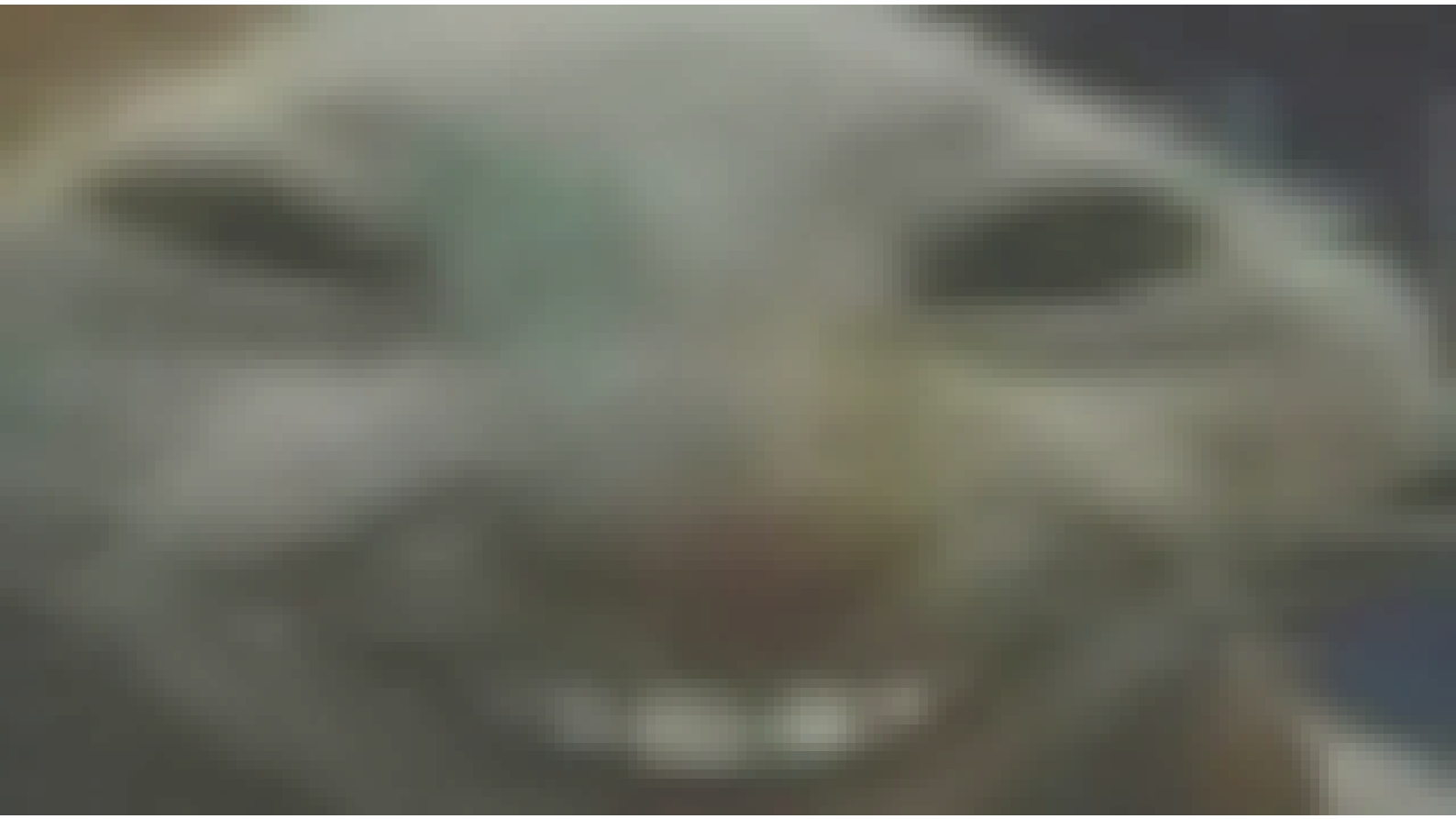
Odkryć fizykę

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

1

Zakres podstawowy

nowa era



Marcin Braun
Weronika Śliwa

Odkryć fizykę

1

Podręcznik
dla liceum ogólnokształcącego i technikum

Zakres podstawowy

nowa era Twoje mocne strony

Odkryć fizykę

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania fizyki, na podstawie opinii rzeczoznawców: **dr Antoniny Nowety, prof. dr. hab. Aleksandra Filipa Żarneckiego i dr hab. Elżbiety Wierzbickiej-Piotrowskiej**.

Zakres kształcenia: podstawowy
Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: ponadpodstawowa (liceum ogólnokształcące i technikum)
Rok dopuszczenia: 2019

Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 1001/1/2019

Podręcznik został opracowany na podstawie *Programu nauczania fizyki w liceum ogólnokształcącym i technikum do zakresu podstawowego. Odkryć fizykę* autorstwa Marcina Brauna i Weroniki Śliwy.

Nabyta przez Ciebie publikacja jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy o przestrzeganie praw, jakie im przysługują. Zawartość publikacji możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie umieszczaj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, to nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. Możesz skopiować część publikacji jedynie na własny użytek.

Szanujmy cudzą własność i prawo. Więcej na **www.legalnakultura.pl**

© Copyright by Nowa Era Sp. z o.o. 2019
ISBN 978-83-267-3651-3

Współpraca autorska: Bartłomiej Piotrowski (zad. 5 s. 20, 2 s. 88, 6 s. 111 oraz artykuł „Przyspieszanie pojazdów" s. 78–80)
Konsultacje merytoryczne: Michał Matraszek, Bartłomiej Piotrowski
Opracowanie redakcyjne i redakcja merytoryczna: Dorota Brzozowiec-Dek
Współpraca redakcyjna: Miłosz Budzyński, dr Agnieszka Grzelińska, Dorota Okulewicz
Redakcja językowa: Dorota Rzeszewska
Fotoedycja: Katarzyna Iwan-Malawska
Korekta językowa: Anna Wesołowska
Nadzór artystyczny: Kaia Pichler
Opieka graficzna: Ewa Kaletyn
Projekt graficzny: Klaudia Jarocka
Projekt okładki: Maciej Galiński
Opracowanie graficzne: Aleksandra Gołębiewska, Klaudia Jarocka, Jakub Woliński
Ilustratorzy: Elżbieta Buczkowska, Zuzanna Dudzic, Andrzej Dukata, Paulina Podolska, Joanna Ptak, Ewa Sowulewska
Realizacja projektu graficznego: Adam Poczciwek

Nowa Era Sp. z o.o.
Aleje Jerozolimskie 146 D, 02-305 Warszawa
www.nowaera.pl, e-mail: nowaera@nowaera.pl, tel. 801 88 10 10

Druk i oprawa: Drukarnia ArtDruk Kobyłka

Spis treści

O czym jest podręcznik 4

Wprowadzenie

1. Czym zajmuje się fizyka 6
2. Doświadczenia i pomiary 14

1. Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

3. Siły. Trzecia zasada dynamiki 22
4. Siła wypadkowa 28
5. Opis ruchu prostoliniowego 34
6. Pierwsza zasada dynamiki 40
7. Ruch jednostajnie zmienny 46
8. Druga zasada dynamiki 53
9. Opory ruchu 58
10. Siły bezwładności 65

Powtórzenie 70
Zadania powtórzeniowe 74
Projekt. Sfilmuj i zbadaj 77
Analiza tekstu. Przyspieszenie pojazdów . . . 78

2. Ruch po okręgu i grawitacja

11. Ruch po okręgu 82
12. Siła dośrodkowa 89
13. Obliczanie siły dośrodkowej 94
14. Grawitacja 100
15. Siła grawitacji jako siła dośrodkowa . . . 107

Temat dodatkowy. Amatorskie obserwacje astronomiczne 112

16. Ruch satelitów 118
17. Ciężar i nieważkość 123
18. Księżyc – towarzysz Ziemi 132
19. Układ Słoneczny 138

Temat dodatkowy. Prawa Keplera 146
Powtórzenie 153
Zadania powtórzeniowe 157
Projekt. Satelity 161
Analiza tekstu. Nieoceniony towarzysz 162

3. Praca, moc, energia

20. Praca i energia 166
21. Energia mechaniczna 175
22. Przemiany energii mechanicznej 181
23. Moc 189

Powtórzenie 197
Zadania powtórzeniowe 199
Projekt. Pożywienie to też energia 201
Analiza tekstu. Nowy rekord zapotrzebowania na moc 202

Zbiór zadań

Wprowadzenie 206
Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego 207
Ruch po okręgu i grawitacja 211
Praca, moc, energia 217

Tabele 219
Indeks 221
Spis dodatków matematycznych 222
Spis doświadczeń obowiązkowych 222
Odpowiedzi i wskazówki do zadań 223

Klasa 2

4. Elektrostatyka
5. Prąd elektryczny
6. Magnetyzm

Klasa 3

7. Termodynamika
8. Drgania
9. Fale i optyka
10. Fizyka atomowa
11. Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat

O czym jest podręcznik

W podręczniku *Odkryć fizykę 1* znajdziesz ważne i ciekawe informacje dotyczące m.in. ruchu, sił, grawitacji oraz energii. Dzięki tym wiadomościom zrozumiesz wiele zjawisk z otaczającego cię świata.



Czemu służą poszczególne elementy podręcznika

Cele lekcji

Przed każdym tematem dowiesz się, o czym będziesz się uczyć.

To najważniejsze

Podsumowanie tematu podpowie ci, które treści są w nim najważniejsze.

$F_g = mg$

Dzięki czytelnym wyróżnieniom łatwo odnajdziesz **wzory, definicje i ważne informacje**.

Ciężar ciała o masie m obliczamy ze wzoru $F = mg$

Uwagi i komentarze ułatwią ci zrozumienie informacji zawartych w tekście głównym i w przykładach.

D

Treści spoza podstawy programowej.

Dodatek matematyczny

Dodatki matematyczne pomogą ci opanować lub przypomnieć sobie niezbędne umiejętności i wiadomości z matematyki.

Doświadczenie

Doświadczenie obowiązkowe

Czytelnie opisane i zilustrowane doświadczenia ułatwią ci przeprowadzanie i analizowanie eksperymentów. Doświadczenia obowiązkowe zostały wyraźnie oznaczone.

Przykład

Przykłady umożliwią ci prześledzenie toku rozumowania podczas rozwiązywania zadań.

Pytania i zadania

Wykonanie poleceń i zadań zamieszczonych na końcu lekcji pozwoli ci utrwalić zdobytą wiedzę i umiejętności.

A to ciekawe

Z historii

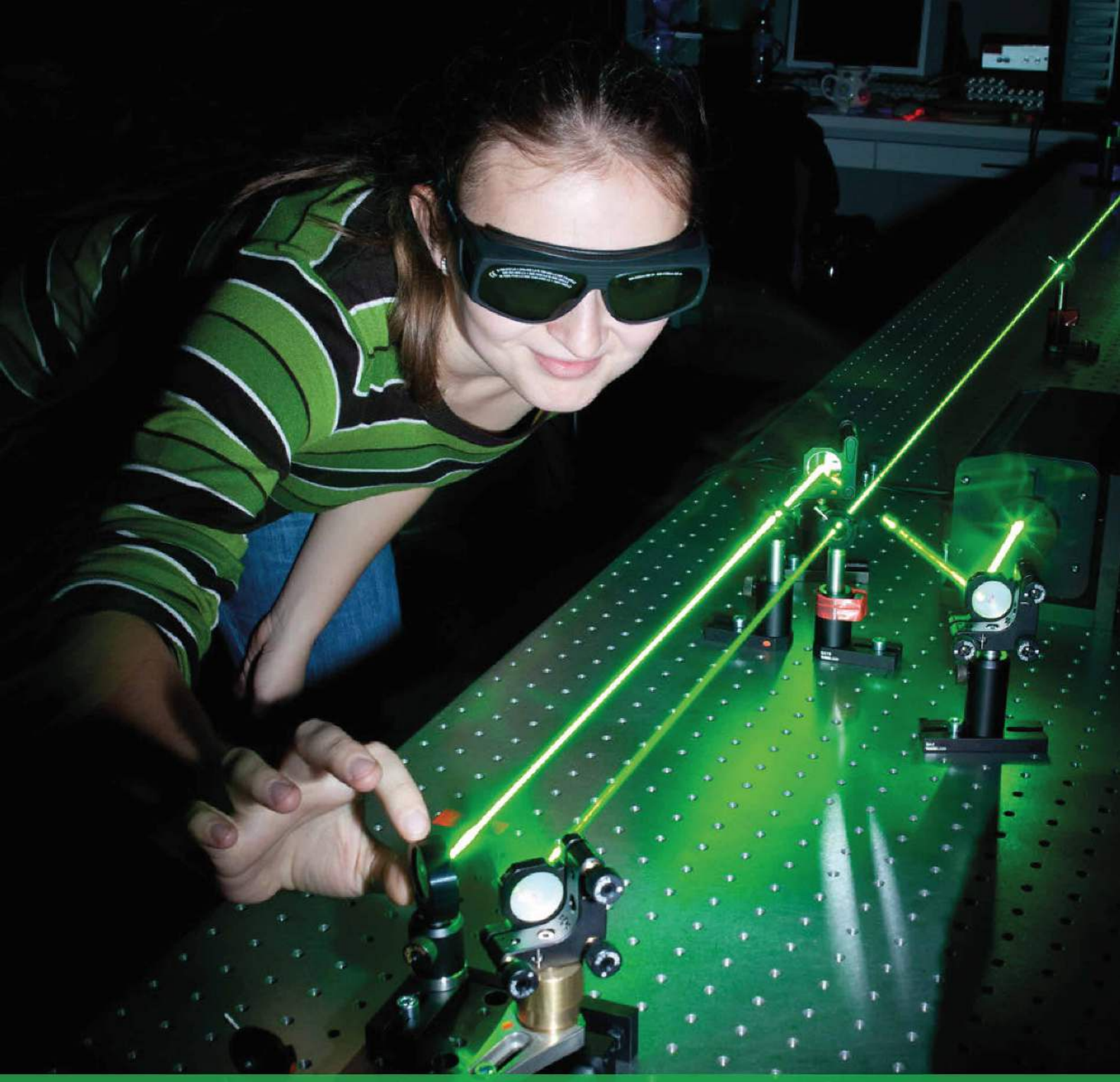
Dzięki ciekawostkom i infografikom historycznym dowiesz się interesujących faktów związanych z lekcją.

Powtórzenie

Na tych stronach znajdziesz najważniejsze wiadomości z danego działu.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

Dzięki tym zadaniom sprawdzisz stopień opanowania umiejętności i wiadomości z danego działu.



Wprowadzenie

Czy wiesz, jakie są rozmiary największych obiektów we Wszechświecie?
A jakie najmniejszych? Dlaczego fizycy robią doświadczenia?
Czy pomiar może być idealnie dokładny?



1. Czym zajmuje się fizyka

Cele lekcji

- Dowiesz się, jakimi obiektami zajmują się fizycy i astronomowie.
- Zorientujesz się, w jakich dziedzinach życia i nauki przydaje się wiedza z fizyki.

Dlaczego zajmujemy się fizyką

Fizycy zajmują się opisem świata, w którym wszyscy żyjemy. Obserwują go jednak bardziej wnikliwie, niż my czynimy to na co dzień. Początkowo badania fizyczne prowadzono z czystej ciekawości i do dzisiaj to właśnie zainteresowanie jest podstawową motywacją uczonych. Ono także przyciąga wiele osób do centrów nauki, gdzie można wykonywać doświadczenia fizyczne, a także powoduje, że książki popularnonaukowe stają się bestsellerami. Wiedza z fizyki pozwala ludziom rozumieć otaczające ich zjawiska, a czasem wręcz dopiero je zauważać (patrz ciekawostka na sąsiedniej stronie). Pomaga także pojąć zależności między zjawiskami pozornie niepowiązanymi.

Z ciekawości i dla pożytku

Ludzie bardzo szybko się przekonali, że fizyka może być nie tylko ciekawa, lecz także pożyteczna. Dziś jest zupełnie zrozumiałe, że solidnego przygotowania z tej dziedziny wymaga się od inżynierów, np. specjalistów od elektroniki albo telekomunikacji. W ostatnich latach prawie wszędzie mamy dostęp do telefonii komórkowej i internetu, a szybkość transmisji stale rośnie. Nic więc dziwnego, że zarówno w Polsce, jak i w innych krajach potrzeba wielu inżynierów.

Nowe, praktyczne zastosowania fizyki pojawiają się często jako skutek uboczny badań prowadzonych dla zaspokojenia ciekawości badaczy. Na przykład do zaprojektowania systemu GPS niezbędna okazała się ogólna teoria względności Alberta Einsteina. Z kolei zainteresowanie strukturą kryształów pozwoliło skonstruować tranzystor, a dzięki temu – współczesne komputery i inne urządzenia elektroniczne.



A to ciekawe

Czasem na zewnątrz „zwykłej" tęczy powstaje druga, słabiej widoczna. Barwy w tej drugiej tęczy są ustawione odwrotnie – czerwona wewnątrz, a fioletowa od zewnątrz. A czy zwróciłeś uwagę, że niebo wewnątrz łuku tęczy jest jaśniejsze niż na zewnątrz? Wiele zjawisk łatwiej zaobserwować, kiedy wiemy, czego szukać.

Mniej oczywiste jest wykorzystanie fizyki w biologii. Tymczasem ta dziedzina poza odkrywaniem i opisywaniem kolejnych gatunków organizmów zajmuje się też np. badaniem funkcjonowania mózgu, inżynierią genetyczną czy budowaniem nanorobotów naprawiających organizm od wewnątrz. Biologia jest ściśle związana z fizyką i chemią, dlatego wszyscy studenci biologii uczą się fizyki, a coraz więcej fizyków prowadzi badania wspólnie z biologami.

Fizyka i astronomia

Początkowo ludzie sądzili, że ciałami niebieskimi rządzą inne prawa niż w przypadku otaczających nas „ziemskich" zjawisk. Fizyka i astronomia stanowiły więc dwie niezwiązane ze sobą dziedziny wiedzy.

Jednak w XVII w. Izaak Newton odkrył znane ci ze szkoły podstawowej trzy zasady dynamiki oraz prawo powszechnego ciążenia, o którym powiemy w rozdziale 2. Okazało się wtedy, że ruch planet wokół Słońca wynika z tych samych praw, co ruch ciał na Ziemi. Z kolei w XIX w. zbadano skład chemiczny Słońca, analizując widmo światła. Dowiedziano się, że występują tam te same pierwiastki co na naszej planecie.

Dziś astronomia i fizyka stanowią dziedziny związane ze sobą bardzo blisko. Astronomowie nie tylko wykorzystują prawa fizyki do opisu zjawisk zachodzących w kosmosie, lecz także odkrywają nowe prawa i sprawdzają hipotezy fizyków. Kosmos jest wielkim laboratorium,



▲ W trakcie całkowitego zaćmienia Słońca astronomowie badają koronę słoneczną, biolodzy obserwują zachowanie zwierząt, a historycy wspominają dramatyczne zapisy dawnych zaćmień

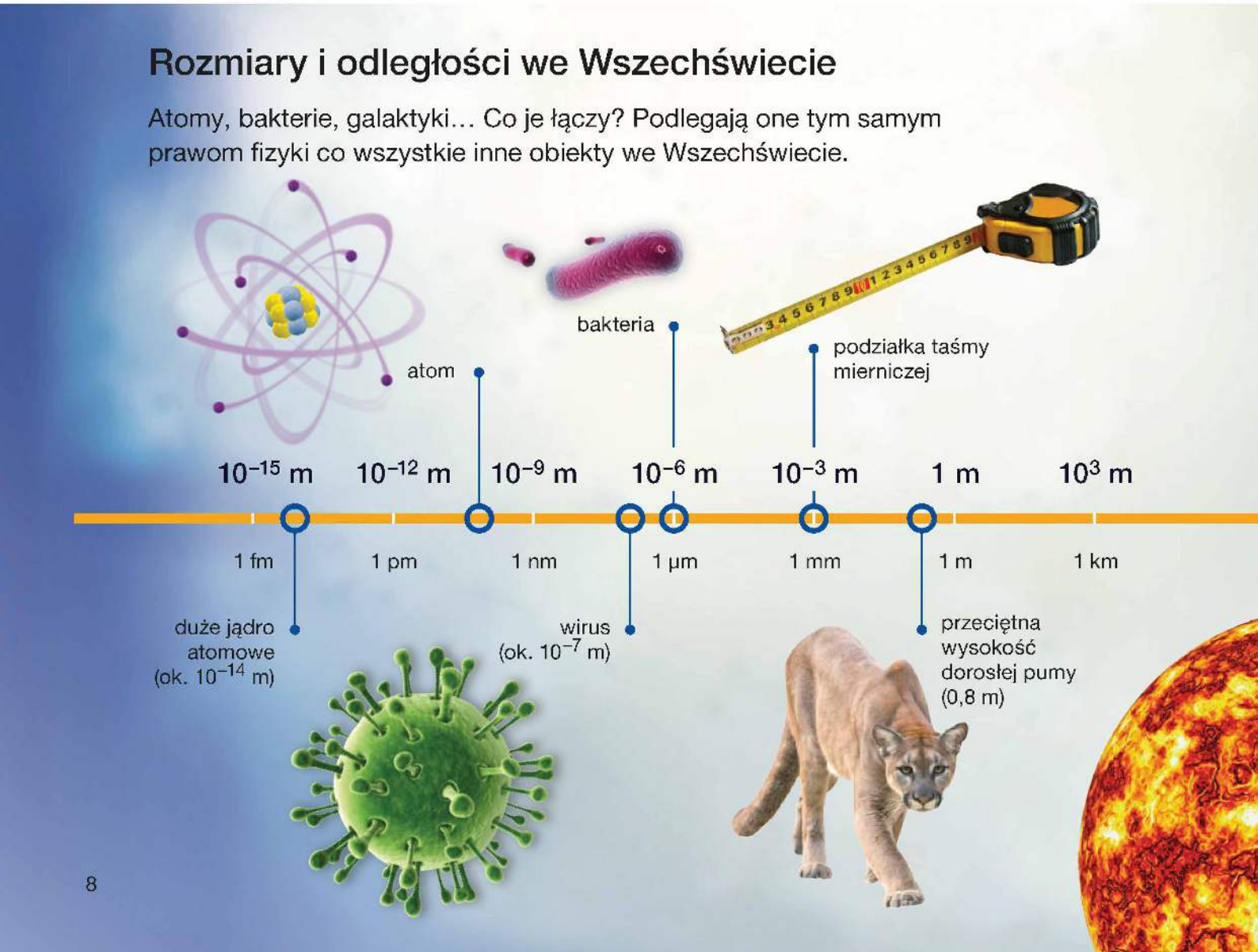
w którym można obserwować zjawiska niemożliwe do badania na Ziemi, np. zachodzące w pobliżu ciał o ogromnej masie albo w niezwykle wysokich temperaturach. W szkole średniej astronomia nie stanowi odrębnego przedmiotu, a jej zagadnieniami będziemy się zajmować na lekcjach fizyki.

Świat fizyków i astronomów

Spójrzmy na świat oczami naukowców. Rozglądamy się wokół i widzimy ludzi, meble oraz inne przedmioty o rozmiarach porównywalnych z naszymi. Za oknem dostrzegamy obiekty nieco większe: drzewa i budynki. Nauka zajmuje się naszym codziennym otoczeniem, ale sięga też znacznie dalej.

Jeśli popatrzymy na **Ziemię** z większej odległości, łatwo zauważymy jej kulisty kształt. Ziemia ma średnicę ok. 13 000 km, a krążący wokół niej Księżyc – ok. 3500 km. Gdyby Księżyc zmniejszyć do rozmiarów wisienki o średnicy 1 cm, Ziemia byłaby wielkość śliwki węgierki, a odległość między nimi przekraczałaby metr. Wykonany w tej samej skali model Słońca miałby ponad cztery metry średnicy i znajdowałby się prawie pół kilometra od naszej śliwki.

Oprócz Ziemi wokół Słońca krąży jeszcze siedem planet, a także mniejsze ciała niebieskie. Łącznie tworzą one **Układ Słoneczny**. Więcej o jego budowie powiemy



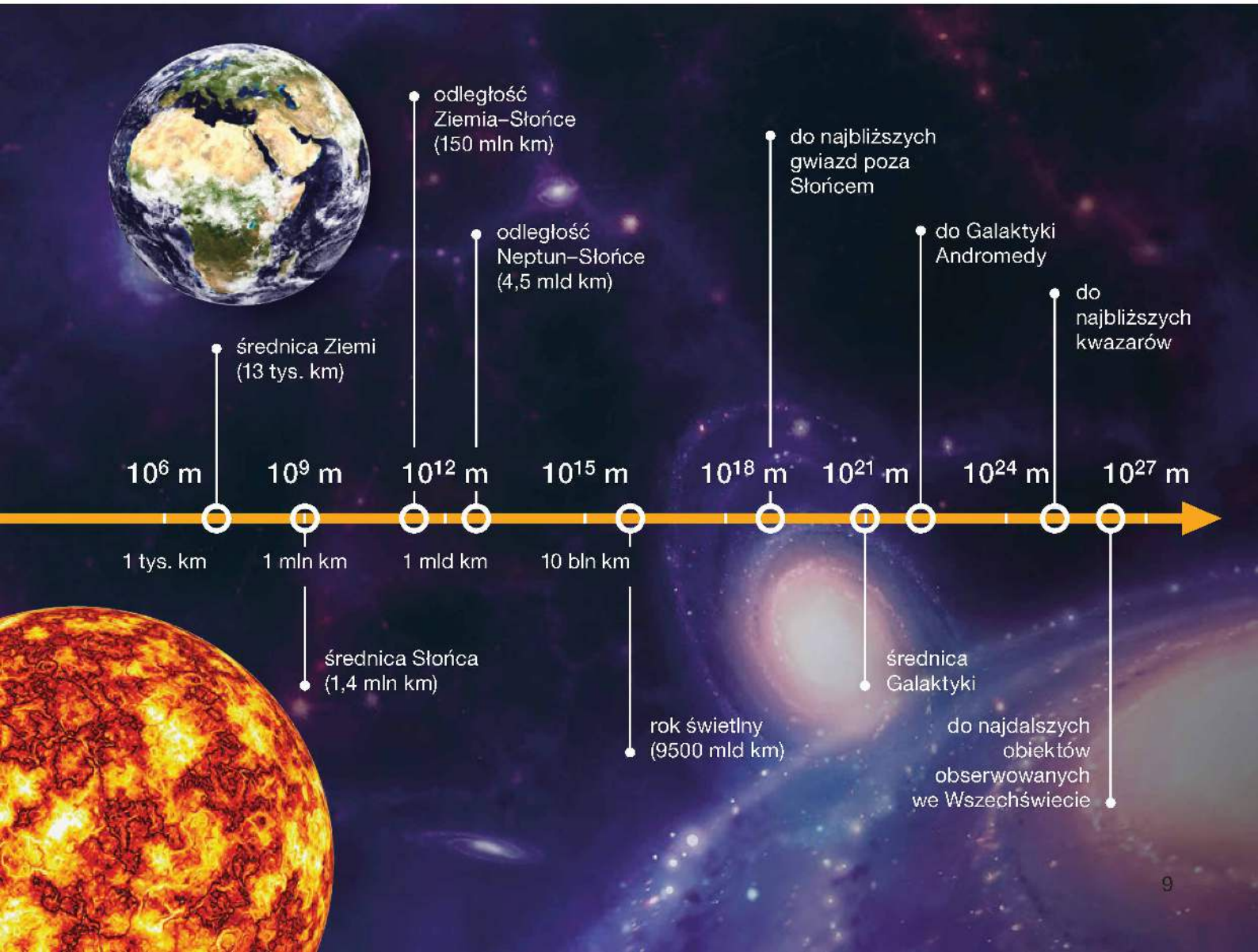
jeszcze w tym roku. Najdalsza z planet, Neptun, znajduje się tak daleko od Słońca, że światło słoneczne dociera tam dopiero po kilku godzinach, podczas gdy do Ziemi – po ośmiu minutach.

Jednak nawet gdybyśmy umieli polecieć do Neptuna, i tak stanęlibyśmy dopiero u progu kosmosu. Gwiazda położona najbliżej Słońca, Proxima Centauri, znajduje się od niego dwa tysiące razy dalej niż Neptun. Tymczasem gwiazd są miliardy. Nie są one rozłożone w kosmosie równomiernie, ale tworzą skupiska – **galaktyki**. Nasza galaktyka, zwana **Drogą Mleczną**, składa się z ponad 200 mld gwiazd. Astronomowie obserwują zarówno pojedyncze galaktyki, jak i gromady galaktyk (więcej na ten temat dowiesz się w trzeciej klasie).

Czy zatem to oznacza, że o naszej planecie mamy zawsze myśleć jako o niewielkim obiekcie? To zależy. W stosunku do Galaktyki Ziemia faktycznie jest niezauważalnie mała. W skali Ziemi niezauważalnie mała jest np. kropla wody. A jednak i ona jest ogromna w porównaniu z obiektami, które się w niej znajdują. Przyjrzyjmy się bliżej tej kropli. Użyjemy lupy, a później – coraz dokładniejszych mikroskopów. Co zobaczymy?

Droga Mleczna to inaczej **Galaktyka**.
We Wszechświecie jest wiele **galaktyk**.

Jeśli przy czytaniu infografiki masz problem z notacją wykładniczą, czyli skróconym zapisem dużych i małych liczb – patrz dodatek matematyczny s. 102.

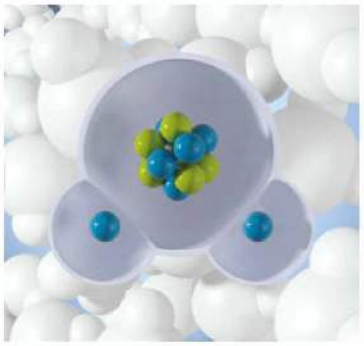


Wewnątrz kropli wody

Na pierwszy rzut oka w kropli wody nie widać nic ciekawego. Za pomocą lupy możemy jednak dokładniej obejrzeć pływające w niej drobne owady i fragmenty roślin. Przez szkolny mikroskop zobaczymy bakterie, których rozmiary wyraża się w mikrometrach (1 μm = $\frac{1}{1000}$ mm). Jeśli powiększymy obraz jeszcze bardziej, staną się dla nas widoczne również wirusy. Rozmiar wirusa wynosi ok. 0,1 μm = $\frac{1}{10\,000}$ mm. Do oglądania wirusów nie wystarczy już mikroskop.

Cząsteczki i atomy

Po kolejnym powiększeniu zobaczymy tysiąc razy mniejsze od wirusów pojedyncze atomy wodoru i tlenu, z których składa się cząsteczka wody. Każdy z tych atomów jest zbudowany z jądra i krążących wokół niego elektronów (w atomie wodoru elektron jest tylko jeden).
A co znajduje się w jądrach atomów składających się na cząsteczkę wody? Jądrem atomu wodoru jest pojedyncza cząstka – proton, a atomu tlenu – 8 protonów i 8 neutronów. Cały atom jest sto tysięcy razy większy od jądra. Wyobraź sobie, że gdyby jądro atomu zostało powiększone do rozmiarów piłki futbolowej, cały atom miałby średnicę ok. 30 km.



▲ Cząsteczka wody

Na lekcjach fizyki będziemy się zajmować zarówno najmniejszymi cząstkami jądra atomowego, jak i galaktykami, a nawet całym Wszechświatem. Zaczniemy jednak od badania prostych zjawisk, widocznych gołym okiem.



A to ciekawe

Architekt projektuje budowle piękne i trwałe jednocześnie. Wymaga to od niego dużej wiedzy z fizyki, ale pozwala na wznoszenie ciekawych konstrukcji. Na zdjęciu widać Centrum Biznesu w Pekinie, w Chinach – budynek, który na pierwszy rzut oka wydaje się niemożliwy do realizacji.

To najważniejsze

- **Fizyka i astronomia** zajmują się wszelkimi materialnymi obiektami – od składników jądra atomowego do całego Wszechświata.
- Fizyka powstała głównie z zainteresowania człowieka przyrodą, ale ma liczne zastosowania w wielu dziedzinach (m.in. w biologii, technice, medycynie).

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Przeanalizuj infografikę na s. 12–13 i podaj przykład dziedziny, w której trzeba łączyć:
   a) fizykę i inne nauki przyrodnicze,
   b) fizykę i ekonomię,
   c) fizykę i zdolności artystyczne.
   Uwaga. Możesz podawać także przykłady niewymienione na infografice.

2. Wpisz w wyszukiwarce internetowej „physicists in consulting company" (albo „fizycy w firmach konsultingowych", jeśli nie czujesz się dość mocno w angielskim), zapoznaj się z informacjami na kilku wyszukanych stronach i napisz w paru zdaniach, czego się dowiedziałeś o perspektywach zatrudnienia.

3. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego na stronie internetowej http://ela.nauka.gov.pl/ publikuje dane na temat zawodowych losów absolwentów wyższych uczelni. Znajdź tam informacje o możliwościach pracy po przykładowo wybranym przez siebie kierunku studiów związanym z fizyką. Napisz w kilku zdaniach, czego się dowiedziałeś.

4. Uporządkuj wymienione niżej obiekty w kolejności od najmniejszego do największego.

   atom • bakteria • chomik • cząsteczka • Galaktyka • Księżyc • lotniskowiec • proton • słoń • Słońce • wirus • Układ Słoneczny • Ziemia

5. Średnica jądra atomowego jest mniejsza od średnicy atomu ok. 100 tys. razy. Wyobraź sobie, że powiększymy atom tak bardzo, że jego jądro będzie miało rozmiar ziarenka maku (czyli ok. 1 mm). Jaka byłaby wówczas średnica całego atomu? Podaj przykład obiektu o podobnych rozmiarach.

6. Mikroskop optyczny pozwala jedynie na oglądanie obiektów nie mniejszych niż 0,001 mm. Do obserwacji mniejszych struktur naukowcom służy np. mikroskop elektronowy, pod którym można zobaczyć obiekty o rozmiarach nawet kilku nanometrów $(1\,\text{nm} = 10^{-9}\,\text{m} = \frac{1}{1\,000\,000}\,\text{mm})$.



Określ, czy do wykonania powyższego zdjęcia wystarczył mikroskop optyczny, czy też potrzebny był mikroskop elektronowy. Spróbuj się dowiedzieć, co ono przedstawia.

Wskazówka. Zwróć uwagę na informację o powiększeniu.

Fizyka – komu się przydaje

Wiedza z fizyki przydaje się w wielu dziedzinach nauki i życia. Może się okazać potrzebna także w twojej przyszłej pracy.



Sport

Wiedzę z fizyki wykorzystujemy w treningu sportowców, a także w doskonaleniu ich sprzętu i odzieży. Dzięki temu wyniki w wielu dyscyplinach sportu stale się poprawiają. A jeśli zawodnikowi zdarzy się kontuzja, pomocy udzieli mu fizjoterapeuta, który oprócz anatomii musiał poznać także prawa fizyki rządzące działaniem kości, mięśni i stawów.



Animacje i gry

Zaawansowane modele fizyczne muszą być także coraz częściej uwzględniane w grach komputerowych. Wierne odwzorowanie zachowania się obiektów, np. spadania, przyspieszania, odbijania się od różnych powierzchni i zderzania, jest trudne bez znajomości mechaniki. W uzyskaniu realistycznej oprawy graficznej przydadzą się wiedza z fizyki i zaawansowane oprogramowanie.



Medycyna

Organizm człowieka działa zgodnie z prawami fizyki, dlatego ich znajomość jest potrzebna lekarzowi. Aby posługiwać się aparaturą medyczną, taką jak tomograf czy ultrasonograf, także trzeba rozumieć zasadę jej działania.

Ekonomia

Metody matematyczne opracowane przez fizyków do opisu zjawisk i procesów fizycznych okazują się często skuteczne także w badaniach gospodarki czy poszczególnych jej części, np. rynków finansowych. Dlatego wiele przedsiębiorstw chętnie zatrudnia fizyków.





Historia

Odkrycia naukowe i wynalazki mają często znacznie większy wpływ na dzieje ludzkości niż wyniki bitew czy rządy władców. Rozwój nauki wprowadza nieodwracalne zmiany w życie cywilizacji. Odkrycia naukowe mogą mieć również bezpośredni wpływ na politykę. Tak było np. z wynalezieniem bomby atomowej. Z kolei astronomia pozwala datować wydarzenia z odległej przeszłości. Na przykład, gdy w starej kronice wspomniano o zaćmieniu Słońca, astronomowie mogą obliczyć datę opisanych w niej wydarzeń. Do datowania znalezisk archeologicznych wykorzystuje się rozpad izotopów promieniotwórczych.

Ochrona środowiska

Ochrona środowiska wymaga zrozumienia procesów w nim zachodzących, rozpoznania zagrożeń i wdrażania metod ich unikania. W tym celu fizycy budują niezwykle czułe przyrządy pomiarowe i piszą programy komputerowe modelujące różne zjawiska. Pracują także nad udoskonalaniem ekologicznych źródeł energii.



2. Doświadczenia i pomiary

Cele lekcji

- Dowiesz się, w jaki sposób fizycy badają otaczający nas świat.
- Uporządkujesz wiedzę na temat podstawowych wielkości fizycznych i ich jednostek.
- Przećwiczysz przeliczanie wielokrotności i podwielokrotności jednostek.
- Poznasz podstawowe metody opracowania wyników pomiarów.

W jaki sposób fizycy poznają świat

Na poprzedniej lekcji powiedzieliśmy, **co** badają fizycy i astronomowie. Teraz odpowiemy na pytanie, **jak** to robią. Tym samym zagadnieniem można się przecież zajmować na różne sposoby. Zachód słońca da się namalować lub opisać w poezji, ale można też podejść do niego od strony naukowej, czyli na przykład zadać pytanie, czemu kolor słońca jest wtedy inny niż w południe. W nauce dążymy bowiem do wyjaśnienia, **dlaczego** zjawiska zachodzą w taki, a nie inny sposób.

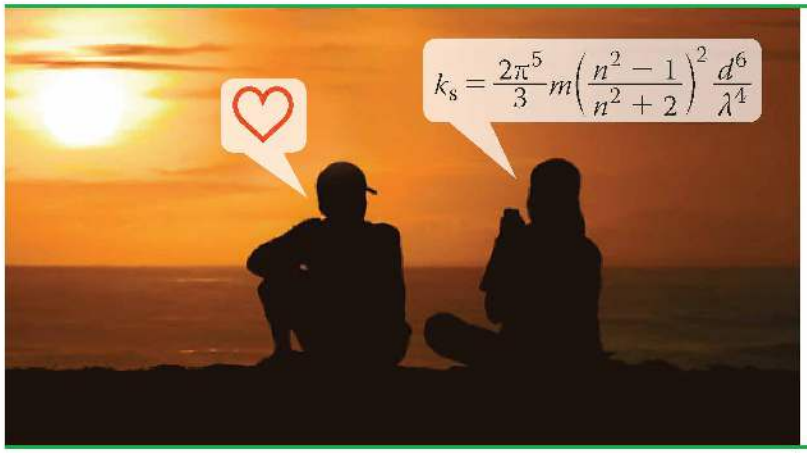
Fizycy tłumaczą zjawiska za pomocą **praw fizyki**. Starają się przy tym odkrywać prawa jak najogólniejsze. Na przykład znane ci ze szkoły podstawowej prawo załamania światła, opisujące zmianę jego kierunku przy przejściu do innego ośrodka, pozwala wyjaśnić zarówno tworzenie obrazów przez soczewki, jak i powstawanie tęczy na niebie, fatamorgany na pustyni, a także fakt, że basen napełniony wodą wydaje nam się płytszy, gdy patrzymy z brzegu. Ale na jakiej podstawie fizycy formułują prawa?

> W fizyce i innych naukach przyrodniczych podstawą wiedzy o świecie są **obserwacje i doświadczenia**.

My również będziemy poznawać fizykę poprzez wykonywanie doświadczeń i obserwacji.



▲ Już małe dzieci z ciekawością obserwują wyniki eksperymentu



A to ciekawe

Czy fizyków interesują przeżycia osoby oglądającej zachód słońca? Tak, ale dopiero wtedy, gdy badają towarzyszące im zmiany aktywności komórek mózgu. Istnieją zespoły naukowe, w których fizycy wspólnie z biologami wykonują podobne badania.

Doświadczenie – pytanie zadane przyrodzie

W humorystycznej książce Douglasa Adamsa *Autostopem przez Galaktykę* ludzie zadają superkomputerowi „pytanie o życie, Wszechświat i całą resztę". Po 7 milionach lat komputer w końcu odpowiada: „42". Niestety, nikt go nie rozumie, bo nikt nie pamięta, jak właściwie brzmiało pytanie. Jak widać, odpowiedź jest użyteczna tylko wtedy, gdy pytanie jest jednoznacznie sformułowane.

Doświadczenie można porównać do pytania zadanego przyrodzie: *Co się stanie w danych okolicznościach?* Wynik doświadczenia to odpowiedź. Musimy się więc zastanowić nad takim sformułowaniem pytania, aby odpowiedź była dla nas użyteczna.

> Zanim zabierzemy się do przeprowadzania doświadczenia, warto jasno sformułować jego cel oraz zaplanować przebieg doświadczenia i sposób analizy wyników.

Doświadczenia i pomiary

W niektórych doświadczeniach chcemy tylko sprawdzić, czy dane zjawisko w ogóle zachodzi. Podczas innych eksperymentów fizycy dokonują dokładnych **pomiarów** wielkości fizycznych. Na przykład w doświadczeniach dotyczących ciepła może nas interesować więcej niż tylko to, że lód jest zimny, ale konkretnie – jaką ma temperaturę. Musimy przy tym pamiętać, że:

> Wielkości fizyczne wyrażamy w odpowiednich jednostkach.

Zasada ta dotyczy nawet życia codziennego. Na przykład w sklepie nie wystarczy powiedzieć „poproszę 50 sera", bo sprzedawca nie będzie wiedział, czy chodzi o gramy, dekagramy, czy wręcz kilogramy.

Tylko czasami mierzoną wielkość wyrażamy za pomocą samej liczby, np. gdy stwierdzamy, że upuszczona piłeczka odbiła się od ziemi 5 razy albo że soczewka powiększa obraz 5-krotnie.

Jednostki miar. Układ SI

W Polsce i prawie na całym świecie stosowany jest międzynarodowy układ jednostek miar SI. Przypomnijmy sobie podstawowe jednostki długości, czasu i masy w tym układzie (patrz tabela na s. 16). Pozostałe podstawowe jednostki układu SI podano na s. 220.

Długość, l	Czas, t	Masa, m
		
1 m metr	1 s sekunda	1 kg kilogram

Z opisanych powyżej jednostek podstawowych tworzy się jednostki pochodne. Na przykład jednostką prędkości jest metr na sekundę ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$), a jednostką siły jest kilogram razy metr na sekundę kwadrat ($\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$), czyli dobrze znany ci ze szkoły podstawowej niuton (N). Krótszą nazwę nadano mu dla wygody, jak wielu innym jednostkom miar.

Wielokrotności i podwielokrotności

Aby w metrach zapisać długość mrówki (0,002 m) albo odległość z Poznania do Gdańska (340 000 m), musimy użyć ułamków lub dużych liczb. Wygodniej jest podać, że mrówka ma długość 2 mm, a odległość między wymienionymi miastami wynosi 340 km. Kilometr to przykład **wielokrotności** jednostki, a milimetr – **podwielokrotności**. Przedrostki używane do tworzenia nazw wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar oraz ich symbole znajdują się w tabeli na s. 219.

Niepewność pomiaru

Z lekcji fizyki w szkole podstawowej wiesz, że **żaden pomiar nie jest idealnie dokładny.** Oprócz zmierzonej wartości podaje się więc pewien przedział, który pokazuje dopuszczalne odchylenie wyniku pomiaru od wartości rzeczywistej, czyli **niepewność pomiaru**. Może ona wynikać z rożnych czynników, np. z ograniczonej dokładności przyrządu pomiarowego (np. linijki, wagi) lub z warunków pomiaru.

> Wynik pomiaru wraz z niepewnością pomiarową zapisujemy w postaci: $x \pm \Delta x$.
> Niepewność wyniku pomiaru zapisujemy w tych samych jednostkach co sam wynik.

Jeśli za pomocą zegarka z sekundnikiem zmierzyliśmy czas trwania jakiegoś zjawiska i otrzymaliśmy wynik 19 s, wynik pomiaru powinniśmy zapisać wraz z niepewnością pomiarową. Wynosi ona 1 s, bo tylko z taką dokładnością możemy mierzyć czas naszym przyrządem, co wynika z czasu reakcji przy naciskaniu przycisku. Zapisujemy zatem: $t \pm \Delta t = 19\ \text{s} \pm 1\ \text{s}$. Taki wynik mówi nam, że czas może się różnić od 19 s co najwyżej o 1 s, czyli prawdziwy czas ruchu ciała mieści się w przedziale 18–20 s.

Pomiary wielokrotne

Aby otrzymać dokładniejszy wynik, należy wykonać pomiar wielokrotnie, a następnie obliczyć średnią arytmetyczną uzyskanych wyników. Gdy mierzymy np. długość stołu, to wyniki pojedynczych pomiarów będą raz większe, a raz mniejsze od prawdziwej wartości. Jednak przy wielu pomiarach odchylenia w górę i w dół częściowo się zrównoważą, a średnia wyników pomiarów będzie bardziej zbliżona do rzeczywistej długości stołu.

Przykład

Opracowanie wyników pomiaru wielokrotnego

Uczniowie zastanawiali się, jaka siła jest potrzebna, aby popchnąć stojący samochód. Poprosili więc ojca jednego z nich, aby wsiadł do swojego samochodu na parkingu i ustawił skrzynię biegów na luz. O tylny zderzak oparli wagę sprężynową (podłożyli grubą tekturę, aby nie zarysować powierzchni). Następnie po kolei naciskali na wagę, aż pojazd się poruszył. Zanotowali następujące wskazania przyrządu w momencie poruszenia pojazdu: 28 kg, 30 kg, 30 kg, 30 kg, 25 kg, 40 kg, 35 kg. Wyznacz wartość siły.



Rozwiązanie: Waga sprężynowa to właściwie siłomierz. Jeśli pokazuje np. 28 kg, to oznacza, że działa na nią siła $F = mg$, gdzie $g \approx 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$. Zatem:

$$F = 28\ \mathrm{kg} \cdot 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 280\ \mathrm{N}$$

Kolejne wskazania wagi oznaczają więc siłę nacisku: 280 N, 300 N, 300 N, 300 N, 250 N, 400 N, 350 N. Średnia arytmetyczna z tych wielkości jest równa:

$$F = \frac{280\ \mathrm{N} + 300\ \mathrm{N} + 300\ \mathrm{N} + 300\ \mathrm{N} + 250\ \mathrm{N} + 400\ \mathrm{N} + 350\ \mathrm{N}}{7} = \frac{2180\ \mathrm{N}}{7}$$

Po wykonaniu dzielenia na kalkulatorze otrzymano wynik: $F = 311{,}4285714285714\ \mathrm{N}$.

A jaka jest niepewność? W przypadku niewielkiej liczby pomiarów znajdujemy dwa skrajne wyniki i obliczamy połowę ich różnicy (nieco dokładniej powiemy o tym później):

$$\Delta F = \frac{400\ \mathrm{N} - 250\ \mathrm{N}}{2} = 75\ \mathrm{N}$$

Czy należy więc zapisać wynik w postaci: $F = 311{,}4285714285714\ \mathrm{N} \pm 75\ \mathrm{N}$?

W żadnym wypadku! Skoro niepewność pomiaru to ponad 70 N, nie ma sensu podawać średniej z dokładnością do kilku miejsc po przecinku. Skoro siłę znamy tylko z dokładnością do kilkudziesięciu niutonów, powinniśmy ją podać z taką dokładnością. W tym celu trzeba zaokrąglić wynik z dokładnością do pełnych dziesiątek ($311{,}4285714285714 \approx 310$). W ten sam sposób zaokrąglamy również niepewność ($75 \approx 80$).

Odpowiedź: Niepewność naszego pomiaru wynosi 80 N. Siła wyznaczona jako średnia z pomiarów ma wartość 310 N.

Aby poprawić dokładność pomiaru, możemy powtórzyć go wielokrotnie, a następnie obliczyć średnią arytmetyczną wyników. Ta średnia to ostateczny wynik naszego pomiaru, czyli wielkość najbardziej zbliżona do rzeczywistej.

W warunkach szkolnych, kiedy pomiar powtarzamy tylko kilka razy, stosujemy uproszczoną metodę wyznaczania niepewności: podajemy połowę różnicy między skrajnymi wynikami:

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$$

gdzie: $x_{\max}$ – największa wartość pomiaru, $x_{\min}$ – najmniejsza wartość pomiaru. Zwróć uwagę na ważny wniosek dotyczący sposobu zapisów wyników pomiarów.

Końcowe wyniki pomiarów i obliczeń zaokrąglamy tak, aby nie sugerować, że znamy je dokładniej, niż wynika to z niepewności.

Dodatek matematyczny

Zaokrąglanie liczb

Gdy zaokrąglamy liczbę, to jej ostatnie cyfry zastępujemy zerami. Na przykład przy zaokrąglaniu do tysięcy ostatnią cyfrą niezamienioną na zero jest cyfra tysięcy. Po zaokrągleniu otrzymamy wynik w pełnych tysiącach, czyli liczbę podzielną przez tysiąc.





Gdy pierwsza wyzerowana cyfra jest mniejsza od 5, nic już więcej nie robimy. Zaokrąglana liczba zmienia się więc na mniejszą. Mówimy, że **zaokrąglamy w dół**.

Gdy pierwsza wyzerowana cyfra jest równa 5 lub więcej, zwiększamy poprzednią cyfrę. Zaokrąglana liczba zmienia się więc na większą. Mówimy, że **zaokrąglamy w górę**.

Uwaga. Ponieważ nie ma cyfry większej niż 9, czasami przy zaokrąglaniu w górę zmienia się więcej cyfr:

959 734 ≈ 960 000	(959 zwiększamy do 960)
999 512 ≈ 1 000 000	(999 zwiększamy do 1000)

Podobnie postępujemy przy zaokrąglaniu z inną dokładnością, na przykład:

• do jedności:	56,278 ≈ 56,000 = 56	56,781 ≈ 57,000 = 57
• do części setnych:	87,51423 ≈ 87,51	87,5974 ≈ 87,60
• do części tysięcznych:	0,4193 ≈ 0,419	0,5195 ≈ 0,520

Na przykład wynik pomiaru siły z dokładnością do 0,1 N możemy zapisać: $F = 2{,}5\ \text{N} \pm 0{,}1\ \text{N}$, ale nie w postaci $F = 2{,}51278\ \text{N} \pm 0{,}1\ \text{N}$. Pamiętaj o tej zasadzie zarówno podczas opracowywania wyników pomiarów, jak i podczas rozwiązywania zadań rachunkowych. Miej też na względzie, że dokładność wyniku pomiaru nie może być większa niż dokładność użytego przyrządu.

To najważniejsze

- W fizyce, a także w innych naukach przyrodniczych, nasza wiedza opiera się na **obserwacjach** i **doświadczeniach**.
- Jednostkami podstawowymi międzynarodowego układu jednostek miar SI (w skrócie układu SI) są m.in. metr, kilogram i sekunda. Z tych jednostek można tworzyć jednostki pochodne, np. $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- **Wynik pomiaru** podajemy **wraz** z jego **niepewnością** i zapisujemy: $x \pm \Delta x$.
- Aby wynik pomiaru był dokładniejszy, wykonujemy go wielokrotnie i obliczamy średnią wyników.
- Wyniki pomiarów i ich niepewności należy podawać w zaokrągleniu.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Poniżej podano kilka informacji związanych z burzą i piorunami. Które z nich są interesujące z punktu widzenia fizyki?

A. Koty często boją się burzy.
B. Piorun to wyładowanie elektryczne.
C. Blaszany garaż to dobre schronienie w czasie burzy.
D. Jedna z postaci w III części *Dziadów* Adama Mickiewicza ginie od uderzenia pioruna.
E. Piorunochron wynalazł Benjamin Franklin.

2. Zapisz w zeszycie podane wielkości bez użycia wielokrotności i podwielokrotności:

a) Odbicie piłki od nogi zawodnika trwa ok. 10 ms.

b) Napięcie elektryczne między ziemią a chmurą burzową może wynosić nawet 100 MV.

c) Energia kinetyczna dużego pasażerskiego odrzutowca w czasie lotu wynosi 20 GJ.

3. Jakich przyrządów użyjesz, aby zmierzyć opisane wielkości fizyczne? W jakich jednostkach otrzymasz wynik? Odpowiedzi wybierz z ramki i zapisz w zeszycie.

A. siła
B. masa
C. temperatura
D. napięcie elektryczne

waga • siłomierz • woltomierz • termometr • taśma miernicza • niuton • wolt • stopień Celsjusza • kilogram • metr

4. Zapisz podane wielkości w dogodniejszej formie, z użyciem wielokrotności i podwielokrotności:

a) Najlżejszy owad latający (należący do pasożytniczych os) ma masę 0,000 005 g.

b) Napięcie w kolejowej sieci trakcyjnej w Polsce wynosi 3000 V.

c) Czas odbicia piłki golfowej od kija wynosi ok. 0,0005 s.

d) Moc samolotu Concorde wynosi 37 000 000 000 W.

5. Olek codziennie przez tydzień mierzył czas potrzebny do zagotowania 0,5 l wody w czajniku elektrycznym. Otrzymał następujące wyniki pomiaru: 183 s, 187 s, 178 s, 184 s, 190 s, 181 s, 185 s.

a) Oblicz średni czas potrzebny do zagotowania wody w tym czajniku.

b) Oblicz niepewność tego pomiaru.

c) Zastanów się, jakie czynniki mogły wpłynąć na uzyskanie różnych wyników pomiaru czasu.

6. Janek za pomocą linijki kilkakrotnie zmierzył długość patyka, a następnie obliczył średnią wyników swoich pomiarów na komputerze. Otrzymał wynik widoczny na ilustracji obok (wyrażony w centymetrach), który pracowicie przepisał do zeszytu. Wybierz prawidłowe dokończenie zdania.

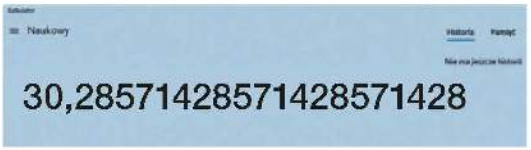
Tak zapisany wynik jest absurdalny, bo oznaczałby, że niepewność pomiaru jest:

A. zbliżona do wielkości jednej komórki roślinnej (patyk pochodzący z drzewa zbudowany jest z takich komórek).

B. zbliżona do wielkości atomu węgla (drewno, jak każda substancja organiczna, zawiera dużo węgla).

C. znacznie mniejsza od wielkości jądra atomowego (patyk składa się z atomów, a atom – z jądra i elektronów).

Wskazówka. Skorzystaj z infografiki na stronach 8–9.



Doświadczenie domowe

Wielokrotny pomiar długości

1. Przygotuj ołówek i linijkę lub centymetr krawiecki.

2. Zmierz pięciokrotnie długość tego samego ołówka. Zapisz wyniki pomiarów.

3. Oblicz średni wynik i niepewność pomiaru. Pamiętaj, aby podać je z odpowiednim zaokrągleniem.





1 Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

Dlaczego ciało wprawione w ruch w końcu się zatrzymuje? A może nie zawsze? Czy wiesz, dlaczego pasażerowi pociągu może się wydawać, że to peron rusza, a nie jego pociąg? Czy takie samo wrażenie ma obserwator stojący na peronie? Dlaczego?



3. Siły. Trzecia zasada dynamiki

Cele lekcji

- Przypomnisz sobie i uporządkujesz wiadomości dotyczące siły jako wielkości wektorowej, siły ciężkości i wzajemności oddziaływań.
- Dowiesz się, czy można wprawić w ruch samego siebie.

Siła – wielkość opisująca oddziaływanie

Świat wokół nas składa się z ogromnej liczby ciał, które na siebie **oddziałują**. Na przykład stopa piłkarza może oddziaływać na piłkę, co powoduje wprawienie piłki w ruch. Do opisu oddziaływania fizycy używają pojęcia **siły**. Powiemy więc, że stopa piłkarza **działa siłą** na piłkę.

Aby strzelić gola, piłkarz nie może działać na nią *jakąkolwiek* siłą. Musi kopnąć piłkę **odpowiednio mocno** i **we właściwą stronę**. Siła jest więc wielkością, która ma swoją **wartość** oraz **kierunek** i **zwrot**. Mówimy, że jest **wielkością wektorową**. Prędkość i przyspieszenie to także wielkości wektorowe. Masa, czas, gęstość, droga to **wielkości skalarne**, bo mają tylko wartość.

Na rysunku wektor siły zaznaczamy za pomocą strzałki. Wskazuje ona, w którą stronę działa siła (rys. obok). Długość strzałki odpowiada wartości wektora (według przyjętej umownie skali, bo przecież siły tak naprawdę nie mierzymy w centymetrach).

Efekt działania siły na piłkę zależy także od tego, w które konkretnie miejsce kopniemy. Odpowiednio kopnięta piłka może zacząć się obracać. Mówimy, że ważny jest **punkt przyłożenia** siły (na zdjęciu obok zaznaczony kropką).

Wielkości fizyczne dzielimy na:
- skalarne (np. m, t, d, s),
- wektorowe (np. $\vec{F}$, $\vec{v}$, $\vec{a}$).



▲ Piłkarz działa siłą na piłkę. Strzałka wskazuje kierunek i zwrot wektora siły

Cechy wektora siły

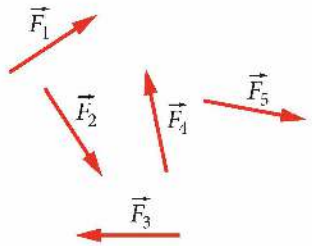
Podsumujmy wiadomości na temat cech wektora siły.

> Siłę charakteryzują cztery cechy: wartość, kierunek, zwrot i punkt przyłożenia.

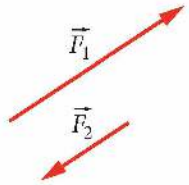
Wektor siły oznaczamy literą $\vec{F}$ (ang. *force* – siła, łac. *fortis* – mocny, silny). Strzałka nad literą oznacza, że jest to wielkość wektorowa. Symbol F (bez strzałki) oznacza wartość siły.

Słowa „kierunek" używamy nieco inaczej niż w języku potocznym. Na przykład jeśli jedna siła działa pionowo w dół, a druga pionowo w górę, to mówimy, że mają one **jednakowy kierunek**, różnią się natomiast **zwrotem**.

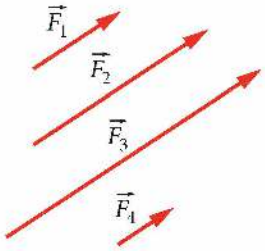
Jednostką siły jest **niuton** (1 N). Do pomiaru siły używa się **siłomierza**.



▲ Wektory o jednakowej wartości i różnych kierunkach



▲ Wektory o jednakowym kierunku, ale przeciwnych zwrotach



▲ Wektory o jednakowym kierunku i zwrocie, ale różnych wartościach

Wzajemność oddziaływań – trzecia zasada dynamiki

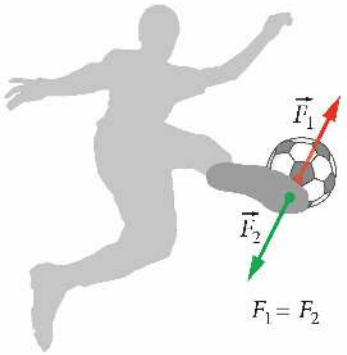
Jeśli zdarzyło ci się kopać piłkę bosą nogą, wiesz na pewno, że może to być bolesne. Gdyby na boisku bosy bramkarz chciał wykopać piłkę na przeciwległą połowę boiska, mogłoby się to skończyć złamaniem kości. Ale czy siła, którą stopa działa na piłkę, może spowodować takie skutki?

Oczywiście, że nie! Równie dobrze moglibyśmy się spodziewać, że kiedy popchniemy wózek z zakupami, zamiast niego poruszy się inny wózek, stojący obok. **Skutki działania siły dotyczą tego ciała, na które ona działa.** Tak więc ból albo złamanie kości powoduje inna siła. Jest to **siła, którą piłka działa na stopę** (patrz rys. poniżej). Dlatego w fizyce mówimy o **wzajemnym oddziaływaniu ciał**, np. stopy i piłki. Jednemu oddziaływaniu odpowiadają dwie siły: nacisk stopy na piłkę i nacisk piłki na stopę.

O tym mówi **trzecia zasada dynamiki** Newtona. Przypomnijmy jej treść:

> Siły zawsze działają parami. Siły wzajemnego oddziaływania ciał mają tę samą wartość, ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia.

Zwróćmy uwagę, że siły te nigdy się nie równoważą, bo są przyłożone do różnych ciał.



▲ Oddziaływanie stopy i piłki jest wzajemne, obie siły mają równe wartości

A oto przykład z innej dziedziny sportu. Poniżej widzisz siatkarkę uderzającą w piłkę (ilustracja A) i tę samą osobę uderzającą w nadmuchany balonik (ilustracja B). W balonik sportsmenka nie może uderzyć tak silnie jak w piłkę, bo balonik nie może „odwzajemnić się" taką samą siłą.





Siła oddziaływania między dłonią siatkarki a uderzanym przedmiotem jest początkowo niewielka i rośnie stopniowo wraz z odkształcaniem tego przedmiotu. Balonik jest lekki, więc odchyla się już przy niewielkim odkształceniu, a więc już pod działaniem niewielkiej siły. Gdyby był oparty o ścianę, nie mógłby się odchylić, a wtedy uległby większemu odkształceniu i – być może – pękł.
Z trzeciej zasady dynamiki wynika więc, że siła jaką działasz na inne ciało, nie może być większa od siły, jaką ono działa na ciebie.

Jak wprawić w ruch samego siebie

Aby to sprawdzić, wykonaj doświadczenie.

Doświadczenie 1.

Ilustracja trzeciej zasady dynamiki

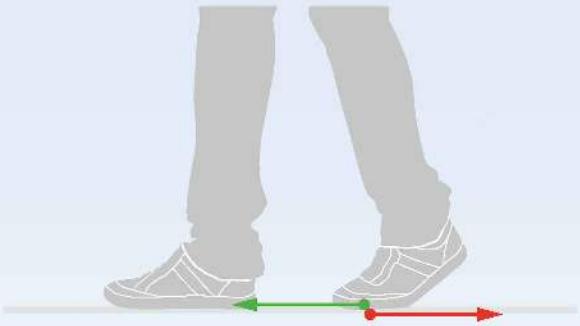
1. Przygotuj deskorolkę i stań na niej.
2. Bez dotykania innych ciał spróbuj się wprawić w ruch.
3. Stań na deskorolce naprzeciwko ściany i popchnij ścianę. Co zauważasz?
4. Przedstaw na ilustracji przebieg doświadczenia. Zaznacz, w którą stronę pchasz ścianę i w którą stronę ściana pcha ciebie. Jaki płynie z tego wniosek?



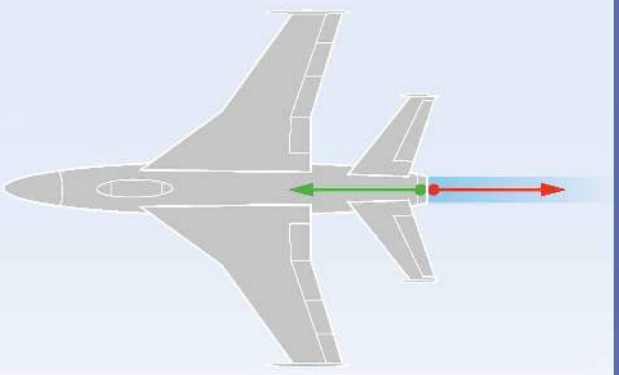
Warto zauważyć, że człowiek, zwierzę czy maszyna mogą działać siłą na wiele innych ciał, ale nikt nie może działać siłą na samego siebie, aby wprawić się w ruch. Co więc zrobić, by zacząć się poruszać?
Należy w tym celu podziałać siłą na jakieś inne ciało. Siła musi być skierowana w przeciwną stronę niż ta, w którą chcemy się poruszać. Wówczas siła, którą działa na nas to ciało, zwana też **siłą reakcji**, może wprawić nas w ruch (patrz rys. s. 25). Podobnie jest w powyższym doświadczeniu: osoba na deskorolce porusza się w przeciwną stronę, niż naciska na ścianę.

Jak wprawić w ruch samego siebie

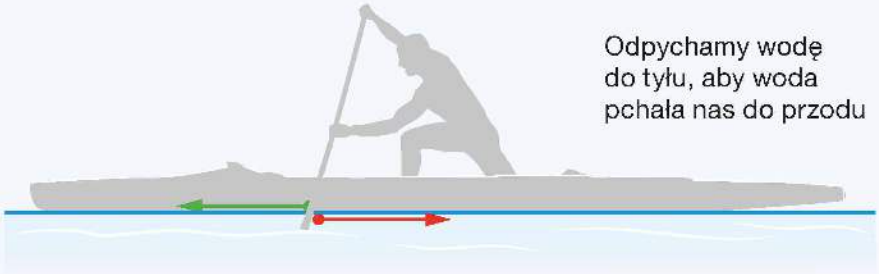
Ponieważ działając siłą na samego siebie, nie wprawimy się w ruch, należy podziałać siłą na inne ciało. Ta siła musi być skierowana przeciwnie do zamierzonego kierunku ruchu.



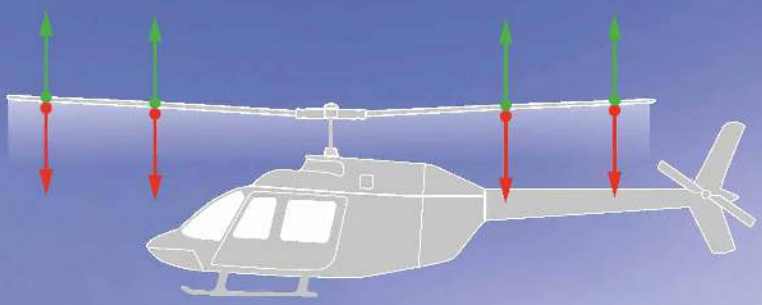
Odpychamy ziemię do tyłu, aby ziemia pchała nas do przodu.



Odrzutowiec wyrzuca do tyłu strumień gazów, aby pchał on samolot do przodu.



Odpychamy wodę do tyłu, aby woda pchała nas do przodu



Wirnik zagarnia powietrze w dół, aby helikopter wzbił się w górę.



Niezależnie od sposobu wprawiania się w ruch zawsze wykorzystujemy trzecią zasadę dynamiki Newtona.

Siła ciężkości

Przykładem siły, z którą mamy do czynienia na co dzień, jest **siła ciężkości**, czyli siła, z jaką Ziemia przyciąga dane ciało. Jak wiesz, siła ta jest tym większa, im większa jest masa ciała. Siłę ciężkości obliczamy, mnożąc masę ciała m przez przyspieszenie ziemskie $g = 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \approx 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

$$F_g = mg$$

Ta zależność pozwala nam nie tylko obliczać siłę ciężkości na podstawie masy ciała lub na odwrót, lecz także wyrobić sobie intuicję na temat siły o podanej wartości. Na przykład określenie „siła 15 N" może brzmieć dla nas zagadkowo, gdy jednak pomyślimy o tej wielkości jako o sile potrzebnej do podniesienia półtoralitrowej butelki wody mineralnej (o masie 1,5 kg), łatwiej wyobrazimy sobie, o czym mowa.
Zależność między masą a siłą ciężkości pozwala także używać niektórych rodzajów wagi (np. sprężynowej lub elektronicznej) jako siłomierza. Okazuje się bowiem, że te przyrządy to w rzeczywistości siłomierze, mierzące nacisk na szalkę.

Waga sprężynowa lub elektroniczna mierzy ciężar ciała, czyli siłę nacisku na szalkę.

Ponieważ siła ciężkości jest wprost proporcjonalna do masy ciała, dla wygody wagi są wyskalowane w kg, czyli jednostkach masy. W przykładzie na s. 17 używaliśmy już wagi łazienkowej, aby mierzyć siłę, którą pchamy samochód. W sprytny sposób możesz wykorzystać wagę kuchenną i wykonać doświadczenie, w którym zmierzysz siłę, jaką ciągniesz nitkę (patrz zdjęcie obok).
Jak obliczyć wartość siły na podstawie wskazań wagi? Wyobraź sobie, że waga wskazywała początkowo 480 g, a gdy ciągnąłeś nitkę – tylko 325 g, czyli o 155 g mniej. Oznacza to, że nitka była ciągnięta siłą równą ciężarowi ciała o masie 155 g = 0,155 kg, czyli siłą o wartości $F = 1{,}55$ N.



To najważniejsze

- **Siła** to wielkość opisująca, w jaki sposób jedno ciało oddziałuje na drugie ciało.
- Siła to wielkość wektorowa: ma nie tylko **wartość**, lecz także **kierunek**, **zwrot** oraz **punkt przyłożenia**.
- Siły zawsze działają parami. Siły wzajemnego oddziaływania ciał mają tę samą wartość, ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia (**trzecia zasada dynamiki**).
- Aby się poruszyć, trzeba działać siłą na inne ciało, a wówczas siła, którą działa na nas to ciało, może wprawić nas w ruch.
- Ziemia przyciąga ciało o masie m **siłą ciężkości** o wartości:

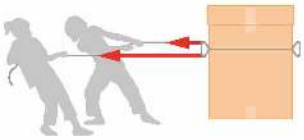
$$F_g = mg, \text{ gdzie } g \approx 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \text{ to przyspieszenie ziemskie.}$$

Pytania i zadania

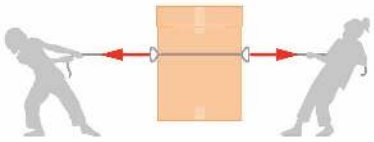
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Jaką cechą różnią się siły przedstawione na każdym rysunku? Co mają wspólnego?

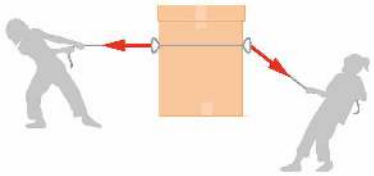
A.



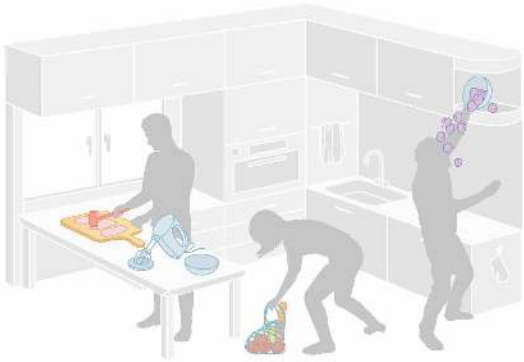
B.



C.



2. Podaj przykłady trzech oddziaływań, które można zaobserwować w sytuacji przedstawionej na rysunku. Opisz odpowiadające im siły. Pamiętaj, że siły działają parami.



Przykład: Mikser stoi na stole i naciska na niego pewną siłą skierowaną w dół. Stół działa na mikser siłą o takiej samej wartości, ale skierowaną w górę.

3. Oblicz siłę ciężkości działającą na:

a) dzika o masie 200 kg,

b) bociana o masie 4 kg,

c) mysz o masie 20 g.

4. Oblicz masę:

a) kota, którego Ziemia przyciąga siłą 45 N,

b) zaskrońca, którego Ziemia przyciąga siłą o wartości 2,5 N.

5. Samochód, zgodnie ze swoją nazwą, sam „chodzi", czyli jeździ. Wiemy jednak, że w rzeczywistości samochód nie może działać siłą sam na siebie. Skąd więc pochodzi siła powodująca rozpędzanie pojazdu?

Wskazówka: Przeanalizuj infografikę na s. 25.

6. Astronauta poza statkiem kosmicznym nie ma przedmiotów, od których mógłby się odpychać, dlatego jest stale przywiązany do statku specjalną liną. Dowiedz się, jakie zabezpieczenie przewidziano na wypadek, gdyby lina się zerwała.



Odpowiedzi znajdziesz np. na stronie: https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-is-a-spacewalk-k4.html



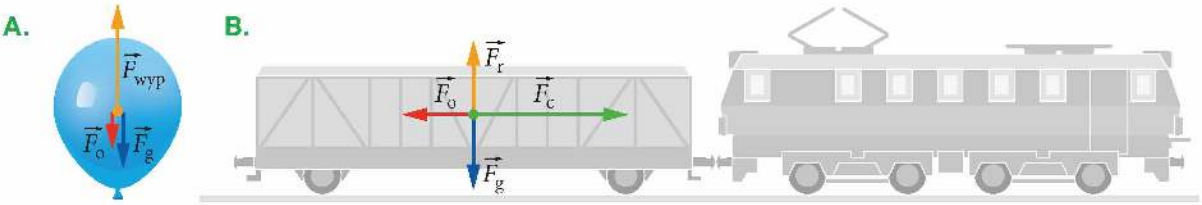
4. Siła wypadkowa

Cele lekcji

- Przypomnisz sobie, co to jest siła wypadkowa i jak ją wyznaczać w przypadku sił działających wzdłuż jednej prostej.
- Dowiesz się, jak wyznaczać siłę wypadkową, gdy siły składowe mają różne kierunki.

Gdy na jedno ciało działa wiele sił

Często mamy do czynienia z sytuacją, gdy na jedno ciało działa wiele różnych sił. Na przykład na balonik z helem unoszący się w górę (rys. A) działają siły skierowane w dół: siła ciężkości $\vec{F}_g$ i siła oporu powietrza $\vec{F}_o$, oraz skierowana w górę siła wyporu $\vec{F}_{wyp}$. Na poruszający się wagon kolejowy (rys. B) działa skierowana w dół siła ciężkości $\vec{F}_g$, skierowana w górę siła reakcji szyn $\vec{F}_r$, skierowana do przodu siła ciągu lokomotywy $\vec{F}_c$ i skierowana do tyłu siła oporów ruchu $\vec{F}_o$.



▲ Siły działające na: A. balonik z helem, B. wagon kolejowy

Zwykle w takiej sytuacji możemy sobie wyobrazić, że zamiast tych wszystkich sił na ciało działa tylko jedna siła. Nazywamy ją siłą wypadkową.

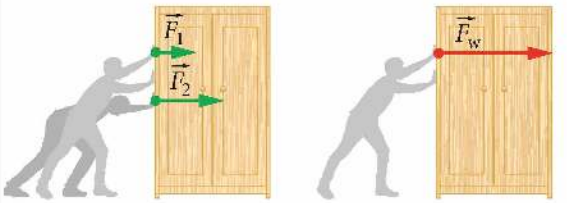
> Jeśli kilka sił działających na jedno ciało można zastąpić jedną siłą, której skutek działania jest taki sam jak sił składowych, to taką siłę nazywamy **siłą wypadkową**.

Uwaga. Siła wypadkowa nie jest jakąś dodatkową siłą ani szczególnym rodzajem siły, a jedynie pojęciem w prostszy sposób opisującym działanie wielu sił.

Jak wyznaczać siłę wypadkową

Ze szkoły podstawowej znasz sposób postępowania z **siłami o jednakowym kierunku**. Gdy również ich zwrot jest jednakowy, po prostu dodajemy wartości tych sił (patrz rys. A). Gdy zwroty są przeciwne – ich wartości odejmujemy (patrz rys. B).

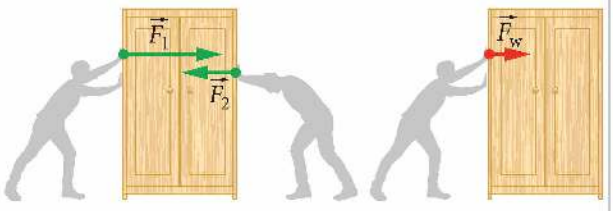
A. Zgodne zwroty



$\vec{F}_w = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ $\quad F_w = F_1 + F_2$

▲ Gdy siły działają wzdłuż jednej prostej i mają jednakowy zwrot, to ich wypadkowa ma ten sam kierunek i zwrot, a jej wartość jest równa sumie wartości sił

B. Przeciwne zwroty



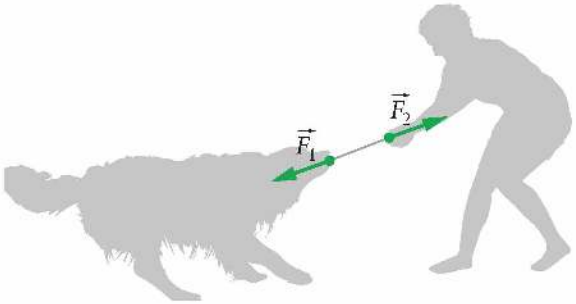
$\vec{F}_w = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ $\quad F_w = F_1 - F_2$

▲ Gdy siły działają wzdłuż jednej prostej i mają przeciwne zwroty, to siła wypadkowa ma taki zwrot jak siła o większej wartości, a wartość siły wypadkowej jest równa różnicy wartości sił

Jeżeli dwie siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$, działające na jedno ciało wzdłuż tej samej prostej, mają jednakowe wartości i przeciwne zwroty, to ich **wypadkowa jest równa zeru**.

Siły, które się równoważą

Gdy wypadkowa sił działających na jedno ciało jest równa zeru, siły się **równoważą**. Ich łączny skutek jest taki, jak gdyby na ciało nie działała żadna siła. Na przykład gdy pies ciągnie patyk w jedną stronę, a człowiek w drugą (patrz rys.), ich siły się równoważą – dlatego patyk się nie porusza, jakby nie działała na niego żadna siła.



Równowaga sił

$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$
$F_1 = F_2$
$F_w = 0\,\text{N}$

▲ Siła wypadkowa dwóch sił o tym samym kierunku i tej samej wartości, lecz przeciwnych zwrotach ma wartość równą 0 N, czyli ich łączny skutek jest taki, jakby na ciało nie działała żadna siła

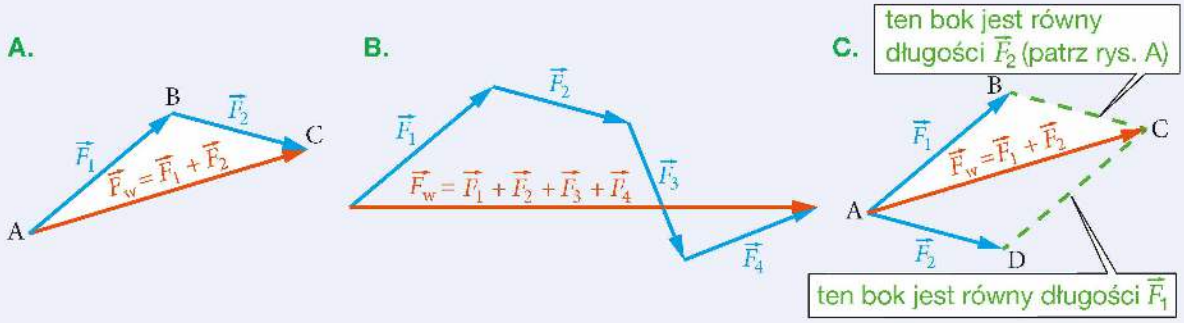
Różne sposoby znajdowania siły wypadkowej

Siły nie zawsze jednak działają wzdłuż jednej prostej. Jak wówczas wyznaczyć siłę wypadkową? Dla sił o różnych kierunkach istnieją geometryczne sposoby znajdowania wypadkowej – **metoda równoległoboku** lub **metoda trójkąta** (patrz dodatek matematyczny na s. 30 oraz ilustracja na s. 32).

Dodatek matematyczny

Metoda trójkąta

Aby wyznaczyć siłę wypadkową, rysujemy wektory sił składowych w ten sposób, że koniec pierwszego wektora i początek drugiego znajdują się w jednym punkcie (rys. A). Gdy połączymy początek pierwszego wektora i koniec drugiego, otrzymamy wektor siły wypadkowej. W podobny sposób możemy dodawać więcej niż dwa wektory (rys. B). Metodę tę nazywamy **metodą trójkąta.**



Metoda równoległoboku

W przypadku sił dodajemy zwykle wektory zaczepione w jednym punkcie, dlatego możemy też stosować **metodę równoległoboku**. Aby znaleźć wypadkową dwóch sił działających w różnych kierunkach, rysujemy równoległobok, w którym wektory tych sił są bokami. Jego przekątna poprowadzona z punktu zaczepienia wyjściowych wektorów to wektor siły wypadkowej.
Rysunek C wyjaśnia, dlaczego daje ona ten sam wynik co sposób opisany wyżej. Wystarczy, że nauczysz się jednej z tych metod – dogodnej dla ciebie.

Pojęcie siły wypadkowej i sposób jej wyznaczania pozwolą nam wyjaśnić zaskakujący przebieg poniższego doświadczenia.

Doświadczenie 2.

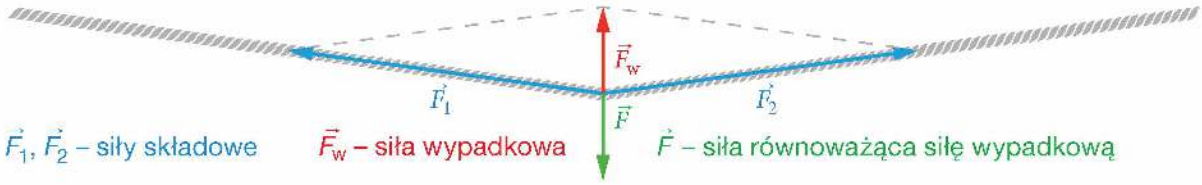
Równoważenie siły wypadkowej

1. Przygotuj długą linę i poproś trzy osoby o pomoc w wykonaniu doświadczenia.
2. Niech dwóch silnych uczniów stanie przy końcach liny. Ich zadaniem będzie utrzymać linę napiętą poziomo na wysokości opuszczonych rąk (patrz zdjęcie).
3. Trzecia osoba (może być to drobnej budowy uczennica lub uczeń) niech stanie pośrodku i spróbuje dopchnąć linę do podłogi. Kto ma łatwiejsze zadanie?



Analiza doświadczenia

Nie wiemy, czym zakończyło się doświadczenie w waszej klasie, my jednak mieliśmy okazję zobaczyć, jak kilkuletnie dziecko okazało się „silniejsze" od dwóch dorosłych mężczyzn. Cudzysłów przy słowie „silniejsze" jest całkowicie uzasadniony. Osoba naciskająca środek liny do podłogi musi przezwyciężyć wypadkową sił, którymi działają osoby na końcach liny. Wartość tej wypadkowej jest niewielka (rys. poniżej), znacznie mniejsza od wartości każdej z sił składowych.



▲ Wartość siły wypadkowej $\vec{F}_w$ zależy od kąta między siłami składowymi $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$. Natomiast siły $\vec{F}_w$ i $\vec{F}$ się równoważą, a więc mają równe wartości

Przykład

Siła wypadkowa sił o różnych kierunkach

Dwie osoby idą po dwóch stronach kanału i ciągną linami łódź. Wektory sił, którymi działają, przedstawiono na rysunku A. Każda z sił ma wartość $F = 100$ N.

a) Wyznacz wypadkową sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ działających na łódkę.

b) Określ wartość siły oporu ruchu, jeśli łódź się porusza ruchem jednostajnym.

Rozwiązanie:

a) Aby znaleźć wypadkową sił, którymi na łódkę działają ludzie, rysujemy równoległobok, którego bokami są wektory o wartościach 100 N każdy (patrz rys. B). Siła wypadkowa $\vec{F}_w$ jest przekątną równoległoboku poprowadzoną z punktu zaczepienia wektorów.

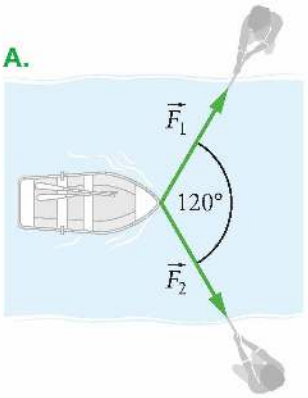
Wartość siły wypadkowej zawsze możemy wyznaczyć na rysunku za pomocą linijki. Możemy też zauważyć, że nasz równoległobok jest rombem, a przekątna dzieli go na dwa trójkąty równoboczne. Zatem siła wypadkowa także ma wartość 100 N.

b) Skoro łódź nie zmienia prędkości, to wszystkie działające siły się równoważą. Wystarczy więc narysować siłę, która zrównoważy wypadkową pierwszych dwóch sił. Musi mieć ona taką samą wartość, ale przeciwny zwrot (rys. C).

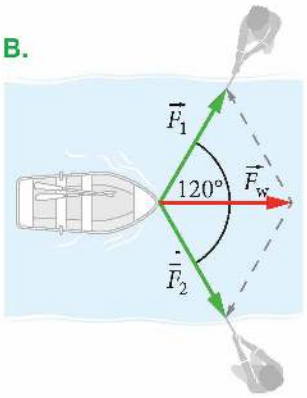
$$F_o = F_w = 100 \text{ N}$$

Odpowiedź: Wypadkowa sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ działających na łódkę wynosi 100 N. Siła oporu ruchu ma tę samą wartość.

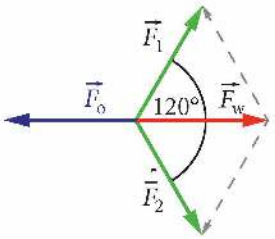
A.



B.



C.



Jaka siła działa na statek

Skoro umiemy wyznaczać wypadkową sił o różnych kierunkach (patrz s. 30), łatwo zrozumiemy, dlaczego ciała, na które działa kilka sił, poruszają się w określonym kierunku. Możemy też przewidzieć, jakimi siłami musimy działać na ciało, aby przemieszczało się tam, dokąd chcemy.



$\vec{F}_1, \vec{F}_2$ – siły składowe o różnych kierunkach,
$\vec{F}_w$ – siła wypadkowa sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ (przekątna równoległoboku)

Holowniki ciągną statek – ich siły działają wzdłuż napiętych lin, ale statek płynie prosto przed siebie, ponieważ porusza się w kierunku wyznaczonym przez siłę wypadkową.

To najważniejsze

- Jeśli kilka sił działających na ciało można zastąpić jedną siłą, której skutek działania jest taki sam jak sił składowych, to taką siłę nazywamy **siłą wypadkową**.
- Jeśli siła wypadkowa jest równa zeru, mówimy, że siły składowe **się równoważą**.
- Gdy dwie siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ mają jednakowy kierunek i zwrot, to aby wyznaczyć ich wypadkową, dodajemy wartości tych sił: $F_w = F_1 + F_2$.
- Gdy dwie siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ mają jednakowy kierunek, ale przeciwne zwroty, to aby wyznaczyć ich wypadkową, odejmujemy wartości tych sił: $F_w = F_1 - F_2$, gdy $F_1 > F_2$. Wypadkowa ma zwrot taki jak większa z sił składowych.
- Aby znaleźć wypadkową sił o różnych kierunkach, stosujemy **metodę równoległoboku** lub **metodę trójkąta** (patrz dodatek matematyczny s. 30).

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



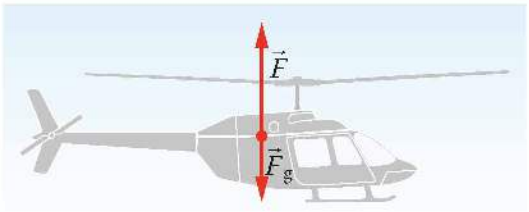
1. Na balon z helem działają dwie siły: siła ciężkości $\vec{F}_1$, skierowana w dół, oraz siła wyporu $\vec{F}_2$, skierowana w górę. Określ wartość i zwrot siły wypadkowej $\vec{F}_w$. W którą stronę balon się poruszy, jeśli początkowo spoczywał?

   a) $F_1 = 0{,}5$ N, $F_2 = 0{,}4$ N

   b) $F_1 = 0{,}5$ N, $F_2 = 0{,}5$ N

   c) $F_1 = 0{,}5$ N, $F_2 = 0{,}6$ N

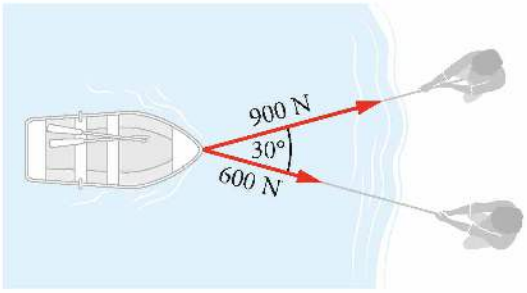
2. Na helikopter działają dwie siły: skierowana w dół siła ciężkości o wartości 70 kN i skierowana w górę siła, którą powietrze pcha wirnik.



   a) Zmierz wektory sił na ilustracji powyżej. Określ wartość siły, którą powietrze pcha helikopter do góry, a następnie oblicz wartość i podaj kierunek wypadkowej obu sił.

   b) Czy helikopter będzie się wznosił czy opadał, jeśli początkowo spoczywał?

3. Na rysunku widzisz z góry, jak dwie osoby wyciągają łódkę na brzeg. Przerysuj wektory sił do zeszytu i znajdź ich wypadkową. Zmierz i zanotuj w zeszycie jej wartość i kąt między jej wektorem a wektorem siły 600 N.

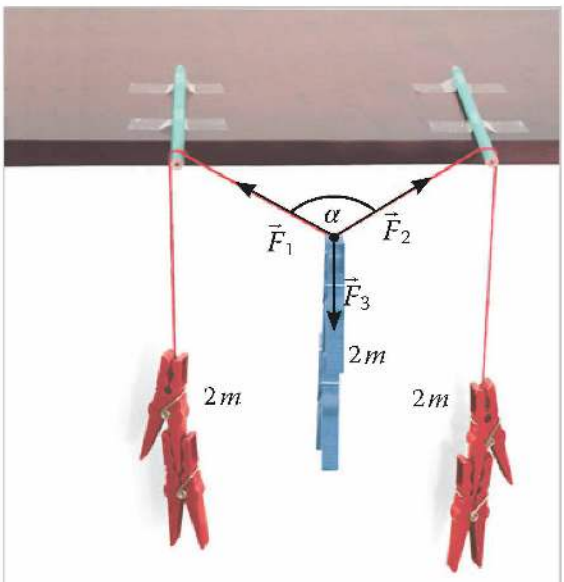


4. Na pewne ciało działają dwie prostopadłe do siebie siły o wartościach 6 N i 8 N. Sporządź w zeszycie odpowiedni rysunek i wyznacz wypadkową tych sił. Jaka jest jej wartość?

Doświadczenie domowe

Równowaga sił

1. Za pomocą taśmy klejącej przymocuj do brzegu stołu dwa okrągłe ołówki lub długopisy i przewieś przez nie nitkę lub żyłkę z klamerkami do bielizny o jednakowych masach m (patrz zdjęcie).
2. Unieś środkowe klamerki (na zdjęciu – niebieskie) tak, aby odcinek nitki między ołówkami był poziomy, a następnie – puść. Nitka opadnie do położenia, w którym siły będą się równoważyć.
3. Zmierz kątomierzem kąt α między nitkami. Powtórz pomiar kilka razy, oblicz wartość średnią i wyznacz niepewność pomiaru kąta.
4. Z przykładu na s. 31 wiemy, że trzy równe siły się równoważą, jeśli kąty między nimi wynoszą 120°. Porównaj wynik swoich pomiarów z tą wartością.



Uwaga. Ołówki powinny być gładkie, aby zmniejszyć tarcie.



5. Opis ruchu prostoliniowego

Cele lekcji

- Przypomnisz sobie pojęcia pozwalające opisywać ruch ciał.
- Poznasz nowe pojęcie: wektor przemieszczenia.
- Nauczysz się odróżniać prędkość średnią od prędkości chwilowej.

Względność ruchu i układ odniesienia

Wyobraź sobie, że siedzisz bez ruchu w samochodzie pędzącym z dużą prędkością. Czy można powiedzieć, że się poruszasz? To zależy. Aby opisywać ruch, musimy najpierw się umówić, **względem** jakiego ciała go rozpatrujemy. Osoba siedząca w samochodzie nie porusza się względem pojazdu, ale porusza się względem drzew, budynków. Innymi słowy, przyjmujemy pojazd lub np. budynek przy drodze za **układ odniesienia** i względem niego określamy stan ruchu lub spoczynku.
Zatem określenie, czy dane ciało jest w ruchu czy w spoczynku, zależy od wyboru układu odniesienia.

Ruch jest względny, to znaczy, że jego opis zależy od wyboru układu odniesienia.

Gdy już wybierzemy układ odniesienia, możemy względem niego określać **położenie** ciała. Jeśli położenie się zmienia, powiemy, że ciało się porusza.
Jak wiesz ze szkoły podstawowej, linia zakreślana przez poruszające się ciało to **tor ruchu**. Długość tego toru pomiędzy określonymi punktami to **droga**, oznaczana *s*.
Zauważ, że droga to wielkość wyrażona w jednostkach długości, np. metrach. Mierzymy ją wzdłuż toru, czyli nie zawsze w linii prostej.

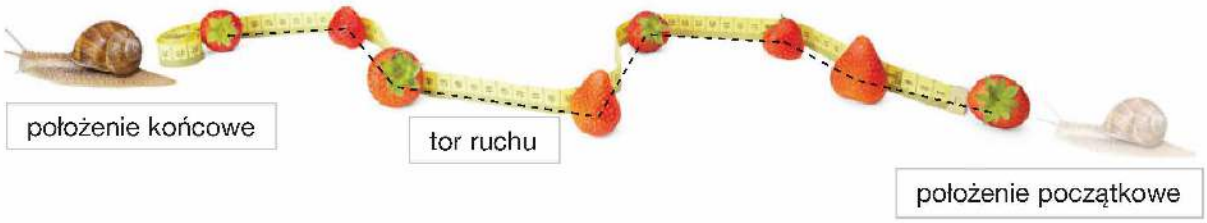


▲ Ruch pasażera względem pojazdu jest czym innym niż ruch względem jezdni

A to ciekawe

To zdjęcie zostało wykonane w układzie odniesienia motocyklisty. W tym układzie kierownica motocykla jest nieruchoma, a porusza się jej otoczenie. Dlatego na zdjęciu kierownica jest wyraźna, a tło rozmyte. Gdyby zdjęcie tego motocykla wykonano za pomocą aparatu ustawionego nieruchomo na poboczu (w układzie odniesienia związanym z drogą), tło byłoby wyraźne, a pojazd rozmyty.





▲ Przerywana linia to tor ruchu ślimaka. Przebytą drogę mierzymy np. za pomocą miarki krawieckiej

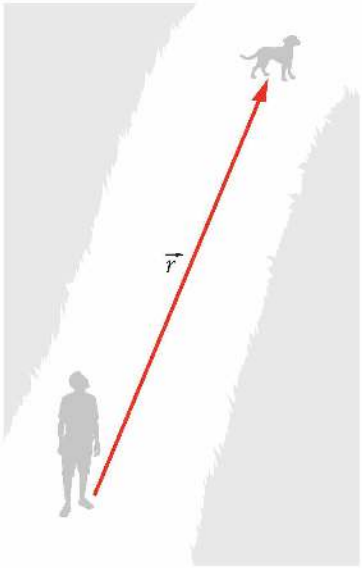
W tym rozdziale będziemy się zajmować tylko ruchem wzdłuż linii prostej, czyli **ruchem prostoliniowym**.

Wektor przemieszczenia

Zanim zdefiniujemy kolejną wielkość fizyczną opisującą ruch, przeanalizujmy opis sytuacji z życia.

Gdyby właścicielowi pieska, zaniepokojonemu oddaleniem się czworonoga na spacerze, powiedzieć: „Pana piesek przebiegł drogę 200 metrów", nie byłaby to wielka pomoc. Przede wszystkim nie wiadomo, w którą stronę skierował się zwierzak. Nie mamy też pewności, czy przez cały czas tylko się oddalał. Być może przebiegł 110 m, po czym zawrócił i zostało mu zaledwie 20 m, aby znaleźć się znów przy panu?

Znacznie bardziej pożyteczna będzie informacja: „Pana piesek jest 80 metrów na północny wschód od tego miejsca". W takim przypadku mówimy, że określiliśmy **przemieszczenie**. Zauważ, że podajemy nie tylko wartość (80 m), lecz także kierunek i zwrot (na północny wschód), a zatem przemieszczenie jest **wielkością wektorową**.



▲ Czerwona strzałka na rysunku to wektor przemieszczenia pieska

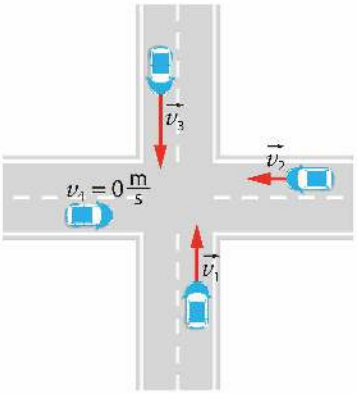
Wektor przemieszczenia prowadzi od początkowego do końcowego położenia ciała.

Uwaga. Wektor przemieszczenia **nie informuje** nas, ani po jakim torze ciało się poruszało, ani jaką przebyło drogę. Pozwala tylko porównać wcześniejsze i późniejsze położenie ciała.

Wektor prędkości

W życiu codziennym „prędkość" oznacza zwykle wielkość opisującą, jak szybko porusza się ciało. W fizyce mówimy jednak o **wektorze prędkości**, wskazującym dodatkowo, w którą stronę następuje ruch. Zatem prędkość to wielkość wektorowa.

Na rysunkach wektor prędkości przedstawiamy w postaci strzałki wskazującej, w którą stronę porusza się ciało. Długość strzałki odpowiada – w wybranej skali – wartości prędkości. Na rysunku obok pokazano widziane z góry skrzyżowanie, po którym poruszają się samochody. Strzałkami zostały przedstawione wektory prędkości.



▲ Wektory prędkości samochodów jadących w różne strony

Prędkość to wielkość wektorowa. Jej kierunek i zwrot określają, w którą stronę ciało się porusza.

Uwaga. Często mówimy w skrócie: „prędkość", zamiast: „wartość prędkości". Na przykład zwykle powiemy: „samochód jedzie z prędkością 90 $\frac{km}{h}$", zamiast: „samochód

W niektórych książkach wartość prędkości bywa nazywana szybkością.

Prędkość w przyrodzie

Prędkości obiektów stworzonych przez człowieka oraz występujących w przyrodzie obejmują wiele rzędów wielkości. Porównajmy kilka wybranych przykładów.



jedzie z prędkością o wartości 90 $\frac{km}{h}$". Jeśli istotne będą dla nas kierunek i zwrot wektora prędkości, będziemy o tym pisać wprost.

Jak obliczamy prędkość

W szkole podstawowej dowiedziałeś się, że **prędkość** obliczamy, dzieląc drogę przez czas, w którym została ona przebyta. Zapisujemy to za pomocą wzoru:

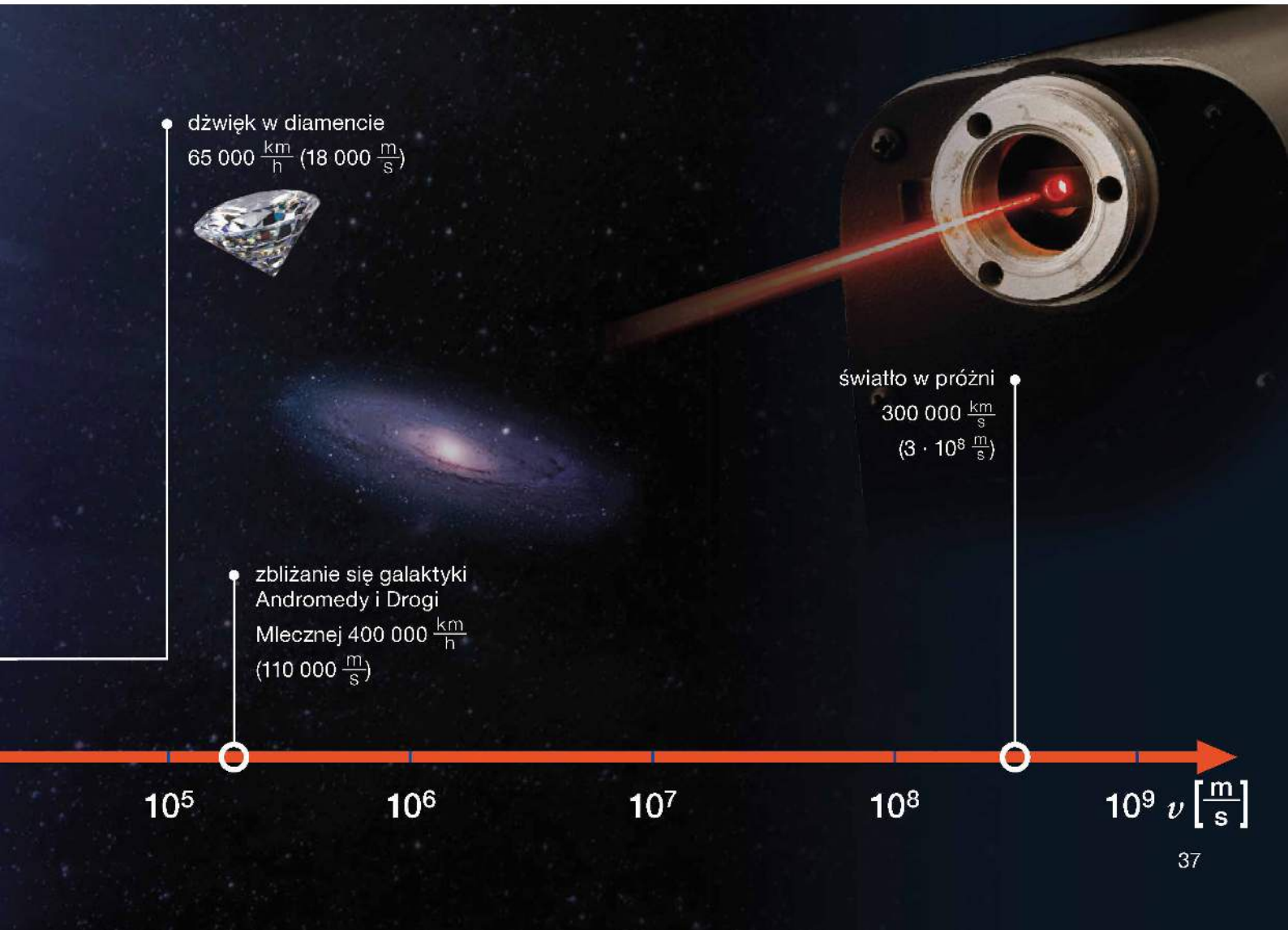
$$v = \frac{s}{t}$$

gdzie: v – prędkość, s – droga, t – czas.

Ze wzoru wynika, że jednostką prędkości jest iloraz jednostki drogi i jednostki czasu. Najczęściej używane są $\frac{m}{s}$ i $\frac{km}{h}$.
W przypadku ruchu jednostajnego sprawa jest prosta. Jeśli ciało w ciągu 1 s przebywa 4 m, to w ciągu 2 s przebywa 8 m, a w ciągu 3 s aż 12 m. Niezależnie od tego, które z tych danych podstawimy do wzoru, otrzymamy ten sam wynik:

$$v = \frac{4\,m}{1\,s} = \frac{8\,m}{2\,s} = \frac{12\,m}{3\,s} = 4\,\frac{m}{s}$$

Na ogół jednak ciała nie poruszają się jednostajnie. Wówczas z naszego wzoru możemy otrzymać jedynie prędkość średnią (a ściślej: średnią wartość prędkości).



Prędkość średnia

Średnią wartość prędkości ciała na danym odcinku drogi obliczamy, dzieląc całkowitą drogę s_c przez całkowity czas trwania ruchu t_c:

$$v_{śr} = \frac{s_c}{t_c}$$

Zatem samochód, który między godziną 10:00 a 12:00 przebył 160 km, poruszał się z prędkością o średniej wartości 80 $\frac{km}{h}$. Jeśli jednak o 12:00 jego kierowcę zatrzyma policja, funkcjonariuszy nie będzie interesowało, jaka była średnia wartość prędkości z ostatnich dwóch godzin, ale jaka była prędkość pojazdu w chwili pomiaru.

Prędkość chwilowa

Co to jednak znaczy „prędkość w chwili pomiaru"? W danej chwili ani nie upływa czas, ani nie można pokonać żadnej drogi, a podstawienie do wzoru $v = \frac{s}{t}$ wartości $s = 0$ m i $t = 0$ s nie daje sensownego wyniku, bo nie można dzielić przez zero. Dlatego musimy postępować inaczej. Bierzemy pod uwagę bardzo krótki (ale nie zerowy!) czas oraz drogę przebytą w tym krótkim czasie. Im krótszy czas t, tym dokładniej prędkość średnia odpowiada prędkości chwilowej.



▲ Za pomocą radaru policjant dokonuje pomiaru prędkości chwilowej pojazdu

Przykład

Obliczanie prędkości średniej

Rowerzysta wyjechał z domu o godzinie 8:20, a o 10:30 dotarł do lasu po przebyciu drogi 39 km. Oblicz jego prędkość średnią. Podaj wynik w kilometrach na godzinę i w metrach na sekundę.

Rozwiązanie: Jazda trwała od 8:20 do 10:30, czyli przez 2 h 10 min. Całkowita droga, którą pokonał rowerzysta, wynosiła 39 km. Prędkość średnią obliczamy ze wzoru:

$$v_{śr} = \frac{s_c}{t_c}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$v_{śr} = \frac{39\,\text{km}}{2\frac{1}{6}\,\text{h}} = 39 : \frac{13}{6}\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 39 \cdot \frac{6}{13}\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 18\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Aby przeliczyć otrzymaną prędkość na metry na sekundę, zauważamy, że

1 km = 1000 m, a 1 h = 60 · 60 s = 3600 s, zatem:

$$v_{śr} = 18\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{18\,000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Prędkość średnia rowerzysty wynosiła 18 $\frac{km}{h}$, czyli 5 $\frac{m}{s}$.

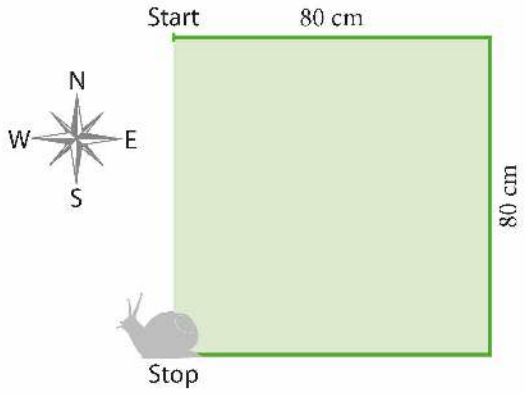
To najważniejsze

- Ruch jest **względny**. To znaczy, że jego opis zależy od wyboru **układu odniesienia**.
- **Tor** ruchu to linia, po której porusza się ciało. Gdy tor jest linią prostą, ruch nazywamy **prostoliniowym**. Długość przebytego odcinka toru to **droga**.
- **Wektor przemieszczenia** prowadzi od początkowego do końcowego położenia ciała.
- **Prędkość średnią** obliczamy ze wzoru: $v_{śr} = \frac{s_c}{t_c}$, gdzie: s_c – całkowita droga, t_c – całkowity czas.
- **Prędkość chwilową** obliczamy tak samo jak średnią, ale dla bardzo krótkiego czasu.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Ślimak szedł wokół kwadratowego kwietnika o boku 80 cm (patrz rys.).



Na podstawie rysunku określ:

a) przebytą przez niego drogę,

b) wartość, kierunek i zwrot wektora przemieszczenia.

Uwaga. Skorzystaj z kierunków geograficznych.

2. Dwoje pasażerów pociągu opisuje ruch konduktora. Wyjaśnij, dlaczego ich wnioski są różne.

Ania: Korytarz wagonu ma długość 27 m. Konduktor przebył go w czasie 30 s, a więc poruszał się z prędkością:

$$v = \frac{27\ \text{m}}{30\ \text{s}} = 0{,}9\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 3\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Bartek: W ciągu 30 s pociąg przebył 1 km, a konduktor pokonał tę odległość wraz z pociągiem (spacer po korytarzu można pominąć, bo długość korytarza jest bardzo mała w stosunku do 1 km). Wobec tego konduktor poruszał się razem z pociągiem z prędkością:

$$v = \frac{1\ \text{km}}{30\ \text{s}} = 2\ \frac{\text{km}}{\text{min}} = 120\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

3. Oblicz drogę, jaką możemy pokonać w ciągu 20 minut, jeśli będziemy poruszać się z prędkością średnią 63 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

4. Pewien samochód między godziną 11:00 a 12:00 przebył drogę 90 km, przy czym między 11:59 a 12:00 przebył drogę 1200 m, a między 11:59:59 a 12:00:00 przebył drogę 19 m.

a) Oblicz prędkość średnią tego samochodu w każdym z podanych przedziałów czasu. Odpowiedzi podaj w metrach na sekundę.

b) Wskaż, która z wartości obliczonych w punkcie a) jest najbardziej zbliżona do prędkości chwilowej pojazdu o godzinie 12:00:00.



6. Pierwsza zasada dynamiki

Cele lekcji

- Nauczysz się opisywać ruch jednostajny prostoliniowy za pomocą wykresów.
- Zbadasz, jak porusza się ciało, kiedy nie działa na nie żadna siła albo wszystkie siły na nie działające się równoważą.

Ruch jednostajny prostoliniowy

Najprostszym przykładem ruchu jest taki ruch, w którym nie zmieniają się ani wartość, ani kierunek, ani zwrot prędkości. Niezmienny kierunek oznacza, że ciało porusza się po linii prostej, a niezmienny zwrot – że nie zawraca.

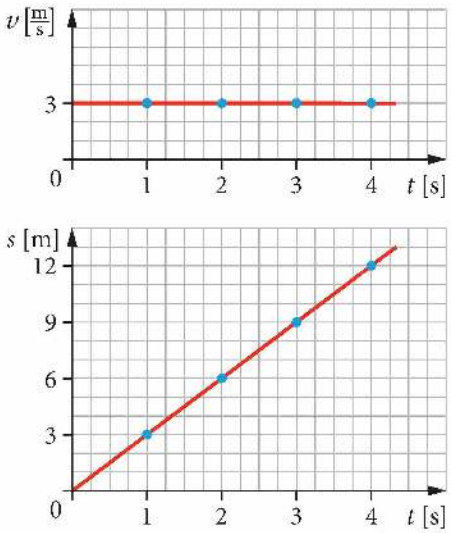
Ruch jednostajny prostoliniowy to taki ruch, w którym wektor prędkości jest stały, czyli ciało porusza się po linii prostej, nie zmieniając prędkości.

Ten ruch znasz już ze szkoły podstawowej.

Wykres zależności drogi od czasu

W szkole podstawowej poznałeś wykres zależności **drogi od czasu**, w skrócie: wykres $s(t)$, opisujący ruch jednostajny prostoliniowy.
Na przykład jeśli ciało porusza się z prędkością $3\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, to po 1 s ma za sobą 3 m przebytej drogi, po 2 s droga wynosi 6 m, po 3 s – droga wynosi już 9 m itd. (patrz rys. obok).

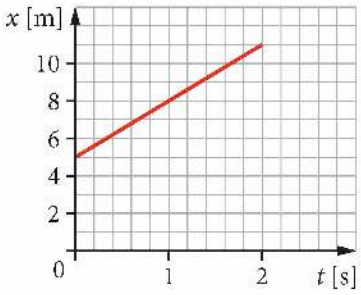
Wykresem zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym jest linia prosta przechodząca przez początek układu współrzędnych.



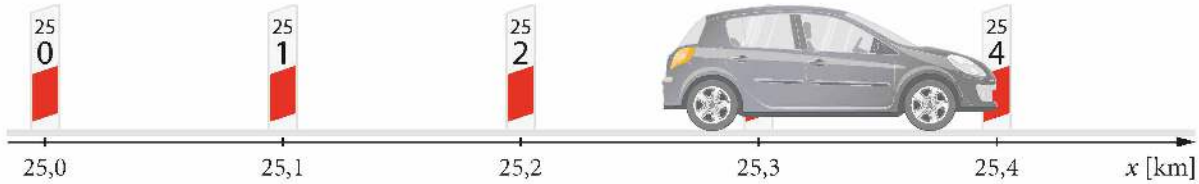
▲ Wykresy zależności: $v(t)$, $s(t)$ dla $v = 3\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Wykres zależności położenia od czasu

Nieco inaczej może wyglądać wykres przedstawiający zależność **położenia** ciała **od czasu**. Kiedy ciało porusza się po linii prostej, możemy tę prostą traktować jako oś liczbową, a każdy z jej punktów opisywać za pomocą liczby zwanej **współrzędną**. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że taka współrzędna to nie sama liczba, ale liczba wraz z jednostką długości, bo mówimy nie o abstrakcyjnych odległościach na matematycznej osi liczbowej, ale o konkretnych odległościach w świecie fizycznym.
Wykres zależności położenia od czasu, czyli wykres $x(t)$, również ma kształt linii prostej, ale niekoniecznie zaczyna się od punktu (0, 0). Jeśli na przykład ciało zaczęło ruch w punkcie o współrzędnej $x_0 = 5$ m, trzeba to zaznaczyć na wykresie (rys. obok).



▲ Wykres zależności $x(t)$ dla $x_0 = 5$ m, $v = 3\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$



▲ Współrzędna położenia przedniego zderzaka samochodu wynosi $x = 25{,}4$ km

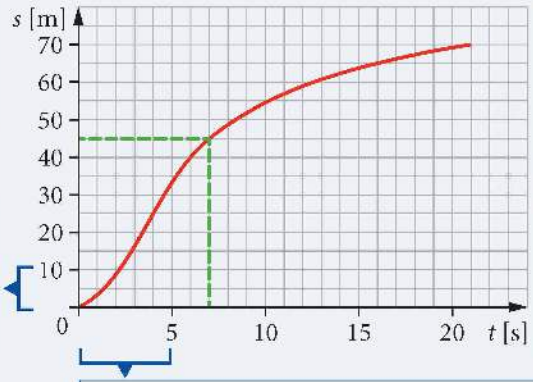
Dodatek matematyczny

Wykresy w układzie współrzędnych

Na rysunku przedstawiono wykres zależnosci drogi od czasu podczas ruchu rowerzysty. Jak poprawnie czytać wykres? Podamy ci kilka wskazówek.
Zanim zaczniesz korzystać z wykresu, najpierw dokładnie zapoznaj się z jego osiami. Dopiero potem odczytaj potrzebne ci dane.

Oznaczenie osi: droga (symbol *s*) mierzona w metrach (m)

Podziałka: dwie kratki to 10 m, więc jedna kratka to 5 m.



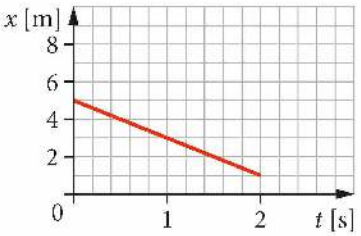
Zielone linie: w chwili $t = 7$ s rowerzysta miał za sobą $s = 45$ m drogi

Oznaczenie osi: czas (symbol *t*) mierzony w sekundach (s)

Podziałka: pięć kratek to 5 s, więc jedna kratka to 1 s

Po odczytaniu danych z wykresu możemy obliczyć, że średnia prędkość rowerzysty w pierwszych siedmiu sekundach jazdy wynosiła ok. $\frac{45\text{ m}}{7\text{ s}} \approx 6{,}4\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 23\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Może się także zdarzyć, że **ciało porusza się w przeciwną stronę** niż wskazuje strzałka osi. Wówczas współrzędna położenia będzie się zmniejszać. Może ona nawet przyjmować wartości ujemne – przecież zero na osi liczbowej wybieramy umownie.



▲ Wykres zależności $x(t)$ dla ciała poruszającego się w przeciwną stronę niż wskazuje strzałka osi

> Wykresem zależności położenia od czasu w ruchu jednostajnym jest linia prosta. Niekoniecznie przechodzi ona przez początek układu współrzędnych.

Zwróćmy uwagę, że linia prosta, będąca wykresem w układzie współrzędnych, nie ma nic wspólnego z linią prostą w rzeczywistym świecie, czyli z prostoliniowym torem ruchu ciała.

Gdy na ciało nie działa siła wypadkowa

Wykonamy teraz proste doświadczenie.

Doświadczenie 3.

Obserwacja ruchu ciała, na które nie działa siła wypadkowa

1. Na gładkim stole, a jeszcze lepiej – na położonej poziomo szybie połóż mocno zamrożoną kostkę lodu.
2. Popchnij ją i obserwuj jej ruch. Zwróć uwagę zarówno na wartość prędkości, jak i na jej kierunek.

Co zauważasz?

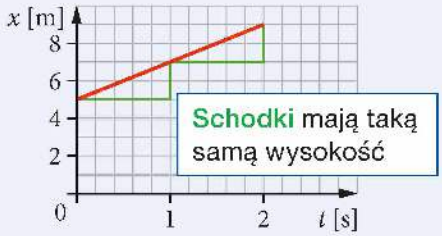


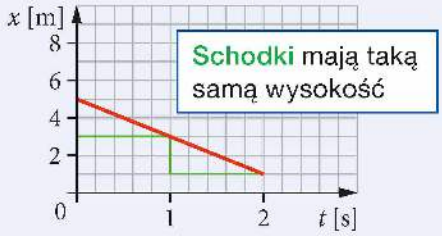
Dodatek matematyczny

Dlaczego wykresem $x(t)$ dla ruchu jednostajnego jest linia prosta

Popatrzmy jeszcze raz na ostatnie dwa wykresy zależności $x(t)$. Dorysowaliśmy na nich schodki, pozwalające łatwiej odczytać, o ile metrów zmieniało się położenie ciała w każdej sekundzie.

W ruchu jednostajnym w każdej sekundzie ciało przebywa taką samą drogę, a zatem również jego położenie zmienia się o tyle samo. Dlatego schodki są równej wysokości, a punkty wykresu układają się na jednej prostej. Wysokość schodka to zmiana położenia ciała w ciągu jednej sekundy. Zatem **im większa prędkość**, tym wyższe schodki, a więc – **tym bardziej stromy wykres**.





Pierwsza zasada dynamiki

Pojęcie ruchu jednostajnego nie pojawiło się tylko po to, aby móc w określonej sytuacji powiedzieć: „O, ten ruch jest jednostajny!". Jak wszystkie pojęcia w fizyce służy ono do zadawania pytań dotyczących natury zjawisk i udzielania na nie odpowiedzi. W tym przypadku pytanie brzmi:
Jak zachowuje się ciało, jeśli działająca na nie siła wypadkowa jest równa zeru?
Odpowiedź jest zaś następująca:
Jeśli to ciało spoczywało, nadal będzie spoczywać, a jeśli się poruszało, to nadal będzie się poruszać bez zmiany wartości i kierunku prędkości.

Ta odpowiedź jest treścią **pierwszej zasady dynamiki**, sformułowanej przez Newtona.

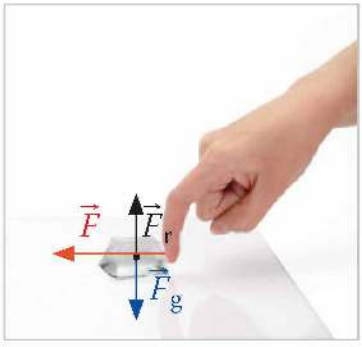
> Jeśli na ciało nie działa siła albo działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w stanie spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym po linii prostej.

Cechę ciała powodującą, że trudno zmienić jego prędkość, nazywamy bezwładnością. Dlatego pierwszą zasadę dynamiki nazywamy także **zasadą bezwładności**.



W doświadczeniu z poprzedniej strony siły działające w kierunku pionowym (siła ciężkości $\vec{F}_g$ i siła reakcji podłoża $\vec{F}_r$) równoważyły się, więc możemy je dalej pominąć. Natomiast jeśli chodzi o siły działające w kierunku poziomym, sytuacja się zmieniała.

- Najpierw nie działała żadna siła i kostka spoczywała.
- Przez chwilę podziałaliśmy siłą $\vec{F}$, co spowodowało wprawienie kostki w ruch.
- Gdy siła $\vec{F}$ przestała działać, kostka nadal się poruszała ruchem jednostajnym prostoliniowym.



Zasada bezwładności

Przez całe wieki ludziom się wydawało, że do utrzymania ciała w ruchu potrzebne jest działanie siły. Tak sądzili starożytni Grecy, a wśród nich wybitny uczony Arystoteles. Podobnie uważają współcześnie dzieci, choć nic nie wiedzą o greckich uczonych.

Arystoteles

Pogląd Arystotelesa wynikał z codziennych obserwacji: przecież gdy przestaniemy pchać skrzynię po podłodze, skrzynia się zatrzyma. Dziś wiemy, że dzieje się tak nie z braku siły, ale na skutek siły tarcia, jednak wówczas tego pojęcia nie znano.



Galileusz

Bliski odkrycia zasady bezwładności był Galileusz. Nie umiał on jednak pogodzić swojego odkrycia z faktem, że Ziemia jest kulista, a na kulistej Ziemi w ogóle nie jest możliwy ruch po linii prostej. Dziś wiemy, że gdy ciało porusza się na tak dużą odległość, że kształt Ziemi ma znaczenie, zakrzywienie jego toru powodowane jest przez siłę ciężkości. Jednak wówczas tego pojęcia nie znano.



Newton

W ten sposób przez setki lat nieznajomość jednych praw i pojęć fizyki uniemożliwiała odkrycie innych. Przełomowy krok uczynił dopiero Newton, gdy w 1687 r. opublikował dzieło *Matematyczne zasady filozofii przyrody*, w którym przedstawił m.in. zasady dynamiki, a także wyjaśnił działanie sił tarcia i siły ciężkości. Jak w układance wszystkie części zaczęły nagle tworzyć jeden obraz.



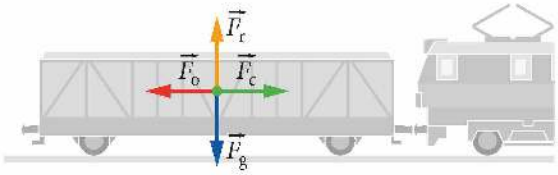
To najważniejsze

- W ruchu **jednostajnym prostoliniowym** nie zmieniają się wartość, kierunek ani zwrot prędkości.
- Wykresy zależności drogi od czasu $s(t)$ i położenia od czasu $x(t)$ dla ruchu jednostajnego mają kształt linii prostej.
- **Pierwsza zasada dynamiki:** Jeśli siła wypadkowa działająca na ciało jest równa zeru, to ciało pozostanie w dotychczasowym stanie: ciało spoczywające nadal będzie spoczywać, ciało poruszające się będzie kontynuować swój ruch bez zmiany wartości, kierunku i zwrotu prędkości.
- Ruch jednostajny prostoliniowy jest ważnym przykładem ruchu dlatego, że zachodzi wtedy, gdy wypadkowa sił działających na ciało jest równa zeru.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Przyjrzyj się rysunkowi i wyjaśnij, jakie siły oznaczono poszczególnymi symbolami. Jaką wartość ma siła wypadkowa działająca na wagon? Jakim ruchem porusza się wagon?

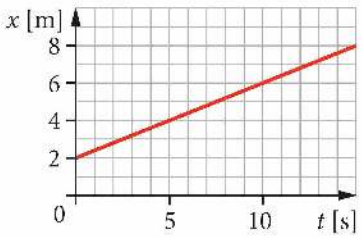


2. Przeanalizuj wykres i wykonaj polecenia.

a) Odczytaj, w jakim punkcie znajdowało się ciało w chwili $t_1 = 5$ s, a w jakim w chwili $t_2 = 10$ s.

b) Odczytaj, jaką drogę przebyło ciało pomiędzy tymi momentami.

c) Oblicz prędkość, z jaką poruszało się ciało.



3. Znajdź w słowniku języka polskiego (np. na stronie https://sjp.pwn.pl) definicje słowa *bezwładność*. Porównaj znaczenia tego słowa w języku ogólnym (nienaukowym) i w fizyce. Napisz, co mają wspólnego, a czym się różnią.

4. Narysuj wykres zależności drogi od czasu $s(t)$ dla ciała poruszającego się z prędkością 20 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

5. Przeczytaj tekst w ramce „Z historii" na s. 44 i dobierz właściwe zakończenia spośród I–V do zdań A–D. Zapisz w zeszycie powstałe zdania (**całe** zdania, nie same liczby i litery).

A. Pogląd Arystotelesa przetrwał...

B. Arystoteles błędnie tłumaczył zjawiska fizyczne, ponieważ...

C. Galileusz miał problemy ze sformułowaniem zasady bezwładności, ponieważ...

D. Zasady dynamiki są znane od...

I. ...ok. 300 lat.

II. ...ok. 2000 lat.

III. ...nie wiedział, że Ziemia jest kulista.

IV. ...nie znał pojęcia sił tarcia.

V. ...nie znał pojęcia siły ciężkości.

Uwaga. Do rozwiązania tego zadania możesz potrzebować innych źródeł informacji, np. encyklopedii.



7. Ruch jednostajnie zmienny

Cele lekcji

- Dowiesz się, jak badać ruch ciała za pomocą programów komputerowych.
- Uporządkujesz wiadomości na temat ruchu jednostajnie zmiennego.
- Nauczysz się opisywać ruch ciała, którego prędkość się zmienia.

Ruch pod wpływem niezrównoważonej siły

Do tej pory omawialiśmy ruch jednostajny, który zachodzi, gdy siła wypadkowa działająca na ciało ma wartość zero. A co się dzieje, gdy siła wypadkowa ma wartość większą od zera? Zbadamy to doświadczalnie. Nadal będziemy zajmować się tylko ruchem prostoliniowym.

Doświadczenie 4.

Badanie ruchu ciała pod wpływem niezrównoważonej siły

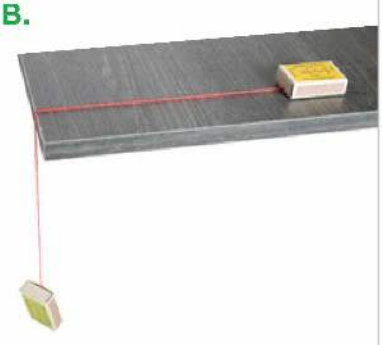
1. Weź ok. 60 cm grubej nitki i dwa pudełka od zapałek. Do wewnętrznej części każdego z nich przyklej taśmą klejącą jeden z końców nitki (zdjęcie A). Nasuń do połowy zewnętrzne części pudełek. Do każdego z nich włóż dwie monety 1 zł, a następnie zamknij pudełka.
2. Jedno pudełko połóż na stole i przytrzymaj, drugie będzie wisieć na zwisającej ze stołu nitce (zdjęcie B). Jeśli się kołysze – zatrzymaj ten ruch.
3. Puść pudełka. Jeśli się nie poruszają, włóż kolejne monety do wiszącego pudełka. Jeśli się poruszają – sfilmuj ruch pudełka na stole za pomocą kamery w telefonie komórkowym.
4. Skopiuj film do komputera. Przeanalizuj za pomocą programu Tracker (opisanego na s. 77), jak się zmienia prędkość pudełka.

   Uwaga. Zachowaj pudełka – przydadzą się do kolejnych doświadczeń.

A.



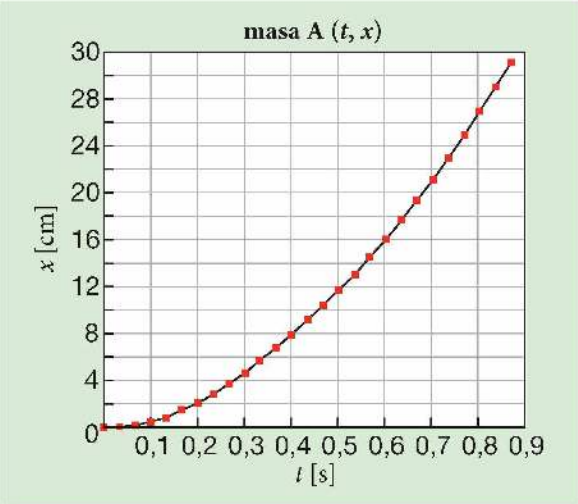
B.



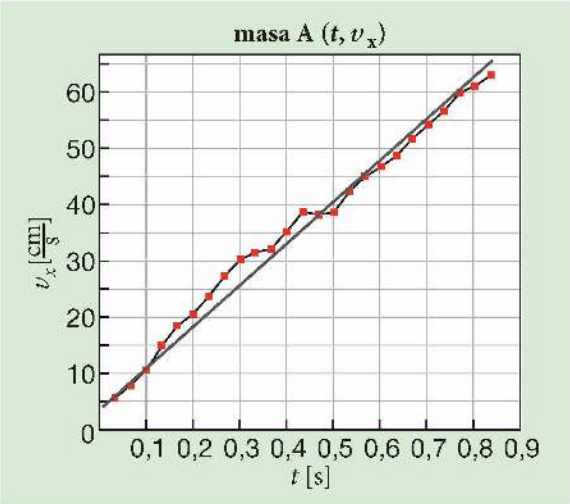
Analiza wyników doświadczenia

Przeanalizujemy wyniki naszego doświadczenia, czyli otrzymane wykresy. Na początek omówimy wykres A zależności położenia od czasu $x(t)$. Zauważmy, że wykres ten nie jest linią prostą. Nic w tym dziwnego – podczas obserwacji doświadczenia można było zauważyć, że prędkość pudełka nie była stała, ale wzrastała w czasie ruchu. Te zmiany prędkości możemy dokładniej poznać dzięki wykresowi B zależności prędkości od czasu $v(t)$. W programie Tracker wybieramy w tym celu $v_x(t)$, gdyż badane ciało poruszało się w kierunku osi x.

A.



B.



▲ Wyniki doświadczenia: A. wykres $x(t)$, B. wykres $v_x(t)$ z dorysowaną (ręcznie) prostą przechodzącą w pobliżu punktów pomiarowych

Na wykresie B widzimy, że punkty odpowiadające wynikom pomiaru prędkości układają się **na linii prostej** (w przybliżeniu, bo jak pamiętasz, każdy pomiar obarczony jest niepewnością). Dorysowaliśmy zatem tę prostą. W tym celu przyłożyliśmy do rysunku B przezroczystą linijkę i ustawiliśmy ją tak, aby jej brzeg leżał jak najbliżej zaznaczonych punktów.



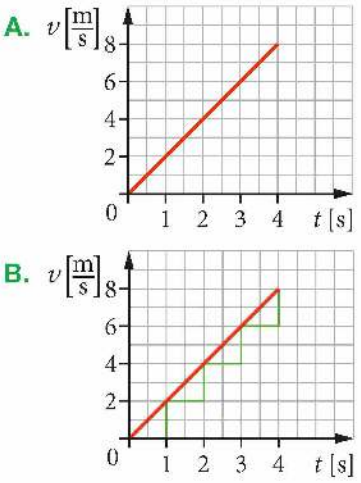
A to ciekawe

Szybki motocykl uzyskuje prędkość nawet 250 $\frac{km}{h}$. To samo można powiedzieć o pociągu Pendolino. Jednak motocykl porusza się z o wiele większym przyspieszeniem, może więc osiągnąć dużą prędkość w znacznie krótszym czasie.

Przyspieszenie i ruch jednostajnie zmienny

Co oznacza fakt, że wykresem zależności prędkości od czasu jest linia prosta? Dla ułatwienia weźmiemy pod uwagę wykres A zamieszczony obok, gdyż dane liczbowe są w tym przypadku niewielkimi liczbami naturalnymi i łatwiej dostrzec między nimi zależności.

Na rysunku B do wykresu dorysowano schodki, które pozwalają zauważyć, że w ciągu 1 s prędkość zwiększała się zawsze o tyle samo, a mianowicie o 2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wysokość schodka odpowiada więc przyrostowi prędkości w czasie 1 s. Tę wielkość fizyczną, jak być może pamiętasz ze szkoły podstawowej, nazywamy **przyspieszeniem.**



▲ Wykres zależności prędkości od czasu $v(t)$

> Przyspieszenie to wielkość określająca, o ile zmienia się prędkość ciała w jednostce czasu. Jeśli przyspieszenie jest stałe, ruch nazywamy **jednostajnie zmiennym.**

W rozważanym przykładzie w chwili $t = 0$ s prędkość także wynosiła 0 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, a więc ciało ruszało ze stanu spoczynku. Jednak z ruchem jednostajnie zmiennym mamy do czynienia zawsze, gdy prędkość zmienia się o tyle samo w każdej sekundzie, także jeśli w chwili $t = 0$ s ciało już się porusza.
Ruch jednostajnie zmienny to ogólna nazwa obejmująca zarówno ruch **jednostajnie przyspieszony**, jak i ruch **jednostajnie opóźniony.**

Kiedy zachodzi ruch jednostajnie zmienny

Ruch jednostajnie zmienny to ważny przykład ruchu nie tylko dlatego, że jest stosunkowo łatwy w opisie, lecz także dlatego, że zachodzi zawsze **pod wpływem stałej siły.**

> Gdy siła działająca na ciało jest stała, porusza się ono ze stałym przyspieszeniem.

To stwierdzenie stanowi wstęp do drugiej zasady dynamiki, którą dokładniej omówimy na następnej lekcji.

Porównanie dwóch rodzajów ruchu

Ruch prostoliniowy

jednostajny	jednostajnie zmienny
▸ Siła wypadkowa $F_w = 0$ N	▸ Siła wypadkowa jest stała $F_w = \text{const}$
▸ Prędkość jest stała: $v = \text{const}$	▸ Prędkość zmienia się w każdej sekundzie o tyle samo
▸ Przyspieszenie $a = 0\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	▸ Przyspieszenie jest stałe: $a = \text{const}$

Przykład 1

Obliczanie przyspieszenia



Pociąg poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym. W ciągu 20 s rozpędził się od 10 $\frac{m}{s}$ do 40 $\frac{m}{s}$.

a) Oblicz przyspieszenie, z jakim poruszał się pociąg.

b) Narysuj wykres zależności prędkości od czasu i wykres zależności przyspieszenia od czasu.

Dane:

$v_1 = 10\ \frac{m}{s}$

$v_2 = 40\ \frac{m}{s}$

$t = 20\ s$

Szukane:

$a = ?$

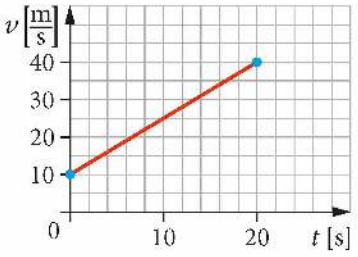
wykres $v(t)$

wykres $a(t)$

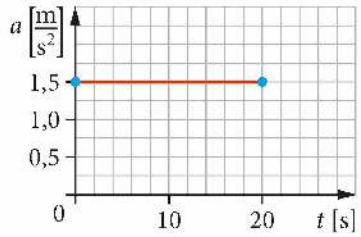
Rozwiązanie: Prędkość pociągu wzrosła od $v_1 = 10\ \frac{m}{s}$ do $v_2 = 40\ \frac{m}{s}$, czyli o $\Delta v = 30\ \frac{m}{s}$. Ten przyrost prędkości nastąpił w ciągu $t = 20$ s, czyli na każdą sekundę przypadał przyrost prędkości o $1{,}5\ \frac{m}{s}$, bo $30 : 20 = 1{,}5$. Te obliczenia możemy zapisać w postaci:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{30\ \frac{m}{s}}{20\ s} = 1{,}5\ \frac{m}{s^2}$$

Aby narysować wykres $v(t)$, przypominamy sobie, że ma on kształt linii prostej. Aby narysować prostą, wystarczy zaznaczyć dwa leżące na niej punkty. Możemy więc skorzystać bezpośrednio z danych zadania: w chwili $t_1 = 0$ s prędkość wynosiła $v_1 = 10\ \frac{m}{s}$, a w chwili $t_2 = 20$ s prędkość wynosiła $v_2 = 40\ \frac{m}{s}$. Zaznaczamy w układzie współrzędnych punkty odpowiadające tym danym i łączymy je linią prostą.



Zależność przyspieszenia pociągu od czasu nie jest skomplikowana: przyspieszenie się nie zmienia i stale wynosi $1{,}5\ \frac{m}{s^2}$. Wykresem jest więc pozioma linia na wysokości odpowiadającej wartości przyspieszenia $1{,}5\ \frac{m}{s^2}$.



Odpowiedź: Pociąg poruszał się z przyspieszeniem $1{,}5\ \frac{m}{s^2}$. Szukane wykresy przedstawiono obok.

Obliczanie przyspieszenia

Powyższy przykład pokazuje sposób obliczania przyspieszenia ze wzoru:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_k - v_p}{t}$$

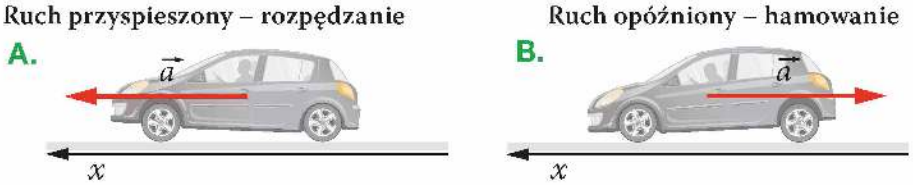
gdzie: Δv – zmiana prędkości, v_k – prędkość końcowa, v_p – prędkość początkowa, t – czas, w którym nastąpiła zmiana prędkości Δv.

Wektor przyspieszenia w ruchu prostoliniowym

Przyspieszenie, podobnie jak prędkość, jest **wielkością wektorową**. W ruchu prostoliniowym jego wektorowy charakter jest łatwy do opisania.

> W ruchu prostoliniowym **kierunek wektora przyspieszenia** zgadza się z kierunkiem prostej, po której porusza się ciało.

Jeśli prędkość się zwiększa, wektor przyspieszenia zwrócony jest w stronę, w którą ciało się porusza (rys. A). Jeśli prędkość się zmniejsza, wektor przyspieszenia zwrócony jest w przeciwną stronę (rys. B).



Ze wzoru z poprzedniej strony wynika, że wartość przyspieszenia może być także ujemna, np. $-5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Wartość bezwzględna tego wyniku, czyli $5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, to wartość wektora przyspieszenia. Znak minus informuje nas, że zwrot wektora przyspieszenia jest przeciwny do zwrotu osi x, czyli do zwrotu osi liczbowej służącej do określenia położenia ciała.

Przykład 2

Wyznaczanie przyspieszenia dla hamującego ciała

Motocyklista zmniejszył prędkość pojazdu z $30\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $20\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ w czasie 40 s. Jego przyspieszenie było stałe. Oblicz wartość przyspieszenia. Sporządź wykres zależności prędkości od czasu.

Dane:
$v_\text{p} = 30\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$v_\text{k} = 20\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$t = 40\ \text{s}$

Szukane:
$a = ?$
wykres $v(t)$

Rozwiązanie: Korzystamy ze wzoru na przyspieszenie:

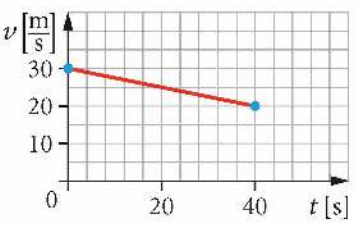
$$a = \frac{v_\text{k} - v_\text{p}}{t}$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

$$a = \frac{20\ \frac{\text{m}}{\text{s}} - 30\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{40\ \text{s}} = \frac{-10\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{40\ \text{s}} = -0{,}25\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Uwaga. Znak minus informuje nas tylko o zwrocie przyspieszenia, natomiast wartość jest równa $0{,}25\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Wykresy $v(t)$ tworzymy jak w przykładzie 1. Zaznaczamy na rysunku dane i prowadzimy linię prostą.



Odpowiedź: Przyspieszenie hamującego motocyklisty ma wartość $0{,}25\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Obliczanie drogi na podstawie wykresu zależności prędkości od czasu

Umiesz już obliczać drogę przebytą przez ciało poruszające się ze stałą prędkością. Co jednak zrobić w przypadku, gdy prędkość się zmienia? Okazuje się, że można wykorzystać do tego wykres zależności **prędkości od czasu**.

> Droga przebyta przez ciało jest równa polu powierzchni figury pod wykresem zależności prędkości od czasu $v(t)$.

Przedstawimy tę metodę na przykładzie wykresu z przykładu 2., opisującego zmiany prędkości hamującego motocyklisty (rys. A obok). Obszar pod wykresem (zacieniowany na rysunku) ma kształt trapezu o dłuższej podstawie 30, krótszej podstawie 20 oraz wysokości 40 (rys. B).
Jego pole jest więc równe:

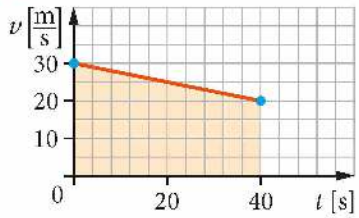
$$P = \frac{1}{2}(30 + 20) \cdot 40 = \frac{1}{2} \cdot 50 \cdot 40 = 1000$$

Zgodnie z zasadą podaną wyżej ta wielkość jest równa drodze przebytej przez motocyklistę.
Ale co z jednostkami? Czy pole figury nie powinno być wyrażone w centymetrach kwadratowych? Otóż nie, bo nie obliczamy pola powierzchni rysunku na kartce, które zmieni się, gdy np. przerysujemy go do zeszytu. Interesuje nas pole w układzie współrzędnych, w którym na jednej osi zaznaczamy czas w sekundach, a na drugiej – prędkość w metrach na sekundę (rys. C).
Gdy uwzględnimy to w obliczeniach, okaże się (na szczęście!), że otrzymaliśmy drogę w metrach:

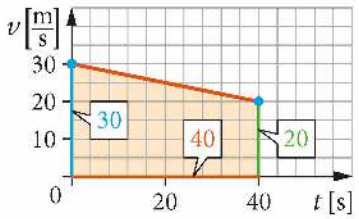
$$s = \frac{1}{2}\left(30\ \frac{\text{m}}{\text{s}} + 20\ \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \cdot 40\ \text{s} = 1000\ \text{m}$$

Podobnie możemy postępować z innymi wykresami $v(t)$.

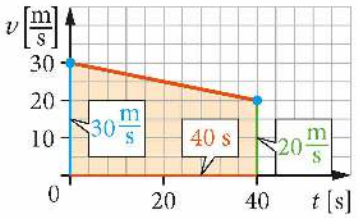
A.



B.



C.



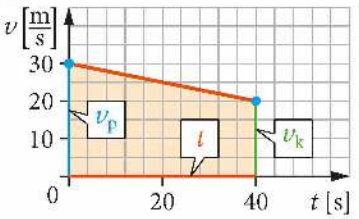
Jak obliczyć drogę, gdy nie ma wykresu

Obliczanie drogi możemy zacząć od narysowania wykresu $v(t)$. Możemy też skorzystać z ogólnego wzoru, który łatwo otrzymamy na podstawie rysunku. Długości podstaw naszego trapezu to prędkość początkowa v_p i prędkość końcowa v_k, natomiast jego wysokość odpowiada czasowi ruchu t (rys. D). Możemy napisać:

$$s = \frac{1}{2}(v_p + v_k)\, t$$

Zauważ, że wyrażenie $\frac{1}{2}(v_p + v_k)$ to po prostu średnia arytmetyczna prędkości na początku i na końcu ruchu. W przypadku gdy ciało zaczyna ruch od zerowej prędkości, nasz wzór przyjmuje prostszą postać $s = \frac{1}{2} v_k\, t$.

D.



▲ A–D. Wykresy zależności prędkości od czasu opisane w tekście

Wzór na pole trapezu o podstawach a, b i wysokości h:

$$P = \frac{1}{2}(a + b) \cdot h$$

Gdy znamy przyspieszenie, prędkość końcową obliczamy jako $v_k = at$, więc nasz wzór przyjmuje postać $s = \frac{1}{2} at \cdot t$, czyli

$$s = \frac{1}{2} at^2$$

Zwróćmy uwagę, że ten ostatni wzór dotyczy **tylko** sytuacji, gdy ciało zaczyna ruch od zerowej prędkości (od stanu spoczynku). Natomiast poprzedni wzór, w którym występują prędkość początkowa i końcowa, dotyczy każdego przypadku ruchu jednostajnie zmiennego.

To najważniejsze

- **Przyspieszenie** to wielkość opisująca, jak szybko zmienia się prędkość ciała.
- Przyspieszenie obliczamy ze wzoru: $a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_k - v_p}{t}$, gdzie: Δv – zmiana prędkości, v_k – prędkość końcowa, v_p – prędkość początkowa, t – czas.
- Przyspieszenie jest **wielkością wektorową**. Gdy ciało przyspiesza, wektor przyspieszenia jest zwrócony w stronę, w którą porusza się ciało. Gdy ciało hamuje, wektor przyspieszenia jest skierowany przeciwnie do wektora prędkości.
- Drogę przebytą przez ciało możemy obliczać jako pole powierzchni figury pod wykresem przedstawiającym zależność prędkości od czasu.

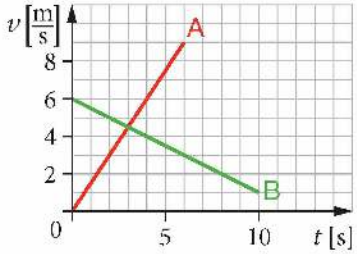
Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Oblicz przyspieszenie, z jakim poruszał się pociąg towarowy, jeśli rozpędzenie się od 10 $\frac{m}{s}$ do 22 $\frac{m}{s}$ zajęło mu pół minuty.

2. Motocykl rozpędza się z przyspieszeniem 4 $\frac{m}{s^2}$. Ile czasu zajmie mu rozpędzenie się od 5 $\frac{m}{s}$ do 25 $\frac{m}{s}$?

3. W układzie współrzędnych przedstawiono wykresy $v(t)$ dla dwóch samochodów oznaczonych A i B.



a) Który z samochodów się rozpędzał, a który hamował?

b) Z jaką prędkością poruszał się samochód A w chwili $t = 2$ s?

c) Odczytaj z wykresu przyspieszenie każdego z pojazdów.

d) Oblicz drogę przebytą przez każdy z pojazdów w czasie przedstawionym na wykresie (od chwili $t = 0$ s do chwili, gdy dany wykres się urywa).

e) Kiedy auta poruszały się z jednakową prędkością? Ile ona wynosiła?

4. Wpisz w wyszukiwarce serwisu youtube.com albo innego podobnego portalu słowo „przyspieszenie" lub „acceleration".

a) Wśród wyszukanych filmów znajdź taki, który przedstawia widok prędkościomierza rozpędzającego się pojazdu.

b) Skorzystaj z licznika czasu filmu i wyznacz przyspieszenie pojazdu (w $\frac{m}{s^2}$) dla kilku przedziałów czasu.

c) Porównaj przyspieszenie w poszczególnych przedziałach czasowych. Czy pojazd poruszał się z większym przyspieszeniem na początku czy dopiero później, gdy jego prędkość była wyższa?



8. Druga zasada dynamiki

Cele lekcji

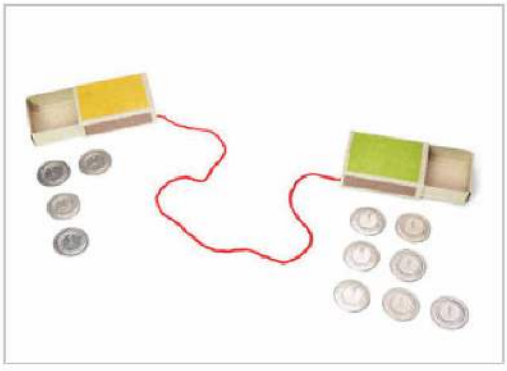
- Zbadasz, od czego zależy przyspieszenie ciała.
- Nauczysz się obliczać, jakie przyspieszenie nadaje ciału określona siła.

Badanie przyspieszenia ciała

Wiemy już, że pod wpływem stałej siły ciało porusza się ze stałym przyspieszeniem. Od czego zależy to przyspieszenie?

Doświadczenie 5.

Badanie zależności przyspieszenia od masy ciała i wartości siły



1. Powtórz doświadczenie ze s. 46, jednak tym razem wykonaj je trzykrotnie:

a) dla 2 monet w pudełku wiszącym i 2 monet w pudełku na stole,

b) dla 2 monet w pudełku wiszącym i 1 monety w pudełku na stole,

c) dla 3 monet w pudełku wiszącym i 1 monety w pudełku na stole.

Uwaga. Wszystkie monety powinny być identyczne, najlepiej wykorzystać monety 1 zł.

2. Porównaj przyspieszenia uzyskiwane przez pudełko na stole w przypadkach a) i b) oraz w przypadkach a) i c). Nie musisz obliczać wartości przyspieszenia. Wyświetl tylko w programie Tracker wykres zależności $v(t)$ i oceń na jego podstawie, w którym przypadku jest ona większa.

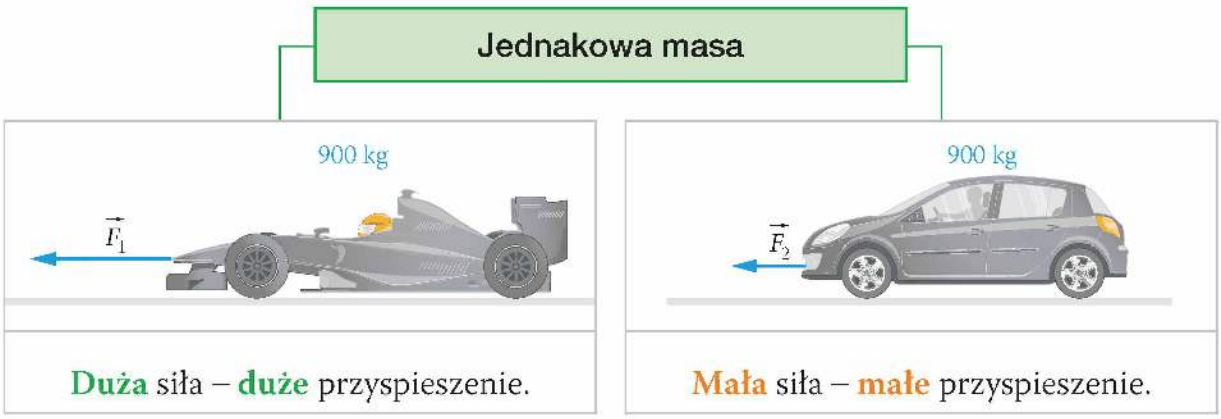
Wskazówki:

- Zwróć uwagę, że w przypadkach a) i b) siła rozpędzająca pudełka jest identyczna – równa sile ciężkości działającej na pudełko z 2 monetami. Jednak masa układu jest inna.
- W przypadkach a) i c) równa jest całkowita masa układu. W ruch przyspieszony wprawione są bowiem oba pudełka i ich zawartość, a monety tylko przekładamy między pudełkami. Inna będzie natomiast siła rozpędzająca układ.

Zależność przyspieszenia od siły i masy

Doświadczenie z poprzedniej strony pozwala zauważyć, że przyspieszenie jest tym większe, im większa jest działająca siła. Dokładniejsze pomiary pozwalają stwierdzić, że jest ono **tyle samo razy** większe co ta siła, np. dwa razy większa siła wywoła dwa razy większe przyspieszenie. Taką zależność nazywamy proporcjonalnością prostą.

> Przyspieszenie ciała, na które działa niezrównoważona siła, jest wprost proporcjonalne do tej siły.



Podobnie zaobserwowaliśmy, że gdy masa jest większa, siła wywołuje mniejsze przyspieszenie. Można stwierdzić, że gdybyśmy **zwiększyli** masę trzy albo cztery razy, to tyle samo razy **mniejsze** byłoby przyspieszenie.

> Przyspieszenie ciała jest odwrotnie proporcjonalne do jego masy.

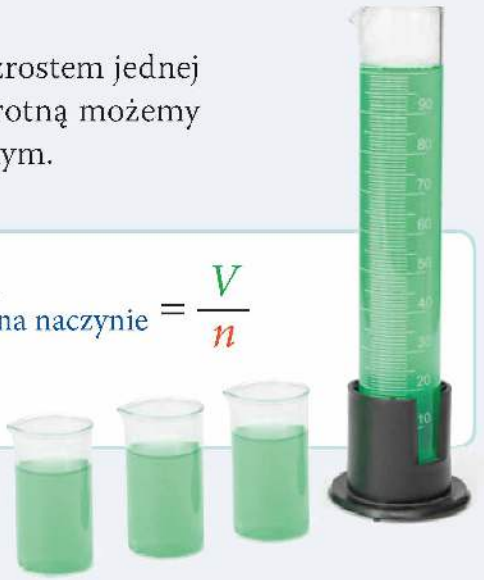
Dodatek matematyczny

Proporcjonalność odwrotna

Dwie wielkości są **odwrotnie proporcjonalne**, gdy ze wzrostem jednej druga maleje **tyle samo razy**. Z proporcjonalnością odwrotną możemy spotkać się nie tylko w fizyce, lecz także w życiu codziennym.

Jeśli rozdzielamy ciecz o **objętości *V*** po równo między kilka naczyń, to **objętość cieczy przypadająca na naczynie $V_{\text{na naczynie}}$** jest odwrotnie proporcjonalna do **liczby naczyń *n***.

$$V_{\text{na naczynie}} = \frac{V}{n}$$



Dla sytuacji pokazanej na zdjęciu $n = 3$. Objętość cieczy w każdym z małych naczyń to $\frac{1}{3}$ objętości cieczy z dużego naczynia. Jeśli naczyń będzie 4, to w każdym z nich będzie $\frac{1}{4}$ objętości cieczy w dużym naczyniu.

Przypomnijmy, że właściwość ciała polegającą na tym, że trudno zmienić jego prędkość, nazywamy **bezwładnością.** Widzimy, że bezwładność ciała jest tym większa, im większa jest jego masa. Innymi słowy: masa jest wielkością pozwalającą opisać bezwładność za pomocą liczb, co umożliwia jej porównywanie dla różnych ciał.

Jednakowa siła



Duża masa – **małe** przyspieszenie.



Mała masa – **duże** przyspieszenie.

Druga zasada dynamiki

Obie opisane wyżej zależności wyraża **druga zasada dynamiki** Newtona.

> Jeśli siła wypadkowa działająca na ciało jest stała, to porusza się ono ruchem jednostajnie zmiennym. Jego przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do siły wypadkowej i odwrotnie proporcjonalne do masy ciała. Kierunek i zwrot wektora przyspieszenia są zgodne z kierunkiem i zwrotem wektora siły.

Przyspieszenie ciała o masie m, na które działa niezrównoważona siła wypadkowa F, obliczamy ze wzoru:

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

Zauważ, że wzór potwierdza nasze wcześniejsze wnioski z doświadczenia z monetami:

- Siła występuje w liczniku ułamka. Im większy licznik, tym większa wartość ułamka, np. $\frac{1}{3} < \frac{2}{3}$, bo $1 < 2$.
- Masa występuje w mianowniku ułamka, a im większy mianownik, tym mniejsza wartość ułamka, np. $\frac{2}{3} > \frac{2}{5}$, bo $3 < 5$.

Spadek swobodny

Przykładem ruchu pod wpływem stałej siły jest spadek swobodny, czyli ruch ciała spadającego pod wpływem siły ciężkości, gdy pominiemy opór powietrza. Ponieważ siła ciężkości ma wartość $F_g = mg$, **przyspieszenie** ciała spadającego bez oporu powietrza wynosi:

$$a = \frac{F_g}{m} = \frac{mg}{m} = g$$

Im większa masa ciała, tym większa jego bezwładność, ale jednocześnie tym większa siła ciężkości. Wpływ tych dwóch czynników na przyspieszenie się niweluje. Dlatego wszystkie ciała spadają z takim samym przyspieszeniem g. Z tego powodu współczynnik g nazywamy **przyspieszeniem ziemskim**.

Przykład

Obliczanie wartości siły



Rowerzysta ma masę 70 kg, a jego rower 10 kg. Oblicz wartość siły wypadkowej, która spowodowała rozpędzenie rowerzysty na rowerze od prędkości 15 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ do prędkości 24 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ w czasie 4 s.

Dane:

$v_1 = 15\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $v_2 = 24\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$

$t = 4\ \text{s}$

$m = 70\ \text{kg} + 10\ \text{kg} = 80\ \text{kg}$

Szukane:

$F_w = ?$

Przyspieszają i rower, i rowerzysta, więc za m podstawiamy ich **łączną** masę.

Rozwiązanie: Interesujące nas wielkości występują we wzorze $a = \frac{F}{m}$. Masę znamy, przyspieszenie umiemy obliczyć, a chcemy obliczyć siłę. Trzeba tylko przekształcić wzór do postaci:

$$F = m \cdot a$$

$a = \frac{F}{m} \mid \cdot m$ zatem

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

$ma = F$

Aby obliczyć przyspieszenie, musimy się najpierw dowiedzieć, o ile zwiększyła się prędkość rowerzysty:

$$\Delta v = 24\ \frac{\text{km}}{\text{h}} - 15\ \frac{\text{km}}{\text{h}} = 9\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Tę wielkość trzeba przeliczyć na jednostki układu SI, czyli metry na sekundę:

$$\Delta v = 9\ \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{9000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = 2{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Obliczamy przyspieszenie:

$$a = \frac{2{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4\ \text{s}} = 0{,}625\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$2{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ na 4 s, czyli 4 razy mniej na 1 s

Możemy już skorzystać z wyprowadzonego wcześniej wzoru $F = ma$ i podstawić dane liczbowe.

$$F = 80\ \text{kg} \cdot 0{,}625\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 50\ \text{N}$$

Odpowiedź: Wartość siły wypadkowej, która spowodowała przyspieszenie rowerzysty, wynosi 50 N.

Uwaga. Siłą rozpędzającą rowerzystę z powyższego przykładu jest siła tarcia. Powiemy o tym więcej w następnej lekcji.

To najważniejsze

- Pod wpływem stałej siły ciało porusza się **ruchem jednostajnie zmiennym**.
- Większa siła powoduje ruch z większym przyspieszeniem.
- Im większa masa ciała, tym mniejsze przyspieszenie nadaje mu określona siła.
- **Druga zasada dynamiki:** Jeśli siła wypadkowa działająca na ciało jest stała, to porusza się ono ruchem jednostajnie zmiennym. Jego przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do siły wypadkowej F i odwrotnie proporcjonalne do masy m ciała: $a = \frac{F}{m}$.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

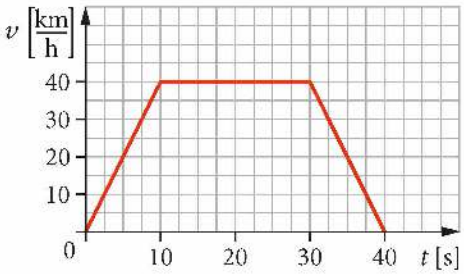


1. Wózek sklepowy z zakupami ma masę 10 kg. Popychamy go siłą 20 N. Oblicz przyspieszenie, jakie uzyska.

2. Piłka do tenisa ziemnego ma masę 57 g. W czasie serwu styka się z rakietą tylko przez 0,005 s, ale może osiągnąć prędkość nawet 75 $\frac{m}{s}$, czyli aż 270 $\frac{km}{h}$. Oblicz średnie przyspieszenie piłki oraz średnią wartość działającej na nią siły. Podaj przykład ciała, którego ciężar jest równy tej sile.

   Uwaga. Ponieważ siła działająca na piłkę zmienia się podczas uderzenia, jej maksymalna wartość jest jeszcze większa niż obliczona przez ciebie wartość średnia.

3. Na wykresie przedstawiono zmiany prędkości tramwaju o masie całkowitej 17 ton.



Określ wartość siły wypadkowej działającej na tramwaj podczas:

a) przyspieszania,

b) jazdy ze stałą prędkością,

c) hamowania.

Uwaga. Pamiętaj o zamianie jednostek prędkości.

4. Wyobraź sobie rakietę kosmiczną, która wzbiła się już ponad atmosferę, więc nie musi pokonywać oporu powietrza. Silniki są jednak nadal włączone i na rakietę działa stała siła ciągu. Spośród zdań w ramce wybierz zdania prawdziwe. Na ich podstawie odpowiedz, czy przyspieszenie rakiety będzie rosło, zmniejszało się, czy też będzie stałe.

I. Siła wypadkowa działająca na rakietę jest stała.

II. Siła wypadkowa działająca na rakietę rośnie.

III. Masa rakiety się nie zmienia.

IV. Masa rakiety maleje, bo paliwo jej się wyczerpuje.

V. Masa rakiety maleje do zera.

Doświadczenie domowe

Obserwacja skutków działania siły

1. W dnie plastikowej butelki wykonaj otwór i przewlecz przez niego od zewnątrz nić przywiązaną do gwoździka lub zapałki.
2. Zatkaj palcem otwór w dnie butelki. Nalej do niej tyle wody, aby ją obciążyć, jednocześnie nie nadwyrężając nici, tzn. tyle, aby nić nie była zbyt mocno naciągnięta i nie urwała się pod ciężarem butelki. Zakręć butelkę.
3. Powieś butelkę na nici. Uważaj, aby poniżej nie było innych przedmiotów, które mogłyby zostać uszkodzone.
4. Do szyjki butelki przy nakrętce przymocuj taką samą nitkę.
5. Ciągnij w dół wolny koniec nitki: za pierwszym razem – stopniowo zwiększając siłę, za drugim – szarpiąc nitkę.
6. Kiedy urywa się dolna, a kiedy górna nitka? Od czego to zależy?





9. Opory ruchu

Cele lekcji

- Dowiesz się, jak siła tarcia i opory ośrodka wpływają na ruch ciał.
- Zbadasz, od czego zależy siła tarcia, i dowiesz się, od czego zależy opór powietrza.

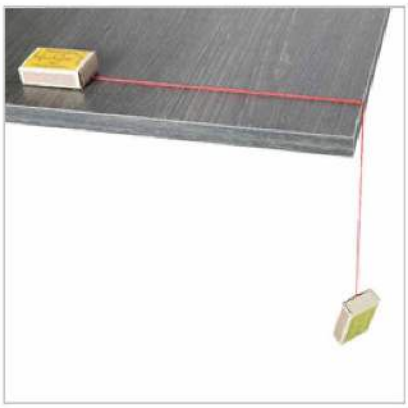
Dlaczego ciała w końcu się zatrzymują

Wyobraź sobie, że jedziesz na rowerze i w pewnej chwili przestajesz pedałować. Wiadomo, że nie zatrzymasz się natychmiast. Jest to zgodne z pierwszą zasadą dynamiki. Ale dlaczego w takim razie po pewnym czasie jednak się zatrzymujesz? Ze szkoły podstawowej wiesz, że odpowiedzialne są za to **siły oporów ruchu.** Te siły możemy podzielić na dwa rodzaje: **tarcie** i **opór ośrodka** (np. opór powietrza lub wody). Badanie siły tarcia zaczniemy od wykonania doświadczenia.

Doświadczenie 6.

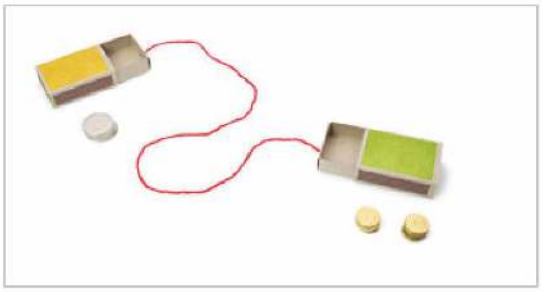
Badanie czynników wpływających na siłę tarcia

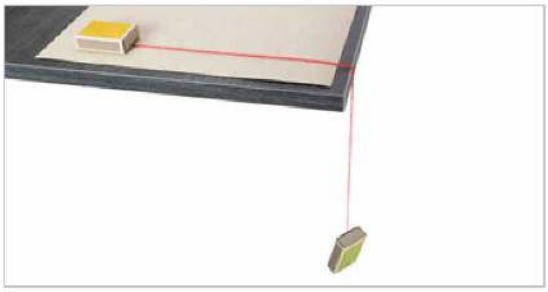
1. Przygotuj ponownie układ doświadczalny znany z poprzednich dwóch lekcji. Tym razem jednak w wiszącym pudełku nie umieszczaj żadnych monet, a w pudełku na stole – dwie monety 1 zł. Jeśli pudełko porusza się po stole, włóż do niego jeszcze więcej takich monet.
2. Do wiszącego pudełka włóż monetę 1 gr. Czy pudełka zaczęły się poruszać? Jeśli nie, dokładaj do wiszącego pudełka kolejne monety, aż pudełko na stole się poruszy. Zanotuj liczbę potrzebnych do tego monet.
3. Wyjmij teraz jedną monetę z wiszącego pudełka. Pudełko na stole nie będzie się poruszać. Popchnij je lekko – czy kontynuuje ruch, czy też się zatrzymuje, gdy przestaniesz je popychać?
4. Wykonaj ponownie czynności opisane w punkcie 2., ale tym razem do leżącego pudełka włóż więcej



monet. Czy teraz do poruszenia pudełka potrzeba więcej czy mniej jednogroszówek niż w punkcie 2.?

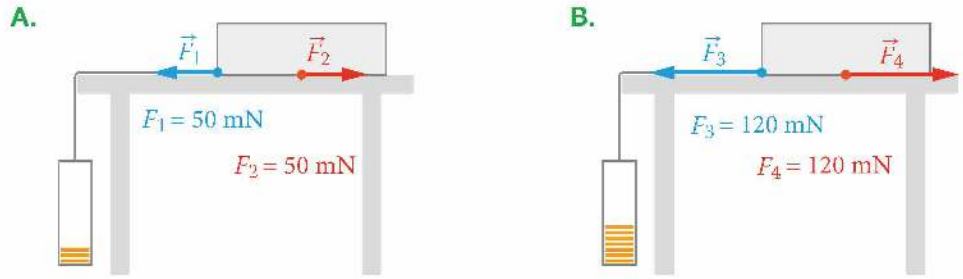
5. Powtórz czynności z punktu 2. Tym razem do pudełka na stole włóż tyle samo monet co w punkcie 2., ale pomiędzy stołem a leżącym pudełkiem umieść szorstki karton. Czy teraz do poruszenia pudełka potrzeba więcej czy mniej jednogroszówek niż w punkcie 2.?





Analiza doświadczenia

Przeanalizujmy przebieg doświadczenia. Rozważmy najpierw sytuację, w której pudełko na stole się nie porusza, mimo że sznurek ciągnie je **pewną siłą**, równą sile ciężkości działającej na wiszące pudełko wraz z jednogroszówkami (rys. A). Dlaczego ta siła nie powoduje ruchu pudełka na stole? Najwyraźniej działa jeszcze inna siła, która ją równoważy. Jest to właśnie **siła tarcia**. Ponieważ ciało się nie porusza, mówimy o **tarciu statycznym**.



▲ Ilustracje do analizy doświadczenia 6

Porównajmy rysunki A i B. Na każdym z nich sznurek działa na pudełko **siłą** o innej wartości. Wobec tego także **siła tarcia** musi mieć inną wartość. Widzimy, że siła tarcia statycznego nie ma jednej określonej wartości, ale dostosowuje się do siły, którą próbujemy poruszyć ciało. Dzieje się tak jednak tylko do pewnej maksymalnej wartości. Gdy siła, jaką działamy na ciało, przekracza tę maksymalną wartość, siła tarcia nie rośnie dalej – przestaje równoważyć siłę zewnętrzną, a ciało zaczyna się poruszać.

Gdy chcemy poruszyć ciało, siła tarcia statycznego, która na nie działa, rośnie wraz z siłą zewnętrzną i ją równoważy. Może ona rosnąć tylko do pewnej granicy. Gdy zewnętrzna siła przekroczy tę granicę, ciało zaczyna się poruszać.

Siła tarcia działa także na poruszające się ciało. Mówimy wówczas o **tarciu kinetycznym**. W punkcie 3. doświadczenia sprawdziliśmy, że siła tarcia kinetycznego jest mniejsza niż maksymalna wartość siły tarcia statycznego. Innymi słowy: aby utrzymać ciało w ruchu, pokonujemy mniejszą siłę tarcia niż wtedy, gdy mamy je poruszyć.

A to ciekawe

Dzięki polerowaniu powierzchni trących możemy zmniejszyć tarcie, jednak tylko do pewnego stopnia. Dalsze wyrównywanie powierzchni nie tylko nie zmniejszy siły tarcia, ale nawet ją zwiększy. Dlaczego? Otóż gdy nierówności staną się bardzo małe, znaczenia nabiorą siły przyciągania między cząsteczkami obu ciał. Właśnie dzięki tym siłom przyciągania gekon może chodzić po ścianach, a nawet po gładkim suficie.



Czynniki wpływające na siłę tarcia

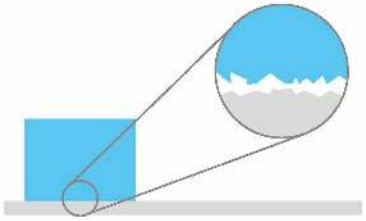
Z doświadczenia z monetami widzimy, że zarówno maksymalna siła tarcia statycznego, jak i siła tarcia kinetycznego zależą od:

- **siły nacisku** działającej między jednym ciałem a drugim – są większe, gdy ta siła jest większa,
- **rodzaju powierzchni** – są mniejsze, gdy przynajmniej jedna z powierzchni jest gładka (w naszym przypadku: są mniejsze między pudełkiem a stołem niż między pudełkiem a kartonem).

Przyczyną występowania tarcia są zaczepiające o siebie nierówności powierzchni stykających się ciał (patrz rys.). Dlatego na ogół im gładsze powierzchnie, tym mniejsze tarcie.

Inne sposoby zmniejszania tarcia to:

- zamiana przesuwania na toczenie, czyli użycie koła albo rolek,
- smarowanie, dzięki któremu powierzchnie ciał i ich nierówności zostają oddzielone warstwą lepkiej cieczy.



▲ W powiększeniu ok. 10 tys. razy widać nierówności stykających się powierzchni

Tarcie statyczne wprawia nas w ruch

Wyobraź sobie człowieka, który stoi w butach na podłodze. Co ma zrobić, aby pójść do przodu? Powinien spróbować odepchnąć podłogę podeszwą buta. Jeśli podłoga nie jest bardzo śliska, podeszwa się nie przesunie względem podłogi z powodu działającej między nimi siły tarcia statycznego. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki występują **dwie siły**: stopa pcha podłogę do tyłu, podłoga zaś pcha stopę do przodu.

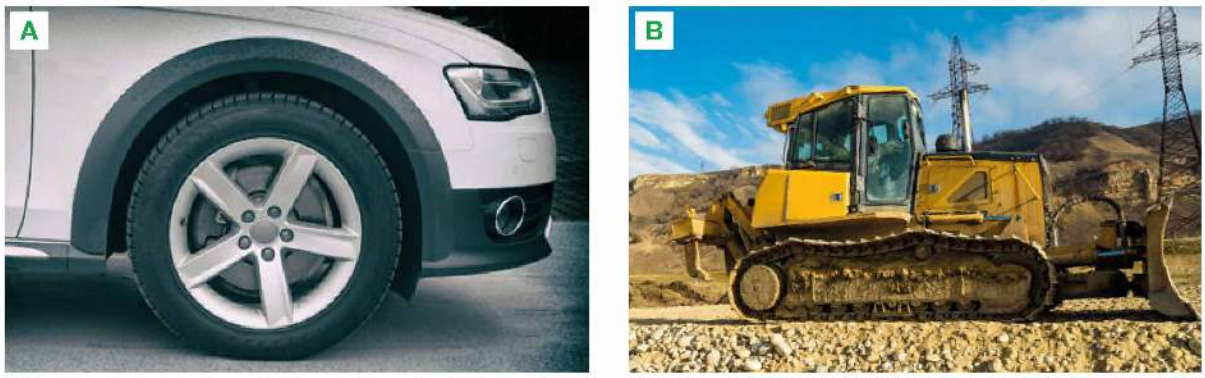
Siła działająca na stopę powoduje ruch człowieka. Zwróćmy uwagę, że tarcie działające między stopą a podłogą jest tarciem statycznym także podczas ruchu człowieka. Liczy się bowiem fakt, że **stopa nie porusza się względem podłogi**, i nie ma znaczenia, że inne części ciała człowieka są w ruchu.



▲ Dzięki sile tarcia $\vec{F}_{TN}$ działającej na nogę możliwy jest ruch człowieka. Działanie siły tarcia $\vec{F}_{TP}$ na podłoże łatwo zaobserwujemy, gdy zamiast na podłodze, postawimy nogę na deskorolce

Tarcie opony – kinetyczne czy statyczne

Analogicznie jest w przypadku toczenia się kół po drodze. Między oponą a szosą działa wówczas tarcie statyczne. Fakt, że najniższy punkt opony nie porusza się względem drogi, najłatwiej zauważyć, gdy porównamy ruch opony (zdjęcie A) z ruchem gąsienicy spychacza (zdjęcie B). Z tarciem kinetycznym pomiędzy oponą i podłożem mamy do czynienia tylko w czasie poślizgu.



▲ Dolne punkty opony (zdjęcie A) i gąsiennicy spychacza (zdjęcie B) nie poruszają się względem podłoża

Od czego zależy siła oporu ośrodka

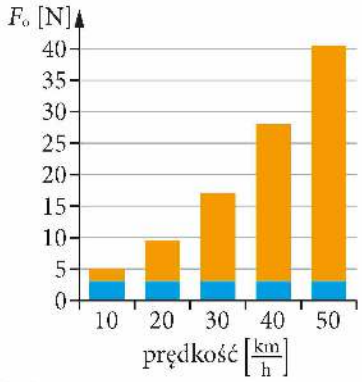
Drugim rodzajem sił oporów ruchu – poza tarciem – jest **opór ośrodka**, np. opór powietrza albo wody.

> W odróżnieniu od tarcia opór ośrodka działa tylko na ciała, które się poruszają.

Siła ta jest znacznie większa w wodzie niż w powietrzu, a jeszcze większa np. w smole. Zatem zależy **od rodzaju ośrodka**.

Opór ośrodka zależy także **od prędkości**, z jaką ciało się porusza: im większa prędkość, tym ten opór jest większy. Dlatego dla piechura opór powietrza nie ma większego znaczenia, dla rowerzysty jest już istotny (patrz wykres obok), a w przypadku szybkiej jazdy samochodem większa część paliwa zużywana jest właśnie na pokonanie oporu powietrza.

Zależność od prędkości to jedna z różnic między oporem ośrodka a tarciem kinetycznym: tarcie nie zależy od prędkości. Dobrze to widać na wykresie przedstawionym obok.

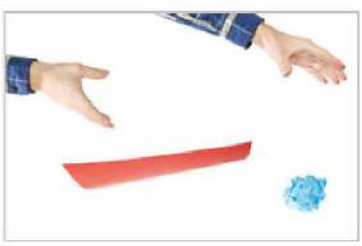


▲ Zależność siły oporu działającej na rower od jego prędkości

Doświadczenie 7.

Badanie, od czego zależy opór powietrza

1. Przygotuj dwie jednakowe kartki. Jedną zgnieć w kulkę.
2. Upuść z tej samej wysokości obie kartki jednocześnie i porównaj ich ruch.
3. Wyciągnij wnioski z obserwacji i zapisz je w zeszycie.



Wreszcie kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na wartość siły oporu ośrodka jest **kształt ciała**. Płaska kartka papieru opada powoli, bo ze swojej drogi musi usuwać dużą liczbę cząsteczek powietrza. Gdy tę samą kartkę zwiniemy w kulkę, spadnie szybciej.
Opór powietrza będzie w tym przypadku mniejszy, bo na drodze kartki znajduje się mniej cząsteczek powietrza, które stawiają jej opór.



▲ Wąski i opływowy kształt kajaka pozwala zmniejszyć opór wody

Przykład

Analiza sił działających na spadające ciało

Justyna i Natalia wyskoczyły ze spadochronami. Justyna długo nie otwierała spadochronu, poruszała się coraz szybciej, aż jej prędkość ustabilizowała się na wartości 200 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Natalia natomiast od razu otworzyła spadochron. Opada teraz z prędkością 20 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Każda z dziewczyn waży tyle samo, jej ciężar wraz ze spadochronem wynosi 700 N. Na którą z nich działa większa siła oporu powietrza?





Rozwiązanie: Prędkość Justyny ustabilizowała się, czyli już nie rośnie. Jest to możliwe tylko wtedy, gdy siła wypadkowa jest równa zeru $F_w = 0$ N. Oznacza to, że opór powietrza równoważy siłę ciężkości, a więc ma taką samą wartość 700 N,

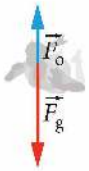
$$F_o = F_g = 700 \text{ N}$$

Tak samo jest w przypadku Natalii, która również porusza się ze stałą prędkością – także w tym wypadku opór powietrza ma wartość 700 N.

Odpowiedź: Na każdą z dziewczyn skaczących ze spadochronem działa taka sama siła oporu powietrza, równa 700 N.

Wiemy, że siła oporu powietrza zależy od prędkości oraz kształtu ciała. Czy w przypadku skoku, kiedy spadochron jest otwarty, opór powietrza nie powinien być większy? Przyjrzyjmy się dokładniej tej sytuacji.

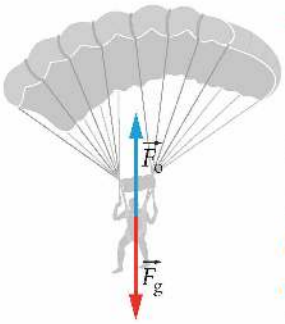
Jednakowe prędkości



$20\ \frac{km}{h}$

$F_o < F_g$

Siła oporu powietrza **nie równoważy siły ciężkości**. Justyna nadal się rozpędza.



$20\ \frac{km}{h}$

$F_o = F_g$

Siła oporu powietrza **równoważy siłę ciężkości**. Natalia już się nie rozpędza.

Jeżeli dwa ciała mają taką samą prędkość, to **ciało o większej powierzchni doznaje większego oporu** (tak jak na powyższej ilustracji). Osoba z otwartym spadochronem zajmuje większą powierzchnię, czyli działa na nią większa siła oporu powietrza.

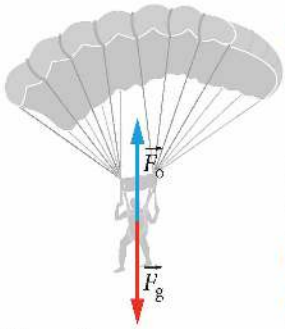
Różne prędkości



$200\ \frac{km}{h}$

$F_o = F_g$

Siła oporu powietrza **równoważy siłę ciężkości**. Justyna już się nie rozpędza.



$20\ \frac{km}{h}$

$F_o = F_g$

Siła oporu powietrza **równoważy siłę ciężkości**. Natalia już się nie rozpędza.

W sytuacji opisanej w przykładzie Justyna porusza się szybciej, za to spadochron Natalii ma większą powierzchnię. Na każdą z nich działa **taka sama siła oporu powietrza**.

To najważniejsze

- Gdy próbujemy poruszyć jedno ciało po powierzchni drugiego, pojawia się **siła tarcia statycznego**, która równoważy przyłożoną siłę.
- Siła tarcia statycznego nie może przekroczyć pewnej maksymalnej wartości. Gdy działamy siłą większą od tej maksymalnej wartości, ciało zaczyna się poruszać.
- Między poruszającymi się ciałami działa siła **tarcia kinetycznego**, ale ma ona wartość mniejszą niż maksymalne tarcie statyczne.
- Siła tarcia jest tym większa, im większa jest **siła nacisku** jednego ciała na drugie i **im bardziej chropowata** jest **powierzchnia** styku.
- Opór ośrodka zależy od **rodzaju ośrodka** oraz **prędkości i kształtu ciała**.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Nietrudno jest stać na lodzie bez ruchu. Jeśli jednak już się poślizgniesz, trudno jest odzyskać równowagę. Dlaczego?

2. Dopasuj ogólne sformułowania A–C do konkretnych przykładów I–III. Przepisz do zeszytu pełne zdania (a nie same ich oznaczenia).

A. Tarcie jest większe, gdy większy jest nacisk jednego z ciał na drugie.

B. Tarcie zależy od rodzaju stykających się powierzchni.

C. Tarcie przy toczeniu jest znacznie mniejsze od tarcia przy przesuwaniu.

I. Sanki posuwają się gładko po śniegu, ale nie po asfalcie.

II. Trudno popchnąć samochód, gdy ma zaciągnięty hamulec ręczny.

III. Żeby przesunąć szafę, najlepiej ją wcześniej opróżnić.

3. Popatrz na zdjęcia A i B. Kolarz biorący udział w wyścigu jest znacznie bardziej pochylony do przodu niż jadąca na rowerze turystka. Dlaczego? Uzasadnij odpowiedź.

A



B



4. Wózek dziecięcy wraz z niemowlęciem ważą razem 15 kg. Ojciec popycha wózek siłą 10 N, a siła tarcia ma wartość 8 N. Oblicz przyspieszenie, z jakim porusza się wózek.

Doświadczenie domowe

Badanie siły oporu powietrza

Uwaga. Do wykonania tego doświadczenia potrzebny jest rower z prędkościomierzem pozwalającym jednocześnie odczytywać wartość prędkości i upływający czas.



1. Wyznacz łączną masę swoją i roweru.

2. Na równej, prostej ścieżce rowerowej rozpędź rower do 35 $\frac{km}{h}$. Przestań pedałować i sprawdź, po jakim czasie prędkość zmniejszy się do 25 $\frac{km}{h}$, po jakim – do 15 $\frac{km}{h}$ i wreszcie po jakim czasie zwolnisz do 5 $\frac{km}{h}$. Powtórz pomiary kilkukrotnie i oblicz średni wynik.

3. Na podstawie wyników swoich pomiarów oblicz średnią siłę oporów ruchu działającą podczas zmiany prędkości od 35 $\frac{km}{h}$ do 25 $\frac{km}{h}$. Przyjmij w przybliżeniu, że taka była siła przy prędkości 30 $\frac{km}{h}$, co stanowi średnią arytmetyczną prędkości początkowej i końcowej.

4. W analogiczny sposób wyznacz siłę oporów ruchu dla prędkości 20 $\frac{km}{h}$ oraz 10 $\frac{km}{h}$.

5. Przedstaw wyniki na wykresie zależności siły oporów ruchu od prędkości.



10. Siły bezwładności

Cele lekcji

- Zrozumiesz, dlaczego na pasażerów w hamujących i przyspieszających pojazdach działają siły, które nie występują w ruchu jednostajnym.
- Nauczysz się wyjaśniać zjawiska obserwowane w pojazdach poruszających się ruchem zmiennym.
- Dowiesz się, co to są inercjalne i nieinercjalne układy odniesienia oraz siły bezwładności.

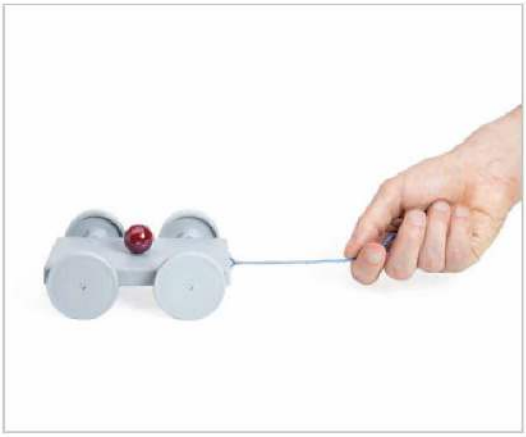
Hamowanie i przyspieszanie pojazdu

Z codziennych obserwacji wiemy, że w ruszających i hamujących pojazdach zachodzą zjawiska, które nie zdarzają się ani w czasie postoju, ani nawet w czasie jazdy ze stałą prędkością. Gdy samochód mocno przyspiesza, czujemy siłę wgniatającą nas w fotele. Z kolei podczas hamowania czujemy, że jakaś siła pcha nas do przodu. Te siły nazywamy **siłami bezwładności**. Zbadajmy je teraz, ale w mniejszej skali.

Doświadczenie obowiązkowe

Badanie sił bezwładności

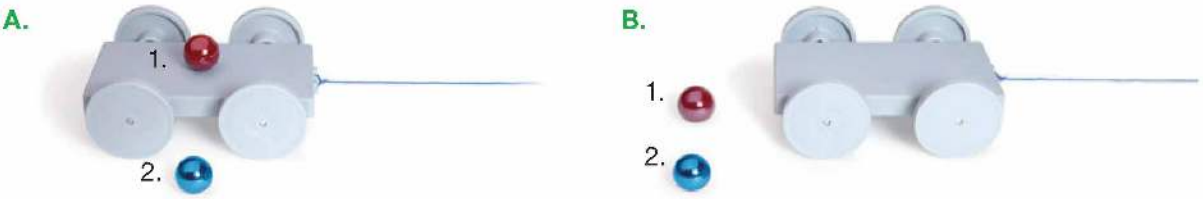
1. Przygotuj mały wózek albo wagonik i umieść na nim szklaną lub metalową kulkę tak, aby mogła się swobodnie toczyć.
2. Wpraw wózek gwałtownie w ruch. Co obserwujesz?
3. Teraz wpraw wózek w ruch, przytrzymując kulkę, aby się względem niego nie poruszała. Następnie gwałtownie zatrzymaj wózek. Co teraz dzieje się z kulką?
4. Sfilmuj te same zjawiska za pomocą kamery w telefonie umocowanym na wózku. Jak wygląda ich przebieg na filmie?



W naszym doświadczeniu mogliśmy poczynić takie same obserwacje, jak w przypadku dużych pojazdów. Gdy wózek przyspiesza, kulka zaczyna się względem niego toczyć do tyłu. Gdy wózek hamuje – zaczyna się względem niego toczyć do przodu. Te zjawiska wyjaśnimy z dwóch punktów widzenia: obserwatora zewnętrznego, znajdującego się poza pojazdem, oraz obserwatora wewnątrz pojazdu.

Pojazd rusza – wyjaśnienie obserwatora zewnętrznego

Jako obserwatorzy zewnętrzni możemy stwierdzić, że gdy wózek ruszał (zdjęcie A), kulka 1. po prostu pozostała na swoim miejscu – obok kulki 2 (zdjęcie B). Poruszała się ona względem wózka, ale nie względem podłoża. Żeby kulka 1. została na swoim miejscu, nie jest potrzebna żadna siła.



▲ Obserwator zewnętrzny stwierdzi, że wózek odjechał, a kulka 1. została na swoim miejscu (obok kulki 2.)

Podobnie jest w przypadku większych pojazdów. Jeśli na podłodze autobusu położymy piłkę, to poruszy się ona tylko względem pojazdu, ale względem obserwatora na przystanku piłka pozostanie na swoim miejscu.
Również ciało pasażera będzie dążyło do tego, aby pozostać na miejscu. Gdyby pasażer stał w autobusie na rolkach, to przesunąłby się względem autobusu, ale nie zmieniłby położenia względem przystanku.



▲ Obserwator zewnętrzny stwierdzi, że autobus odjechał, a piłka i pasażer na rolkach zostali na swoim miejscu (obok słupa przystanku)

Zwykle jednak pasażerowie nie mają rolek, a buty nie mogą się tak łatwo przesuwać po podłodze. Podłoga ciągnie więc stopy w kierunku jazdy autobusu, podczas gdy reszta ciała stara się zostać w miejscu, co może się skończyć utratą równowagi.

Pojazd hamuje – wyjaśnienie obserwatora zewnętrznego

W drugiej części, gdy wózek się zatrzymał, jako zewnętrzni obserwatorzy stwierdzamy, że kulka poruszała się względem podłoża ze stałą prędkością. Również w tym przypadku do wyjaśnienia zjawiska nie musimy rozważać żadnej siły spychającej kulkę z wózka – przeciwnie, skoro kulka poruszała się ruchem jednostajnym, to widocznie żadna siła na nią nie działała.

Podobnie jest w przypadku hamujących pojazdów. Jeśli autobus, który jedzie z prędkością 40 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, gwałtownie zwalnia do 10 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, to umieszczone w nim przedmioty – jeśli nie są przymocowane – dążą do zachowania swojej prędkości, czyli dalej poruszają się z prędkością 40 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ względem jezdni. Tę samą skłonność mają ciała pasażerów.

Wyjaśnienie obserwatora w pojeździe

Film nagrany w doświadczeniu pozwala nam obserwować badane zjawiska z punktu widzenia pasażera pojazdu.

- W pierwszej części widzimy, że po ruszeniu wózka do przodu kulka zaczyna się poruszać do tyłu (względem wózka).
- Druga część filmu pokazuje, że gdy wózek hamuje, kulka zaczyna się poruszać do przodu (względem niego).

Ponieważ do wprawienia ciała w ruch jest potrzebna siła, możemy wyciągnąć wniosek, że w ruszającym pojeździe pojawia się siła skierowana do tyłu, a w hamującym – skierowana do przodu. Dokładnie to samo odczuwamy, gdy sami jesteśmy pasażerami pojazdów.
Ponieważ skłonność ciała do zachowania swojej prędkości nazywamy jego bezwładnością, obserwowane w opisanych pojazdach siły nazywamy **siłami bezwładności**.
Nie możemy jednak odpowiedzieć na narzucające się pytanie, co (jakie ciało) działa na kulkę (albo pasażera) siłą bezwładności. **Te siły wynikają nie z oddziaływania ciał, ale tylko z przyspieszonego ruchu pojazdu**.

Układy inercjalne i nieinercjalne

Powiedzieliśmy niedawno, że opis ruchu ciała zależy od układu odniesienia. Nie oznacza to jednak, że wszystkie układy odniesienia są równie dobre w każdej sytuacji.

> Układ odniesienia, w którym działają tylko siły rzeczywiste, będące skutkiem oddziaływania ciał, nazywamy **układem inercjalnym**. Układ, w którym oprócz nich działają także siły bezwładności, nazywamy **układem nieinercjalnym**.

Uwaga. W układzie nieinercjalnym siły bezwładności działają **oprócz,** a nie zamiast rzeczywistych sił oddziaływania ciał.
Siły bezwładności pozwolą opisać nasze odczucia i obserwacje w układzie nieinercjalnym. Jeśli jednak chcemy wyjaśnić, skąd się biorą, musimy przejść do układu inercjalnego.

> Każde doświadczenie, w którym obserwujemy skutki sił bezwładności, można wyjaśnić z punktu widzenia układu inercjalnego, bez tych sił.

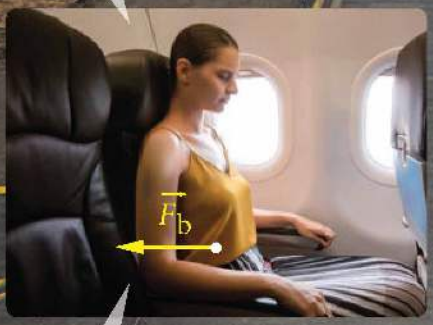
Na koniec zauważmy, że zwrot siły bezwładności **zawsze jest przeciwny** do zwrotu przyspieszenia układu nieinercjalnego.

Układ nieinercjalny i siła bezwładności

Siła bezwładności występuje wtedy, gdy rozpatrujemy zjawisko w układzie odniesienia poruszającym się z przyspieszeniem, czyli w układzie nieinercjalnym. Jej działanie możemy odczuć np. podczas jazdy samochodem lub startu samolotu.

Gdy samolot rusza, czuję, jak jakaś siła wgniata mnie w fotel. Przecież jednak nie działa na mnie żadna siła, tzn. teraz już działa – fotel naciska na moje plecy... Zaraz, zaraz, wyjaśnijmy to po kolei...

Samolot rusza i przyspiesza do przodu, a więc znajduję się w układzie nieinercjalnym.





Gdyby nie fotel, poruszałabym się ruchem przyspieszonym do tyłu względem samolotu, ale byłabym w spoczynku względem pasa startowego.

W takim układzie działa na mnie **siła bezwładności.**

Fotel naciska na moje plecy i równoważy siłę bezwładności – pozostaję nieruchoma względem samolotu.

Układ inercjalny

Z punktu widzenia obserwatora w układzie inercjalnym, np. osoby obserwującej samolot z poczekalni na lotnisku, sprawa jest prostsza: fotel działa siłą na pasażera. Tej siły nic nie równoważy – dlatego nadaje ona pasażerowi przyspieszenie (takie samo, z jakim porusza się samolot).

To najważniejsze

- **Układ nieinercjalny** to układ odniesienia, w którym oprócz sił wynikających z oddziaływania ciał występują także **siły bezwładności**. Przykładem jest przyspieszający lub hamujący pojazd.
- W przyspieszającym pojeździe siła bezwładności działa do tyłu (wgniata nas w fotele), w hamującym – do przodu (wyrywa nas z foteli).
- W **układzie inercjalnym** (związanym z ziemią) te same zjawiska można wyjaśnić bez użycia pojęcia sił bezwładności.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Przyjrzyj się ilustracji. Określ, czy autobus hamuje czy przyspiesza.



2. Poruszanie się po pokładzie samolotu podczas lotu z prędkością 900 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ jest równie proste jak wtedy, kiedy stoi on na lotnisku. Można nawet pić z otwartych naczyń, a napoje się nie wylewają. Jednak w czasie startu i lądowania wszyscy muszą siedzieć i mieć zapięte pasy. Wyjaśnij dlaczego.

3. Przeanalizuj infografikę na poprzedniej stronie. Wyjaśnij, dlaczego w samolocie w czasie hamowania pasażerowi wydaje się, że jakaś siła pcha go do przodu. Załóż, że pasażer ma zapięte pasy bezpieczeństwa. Opisz działające siły najpierw z punktu widzenia układu nieinercjalnego, a następnie – inercjalnego.

Doświadczenie domowe

Raz spada – raz nie



1. Na pustej szklance połóż kartonik, a na nim zakrętkę od napoju (płaską stroną w dół).

2. Szarpnij mocno kartonik. Zakrętka wpadnie do kubka.

3. Połóż kartonik i zakrętkę z powrotem na swoje miejsca. Teraz przesuwaj kartonik powoli. Zakrętka przesunie się poza kubek razem z kartonikiem.

4. Wyjaśnij zjawiska z dwóch punktów widzenia: układu inercjalnego i układu nieinercjalnego. Twoje wyjaśnienie powinno tłumaczyć także **różnicę** między przebiegiem zjawisk.

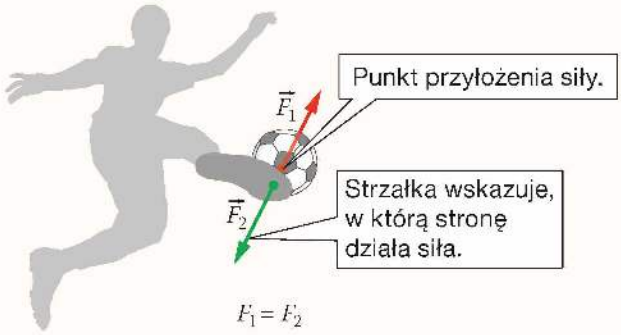
5. Sfilmuj zjawisko zachodzące, gdy szybko szarpiesz kartkę. Następnie przeanalizuj film klatka po klatce. Czy przebieg zjawiska zgadza się z twoim wyjaśnieniem?

Wskazówki:

- Do filmowania możesz użyć kamery w telefonie komórkowym, choć jeszcze lepsza byłaby szybka kamera zapisująca więcej klatek w ciągu sekundy.
- Najlepiej, żeby użyte przedmioty (kubek, nakrętka, kartonik) miały różne kolory, nie były białe i kontrastowały z tłem.
- Film możesz przeglądać klatka po klatce za pomocą darmowego programu QuickTime Player lub KMPlayer (w tym programie klawiszem F odtwarza się kolejne klatki filmu).

Powtórzenie Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

- Siła $\vec{F}$ to **wielkość wektorowa**: ma nie tylko **wartość**, lecz także **kierunek**, **zwrot** i **punkt przyłożenia**.
- Siły zawsze działają parami. Siły wzajemnego oddziaływania ciał mają tę samą wartość, ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia (**trzecia zasada dynamiki** Newtona).
- **Oddziaływania i siły** zilustrowano na poniższej ilustracji.

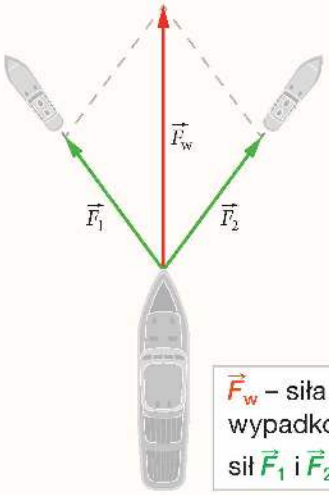


Siła $\vec{F}_1$, którą but działa na piłkę, powoduje ruch piłki.

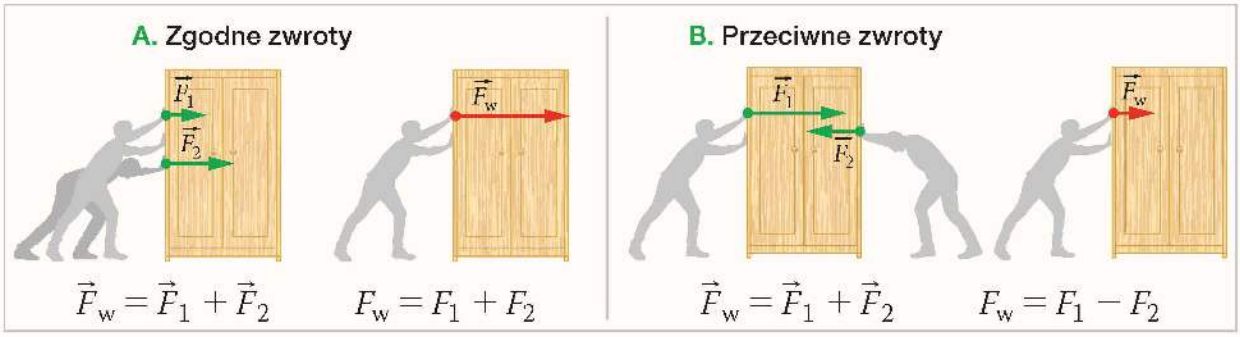
Siła $\vec{F}_2$, którą piłka działa na but, powoduje zatrzymanie buta (i stopy).

Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki te dwie siły są równe co do wartości.

- Ponieważ działając siłą na samego siebie, nie wprawimy się w ruch, aby zacząć się poruszać, należy podziałać siłą na inne ciało.
- Jeśli kilka sił działających na ciało można zastąpić jedną siłą, której skutek działania jest taki sam jak sił składowych, to taką siłę nazywamy **siłą wypadkową**. Na przykład:
  - gdy siły mają ten sam kierunek i ten sam zwrot, po prostu dodajemy ich wartości (rys. A),
  - gdy siły mają ten sam kierunek i przeciwne zwroty, odejmujemy ich wartości (rys. B),
  - gdy kierunki sił są różne, stosujemy **regułę równoległoboku** (rys. obok) lub **metodę trójkąta** (patrz s. 30).

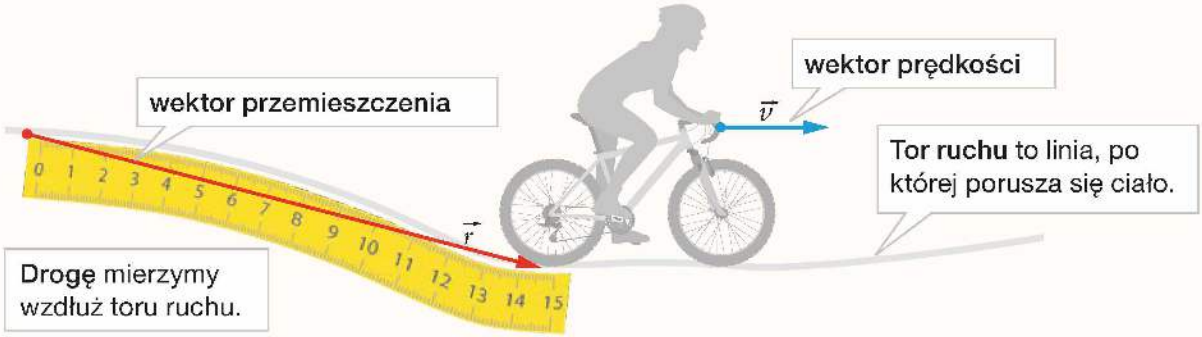


$\vec{F}_w$ – siła wypadkowa sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$



- Jeśli wypadkowa sił jest równa zeru, mówimy, że **siły się równoważą**.

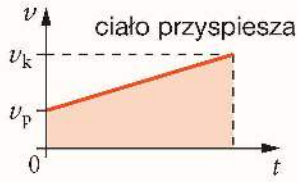
- Ruch jest **względny.** To znaczy, że jego opis zależy od wyboru **układu odniesienia.**
- Pojęcia służące do opisu ruchu zobrazowano na ilustracji poniżej.



- **Prędkość średnią** obliczamy, dzieląc całkowitą drogę s_c przez całkowity czas t_c:

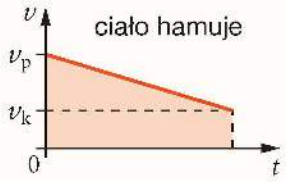
$$v_{śr} = \frac{s_c}{t_c}$$

- **Prędkość chwilową** obliczamy podobnie jak średnią, ale dla bardzo krótkiego czasu.
- **Ruchem jednostajnym prostoliniowym** nazywamy taki ruch, w którym nie zmieniają się wartość, kierunek ani zwrot prędkości.
- Wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnie zmiennego jest linią prostą. **Drogę** przebytą przez ciało obliczamy jako **pole powierzchni figury pod tym wykresem.**



$$s = \frac{1}{2}(v_p + v_k) \cdot t$$

$$v_k = v_p + at$$



Jeśli ciało rozpoczyna ruch od stanu spoczynku ($v_p = 0$), to:

$$s = \frac{1}{2}(0 + v_k) \cdot t = \frac{1}{2}at^2$$

- **Pierwsza zasada dynamiki:** Jeśli siła wypadkowa działająca na ciało jest równa zeru, to ciało pozostanie w dotychczasowym stanie – ciało spoczywające nadal będzie spoczywać, a ciało poruszające się będzie kontynuować swój ruch bez zmiany wartości, kierunku i zwrotu prędkości.
- **Przyspieszenie** to wielkość określająca, o ile zmienia się prędkość ciała w jednostce czasu. Obliczamy je ze wzoru:

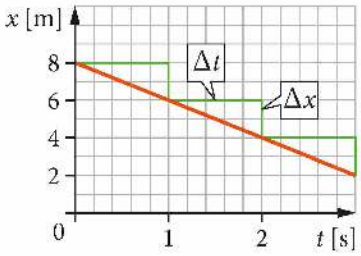
$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_k - v_p}{t}$$

gdzie: Δv – zmiana prędkości, v_k – prędkość końcowa, v_p – prędkość początkowa.

■ Porównanie dwóch rodzajów ruchu prostoliniowego.

Ruch jednostajny

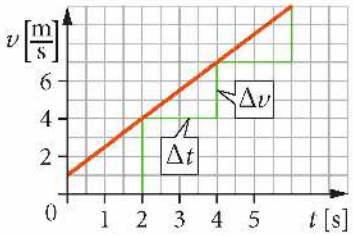
- Zachodzi, gdy siła wypadkowa wynosi zero $F_w = 0$ N
- Prędkość jest stała $v = \text{const}$
- Przyspieszenie $a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- Wartość prędkości można obliczyć z wykresu zależności $x(t)$



$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Ruch jednostajnie zmienny

- Zachodzi, gdy siła wypadkowa jest stała $F_w = \text{const}$
- Prędkość zmienia się w każdej sekundzie
- Przyspieszenie jest stałe $a = \text{const}$
- Przyspieszenie można obliczyć z wykresu zależności $v(t)$



$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

■ Na poniższym diagramie opisano rodzaje sił oporów ruchu.

Opory ruchu

Tarcie	Opór środka
Działa między ciałami, które się stykają.	Działa na ciało w powietrzu, wodzie itd.
Kiedy działa	**Kiedy działa**
Gdy próbujemy poruszyć ciała względem siebie i gdy się one poruszają.	Tylko wtedy, gdy ciało się porusza w ośrodku.
Od czego zależy	**Od czego zależy**



od siły nacisku



od rodzaju powierzchni



od prędkości



od rodzaju ośrodka (woda, powietrze)

- Gdy próbujemy poruszyć jedno ze stykających się ciał względem drugiego, pojawia się **siła tarcia statycznego**, która równoważy przyłożoną siłę.
- Siła tarcia statycznego nie może przekroczyć pewnej maksymalnej wartości. Gdy działamy większą siłą, ciało zaczyna się poruszać. Między poruszającymi się ciałami także działa siła tarcia – **siła tarcia kinetycznego**, ale ma ona mniejszą wartość.
- **Druga zasada dynamiki:** Jeśli siła wypadkowa działająca na ciało jest stała, to ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym. Przyspieszenie ciała w takim ruchu jest wprost proporcjonalne do siły wypadkowej i odwrotnie proporcjonalne do masy ciała.

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

im większa siła, tym większe przyspieszenie

im większa masa, tym mniejsze przyspieszenie

- **Siły bezwładności** występują podczas przyspieszania i hamowania:

Jak to widzi pasażer pojazdu (układ nieinercjalny)	Jak to widzi obserwator zewnętrzny (układ inercjalny)
Pojazd przyspiesza	
▸ Siła bezwładności wciska mnie w fotel. ▸ Równoważy ją nacisk fotela na moje plecy, dlatego się nie poruszam (względem pojazdu).	▸ Fotel popycha pasażera, żeby zwiększyć jego prędkość. Pasażer nie może zostać w tyle, gdy pojazd przyspiesza. ▸ Siły, którą działa fotel, nic nie równoważy, dlatego pasażer przyspiesza (względem ziemi).
Pojazd hamuje	
▸ Siła bezwładności wyrywa mnie z fotela. ▸ Równoważy ją nacisk pasów na moje ciało, dlatego się nie poruszam (względem pojazdu).	▸ Pasy naciskają na ciało pasażera, aby zmniejszyć jego prędkość. Inaczej wyprzedziłby swój pojazd i wypadł przez przednią szybę. ▸ Siły, którą działają pasy, nic nie równoważy, dlatego powoduje ona zmniejszenie prędkości pasażera (względem ziemi).

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To trzeba umieć

1. Iwona ćwiczy na bieżni elektrycznej. Urządzenie pokazuje, że dziewczyna biegnie z prędkością 10 $\frac{km}{h}$, ale przecież Iwona ciągle jest w tym samym miejscu. Wyjaśnij, jaki sens ma więc prędkość na wyświetlaczu.

2. Jeśli popychasz wózek z zakupami siłą 100 N, to wózek:

A. działa na ciebie siłą równą 100 N.

B. działa na ciebie siłą, ale mniejszą niż 100 N.

C. działa na ciebie siłą, ale większą niż 100 N.

D. nie działa na ciebie żadną siłą, ponieważ nie ma własnego napędu.

3. Szybowiec porusza się z prędkością 60 $\frac{km}{h}$. Wszystkie siły działające na szybowiec się równoważą. Z jaką prędkością będzie się on poruszał po upływie 1 s?

A. nieco mniejszą niż 60 $\frac{km}{h}$

B. równą 60 $\frac{km}{h}$

C. nieco większą niż 60 $\frac{km}{h}$

D. równą 61 $\frac{km}{h}$

4. Aby pokonać drogę 150 km ze stałą prędkością 50 $\frac{km}{h}$, trzeba jechać przez:

A. 2 h. **C.** 4 h.

B. 3 h. **D.** 5 h.

5. Rowerzysta przejechał 80 km w czasie 5 h. Średnia wartość jego prędkości to:

A. 16 $\frac{km}{h}$. **C.** 400 $\frac{km}{h}$.

B. 75 $\frac{km}{h}$. **D.** 85 $\frac{km}{h}$.

6. Samochód poruszał się ruchem jednostajnie zmiennym. W pewnej chwili jechał z prędkością 20 $\frac{km}{h}$, a po 1 s z prędkością 25 $\frac{km}{h}$. Z jaką prędkością będzie się poruszał, gdy minie jeszcze jedna sekunda?

7. Dobierz właściwe uzupełnienie zdania.

Gdy na dwa różne ciała działa taka sama siła wypadkowa, to z większym przyspieszeniem porusza się ciało o **A**/ **B** masie.

A. większej **B.** mniejszej

8. W samochodzie kombi kratka oddzielająca bagażnik od foteli chroni pasażerów przed przedmiotami, które mogłyby ich uderzyć. W jakiej sytuacji mogłoby to nastąpić? Jest kilka możliwości, wymień wszystkie spośród podanych niżej.

I. Gwałtowne hamowanie.

II. Gwałtowne przyspieszanie.

III. Uderzenie samochodu w nieruchomą przeszkodę.

IV. Uderzenie w samochód z tyłu przez szybciej jadący samochód.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To powinieneś umieć

1. Która spośród łodzi **nie** jest napędzana dzięki sile reakcji wody?

A. motorówka

B. kajak

C. żaglówka

D. bocznokołowiec (patrz zdjęcie)



2. Samochód o masie 1200 kg jedzie ze stałą prędkością 20 $\frac{km}{h}$. Jaka jest wartość siły **wypadkowej** działającej na ten samochód?

A. 0 N **B.** 60 N **C.** 24 000 N

3. Na ulicy postawiono znak ograniczenia prędkości do 40 $\frac{km}{h}$. Obowiązuje on do najbliższego skrzyżowania, które znajduje się 400 m za znakiem. Ograniczenie dotyczy prędkości:

A. chwilowej w każdej chwili w czasie jazdy aż do końca obowiązywania znaku.

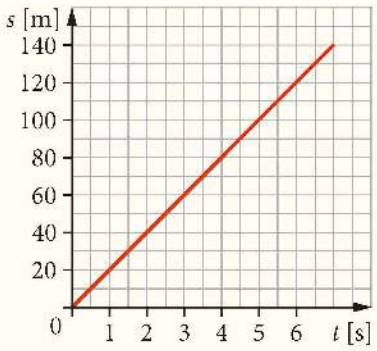
B. średniej na całym odcinku obowiązywania znaku.

4. Prędkość 90 $\frac{km}{h}$ to inaczej:

A. 25 $\frac{m}{s}$. **C.** 90 $\frac{m}{s}$.

B. 324 $\frac{m}{s}$. **D.** 1166,4 $\frac{m}{s}$.

5. Na podstawie wykresu zależności drogi przebytej przez samochód od czasu określ prędkość pojazdu.



6. Samolot początkowo poruszał się z prędkością 200 $\frac{m}{s}$, a następnie rozpędzał się z przyspieszeniem 3 $\frac{m}{s^2}$. Jaką prędkość osiągnął po 6 sekundach rozpędzania?

A. 182 $\frac{m}{s}$ **C.** 202 $\frac{m}{s}$

B. 198 $\frac{m}{s}$ **D.** 218 $\frac{m}{s}$

7. Antek szedł szybkim krokiem, niosąc na tacy szklankę z wodą. Kiedy nagle stanął, szklanka się przewróciła. Wyjaśnij to z punktu widzenia Antka i z punktu widzenia uczonego ślimaka siedzącego na tacy obok szklanki.

8. Wskaż, na którym zdjęciu przedstawiono przykład:

a) zmniejszania siły tarcia,

b) zwiększania siły tarcia,

c) zmniejszania siły oporu powietrza,

d) zwiększania siły oporu powietrza.



ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To warto umieć

1. Na fotelik karuzeli łańcuchowej w wesołym miasteczku działają: siła ciężkości i siła, którą ciągnie go łańcuch. Przedstawiono je na ilustracji. Przenieś ją do zeszytu (zwróć uwagę na kratki!) a następnie narysuj wektor wypadkowej tych dwóch sił.



2. Kierowca samochodu zauważył przeszkodę i zaczął hamować. Zmiany prędkości pojazdu przedstawiono na wykresie. Oblicz na jego podstawie wartość przyspieszenia samochodu i drogę hamowania.



3. Podróżnik wrzucił kamyk do studni i po 3 sekundach usłyszał plusk. Jak głęboka jest studnia? Pomiń opór powietrza i czas rozchodzenia się dźwięku.

4. Wybierz poprawne dokończenie zdania, a następnie uzasadnij swój wybór.

W czasie hamowania pociągu wartość przyspieszenia może być znacznie większa niż przy rozpędzaniu się. Dlatego gdy pijemy kawę w wagonie restauracyjnym, bezpieczniej jest siedzieć:

A. przodem do kierunku jazdy.

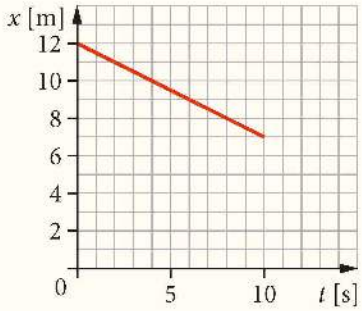
B. tyłem do kierunku jazdy.

5. Wykres przedstawia zależność położenia pewnego ciała od czasu.

a) Kiedy ciało osiągnie położenie $x = 0$ m, jeśli będzie kontynuować ruch z taką samą prędkością?

b) Z jaką prędkością porusza się ciało?

c) Jaką wartość ma siła wypadkowa działająca na to ciało?



6. Pociąg rozpędza się z przyspieszeniem $0{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Ile czasu zajmie mu rozpędzenie się od $10\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $82\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$?

7. Odpowiedz i uzasadnij.

Dwie takie same kartki: jedna zgnieciona w kulkę i druga niezgnieciona, spadają ruchem jednostajnym.

a) Która z nich porusza się z większą prędkością, a która z większym przyspieszeniem?

c) Na którą z nich działa większa siła oporu powietrza?

ZADANIA POWTÓRZENIOWE — Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. Na ciało działają dwie siły o wartości 100 N każda. Kąt między ich kierunkami wynosi 60°. Jaką wartość ma ich wypadkowa? Jak jest skierowana?

2. Miasto Meksyk, stolica państwa o tej samej nazwie, jest położone na wysokości 2250 m n.p.m. Podczas zawodów sportowych w tym mieście na krótkich dystansach biegacze uzyskują lepsze wyniki niż w miejscowościach położonych na nizinach. Odwrotnie jest w biegach długodystansowych. Wyjaśnij przyczynę tej różnicy.



Projekt Sfilmuj i zbadaj

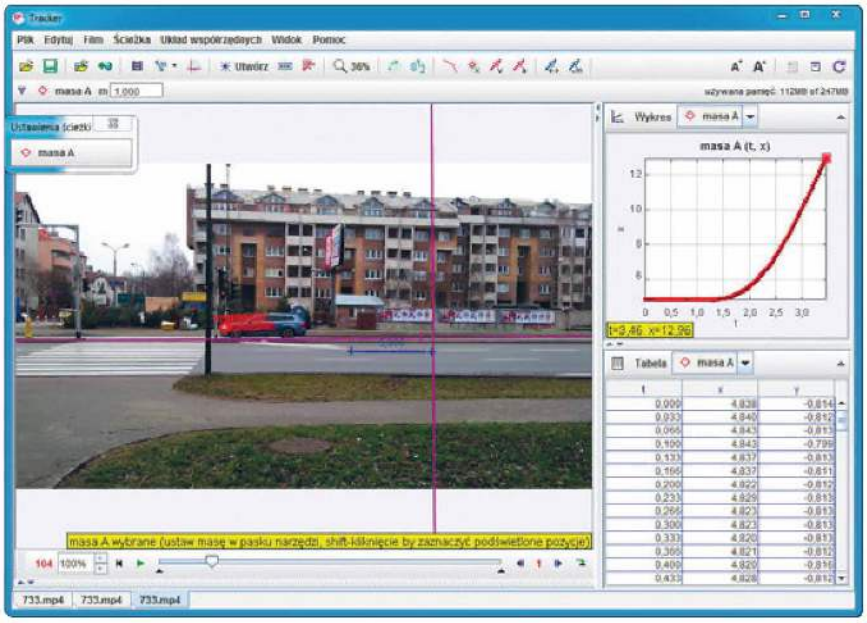
Cel projektu: Nauczysz się wykorzystywać telefon i komputer do badania ruchu ciał. Te umiejętności możesz wykorzystać do badania interesujących cię zjawisk.

Wprowadzenie:

Do badania ruchu ślimaka wystarczą linijka i zegarek, bo drogę przebytą przez zwierzę wystarczy mierzyć co kilka minut. Gdy jednak interesuje nas ruch jadącego szosą samochodu albo spadającego kamienia, nie jesteśmy w stanie wykonać pomiarów ręcznie, ponieważ wszystko odbywa się zbyt szybko. Od czego jest jednak kamera w telefonie? Wykonuje ona 30 zdjęć (klatek filmu) na sekundę. Film można oglądać potem klatka po klatce albo posłużyć się programem Tracker, który na podstawie filmu automatycznie rysuje wykresy zależności położenia od czasu lub prędkości od czasu.

W ten sposób możesz na przykład:

- zbadać, czy kierowcy w twojej okolicy przestrzegają ograniczeń prędkości. Czy zależy to od pory dnia, marki samochodu albo od czegoś innego?
- zbadać, z jakim przyspieszeniem rozpędzają się i hamują pojazdy.



Wskazówki:

- Możecie pracować w grupie i podzielić się nagrywaniem filmów do analizy.
- Program Tracker jest darmowy, dostępny na stronie http://www.physlets.org/tracker/. Przed jego użyciem zapoznajcie się koniecznie z instrukcją.
- Badane ciało powinno przez cały czas znajdować się w podobnej odległości od kamery. Bardziej oddalone ciało wydaje się mniejsze, więc wygląda, jakby poruszało się wolniej.
- Skalę można ustalić na podstawie wymiarów filmowanego ciała. Jeśli jest to zabawka, możemy ją zmierzyć, a jeśli prawdziwy samochód – sprawdzić jego dane techniczne w internecie.
- Tracker pozwala analizować ruch krzywoliniowy, dlatego macie możliwość badania dwóch współrzędnych (x i y), prędkości w poziomie i w pionie (v_x i v_y) oraz analogicznie poziomego i pionowego przyspieszenia (a_x i a_y). Jeśli jednak zamierzacie zajmować się tylko ruchem prostoliniowym, ustawcie układ współrzędnych tak, aby oś pozioma odpowiadała kierunkowi ruchu, a następnie zajmujcie się tylko kierunkiem x. Prędkość v_x i przyspieszenie a_x będą po prostu waszymi v i a.

Analiza tekstu

Przyspieszenie pojazdów

Każdy pojazd najpierw rozpędza się do pewnej prędkości. W końcu musi także wyhamować. Dlatego samochody, motocykle, pociągi czy kolejki górskie zmieniają prędkość, czyli poruszają się ruchem przyspieszonym bądź opóźnionym.



Jakie przyspieszenie osiągają samochody? Typowy samochód uzyskuje przyspieszenie rzędu 2–5 $\frac{m}{s^2}$. Warto podkreślić, że nawet dla pojedynczego egzemplarza nie jest ono stałe i zależy od użytego biegu oraz początkowej prędkości. Okazuje się, że podczas hamowania samochodu rozbieżność ta nie jest już tak duża jak w przypadku jego rozpędzania. Za przyspieszenie odpowiada przede wszystkim moc silnika, natomiast przy hamowaniu kluczową rolę odgrywa tarcie między oponami a podłożem. Ponieważ w nowoczesnych samochodach jakość opon i układów hamulcowych są bardzo podobne, więc również podczas ostrego hamowania przyspieszenia mają zbliżone wartości. Typowy samochód osobowy jest w stanie wyhamować z prędkości 100 $\frac{km}{h}$ do zera na dystansie 35–45 m. Oznacza to, że przyspieszenie (oczywiście o zwrocie przeciwnym do kierunku ruchu) mieści się w przedziale 9–11 $\frac{m}{s^2}$.

Zupełnie inaczej rzecz ma się z motocyklami. Dzięki niewielkiej masie są one w stanie osiągać nieporównywalnie większe przyspieszenia przy takiej samej mocy silnika co samochód. Motocykle z silnikiem o mocy typowego auta osobowego rozpędzają się do 100 $\frac{km}{h}$ w czasie 3–4 s. Maksymalne przyspieszenie i czas rozpędzania motocykli oznaczonych 1 i 2 podano w tabeli 1., a przyspieszenie średnie dla tych motocykli w tabeli 2.

Tabela 1.*

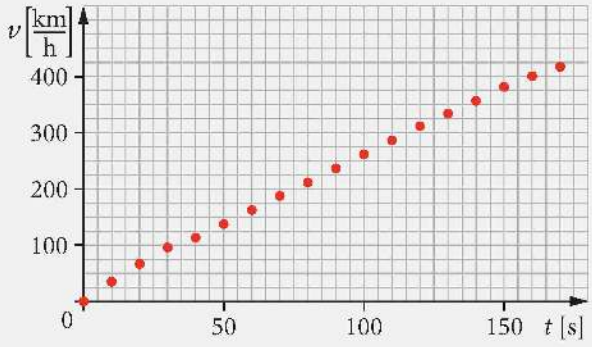
Pozycja skrzyni biegów	Przyspieszenie motocykla a_{max} $\left[\frac{m}{s^2}\right]$		Czas rozpędzania motocykla t_r [s]	
	1	2	1	2
I (20–80 $\frac{km}{h}$)	8,2	8,0	2,2	2,3
II (20–80 $\frac{km}{h}$)	8,0	4,6	2,5	3,9
III (30–90 $\frac{km}{h}$)	6,4	4,5	2,7	3,8

Tabela 2.*

Pozycja skrzyni biegów	Przyspieszenie średnie motocykla $a_{śr}$ $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	
	1	2
I (20–80 $\frac{km}{h}$)	7,6	7,2
II (20–80 $\frac{km}{h}$)	6,7	4,3
III (30–90 $\frac{km}{h}$)	6,2	4,4

Pojazdy szynowe – w przeciwieństwie do motocykli i samochodów – mają ogromną masę, dlatego ich przyspieszenie jest niewielkie mimo silników o dużej mocy. Przyspieszenie np. tramwaju to

* Za: S. Tarkowski, *Przyspieszenie współczesnych motocykli i jego wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego*, „Logistyka" 2015, nr 6.





Zależność prędkości od czasu dla pociągu Trasrapid. Kursujący w Szanghaju magnetyczny Trasrapid rozpędza się od zera do 400 $\frac{km}{h}$ w niecałe 3 minuty.
Wykres sporządzony na podstawie filmu: https://www.youtube.com/watch?v=x-NXyPPaf3Q

około 1 $\frac{m}{s^2}$, a typowego pociągu 0,1–0,3 $\frac{m}{s^2}$. Wyjątkami są ultraszybkie pociągi – zarówno jeżdżące po tradycyjnych szynach, jak i te, które poruszają się na poduszce magnetycznej.

Przyspieszenie takich pociągów jest zbliżone do przyspieszenia samochodu osobowego. Pociągi magnetyczne, które nie dotykają torów, mogą osiągać prędkości powyżej 400 $\frac{km}{h}$, ale żeby się rozpędzić, potrzebują kilku kilometrów. Są przewidziane przede wszystkim do przewozu pasażerów, i to ich komfort i bezpieczeństwo są tu najważniejsze.

Pojazdami lądowymi, które uzyskują niewyobrażalne wartości przyspieszenia, są dragstery. To pojazdy wyścigowe konstruowane jedynie w celu osiągnięcia jak największej prędkości na prostoliniowym odcinku. Najszybsze z kategorii Top Fuel, rozpędzają się do 100 mph (100 mil na godzinę, czyli 160 $\frac{km}{h}$) w 1 s, a na całym krótkim (ze względów bezpieczeństwa) odcinku wyścigu 305 m do prędkości około 500 $\frac{km}{h}$ w czasie poniżej 4 s. Łatwo obliczyć, że w początkowej fazie przyspieszenie takiego bolidu wynosi około 40 $\frac{m}{s^2}$, czyli ponad cztery razy więcej niż przyspieszenie grawitacyjne.
Dragstery są tak ekstremalnymi pojazdami, że często już po jednym wyścigu ich silnik wymaga remontu. Zasilany jest on paliwem z dodatkiem nitrometanu, a moc ma kilkadziesiąt razy większą od mocy silnika przeciętnego samochodu.

Bartłomiej Piotrowski



Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. W podanych zdaniach wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F, jeśli jest fałszywe.

1.	Istnieją na świecie pociągi potrafiące osiągnąć prędkość 300 $\frac{km}{h}$ w czasie poniżej 2 minut.	P	F
2.	Motocykle bez problemu osiągają przyspieszenie w kierunku poziomym porównywalne z wartością przyspieszenia grawitacyjnego.	P	F
3.	Przeciętnie tramwaj na rozpędzenie się do prędkości 36 $\frac{km}{h}$ potrzebuje ok. 10 s.	P	F
4.	Najszybsze pojazdy wyścigowe osiągają maksymalne prędkości ok. 400 $\frac{km}{h}$.	P	F

2. Dopasuj wartości przyspieszeń do danych obiektów.

I. pociąg towarowy podczas ruszania

II. samochód osobowy podczas przyspieszania

III. motocykl podczas przyspieszania

IV. samochód podczas uderzenia w przeszkodę z prędkością 50 $\frac{km}{h}$

V. tramwaj podczas przyspieszania

VI. ekstremalny samochód wyścigowy podczas ruszania

A. 0,1 $\frac{m}{s^2}$

B. 1 $\frac{m}{s^2}$

C. 2 $\frac{m}{s^2}$

D. 8 $\frac{m}{s^2}$

E. 40 $\frac{m}{s^2}$

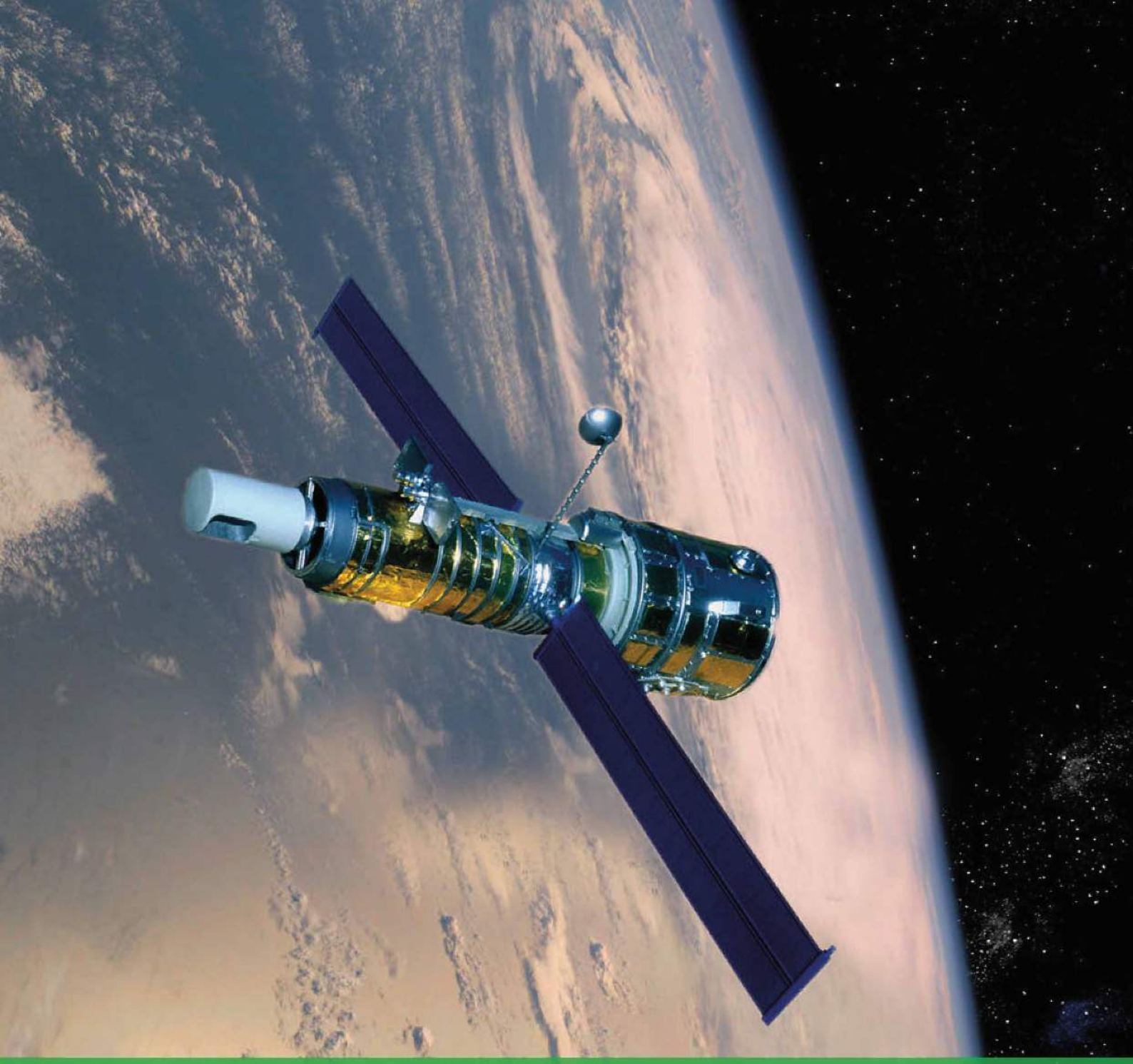
F. 400 $\frac{m}{s^2}$

3. Przeanalizuj wykres zależności prędkości od czasu dla pociągu Transrapid i wykonaj poniższe polecenia.

a) Uzasadnij, że poprawne jest stwierdzenie: W drugiej minucie ruchu pociąg z dobrym przybliżeniem poruszał się ruchem jednostajnie zmiennym.

b) Na postawie wykresu oszacuj drogę, jaką przebył pociąg do momentu osiągnięcia prędkości 400 $\frac{km}{h}$.

c) Porównaj ją z długością linii kolejowej 30,5 km, na której kursuje pociąg.



2 Ruch po okręgu i grawitacja

Dlaczego Księżyc i sztuczne satelity nie uciekają od Ziemi? Dlaczego nie spadają na nią, tak jak inne ciała?



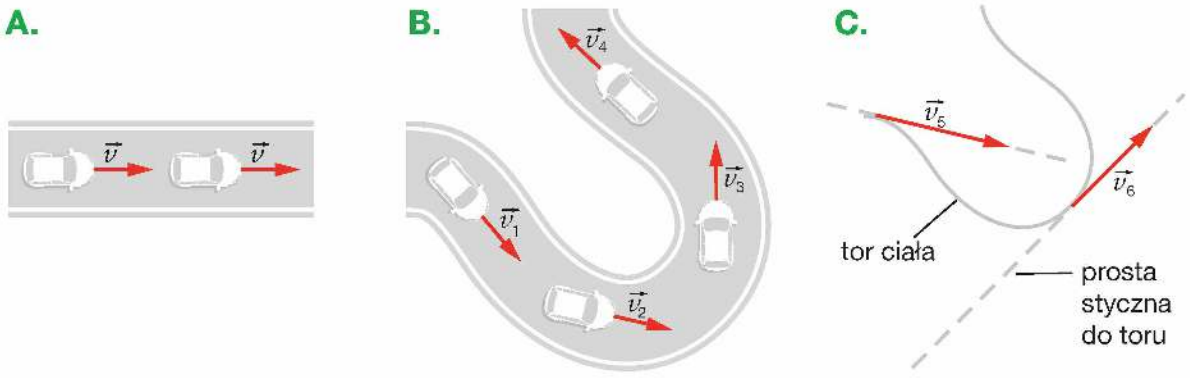
11. Ruch po okręgu

Cele lekcji

- Dowiesz się, jak jest skierowany wektor prędkości w ruchu po okręgu.
- Nauczysz się obliczać okres, częstotliwość i prędkość w ruchu jednostajnym po okręgu.

Nie każdy ruch jest prostoliniowy

Do tej pory omawialiśmy ruch ciał po linii prostej (rys. A). Wektor prędkości w tym ruchu wskazuje, w którą stronę porusza się ciało, a długość wektora symbolizuje wartość prędkości. Jednak w wielu sytuacjach ciała poruszają się po liniach krzywych, np. samochód na zakręcie (rys. B), fotelik karuzeli, Księżyc obiegający Ziemię. Taki ruch nazywamy **krzywoliniowym**.



▲ Wektor prędkości w ruchu prostoliniowym (rys. A) i krzywoliniowym (rys. B i C). W ruchu krzywoliniowym wektor prędkości jest skierowany zawsze wzdłuż stycznej do toru (patrz dodatek matematyczny na następnej stronie)

Prędkość – wzdłuż stycznej

Wektor prędkości wskazuje, w którą stronę porusza się ciało. W ruchu prostoliniowym jest skierowany wzdłuż prostej, po której się ono porusza. A co w przypadku

ruchu krzywoliniowego? Okazuje się, że wektor prędkości jest skierowany wzdłuż prostej stykającej się z torem ciała (rys. C), nazywanej **styczną** do toru (patrz dodatek matematyczny poniżej).

> Gdy ciało porusza się po linii krzywej, wektor jego prędkości jest skierowany wzdłuż stycznej do toru ruchu.

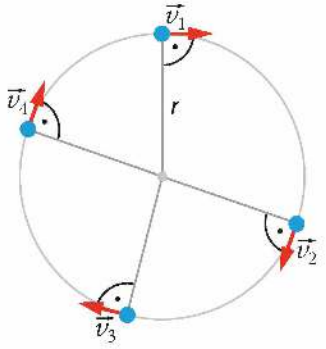
Zauważ, że w ruchu krzywoliniowym wektor prędkości zmienia się również wtedy, gdy jej wartość pozostaje stała, ale zmienia się kierunek prędkości.

Ruch jednostajny po okręgu

Szczególnym przypadkiem ruchu po krzywej jest **ruch po okręgu** (czyli taki, którego torem jest okrąg).

> Jeżeli wartość prędkości ciała w ruchu po okręgu jest stała, to mówimy o **ruchu jednostajnym po okręgu**.

Takim ruchem porusza się np. każdy punkt bębna pralki podczas wirowania. W przybliżeniu można przyjąć, że także Ziemia, obiegająca Słońce, porusza się po okręgu. W ruchu po okręgu wektor prędkości jest w każdym punkcie toru prostopadły do promienia łączącego ten punkt ze środkiem okręgu (patrz rys. obok).

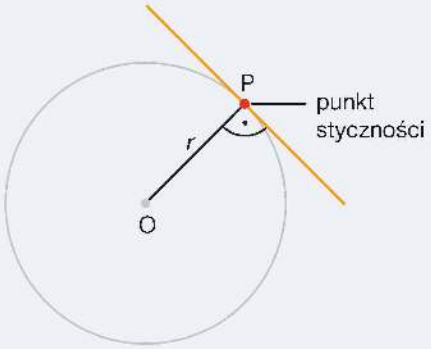


▲ Wektor prędkości w ruchu jednostajnym po okręgu ciągle zmienia kierunek, ale wartość prędkości pozostaje stała $v_1 = v_2 = v_3 = v_4$

Dodatek matematyczny

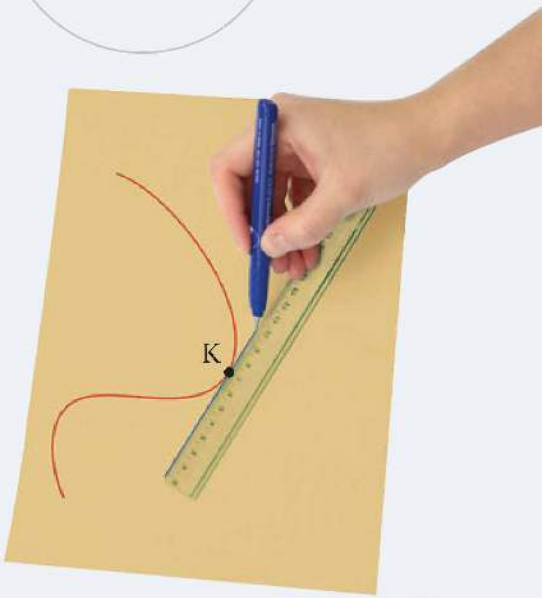
Styczna do okręgu

Prostą, która ma z okręgiem tylko jeden punkt wspólny, nazywamy **styczną**. Styczna do okręgu jest prostopadła do promienia łączącego punkt styczności ze środkiem okręgu (patrz rys. obok).



Styczna do krzywej

Styczne możemy prowadzić także do innych krzywych. Aby wyznaczyć styczną do krzywej w punkcie K, korzystamy z przezroczystej linijki. Przykładamy ją tak, by stykała się z krzywą (patrz zdjęcie obok).



W ruchu jednostajnym po okręgu wartość prędkości ciała jest stała, zmienia się natomiast kierunek wektora prędkości.

Na sąsiedniej stronie widzisz m.in. karuzelę. Jedno okrążenie wokół jej środka trwa 20 s. Z kolei zanim Ziemia okrąży Słońce, musi upłynąć cały rok. Czy można więc powiedzieć, że gondole krążą wokół środka tej karuzeli znacznie szybciej niż Ziemia wokół Słońca? Nie. Poruszają się one z prędkością zaledwie 2,5 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, gdy tymczasem Ziemia obiega Słońce z prędkością ponad 100 000 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. W opisie ruchu po okręgu musimy używać zarówno pojęcia prędkości, jak i pojęć opisujących, jak długo trwa jeden pełny obieg. Wprowadźmy je zatem.

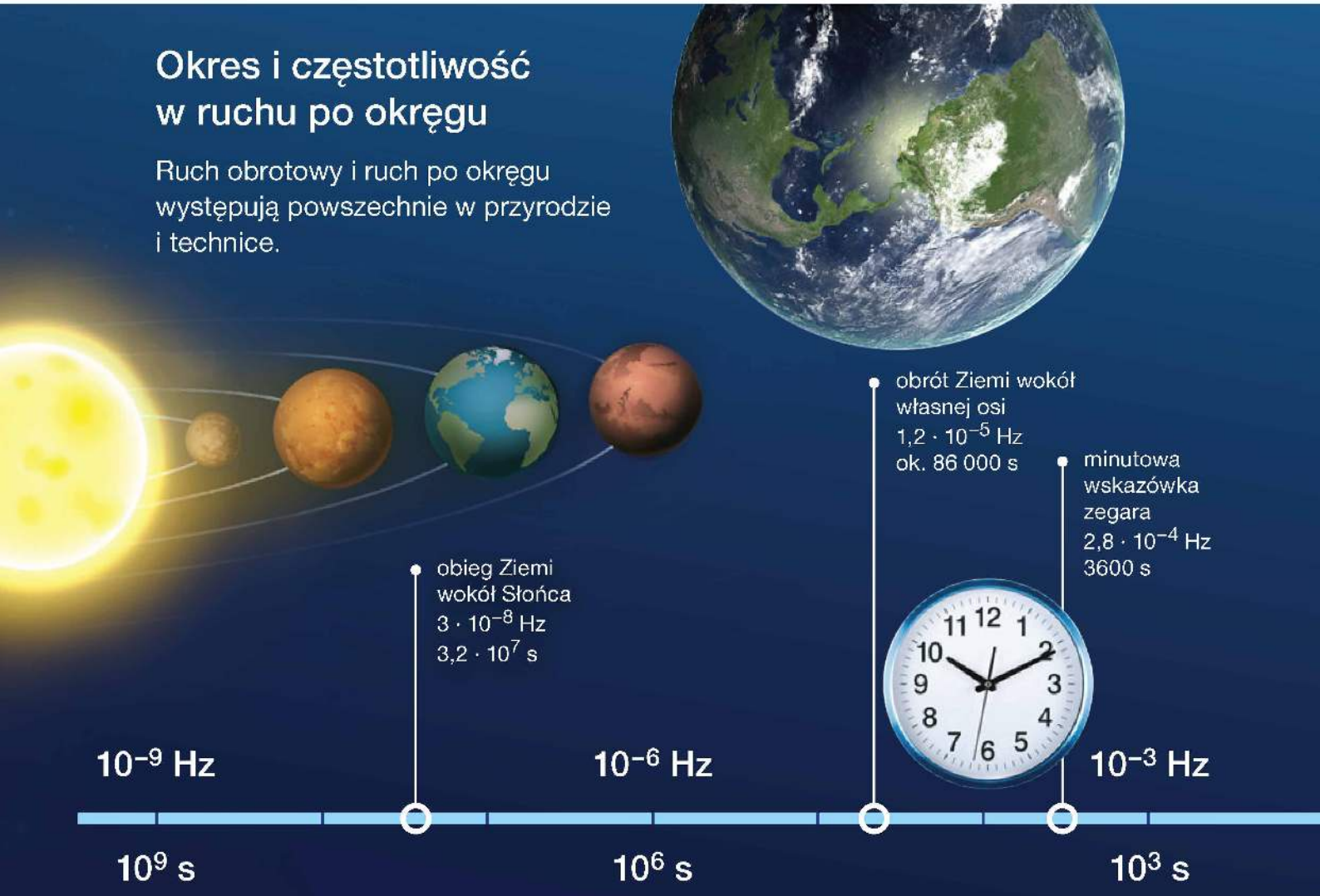


▲ Okres obrotu koła diabelskiego młyna London Eye wynosi 30 minut

Okres i częstotliwość w ruchu po okręgu

Obserwując ciało poruszające się po okręgu, możesz zauważyć, że po określonym czasie wraca ono do położenia początkowego. Czas ten nazywamy **okresem** ruchu.

▼ Jeśli masz problem z notacją wykładniczą, czyli skróconym zapisem dużych i małych liczb – patrz dodatek mat. s. 102



Okres to czas trwania jednego pełnego obiegu ciała wokół środka okręgu.

Okres oznaczamy literą T i wyrażamy w sekundach bądź innych jednostkach czasu. Wyobraźmy sobie karuzelę, która wykonuje jeden obrót w ciągu 10 sekund. Okres ruchu każdego z jej krzesełek wynosi 10 sekund. Z kolei płyta CD w odtwarzaczu muzyki wykonuje co najmniej 4 obroty na sekundę. Jeśli jest to dokładnie 4, to okres obrotu tej płyty wynosi $\frac{1}{4}$ s, czyli 0,25 s.
Pewnie nieraz, gdy patrzysz na ciało poruszające się bardzo szybko po okręgu, jesteś ciekawy, ile razy w ciągu sekundy zdoła ono obiec jego środek. Możemy to wyrazić za pomocą wielkości nazywanej **częstotliwością**. Jeśli np. w ciągu 1 s ciało obiega środek okręgu 10 razy, to częstotliwość wynosi 10 na sekundę, czyli 10 Hz (herców).

Częstotliwość to wielkość określająca, ile razy ciało obiega okrąg w ciągu 1 s.

Częstotliwość oznaczamy literą f (ang. *frequency* – częstotliwość), jej jednostką jest **herc**: $1\,\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$. Częstotliwość jest równa odwrotności okresu.

$$f = \frac{1}{T} \qquad \text{lub} \qquad T = \frac{1}{f}$$

f – częstotliwość,
T – okres

Niektóre przykłady odnoszą się do ciał, które całe się obracają, jak np. koło roweru. Wówczas chodzi nam o ruch punktu na brzegu tego ciała (np. na oponie) wokół jego środka.



karuzela
0,05 Hz
20 s

koło rowerowe
2 Hz
0,5 s



silnik samochodu sportowego
90 Hz
0,011 s



10^0 Hz — 10 Hz — 100 Hz — 10^3 Hz — częstotliwość

1 s — 10^{-3} s — okres

Na przykład częstotliwość 5 Hz oznacza, że ciało obiega okrąg 5 razy w ciągu sekundy, czyli okres jego ruchu wynosi $T = \frac{1}{5}$ s. Pojęcia okres i częstotliwość są ci znane ze szkoły podstawowej z opisu ruchu drgającego. W takim ruchu okres oznacza czas trwania cyklu drgań, a częstotliwość określa liczbę takich cykli w ciągu sekundy. Również zależność $f = \frac{1}{T}$ dotyczy zarówno drgań, jak i ruchu po okręgu.

Okres i częstotliwość a prędkość ciała

Jeśli wartość prędkości ciała się nie zmienia (czyli ruch jest jednostajny), to możemy ją obliczyć, dzieląc drogę przez czas:

$$v = \frac{s}{t}$$

W naszym przypadku w czasie równym jednemu okresowi T ciało przebywa drogę równą długości okręgu (obwodowi koła). Zgodnie ze wzorem, który znasz ze szkoły podstawowej, ta długość wynosi $s = 2\pi r$.

Zatem **prędkość w ruchu jednostajnym po okręgu** można obliczyć z zależności:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

v – prędkość,
r – promień okręgu,
T – okres

Przeanalizuj przykłady, by się dowiedzieć, jak obliczyć prędkość, okres i częstotliwość w ruchu po okręgu.

A to ciekawe

Gramofon (zwany też adapterem) odczytuje muzykę z płyty winylowej dzięki igle wprawianej w drgania przez rowki płyty. Aby zapisany na niej dźwięk został odtworzony poprawnie, musi się ona obracać z określoną częstotliwością, np. $33\frac{1}{3}$ obrotu na minutę.



Przykład 1

Obliczanie częstotliwości i prędkości w ruchu po okręgu

Bęben pralki ma średnicę 40 cm i obraca się 1200 razy w czasie minuty. Oblicz częstotliwość obrotów bębna. Z jaką prędkością porusza się punkt na jego obwodzie?

Dane:
$d = 40$ cm
$n = 1200$
$t = 1$ min $= 60$ s

Szukane:
$f = ?$
$v = ?$

Rozwiązanie: Bęben pralki obraca się 1200 razy w ciągu 60 s, więc w ciągu 1 s obraca się 20 razy, ponieważ 1200 : 60 = 20. Zatem częstotliwość f obrotu bębna wynosi 20 Hz, a okres jest równy:

$$T = \frac{1}{f}, \quad \text{czyli} \quad T = \frac{1}{20}\,\text{s} = 0{,}05\,\text{s}$$

$f = \frac{1}{T}$, więc $T = \frac{1}{f}$

Średnica bębna wynosi 40 cm, więc jego promień jest równy: $r = 20$ cm $= 0{,}2$ m.

Ponieważ znamy promień i okres obiegu, możemy obliczyć prędkość:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$v = \frac{2\pi \cdot 0{,}2\ \text{m}}{0{,}05\ \text{s}} \approx 25\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Prędkość, z jaką porusza się punkt na obwodzie bębna pralki, wynosi ok. 25 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, a częstotliwość jego obrotów to 20 Hz.

Zauważ, że częstotliwość obrotu bębna w przykładzie 1. obliczyliśmy, dzieląc liczbę obrotów (1200) przez czas, w którym te obroty nastąpiły (60 s). Ten sposób obliczania częstotliwości można opisać za pomocą wzoru:

$$f = \frac{n}{t}$$

gdzie: n – liczba obrotów w danym czasie, t – czas trwania tych n obrotów.

Tego wzoru nie musisz uczyć się na pamięć. Jeśli tylko wiesz, że częstotliwość to liczba obrotów na jedną sekundę, łatwo się domyślisz, jak ją obliczyć.

Przykład 2

Obliczanie częstotliwości obrotów koła

Rower turystyczny ma 28-calowe koła, co oznacza, że średnica obręczy wynosi 28″ (cali). Średnica koła jest o 10 cm większa niż średnica obręczy. Oblicz częstotliwość obrotów koła tego roweru, gdy jedzie on z prędkością 20 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Dane:
$d = 28'' + 10\ \text{cm}$
$v = 20\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Szukane:
$f = ?$



Rozwiązanie: Sprawdzamy w tablicach, że 1 cal to 2,54 cm. Średnica koła wynosi więc:

$$d = 28 \cdot 2{,}54\ \text{cm} + 10\ \text{cm} \approx 81\ \text{cm}$$

Obwód koła wynosi:

$$l = 2\pi r = \pi d = \pi \cdot 0{,}81\ \text{m} \approx 2{,}5\ \text{m}$$

Obliczmy, ile razy obróci się ono w ciągu 1 h jazdy. W tym czasie rower przejeżdża drogę 20 km, czyli 20 000 m, która jest dłuższa 20 000 : 2,5 = 8000 razy niż obwód koła. To znaczy, że koło obraca się 8000 razy w ciągu 3600 s.

W czasie 1 s obróci się ono $\frac{8000}{3600} \approx 2{,}2$ razy, a więc częstotliwość wynosi 2,2 Hz. Możemy też skorzystać z podanego wyżej wzoru:

$$f = \frac{n}{t} = \frac{8000}{3600\ \text{s}} = 2{,}2\ \text{Hz}$$

Odpowiedź: Częstotliwość obrotów koła wynosi 2,2 Hz, tzn. obraca się ono 2,2 razy na sekundę.

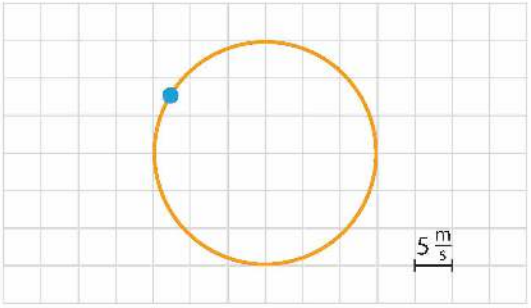
To najważniejsze

- W ruchu po okręgu kierunek wektora prędkości stale się zmienia. Wektor ten jest zawsze skierowany wzdłuż stycznej do okręgu, prostopadle do promienia.
- Czas trwania jednego pełnego obiegu ciała wokół środka okręgu nazywamy **okresem**. Oznaczamy go literą T.
- **Częstotliwość** f to liczba obrotów wykonanych w jednostce czasu. Zatem jeśli ciało wykonało n obrotów w czasie t, to częstotliwość obliczamy ze wzoru: $f = \frac{n}{t}$.
- Częstotliwość jest równa odwrotności okresu: $f = \frac{1}{T}$, czyli: $T = \frac{1}{f}$.
  Jednostką częstotliwości jest **herc**: $1\,\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$.
- **Prędkość** w ruchu jednostajnym po okręgu obliczamy ze wzoru: $v = \frac{2\pi r}{T}$.

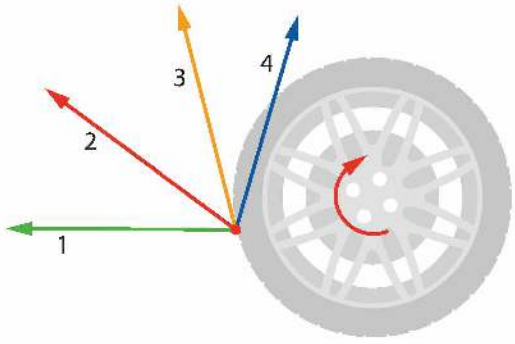
Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Ciało porusza się po okręgu zgodnie z ruchem wskazówek zegara z prędkością $10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ (patrz rys. poniżej). Przerysuj ilustrację do zeszytu. Zaznacz kilka położeń ciała na okręgu i w każdym z nich dorysuj wektor prędkości zgodnie z podaną skalą.



2. Wskaż poprawne dokończenie zdania.



Od opony samochodu oderwała się niewielka grudka błota – miejsce oderwania zaznaczono kropką. Zaraz po oderwaniu grudka będzie się poruszać w kierunku oznaczonym na rysunku numerem **1**/ **2**/ **3**/ **4**.

3. Rozważ ruch punktu na końcu wskazówki minutowej zegarka i ruch punktu na równiku Ziemi (związany z obrotem Ziemi wokół własnej osi). Który punkt porusza się z większą prędkością? W którym przypadku częstotliwość ruchu jest większa?

4. Płyta CD ma średnicę 12 cm, a częstotliwość jej obrotów wynosi 5 Hz.

a) Ile wynosi okres obiegu punktu na brzegu płyty wokół środka okręgu?

b) Z jaką prędkością porusza się ten punkt?

5. Parowóz Pm36-2 zwany Piękną Heleną (patrz zdjęcie) jest jedną z dwóch najszybszych lokomotyw parowych zbudowanych w Polsce. Wyjaśnij, dlaczego parowozy pośpieszne miały duże koła.





12. Siła dośrodkowa

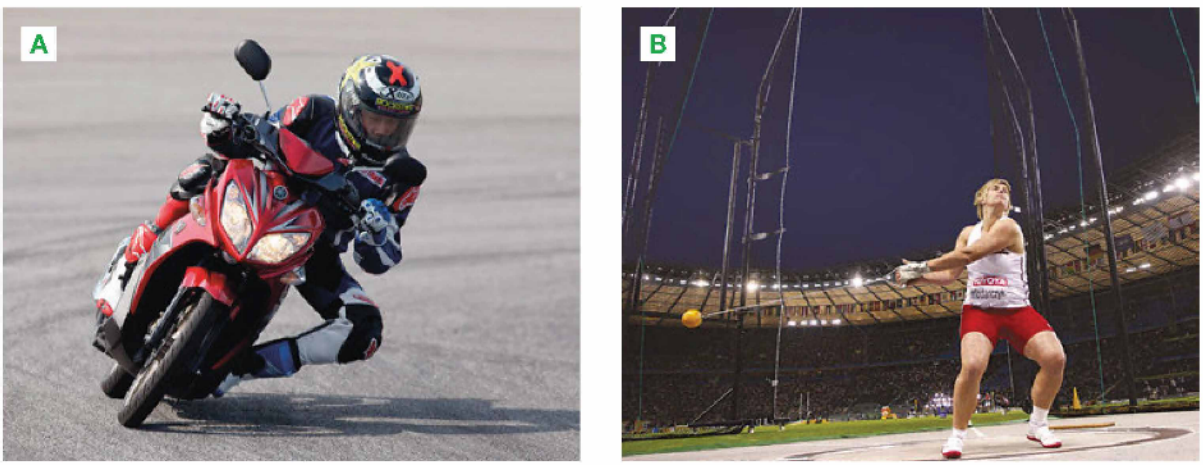
Cele lekcji

- Dowiesz się, jak jest skierowana siła powodująca, że ciało porusza się po okręgu.
- Nauczysz się badać doświadczalnie tę siłę: jej zależność od masy i prędkości ciała oraz promienia okręgu, po którym się ono porusza.

Gdy siła działa prostopadle do kierunku ruchu…

Z lekcji 8. wiemy, że siła działająca zgodnie z kierunkiem ruchu ciała może zwiększyć lub zmniejszyć wartość jego prędkości. A jaki skutek wywołuje siła działająca prostopadle do kierunku ruchu?

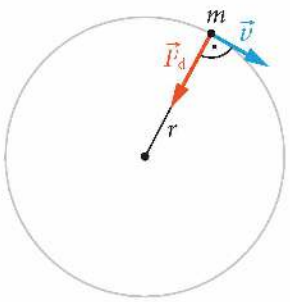
Nie powoduje ona zmiany wartości prędkości, ale **zmianę kierunku ruchu**. Na przykład, aby motocykl skręcił, musi na niego zadziałać siła tarcia prostopadła do kierunku ruchu (zdjęcie A). Jeśli tarcie jest zbyt małe, motocykl wypadnie z zakrętu. Podczas rzutu młotem lekkoatletka obraca się kilka razy, trzymając na linie pędzącą wokół niej kulę. Musi na kulę działać siłą, ciągnąc linę (zdjęcie B).



▲ Siły, które mają wpływ na zmianę kierunku ruchu ciała: A. siła tarcia działająca na motocykl na zakręcie, B. siła naprężenia liny działająca na kulę

Siła, która działa prostopadle do kierunku ruchu, powoduje zmianę tego kierunku. Ciało skręca w tę stronę, w którą działa siła.

Uwaga. Jeśli na ciało działa siła, która nie jest ani prostopadła, ani równoległa do kierunku jego ruchu, spowoduje ona zmianę zarówno kierunku, jak i wartości prędkości ciała.



▲ Siła dośrodkowa działa wzdłuż promienia i jej wektor jest skierowany do środka okręgu

Siła dośrodkowa

Aby ciało poruszało się ruchem jednostajnym po okręgu, musi na nie działać siła skierowana do środka tego okręgu, powodująca ciągłą zmianę kierunku ruchu.

Siła powodująca ruch ciała po okręgu jest skierowana do środka tego okręgu. Nazywamy ją **siłą dośrodkową**.

Wykonaj doświadczenie, aby się przekonać, co dzieje się z ciałem, gdy siła ta przestaje działać.

Doświadczenie 8.

Obserwacja skutków działania siły dośrodkowej

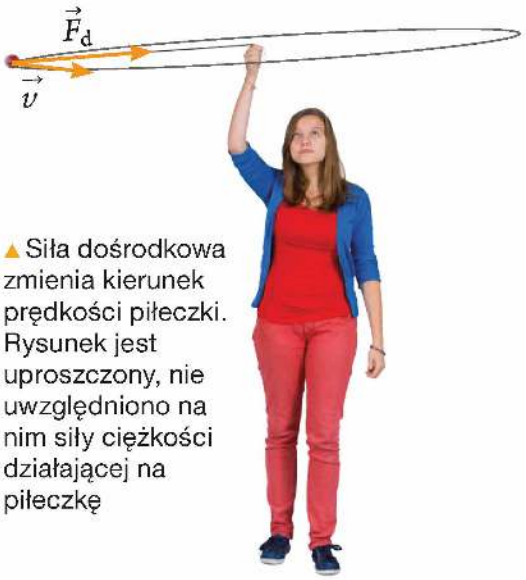
1. Przygotuj: kubeczek po jogurcie lub serku, nożyczki, małą monetę.
2. Odetnij brzeg kubeczka po jogurcie lub serku.
3. Wytnij z otrzymanego w ten sposób pierścienia część stanowiącą $\frac{3}{4}$ okręgu i połóż na gładkiej powierzchni.
4. Wewnątrz ułóż monetę (patrz zdjęcie). Fragment brzegu kubeczka będzie stanowić ogranicznik toru monety.
5. Mocno uderz w monetę (plastik przytrzymaj drugą ręką). Początkowo moneta będzie się poruszać wewnątrz plastikowego ogranicznika, a gdy dotrze do jego końca...
6. Zaobserwuj, po jakiej linii będzie się poruszać dalej. Co zauważasz?



Gdy siła dośrodkowa przestaje działać, ciało przestaje się poruszać po okręgu, tak jak moneta w opisanym wyżej doświadczeniu.

Podobnie jest w sytuacji pokazanej na ilustracji obok. Gdy kręcisz nad głową piłeczką na sznurku, musisz pewną siłą ciągnąć sznurek, a za jego pośrednictwem – piłeczkę. Gdy puścisz sznurek, piłeczka przestanie poruszać się po okręgu.

Siła, którą ciągniesz sznurek (siła naprężenia nici), pełni funkcję siły dośrodkowej, czyli siły powodującej zmianę kierunku prędkości tego ciała.



▲ Siła dośrodkowa zmienia kierunek prędkości piłeczki. Rysunek jest uproszczony, nie uwzględniono na nim siły ciężkości działającej na piłeczkę

Od czego zależy wartość siły dośrodkowej

Jednym z przykładów siły dośrodkowej jest siła tarcia między oponami skręcającego samochodu a szosą. Siła ta powoduje zmianę kierunku ruchu samochodu. Zastanówmy się, od czego zależy siła potrzebna do zmiany kierunku ruchu.



▲ Duży promień okręgu – łagodny zakręt



▲ Mały promień okręgu – ostry zakręt

Na zdjęciach A i B widzisz dwa rodzaje zakrętów. Łagodny łuk pierwszego z nich (zdjęcie A) jest łukiem okręgu o dużym promieniu. Łuk drugiego (zdjęcie B) jest bardziej zakrzywiony, gdyż promień okręgu jest mniejszy. Z codziennego doświadczenia wiemy, że jeśli prędkość samochodu się nie zmienia, to do zmiany kierunku ruchu na łagodniejszym zakręcie potrzebna jest mniejsza siła dośrodkowa.

> Im **większy** jest **promień** okręgu, tym **mniejsza siła** dośrodkowa jest potrzebna do zmiany kierunku ruchu przy określonej prędkości.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na wartość siły dośrodkowej jest prędkość. Przed zakrętem kierowca musi zwolnić. Dzieje się tak dlatego, że przy dużej prędkości do zmiany kierunku ruchu na zakręcie jest potrzebna duża siła dośrodkowa.

> Im **większa** jest **prędkość** ciała, tym **większa siła** dośrodkowa jest potrzebna do zmiany kierunku ruchu na torze o danym promieniu.

Ostatnim czynnikiem jest masa ciała. Na przykład, gdy kręcisz na sznurku piłeczką o dużej masie, musisz ciągnąć sznurek dużą siłą.

> Im **większa** jest **masa** ciała, tym **większa siła** dośrodkowa jest potrzebna do zmiany kierunku ruchu.

Badanie siły dośrodkowej

Zależność siły dośrodkowej od promienia okręgu, prędkości ciała i jego masy wyjaśniliśmy na powyższych przykładach. W dokładniejszym zbadaniu tych zależności pomoże nam doświadczenie.

Doświadczenie obowiązkowe

Badanie zależności siły dośrodkowej od masy, prędkości i promienia okręgu



1. Przygotuj: półlitrową plastikową butelkę z wodą, elektroniczną wagę kuchenną, żyłkę wędkarską lub śliską nitkę o długości 0,5 m, obudowę wypisanego długopisu, kilkucentymetrowy kawałek kolorowej nitki, linijkę, klipsy biurowe lub inne podobne jednakowe przedmioty o masie kilku gramów każdy, dające się łatwo przywiązywać i łączyć, metronom, np. online albo w komórce.
2. Przez obudowę długopisu przeciągnij żyłkę. Na jednym jej końcu zaczep klips biurowy. Drugi przywiąż do szyjki butelki (patrz zdjęcie).
3. Wpraw klips na żyłce w szybki ruch po okręgu (wystarczą nieznaczne ruchy dłoni). Zawiązana kolorowa nitka pomoże utrzymać stały promień okręgu.
4. Na podstawie wskazań wagi wyznacz siłę, jaką klips ciągnie żyłkę (patrz opis s. 26).

   Wskazówka. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki siła ta jest równa sile dośrodkowej, jaką żyłka ciągnie klips.
5. Poruszaj dłonią tak, aby częstotliwość ruchu klipsa na żyłce była równa częstotliwości kliknięć metronomu. Zmierz siłę dośrodkową dla trzech różnych częstotliwości. Zanotuj wyniki pomiarów.
6. Zbadaj także, jak zmienia się siła dośrodkowa przy zmianie masy ciała po dołączeniu kolejnych klipsów oraz przy zmianie promienia okręgu.

Wskazówki:

- Promień okręgu mierzymy między wylotem rurki a środkiem klipsa przy napiętej żyłce.
- Jeśli zwiększasz promień okręgu, a prędkość liniowa ma pozostać bez zmiany, to musisz zmniejszyć częstotliwość tyle samo razy.
- Siła ciężkości powoduje opadanie klipsa. Ruch powinien być na tyle szybki, aby było to niezauważalne.

Co wynika z doświadczenia

Przeanalizujemy wyniki doświadczenia. My skorzystamy z własnych wyników pomiarów, jednak tobie do analizy powinny posłużyć wyniki twojego eksperymentu.

Numer pomiaru	Masa m [g]	Promień r [cm]	Częstotliwość		Prędkość $v\left[\frac{m}{s}\right]$	Siła dośrodkowa F [mN]
			$f\left[\frac{1}{min}\right]$	f [Hz]		
1	4	16	120	2	2	100
2	8	16	120	2	2	210
3	8	16	240	4	4	880
4	8	12	160	2,7	2	290

W pierwszym pomiarze jako badanego ciała użyliśmy klipsa biurowego o masie 4 g, a w kolejnych pomiarach – dwóch takich klipsów. Wartość prędkości obliczyliśmy na podstawie promienia i częstotliwości, a wartość siły dośrodkowej – na podstawie wskazań wagi.

Co zauważamy na podstawie analizy wyników pomiarów?

- Z pomiarów 1. i 2. wynika, że gdy masa wzrasta dwukrotnie, także siła dośrodkowa wzrasta ok. 2 razy.
- Z pomiarów 2. i 3. wynika, że gdy prędkość wzrasta 2 razy, siła wzrasta ok. 4 razy.
- Z pomiarów 2. i 4. wynika, że gdy promień okręgu zmniejszył się 1,3 raza, siła zwiększyła się mniej więcej tyle samo razy.

W naszym doświadczeniu te zależności spełnione były tylko w przybliżeniu ze względu na niedokładność pomiarów. Powyższe wnioski wykorzystamy na następnej lekcji do wprowadzenia wzoru pozwalającego wyznaczyć wartość siły dośrodkowej.

To najważniejsze

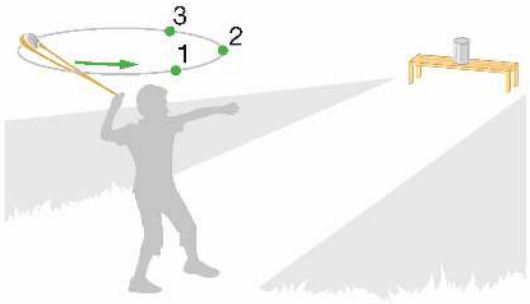
- Aby ciało poruszało się ze stałą prędkością po okręgu, musi na nie działać siła skierowana do środka tego okręgu. Nazywamy ją **siłą dośrodkową**.
- Wartość siły dośrodkowej zależy od: **promienia** okręgu r, **prędkości** ciała v i jego **masy** m.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Wskaż poprawne dokończenie zdania. Aby trafić w puszkę piłeczką kręconą na sznurku, chłopiec powinien puścić sznurek, gdy piłeczka znajduje się w punkcie:

A. 1. **B.** 2. **C.** 3.



2. Odpowiedz na pytania a–c.

a) Czy przy tej samej prędkości większa siła dośrodkowa jest potrzebna do pokonania ostrego czy łagodnego zakrętu?

b) Kiedy siła ta jest większa: gdy prędkość jest duża czy gdy jest mała?

c) Jakie praktyczne wnioski wypływają stąd dla kierowców?

3. Łyżwiarka może przejechać z rozpędu długi odcinek, bo tarcie łyżew o lód jest bardzo małe. Wyjaśnij, jak to się dzieje, że siła tarcia może pełnić funkcję siły dośrodkowej, powodującej zmianę kierunku ruchu łyżwiarki.



4. Na samochód jadący po krętej drodze z prędkością 50 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ działała w pewnej chwili siła dośrodkowa o wartości 5000 N. Jaka siła działałaby, gdyby samochód jechał po tym samym torze z prędkością 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$?



13. Obliczanie siły dośrodkowej

Cele lekcji

- Nauczysz się rozwiązywać zadania dotyczące siły dośrodkowej.
- Dowiesz się, jakie siły mogą pełnić funkcję siły dośrodkowej.
- Nauczysz się opisywać siły w układzie nieinercjalnym związanym z obracającym się ciałem.

Do jakich wniosków doszliśmy

Przypomnijmy wnioski z naszych pomiarów z poprzedniej lekcji (doświadczenie s. 92):

- gdy lżejsze ciało zastąpiliśmy ciałem o **2 razy większej** masie, siła dośrodkowa także była ok. **2 razy większa**,
- gdy ciało poruszało się po okręgu o promieniu **1,3 raza mniejszym**, siła dośrodkowa była ok. **1,3 raza większa**,
- gdy prędkość **wzrosła 2 razy**, siła **wzrosła** aż **4 razy**.

Wyniki pomiarów i obliczeń z doświadczenia obowiązkowego z poprzedniej lekcji przedstawiono w poniższej tabeli.



▲ Układ doświadczalny z doświadczenia ze s. 92

Tabela pomiarów

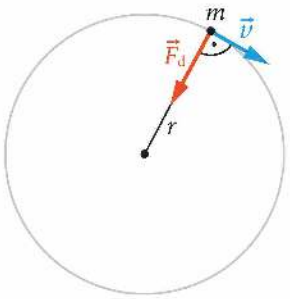
Masa m [g]	Promień r [cm]	Prędkość v $\left[\frac{m}{s}\right]$	Siła dośrodkowa F [mN]
4	16	2	100
8	16	2	210
8	16	4	880
8	12	2	290

Jak obliczać wartość siły dośrodkowej

Wyniki dokładnych pomiarów pozwalają stwierdzić, że aby ciało o masie m poruszało się z prędkością v po okręgu o promieniu r, jest potrzebna siła dośrodkowa o wartości:

$$F_d = \frac{mv^2}{r}$$

gdzie: F_d – siła dośrodkowa, m – masa ciała, v – jego prędkość, r – promień okręgu.



▲ Wartość siły dośrodkowej zależy od: masy ciała, jego prędkości i promienia okręgu

Zauważ, że wyniki naszego doświadczenia zgadzają się z tym wzorem:

- masa m występuje w liczniku ułamka, więc jeśli m się zwiększy, to siła również się zwiększy tyle samo razy,
- podniesiona do kwadratu prędkość v występuje w liczniku ułamka, więc kiedy prędkość zwiększy się np. 5 razy, to siła wzrośnie aż 25 razy,
- promień r występuje w mianowniku ułamka, więc jeśli promień wzrośnie, to siła zmniejszy się tyle samo razy.

Przykład

Obliczanie siły dośrodkowej

Karuzela o promieniu 120 cm wykonuje pełny obrót w ciągu 6 s. Oblicz siłę dośrodkową, jaka działa na siedzące na niej dziecko o masie 30 kg.



Dane:
$r = 120\ \text{cm} = 1{,}2\ \text{m}$
$T = 6\ \text{s}$
$m = 30\ \text{kg}$

Szukane:
$F_d = ?$

Rozwiązanie: Najpierw obliczmy prędkość dziecka.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$v = \frac{2\pi \cdot 1{,}2\ \text{m}}{6\ \text{s}} \approx 1{,}256\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Teraz możemy skorzystać ze wzoru na siłę dośrodkową.

$$F_d = \frac{mv^2}{r}$$

$$F_d = \frac{30\ \text{kg} \cdot (1{,}256\ \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{1{,}2\ \text{m}} \approx 39\ \text{N}$$

$$\frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{\text{m}} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}$$

Odpowiedź: Na dziecko siedzące na obracającej się karuzeli działa siła ok. 39 N.

Jakie siły pełnią funkcję siły dośrodkowej

Wzór opisujący wartość siły dośrodkowej informuje o tym, jaka jest wartość siły, która zmusza ciało o masie m i prędkości v do ruchu po okręgu o promieniu r. Nie przesądza jednak, jaka siła pełni funkcję siły dośrodkowej w konkretnym przypadku.
Funkcję siły dośrodkowej może pełnić wiele różnych sił. Ich zidentyfikowanie jest na ogół bardzo proste: wystarczy się zastanowić, w jakiej sytuacji dane ciało przestałoby się poruszać po okręgu. Rozważmy to na przykładach.

Ruch piłeczki na sznurku

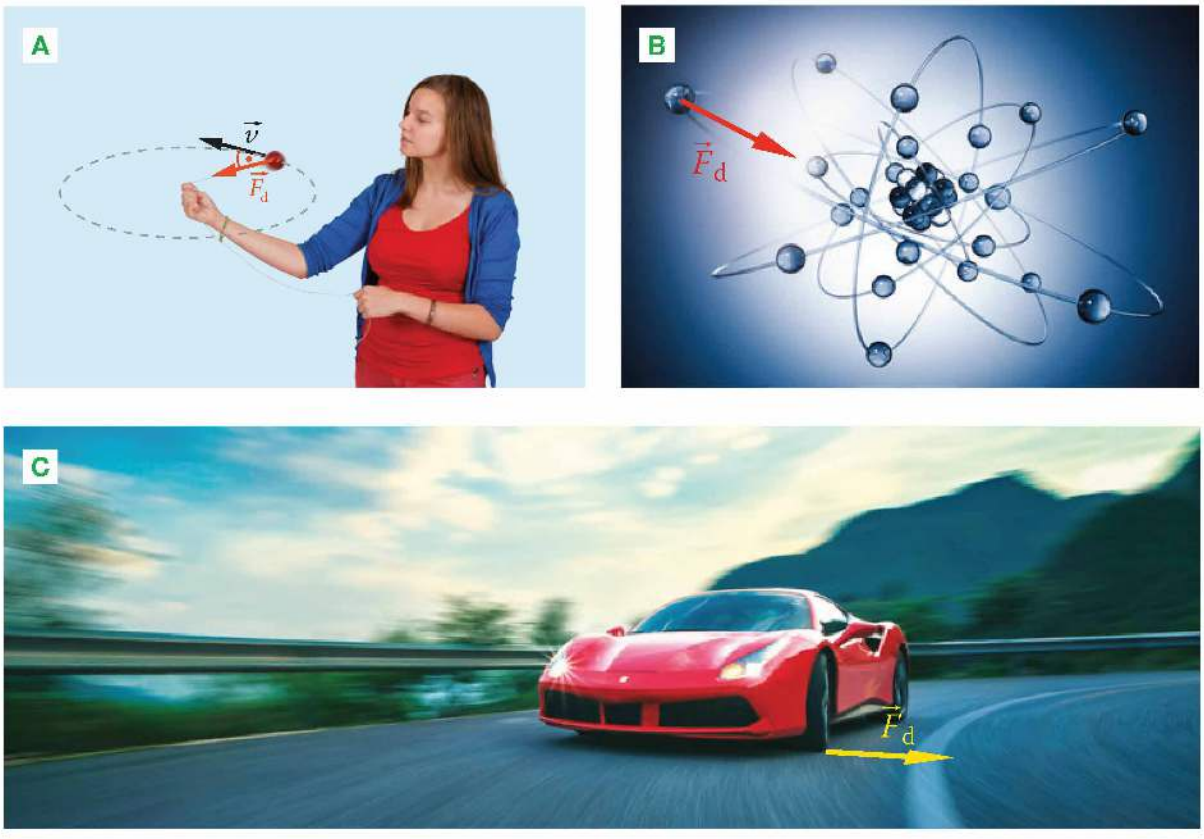
Piłeczka na sznurku porusza się po okręgu (ilustracja A). Co by się stało, gdyby sznurek się zerwał? Piłeczka przestałaby się poruszać po okręgu i spadłaby na ziemię. Siłą dośrodkową jest więc **siła naprężenia sznurka**.

Ruch elektronów wokół jądra atomowego

W klasycznym modelu atomu elektrony krążą wokół jądra. W tym przypadku siłą dośrodkową jest **siła oddziaływania elektrycznego** między dodatnio naładowanym jądrem i ujemnie naładowanym elektronem (ilustracja B).

Ruch samochodów na torze wyścigowym

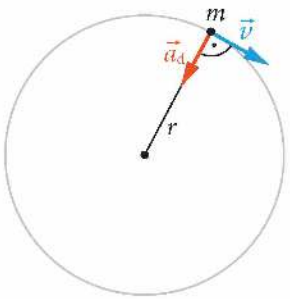
Wyobraźmy sobie samochody poruszające się po kolistym torze. Co może spowodować, że z niego wypadną? Poślizg. Siłą, która utrzymuje te pojazdy w ruchu po okręgu, czyli siłą dośrodkową, jest więc **siła tarcia** opon o podłoże (ilustracja C).



▲ Funkcję siły dośrodkowej pełni: A. siła naprężenia sznurka, B. siła oddziaływania elektrycznego między elektronem i jądrem, C. siła tarcia

D Przyspieszenie w ruchu jednostajnym po okręgu

W ruchu prostoliniowym przyspieszenie wiąże się ze zmianą wartości prędkości. A jak jest w ruchu jednostajnym po okręgu? Zgodnie z drugą zasadą dynamiki stała siła działająca na ciało powinna powodować ruch z przyspieszeniem, a jednak w tym przypadku wartość prędkości się nie zmienia. Jak to wyjaśnić?
Okazuje się, że wektor przyspieszenia opisuje każdą zmianę wektora prędkości – nie tylko zmianę wartości, lecz także zmianę kierunku.



▲ Wektory prędkości i przyspieszenia w ruchu jednostajnym po okręgu

> W ruchu jednostajnym po okręgu wektor przyspieszenia jest skierowany do środka okręgu.

Kierunek i zwrot przyspieszenia są więc zgodne z kierunkiem i zwrotem siły wywołującej to przyspieszenie, podobnie jak w przypadku ruchu prostoliniowego.

Siła bezwładności w obracającym się układzie odniesienia

Prawdopodobnie pojęcie *siła dośrodkowa* nie było ci znane wcześniej. Natomiast z życia codziennego możesz znać określenie *siła odśrodkowa*. Zarówno w ostro skręcającym pojeździe, jak i podczas jazdy na karuzeli czujemy przecież siłę **działającą na zewnątrz** okręgu lub łuku, po którym się poruszamy.
Jak więc pogodzić nasze dotychczasowe rozważania z wynikiem tych codziennych doświadczeń? Wiesz już, że to samo zjawisko można opisywać w dwóch układach odniesienia: nieinercjalnym i inercjalnym.

> Obracający się układ odniesienia jest układem nieinercjalnym i działa w nim odśrodkowa siła bezwładności skierowana na zewnątrz okręgu lub łuku, po którym porusza się ciało.

W układzie inercjalnym, związanym z ziemią, obserwowane zjawisko możemy opisać bez użycia pojęcia sił bezwładności.
Rozważmy przykład. Rysunek poniżej przedstawia obracającą się tarczę, na której położono piłeczkę, a obok piłeczki usiadł na tarczy ślimak.

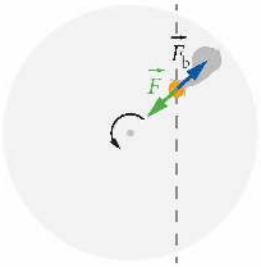


▲ Piłeczka na tarczy z punktu widzenia układu inercjalnego

Wyobraźmy sobie, że podczas wprawiania tarczy w ruch piłeczka była unieruchomiona **względem tarczy**. W chwili przedstawionej na rysunku A piłeczkę puszczono. Zachowała ona swoją dotychczasową prędkość względem ziemi. Wektor tej prędkości jest skierowany tak, jak na rysunku A na poprzedniej stronie.
Wobec tego zgodnie z zasadą bezwładności będzie ona poruszać się względem ziemi z tą samą prędkością i w tym samym kierunku, czyli tak jak wskazuje zwrot wektora prędkości.
Po chwili będziemy mieli do czynienia z sytuacją pokazaną na rysunku B. Piłeczka nie brała udziału w ruchu obrotowym tarczy, gdyż nie jest do niej przyczepiona. Zamiast tego poruszała się po prostej (zaznaczonej przerywaną linią na rysunku).
Inaczej wygląda to z punktu widzenia ślimaka. On widzi wyraźnie, że początkowo spoczywająca piłeczka poruszyła się **w jego stronę**. Może wyciągnąć stąd wniosek, że na piłeczkę podziałała siła odśrodkowa bezwładności. Już za chwilę ślimak będzie mógł „złapać" piłeczkę. Żeby nie wtoczyła się na niego, będzie musiał działać na nią pewną siłą.

Układ

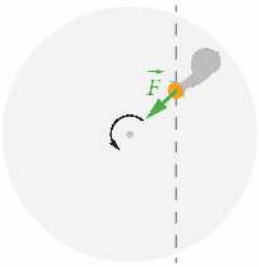
nieinercjalny



ślimak na tarczy

- Na piłeczkę działa siła bezwładności $\vec{F}_b$ (siła odśrodkowa).
- Ślimak też działa na nią pewną siłą $\vec{F}$.
- Te dwie siły się równoważą i piłeczka spoczywa (względem tarczy i ślimaka).

inercjalny



obserwator zewnętrzny

- Ślimak działa pewną siłą $\vec{F}$ na piłeczkę.
- Tej siły nic nie równoważy, więc powoduje ona ruch piłeczki po okręgu (względem ziemi), czyli jest siłą dośrodkową.

D Przyczyna występowania odśrodkowej siły bezwładności

Skąd więc bierze się odśrodkowa siła bezwładności?
Gdy potraktujemy ruch po okręgu jako ruch z pewnym przyspieszeniem, łatwiej nam będzie wyjaśnić jej powstawanie. Skoro na przykład krzesełko karuzeli porusza się ruchem jednostajnym po okręgu, w którym występuje przyspieszenie skierowane do środka toru, to krzesełko jest układem nieinercjalnym. W takim układzie działa siła bezwładności skierowana przeciwnie do przyspieszenia. A ponieważ przyspieszenie jest skierowane do środka toru, siła bezwładności jest skierowana przeciwnie – od środka.

To najważniejsze

- **Wartość siły dośrodkowej** zależy od masy i prędkości ciała oraz promienia okręgu:

$$F_d = \frac{mv^2}{r}$$

- Funkcję siły dośrodkowej mogą pełnić różne siły, np. siła tarcia, siła elektryczna lub siła naprężenia nici.
- Obracający się układ odniesienia jest układem nieinercjalnym. W tym układzie na ciała działa siła bezwładności, zwana także siłą odśrodkową.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Określ, jaka siła pełni funkcję siły dośrodkowej w ruchu:

a) kulki kręconej na sznurku,

b) samochodu na zakręcie.

2. Samochód jedzie z prędkością 90 $\frac{km}{h}$. Promień krzywizny drogi wynosi 200 m, tzn. droga jest łukiem okręgu o promieniu 200 m. Na samochód działa siła dośrodkowa o wartości 3000 N. Oblicz, jaka siła dośrodkowa będzie działać na samochód:

a) o tej samej masie, jeśli będzie on jechał po tym samym zakręcie z prędkością 45 $\frac{km}{h}$,

b) o dwa razy większej masie, jeśli będzie on pokonywał ten sam zakręt z prędkością 90 $\frac{km}{h}$,

c) o tej samej masie, jeśli będzie on pokonywał zakręt o promieniu krzywizny 400 m z prędkością 90 $\frac{km}{h}$,

d) o dwa razy większej masie, jeśli będzie pokonywał zakręt o promieniu krzywizny 400 m z prędkością 90 $\frac{km}{h}$.

3. Samochód o masie 800 kg porusza się z prędkością 50 $\frac{km}{h}$ po łuku okręgu o promieniu 50 m.

a) Jaka jest wartość siły dośrodkowej utrzymującej go w tym ruchu?

b) Jaka siła dośrodkowa byłaby potrzebna, gdyby jechał z prędkością 100 $\frac{km}{h}$?

c) Jak zmieniłaby się wartość siły dośrodkowej, gdyby promień łuku okręgu, po którym porusza się samochód, wynosił 25 m?

4. Długotrwały stan nieważkości jest dużym obciążeniem dla organizmu człowieka. Dlatego planuje się, że w przyszłości duże stacje kosmiczne będą się obracać, a siła bezwładności zastąpi grawitację. Na ilustracji widzisz wizję graficzną takiej stacji w kształcie torusa (obwarzanka). Wskaż, które ściany staną się dla astronautów podłogą, a które sufitem.





14. Grawitacja

Cele lekcji

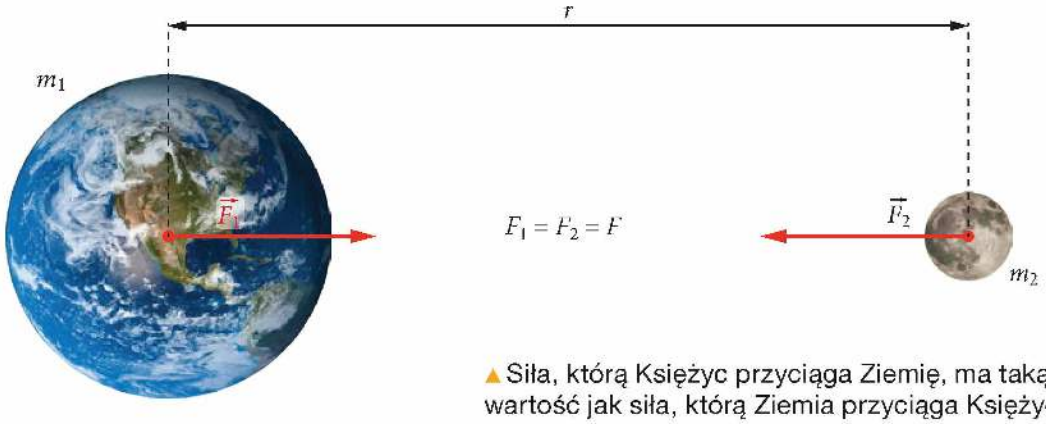
- Dowiesz się, kiedy występuje oddziaływanie grawitacyjne i czym jest siła grawitacji oraz od czego zależy jej wartość.
- Poznasz prawo powszechnego ciążenia.

Oddziaływanie grawitacyjne i siła grawitacji

Na co dzień obserwujesz, że Ziemia przyciąga ciała znajdujące się w pobliżu jej powierzchni. Dzieje się tak na skutek **oddziaływania grawitacyjnego** tych ciał z Ziemią. Dlatego piłka rzucona do góry spada na ziemię. Podobne oddziaływanie występuje na innych planetach i na Księżycu. Przyciąganie grawitacyjne nie ogranicza się jednak do ciał niebieskich.

Każde dwa ciała we Wszechświecie przyciągają się wzajemnie **siłą grawitacji**.

Odkrył to wielki fizyk **Izaak Newton** (patrz infografika na s. 109). Aby wyjaśnić, dlaczego nie obserwujemy siły grawitacji np. między krzesłem a czajnikiem, musimy się najpierw dowiedzieć, jak obliczyć wartość tej siły.



▲ Siła, którą Księżyc przyciąga Ziemię, ma taką samą wartość jak siła, którą Ziemia przyciąga Księżyc

Od czego zależy wartość siły grawitacji

Jak wiesz, siła ciężkości działająca na ciało o masie m znajdujące się na powierzchni Ziemi zależy od jego masy ($F_g = mg$). Ziemia przyciąga jednakową siłą zarówno człowieka o masie 50 kg, jak i worek ziemniaków o takiej samej masie.

Wartość siły grawitacji zależy od:

- **mas** przyciągających się ciał. Siła grawitacji jest wprost proporcjonalna do każdej z tych mas,
- **odległości między ciałami**. Okazuje się, że jeśli odległość między ciałami **wzrośnie dwukrotnie**, to siła grawitacji między nimi **zmniejszy się** aż **cztery razy**, a gdy odległość wzrośnie trzykrotnie – siła grawitacji zmniejszy się dziewięć razy itd.

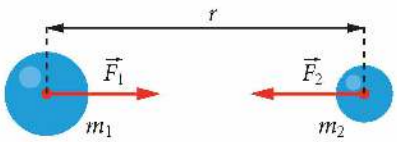
  Mówimy, że siła grawitacji maleje jak kwadrat odległości albo że jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości.

Pojęć „siła ciężkości" i „siła grawitacji ziemskiej" zwykle używamy zamiennie. W rzeczywistości siła ciężkości to wypadkowa siły grawitacji i siły odśrodkowej związanej z obrotem Ziemi. Na biegunach siła ciężkości jest równa sile grawitacji. Na innych szerokościach geograficznych różnica jest jednak bardzo niewielka: nie przekracza 0,3%, dlatego często tych nazw używamy zamiennie. Natomiast pojęcia „ciężar" używamy w tej książce w znaczeniu siły, którą ciało naciska na podłoże.

Prawo powszechnego ciążenia

Jeżeli dwa ciała o masach m_1 i m_2 znajdują się w odległości r od siebie, to przyciągają się siłą grawitacji, której wartość można obliczyć ze wzoru:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$



$F_1 = F_2 = F$

gdzie stała G (zwana stałą grawitacji) jest równa $6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\mathrm{N \cdot m^2}}{\mathrm{kg^2}} = 0{,}000\,000\,000\,0667 \frac{\mathrm{N \cdot m^2}}{\mathrm{kg^2}}$.

Wartość siły grawitacji jest wprost proporcjonalna do iloczynu mas dwóch ciał i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między środkami tych ciał.

Proporcjonalność odwrotna – parz dodatek matematyczny s. 54.

Opisane powyżej prawo nazywamy **prawem powszechnego ciążenia**. Określenie „powszechnego" wynika z tego, że prawo to dotyczy każdej pary ciał we Wszechświecie. W wielu przypadkach siła grawitacji jest jednak tak mała, że nie możemy zaobserwować skutków jej działania (patrz przykład 1. na s. 103).

Uwaga. Podany wyżej wzór pozwala uzyskać dokładny wynik, m.in. gdy:

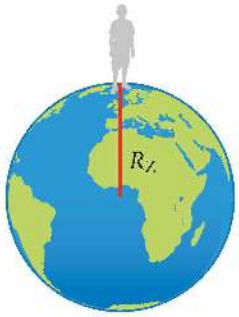
- oba ciała są kulami,
- oba są niewielkie w stosunku do dzielącej je odległości,
- jedno z ciał jest kulą, a drugie jest niewielkie w stosunku do dzielącej je odległości (patrz przykład 2. na s. 103).

Jeśli podany wzór stosujemy do ciał o kształcie innym niż kulisty i znajdujących się blisko siebie, wynik będzie tylko przybliżony. Nawet Słońce i Ziemia są niewielkie, gdy ich średnice porównamy z dzielącą je odległością.

Odległość – ale jaka

We wzorze na wartość siły grawitacji występuje odległość r. Jak należy ją rozumieć? Otóż jest to odległość między **środkami** przyciągających się ciał. Jeśli człowiek znajduje się na wysokości 1 m nad powierzchnią Ziemi, to jego odległość r od Ziemi nie jest równa 1 m. Należy wziąć pod uwagę odległość od środka planety, równą jej promieniowi (czyli ok. 6400 km).

Zanim samodzielnie zaczniesz obliczać wartość siły grawitacji, przeczytaj uważnie dodatek matematyczny dotyczący działania na liczbach bardzo dużych i bardzo małych, a następnie przeanalizuj dwa przykłady obliczania wartości tej siły.



▲ Gdy człowiek znajduje się na niewielkiej wysokości nad powierzchnią Ziemi, jego odległość od środka planety jest w przybliżeniu równa promieniowi Ziemi R_Z

Dodatek matematyczny

Działania na liczbach bardzo dużych i bardzo małych

W obliczeniach dotyczących siły grawitacji spotkasz liczby bardzo duże (np. masa Ziemi) i bardzo małe (np. wartość stałej grawitacji):

$$M_Z = 6\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\ \text{kg}$$

$$G = 0{,}000\,000\,000\,0667\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

Podczas wykonywania obliczeń na takich liczbach bardzo łatwo pomylić się w liczeniu zer lub miejsc po przecinku. Dlatego stosujemy **notację wykładniczą**. Liczbę przedstawiamy w postaci:

(liczba między 1 a 10) · (potęga dziesiątki)

Na przykład:

$$M_Z = 6\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\ \text{kg} =$$
$$= 6 \cdot 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\ \text{kg} = 6 \cdot 10^{24}\ \text{kg}$$

$$G = 0{,}000\,000\,000\,0667\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2} = 6{,}67 \cdot 0{,}000\,000\,000\,01\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2} = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

Gdy wykonujemy działania na tak zapisanych liczbach, stosujemy **prawa działań na potęgach**, które znasz ze szkoły podstawowej.

$$10^a \cdot 10^b = 10^{a+b} \qquad \frac{10^a}{10^b} = 10^{a-b} \qquad (10^a)^b = 10^{a\cdot b} \qquad 10^{-a} = \frac{1}{10^a}$$

Na przykład: $3 \cdot 10^5 \cdot 1{,}5 \cdot 10^7 = (3 \cdot 1{,}5) \cdot (10^5 \cdot 10^7) = 4{,}5 \cdot 10^{5+7} = 4{,}5 \cdot 10^{12}$

$$1{,}2 \cdot 10^{-8} \cdot 5 \cdot 10^9 = 6 \cdot 10^1 = 60$$

$$\frac{0{,}00052}{8 \cdot 10^{-12}} = \frac{5{,}2 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-12}} = 0{,}65 \cdot 10^{-4-(-12)} = 0{,}65 \cdot 10^{-4+12} = 0{,}65 \cdot 10^8 = 6{,}5 \cdot 10^7$$

Przykład 1

Obliczanie wartości siły grawitacji

Dwaj uczniowie siedzą w ławce. Odległość między nimi wynosi 80 cm. Masa każdego z nich wynosi 50 kg. Oblicz wartość siły grawitacji działającą między uczniami.

Dane:
$m_1 = m_2 = 50\ \text{kg}$
$r = 80\ \text{cm} = 0{,}8\ \text{m}$

Szukane:
$F = ?$

Rozwiązanie: Korzystamy ze wzoru na siłę grawitacji. Otrzymamy wynik przybliżony, bo uczniowie nie mają kształtu kuli.

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$F = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{50\ \text{kg} \cdot 50\ \text{kg}}{(0{,}8\ \text{m})^2} \approx 2{,}6 \cdot 10^{-7}\ \text{N} = 0{,}000\,000\,26\ \text{N}$$

Odpowiedź: Między uczniami działa siła grawitacji równa ok. $2{,}6 \cdot 10^{-7}$ N.

Wartość obliczonej siły jest znikomo mała, sto razy mniejsza od ciężaru mrówki. Dlatego trudno zaobserwować skutki siły grawitacji między ciałami o niewielkiej masie. Możemy ją dostrzec, gdy przynajmniej jedno z ciał ma wielką masę, np. gdy jest planetą.

Przykład 2

Obliczanie wartości siły grawitacji działającej na ciało o masie 1 kg

Oblicz siłę, jaką Ziemia (o masie $6 \cdot 10^{24}$ kg i promieniu 6400 km = $6{,}4 \cdot 10^6$ m) przyciąga leżące na jej powierzchni ciało o masie 1 kg.

Dane:
$M = 6 \cdot 10^{24}\ \text{kg}$
$m = 1\ \text{kg}$
$R_Z = 6{,}4 \cdot 10^6\ \text{m}$

Szukane:
$F = ?$



Rozwiązanie: Przez odległość między ciałami rozumiemy w tym przypadku odległość ciała od środka Ziemi, równą promieniowi naszej planety. Podstawiamy dane do wzoru:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{R_Z^2} \qquad \left[\frac{\text{N} \cdot \cancel{\text{m}^2}}{\cancel{\text{kg}^2}} \cdot \frac{\cancel{\text{kg}^2}}{\cancel{\text{m}^2}} = \text{N}\right]$$

$$F = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{6 \cdot 10^{24}\ \text{kg} \cdot 1\ \text{kg}}{(6{,}4 \cdot 10^6\ \text{m})^2} \approx 10\ \text{N}$$

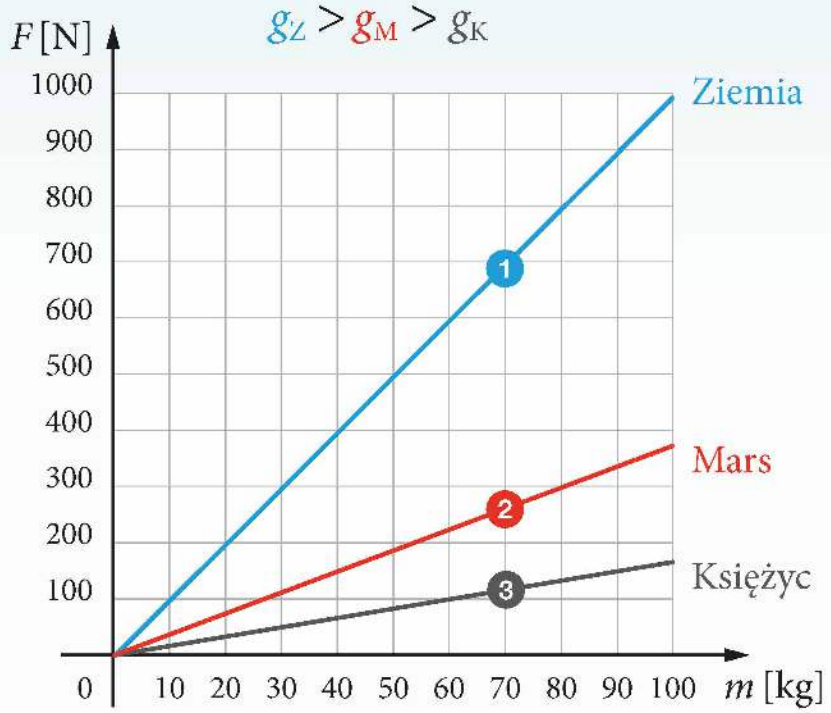
Odpowiedź: Ziemia przyciąga ciało o masie 1 kg leżące na jej powierzchni siłą 10 N.

Jak już wiesz, siła ciężkości działająca na Ziemi na ciało o masie 1 kg wynosi właśnie ok. 10 N. Jest ona w przybliżeniu równa sile grawitacji, o czym przekonuje nas wynik obliczeń w przykładzie 2.

Siła ciężkości na różnych ciałach niebieskich

Siła ciężkości jest wprost proporcjonalna do masy m, ale zależy również od przyspieszenia grawitacyjnego g. Ponieważ przyspieszenie grawitacyjne na różnych planetach jest różne, ciężar astronauty $F = mg$ na innej planecie nie będzie taki sam jak na Ziemi.

1. Na Ziemi ciężar astronauty o masie 70 kg jest równy 686 N.
2. Na Marsie ten sam astronauta miałby ciężar ok. 260 N, gdyż przyspieszenie grawitacyjne jest tam ok. trzy razy mniejsze.
3. Na Księżycu jego ciężar wyniósłby tylko 112 N.



1. $g_Z = 9{,}8 \frac{m}{s^2}$
2. $g_M = 3{,}7 \frac{m}{s^2}$
3. $g_K = 1{,}6 \frac{m}{s^2}$







To najważniejsze

- Każde dwa ciała we Wszechświecie przyciągają się wzajemnie **siłą grawitacji**. Jest ona tym większa, im większa jest masa każdego z ciał i im bliżej siebie się one znajdują.
- Wzór na siłę grawitacji ma postać: $F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$, gdzie: m_1, m_2 – masy oddziałujących ciał, r – odległość między ich środkami, G – stała grawitacji o wartości $6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$.
- W przypadku niewielkich ciał z naszego otoczenia siła grawitacji jest bardzo mała. Jej skutki obserwujemy dopiero wtedy, gdy przynajmniej jedno z ciał ma wielką masę i jest np. gwiazdą albo planetą.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Naszkicuj w zeszycie Ziemię na orbicie wokół Słońca.

a) Narysuj wektor prędkości Ziemi.

b) Która z sił jest większa: siła, którą Ziemia przyciąga Słońce, czy siła, którą Słońce przyciąga Ziemię? A może siły te są równe? Narysuj wektory sił z zachowaniem odpowiednich proporcji.

2. Dwa ciała przyciągają się siłą 36 mN. Jaką siłą będą się przyciągać, jeżeli:

a) odległość między nimi wzrośnie trzykrotnie?

b) odległość między nimi zmaleje dwukrotnie?

c) jedno z ciał zamienimy na ciało o masie 10 razy większej?

d) każde z ciał zamienimy na ciało o masie 2 razy mniejszej?

3. W tabeli poniżej podano masy i średnie odległości od Słońca czterech planet Układu Słonecznego. Wskaż zdania prawdziwe.

Planeta	Masa [kg]	Średnia odległość od Słońca [mln km]
Merkury	$0{,}33 \cdot 10^{24}$	57,9
Wenus	$4{,}87 \cdot 10^{24}$	108,2
Ziemia	$5{,}97 \cdot 10^{24}$	149,6
Mars	$0{,}64 \cdot 10^{24}$	227,9

A. Merkury jest przyciągany przez Słońce większą siłą niż Wenus, ponieważ znajduje się bliżej Słońca.

B. Ziemia jest przyciągana przez Słońce mniejszą siłą niż Wenus.

C. Mars jest przyciągany przez Słońce większą siłą niż Merkury, ponieważ ma ok. 2 razy większą masę.

D. Mars jest przyciągany przez Słońce mniejszą siłą niż Ziemia.

4. Siła grawitacji maleje, gdy ciała się od siebie oddalają. Nie odczuwamy jednak zmniejszania się ciężaru ciał wysoko nad ziemią, np. w samolocie. Dlaczego?

5. Masa Plutona wynosi ok. $1{,}3 \cdot 10^{22}$ kg, a jego promień to ok. 1190 km.

a) Oblicz, jaką siłą Pluton działa na ciało o masie 1 kg położone na jego powierzchni.

b) Czy siła grawitacji działająca na dane ciało jest większa na Plutonie czy na Ziemi? Ile razy?

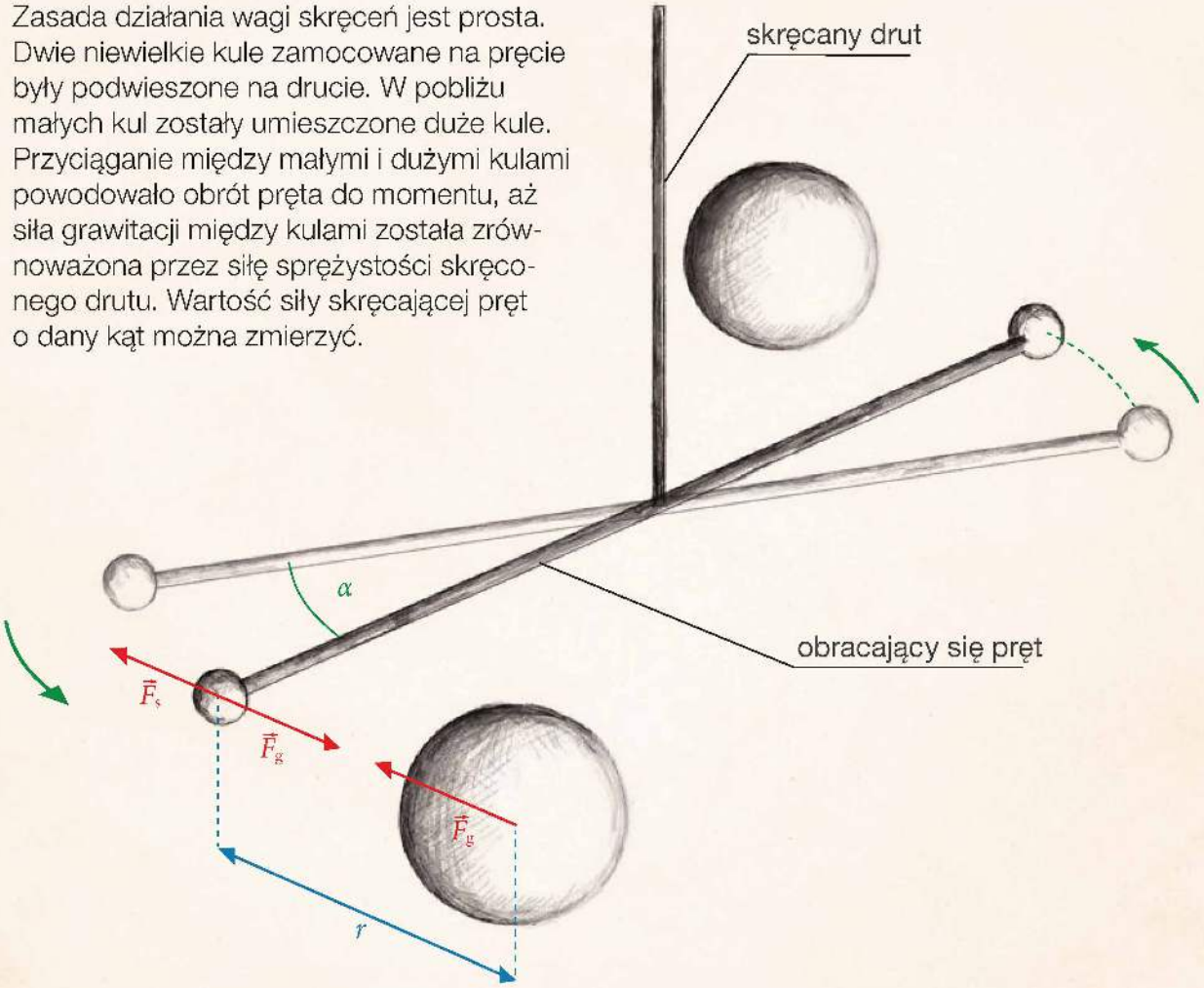


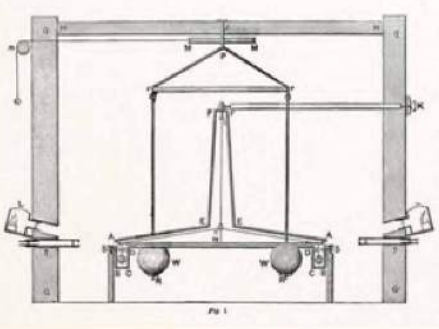
Jak można wyznaczyć masę Ziemi

Czy zastanawiałeś się kiedyś, jak wyznaczono masę Ziemi? Nie ma przecież takiej wagi, na której można by ją zważyć. Jeżeli jednak znamy stałą grawitacji, promień Ziemi i siłę, którą przyciąga ona ciało o danej masie, możemy wyznaczyć masę Ziemi ze wzoru podanego w przykładzie 2. na s. 103. Ale jak wyznaczyć stałą grawitacji?

Otóż w 1798 r. Henry Cavendish (czyt. henri kawendysz) zbudował przyrząd, tzw. wagę skręceń, który pozwolił wyznaczyć siłę grawitacji między dwoma ciałami o znanych masach. Wyznaczona przez Cavendisha masa Ziemi różni się od wyników współczesnych pomiarów zaledwie o 1%.

Zasada działania wagi skręceń jest prosta. Dwie niewielkie kule zamocowane na pręcie były podwieszone na drucie. W pobliżu małych kul zostały umieszczone duże kule. Przyciąganie między małymi i dużymi kulami powodowało obrót pręta do momentu, aż siła grawitacji między kulami została zrównoważona przez siłę sprężystości skręconego drutu. Wartość siły skręcającej pręt o dany kąt można zmierzyć.





Szkic przekroju wagi skręceń Cavendisha. Cavendish w swojej wadze użył dwóch małych ołowianych kul o średnicy 5,1 cm i o masie 0,78 kg każda oraz dużych kul o średnicy 30 cm i masie 158 kg każda, również wykonanych z ołowiu. Małe kule były zawieszone na drewnianym pręcie o długości 1,8 m, a duże kule były zamocowane tak, że można je było precyzyjnie ustawiać względem małych.



15. Siła grawitacji jako siła dośrodkowa

Cele lekcji

- Dowiesz się, jaką funkcję pełni siła grawitacji w ruchu ciał niebieskich i dlaczego Księżyc nie spada na Ziemię.
- Zrozumiesz, dlaczego Ziemia krąży wokół Słońca, a nie odwrotnie.

Jaka siła pełni funkcję siły dośrodkowej

Skoro Ziemia krąży wokół Słońca, musi na nią działać jakaś siła dośrodkowa. W przeciwnym razie Ziemia poruszałaby się po prostej. O tym jednak nikt by się nie uczył, bo z dala od Słońca uczniowie, nauczyciele i autorzy podręczników szybko by zamarzli. Zatem jaka siła zapewnia ruch obiegowy Ziemi wokół Słońca?

Funkcję siły dośrodkowej w ruchu ciał niebieskich pełni **siła grawitacji**.

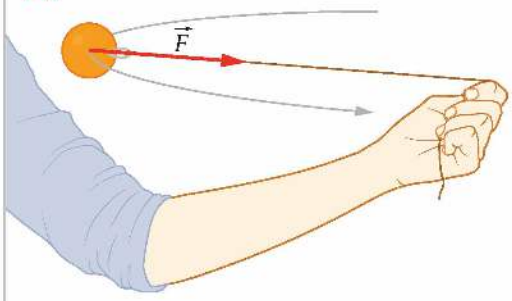
To właśnie siła grawitacji jest przyczyną krzywoliniowego ruchu nie tylko Ziemi, lecz także innych planet wokół Słońca. Sprawia również, że wokół planet Układu Słonecznego krążą ich naturalne satelity, np. Księżyc wokół Ziemi, Fobos i Dejmos wokół Marsa i ponad 60 księżyców wokół Jowisza.

Siła grawitacji sprawia, że księżyce krążą wokół planet, a planety – wokół Słońca.

Jak zilustrować właściwości siły grawitacji

W szkolnej pracowni trudno badać oddziaływania grawitacyjne ciał niebieskich, dlatego by zilustrować właściwości siły grawitacji, posłużymy się pewną analogią. Porównamy ruch piłeczki przyczepionej do sznurka, która krąży w płaszczyźnie poziomej, (rys. A na następnej stronie) z ruchem Księżyca wokół Ziemi (rys. B).

A.

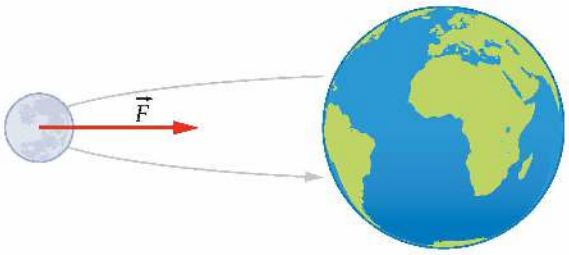


Aby kręcić piłeczką na sznurku, musisz ciągnąć ją pewną siłą.

Siła, którą ciągniesz piłeczkę, sprawia, że krąży ona po zakrzywionym torze – siła ta pełni funkcję siły dośrodkowej.

Gdyby sznurek się zerwał, piłeczka oddaliłaby się od ciebie.

B.



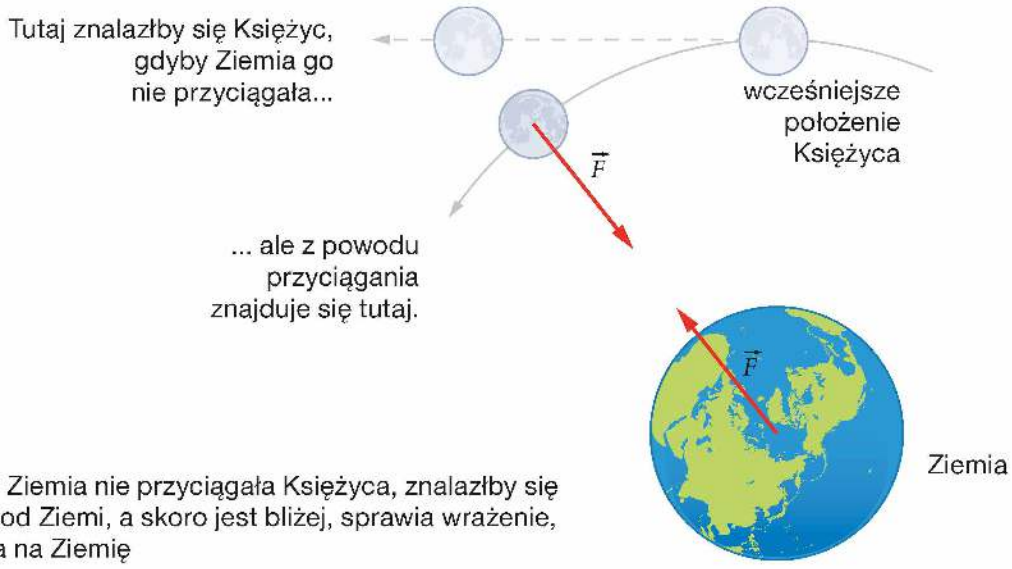
Ziemia przyciąga Księżyc – nie za pomocą sznurka, ale siłą grawitacji.

Siła grawitacji działająca na Księżyc powoduje zakrzywienie toru jego ruchu – pełni ona funkcję siły dośrodkowej.

Gdyby znikła siła grawitacji, Księżyc oddaliłby się od Ziemi.

Dlaczego Księżyc nie spada na Ziemię

Na to pytanie możemy nieco przekornie odpowiedzieć: „Właściwie to spada!". Gdyby bowiem Ziemia nie przyciągała Księżyca, poleciałby prosto i znalazł się dalej od jej środka, czyli wyżej. Skoro dzięki przyciąganiu ziemskiemu jest bliżej Ziemi – możemy w uproszczeniu nazwać to „spadaniem". To „spadanie" równoważy się jednak z oddalaniem od środka Ziemi. Siła przyciągania powoduje zatem jedynie zakrzywienie toru ruchu Księżyca tak, że okrąża on Ziemię w stałej odległości od jej środka.



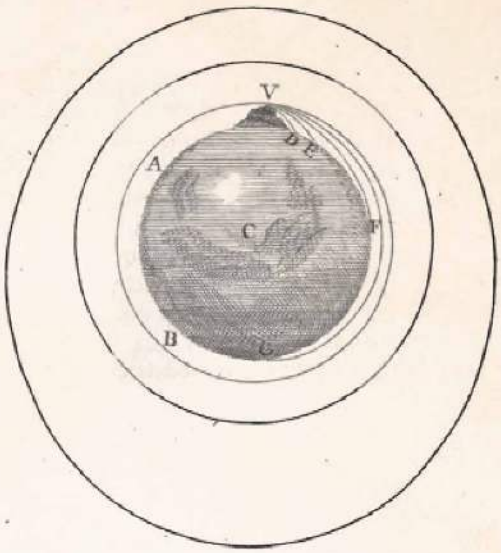
▲ Gdyby Ziemia nie przyciągała Księżyca, znalazłby się on dalej od Ziemi, a skoro jest bliżej, sprawia wrażenie, że spada na Ziemię

Uwaga. W tym sensie możemy też mówić, że Ziemia (jak każda planeta w Układzie Słonecznym) „spada na Słońce".

Działo Newtona

Izaak Newton podjął się wyjaśnienia, na czym polega ruch Księżyca wokół Ziemi – zaproponował w tym celu pewien eksperyment myślowy.

Wyobraźmy sobie, że strzelamy pociskami z działa ustawionego na szczycie wysokiej góry. Kule armatnie lecą po linii krzywej i spadają na powierzchnię Ziemi – a z im większą prędkością je wystrzelimy, tym większy będzie ich zasięg. Przy bardzo silnych strzałach nabiera znaczenia kulistość Ziemi, bo pociski lecą dalej, niż działoby się to, gdyby nasza planeta była płaska (patrz rys. obok). W końcu pocisk o odpowiednio dużej prędkości wcale nie spada, lecz okrąża Ziemię i trafia w armatę od tyłu. Gdy do takiej kuli armatniej wystrzelonej z bardzo dużej wysokości porówna się satelitę, łatwo zrozumieć zasadę jego ruchu. Dziś, ponad trzysta lat po ogłoszeniu teorii Newtona, Ziemię okrążają tysiące sztucznych satelitów.



▲ Rycina z dzieła Izaaka Newtona



Izaak Newton



Izaak Newton (1643–1727) – odkrywca zasad dynamiki i prawa grawitacji. Oprócz mechaniki zajmował się optyką, matematyką, a także teologią. Przez ponad 200 lat uważano, że sformułowane przez niego prawa mechaniki wyczerpująco wyjaśniają wszystkie zjawiska w przyrodzie. Dziś wiemy, że nie wystarczają do opisu zjawisk dotyczących ciał bardzo małych (jak atomy), bardzo masywnych (jak czarne dziury) ani poruszających się z prędkością zbliżoną do prędkości światła. Te zjawiska opisują nowe, dokładniejsze teorie.

Dlaczego Ziemia krąży wokół Słońca

Słońce przyciąga Ziemię, dlatego Ziemia krąży wokół Słońca. Owszem, ale przecież także Ziemia przyciąga Słońce, i to taką samą siłą. Dlaczego więc Słońce nie krąży wokół Ziemi? Okazuje się, że również Ziemia zmusza Słońce do pewnego ruchu.

> Ziemia ma masę ponad 300 tysięcy razy mniejszą niż Słońce, dlatego wpływ Ziemi na ruch Słońca jest niewielki.

Podobnie kangur, który kopnął Ziemię, nie powoduje jej zauważalnego ruchu, choć siła reakcji Ziemi powoduje znaczny ruch kangura.



▲ Kangur popycha Ziemię taką samą siłą, jaką Ziemia popycha kangura – jednak masa Ziemi jest ok. 10^{23} razy większa od masy kangura, a więc jej przyspieszenie jest tyle samo razy mniejsze, czyli niezauważalnie małe

Układy podwójne

Wzajemne okrążanie dwóch przyciągających się ciał jest najlepiej widoczne, gdy masy obu tych ciał są podobne. Dzieje się tak w przypadku układów podwójnych gwiazd. Wiele gwiazd nie porusza się w przestrzeni samotnie, lecz ma towarzyszkę lub towarzyszki. Dzięki obserwacji ruchu gwiazd w układzie podwójnym możemy niekiedy wyznaczyć łączną masę obu obiektów, mimo że wyznaczenie masy pojedynczej gwiazdy jest trudne, a na ogół – wręcz niemożliwe.



A to ciekawe

Układ podwójny tworzą np. Syriusz A – najjaśniejsza gwiazda naszego nieba, podobna do naszego Słońca, i Syriusz B – biały karzeł. Mniejszej z nich nie zobaczymy gołym okiem. Została odkryta nie poprzez bezpośrednie obserwacje, ale dzięki analizie ruchu Syriusza A.

To najważniejsze

- **Funkcję siły dośrodkowej** w ruchu ciał niebieskich **pełni siła grawitacji**.
- Siła grawitacji powoduje zakrzywienie toru ruchu np. Księżyca wokół Ziemi oraz powoduje, że planety krążą wokół Słońca.
- Ziemia ma masę ponad 300 tysięcy razy mniejszą niż Słońce, dlatego wpływ Ziemi na ruch Słońca jest niewielki.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Na rysunku przedstawiono tor Księżyca, krążącego wokół Ziemi. Określ, która ze strzałek prawidłowo pokazuje kierunek oraz zwrot:

a) prędkości Księżyca,

b) siły przyciągania ziemskiego działającej na Księżyc.



2. Przerysuj do zeszytu rysunek z zadania 1. i naszkicuj linię, po której poruszałby się Księżyc, gdyby nagle znikła siła przyciągania ziemskiego.

3. Skorzystaj z danych w tabeli i odpowiedz, w przypadku której pary wpływ księżyca na ruch planety jest większy: Księżyca i Ziemi czy Charona i Plutona.

Ciało niebieskie	Masa [· 10^{21} kg]
Ziemia	6000
Księżyc	74
Pluton	13
Charon (księżyc Plutona)	1,6

4. Słońce przyciąga Merkurego siłą grawitacji F_1 o wartości $1{,}3 \cdot 10^{22}$ N.

a) Jaka jest wartość siły grawitacji F_2, którą Merkury przyciąga Słońce?

b) Siła F_1 powoduje ruch Merkurego wokół Słońca. Wyjaśnij, dlaczego siła F_2 nie powoduje ruchu Słońca wokół Merkurego.

5. Skorzystaj z tabel zamieszczonych na s. 219–220 i oblicz wartość siły grawitacji działającej między Ziemią i Księżycem.

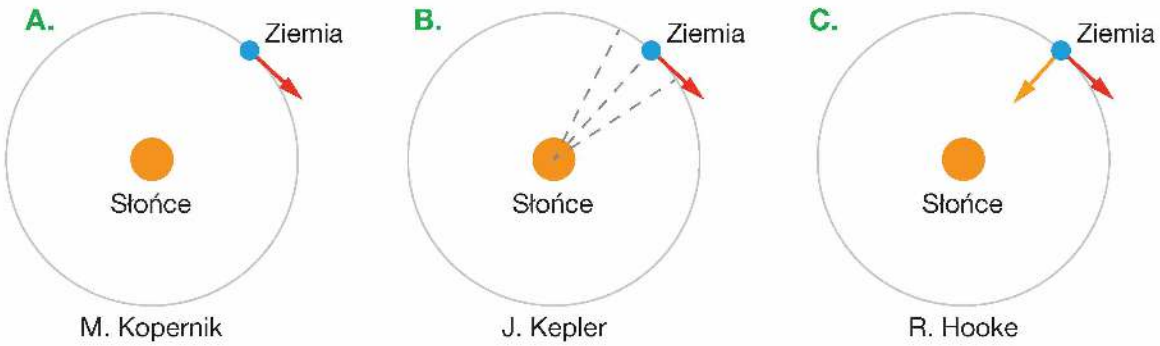
6. Oto jak przed Newtonem znani uczeni próbowali błędnie wytłumaczyć ruch planet po orbicie wokół Słońca:

Mikołaj Kopernik: Ruch planety jest ruchem naturalnym, czyli takim, który jest niejako cechą ciała samą w sobie i nie zależy od żadnej zewnętrznej siły (rys. A poniżej).

Johannes Kepler: Na planety działa siła styczna związana z istnieniem oddziaływań między Słońcem i planetą. Działa ona podobnie jak szprychy, które „popychają" obręcz koła (rys. B).

Robert Hooke: Ruch planety jest wynikiem złożenia tendencji do ruchu prostoliniowego po stycznej oraz skłonności do dążenia do środka (rys. C).

Określ, który opis był najbardziej zbliżony do tego, jaki sformułował Newton, a który – najmniej. Krótko uzasadnij odpowiedź.



▲ Rysunki i tekst na podstawie książki *Historia fizyki* A.K. Wróblewskiego



TEMAT DODATKOWY

Amatorskie obserwacje astronomiczne

Cele lekcji

- Dowiesz się, jak i gdzie przeprowadzać obserwacje astronomiczne.
- Poznasz aplikacje i strony internetowe pomocne podczas obserwacji.
- Dowiesz się, jak korzystać z papierowej lub internetowej mapy nieba.

Kto obserwuje niebo

Astronomowie do swoich obserwacji używają wielkich i bardzo drogich teleskopów, ale to nie oznacza, że wyłącznie oni dokonują odkryć w kosmosie. Także amatorzy mają tę szansę. Obserwacje można prowadzić za pomocą niewielkiego teleskopu. Można też przeglądać zdjęcia nieba wykonane przez kogoś innego, np. zamieszczone w internecie. Wśród odkrywców kosmicznych ciał są m.in. polscy uczniowie. Na przykład w 2011 r. uczniowie z Torunia i Sierpca odkryli trzy planetoidy.

Zaczynamy obserwacje

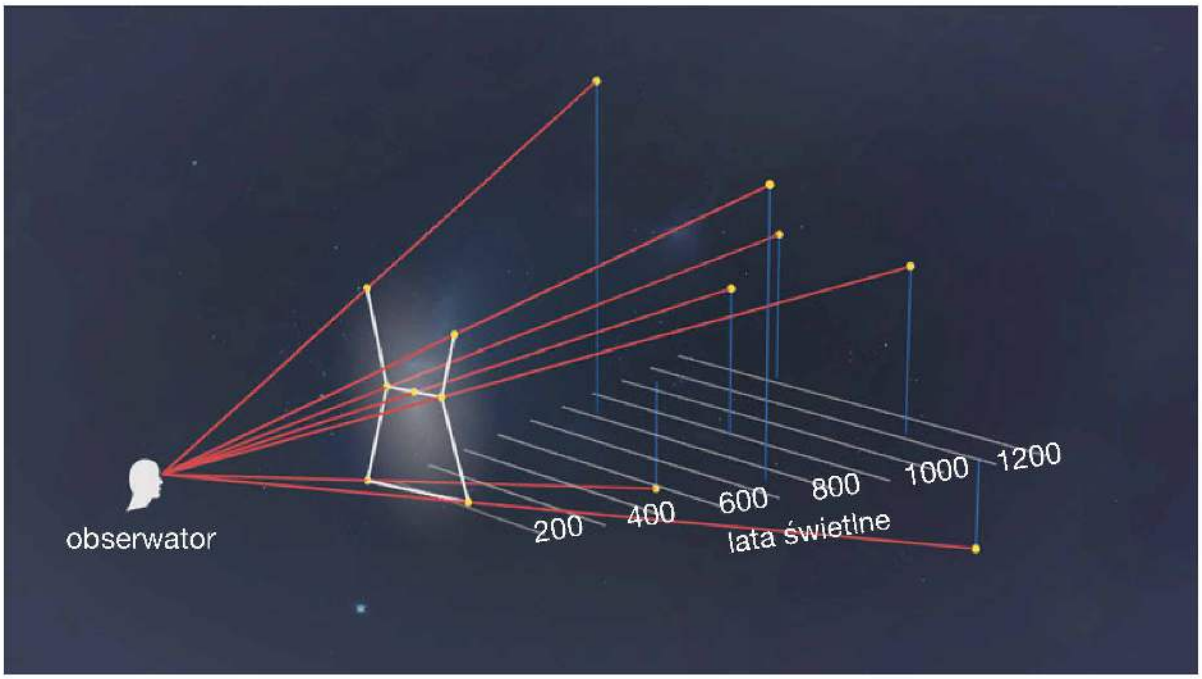
Zachęcamy do obserwacji nieba. Można je prowadzić gołym okiem bądź za pomocą lornetki lub lunety. Jeśli zainteresujesz się astronomią, warto włączyć się w prace jednego z towarzystw czy klubów astronomicznych. Pozwoli ci to poszerzać wiedzę, wymieniać doświadczenia i korzystać z lepszego sprzętu.

> Nigdy nie patrz przez lornetkę ani teleskop na Słońce! Grozi to utratą wzroku w ciągu ułamka sekundy. Patrzenie na Słońce gołym okiem również jest szkodliwe.

W wielkim mieście, nawet gdy niebo jest bezchmurne, nie widać zbyt wielu gwiazd. Aby prowadzić obserwacje nieba, trzeba więc znaleźć miejsce położone z dala od świateł latarń i domów, np. w czasie wycieczki szkolnej.
Kiedy wreszcie znajdziesz się w odpowiednim miejscu, musisz przyzwyczaić wzrok do ciemności. Następuje to dopiero po jakiejś półgodzinie.

Gwiazdozbiory

Spoglądając na niebo w pogodną noc, widzisz, że gwiazdy nie wypełniają nieba równomiernie i mają różne jasności. Przyjrzyj się im dokładniej. Zwróć uwagę, że tworzą one różne wzory. Na pewno odnajdziesz lekko pochyloną literę W, a także kształt przypominający wózek. Takie charakterystyczne układy gwiazd nazywamy **gwiazdozbiorami**. Wiele spośród znanych dziś gwiazdozbiorów nazwano przed kilkoma tysiącami lat, ale ich ostateczną liczbę (88) i kształty ustalono w 1830 r. Gwiazdy należące do jednego gwiazdozbioru nie zawsze znajdują się blisko siebie w kosmosie: niektóre z nich są położone blisko Ziemi, inne – bardzo daleko. Tak się jednak złożyło, że można je obserwować, patrząc na niebo w podobnym kierunku (patrz rys. poniżej).



▲ Gwiazdy, które widzimy na niebie jako bliskie, mogą znajdować się w kosmosie daleko od siebie

Gwiazdy wschodzą i zachodzą

Gdy przez dłuższy czas obserwujemy gwiaździste niebo, widzimy, że się obraca. Wykonuje jeden obrót w ciągu doby. Nieruchoma pozostaje jedynie Gwiazda Polarna, a inne gwiazdy zataczają wokół niej okręgi na niebie. W trakcie tego ruchu gwiazdy położone na naszym niebie daleko od Gwiazdy Polarnej wschodzą, unoszą się coraz wyżej, a później zachodzą, podobnie jak w ciągu dnia dzieje się ze Słońcem.

> Obserwowany przez nas ruch Słońca i gwiazd wynika z obrotu Ziemi wokół własnej osi, który trwa ok. 24 godzin.

Na przedłużeniu osi obrotu Ziemi nad biegunem północnym znajduje się **Gwiazda Polarna** – i dlatego to ona wskazuje północ. A jak wygląda niebo na półkuli południowej? Widać na nim wiele gwiazdozbiorów niewidocznych z Polski. Niestety, mieszkańcy półkuli południowej nie mają swojej Gwiazdy Polarnej – na południowym przedłużeniu osi obrotu Ziemi nie znajduje się żadna jasna gwiazda.



▲ Na zdjęciu naświetlanym przez ponad godzinę widać ślady ruchu gwiazd na niebie

Aplikacje dla smartfonów

Najprostszym sposobem prowadzenia obserwacji gwiazd i planet jest użycie smartfona. Dla obu najpopularniejszych systemów operacyjnych, Androida oraz iOS, możemy zainstalować darmowe lub kosztujące kilka złotych aplikacje prowadzące nas po niebie. Jedynym utrudnieniem jest to, że niemal zawsze dostępne są tylko angielskojęzyczne wersje. Jednak ich obsługa jest intuicyjna nawet dla niezbyt dobrze znających ten język.

Najczęściej gdy skierujemy smartfon ku niebu, zobaczymy na ekranie podpisane konstelacje i planety widoczne w tle. Aplikacja korzysta wtedy z GPS i żyroskopu telefonu. Niektóre z aplikacji umożliwiają odtworzenie wyglądu nieba nie tylko w danej chwili, lecz także o innej, zadanej porze. Można w nich też poszukać danych o sztucznych obiektach nad naszymi głowami – satelitach.

Popularne i darmowe aplikacje do obserwacji nieba to np. **SkyView Free**, **Night Sky**, **Star Chart**, **Star Walk 2** oraz **SkyMap**. W tej ostatniej możemy się też zapoznać z mitami i legendami związanymi z poszczególnymi konstelacjami. Miłośnikom obserwacji Układu Słonecznego powinna spodobać się aplikacja **Solar Walk 2**, pozwalająca odwiedzać i poznawać jego planety i inne ciała niebieskie. Żądni wiedzy powinni też zainstalować aplikację **NASA**, w której odnajdą mnóstwo bieżących i archiwalnych filmów i zdjęć oraz informacji o misjach kosmicznych tej agencji i dokonywanych przez nią odkryciach.



▲ Obserwacja nieba za pomocą smartfona

Entuzjastów obserwacji satelitów może z kolei zainteresować **ISS Detector**, pokazujący położenie i przeloty nad nami Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Natomiast obrazy rejestrowane przez stację można podziwiać dzięki **ISS HD Live**. A nasz naturalny satelita? W Sieci znajdziemy też aplikacje poświęcone obserwacjom Księżyca, np. Moon Atlas 3D.

Mapy nieba – komputerowe i tradycyjne

Nie da się wydrukować mapy przedstawiającej zawsze obowiązujący układ gwiazd i planet na niebie, bo jego wygląd zmienia się z godziny na godzinę. Jednak dzięki odpowiednim programom komputerowym możemy obejrzeć i wydrukować mapę nieba na czas planowanych obserwacji.

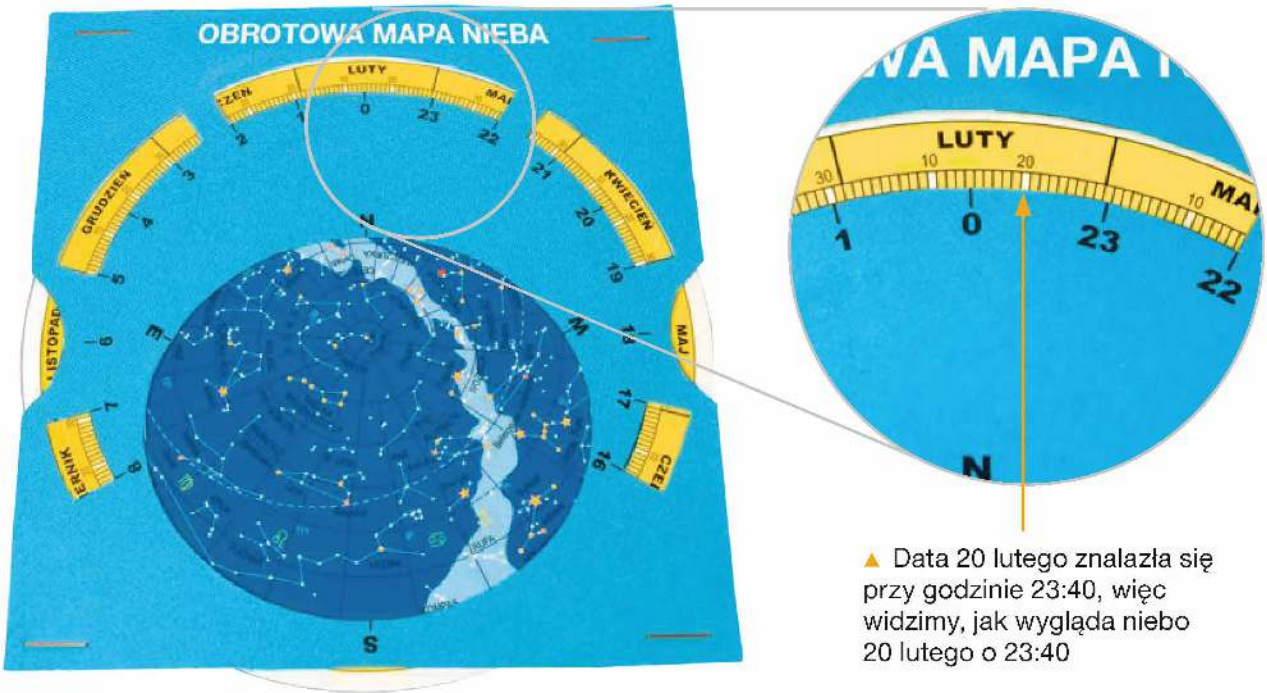
Bardzo pożyteczny jest darmowy **program Stellarium** (dostępny również w wersji płatnej jako aplikacja na smartfona). Jego obsługa jest prosta i intuicyjna, a zakres zgromadzonych danych o kosmicznych obiektach – bardzo szeroki. Alternatywnie możemy też poszukać **programu Celestia**, który pozwala zobaczyć (niemal) dowolne miejsce we Wszechświecie.

Jeśli natomiast nie mamy do dyspozycji komputera, warto skorzystać z mapy na dany miesiąc wydrukowanej w czasopiśmie popularnonaukowym, np. w miesięczniku „Wiedza i Życie", albo z mapy obrotowej.

Korzystanie z obrotowej mapy nieba

Obrotowa mapa nieba pozwala sprawdzić położenie gwiazd w dowolnie wybranym momencie. Nie zaznacza się na niej planet ani Księżyca, gdyż zmieniają one swoje położenie względem gwiazd. Składa się ona z dwóch części:

- ruchomej mapy z zaznaczonym położeniem gwiazd,
- nakładki z owalnym otworem, w którym widać fragment mapy.



▲ Data 20 lutego znalazła się przy godzinie 23:40, więc widzimy, jak wygląda niebo 20 lutego o 23:40

Okienka z datą pozwalają ustalić, jak wygląda niebo danego dnia o określonej godzinie. W celu ustawienia mapy obróć jej ruchomą część tak, aby planowana data obserwacji, widoczna w okienku, spotkała się z godziną obserwacji, zapisaną na nakładce (na zdjęciu na poprzedniej stronie strzałką zaznaczono datę 20 lutego i godzinę 23:40). Wówczas w wycięciu ukaże się przewidywany obraz nieba.
Dzięki obrotowej mapie można także sprawdzić, w jakich godzinach i o jakiej porze roku widoczne są interesujące nas gwiazdy.
Mapa jest przystosowana do czasu zimowego. W okresie obowiązywania czasu letniego (od ostatniej niedzieli marca do ostatniej niedzieli października) należy ustawiać mapę na porę o godzinę wcześniejszą od planowanego terminu obserwacji.
Aby mapa bardzo dokładnie przedstawiała widok nieba w twojej okolicy o wyznaczonej godzinie, musisz jeszcze uwzględnić poprawkę związaną z długością geograficzną, na której leży miejsce obserwacji. Różnica jest największa dla miejscowości znajdujących się we wschodniej Polsce i wynosi tam nawet 36 minut. Orientacyjne poprawki dla poszczególnych miejscowości odnajdziesz na mapie poniżej.

Jak szukać planet na niebie

Znalezienie planet może być trudniejsze, ponieważ zmieniają one swoje położenie względem gwiazd. Jeśli będziesz korzystać z obrotowej mapy nieba, najpierw musisz zaznaczyć na niej ołówkiem położenie planety, wyznaczone za pomocą programu komputerowego. W przypadku szybko poruszającego się po niebie Merkurego zaznaczenie będzie aktualne przez kilka dni, dla Wenus – ok. miesiąca. Inne planety przemieszczają się po niebie wolniej.



◂ Mapa ukazująca różnicę między czasem urzędowym zimowym a lokalnym. Na przykład poprawka dla Warszawy wynosi 24 minuty. Aby ustalić, jak będzie wyglądało niebo nad Warszawą o 23:00 czasu zimowego, należy ustawić ją na 23:24, w przypadku 23:00 czasu letniego – na 22:24

Pytania i zadania

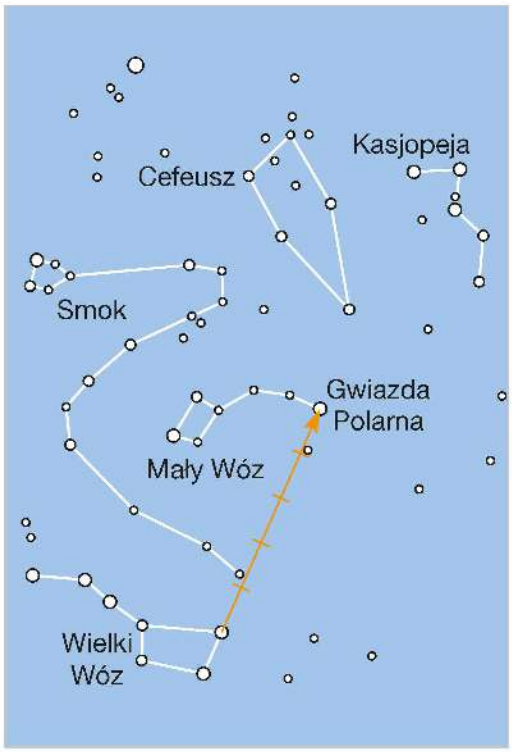
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. Skorzystaj z mapy nieba (obrotowej lub komputerowej).

1. Ustaw mapę na 15 września na godz. 22:00 i sprawdź:
   a) jaki gwiazdozbiór widać wyraźnie po północnej stronie nieba.
   b) po której stronie nieba znajduje się gwiazdozbiór Lutni.
2. Sprawdź, które z gwiazdozbiorów: Łabędź, Byk, Smok czy Bliźnięta, są widoczne w całości wieczorem przez cały rok, które tylko latem, a które – wyłącznie zimą.
3. Ustal, o której godzinie w nocy z 24 na 25 grudnia wschodzi Syriusz – położona w gwiazdozbiorze Wielkiego Psa najjaśniejsza gwiazda na polskim niebie.

Obserwacje

A. Gwiazda Polarna



1. Znajdź na niebie Wielki Wóz.

Uwaga. Gwiazdozbiór, w skład którego wchodzi Wielki Wóz, jest nazywany przez astronomów Wielką Niedźwiedzicą.

2. Spójrz na dwie gwiazdy z tyłu Wielkiego Wozu. Jeśli pięciokrotnie przedłużysz „do góry wozu" łączący je odcinek, odnajdziesz niezbyt jasny, ale bardzo ważny punkt – Gwiazdę Polarną. Wskaż ją palcem. Później opuść rękę tak, by znalazła się na linii horyzontu. Twoja ręka pokaże dokładnie kierunek północny.
3. Stań twarzą ku północy i pokaż pozostałe strony świata.
4. Obserwuj, co się dzieje z gwiazdami w ciągu godziny. Czy położenie gwiazd unoszących się nisko nad horyzontem na wschodzie się zmienia? Co się stało z gwiazdami, które wcześniej znajdowały się nisko na zachodzie? A Gwiazda Polarna – czy dalej wskazuje ten sam kierunek?
5. Sprawdź to, ponownie, znajdując Gwiazdę Polarną w sposób opisany wyżej.

B. Szukanie gwiazdozbiorów

1. Weź mapę nieba (jeśli jest to mapa obrotowa, ustaw ją na właściwą godzinę).
2. Stań na otwartej przestrzeni, twarzą ku południowi. Podnieś mapę nad głowę tak, by jej dół wskazywał południe, a góra znajdowała się za tobą, czyli była skierowana na północ.
3. Spróbuj odnaleźć na niebie najjaśniejsze gwiazdy, które widzisz na mapie. Dzięki temu zorientujesz się, gdzie szukać kolejnych, słabiej świecących gwiazd.
4. Poszukaj gwiazdozbiorów. Wielką i Małą Niedźwiedzicę odnajdziesz na niebie każdej pogodnej nocy, podobnie – bardzo charakterystyczny gwiazdozbiór Kasjopei. Wiele gwiazdozbiorów obserwujemy na niebie tylko przez część roku. Zimą warto poszukać Oriona, latem – Herkulesa i Wolarza.



16. Ruch satelitów

Cele lekcji

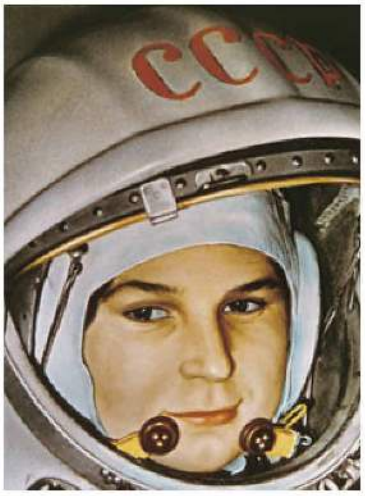
- Nauczysz się opisywać ruch sztucznych satelitów wokół Ziemi.
- Dowiesz się, od czego zależy prędkość satelity na orbicie.
- Poznasz krótką historię lotów kosmicznych.

Początki astronautyki

Już od ponad sześciu dekad Księżyc nie jest jedynym satelitą Ziemi. W październiku 1957 r. na orbitę okołoziemską wyniesiono radzieckiego satelitę o nazwie Sputnik. A już w listopadzie tego samego roku na pokładzie kolejnego Sputnika umieszczono żywego pasażera – psa Łajkę. Wkrótce potem do radzieckich satelitów Ziemi dołączyły satelity amerykańskie, a w 1961 r. na pokładzie statku kosmicznego Wostok 1 okrążył Ziemię pierwszy człowiek – Jurij Gagarin. W 1963 r. 48 godzin w kosmosie spędziła Walentina Tiereszkowa.

Następny przełom nastąpił, gdy 20 lipca 1969 r. w trakcie misji Apollo 11 wylądowali na Księżycu pierwsi Ziemianie – Amerykanie Neil Armstrong i Buzz Aldrin. Niestety, po kilku kolejnych lotach program księżycowy Apollo wygaszono. Dopiero dziś wraca się do pomysłu nie tylko samego lądowania na Księżycu, ale też założenia na nim stałej, zamieszkanej bazy.

Jednak ludzie przebywają dziś w kosmosie cały czas. Nad Ziemią na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej ISS przebywa nieprzerwanie od 3 do 6 osób. Prowadzą one obserwacje Ziemi i eksperymenty naukowe w stanie nieważkości. Ta stacja to największy sztuczny satelita naszej planety.



▲ Walentina Tiereszkowa – pierwsza kobieta w kosmosie

Dlaczego satelita okrąża Ziemię

Sztuczny satelita – podobnie jak Księżyc – krąży wokół Ziemi, a funkcję siły dośrodkowej pełni siła grawitacji. Jego ruch można wyjaśnić także za pomocą „działa Newtona" (patrz s. 109). Satelita porusza się na tyle szybko (jego prędkość wyraża się w kilometrach na sekundę!), że nie spada na Ziemię. Musi przy tym znajdować się ponad atmosferą, czyli kilkaset kilometrów nad Ziemią – w przeciwnym razie opór powietrza spowodowałby jego zatrzymanie i upadek.
Sztuczne satelity mają dziś zastosowanie nie tylko w badaniach naukowych. Wykorzystujemy je do prognozowania pogody, sporządzania map, nawigacji (system GPS), badania wulkanów, a nawet... wykrywania ognisk malarii.

Prędkość satelity

Obliczymy teraz, z jaką prędkością porusza się satelita na orbicie. Wiemy, że rolę siły dośrodkowej w jego ruchu odgrywa siła grawitacji. Wobec tego możemy zapisać:

$$\underbrace{\frac{mv^2}{R}}_{\text{siła dośrodkowa}} = \underbrace{\frac{GMm}{R^2}}_{\text{siła grawitacji}}$$

gdzie: M – masa Ziemi, m – masa satelity, v – prędkość satelity, R – odległość satelity od środka Ziemi, G – stała grawitacji. Przekształćmy powyższy wzór.

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{GMm}{R^2} \quad | : m$$

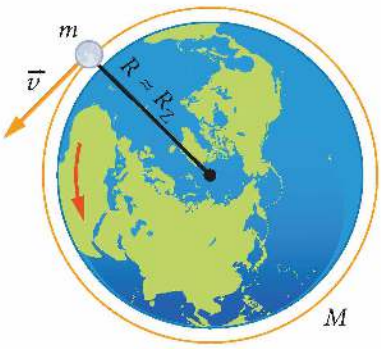
$$\frac{v^2}{R} = \frac{GM}{R^2} \quad | \cdot R$$

$$v^2 = \frac{GM}{R}$$

Stąd otrzymujemy wzór na **prędkość satelity**:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

Jeśli chcemy obliczyć prędkość satelity innej planety, możemy skorzystać z tego samego wzoru, ale za M musimy podstawić masę interesującego nas ciała niebieskiego. We wzorze nie występuje masa satelity m. Oznacza to, że każdy satelita Ziemi, niezależnie od swojej masy, po określonej orbicie porusza się z tą samą prędkością.



▲ Dla satelity na niskiej orbicie odległość od środka Ziemi jest zbliżona do promienia Ziemi

A to ciekawe

Oprócz satelitów szpiegowskich, które fotografują tereny obcych państw, w kosmosie krążą satelity cywilne. Znaczna ich część to satelity telekomunikacyjne, za pomocą których przekazuje się rozmowy telefoniczne, sygnał internetowy oraz programy telewizyjne. Do celów cywilnych wykorzystuje się też część satelitów wojskowych. Przykładem tego jest system GPS, służący do ustalania położenia na Ziemi.



Pierwsza i druga prędkość kosmiczna

Prędkość, jaką trzeba nadać ciału, aby poruszało się po orbicie przy powierzchni planety, to **pierwsza prędkość kosmiczna**. Dla Ziemi wynosi ona ok. 7,9 $\frac{km}{s}$. Z kolei druga prędkość kosmiczna pozwala oddalić się od Ziemi.



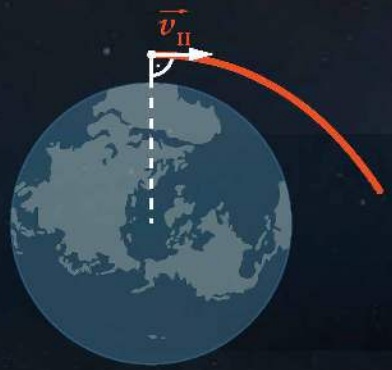
Ziemskie satelity nie obiegają planety przy jej powierzchni – większość krąży kilkaset kilometrów nad nią z powodu atmosfery hamującej ruch ciał. Dlatego prędkość satelitów jest nieco mniejsza niż pierwsza prędkość kosmiczna.

Dla innych ciał niebieskich wartości pierwszej prędkości kosmicznej będą oczywiście inne, np. dla Marsa wynosi ona 3,55 $\frac{km}{s}$, a na małej planetoidzie astronauta mógłby po prostu skoczyć do przodu, aby stać się jej satelitą. Pierwsza prędkość kosmiczna dla typowej planetoidy o promieniu 2 km to ok. 1,8 $\frac{m}{s}$.

Jeśli obiekt zostałby wystrzelony z prędkością pośrednią między pierwszą a drugą prędkością kosmiczną, to poruszałby się po orbicie eliptycznej.

$v_I < v < v_{II}$





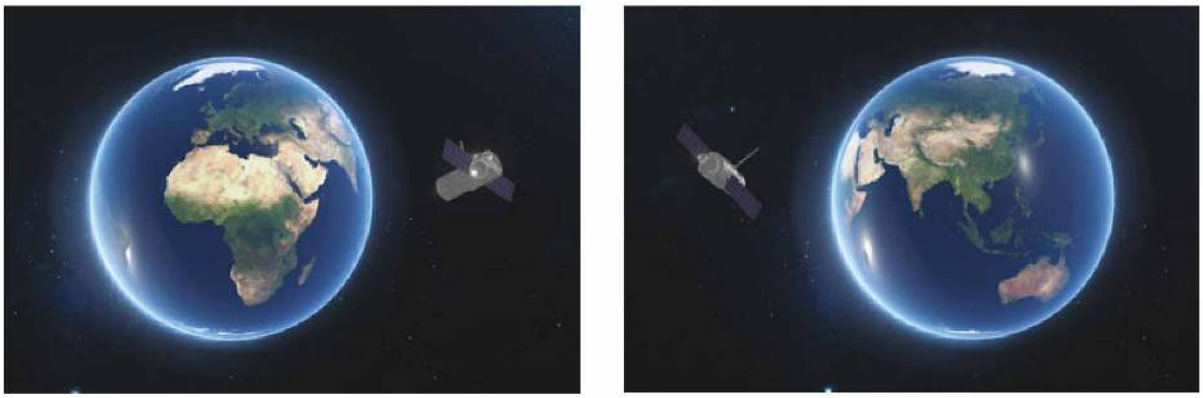
Jeśli rakieta rozwinie drugą prędkość kosmiczną, wynoszącą dla Ziemi ok. 11,2 $\frac{km}{s}$, to może z rozpędu, z już wyłączonym silnikiem, pokonać oddziaływanie grawitacyjne Ziemi i polecieć ku innym ciałom niebieskim Układu Słonecznego.

Satelita geostacjonarny

Satelita lecący na wysokości ok. 36 000 km nad Ziemią obiega ją w takim samym czasie, w jakim nasza planeta wykonuje obrót dookoła własnej osi. Jeśli taki satelita znajduje się nad równikiem, to obserwowany z Ziemi, wygląda, jakby się nie poruszał.

> Satelita geostacjonarny znajduje się przez cały czas nad tym samym punktem Ziemi.

Taki satelita może więc zostać wykorzystany jako nadajnik sygnałów odbieranych przez nieruchome anteny naziemne, np. anteny telewizji satelitarnej. Taką antenę wystarczy raz skierować we właściwym kierunku i nie trzeba jej więcej przestawiać.



▲ Satelita geostacjonarny krąży w płaszczyźnie ziemskiego równika i obiega naszą planetę w takim samym czasie, w jakim Ziemia wykonuje jeden obrót wokół własnej osi, czyli w ciągu ok. 24 h

Misje do innych planet

Badań innych planet nie prowadzą wyprawy załogowe. W tym celu wykorzystuje się obecnie kilkadziesiąt misji automatycznych. Dotarły one już do wszystkich planet naszego układu, a nawet do jego planet karłowatych. Plutona odwiedziła w 2015 r. misja New Horizons – dzięki niej mamy pierwsze dokładne zdjęcia powierzchni tego niezwykłego globu i jego systemu księżyców.

Część misji planetarnych po dotarciu do celu wchodzi na orbitę planety i staje się jej sztucznym satelitą. Obserwując swój cel z wysokości kilkuset kilometrów, taki satelita tworzy mapę powierzchni i bada właściwości atmosfery planety oraz jej otoczenia.

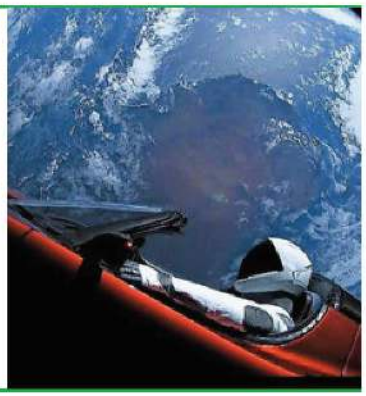
O wiele trudniejszymi misjami są próby lądowania na planetoidach, a nawet planetach: na Wenus i – najczęściej – na Marsie. Niektóre z wypraw bezzałogowych wysłanych na obrzeża Układu Słonecznego docierają już do jego granic. Dziś najdalej od Słońca znajduje się wystrzelona w 1977 r. sonda Voyager 1.

Kolejne kroki w kosmos

Trwają prace nad pierwszym załogowym lotem na inną planetę – Marsa. Pierwszym krokiem w tym kierunku będzie wysłanie misji, która pobierze próbki Czerwonej Planety i dostarczy je z powrotem na Ziemię. Gdy nauczymy się już wracać z Marsa, będą tam mogli polecieć ludzie. Będzie to jednak ogromne pod każdym względem wyzwanie – w samej drodze tam i z powrotem astronauci spędzą zapewne ponad półtora roku.

A to ciekawe

W 2018 r. jedna z prywatnych firm kosmicznych wysłała w kosmos Starmana – manekina w samochodzie elektrycznym. W ten sposób efektownie zademonstrowała, że jej rakieta Falcon Heavy jest w stanie dostarczyć na inną planetę spory ładunek. Pierwotnym celem Starmana był Mars, jednak inżynierowie misji przestrzelili swój cel. Auto krąży więc wokół Słońca po wydłużonej orbicie przecinającej orbitę Marsa, a jedno okrążenie Słońca zabiera mu ok. półtora roku.



To najważniejsze

- Sztuczny satelita krąży dookoła Ziemi zgodnie z tymi samymi prawami fizyki co Księżyc, tzn. na skutek przyciągania grawitacyjnego Ziemi.
- Obecnie planety są badane przez bezzałogowe statki kosmiczne.
- **Prędkość satelity** na orbicie wokół Ziemi zależy tylko od jego odległości R od środka Ziemi. Można ją obliczyć ze wzoru:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$, gdzie M – masa Ziemi, G – stała grawitacji.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Odpowiedz na pytania. Ile lat temu:

a) został wystrzelony na orbitę pierwszy sztuczny satelita?

b) pierwszy człowiek znalazł się w przestrzeni kosmicznej?

c) pierwszy człowiek stanął na powierzchni Księżyca?

2. Wymień kilka zastosowań satelitów.

3. Pewien satelita znajduje się na wysokości 600 km nad powierzchnią Ziemi.

a) Oblicz jego prędkość.

b) Czy jest ona mniejsza czy większa od pierwszej prędkości kosmicznej? O ile procent? Skorzystaj z infografiki na s. 120.

c) Oblicz okres obiegu tego satelity.

4. W jaki sposób badamy inne planety? Czy dolecieli tam astronauci?

5. Poszukaj w dostępnych źródłach informacji na temat zasady działania systemu GPS. Zapisz krótką notatkę w zeszycie.





17. Ciężar i nieważkość

Cele lekcji

- Przypomnisz sobie, co naprawdę mierzy waga sprężynowa.
- Dowiesz się, dlaczego czasami odczuwamy, że nasz ciężar się zmienia, oraz co to są przeciążenie i niedociążenie.
- Zrozumiesz, dlaczego w orbitującym satelicie panuje stan nieważkości.

Czy w windzie zmienia się masa

Gdy stoisz w windzie ruszającej w górę, odczuwasz, że twoje ciało staje się cięższe. Natomiast gdy winda rusza w dół, jest odwrotnie – ciało wydaje się lżejsze.

Jeśli staniesz na wadze w windzie, potwierdzi ona twoje odczucia. Jednak z naszej wiedzy fizycznej wynika, że ruch windy nie może wpływać na twoją masę. Skoro ona się nie zmienia, to bez zmian pozostaje również siła ciężkości, którą przyciąga cię Ziemia. Jak więc wyjaśnić te zjawiska? Aby odpowiedzieć na to pytanie, najpierw musimy sobie przypomnieć, co właściwie wskazuje waga sprężynowa.

Ziemia przyciąga ciało o masie m siłą ciężkości (grawitacji) o wartości: $F_g = mg$, gdzie $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$.



▲ Gdy waga spoczywa, siła nacisku jest równa sile ciężkości

Co wskazuje waga sprężynowa

Kiedy chcesz się dowiedzieć, ile ważysz, stajesz na wadze sprężynowej albo elektronicznej. Jednak, jak wiesz z lekcji 3., nie mierzy ona twojej masy bezpośrednio, ale podaje ją na podstawie pomiaru ciężaru ciała, czyli nacisku ciała na szalkę.

Gdy waga spoczywa, a ty stoisz bez ruchu na wadze, siła nacisku na nią jest równa sile ciężkości, jaką Ziemia przyciąga twoje ciało. Tylko dla wygody użytkowników waga jest wyskalowana w kilogramach, a nie w niutonach.

Przyspieszająca winda – układ nieinercjalny

W lekcji 10. omawialiśmy zachowanie się ciał w pojazdach poruszających się z pewnym przyspieszeniem. Taki pojazd jest układem nieinercjalnym, więc działają w nim siły bezwładności. Okazuje się, że podobna jest przyczyna zmian ciężaru ciała w windzie poruszającej się ruchem zmiennym, kiedy rozpatrujemy ją jako układ nieinercjalny. Zauważ, że zmiany ciężaru nie zachodzą podczas ruchu jednostajnego windy – możemy je obserwować jedynie podczas zmiany prędkości.
Podobnie jak w lekcji 10. wyjaśnimy te zjawiska zarówno z punktu widzenia układu nieinercjalnego, czyli za pomocą sił bezwładności, jak i układu inercjalnego, czyli z punktu widzenia zewnętrznego obserwatora, znajdującego się poza windą.

Przeciążenie

Zwiększenie ciężaru ciała w ruszającej do góry windzie nazywamy **przeciążeniem**. Zbadamy teraz to zjawisko. Ponieważ w większości szkół nie ma windy, a tym bardziej windy zdolnej pomieścić wszystkich uczniów z danej klasy, posłużymy się zmniejszonym modelem. Zamiast człowieka na wadze będziemy obserwować obciążnik na siłomierzu, a rolę windy odgrywać będzie ręka trzymająca siłomierz.

Doświadczenie 9.

Obserwacja przeciążenia

1. Na haczyku siłomierza powieś dowolne ciało, np. metalowy obciążnik lub piórnik.

   Uwaga. Jeśli nie masz siłomierza, możesz użyć gumki recepturki.

2. Gwałtownie pociągnij za siłomierz (lub gumkę) do góry. Jak zmienia się wskazanie siłomierza (rozciągnięcie gumki)?



Aby poruszyć ciało do góry z pewnym przyspieszeniem, musisz działać na nie siłą większą od siły grawitacji, jaką Ziemia przyciąga ciało. Dlatego wskazanie siłomierza się zwiększa. Taka sytuacja miała miejsce podczas doświadczenia.

Przeciążenie w windzie

Podobnie dzieje się, gdy znajdujesz się w windzie, która rusza do góry z pewnym przyspieszeniem (ilustracja C na infografice na s. 127). Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki Newtona siła, którą naciskasz na podłogę windy, jest równa co do wartości sile, z jaką podłoga windy działa na ciebie, ale przeciwnie do niej skierowana.
W windzie, która jedzie do góry z pewnym przyspieszeniem, podłoga działa na ciebie nie tylko siłą, która równoważy siłę ciężkości, lecz także dodatkowo siłą, która nadaje

ci przyspieszenie. Gdyby w tym momencie dokonać pomiaru siły nacisku na podłogę z użyciem wagi sprężynowej, wskazałaby ona, że twój ciężar wzrósł w porównaniu z sytuacją, gdy winda była w spoczynku. Tobie także się wydaje, że stajesz się cięższy: twoja głowa mocniej naciska na szyję, tułów na nogi itd. Jednak ten efekt nie wynika ze zmiany siły grawitacji między Ziemią a tobą, lecz z dodatkowego przyspieszenia. Oczywiście nie zmienia się również twoja masa.



▲ Specjalnie zaprojektowane fotele pozwalają astronautom znieść stan przeciążenia

W układzie odniesienia poruszającym się z przyspieszeniem skierowanym w górę, zwiększa się ciężar ciał. Nazywamy to **stanem przeciążenia**.

Stan przeciążenia występuje wtedy, gdy przyspieszenie jest skierowane w górę, ale nie zależy on od zwrotu prędkości. Gdy winda jedzie w dół i nagle hamuje, także odczuwasz przeciążenie, ponieważ do twojego ciężaru dodaje się siła powodująca hamowanie twojego ciała. Gdy skoczysz z pewnej wysokości, wyraźnie odczujesz przeciążenie w chwili zetknięcia z ziemią.

Przeciążenie – wyjaśnienie w układzie nieinercjalnym

Do tej pory opisywaliśmy zjawisko przeciążenia z punktu widzenia układu inercjalnego. A jak je wyjaśnić w układzie nieinercjalnym? W tym układzie działają siły bezwładności skierowane przeciwnie do przyspieszenia układu. Ponieważ nasz układ (czyli np. winda) porusza się z przyspieszeniem skierowanym w górę, siła bezwładności działająca na nasze ciało jest skierowana w dół i dodaje się do siły grawitacji. Nasz ciężar jest równy sumie tych sił.

Z punktu widzenia fizyki zjawisko przeciążenia jest podobne do działania siły bezwładności w ruszającym pojeździe. Różnica w naszym odbiorze tych zjawisk wynika nie z fizyki, ale ze specyfiki ludzkich zmysłów. W kierunku poziomym na ogół nie działają na nas żadne siły, dlatego siłę bezwładności o kierunku poziomym odbieramy jako nową siłę. Natomiast w kierunku pionowym zawsze działa na nas siła skierowana **w dół** – jest to siła grawitacji.

Gdy pojawia się siła bezwładności skierowana **w dół**, to odczuwamy ją jako zwiększenie ciężaru, a nie jako inną siłę działającą na nasze ciało.

W windzie przyspieszenie nie jest zbyt duże, dlatego różnice wskazań wagi nie są znaczące, ale np. w startującej rakiecie twój ciężar zwiększyłby się nawet 10 razy. Kości astronauty mogłyby nie wytrzymać takiego obciążenia, dlatego w tych okolicznościach nikt nie stoi – astronauci leżą w specjalnie zaprojektowanych fotelach (patrz zdjęcie na górze strony). Przed lotem przechodzą szkolenie przygotowujące ich organizmy do tego, aby zniosły takie przeciążenie.

Przykład 1

Obliczanie wskazania wagi w windzie ruszającej w górę

Człowiek o masie 70 kg stoi na wadze sprężynowej wyskalowanej w niutonach w windzie ruszającej w górę z przyspieszeniem 3 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Jakie są wskazania wagi w windzie nieruchomej, a jakie w ruszającej?

Dane:
$m = 70\ \text{kg}$
$a = 3\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane:
$F_g = ?$
$F_w = ?$

Rozwiązanie: Najpierw obliczamy siłę ciężkości działającą na człowieka $F_g = mg$.

$$F_g = 70\ \text{kg} \cdot 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 700\ \text{N}$$

Tyle wskazuje waga w spoczywającej windzie.
Następnie obliczamy siłę nadającą mu odpowiednie przyspieszenie, czyli $F = ma$.

$$F = 70\ \text{kg} \cdot 3\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 210\ \text{N}$$

Wskazanie wagi w ruszającej windzie jest sumą sił F_g i F: $F_w = F_g + F$

$$F_w = 700\ \text{N} + 210\ \text{N} = 910\ \text{N}$$

Odpowiedź: Waga w spoczywającej windzie wskazuje 700 N, a w ruszającej wskazuje 910 N.

Przeciążenie i niedociążenie

Z niewielkimi przeciążeniami możemy się spotkać w życiu codziennym, np. w windzie, która hamuje lub rusza.

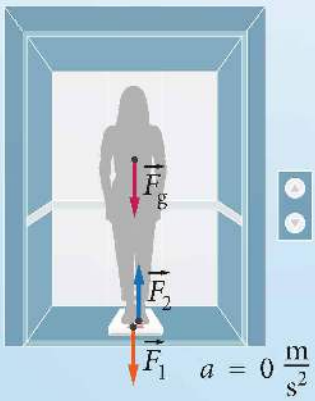
Na każdym z rysunków A, B, C widzisz osobę stojącą na wadze.
Zaznaczono na nich siły:

$\vec{F}_g$ – siła grawitacji działająca na pasażerkę (nie zależy ona od ruchu windy)

$\vec{F}_1$ – siła nacisku pasażerki na wagę (właśnie tę siłę mierzy waga)

$\vec{F}_2$ – siła nacisku wagi na stopy pasażerki.

Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ mają równe wartości.



A.

Winda stoi lub jedzie ze stałą prędkością.

Waga wskazuje **ciężar** pasażerki.

To znaczy, że siła nacisku stóp na wagę jest równa sile grawitacji działającej na pasażerkę.
W takim razie wartości tych sił są równe:
$F_1 = F_2 = F_g$

Działające na pasażerkę siły $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_g$ się równoważą i jej przyspieszenie jest równe zeru.

A to ciekawe

Pchła, jak każde skaczące zwierzę, rozpędza się tylko do chwili, gdy jej nogi oderwą się od podłoża. Ponieważ jest bardzo mała, rozpędza się bardzo szybko i w czasie skoku musi poruszać się z przyspieszeniem 300 razy większym od ziemskiego. Jej ciężar jest wtedy 300 razy większy od ciężaru w stanie spoczynku. Pchła może przeżyć takie przeciążenie m.in. dlatego, że trwa ono bardzo krótko, mniej niż 1 ms.

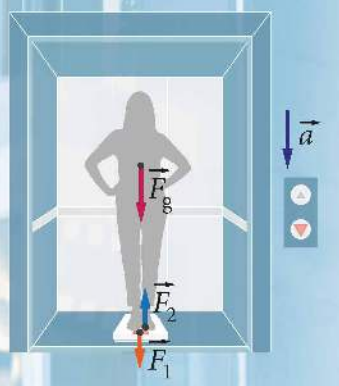


Niedociążenie

Wyobraźmy sobie teraz, że winda rusza w dół. Ty poruszasz się razem z nią z pewnym przyspieszeniem (ilustracja B poniżej). Ponieważ podłoga ucieka ci spod stóp, naciskasz na nią mniejszą siłą, a więc i podłoga naciska na ciebie słabiej niż w nieruchomej windzie, a ciężar jest mniejszy, niż gdy winda jest w spoczynku.

W układzie odniesienia poruszającym się z przyspieszeniem skierowanym w dół zmniejsza się ciężar ciała. Stan taki nazywamy **niedociążeniem**.

Podobnie jak w przypadku przeciążenia **niedociążenie zależy od zwrotu wektora przyspieszenia** (w dół), a nie od kierunku ruchu. Również gdy winda poruszająca się w górę nagle się zatrzymuje, ciężar się zmniejsza.



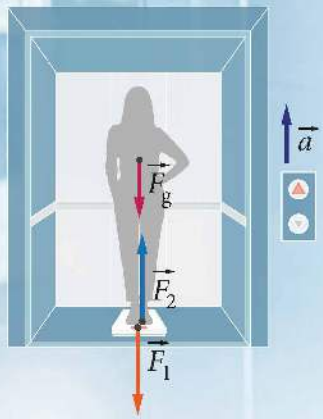
B.

Winda rusza w dół lub hamuje przy jeździe w górę.

Waga wskazuje siłę **mniejszą niż siła grawitacji F_g** działająca na pasażerkę. Obserwujemy **niedociążenie**. To znaczy, że siła nacisku stóp na wagę jest mniejsza niż F_g:

$$F_1 = F_2 < F_g$$

Spośród sił działających na pasażerkę większa jest siła $\vec{F}_g$, skierowana w dół. Ona przeważa, więc pasażerka porusza się z przyspieszeniem skierowanym w dół.



C.

Winda rusza w górę lub hamuje przy jeździe w dół.

Waga wskazuje siłę **większą niż siła grawitacji F_g** działająca na pasażerkę. Obserwujemy **przeciążenie**. To znaczy, że siła nacisku stóp na wagę jest większa niż F_g:

$$F_1 = F_2 > F_g$$

Spośród sił działających na pasażerkę większa jest siła $\vec{F}_2$, skierowana w górę. Ona przeważa, więc pasażerka porusza się z przyspieszeniem skierowanym w górę

Jak opisać niedociążenie z punktu widzenia układu nieinercjalnego? W tym przypadku przyspieszenie układu (windy) jest skierowane **w dół**, a więc na pasażera windy działa siła bezwładności skierowana **w górę**. Wobec tego waga wskazuje mniejszy ciężar.

Przykład 2

Obliczanie wskazania wagi w windzie ruszającej w dół

Człowiek o masie 70 kg stoi na wadze sprężynowej wyskalowanej w niutonach w windzie ruszającej w dół z przyspieszeniem $4\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$. Jaki ciężar wskazuje waga? Jaka siła grawitacji działa na ciało człowieka? Czy jego masa uległa zmianie?

Dane:
$m = 70\ \mathrm{kg}$
$a = 4\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

Szukane:
$F_g = ?$
$F_w = ?$

Rozwiązanie: Na początku postępujemy podobnie jak w przykładzie 1. Obliczamy siłę grawitacji działającą na człowieka $F_g = mg$.

$$F_g = 70\ \mathrm{kg} \cdot 10\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 700\ \mathrm{N}$$

Potem obliczamy wartość siły nadającej przyspieszenie $F = ma$.

$$F = 70\ \mathrm{kg} \cdot 4\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 280\ \mathrm{N}$$

Wskazanie wagi w windzie ruszającej w dół jest różnicą sił F_g i F.

$$F_w = F_g - F$$

$$F_w = 700\ \mathrm{N} - 280\ \mathrm{N} = 420\ \mathrm{N}$$

Odpowiedź: Waga wskazuje 420 N. Siła grawitacji działająca na człowieka nadal ma wartość 700 N, a jego masa nie ulega zmianie.

Nieważkość

Im większe jest przyspieszenie windy poruszającej się w dół, tym mniejszy będzie ciężar ciała wskazywany przez wagę. Wyobraź sobie, że winda spada (porusza się w dół z przyspieszeniem $g = 10\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$). W tej sytuacji znajdujące się w niej ciało nie naciskałoby na wagę, która wskazywałaby wówczas zero. Cała siła grawitacji „zużywałaby się" bowiem na nadanie mu przyspieszenia równego przyspieszeniu ziemskiemu g. Ciało nie oddziaływałaby na podłogę, a zatem i podłoga nie naciskałaby na ciało.
Gdyby w spadającej windzie wypadł ci z ręki jakiś przedmiot, okazałoby się, że nie spada on na podłogę. Gdyby winda była przeszklona, obserwator stojący na schodach stwierdziłby, że upuszczone ciało spada, ale ponieważ wszystkie ciała znajdujące się w windzie spadają z tym samym przyspieszeniem równym przyspieszeniu ziemskiemu, nie poruszają się **względem windy**.
Ty zaś czujesz, że twój ciężar jest zerowy. Stan taki nazywamy **nieważkością**.

> Jeśli ciało porusza się z przyspieszeniem równym przyspieszeniu ziemskiemu g i skierowanym w dół, znajduje się w stanie nieważkości, choć siła grawitacji wciąż na nie działa.

Podobnie jak w przypadku przeciążenia do badania stanu nieważkości można wykorzystać ciało zawieszone na siłomierzu, np. piórnik. Wyobraź sobie, że ktoś stanął na stołku z siłomierzem w ręku, odczytał jego wskazanie, a następnie, zachowując ostrożność, zeskoczył, cały czas obserwując wskazanie siłomierza. Czy mógł zaobserwować coś ciekawego? Otóż tak. Ta osoba wraz z siłomierzem i zawieszonym na nim piórnikiem znajdowała się w krótkotrwałym stanie nieważkości.
Gdy piórnik spadał, siłomierz wskazywał zero (patrz zdjęcie obok).



▲ Piórnik znajduje się w stanie nieważkości. Siłomierz wskazuje 0 N

Z punktu widzenia układu nieinercjalnego możemy opisać nieważkość w spadającej windzie za pomocą sił bezwładności. W tym przypadku siła bezwładności działająca na ciało jest równa sile grawitacji, ale przeciwnie skierowana. Wobec tego siła bezwładności równoważy siłę grawitacji.

Na orbicie

Sztuczny satelita Ziemi znajdujący się na jej orbicie „spada" w stronę środka Ziemi podobnie jak Księżyc. Gdyby astronauta wyszedł ze statku na zewnątrz, „spadałby" dokładnie tak samo jak ten satelita i nie poruszałby się względem niego.
Zauważ, że nie ma znaczenia, czy astronauta jest wewnątrz czy na zewnątrz statku. Także wewnątrz statku kosmicznego człowiek „spada" w taki sam sposób jak satelita. Może więc zawisnąć nad podłogą. Nie porusza się względem satelity i dlatego jego ciężar jest zerowy.
Nieważkość panująca w statku kosmicznym na orbicie nie oznacza zaniku siły grawitacji. Gdyby nie ta siła, zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki statek poruszałby się po prostej, oddalając się od Ziemi. Nieważkość wynika stąd, że ciała wewnątrz statku „spadają" razem z nim. Sytuacja jest podobna jak w spadającej swobodnie windzie. Stan nieważkości można zaobserwować także w samolocie (zob. infografika na następnej stronie).



▲ Astronauci 240 km nad powierzchnią Ziemi testują plecak napędowy SAFER

A jak opisać tę sytuację **w układzie nieinercjalnym**, związanym ze stacją kosmiczną? W tym układzie, poruszającym się po orbicie wokół Ziemi, także występuje odśrodkowa siła bezwładności. Równoważy ona siłę grawitacji działającą na ciała na pokładzie stacji.

Stan nieważkości

Stan nieważkości można uzyskać w samolocie poruszającym się z przyspieszeniem równym g i skierowanym w dół.

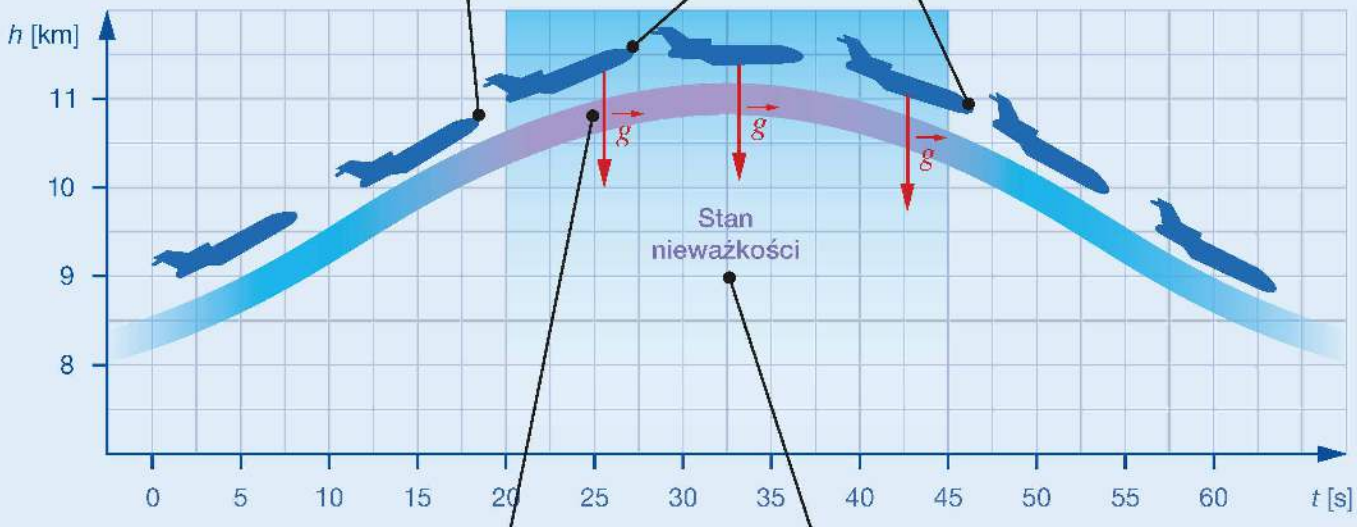




Przez kilkadziesiąt sekund w samolocie panują takie same warunki jak na stacji kosmicznej.

Pod koniec wznoszenia się samolotu pilot redukuje moc silników tak, aby ich ciąg jedynie kompensował opory powietrza.

Samolot znajduje się w stanie nieważkości zarówno podczas wznoszenia, przez chwilę w locie poziomym, jak i w trakcie opadania.



Przyspieszenie samolotu może być skierowane w dół także podczas lotu w górę (jak w przypadku podrzuconego kamienia).

W tej fazie lotu samolot porusza się po podobnym torze jak rzucony kamień, a wewnątrz przez ok. pół minuty panuje stan nieważkości.

To najważniejsze

- Waga sprężynowa nie mierzy bezpośrednio masy ciała, ale nacisk ciała na szalkę.
- Gdy poruszasz się z przyspieszeniem skierowanym do góry (np. przyspieszasz, poruszając się w górę, lub hamujesz, poruszając się w dół), odczuwasz zwiększenie się ciężaru. Stan ten nazywamy **przeciążeniem**.
- Odwrotnie jest, gdy poruszasz się z przyspieszeniem skierowanym w dół. Stan ten nazywamy **niedociążeniem**.
- W „spadającym" satelicie w ogóle nie odczuwamy ciężaru – panuje tam **stan nieważkości**.
- Przeciążenie, niedociążenie i stan nieważkości nie wynikają ze zmiany siły grawitacji, ale z przyspieszonego ruchu układu odniesienia.
- W układzie nieinercjalnym przeciążenie, niedociążenie i nieważkość można wyjaśnić za pomocą sił bezwładności.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Gdy Robert ważył się w nieruchomej windzie, waga wskazywała 80 kg. Gdy winda ruszała, waga przez chwilę wskazywała 90 kg.
   a) W którą stronę pojechała winda?
   b) Jaki był ciężar Roberta w windzie nieruchomej i w poruszającej się?
   c) Z jakim przyspieszeniem poruszała się winda?
2. Wyobraź sobie, że znajdujesz się w zamkniętej, nieprzeszklonej kabinie windy. Nagle odczułeś niewielkie przeciążenie. Zastanawiasz się, czy winda rusza w górę, czy też hamuje, jadąc w dół. Czy możesz to stwierdzić na podstawie obserwowanych przez siebie zmian własnego ciężaru?
3. W windzie umieściliśmy wagę szalkową i wagę sprężynową. Na każdej z nich położyliśmy jednakowy drewniany klocek, przy czym na wadze szalkowej umieściliśmy także tyle odważników, aby waga była w równowadze. Gdy winda ruszyła w górę, wskazanie wagi sprężynowej zmieniło się z 200 g na 220 g. Jakie były wskazania wagi szalkowej?



Doświadczenie domowe

Obserwacja zmian ciężaru

1. Zabierz do windy wagę sprężynową (mechaniczną).
2. Stań na wadze w windzie i zanotuj jej wskazania, gdy winda:
   - stoi,
   - jedzie ze stałą prędkością w dół lub w górę,
   - rusza (osobno: w dół i w górę),
   - hamuje (osobno: przy jeździe w dół i jeździe w górę),
3. Na podstawie uzyskanych danych oblicz przyspieszenie windy w każdej z opisanych sytuacji.

Uwaga. Do doświadczenia możesz użyć także elektronicznej wagi kuchennej, na której postawisz np. torebkę cukru.





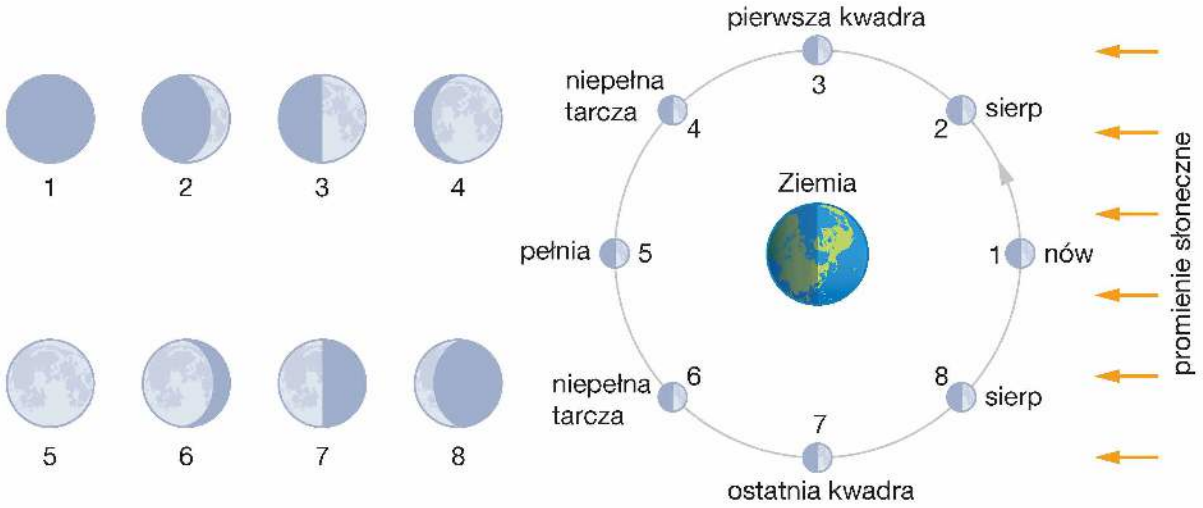
18. Księżyc – towarzysz Ziemi

Cele lekcji

- Poznasz fazy Księżyca i przyczynę ich występowania.
- Dowiesz się, kiedy następuje zaćmienie Księżyca, a kiedy zaćmienie Słońca.
- Zrozumiesz, dlaczego z Ziemi widzimy tylko jedną stronę Księżyca.
- Nauczysz się więcej na temat budowy i powierzchni naszego naturalnego satelity.

Fazy Księżyca

Obiegający Ziemię Księżyc, jej jedyny naturalny satelita, nie świeci własnym światłem, ale odbija światło słoneczne. To, jak dużą część jego tarczy widzimy, zależy od wzajemnego położenia Słońca, Księżyca i Ziemi – mówimy wówczas o **fazach Księżyca**. Układ tych trzech ciał niebieskich w przestrzeni ulega zmianom, ponieważ Księżyc okrąża Ziemię, a Ziemia – Słońce.



▲ Przyczyna występowania faz Księżyca (ilustracja dla półkuli północnej)

- Jeśli Słońce znajduje się z tej samej strony Ziemi co Księżyc (ale oczywiście znacznie dalej), oświetla tylko tę jego połowę, której z Ziemi nie widać. „Nasza" strona Księżyca pozostaje ciemna, dlatego nie możemy jej zobaczyć. Taką fazę Księżyca nazywamy **nowiem**.
- Później Słońce oświetla Księżyc „z boku" i widzimy coraz większą część jego tarczy. Gdy widoczna staje się już połowa tarczy Księżyca, mówimy, że jest on **w pierwszej kwadrze**.
- Gdy Słońce i Księżyc znajdują się po przeciwnych stronach Ziemi, możemy zobaczyć oświetloną całą tarczę Księżyca. Mówimy wówczas, że jest **pełnia**.
- Po pełni z Ziemi obserwujemy coraz mniejszą część tarczy Księżyca. Gdy widać jej połowę, Księżyc jest **w ostatniej kwadrze**.

Cały cykl faz Księżyca trwa 29,5 dnia, czyli nieco ponad 4 tygodnie. Poszczególne fazy następują więc w odstępach nieco dłuższych niż tydzień.
Mechanizm powstawania zmian faz Księżyca można pokazać na prostym modelu. Do wykonania doświadczenia będzie potrzebny model Księżyca (np. globus lub piłka), jasno świecąca lampka i zaciemnione pomieszczenie.

Doświadczenie 10.

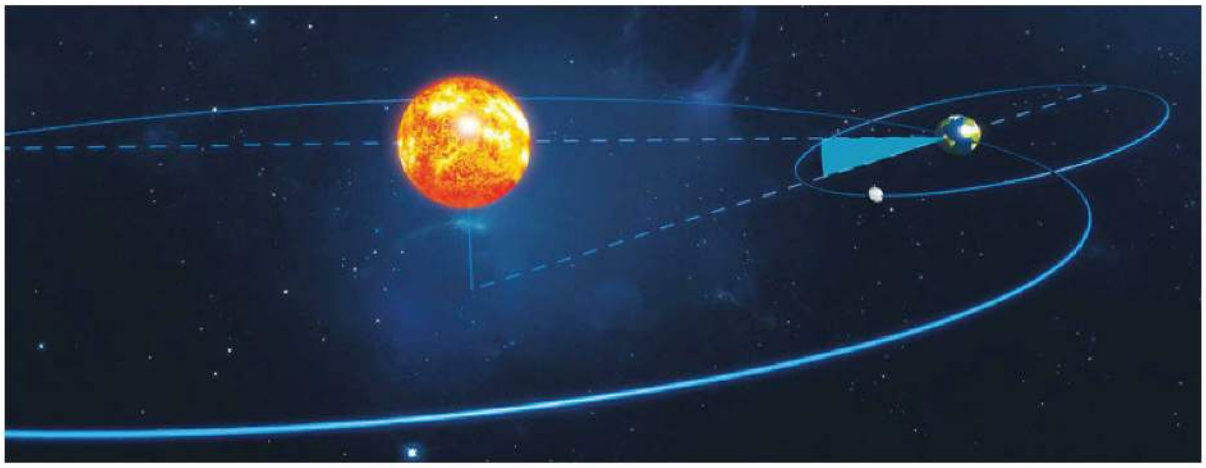
Obserwacja faz Księżyca (model)

1. Ustaw lampkę tak, aby z pewnej odległości oświetlała globus (model Księżyca).
2. Stań między lampką a globusem tak, aby nie zasłaniać światła lampki. Jaki kształt ma oświetlona część globusa? Jakiej fazie Księżyca odpowiada ta sytuacja?
3. Ustaw globus tak, aby między globusem, tobą i lampką powstał kąt prosty. Jaką fazę Księżyca obserwujesz?
4. Ustaw globus między tobą a lampką, ale nieco powyżej lub poniżej żarówki. Czy widzisz oświetloną część?





Czy nie zdziwiło cię, że Księżyc jest w pełni, gdy znajduje się po przeciwnej stronie Ziemi niż Słońce? Czy cień rzucany przez Ziemię nie powinien go wówczas zasłaniać? Na ogół nie, ponieważ płaszczyzna orbity Księżyca obiegającego Ziemię jest nachylona pod pewnym kątem do płaszczyzny orbity Ziemi w jej ruchu wokół Słońca (patrz rys. na następnej stronie).



▲ Nachylenie orbity Księżyca względem orbity Ziemi

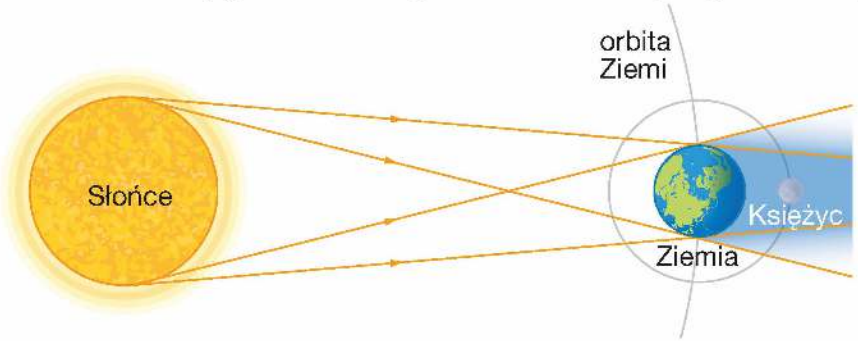
Czy teraz rozumiesz, dlaczego w doświadczeniu pojawiło się polecenie: „ustaw model Księżyca między tobą a lampką, ale nieco powyżej lub poniżej żarówki”?

Zaćmienie Księżyca

Księżyc zazwyczaj przechodzi nieco nad lub pod ziemskim cieniem. Jednak przeciętnie dwa razy w roku wchodzi w cień Ziemi. Obserwujemy wtedy **zaćmienie Księżyca**.

> Podczas zaćmienia Księżyca jest on słabo widoczny, ponieważ Ziemia zasłania Księżycowi światło Słońca.

Dlaczego Księżyc w trakcie zaćmienia w ogóle jest widoczny? Otóż oświetla go światło przechodzące przez ziemską atmosferę. Dlatego od ilości zawartych w niej pyłów zależy kolor zaćmionej tarczy Księżyca. Ta ilość zmienia się np. na skutek wybuchów wulkanów i wielkich pożarów.
Oczywiście zaćmienie Księżyca zdarza się w czasie, w którym powinna być pełnia.



▲ Ustawienie Słońca, Ziemi i Księżyca podczas zaćmienia Księżyca

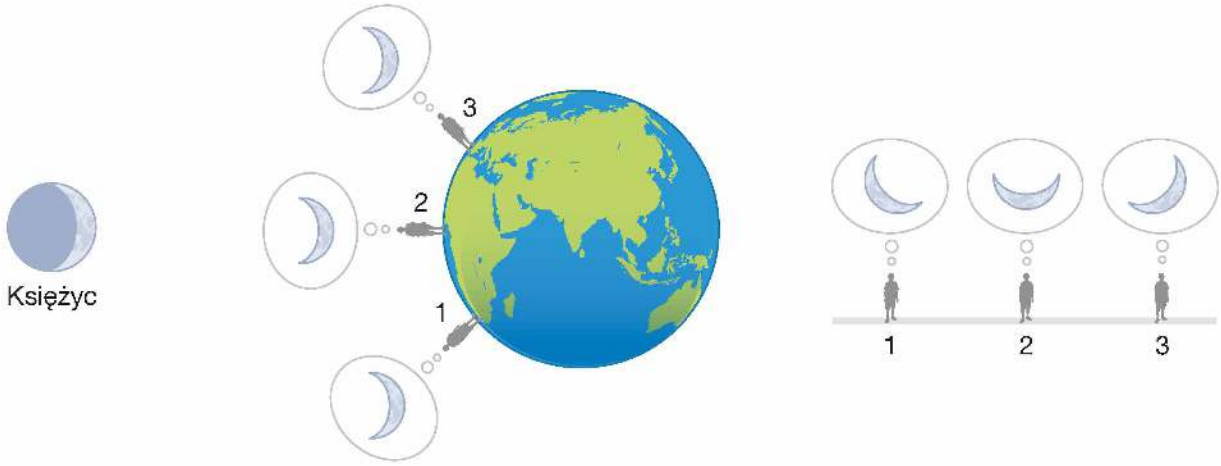
A to ciekawe

W lipcu 2018 r. mogliśmy obserwować całkowite zaćmienie Księżyca. Ponieważ nasz satelita znajdował się w minimalnej odległości od Ziemi, był szczególnie dobrze widoczny. Następna taka okazja zdarzy się dopiero w 2033 r.
Na „zwykłe” całkowite zaćmienie Księżyca poczekamy krócej: do 16 maja 2022 r. Kolejna data to 14 marca 2025 r.



Fazy Księżyca z różnych szerokości geograficznych

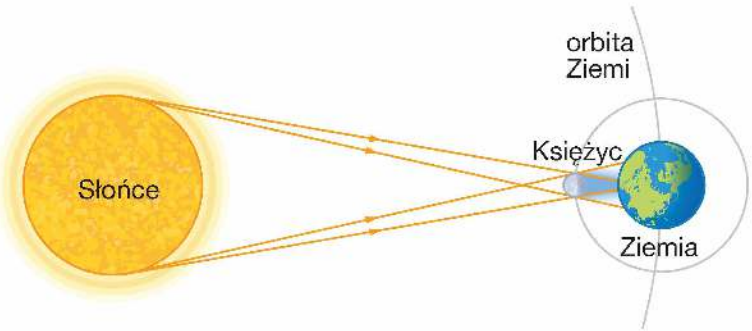
Na ilustracjach przedstawiliśmy Księżyc w poszczególnych fazach, tak jak go widać z Polski i ogólnie – z umiarkowanych szerokości geograficznych na półkuli północnej. W Australii czy Afryce Południowej fazy wyglądają przeciwnie. Natomiast w okolicach równika Księżyc ma kształt sierpa z rogami do góry lub na dół. Dlaczego tak jest? Wyjaśnienie przedstawiono na rysunku. Aby zobaczyć, co widzi każdy z obserwatorów, obróć książkę tak, aby ustawić obserwatora głową do góry.



Zaćmienie Słońca

Czy jest możliwa sytuacja odwrotna, tzn. czy Ziemia może wejść w cień Księżyca? Czasem się to zdarza. Jednak cień Księżyca jest o wiele mniejszy od Ziemi i przykrywa tylko niewielką część jej powierzchni. Na tym obszarze Ziemi obserwujemy wówczas **zaćmienie Słońca**. Jak myślisz, w jakiej fazie jest wtedy Księżyc?

> Podczas zaćmienia Słońca jest ono niewidoczne, ponieważ zasłania je Księżyc.



▲ Ustawienie Słońca, Ziemi i Księżyca podczas zaćmienia Słońca

To, że Słońce i Księżyc widziane z Ziemi wyglądają tak, jakby miały jednakową wielkość, jest wynikiem niezwykle korzystnego zbiegu okoliczności. W rzeczywistości średnica Słońca jest ok. 400 razy większa od średnicy Księżyca, ale Słońce znajduje się ok. 400 razy dalej od Ziemi niż Księżyc.

Tajemniczy Księżyc

Czy wiesz, że z Ziemi widzimy zawsze tylko jedną stronę Księżyca? Jak to możliwe? Wykonaj doświadczenie, a samodzielnie to odkryjesz.

Doświadczenie 11.

Model ruchu Księżyca wokół Ziemi

1. Ustaw krzesło tak, żeby można je było obejść (wyobraź sobie, że to Ziemia), i stań przodem do niego.
2. Przesuwaj się wokół krzesła, przez cały czas pozostając przodem do niego (poczuj się Księżycem!).
3. Teraz pomyśl: przez cały czas krzesło znajdowało się przed tobą – nie pokazałeś mu swojej „drugiej strony". Jednocześnie obróciłeś się wokół swojej osi – jeśli patrzyłeś na pokój, widziałeś kolejno wszystkie jego ściany.
4. Jeśli nie jesteś pewien, że tak było, obróć się tak jeszcze raz, tym razem już bez krzesła.



Okazuje się, że **Księżyc obraca się wokół własnej osi w takim samym czasie, w jakim obraca się wokół Ziemi** – podobnie jak ty w doświadczeniu obracasz się w tym samym tempie dookoła krzesła i własnej osi.

Powierzchnia Księżyca

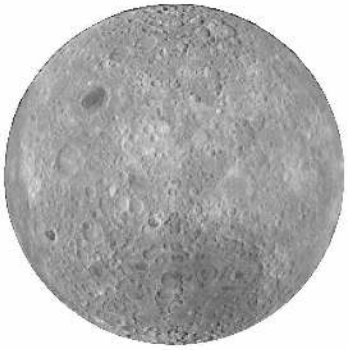
Jak wygląda powierzchnia Księżyca? Nawet gołym okiem dostrzeżemy na niej dwa rodzaje obszarów: jasne fragmenty skorupy zakrzepłej niedługo po powstaniu naturalnego satelity Ziemi i ciemniejsze obszary, zwane morzami – pamiątki jego burzliwych dziejów. **Skalisty, pozbawiony atmosfery** Księżyc stanowi swoiste świadectwo historii kosmosu. Przed trzema, czterema miliardami lat, gdy Układ Słoneczny był jeszcze młody, wokół Słońca krążyły miliony drobnych ciał niebieskich, będących pozostałościami po procesach formowania się planet. Z czasem większość z nich zderzyła się ze Słońcem, jedną z planet bądź z samym Księżycem. Widoczne na Księżycu kratery to ślady po takich uderzeniach. W wyniku najpotężniejszych kosmicznych kolizji jasna księżycowa skorupa została przebita i wylały się spod niej potoki gorącej lawy, tworzące ciemniejsze obszary, które określamy jako **księżycowe morza**.



▲ Ślad buta astronauty pozostanie na Księżycu na zawsze, bo nie ma tam wody ani powietrza, które by go zatarły

Do obserwacji kraterów może posłużyć lornetka. Księżycowe kratery są najlepiej widoczne, gdy rzucane przez nie cienie są długie. Ich wygląd zmienia się w czasie ruchu Księżyca i podczas jego kolejnych faz. Dlatego obserwacje warto prowadzić codziennie lub przynajmniej co dwa, trzy dni. Każdego dnia będziemy mogli wówczas zobaczyć dokładniej inne kratery.

Niewidoczną z naszej planety stronę Księżyca zobaczono dopiero w XX w., gdy sfotografowały ją sondy kosmiczne (patrz zdjęcie obok).



▲ Niewidoczna z Ziemi strona Księżyca

To najważniejsze

- **Księżyc** – naturalny satelita Ziemi – nie świeci własnym światłem, ale odbija światło słoneczne.
- Fazy Księżyca (na półkuli północnej) to:


nów

pierwsza kwadra

pełnia

ostatnia kwadra

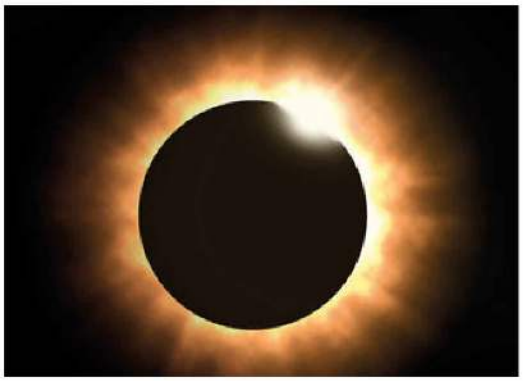
- W czasie **zaćmienia Księżyca** znajduje się on w cieniu Ziemi.
- Cały cykl faz Księżyca trwa 29,5 dnia.
- W czasie **zaćmienia Słońca** fragment Ziemi znajduje się w cieniu Księżyca.
- Obrót Księżyca wokół własnej osi trwa tyle samo co jego ruch wokół Ziemi. Dlatego widzimy tylko jedną stronę naszego naturalnego satelity.
- Na Księżycu **nie występuje atmosfera**. Jego skalista powierzchnia usiana jest kraterami.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Czy widok połowy tarczy Księżyca na niebie pozwala ustalić, czy znajduje się on w pierwszej czy w ostatniej kwadrze? W jaki sposób?
2. Czy następnego dnia po zaćmieniu Księżyca może nastąpić zaćmienie Słońca? Odpowiedź uzasadnij.



3. Wyobraź sobie, że dzisiejszej nocy przypada pełnia Księżyca. Po jakim czasie będziemy go oglądać w pierwszej kwadrze?
4. Zastanów się, jak wygląda Ziemia oglądana z powierzchni Księżyca. Czy wschodzi i zachodzi?

   a) Jak wygląda wzajemny ruch Ziemi i Słońca obserwowany na niebie przez astronautów stojących na Księżycu? Czy mogą oni obserwować zaćmienia Słońca? A czy mogą obserwować zaćmienia Ziemi?

   b) Czy stojący na Księżycu astronauci mogą obserwować zmieniające się fazy Ziemi?

Obserwacja

Fazy Wenus

1. Po zachodzie Słońca lub przed jego wschodem spójrz na Wenus przez lornetkę lub teleskop.
2. Czy widzisz tarczę planety? Jeśli tak, zanotuj w zeszycie dokładną datę obserwacji oraz naszkicuj kształt Wenus.
3. Przeprowadź cztery obserwacje tarczy Wenus w miesięcznych odstępach. Zapisz daty swoich obserwacji. Za każdym razem naszkicuj kształt obserwowanej planety.

Jak zmienia się wygląd tarczy Wenus? Zanotuj swoje spostrzeżenia.



19. Układ Słoneczny

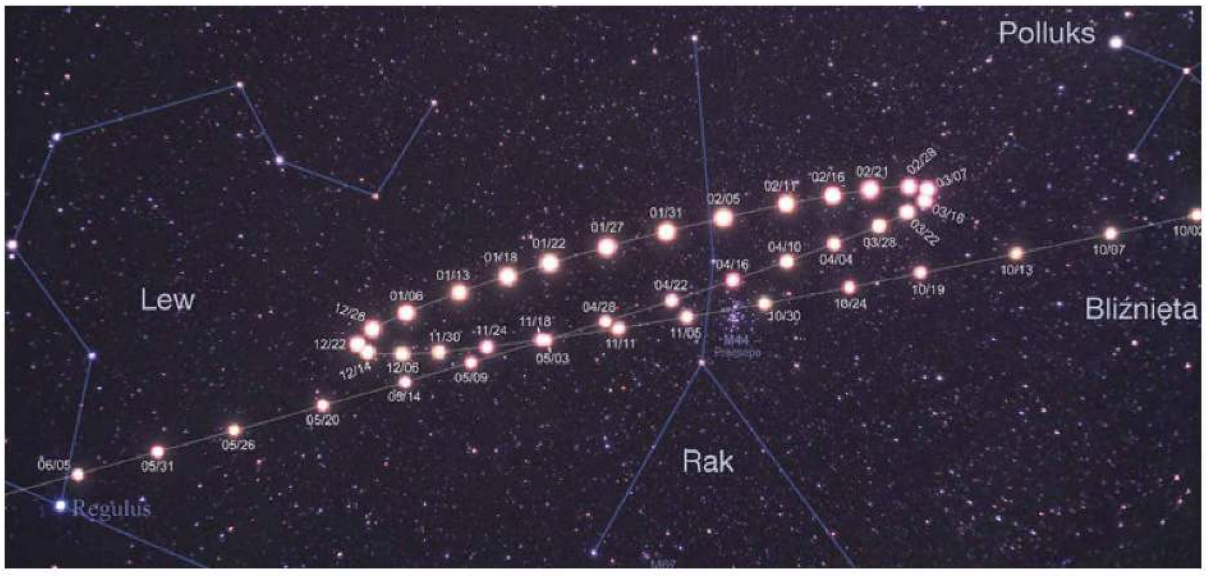
Cele lekcji

- Zrozumiesz, jak poruszają się po niebie gwiazdy i planety obserwowane z Ziemi.
- Dowiesz się, jaką odległość nazywamy jednostką astronomiczną.
- Poznasz ciała niebieskie wchodzące w skład Układu Słonecznego.

Ruch gwiazd i planet na niebie

Już tysiące lat temu ludzie widzieli, że gwiazdy poruszają się po niebie. Niemal wszystkie przemieszczają się bez zmiany wzajemnego położenia, jakby całe niebo się obracało. Gwiazdozbiory obserwowane w czasie pojedynczego ludzkiego życia nie zmieniają kształtu, natomiast zmieniają położenie względem obserwatora.

> Dzisiaj wiemy, że ruch nieba jest pozorny i wynika z obrotu Ziemi wokół własnej osi.



▲ Pętla zakreślona na niebie przez Marsa wśród gwiazd od 2.10.2009 r. do 05.06.2010 r.

Z czasem zauważono jednak kilka nietypowych „gwiazd", zmieniających położenie w stosunku do „gwiazd stałych". Te wyjątkowe ciała niebieskie nazwano planetami, od greckiego słowa *planao* – błądzić. Nie tylko przemieszczały się one względem „gwiazd stałych", ale dodatkowo poruszały po pętlach (patrz ilustracja na s. 138). W starożytnej Grecji uważano, że Ziemia stanowi środek Wszechświata, więc uznano, że planety okrążają Ziemię. Powyższe obserwacje i założenia doprowadziły do powstania skomplikowanej teorii opisującej ruch planet wokół Ziemi, którą nazwano **modelem geocentrycznym** (od gr. *geo* – Ziemia, *kentros* – środek).

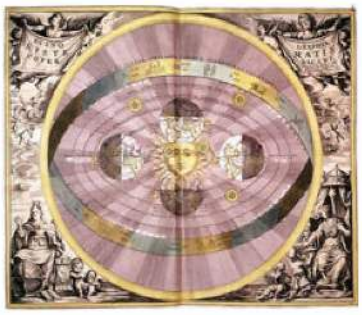


▲ Model geocentryczny Układu Słonecznego

Model heliocentryczny

Chociaż już ponad 2 tysiące lat temu niektórzy greccy uczeni uważali, że to Ziemia krąży wokół Słońca, a nie Słońce wokół Ziemi, to jednak pogląd ten przyjął się dopiero dzięki pracom Mikołaja Kopernika.

> Dziś wiemy, że Ziemia jest jedną z ośmiu planet okrążających Słońce. Wszystkie planety to: Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn, Uran i Neptun.



▲ Model heliocentryczny Mikołaja Kopernika

Planety krążą wokół Słońca po orbitach bardzo zbliżonych do okręgów. W przybliżeniu orbity te leżą w jednej płaszczyźnie. Model kopernikański, ze Słońcem w centrum, jest nazywany **heliocentrycznym** (od gr. *helios* – Słońce). Pozwala on zrozumieć, dlaczego obserwowany z Ziemi ruch planety jest tak skomplikowany. Wygląda on na bardzo złożony, ponieważ na planetę patrzymy z Ziemi, która sama też krąży wokół Słońca. Kopernik widział wyższość swojej teorii nad dotychczasową właśnie w tym, że pozwala ona łatwiej opisywać ruch planet obserwowanych z Ziemi.

O teorii heliocentrycznej więcej piszemy w temacie „Prawa Keplera" na s. 146.

A to ciekawe

Mikołaj Kopernik (1473–1543) urodził się w Toruniu. Po ukończeniu Akademii Krakowskiej studiował w Bolonii, Padwie i Ferrarze. Większość życia spędził jako kanonik katedry we Fromborku, tam też został pochowany. W dziele *O obrotach sfer niebieskich* sformułował teorię heliocentryczną. Oprócz astronomii Kopernik interesował się wieloma innymi dziedzinami wiedzy, m.in. ekonomią. Jest on autorem jednego z jej praw, zwanego prawem Kopernika–Greshama, które mówi, że zły pieniądz wypiera dobry.



Budowa planet

Planety Układu Słonecznego położone bliżej Słońca różnią się budową od tych położonych dalej od niego.

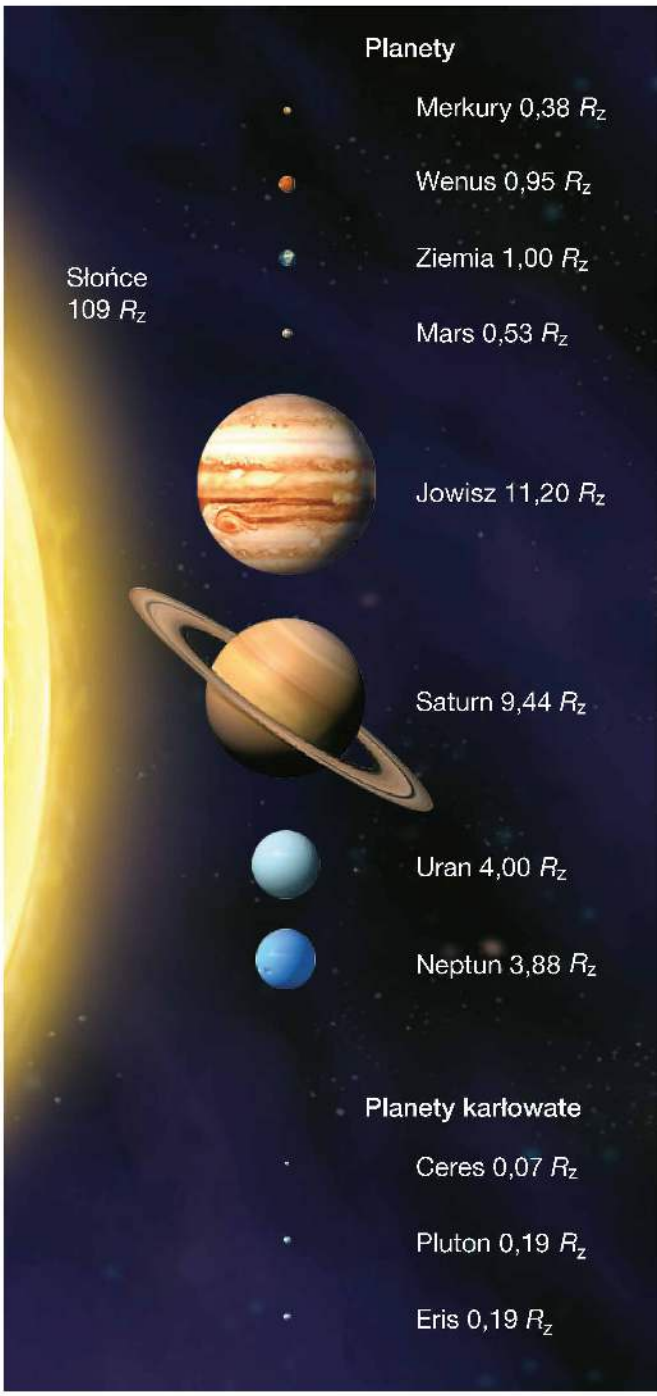
- Planety krążące bliżej Słońca: Merkury, Wenus, Ziemia i Mars, są stosunkowo niewielkie. Promień każdej z nich wynosi kilka tysięcy kilometrów. Zbudowane są głównie ze skał, a w ich wnętrzach znajdują się metaliczne jądra.

> Planety bliższe Słońca są skalistymi globami otoczonymi cienką atmosferą.

- Dalsze planety, nazywane olbrzymami, są znacznie większe od pierwszych czterech. Jowisz ma promień ponad 10 razy większy niż Ziemia i jest największą planetą Układu Słonecznego. Razem z Saturnem jest jednym z dwóch **gazowych olbrzymów**, przypominających gigantyczne gazowe kule, prawdopodobnie z małymi skalisto-metalicznymi jądrami.
- Do niedawna astronomowie sądzili, że pozostałe dwie planety, Uran i Neptun, także są gazowymi olbrzymami. Jednak od lat 90. ubiegłego wieku wiemy już, że ich niewielkie skalisto-metaliczne jądra są otoczone gorącym płynem, zawierającym głównie wodę i amoniak. Substancje te trafiły do nowo powstałych planet w postaci lodu lub gazu uwięzionego w lodzie, dlatego obie planety nazwano **lodowymi olbrzymami**. One również są otoczone gazową atmosferą.

> Planety dalsze od Słońca są bardzo duże i pozbawione stałej powierzchni. Ich warstwy wewnętrzne są ukryte pod grubą warstwą atmosfery.

Wokół większości planet krążą księżyce, np. wokół Marsa dwa, a wokół Jowisza ponad sześćdziesiąt. Podstawowe dane na temat planet i ich księżyców podajemy na s. 219–220.



▲ Porównanie promieni: Słońca, planet Układu Słonecznego oraz trzech jego planet karłowatych (R_Z – promień Ziemi)

Inne obiekty Układu Słonecznego

Oprócz planet Słońce okrążają mniejsze od nich **planety karłowate**, których promień wynosi od kilkuset do nieco ponad tysiąca kilometrów. Planetą karłowatą jest m.in. zbudowany ze skał i lodu Pluton, który do 2006 r. był uznawany za

dziewiątą planetę Układu Słonecznego. Dziś wiemy, że znacznie dalej od niego, w odległości ponad 14 mld km od Słońca, znajduje się wiele ciał przypominających budową Plutona, a co najmniej jedno z nich jest od niego większe. Eris, bo o niej mowa, to lodowo-skalna kula, która krąży tak daleko od Słońca, że jego światło tam dociera w 13,5 godziny. Podobnie jak Pluton uznana została za planetę karłowatą.
Pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza obiega Słońce tysiące drobnych ciał, zwanych **planetoidami**. Wśród nich znajduje się Ceres – jedna z planet karłowatych.



▲ Kometa Hale'a–Boppa, którą można było obserwować gołym okiem od maja 1996 r. do grudnia 1997 r.

Do Układu Słonecznego należą również niewielkie ciała – **komety**. Niektóre z nich okrążają Słońce po wydłużonych orbitach, inne zbliżają się do naszej gwiazdy tylko jeden raz, a później oddalają w inne rejony Wszechświata.

A to ciekawe

Wielu pionierskich obserwacji nieba dokonał włoski astronom **Galileo Galilei** (1564–1642), zwany Galileuszem. To on jako pierwszy skonstruował lunetę astronomiczną, dzięki czemu mógł zobaczyć np. góry na Księżycu czy zmiany kształtu tarczy Wenus. Odkrył też cztery najjaśniejsze księżyce Jowisza, do dziś nazywane galileuszowymi. Ich istnienie stało się silnym argumentem na rzecz teorii Kopernika – wówczas nieuznawanej jeszcze powszechnie. Księżyce galileuszowe wraz z Jowiszem tworzyły rodzaj modelu Układu Słonecznego, opisywanego przez Kopernika. Kolejne obserwacje Galileusza dostarczyły dodatkowych argumentów przemawiających za teorią heliocentryczną.



Jednostka astronomiczna

Odległości w Układzie Słonecznym są tak duże, że kilometr jest zbyt małą jednostką do ich wyrażania. Z kolei rok świetlny, używany do podawania odległości między gwiazdami, to jednostka zdecydowanie zbyt duża. Dlatego często używamy **jednostki astronomicznej**.

> Jednostka astronomiczna to średnia odległość Ziemi od Słońca, czyli ok. 150 mln km.

Symbolem tej jednostki jest au (*astronomical unit*), w polskich książkach używa się także skrótu j.a. Zatem jeśli czytamy, że Neptun krąży wokół Słońca w odległości 30 au, to od razu możemy sobie wyobrazić proporcje orbit Ziemi i Neptuna, a w razie potrzeby łatwo otrzymamy wielkość w kilometrach:

$$30 \text{ au} = 30 \cdot 150 \text{ mln km} = 4500 \text{ mln km} = 4{,}5 \text{ mld km}$$

Planety Układu Słonecznego

Skaliste, gazowe i lodowe – nasz Układ Słoneczny składa się z wielu bardzo różnych od siebie globów. Ale astronomowie uważają, że w dalekim kosmosie istnieją jeszcze niezwykle jsze światy, np. planety w całości otulone głębokimi oceanami.



Merkury

Ta najmniejsza z podobnych do Ziemi planet wciąż kryje przed nami wiele tajemnic. Wiemy już, że nie ma atmosfery i jest gorąca (temperatura na jej powierzchni dochodzi do 450°C). Zbudowana jest ze skał, ale jej jądro jest metaliczne.



Wenus

Zarówno rozmiary, jak i masa Wenus sprawiają, że można ją uznać za nieznacznie mniejszą kopię naszej Ziemi. Jednak chętni do jej odwiedzenia bardzo by się zawiedli. Temperatura na powierzchni Wenus wynosi ponad 460°C (jest najgorętszą z planet Układu Słonecznego!), a atmosfera tej planety jest kilkadziesiąt razy gęstsza od ziemskiej. Wenusjańskie niebo pokrywa gruba warstwa chmur, dlatego jej powierzchnię astronomowie zobaczyli dopiero za pomocą radaru.



Ziemia

Nasza planeta to wyjątkowe ciało w Układzie Słonecznym, na którym woda występuje w stanie ciekłym. Właściwość ta jest uważana za kluczową dla powstania życia. Ziemia jest także jedyną planetą Układu Słonecznego, w której atmosferze znajdziemy znaczące ilości tlenu – produktu fotosyntezy roślin.



Mars

Mniejszy i znacznie chłodniejszy od Ziemi Mars, zwany Czerwoną Planetą, ma dwa niewielkie księżyce. Jego skalista powierzchnia jest pokryta drobnym pyłem, a w rzadkiej atmosferze Marsa często szaleją potężne burze pyłowe. Niewykluczone, że kiedyś znajdowały się na nim zbiorniki ciekłej wody, dziś jednak jest to sucha planeta, o średniej temperaturze powierzchni –63°C.



Jowisz

Masa Jowisza jest ponad 300 razy większa od masy Ziemi, a jego budowa zdecydowanie różni się od budowy naszej planety. Niemal cały, podobnie jak Słońce, jest kulą gazów, przede wszystkim wodoru i helu. Prawdopodobnie Jowisz ma skaliste jądro, ale kryje się ono tak głęboko we wnętrzu planety, że zapewne nigdy nie zostanie zbadane przez ziemskie próbniki. Sondy te mogą jednak obserwować skomplikowaną pogodę Jowisza i jego ponad 60 księżyców.



Saturn

Najbardziej charakterystyczną cechą tej planety giganta są otaczające ją pierścienie. Składają się one z lodowo-skalnych okruchów o rozmiarach nie większych niż kilkadziesiąt, wyjątkowo kilkaset metrów. Grubość pierścieni rozciągających się do kilkuset tysięcy kilometrów od Saturna w porównaniu z ich średnicą jest tak niewielka, że ich model wykonany z tektury o grubości 1 mm miałby średnicę aż 14 km. Prawdopodobnie pierścienie powstały przed kilkuset milionami lat ze szczątków planetoidy, która za bardzo zbliżyła się do Saturna.



Uran

Ten lodowy olbrzym krąży wokół Słońca w odległości ok. 20 razy większej niż Ziemia. Chociaż Urana można niekiedy dostrzec gołym okiem, został on odkryty dopiero w 1781 r. Spośród planet wyróżnia się nietypowym sposobem rotacji – jego oś obrotu leży niemal w płaszczyźnie orbity, co zostało zapewne spowodowane potężnym zderzeniem tej planety z innym planetopodobnym ciałem.



Neptun

Niebieski Neptun to ostatnia z planet gigantów. Temperatura jego atmosfery wynosi –200°C. Wieją w niej najszybsze w Układzie Słonecznym wiatry, osiągające prędkość niemal 2000 $\frac{km}{h}$. Potężną planetę okrąża 14 księżyców.

Planety pozasłoneczne

Czy wiesz, że planety krążą też wokół innych gwiazd? Pierwsze trzy takie planety odkrył w 1992 r. polski astronom Aleksander Wolszczan. Są one odległe o 1000 lat świetlnych od Ziemi i obiegają pulsar – gwiazdę zbliżoną masą do Słońca, ale o promieniu zaledwie kilkunastu kilometrów. Do 2018 r. odkryto już kilka tysięcy planet pozasłonecznych. Najbliższa z nich jest zresztą o wiele bliżej niż myślimy, okrąża bowiem najbliższą Słońcu gwiazdę – Proximę Centauri, odległą od nas o 4,2 roku świetlnego. Planeta tego niewielkiego i bardzo słabo świecącego czerwonego karła ma masę bardzo podobną masy do Ziemi. W dodatku krąży w jego strefie zamieszkania, czyli w odległości pozwalającej na istnienie na jej powierzchni ciekłej wody. Czy również i życia? Tego na razie nie wiemy...

Z badań astronomów wynika, że w naszej Galaktyce takich planet są miliony, jeśli nie miliardy. Jednak dotychczas nie odkryto jeszcze żadnej, na której panują warunki podobne do ziemskich. Poszukiwania wciąż trwają.

Poszukiwania życia pozaziemskiego

Trwają też poszukiwania życia pozaziemskiego. Jeśli ma być ono choć trochę podobne do ziemskiego, może się pojawić tylko na planecie lub księżycu, na których występuje woda.

Największe, chociaż i tak bardzo małe nadzieje na znalezienie organizmów żywych badacze wiążą z Marsem. Zalążek życia może się też tlić w lodowych oceanach pod powierzchnią jednego z księżyców: Enceladusa, będącego satelitą Saturna, lub Europy – satelity Jowisza. Prapoczątki życia organicznego mogły się też rozwinąć na innym księżycu Saturna – Tytanie.

Jeśli nawet w Układzie Słonecznym istnieje jakaś forma życia, to prawdopodobnie bardziej przypomina nasze bakterie bądź glony niż zwierzęta albo ludzi. Czy na jakiejś planecie pozasłonecznej istnieje pozaziemska cywilizacja? Tego na razie nie wiemy.



▲ Grupa działających wspólnie teleskopów bada sygnały z kosmosu

To najważniejsze

- **Układ Słoneczny** składa się ze Słońca, 8 planet i ich księżyców, planet karłowatych oraz drobnych ciał niebieskich.
- **Merkury**, **Wenus**, **Ziemia** i **Mars**, czyli planety położone blisko Słońca, mają promień kilku tysięcy kilometrów i są zbudowane głównie ze skał.
- Planety położone dalej od Słońca: **Jowisz** i **Saturn**, są znacznie większe i przypominają gazowe kule.
- Najdalsze planety Układu Słonecznego: **Uran** i **Neptun**, mają jądro ze skał i metali, wokół niego – płyn zawierający wodę i amoniak, a na zewnątrz – gazową atmosferę.
- Wokół niektórych odległych gwiazd także krążą planety. Nie wiemy natomiast, czy gdzieś poza Ziemią istnieje życie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. **a)** Narysuj w zeszycie orbity Wenus, Ziemi i Marsa, po których planety te krążą wokół Słońca. Przyjmij, że orbity wszystkich tych trzech ciał są okręgami. Wybierz dogodną skalę.

   b) Ustal, ile wynoszą najmniejsze odległości dzielące Ziemię od Marsa i Ziemię od Wenus oraz jakie są największe odległości między Ziemią i Marsem oraz między Ziemią i Wenus.

2. Uporządkuj planety Układu Słonecznego od najmniejszej do największej.

   Merkury • Wenus • Ziemia • Mars • Jowisz • Saturn • Uran • Neptun

3. Merkury obiega Słońce w 88 dni. Jego obrót wokół własnej osi, która jest prostopadła do płaszczyzny orbity (nie jest nachylona tak jak oś Ziemi), trwa niemal 59 dni.

   a) Czy na Merkurym występują dzień i noc?

   b) Czy występują tam pory roku? Jeśli nie – odpowiedz dlaczego. Jeśli tak – opisz, jak przebiegają.

4. Wyszukaj potrzebne informacje i odpowiedz na pytania. Skorzystaj z tablic na końcu podręcznika na s. 219.

   a) Ile razy większy jest promień Jowisza od promienia Ziemi? Ile razy większa jest masa Jowisza od masy Ziemi?

   b) Jak długo trwa rok na Neptunie?

   c) Jak długo trwa doba na Uranie?

5. Przelicz średnią odległość Merkurego i Jowisza od Słońca na jednostki astronomiczne.

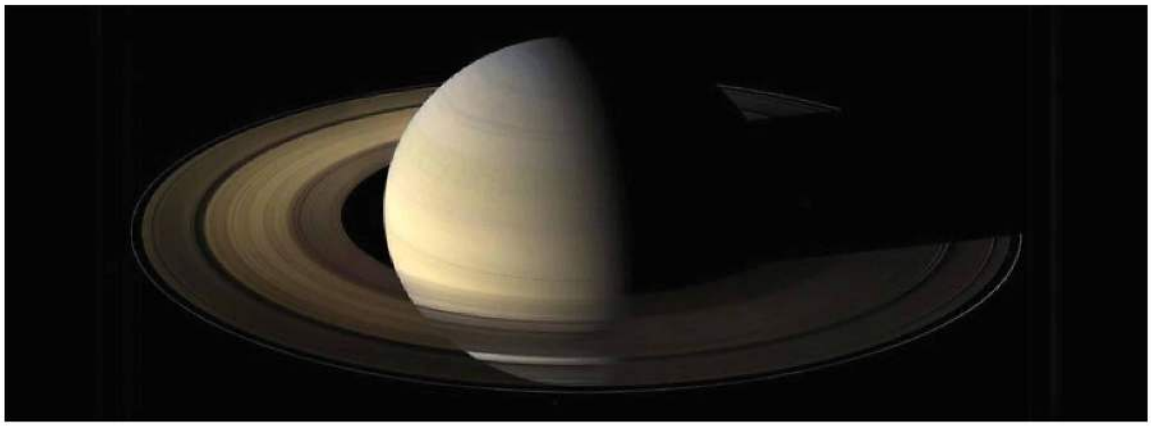
Obserwacje

A. Księżyce Jowisza

1. Popatrz na Jowisza i za pomocą lunety lub lornetki spróbuj odnaleźć obok niego jego cztery najjaśniejsze księżyce. Można je zobaczyć jako jasne punkty położone blisko planety.
2. Spróbuj ponowić obserwację za dwie, trzy godziny. Czy księżyce zmieniły swoje położenie?
3. Przeczytaj na s. 141, jakie znaczenie miało odkrycie księżyców Jowisza przez Galileusza.

B. Pierścienie Saturna

Jeśli w twojej szkole jest dostępny teleskop, a na niebie widać Saturna, poproś nauczyciela, żeby pomógł ci zobaczyć jego najpiękniejsze w Układzie Słonecznym pierścienie. Opisz w zeszycie, jak one wyglądają.



TEMAT DODATKOWY

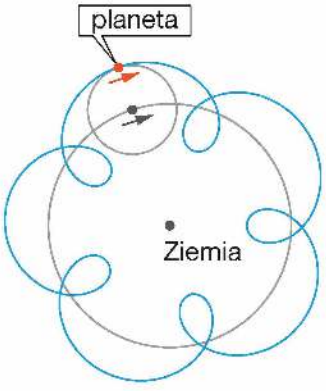
Prawa Keplera

Cele lekcji

- Poznasz i zrozumiesz prawa Keplera, rządzące ruchem planet wokół Słońca i ruchem księżyców wokół planety.
- Poznasz rozwój astronomii od czasów Kopernika do czasów Newtona.

Dokładniej o teorii geocentrycznej

Jak wiesz z poprzedniej lekcji, dopóki sądzono, że planety krążą wokół Ziemi, opis tego ruchu sprawiał ludziom duże trudności. Wiadomo było na przykład, że Mars nie porusza się wokół Ziemi po okręgu. Uważano jednak, że mamy do czynienia ze złożeniem kilku takich ruchów. Po okręgu miała poruszać się nie sama planeta, ale środek drugiego okręgu, na którym dopiero znajdowała się planeta. Jeśli to wyjaśnienie nie wystarczało, uznawano, że po drugim okręgu porusza się środek trzeciego, a dopiero na nim planeta. Dla zwiększenia zgodności z obserwacjami, które już w tamtych czasach były bardzo precyzyjne, założono, że środek głównego okręgu nie pokrywa się ze środkiem Ziemi.



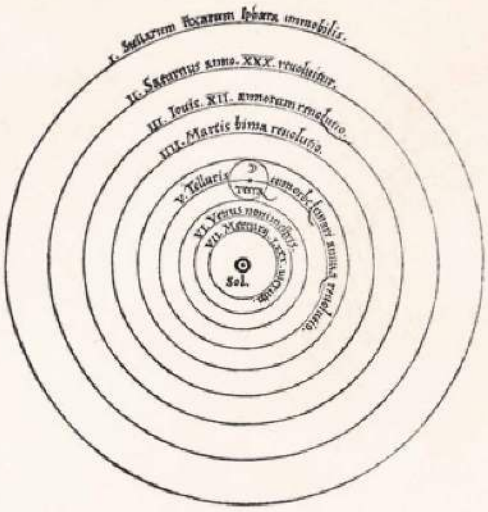
▲ Skomplikowany tor planety poruszającej się wokół Ziemi

W pół drogi do nowożytnej astronomii

Mikołaj Kopernik uznał, że Ziemia jest jedną z planet obiegających Słońce. Z jego obliczeń wynikało jednak, że planety nie poruszają się wokół Słońca po okręgach. Skorzystał więc z metody znanej od starożytności: po okręgu wokół Słońca poruszał się środek drugiego okręgu itd. W modelu heliocentrycznym Kopernika można było jednak zaobserwować interesującą zależność: **im dalej od Słońca** znajduje się planeta, **tym dłużej trwa** jej **obieg**. W układzie geocentrycznym nie było podobnej regularności.

O OBROTACH SFER NIEBIESKICH

I Nieruchoma sfera gwiazd stałych.
II Saturn obiegający [Słońce] w ciągu 30 lat.
III Obieg Jowisza trwa 12 lat.
IV Obieg Marsa trwa dwa lata.
V Obieg Ziemi z orbitą Księżyca trwa rok.
VI Wenus dziewięć miesięcy.
VII Merkury 80 dni.
Sol Słońce.





▲ Rycina z dzieła Mikołaja Kopernika *O obrotach sfer niebieskich*. Przy orbitach kolejnych planet podano ich okres obiegu (tłumaczenie znajduje się obok ilustracji)

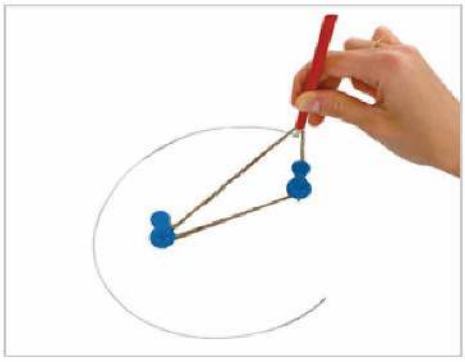
Pierwsze prawo Keplera – elipsy zamiast okręgów

Niemal sto lat po opublikowaniu dzieła Kopernika za jego teorią przemówiło dokonane przez Galileusza odkrycie księżyców Jowisza. W tym samym czasie inny astronom, **Jan** (Johannes) **Kepler**, stał się autorem kolejnego wielkiego kroku. Przeanalizował wyniki obserwacji, których dokonał Tycho Brahe oraz on sam. Na ich podstawie stwierdził, że ruch planety wokół Słońca można opisać prościej, niż zrobił to Kopernik – jako ruch po elipsie (patrz doświadczenie poniżej).

Doświadczenie 12.

Rysowanie elipsy

1. W deseczkę lub tekturkę wbij dwie pinezki.
2. Zwiąż końce nitki i załóż ją na pinezki.
3. Weź ołówek i zaczep go o nitkę (jak na zdjęciu).
4. Odciągnij nitkę maksymalnie i przesuwaj grafit ołówka po tekturze. Na deseczce tworzy się owalna linia – elipsa. Miejsca wbicia szpilek to jej ogniska.



Co prawda elipsa jest krzywą bardziej skomplikowaną niż okrąg, ale do pełnego opisu ruchu planety wystarczała **jedna** elipsa, a nie cały zestaw okręgów.

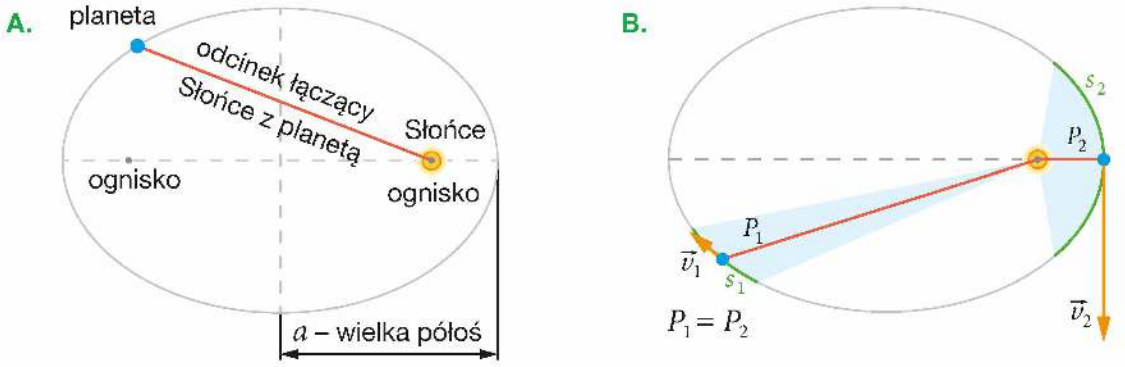
Pierwsze prawo Keplera: Planety krążą wokół Słońca po elipsach, a Słońce znajduje się w jednym z ognisk każdej z tych elips.

Po elipsach (lecz znacznie bardziej wydłużonych) krążą wokół Słońca także niektóre komety. To jednak nie wszystko. Kepler sformułował kolejne prawa.

Drugie prawo – ruch niejednostajny

Skoro planeta porusza się po elipsie, to czasem znajduje się bliżej Słońca, a czasami dalej. Na poniższych rysunkach widzimy planetę, która obiega Słońce po eliptycznej orbicie. Gdy znajduje się daleko od niego, przebywa w czasie Δt pewną drogę s_1 (rys. B). Gdy znajduje się w pobliżu Słońca, przebywa w tym samym przedziale czasu Δt dłuższą drogę s_2, ponieważ jej prędkość jest większa. Te dwa czynniki – droga i odległość od Słońca – zależą od siebie tak, że zaznaczone na rysunku B pola P_1 i P_2 są równe.

Drugie prawo Keplera: Odcinek łączący Słońce z planetą zakreśla w równych odstępach czasu powierzchnie o równych polach.



Trzecie prawo – porównanie ruchów planet

Pierwsze i drugie prawo Keplera stosuje się do każdej planety z osobna. Trzecie natomiast pozwala porównywać ruchy różnych planet. Opiera się ono na obserwacji Kopernika, że planety znajdujące się dalej od Słońca obiegają je w dłuższym czasie. Może się to wydawać oczywiste, bo przecież planeta znajdująca się dalej od Słońca ma do przebycia dłuższą drogę. A jednak Mars, który znajduje się **cztery** razy dalej od Słońca niż Merkury, a więc ma orbitę cztery razy dłuższą, potrzebuje aż **osiem** razy więcej czasu, by obiec naszą gwiazdę. Widocznie nie tylko ma dłuższą drogę, ale jeszcze porusza się po niej wolniej.

Aby dokładniej sformułować trzecie prawo Keplera, musimy powiedzieć, co to znaczy „bliżej" i „dalej", skoro odległość planety od Słońca stale się zmienia. Otóż bierzemy pod uwagę **wielką półoś elipsy**, oznaczaną jako a, która jest równa średniej z najmniejszej i największej odległości planety od Słońca (patrz rys. A powyżej).

Okazuje się, że dla każdej planety, gdy podzielimy sześcian wielkiej półosi przez kwadrat okresu obiegu, otrzymamy ten sam wynik.

Trzecie prawo Keplera: Iloraz sześcianu wielkiej półosi orbity planety i kwadratu okresu jej obiegu wokół Słońca jest jednakowy dla wszystkich planet.

Dzisiaj wiemy, że ta stała wielkość zależy od masy Słońca M i stałej grawitacji G:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

gdzie: a – wielka półoś orbity planety, T – okres jej obiegu wokół Słońca.

Uwaga. Tak sformułowane prawo obowiązuje nie tylko dla planet Układu Słonecznego, lecz także dla wszystkich planet krążących wokół jednej gwiazdy i dla wszystkich księżyców jednej planety. Różnica polega tylko na tym, że M oznacza wówczas nie masę Słońca, ale masę danej gwiazdy lub planety.

Przykład

Obliczanie okresu obiegu księżyca

Największy z księżyców Jowisza, Ganimedes, okrąża swoją planetę po orbicie w kształcie elipsy o wielkiej półosi 1 070 000 km w czasie 7,15 dnia. Drugi pod względem wielkości księżyc tej planety, Kallisto, porusza się po orbicie w kształcie elipsy o wielkiej półosi 1 883 000 km. Ile wynosi okres obiegu Kallisto?

Dane:
$a_1 = 1\ 070\ 000$ km
$T_1 = 7{,}15$ dnia
$a_2 = 1\ 883\ 000$ km

Szukane:
$T_2 = ?$

Rozwiązanie: Korzystamy z trzeciego prawa Keplera. Iloraz $\frac{a^3}{T^2}$ jest dla obu księżyców taki sam (zależy wyłącznie od masy Jowisza). Wobec tego:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2}$$

$$T_2^2 = T_1^2 \cdot \frac{a_2^3}{a_1^3}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \sqrt{\frac{a_2^3}{a_1^3}}$$

Podstawiamy dane liczbowe.

$$T_2 = 7{,}15 \text{ dnia} \cdot \sqrt{\frac{(1\,883\,000 \text{ km})^3}{(1\,070\,000 \text{ km})^3}} = 16{,}7 \text{ dnia}$$

Odpowiedź: Okres obiegu Kallisto wokół Jowisza wynosi 16,7 dnia.

Newton i prawa Keplera

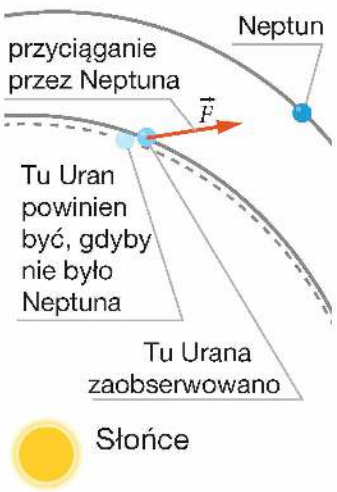
Prawa Keplera odpowiadają na pytanie, **jak** się poruszają planety, ale nie mówią, **dlaczego** tak się dzieje. Przyczynami ruchu ciał zajmował się uczony żyjący później od Keplera, znany ci już Izaak Newton. Z praw Keplera wywnioskował, że siła powodująca ruch planety maleje wraz z kwadratem jej odległości od Słońca. Na tej podstawie sformułował swoje prawo powszechnego ciążenia. Badania ruchu ciał niebieskich pozwoliły mu także odkryć zasady dynamiki.

Można się dziwić, że do odkrycia praw dynamiki, rządzących także ruchem ciał znanych z codziennego życia,

wykorzystano wyniki obserwacji astronomicznych. Jednak przez całe wieki przeszkodą w badaniach ruchu ciał była konieczność uwzględnienia sił oporów ruchu. Ciała niebieskie natomiast poruszają się bez oporu – w kosmosie jest próżnia.

Triumf i ograniczenia teorii Newtona

Teoria heliocentryczna Kopernika opisywała, jak poruszają się planety. Prawa Keplera wskazały na pewne regularności w ich ruchu. Ale jego przyczyny wyjaśniło dopiero prawo powszechnego ciążenia. I to nie tylko w przypadku planet znanych Newtonowi (od Merkurego do Saturna włącznie). Gdy pod koniec XVIII w. **odkryto Urana**, okazało się, że on również porusza się po orbicie zgodnie z prawem grawitacji.

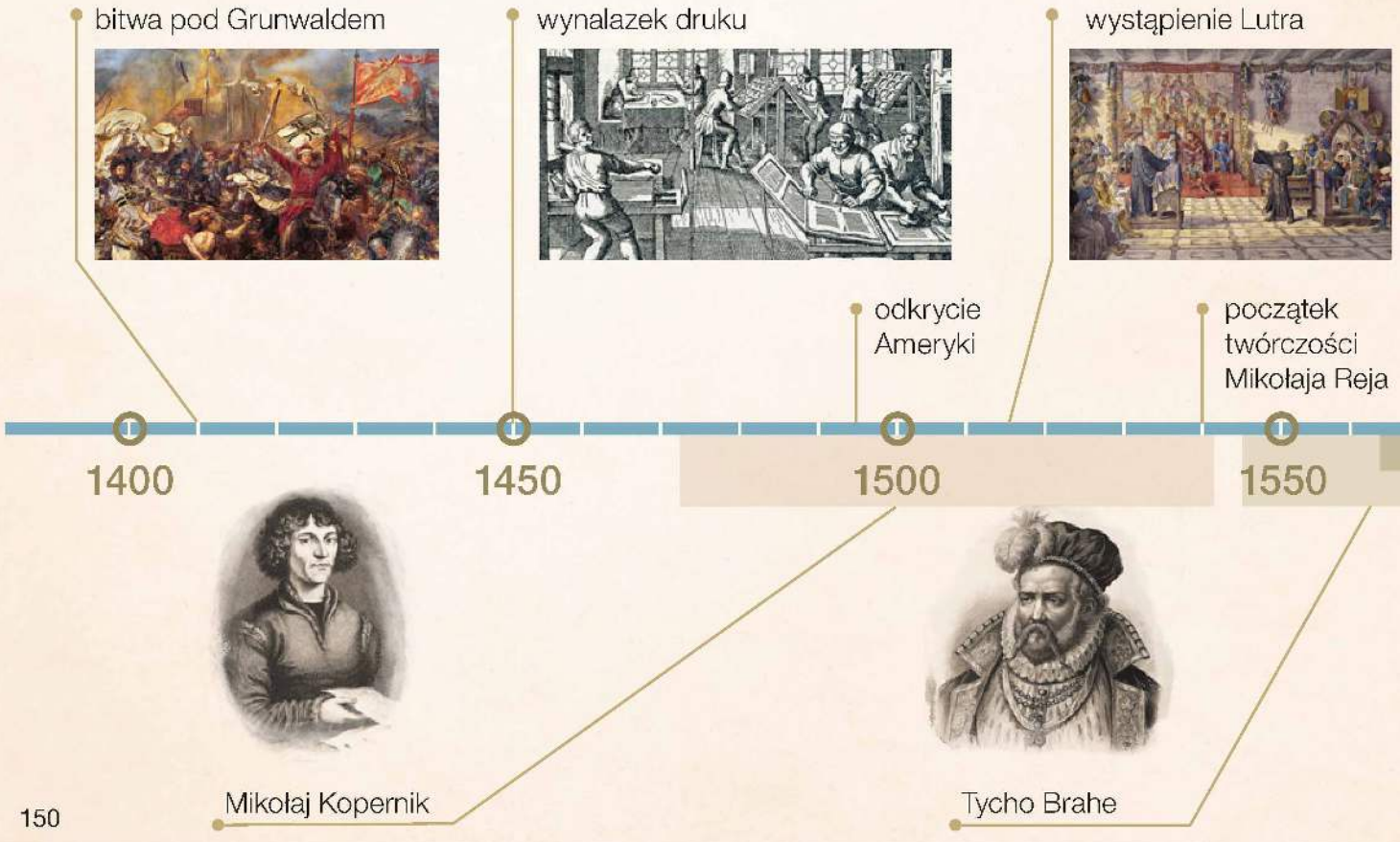


▲ Neptuna odkryto dzięki jego wpływowi na ruch Urana

Z historii

Kiedy to się działo

Często mówimy o sławnych fizykach i odkryciach naukowych. Ale same daty odkryć nie wystarczają, aby wyobrazić sobie, w jakim kontekście historycznym do nich doszło. Czy wiesz, że Kepler formułował swoje prawa wtedy, gdy Szekspir pisał Hamleta? A za życia Galileusza Polska i Litwa zawarły unię.



Kolejne potwierdzenie teorii Newtona miało miejsce w pierwszej połowie XIX w., gdy możliwe były bardziej precyzyjne obserwacje. Otóż zauważono, że Uran porusza się jednak nieco inaczej, niż przewidywano, choć w obliczeniach wzięto pod uwagę przyciąganie go zarówno przez Słońce, jak i przez wszystkie znane planety. Astronomowie uznali, że widocznie jest jeszcze inna, nieznana dotąd planeta, której przyciąganie zmienia bieg Urana. Wyznaczono teoretyczne miejsce na niebie, gdzie należy jej szukać. I rzeczywiście – **nowa planeta**, **nazwana** później **Neptunem**, znajdowała się dokładnie tam, gdzie przewidywano. W podobny sposób w 1930 r. **odkryto Plutona**.

Dziś wymagamy, aby teoria fizyczna nie tylko opisywała znane wcześniej zjawiska, lecz także pozwalała przewidzieć coś nowego, tak jak teoria Newtona pozwoliła odkryć Neptuna i Plutona.

Prawo grawitacji Newtona nadal pozwala wystarczająco dokładnie opisać większość zjawisk. Jednak w XIX w. zaobserwowano pewne niezwykle małe różnice między obserwowanym położeniem planet a przewidywaniami prawa powszechnego ciążenia.



Dokładniejszą teorię tłumaczącą te odchylenia sformułował w latach 1907–1915 Albert Einstein – jest to ogólna teoria względności. Pozwoliła ona dodatkowo przewidzieć nowe zjawiska, m.in. ugięcie promieni światła na skutek grawitacji. Gdy te zjawiska rzeczywiście zaobserwowano, teoria Einsteina została przyjęta przez sceptycznych początkowo fizyków.

To najważniejsze

- **Mikołaj Kopernik** pierwszy uznał, że Ziemia jest jedną z planet krążących wokół Słońca. Do opisu szczegółów tego ruchu używał jeszcze metod geometrycznych znanych ze starożytności.
- **Jan Kepler** odkrył, że planety poruszają się wokół Słońca po elipsach i opisał ten ruch za pomocą trzech praw.
- **Izaak Newton** odkrył prawo powszechnego ciążenia i zasady dynamiki.
- Każda planeta Układu Słonecznego porusza się po elipsie. Słońce znajduje się w jednym z ognisk tej elipsy.
- Gdy planeta jest bliżej Słońca, porusza się szybciej.
- Dla wszystkich planet zachodzi równość $\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$, gdzie M jest masą Słońca. Ten sam związek zachodzi dla planet tej samej gwiazdy albo księżyców tej samej planety.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dopasuj nazwiska z ramki do odkryć astronomicznych. Zapisz w zeszycie pełne zdania i nazwiska.

a) Planety krążą wokół Słońca.

b) Ziemia jest planetą.

c) Słońce przyciąga planety.

d) Planety krążą wokół Słońca po elipsach.

e) Wokół Jowisza krążą księżyce.

I. Galileusz	II. Kepler
III. Kopernik	IV. Newton

2. Zapisz w zeszycie nazwiska fizyków z ramki z zadania 1. w kolejności chronologicznej (wg daty urodzenia).

3. Wokół pewnej gwiazdy krążą dwie planety. Jedna z nich znajduje się w odległości 100 mln km od gwiazdy i okrąża ją w czasie 300 dni. Druga – w odległości 400 mln km od gwiazdy. Ile wynosi okres obiegu tej planety?

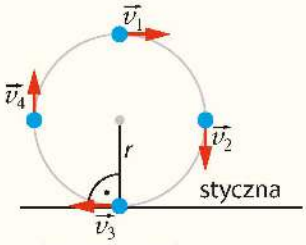
4. Planeta pozasłoneczna Kepler 442b krąży wokół swojej macierzystej gwiazdy w odległości 61 mln km, a jej okres obiegu wynosi 112 dni. Jaka jest masa gwiazdy?

5. Kometa Halleya (patrz zdjęcie poniżej) pojawia się w pobliżu Słońca co 76 lat. Ile wynosi wielka półoś jej orbity? Wynik podaj w jednostkach astronomicznych.



Powtórzenie Ruch po okręgu i grawitacja

- W **ruchu po okręgu** kierunek wektora prędkości stale się zmienia. Wektor prędkości jest zawsze skierowany wzdłuż stycznej do okręgu, czyli prostopadle do promienia (patrz rys.).



kierunek wektora prędkości stale się zmienia

- Jeśli wartość prędkości ciała w ruchu po okręgu jest stała, to mówimy o **ruchu jednostajnym po okręgu**.
- Czas trwania jednego pełnego obiegu ciała wokół środka okręgu nazywamy **okresem** – oznaczamy go literą T. Jednostką okresu jest sekunda (s).
- **Częstotliwość** f to wielkość określająca, ile razy ciało obiegało okrąg w ciągu 1 s. Inaczej mówiąc, częstotliwość to liczba obrotów wykonanych w jednostce czasu. Zatem jeśli ciało wykonało n obrotów w czasie t, to częstotliwość liczymy ze wzoru:

$$f = \frac{n}{t}$$

- Częstotliwość równa jest odwrotności okresu.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{lub} \quad T = \frac{1}{f}$$

- Jednostką częstotliwości jest **herc**: **1 Hz** $= \frac{1}{\text{s}}$.
- **Prędkość** w ruchu jednostajnym po okręgu obliczamy ze wzoru:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

droga wzdłuż okręgu

czas przebycia tej drogi

- Siła, która powoduje ruch ciała po okręgu, jest skierowana do środka tego okręgu, dlatego nazywamy ją **siłą dośrodkową.** Wartość siły dośrodkowej działającej na ciało o masie m poruszające się po okręgu o promieniu r z prędkością v obliczamy ze wzoru:

$$F_{\text{d}} = \frac{m\,v^2}{r}$$

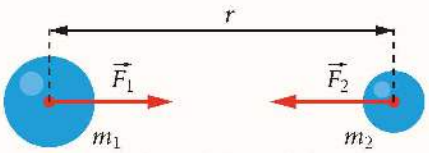
im większa masa, tym większej siły potrzeba

2 razy większa prędkość to aż 4 razy większa siła

mniejszy promień (ciaśniejszy zakręt) – większa siła

- **Funkcję siły dośrodkowej** mogą pełnić różne siły, np. siła tarcia, siła elektryczna, siła grawitacji.

- **Prawo powszechnego ciążenia**: Każde dwa ciała we Wszechświecie przyciągają się **siłą grawitacji.** Wartość tej siły jest tym większa, im większa jest masa ciał i im bliżej siebie się one znajdują. Siłę grawitacji obliczamy ze wzoru:



$$F_1 = F_2 = F$$

masy ciał: im większe, tym silniejsze przyciąganie

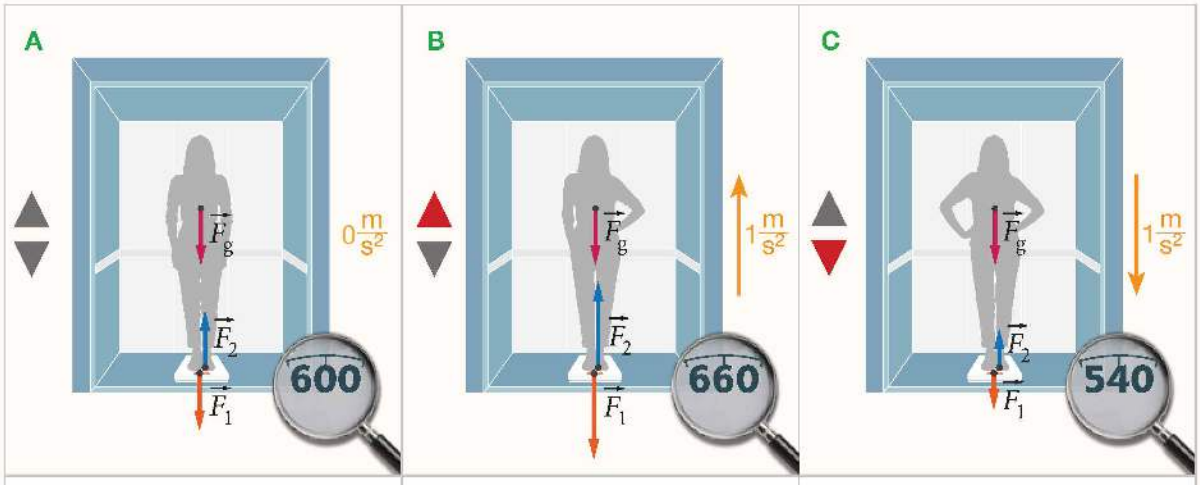
$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

stała grawitacji $6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N} \cdot \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{kg}^2}$

odległość między środkami ciał: im większa, tym słabsze jest przyciąganie

- Siła grawitacji pełni funkcję **siły dośrodkowej** powodującej ruch planet wokół Słońca, a księżyców – wokół planet.

- **Przeciążenie, niedociążenie** – odczuwane zmiany ciężaru ciała, gdy ruch się odbywa z przyspieszeniem skierowanym w górę lub w dół.

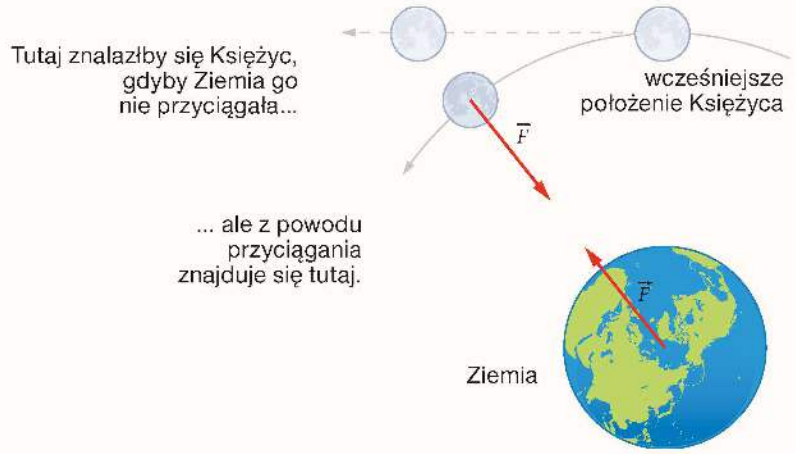


Masa: **60 kg** Siła ciężkości: **600 N** Nacisk na wagę: **600 N**	Masa: 60 kg Siła ciężkości: **600 N** Dodatkowa siła nadająca przyspieszenie: **60 N** Nacisk na wagę, czyli ciężar wynosi: **600 N + 60 N = 660 N**	Masa: 60 kg Siła ciężkości: **600 N** Z tych 600 N do nadania przyspieszenia w dół „zużywa się”: **60 N** Nacisk na wagę, czyli ciężar wynosi: **600 N – 60 N = 540 N**

Uwaga. Ze względu na czytelność rysunku różnice w długości wektorów są większe niż wynikałoby to z proporcji.

- Nieważkość w stacji kosmicznej wynika nie z braku grawitacji, ale z tego, że satelita „spada" na Ziemię, tak samo jak znajdujące się w nim ciała.

- Zarówno **Księżyc** (naturalny satelita), jak i sztuczne satelity krążą wokół Ziemi dzięki sile grawitacji. Można też wyobrażać sobie, że satelita „spada" na Ziemię (z miejsca, gdzie byłby, gdyby nie było grawitacji).



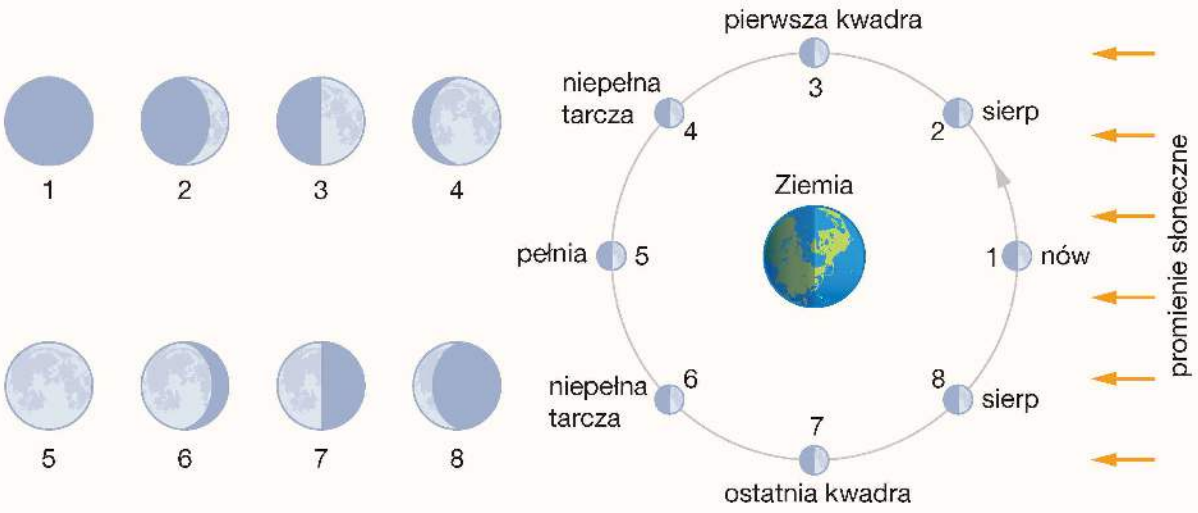
- **Prędkość satelity** w odległości R od środka Ziemi obliczamy ze wzoru:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

gdzie: M – masa Ziemi, G – stała grawitacji.

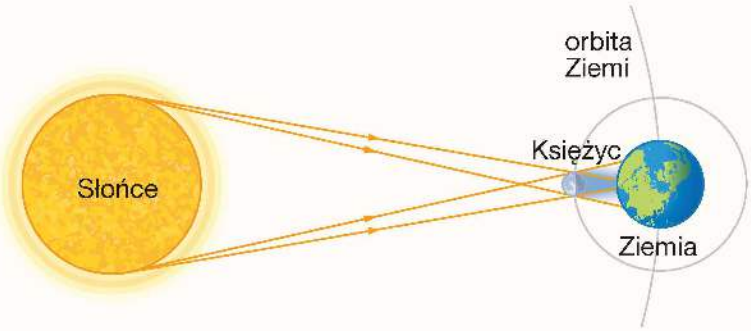
- **Księżyc** nie świeci własnym światłem, ale odbija światło słoneczne. Z tego powodu w zależności od położenia względem Ziemi i Słońca jego tarcza może być z Ziemi widoczna w całości, częściowo lub niewidoczna. Cykl faz Księżyca trwa 29,5 dnia.

- Poniższy schemat przedstawia **fazy Księżyca** i jego wygląd na półkuli północnej.

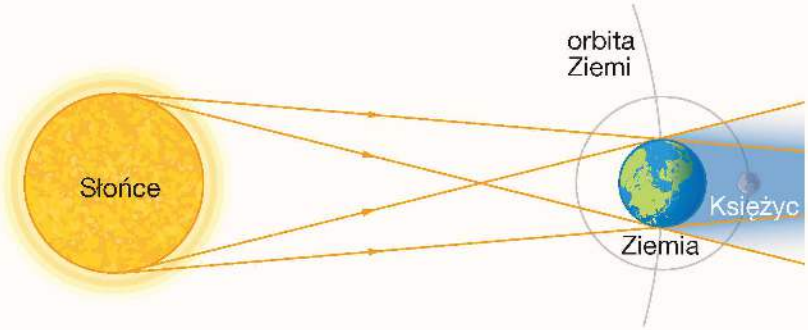


■ **Zaćmienie Słońca** obserwujemy, gdy Księżyc zasłania nam Słońce (rys. A). **Zaćmienie Księżyca** następuje, gdy Ziemia zasłania Księżyc przed światłem słonecznym (rys. B).

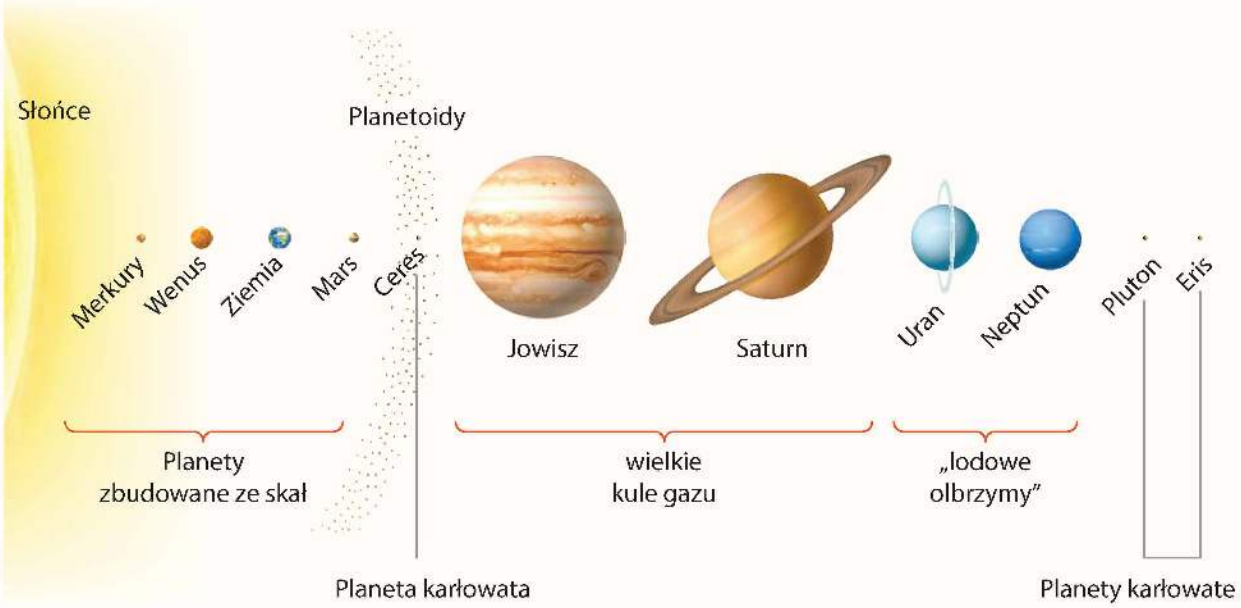
A.



B.



■ **Układ Słoneczny** składa się ze Słońca, ośmiu planet i ich księżyców, planet karłowatych oraz drobnych ciał niebieskich.



Skala odległości na rysunku nie jest zachowana. Aby zachować odległości między przedstawionymi ciałami proporcjonalne do ich wymiarów, potrzebowalibyśmy paska papieru o długości ponad kilometra.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To trzeba umieć

Uwaga. Rozwiązanie każdego zadania zapisz w zeszycie. W każdym zadaniu wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Ziemia obraca się wokół własnej osi i dlatego obserwujemy:

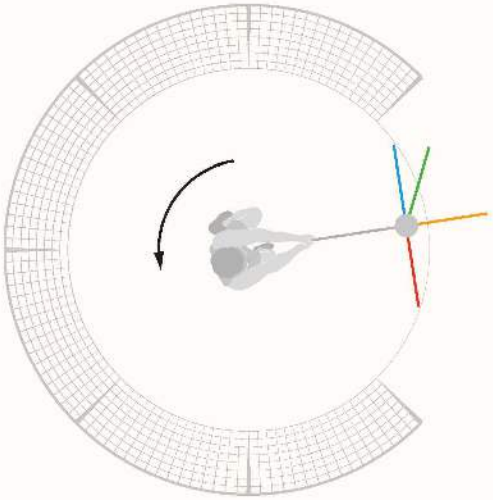
A. zmianę pór roku.
B. wschody i zachody Słońca.
C. zmianę faz Księżyca.
D. zaćmienia Słońca.

2. Księżyc jest w nowiu. Za ile tygodni będzie pełnia?

A. 1
B. 2
C. 3
D. 4

3. Na rysunku poniżej przedstawiono sportowca widzianego z góry obracającego się przed rzutem młotem. Czarna strzałka wskazuje kierunek jego obrotu. Gdyby lekkoatleta puścił młot w tym momencie, młot poruszałby się wzdłuż linii oznaczonej na:

A. czerwono.
B. żółto.
C. zielono.
D. niebiesko.



4. Aby łódź skręciła w lewo, woda musi na nią zadziałać siłą skierowaną:

A. w lewo.
B. w prawo.
C. do przodu.
D. do tyłu.

5. Dwa ciała przyciągają się siłą grawitacji:

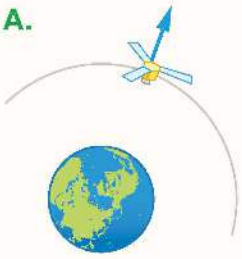
A. tylko wtedy, gdy obydwa mają dużą masę.
B. tylko wtedy, gdy przynajmniej jedno z nich ma dużą masę.
C. tylko wtedy, gdy obydwa mają niewielką masę.
D. zarówno wtedy, gdy ich masy są duże, jak i wtedy, gdy są one małe.

6. Jeśli odległość między planetami zwiększy się cztery razy, to działająca między nimi siła grawitacji:

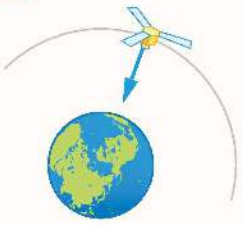
A. zmniejszy się dwa razy.
B. zmniejszy się cztery razy.
C. zmniejszy się szesnaście razy.
D. zwiększy się cztery razy.

7. Na którym rysunku poprawnie przedstawiono siły działające na satelitę znajdującego się na orbicie?

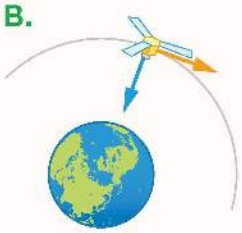
A.



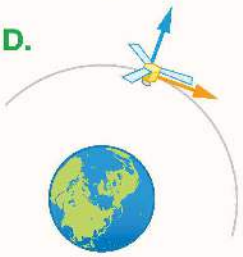
C.



B.



D.



ZADANIA POWTÓRZENIOWE To powinieneś umieć

Uwaga. Rozwiązanie każdego zadania zapisz w zeszycie. W zadaniach 4., 6. i 8. wskaż poprawne dokończenia zdań.

1. Które ze zdań **nie jest** prawdziwe?

A. Zaćmienie Słońca polega na tym, że Słońce zostaje zasłonięte przez Księżyc.

B. Zaćmienie Księżyca polega na tym, że Księżyc zostaje zasłonięty przez Słońce.

C. Księżyc odbija światło słoneczne.

D. W pierwszej kwadrze na półkuli północnej Księżyc ma kształt litery D.

2. Ile czasu upłynie pomiędzy pierwszą kwadrą a nowiem?

A. 1 tydzień **C.** 3 tygodnie

B. 2 tygodnie **D.** 4 tygodnie

3. Na rysunku poniżej przedstawiono Ziemię (Z) i trzy gwiazdy (oznaczone cyframi) leżące w jednej płaszczyźnie.

a) Które z tych gwiazd naprawdę znajdują się najbliżej siebie, a które najdalej?

b) Które z nich z perspektywy Ziemi widzimy na niebie jako najbliższe sobie, a które jako najdalsze?



4. Jeśli fotelik karuzeli wykonuje 30 okrążeń w ciągu minuty, to częstotliwość jego ruchu wynosi:

A. 30 Hz. **C.** 2 Hz.

B. $\frac{1}{30}$ Hz. **D.** $\frac{1}{2}$ Hz.

5. Jaką wartość ma siła dośrodkowa, która powoduje, że samochód o masie 1 t jadący się z prędkością 90 $\frac{km}{h}$ nie wypada z zakrętu o promieniu 200 m?

6. Czajnik napełniony wodą naciska na kuchenkę przede wszystkim z powodu siły grawitacji oddziałującej między:

A. czajnikiem i kuchenką.

B. Ziemią i czajnikiem.

C. Ziemią i kuchenką.

D. wodą w czajniku i czajnikiem.

7. Które zdanie **nie jest** prawdziwe?

A. W 1969 r. ludzie wylądowali na Marsie.

B. Satelita musi się poruszać, aby nie spaść na Ziemię.

C. Rozpoczęły się już loty prywatnych statków kosmicznych.

D. Niektóre satelity są wykorzystywane do sporządzania map pogody.

8. W stacji kosmicznej na orbicie Ziemi panuje stan nieważkości. Dzieje się tak, ponieważ:

A. nie ma tam powietrza.

B. siła przyciągania ziemskiego nie sięga tak daleko.

C. siła przyciągania ziemskiego nie przenika przez ściany stacji.

D. siła przyciągania ziemskiego nadaje takie samo przyspieszenie stacji i znajdującym się w niej ciałom.

9. Wskaż poprawne uzupełnienia zdań. Księżyc w porównaniu z satelitą GPS ma **A**/ **B** okres obiegu, porusza się z **C**/ **D** prędkością i działa na niego **E**/ **F** siła dośrodkowa niż na satelitę systemu GPS.

A. krótszy **C.** mniejszą **E.** mniejsza

B. dłuższy **D.** większą **F.** większa

ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To warto umieć

Uwaga. Rozwiązanie każdego zadania zapisz w zeszycie. W zadaniach 5. i 6. wskaż poprawne dokończenia zdań.

1. W jakiej fazie jest Księżyc, gdy z Ziemi widać zaćmienie Słońca?

A. w pełni **B.** w nowiu
C. w pierwszej lub ostatniej kwadrze
D. to zależy od miejsca na Ziemi

2. Jak na nasze obserwacje zaćmień wpływa fakt, że orbity Księżyca wokół Ziemi oraz Ziemi wokół Słońca nie leżą dokładnie w jednej płaszczyźnie?

3. Jabłko o masie 15 dag przywiązano za ogonek do nitki o długości 50 cm. Ogonek wytrzymuje ciągnięcie siłą 10 N.

a) Z jaką prędkością można kręcić jabłkiem na nitce w płaszczyźnie poziomej, aby ogonek się nie urwał?

b) Jaka częstotliwość ruchu jabłka odpowiada tej prędkości?

4. Na statek o masie 100 000 t płynący z prędkością 10 $\frac{m}{s}$ działa siła dośrodkowa o wartości 10 MN. Ile wynosi jego promień skrętu?



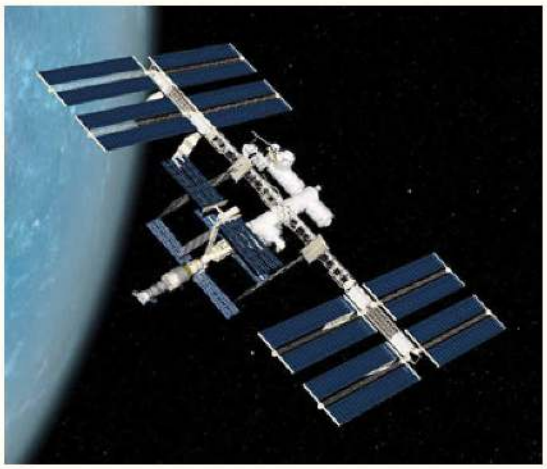
5. Siła, którą 100-tonowa lokomotywa przyciąga ważącego 80 kg maszynistę stojącego w odległości 10 m od niej, wynosi w przybliżeniu:

A. 0,000 05 N.
B. 0,000 000 5 N.
C. 0,000 005 N.
D. 0,000 000 05 N.

6. Jeśli winda rusza z przyspieszeniem 4 $\frac{m}{s^2}$ skierowanym w dół, to ciężar znajdującego się w niej pasażera:

A. rośnie o 40%.
B. rośnie o 60%.
C. maleje o 40%.
D. maleje o 60%.

7. Oblicz, jaki jest okres obiegu satelity znajdującego się na wysokości 6400 km nad powierzchnią Ziemi.



8. Motocyklista jedzie z prędkością 30 $\frac{km}{h}$ po torze kołowym o średnicy 100 m. Ile wynosi okres jego ruchu?

ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? – Świetnie

Uwaga. Rozwiązanie każdego zadania zapisz w zeszycie.

1. W jakiej fazie znajduje się Ziemia widziana z Księżyca, gdy Księżyc z Ziemi widziany jest w pełni?

2. Oblicz pierwszą prędkość kosmiczną dla Jowisza.

3. Planeta ma masę 10^{24} kg i promień 1000 km. Na jakiej wysokości nad nią powinien się znaleźć satelita, aby okrążał planetę w ciągu 1 h?

4. Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Zaćmienie Księżyca występuje, gdy:

A. Księżyc znajduje się pomiędzy Ziemią a Słońcem i jest w nowiu.

B. Ziemia znajduje się pomiędzy Słońcem a Księżycem i Księżyc jest w pełni.

C. Księżyc znajduje się pomiędzy Ziemią a Słońcem i jest w pełni.

D. Ziemia znajduje się pomiędzy Słońcem a Księżycem i Księżyc jest w nowiu.

5. Z Ziemi obserwujemy fazy Księżyca. Czy możliwe jest zaobserwowanie również faz planet? Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Nie jest to możliwe.

B. Tak, wszystkie planety widać z Ziemi w różnych fazach od nowiu do pełni.

C. Tak, ale tylko w przypadku Wenus i Merkurego fazy są łatwe do zaobserwowania.

6*. W odległości 200 mln km od pewnej gwiazdy krąży planeta. Rok na tej planecie trwa 300 dni. Czy podane wyżej informacje wystarczą do obliczenia masy opisanej gwiazdy oraz masy planety? Uzasadnij odpowiedź. Wykonaj obliczenia, jeżeli są możliwe.

* zadanie dodatkowe, do jego rozwiązania potrzebne są wiadomości z lekcji „Prawa Keplera".

Projekt Satelity

Cel: Nauczysz się rozpoznawać na niebie Międzynarodową Stację Kosmiczną i inne satelity.

1. W pogodny wieczór niedługo po zachodzie Słońca przyjdź na wybrane wcześniej miejsce obserwacji poza miastem. Powinno być z niego widać dużą część nieba. Wybierz takie miejsce, w którym w obserwacjach nie będzie ci przeszkadzać blask świateł z domów i lamp ulicznych. Weź ze sobą mapę nieba wydrukowaną z komputera. Datę zapisz na górnym marginesie mapy.
2. Wśród tysięcy gwiazd spróbuj odnaleźć świecące, poruszające się punkty – okrążające Ziemię sztuczne satelity. Dzięki jasnej barwie można je odróżnić od przelatujących nocą samolotów, które mają na skrzydłach czerwone i zielone światła. Satelity nie będą liczne, jednak w ciągu kilkunastu minut powinieneś zauważyć choć jeden jasny obiekt poruszający się po niebie. Najłatwiej będzie go zaobserwować po wschodniej stronie nieba – satelita będzie wtedy dobrze oświetlony przez Słońce, znajdujące się tuż pod zachodnim horyzontem.
3. Zaobserwuj, przez jakie gwiazdozbiory przeleciał satelita. Zaznacz tor jego lotu na mapie i zapisz dokładną godzinę obserwacji.

Wskazówki:

- Czas przelotu większości satelitów można przewidzieć. Najwięcej informacji na ten temat znajdziesz na stronie **www.heavens-above.com**, dzięki której możesz zaplanować swoje obserwacje.
- Satelity świecą odbitym światłem Słońca. Gołym okiem widać te z nich, które krążą na wysokości kilkuset kilometrów nad powierzchnią Ziemi. Są one widoczne tylko wieczorem i przed świtem, gdy Słońce znajduje się tuż poniżej horyzontu. Gdy masz ochotę na poranne obserwacje, to zwracaj szczególną uwagę na zachodnią stronę nieba.
- Jeśli masz lornetkę, możesz także poszukać słabiej świecących satelitów, ostatnich członów rakiet, które wyniosły je na orbitę, a także innych kosmicznych odpadów – w ciągu pół godziny za pomocą dobrej lornetki możesz ich odnaleźć nawet kilkanaście.





Analiza tekstu

Nieoceniony towarzysz

Wyobraź sobie duży glob, na którym doba trwa osiem godzin, stale wieją huraganowe wiatry i dopiero zaczyna powstawać prymitywne życie. Ta egzotyczna planeta to nie najnowsze odkrycie poszukiwaczy planet pozasłonecznych, lecz inna wersja naszej Ziemi – takiej, której nigdy nie towarzyszył Księżyc.

Gdy wyjedziemy na wakacje do krajów położonych nad oceanem, zauważymy, że dwa razy na dobę – a dokładniej raz na 12 godzin i 24 minuty – poziom wody wznosi się i opada, zmieniając szerokość plaży. Morskie pływy są wywołane połączonym oddziaływaniem grawitacyjnym Księżyca i Słońca. Dominującą rolę odgrywa mniejszy, ale bliższy Ziemi Księżyc. Różnica siły przyciągania, którą działa on na zwrócone ku sobie i najodleglejsze obszary naszej planety, powoduje rozciągnięcie Ziemi w kształt piłki do rugby i powstanie na niej dwóch wypiętrzeń. Najwyraźniej widać to w przypadku oceanów. Spiętrzona przez Księżyc fala porusza się wokół Ziemi i docierając do brzegów, wywołuje przypływ.

Gdy Słońce i Księżyc znajdują się w jednej linii z Ziemią, a więc w czasie księżycowej pełni (Ziemia jest wtedy pomiędzy Księżycem i Słońcem) oraz w nowiu (Księżyc jest wtedy pomiędzy Ziemią i Słońcem), oba przypływy się na siebie nakładają, a ich łączna wysokość wynosi średnio około 79 cm. W trakcie kwadr, gdy linie łączące Księżyc z Ziemią i Ziemię ze Słońcem tworzą kąt prosty, oddziaływania Słońca i Księżyca częściowo się znoszą i pływy są niższe, niespełna 30-centymetrowe. Wszystkie te oszacowania dotyczą jednak tylko środka oceanu. Gdy fala pływu dociera do płytkich wód przybrzeżnych, piętrzy się, osiągając zwykle znacznie większą wysokość, która zależy od warunków panujących w pobliżu brzegu. Różnica poziomu wody w trakcie przypływu i odpływu może wówczas sięgać nawet 10 m. Rekordowe wahanie poziomu wody w słynącej z ekstremalnych przypływów zatoce Fundy wynosi aż 16 m.

Maksymalne przypływy pojawiają się zwykle u wybrzeży dzień – dwa dni po nowiu lub pełni, gdy dotrze do nich spiętrzona na środku oceanu fala. Aby podziwiać to zjawisko, musimy jednak wybrać się w świat. Przypływy ubarwiające życie plażowiczów w Hiszpanii i Wielkiej Brytanii praktycznie nie dotykają Polski, ponieważ Bałtyk jest morzem niemal zamkniętym i nie dociera do niego wędrująca wokół Ziemi fala oceaniczna. Mimo to i my doświadczamy księżycowych pływów. Nie wiążą się one jednak z ruchem światowej wody. Te same siły, które piętrzą oceany, podnoszą i opuszczają także skorupę Ziemi. Tak więc dwa razy na dobę podnosimy się ku Księżycowi, aby po sześciu godzinach maksymalnie się od niego oddalić. Amplituda tych

ruchów sięga 0,5 m. Choć nie mają one dla nas większego znaczenia, muszą je brać pod uwagę badacze korzystający z superdokładnych pomiarów GPS oraz fizycy planujący precyzyjne eksperymenty z wykorzystaniem dużych urządzeń pomiarowych. Aby poprawnie interpretować wyniki pomiarów ponaddwudziestokilometrowego pierścienia akceleratora CERN-u oraz czterokilometrowych ramion detektora fal grawitacyjnych LIGO, wpływ Księżyca trzeba uwzględnić w obliczeniach. [...]

Rola przypływów nie ogranicza się jednak do spiętrzania ziemskich wód, lądów i atmosfery. To dzięki nim doba ma 24 godziny, a nie 8. Wskutek tarcia o dno i brzegi oceanów masa podnoszonej przez Księżyc wody porusza się wraz z obracającą się Ziemią i nie wznosi dokładnie na linii łączącej środki naszej planety i jej satelity. Oddziaływanie grawitacyjne między odchylonym od tej linii nadmiarem wody a Księżycem wywołuje zmiany okresu ruchu obrotowego Ziemi. Doba wydłuża się o około 15 ms na stulecie.

Księżyc sprawi z czasem, że w ciągu doby będziemy mieli do dyspozycji nawet 25 godzin. Na dodatkową godzinę musimy jednak poczekać ponad 100 mln lat. Przyjemność dłuższego dnia okupimy (choć nie od razu) brakiem jednego z najpiękniejszych zdarzeń astronomicznych – całkowitych zaćmień Słońca. Kilka razy w roku księżycowa tarcza przechodząca pomiędzy Ziemią a Słońcem całkowicie zasłania naszą gwiazdę. To niezwykłe zjawisko może się powtarzać dzięki wyjątkowemu zbiegowi okoliczności, który sprawił, że 400 razy większe od Księżyca Słońce znajduje się od nas około 400-krotnie dalej niż Księżyc, dzięki czemu rozmiary kątowe obu ciał na niebie są zbliżone.

Niestety, ta sama przyczyna, z powodu której Ziemia zwalnia swój obrót, sprawia, że odległość do Księżyca rośnie w tempie 3,8 centymetra na rok. Za 600 mln lat jego obserwowane rozmiary zmaleją na tyle, że całkowite zaćmienia Słońca odejdą do historii. Jeśli na Ziemi znajdą się wtedy jacyś inteligentni obserwatorzy, będą się musieli zadowolić zaćmieniami obrączkowymi lub wręcz częściowymi. Gdyby Księżyc stale oddalał się od Ziemi w podobnym tempie, a nasz Układ Słoneczny utrzymał się w obecnym kształcie, za 15 mld lat okresy obrotu Księżyca i Ziemi wyrównałyby się, osiągając długość 55 dni. Księżyc znalazłby się wówczas 1,6 raza dalej od Ziemi niż dziś, a oba ciała obiegałyby się zwrócone do siebie tymi samymi stronami, podobnie jak dziś Pluton i Charon.

Na taką ewolucję nie możemy jednak liczyć: już za 2 mld lat Słońce rozgrzeje się tak bardzo, że ziemskie oceany wyparują i siła hamowania pływowego Ziemi znacznie się zmniejszy. Po kolejnych 4 mld lat układ Ziemia–Księżyc może





▲ Odpływ (A) i przypływ (B) w zatoce Fundy

znaleźć się pod powierzchnią gwałtownie rozdętego Słońca. Taki będzie zapewne koniec tego niezwykłego układu, niekiedy uznawanego przez astronomów wręcz za planetę podwójną. Ten gorący kres nie będzie jednak gwałtowniejszy od katastrofy, która dała mu początek. [...]

Niewielka odległość, która początkowo dzieliła Księżyc od Ziemi, sprawiała, że młodą planetę nawiedzały znacznie silniejsze niż dziś przypływy. Gigantyczne fale pierwotnego oceanu, uderzające co kilka godzin o brzegi prakontynentów, zmywały z nich olbrzymie ilości substancji chemicznych, wzbogacając w nie środowisko, w którym powstawało pierwotne życie. Prawdopodobnie bez Księżyca pojawiłoby się więc ono znacznie później.

Życiodajna rola Księżyca nie zakończyła się na przypływach. Od miliardów lat nasz satelita pełni funkcję olbrzymiego stabilizatora: to dzięki niemu kąt nachylenia osi ziemskiej w przestrzeni niemal się nie zmienia. Nachylenie osi obrotu Ziemi do płaszczyzny jej orbity sprawia, że możemy przeżywać coroczny rytuał zmian pór roku – przez pół roku ku Słońcu wystawia się silniej północna, a przez kolejne



▲ Ziemia i Księżyc

pół – południowa półkula planety. Gdyby jednak nachylenie Ziemi było silniejsze, a zwłaszcza gdyby się gwałtownie zmieniało, szanse na stabilny, przyjazny życiu klimat byłyby minimalne. Ziemię chroni przed takim katastrofalnym losem kosmiczny ciężarek, czyli okrążający ją Księżyc.

Jak widać, bez naszego srebrnego sąsiada nie mielibyśmy nie tylko kalendarza, ale i długiego dnia, i spokojnego klimatu. A może te problemy miałyby wówczas zupełnie inne niż my istoty?

Weronika Śliwa
(skrócona wersja artykułu opublikowanego w czasopiśmie „Wiedza i Życie" 2006, nr 8)

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Z czego słynie wspomniana w artykule zatoka Fundy? Sprawdź, gdzie się znajduje. Do jakiego kraju należą tereny nad nią położone?
2. Wyjaśnij, co to są pływy i jak one powstają.
3. Ile lat temu Księżyc był o 1 m bliżej Ziemi niż obecnie? Co się wtedy działo w Polsce?
4. W ciągu ilu lat doba wydłuża się o 1 s?
5. Wyjaśnij, w jaki sposób siły pływowe ułatwiły powstanie życia na Ziemi. Wymień wszystkie wspomniane w tekście mechanizmy.
6. Za 600 milionów lat nie będziemy obserwować całkowitych zaćmień Słońca. A jak będzie z zaćmieniami Księżyca?



3 Praca, moc, energia

Jeśli piecyk elektryczny o mocy 2 kW włączymy na tydzień, zużyjemy więcej energii niż ma piorun. Dlaczego więc to piorun kojarzy nam się z bardzo dużą energią?



20. Praca i energia

Cele lekcji

- Przypomnisz sobie pojęcia pracy i energii oraz jednostki tych wielkości.
- Dowiesz się, jaki jest związek między pracą i energią.
- Uporządkujesz wiedzę na temat różnych form energii.

Praca na co dzień a praca w sensie fizycznym

Słowo *praca* używane jest często w życiu codziennym. O osobach przesuwających wielkie ciężary, wnoszących bagaże po schodach, kopiących łopatami rowy itd. powiemy, że wykonują ciężką pracę. Jednak nie każda wykonana czynność jest w fizyce rozumiana jako praca, nawet gdy wymagała dużego wysiłku. W fizyce mówimy o **pracy mechanicznej**, która jest związana z działaniem siły i przemieszczeniem ciała.

Z pracą mechaniczną mamy do czynienia, gdy siła jest związana z przemieszczeniem ciała.

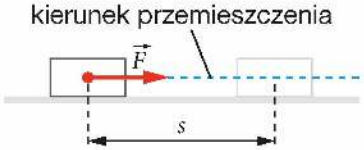


▲ Nie każda praca jest pracą mechaniczną

Jak pewnie pamiętasz ze szkoły podstawowej, w najprostszym przypadku, gdy siła działa w tym samym kierunku, w jakim porusza się ciało (patrz rys.), pracę obliczamy ze wzoru:

$$W = F \cdot s$$

gdzie: W – praca, F – wartość działającej siły, s – droga przebyta pod wpływem tej siły.



▲ Kierunek działania siły $\vec{F}$ jest zgodny z kierunkiem przemieszczenia

Pracę oznacza się literą W (ang. *work* – praca).

Jednostka pracy

Skoro siłę mierzymy w niutonach, a drogę w metrach, to jednostką pracy jest N · m. Ta jednostka nazywa się **dżul** [J], na pamiątkę angielskiego wynalazcy i piwowara Jamesa Joule'a (patrz „Z historii" s. 169).
Zatem 1 J to praca wykonana przez siłę 1 N na drodze 1 m, gdy siła działa zgodnie z kierunkiem przemieszczenia ciała.

$$1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot \text{m}$$

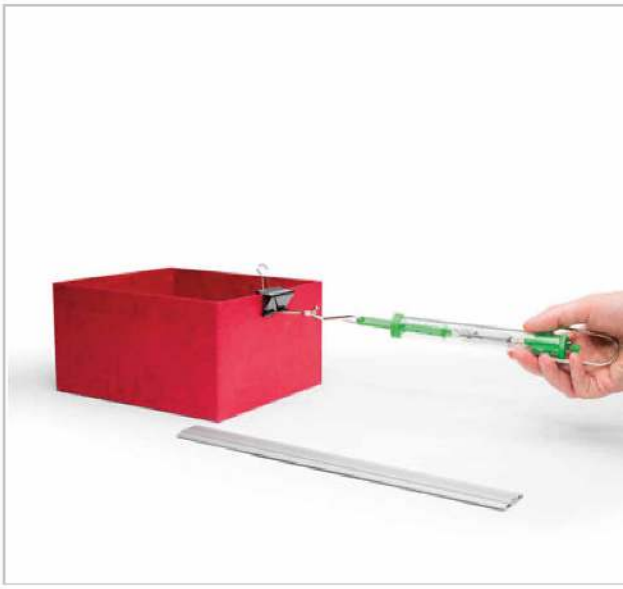
Wyznaczanie pracy

Aby lepiej zrozumieć pojęcie pracy, wykonajmy doświadczenie, w którym wyznaczymy pracę wykonaną przy przesuwaniu przedmiotu.

Doświadczenie 13.

Wyznaczanie wykonanej pracy

1. Przygotuj: pudełko, siłomierz, linijkę, spinacz biurowy.
2. Umieść pudełko na stole. Obok umieść długą linijkę tak, aby zero na skali linijki znalazło się przy brzegu pudełka (patrz zdjęcie).
2. Zaczep siłomierz tak, abyś mógł za jego pomocą ciągnąć pudełko.
3. Przesuń je o określoną odległość, którą zmierzysz za pomocą linijki.
   Uwaga. Staraj się, aby w czasie przesuwania pudełka siła wskazywana przez siłomierz była stała. Zapisz jej wartość.
4. Oblicz wykonaną przez siebie pracę.



W naszym doświadczeniu kierunek działania siły był zgodny z kierunkiem ruchu ciała, więc możemy skorzystać ze wzoru $W = Fs$. Przesunęliśmy pudełko o 20 cm (czyli 0,2 m), działając siłą 4 N. Oznacza to, że wykonana praca była równa:

$$W = 4\ \text{N} \cdot 0{,}2\ \text{m} = 0{,}8\ \text{J}$$

Jakie znaczenie ma wykonana praca? By to zrozumieć, zajmijmy się inną ważną wielkością – energią.

Formy energii

Spójrz na diagram na s. 168. Wszystkie obiekty przedstawione na zdjęciach coś łączy. Zapewne zastanawiasz się co. Otóż wszystkie one są obdarzone dużą **energią**. Już intuicyjnie wyczuwamy, że mogą spowodować dużą zmianę w otoczeniu – wystarczy wyobrazić sobie upadający ciężar, uderzający w barierkę samochód czy wybuchającą benzynę.
Jak widać z przykładów na kolejnej stronie, energia może występować w różnych formach. Choć te rodzaje energii różnią się między sobą, wszystkie stanowią tę samą wielkość, gdyż energia jednego rodzaju może się zmienić w energię innego rodzaju.

Na przykład silnik elektryczny zamienia **energię elektryczną** w energię kinetyczną. Wiesz już o tym ze szkoły podstawowej, a my wrócimy do tego zagadnienia w lekcji 22.

Formy energii

Energia potencjalna grawitacji



jest tym większa, im wyżej znajduje się ciało

Energia kinetyczna



jest tym większa, im szybciej porusza się ciało

Energia wewnętrzna



zwiększa się, gdy podgrzewamy ciało

Energia chemiczna



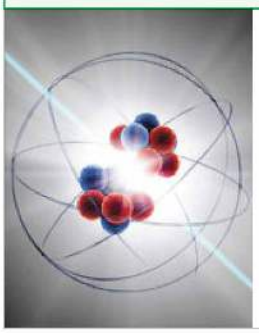
jest zgromadzona w materiale wybuchowym, a także w paliwie i żywności

Energia potencjalna sprężystości



np. łuku albo sprężyny – zwiększa się, gdy je silniej naciągamy

Energia jądrowa



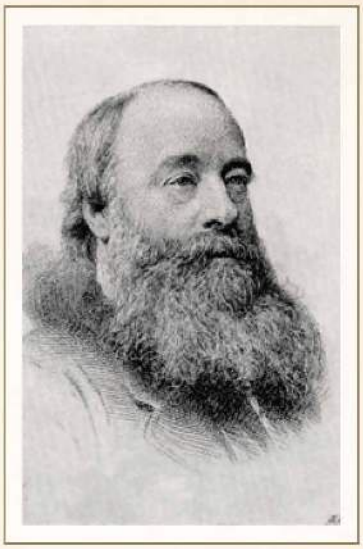
może zostać wyzwolona w wyniku przemian jąder atomowych

Jaki związek ma energia z pracą

Gdy wykonujemy nad ciałem pracę, zyskuje ono energię. Potem ciało może wykonać pracę kosztem tej energii.

Na przykład gdy naciągamy łuk, wykonujemy pracę. Łuk magazynuje tę pracę, czyli zyskuje energię. Potem może ją zwrócić, rozpędzając strzałę. Kiedy łuk wykona pracę, traci swoją energię i trzeba jego cięciwę naciągać od nowa.

Niezwykły uczony

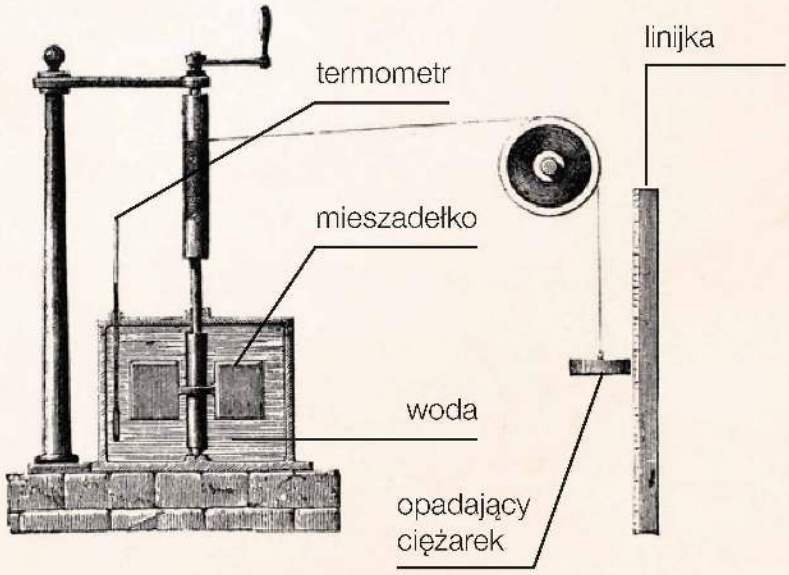


James Prescott Joule (1818–1889) był synem angielskiego piwowara. Jako dziecko fascynował się elektrycznością – wraz z bratem bawił się, aplikując wstrząsy elektryczne sobie i innym domownikom. Gdy podrósł, podjął pracę piwowara w rodzinnym browarze. Zainteresowanie nauką nie opuszczało go jednak i wkrótce zaczął badać możliwość zastąpienia w browarze kotła parowego maszyną elektryczną. To i inne doświadczenia doprowadziły go do wielu odkryć, a w szczególności do dokładnego wyznaczenia ilości energii niezbędnej do podgrzania litra wody o jeden stopień.



Nawet w czasie podróży poślubnej Joule nie zaprzestawał badań. Podczas pobytu w Alpach chciał wykorzystać wodospad Cascade de l'Arpenaz (na zdjęciu), aby zmierzyć, o ile ogrzewa się woda spadająca z wysokości 300 m (to jak stupiętrowy wieżowiec!). Jednak z powodu wymiany energii między wodą a powietrzem pomiary się nie udały.
Joule został doceniony za swoje prace – przyjęto go do Towarzystwa Królewskiego (The Royal Society).

Aparat Joule'a do wyznaczania ilości energii potrzebnej do podgrzania litra wody o 1°C.



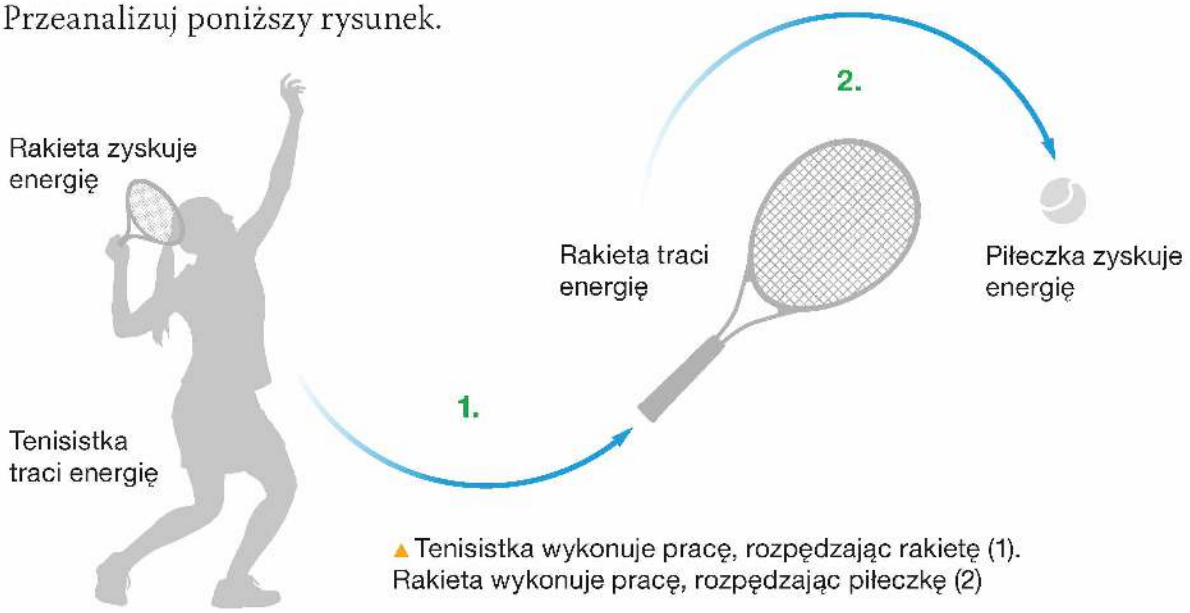
Opadający ciężarek powoduje obrót mieszadełka. Ponieważ musi ono pokonać opór wody, powoduje to jej podgrzanie. Następuje więc zamiana energii mechanicznej na wewnętrzną.

Związek energii z pracą – inne spojrzenie

Na zależność między pracą a energią można spojrzeć także z innej strony.

> Praca to sposób przekazywania energii.

Przeanalizuj poniższy rysunek.



▲ Tenisistka wykonuje pracę, rozpędzając rakietę (1). Rakieta wykonuje pracę, rozpędzając piłeczkę (2)

Skala energii

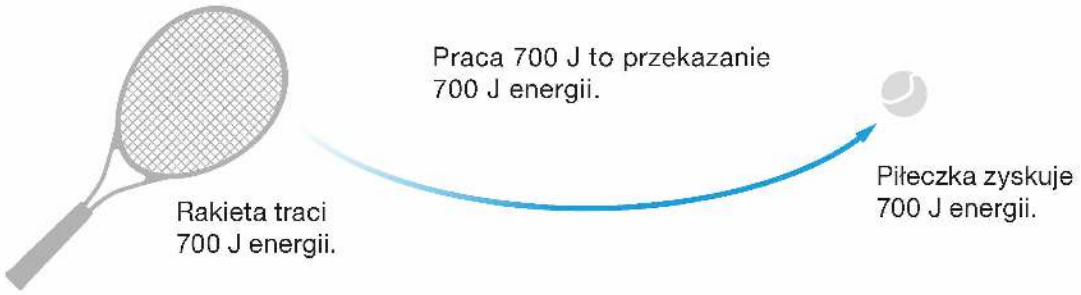
Zwykle nie mamy większych problemów, aby wyobrazić sobie, ile to jest 1 kilogram, a ile to 1 tona. Wyobrażenie sobie, ile to jest 1 dżul, a ile 1 kilodżul może być jednak trudniejsze. Poniżej przedstawiamy energie, jakie mają niektóre ciała fizyczne.



Gdy wykonujemy pracę nad jakimś ciałem, tracimy **tyle samo energii**, ile to ciało jej zyskuje. Możemy więc powiedzieć, że wykonując pracę nad ciałem, przekazujemy temu ciału energię.

Jednostka energii

Ponieważ praca jest sposobem przekazywania energii, obie te wielkości wyrażamy w tych samych jednostkach: **dżulach**. Jeśli na przykład rakieta tenisowa rozpędzająca piłeczkę wykonuje pracę 700 J, to przekazuje piłeczce energię 700 J.
Pomijamy tutaj straty energii.



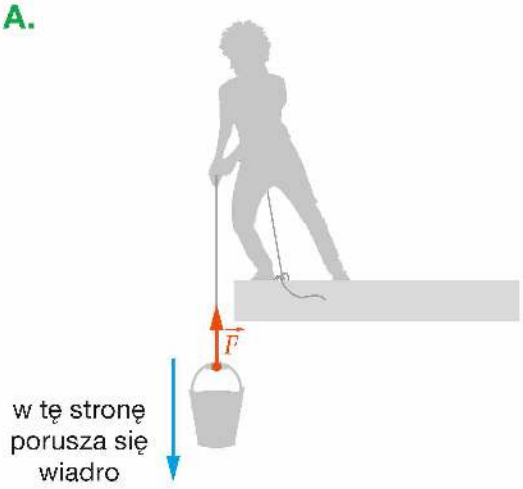
▲ Rakieta traci tyle energii, ile zyskuje piłeczka



Praca siły zwróconej przeciwnie do przemieszczenia

Wiesz już, jak obliczać pracę, gdy siła działa w tę samą stronę, w którą porusza się ciało. A co się dzieje, gdy siła działa w stronę przeciwną?
Oto dwa przykłady: chłopak opuszcza wiadro na linie z balkonu (rys. A), dziewczyna hamuje rozpędzony wózek (rys. B).

A.



Na wiadro działa siła $\vec{F}$ zwrócona w przeciwną stronę, niż odbywa się ruch.

B.



Na rozpędzony wózek działa siła $\vec{F}$ zwrócona w przeciwną stronę, niż odbywa się ruch.

Jaką pracę wykonały przedstawione osoby?

- Praca, którą wykonał chłopak, jest równa **przyrostowi energii potencjalnej** wiadra.
- Jednak wiadro znalazło się niżej niż było na początku, a więc jego energia potencjalna się **zmniejszyła**.

- Praca, którą wykonała dziewczyna, jest równa **przyrostowi energii kinetycznej** wózka.
- Jednak wózek hamuje, więc jego energia kinetyczna się **zmniejsza**.

Obie osoby wykonały pracę ujemną.

Dlaczego w takim razie obie się zmęczyły?
Wynika to tylko z właściwości ludzkiego organizmu. Podczas wysiłku napięte mięśnie drżą i się rozgrzewają, co powoduje, że tracimy energię. Jednak w obu przedstawionych wyżej sytuacjach za pomocą odpowiedniego urządzenia można by odzyskać energię traconą przez wiadro czy wózek (rys. C i D na sąsiedniej stronie).



Na rysunku D widzimy, jak poruszający się wózek napędza prądnicę. Wózek hamuje, a prądnica zasila żarówkę. Podobnie jest w samochodach elektrycznych i hybrydowych. Podczas hamowania takiego pojazdu ładowany jest akumulator. Z kolei energię opuszczanego w dół ciężarka (rys. C) wykorzystujemy np. w zegarze z kukułką.
Na podstawie powyższych przykładów możemy więc sformułować ogólny wniosek dotyczący siły działającej przeciwnie do kierunku ruchu.

> Siła działająca przeciwnie do kierunku ruchu wykonuje pracę ujemną. Praca ujemna powoduje zmniejszenie energii ciała, nad którym została wykonana.

Praca siły prostopadłej do kierunku ruchu

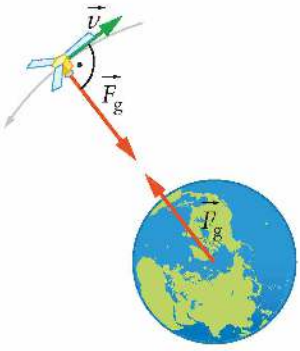
Z taką sytuacją mamy do czynienia, gdy przenosimy po poziomej drodze jakiś przedmiot. Działamy wówczas siłą równoważącą jego ciężar. Dziewczyna na zdjęciu niesie kartony, ale nie zmienia ich energii: pudła są ciągle na tej samej wysokości i poruszają się z tą samą prędkością. Wobec tego wykonana przez nią praca jest zerowa.



▲ Dziewczyna nie wykonuje pracy mechanicznej

> Praca wykonana przez siłę prostopadłą do kierunku ruchu jest równa zeru.

Dziewczyna nie wykonała pracy nad kartonami, to znaczy nie przekazała im energii.
Innym przykładem siły prostopadłej do kierunku ruchu (czyli do wektora prędkości) jest siła dośrodkowa w ruchu jednostajnym po okręgu, np. satelity wokół Ziemi (patrz rys.). Ta siła nie wykonuje pracy, bo energia krążącego po okręgu ciała się nie zmienia.



▲ Praca siły grawitacji jest równa zeru

To najważniejsze

- Gdy siła F działa w tę stronę, w którą porusza się ciało, to na drodze s wykonuje ona **pracę** $W = Fs$.
- Gdy siła działa w przeciwną stronę niż odbywa się ruch, wykonana praca jest ujemna, a gdy siła jest prostopadła do kierunku ruchu, wówczas nie wykonuje ona pracy.
- Gdy wykonujemy nad ciałem pracę, zyskuje ono energię. Potem ciało może tę energię oddać, samo wykonując pracę.
- Praca jest sposobem przekazywania energii między ciałami.
- Jednostką pracy i energii jest **dżul**: 1 J = 1 N · m.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Czy w zilustrowanej sytuacji wykonywana jest praca mechaniczna? Jeśli tak, to jakie ciało zyskuje energię w wyniku jej wykonania? Jaka forma energii ulega zmianie?

A



Ania uczy się do klasówki.

C



Adam rozpędza się na deskorolce.

B



Justyna wchodzi po schodach.

D



Olek trzyma ciężkie kartony.

2. Podczas jazdy na rowerze Berenika pokonywała siłę oporów ruchu o wartości 30 N. Oblicz pracę, jaką dziewczyna wykonała, jeśli przebyła drogę 30 km.

3. Aby przesunąć po podłodze szafę, musimy działać siłą 150 N. Jak daleko możemy przemieścić mebel kosztem energii 4500 J?

4. Znajdź odpowiednie dane na skali energii (ilustracja na dole stron 170–171) i oblicz:

a) Ile razy większa jest energia pioruna od energii rowerzysty?

b) Ile razy większą pracę wykonujemy, gdy naciągamy łuk, niż kiedy rozpędzamy się na rowerze?

c) Na jaką wysokość można by wciągnąć ciało o masie 1 t, gdyby się dało do tego wykorzystać całą energię chemiczną zawartą w litrze mleka? Wartość energetyczną mleka odczytaj z kartonu z mlekiem.



21. Energia mechaniczna

Cele lekcji

- Przypomnisz sobie sposoby obliczania energii potencjalnej i kinetycznej.
- Nauczysz się obliczać różne wielkości ze wzorów na energię potencjalną i kinetyczną.
- Dowiesz się, co to jest energia mechaniczna.

Od intuicji do wartości

Wyrobiliśmy już sobie pewne intuicyjne pojęcie o energii, ale czy umielibyśmy dokładnie obliczyć jej wartość? Na tej lekcji zajmiemy się wyznaczaniem energii potencjalnej grawitacji i energii kinetycznej. W następnych klasach nauczysz się obliczać jeszcze inne jej rodzaje, bo pojęcie energii spotykamy we wszystkich działach fizyki, a także w wielu pozostałych dziedzinach nauki.

Energia potencjalna grawitacji

Wiemy już, że gdy podnosimy ciało, czyli zwiększamy jego wysokość np. względem podłogi, wykonujemy pracę i zwiększamy w ten sposób jego energię potencjalną grawitacji. Z kolei gdy ciało przemieszcza się z miejsca wyższego do niższego, może ono wykonać pracę. Na przykład, jeśli na nachylonej książce położysz pudełko zapałek i samochodzik, tak jak na zdjęciu poniżej, to samochodzik zjedzie, pchając przed sobą pudełko, a więc wykona pracę kosztem swojej energii potencjalnej. Jak obliczyć energię potencjalną grawitacji? Przeanalizuj przykład na następnej stronie.



Samochodzik wykonuje pracę kosztem swojej energii potencjalnej

Przykład 1

Obliczanie wykonanej pracy



Na lekcji wychowania fizycznego Marta podniosła piłkę lekarską o masie 5 kg na wysokość 2 m. Jaką pracę wykonała? Wynik podaj w kilodżulach.

Dane:
$h = 2$ m
$m = 5$ kg

Szukane:
$W = ?$

Rozwiązanie: Na piłkę o masie m działa siła ciężkości (grawitacji), której wartość obliczamy ze wzoru:

$$F_g = mg, \text{ gdzie } g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Aby podnieść piłkę, Marta musi zrównoważyć tę siłę, czyli musi działać siłą $\vec{F}$ o tej samej wartości, ale skierowaną przeciwnie – ku górze, czyli w tę samą stronę, w którą przemieszcza się piłka. Wysokość h, na jaką Marta podniesie piłkę, jest równa drodze przebytej przez tę piłkę. Oznacza to, że, Marta wykonuje pracę:

$$W = Fh = mgh$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$W = 5 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2 \text{ m} = 100 \text{ J} = 0{,}1 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Marta wykonała pracę 100 J, czyli 0,1 kJ.

Wzrost energii potencjalnej

W wyniku pracy wykonanej przez Martę piłka znalazła się na wysokości 2 m, z której może spaść i wywołać pewne szkody (warto uważać, by nie spadła na nogi!), czyli z punktu widzenia fizyki – może wykonać pracę. Zatem jej energia wzrosła. Ponieważ **wzrost energii potencjalnej piłki jest równy pracy** wykonanej przy jej podnoszeniu:

$$\Delta E = W$$

więc w sytuacji opisanej w przykładzie wzrosła ona o 100 J.
Wzór ogólny na przyrost energii potencjalnej wyprowadziliśmy w trakcie rozwiązywania powyższego przykładu:

$$\Delta E_p = W = mgh$$

gdzie m – masa ciała, a h – wysokość, na którą je podnosimy.

> Gdy ciało o masie m wznosimy na wysokość h, jego energia potencjalna wzrasta o:
> $$\Delta E_p = mgh$$

Wybór poziomu zerowego

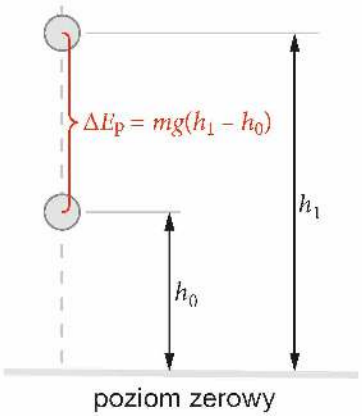
Wiemy, o ile zmienia się energia potencjalna. Ale ile konkretnie wynosi ta energia na danej wysokości? Aby odpowiedzieć na to pytanie, musimy umownie przyjąć jakiś poziom jako poziom zerowej energii. Jeśli w analizowanym przykładzie przyjmiemy, że poziomem tym jest podłoga, to podniesiona piłka ma po prostu energię potencjalną 100 J.

Jeśli jednak przyjmiemy, że umownym poziomem zerowym jest poziom ulicy, a sala gimnastyczna mieści się na piętrze, to względem tego poziomu energia będzie znacznie większa. Nic dziwnego – aby wnieść piłkę na piętro, trzeba wykonać dodatkową pracę, a jeśli piłka spadnie z tej wysokości na ulicę (nie próbuj jej zrzucać!), może wykonać znacznie większą pracę i na przykład spowodować zmianę kształtu karoserii zaparkowanego tam samochodu.

Ciało o masie m na wysokości h ponad poziomem umownie przyjętym za zerowy ma energię potencjalną

$$E_p = mgh$$

Zapytasz może, dlaczego nie ustalamy jednoznacznie wartości energii potencjalnej, tylko dość dowolnie wybieramy poziom zerowy?
Wynika to z faktu, że w praktyce nie potrzebujemy znać wartości energii potencjalnej: najczęściej interesuje nas, **o ile wzrosła lub zmalała** ona w trakcie jakiegoś procesu. Ta wielkość (zmiana energii) jest równa pracy potrzebnej do przeniesienia ciała i dlatego nie zależy od wybranego przez nas poziomu zerowego.



▲ Zmiana energii potencjalnej zależy od zmiany wysokości, na jakiej znajduje się ciało

Energia potencjalna poza Ziemią

Występujący we wzorze na energię potencjalną współczynnik g to **przyspieszenie grawitacyjne**. Przypomnijmy, że ta wielkość określa, jaka siła ciężkości działa na ciało o masie 1 kg. Im silniejsze jest przyciąganie grawitacyjne, tym większa wartość współczynnika g (patrz tabela obok).
Wzór $E_p = mgh$ jest prawdziwy także na innych ciałach niebieskich (w pobliżu ich powierzchni), jeśli do niego podstawi się właściwą wartość przyspieszenia grawitacyjnego g (patrz tabela obok).
Na Ziemi zwane jest ono przyspieszeniem ziemskim i wynosi $9{,}8\ \frac{m}{s^2} \approx 10\ \frac{m}{s^2}$, ale na przykład na Księżycu tylko $1{,}6\ \frac{m}{s^2}$. To oznacza, że na ciało o masie 1 kg działa siła ciężkości 1,6 N (patrz s. 104), a gdy przy jego powierzchni podnosimy ciało na wysokość 1 m, wykonujemy pracę 1,6 J.

Ciało niebieskie	Przyspieszenie g
Merkury	$3{,}7\ \frac{m}{s^2}$
Wenus	$8{,}9\ \frac{m}{s^2}$
Ziemia	$9{,}8\ \frac{m}{s^2}$
Mars	$3{,}7\ \frac{m}{s^2}$
Jowisz	$23{,}1\ \frac{m}{s^2}$
Saturn	$9{,}0\ \frac{m}{s^2}$
Uran	$8{,}7\ \frac{m}{s^2}$
Neptun	$11{,}0\ \frac{m}{s^2}$
Księżyc	$1{,}6\ \frac{m}{s^2}$

A to ciekawe

Większą pracę wykonujemy, podnosząc torebkę cukru nad powierzchnią Ziemi, niż gdy podnosimy ciało o masie samochodu nad powierzchnią komety Halleya. Dzieje się tak dlatego, że Ziemia ma znacznie większą masę od komety i przyciąganie grawitacyjne na powierzchni Ziemi jest znacznie silniejsze.



Energia kinetyczna

Energia kinetyczna jest związana z ruchem ciała. Jest ona równa pracy potrzebnej do rozpędzenia ciała od stanu spoczynku do określonej prędkości. Wyobraźmy sobie poruszające się ciało, np. samochód. Od czego może zależeć jego energia kinetyczna?

- Nietrudno sobie wyobrazić, że aby rozpędzić ciało do większej prędkości, wykonamy większą pracę, niż gdyby rozpędzić je do mniejszej prędkości. Z kolei z dwóch identycznych ciał większą pracę może wykonać to, które porusza się szybciej. Zatem **im większa prędkość**, tym większa energia kinetyczna.
- Gdy różne ciała rozpędzamy do tej samej prędkości, większą pracę wykonamy, aby rozpędzić ciało o większej masie. Później to ciało będzie zdolne do wykonania większej pracy. Zatem **im większa masa**, tym większa energia kinetyczna.

Energię kinetyczną ciała o masie m i prędkości v obliczamy ze wzoru:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Z tej zależności skorzystamy w przykładzie.

Przykład 2

Porównanie energii kinetycznych ciał

Pocisk karabinowy o masie 5 g porusza się z prędkością 900 $\frac{m}{s}$. Kot o masie 5 kg idzie z prędkością 0,9 $\frac{m}{s}$ (czyli nieco ponad 3 $\frac{km}{h}$). Które z ciał ma większą energię kinetyczną? Oblicz, ile razy większą.

Dane:

$m_1 = 5\ g = 0{,}005\ kg$
$v_1 = 900\ \frac{m}{s}$
$m_2 = 5\ kg$
$v_2 = 0{,}9\ \frac{m}{s}$

Szukane:

$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = ?$

Rozwiązanie: Energię kinetyczną obliczamy ze wzoru: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$.

Dla pocisku: $E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}005\ kg \cdot (900\ \frac{m}{s})^2 \approx 2000\ J$

$$\left[kg \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2 = kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = N \cdot m = J\right]$$

Dla kota: $E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot 5\ kg \cdot (0{,}9\ \frac{m}{s})^2 \approx 2\ J$

Zatem: $E_{k1} > E_{k2}$. Obliczymy iloraz tych wielkości: $\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = 1000$.

Odpowiedź: Tysiąc razy większą energię kinetyczną ma pocisk karabinowy.

Zwróć uwagę na to, że kot ma masę 1000 razy większą od pocisku, a porusza się 1000 razy wolniej od niego. Jednak prędkość we wzorze na energię kinetyczną jest podniesiona do kwadratu, dlatego ma większy wpływ na energię kinetyczną niż masa.

Przykład 3



Obliczanie prędkości z energii kinetycznej

Oblicz prędkość, z jaką biegnie zając o masie 5 kg, jeśli jego energia kinetyczna wynosi 810 J.

Dane:
$m = 5\ \text{kg}$
$E_k = 810\ \text{J}$

Szukane:
$v = ?$

Rozwiązanie: Musimy wyznaczyć prędkość v ze wzoru na energię kinetyczną:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad | \cdot 2$$
$$2E_k = mv^2 \quad | : m$$
$$\frac{2E_k}{m} = v^2$$

Zatem ze wzoru $v^2 = \frac{2E_k}{m}$ mamy:

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}$$

Obliczamy wartość prędkości, która nie może być ujemna, dlatego pomijamy ujemne rozwiązanie.

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 810\,\text{J}}{5\,\text{kg}}} = \sqrt{324}\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 18\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\left[\sqrt{\frac{\text{J}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}} = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

Odpowiedź: Zając biegł z prędkością 18 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Energia mechaniczna

Ciało może mieć oczywiście jednocześnie energię kinetyczną i energię potencjalną. Sumę tych dwóch energii nazywamy całkowitą **energią mechaniczną**.

Całkowita energia mechaniczna to suma energii kinetycznej i potencjalnej ciała.

Tym pojęciem zajmiemy się dokładniej w następnej lekcji. Zbadamy zjawiska, w których energia potencjalna zmienia się w kinetyczną lub odwrotnie.

To najważniejsze

- **Energię potencjalną** ciała o masie m na wysokości h nad poziomem zerowym obliczamy ze wzoru $E_p = mgh$, gdzie g – przyspieszenie grawitacyjne (dla Ziemi $g \approx 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$).
- **Energię kinetyczną** ciała o masie m poruszającego się z prędkością v obliczamy za pomocą wzoru: $E_k = \frac{mv^2}{2}$
- Sumę energii potencjalnej i kinetycznej nazywamy **energią mechaniczną** ciała.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Ola stoi na drabinie o wysokości 5 m i ze szczytu drabiny podnosi o 2 m odważnik o masie 3 kg. Oblicz na dwa sposoby, o ile wzrosła energia odważnika:

   a) Przyjmij za poziom zerowy podłogę.

   b) Przyjmij za poziom zerowy szczyt drabiny, z którego Ola podnosi odważnik.

2. Pies o masie 20 kg biegnie z prędkością 10 $\frac{m}{s}$. Ile wynosi jego energia kinetyczna?

3. „Ale się namęczyłem!" – powiedział Adam. „Wnosząc 10 kg ziemniaków do domu, wykonałem pracę 600 J!". Na którym piętrze mieszka Adam, jeśli przeciętna wysokość jednego piętra to 3 m?

4. Oblicz prędkość, z jaką porusza się piłka o masie 450 g, jeśli jej energia kinetyczna wynosi 90 J.

5. Oblicz energię kinetyczną statku „Dar Młodzieży" o masie 3000 ton, płynącego z prędkością 18 węzłów. Skorzystaj z informacji w ramce.

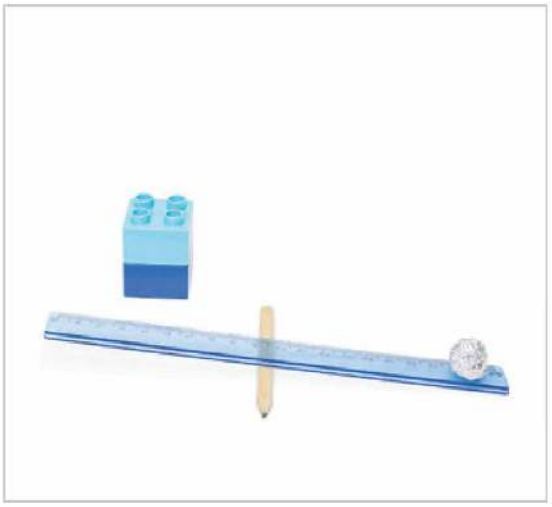
> W żegludze prędkość wyrażamy w węzłach. Węzeł to mila morska na godzinę, czyli 1,852 $\frac{km}{h}$, niemal dokładnie 0,5 $\frac{m}{s}$.
> Na przykład prędkość maksymalna statku „Dar Młodzieży" wynosi 18 węzłów, czyli 33 $\frac{km}{h}$ albo 9 $\frac{m}{s}$.



Doświadczenie domowe

Podskakująca kulka

1. Przygotuj długą linijkę, okrągły ołówek, kilka klocków i kulkę z folii alumniowej.
2. Połóż linijkę na ołówku, tak jak na zdjęciu, aby stanowiła „huśtawkę".
3. Na jednym końcu linijki połóż kulkę. Upuść klocek nad drugim końcem linijki i obserwuj, na jaką wysokość się wzniesie kulka.
4. Co się zmieni, gdy zamiast jednego klocka upuścisz dwa albo trzy połączone ze sobą?





22. Przemiany energii mechanicznej

Cele lekcji

- Poznasz jedną z najważniejszych zasad fizyki – zasadę zachowania energii.
- Nauczysz się wykorzystywać ją do rozwiązywania zadań.

Badanie przemian energii mechanicznej

Łatwo zaobserwować, że stalowa nakrętka zawieszona na sznurku rozpędza się, gdy porusza się w dół, oraz zwalnia, gdy porusza się w górę.
Dzięki wiedzy z ostatniej lekcji umiemy sformułować wniosek, że kiedy energia potencjalna ciała maleje, to energia kinetyczna rośnie, i na odwrót.
Zbadamy teraz to zjawisko dokładniej.



▲ Ruch nakrętki na sznurku

Doświadczenie 14.

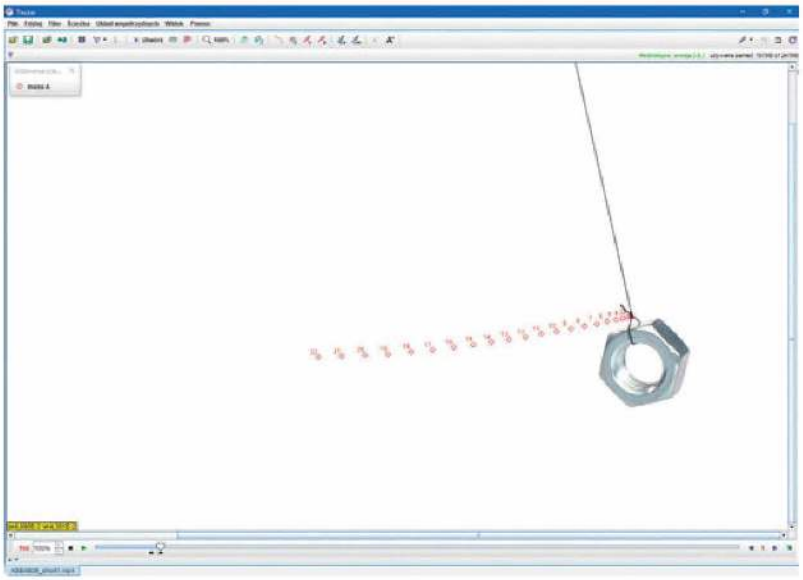
Badanie przemian energii

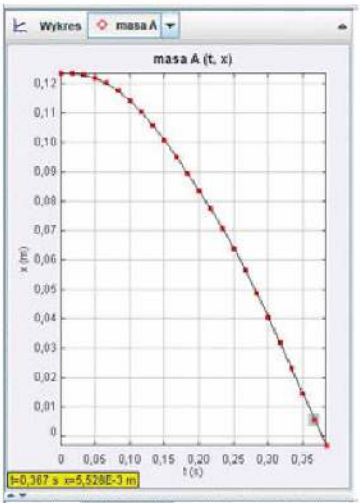
1. Znajdź dużą stalową nakrętkę i ją zważ (zdjęcie A).
2. Zawieś nakrętkę na sznurku długości ok. 1 m (zdjęcie B).
3. Rozhuśtaj nakrętkę na sznurku i sfilmuj jej ruch za pomocą kamery w telefonie. Zwróć uwagę, aby telefon się nie poruszał – jeśli to możliwe, użyj statywu.
4. Przeanalizuj film za pomocą programu Tracker (patrz s. 77). Wyświetl wykres przedstawiający zależność wartości prędkości v (ale nie v_x ani v_y) od pionowej współrzędnej wybranego punktu nakrętki, czyli wykres $v(y)$.
5. Zapisz wartości y i v dla kilku wybranych położeń nakrętki. Dla każdego z nich oblicz energię potencjalną, kinetyczną oraz ich sumę, czyli całkowitą energię mechaniczną.

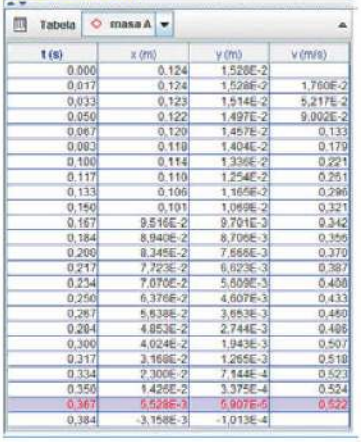


Analiza doświadczenia

W doświadczeniu użyliśmy stalowej nakrętki o masie 60,8 g.

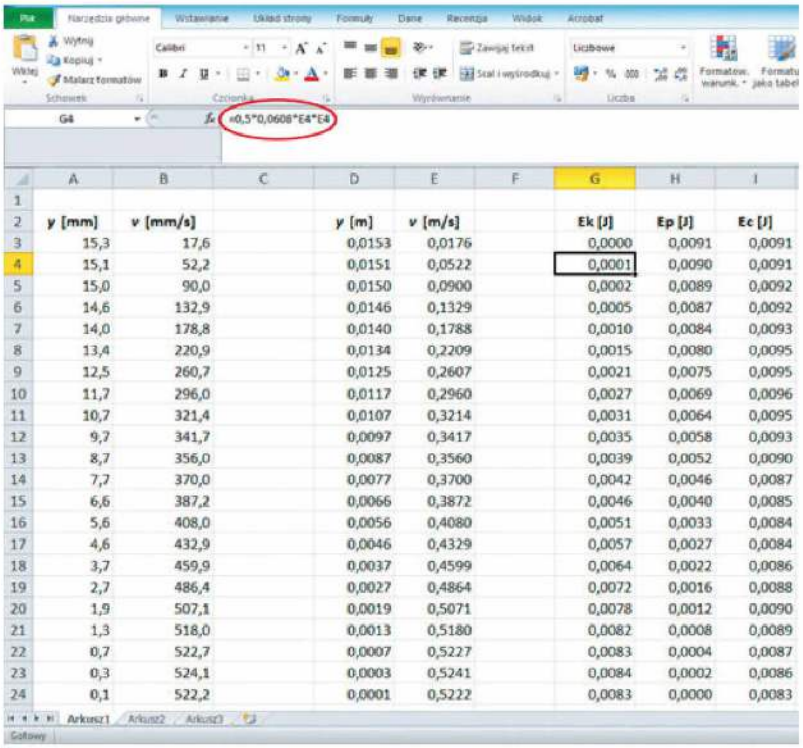






t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)
0,000	0,124	1,528E-2	
0,017	0,124	1,528E-2	1,760E-2
0,033	0,123	1,514E-2	5,217E-2
0,050	0,122	1,497E-2	9,002E-2
0,067	0,120	1,457E-2	0,133
0,083	0,118	1,404E-2	0,179
0,100	0,114	1,336E-2	0,221
0,117	0,110	1,254E-2	0,261
0,133	0,106	1,165E-2	0,296
0,150	0,101	1,069E-2	0,321
0,167	9,516E-2	9,701E-3	0,342
0,184	8,940E-2	8,706E-3	0,356
0,200	8,345E-2	7,668E-3	0,370
0,217	7,723E-2	6,623E-3	0,387
0,234	7,070E-2	5,609E-3	0,408
0,250	6,376E-2	4,607E-3	0,433
0,267	5,638E-2	3,653E-3	0,460
0,284	4,853E-2	2,744E-3	0,486
0,300	4,024E-2	1,943E-3	0,507
0,317	3,169E-2	1,265E-3	0,518
0,334	2,300E-2	7,144E-4	0,523
0,350	1,426E-2	3,375E-4	0,524
0,367	5,528E-3	5,907E-5	0,522
0,384	-3,158E-3	-1,013E-4	

Przepisaliśmy dane z tabeli dla 22 kolejnych położeń nakrętki do arkusza kalkulacyjnego i dla każdego z nich zapisaliśmy współrzędną pionową y oraz wartość prędkości v. Dzięki temu dalszych obliczeń nie musieliśmy wykonywać ręcznie.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	y [mm]	v [mm/s]		y [m]	v [m/s]		Ek [J]	Ep [J]	Ec [J]
3	15,3	17,6		0,0153	0,0176		0,0000	0,0091	0,0091
4	15,1	52,2		0,0151	0,0522		0,0001	0,0090	0,0091
5	15,0	90,0		0,0150	0,0900		0,0002	0,0089	0,0092
6	14,6	132,9		0,0146	0,1329		0,0005	0,0087	0,0092
7	14,0	178,8		0,0140	0,1788		0,0010	0,0084	0,0093
8	13,4	220,9		0,0134	0,2209		0,0015	0,0080	0,0095
9	12,5	260,7		0,0125	0,2607		0,0021	0,0075	0,0095
10	11,7	296,0		0,0117	0,2960		0,0027	0,0069	0,0096
11	10,7	321,4		0,0107	0,3214		0,0031	0,0064	0,0095
12	9,7	341,7		0,0097	0,3417		0,0035	0,0058	0,0093
13	8,7	356,0		0,0087	0,3560		0,0039	0,0052	0,0090
14	7,7	370,0		0,0077	0,3700		0,0042	0,0046	0,0087
15	6,6	387,2		0,0066	0,3872		0,0046	0,0040	0,0085
16	5,6	408,0		0,0056	0,4080		0,0051	0,0033	0,0084
17	4,6	432,9		0,0046	0,4329		0,0057	0,0027	0,0084
18	3,7	459,9		0,0037	0,4599		0,0064	0,0022	0,0086
19	2,7	486,4		0,0027	0,4864		0,0072	0,0016	0,0088
20	1,9	507,1		0,0019	0,5071		0,0078	0,0012	0,0090
21	1,3	518,0		0,0013	0,5180		0,0082	0,0008	0,0089
22	0,7	522,7		0,0007	0,5227		0,0083	0,0004	0,0087
23	0,3	524,1		0,0003	0,5241		0,0084	0,0002	0,0086
24	0,1	522,2		0,0001	0,5222		0,0083	0,0000	0,0083

Zwróć uwagę na formułę zaznaczoną czerwoną pętlą, czyli wzór na energię kinetyczną: ułamek $\frac{1}{2}$ zapisaliśmy w postaci dziesiętnej jako 0,5, liczba 0,0608 to masa nakrętki w kilogramach, natomiast E4 to adres komórki arkusza, w której znajduje się prędkość nakrętki w metrach na sekundę.

Popatrzmy teraz na ostatnią kolumnę. Całkowita energia mechaniczna nakrętki, czyli suma energii kinetycznej i potencjalnej, praktycznie się nie zmieniała – stale wynosiła ok. 0,009 J. Jej niewielkie wahania wynikają tylko z niedokładności pomiaru.
Zatem choć zmieniały się wartości zarówno energii kinetycznej, jak i energii potencjalnej, ich suma, czyli całkowita **energia mechaniczna, pozostawała bez zmian**.

Kto nie wierzy prawom zachowania, nie pije szampana

Czy zasada zachowania energii obowiązuje zawsze? To skomplikowane. Dla fizyków najważniejsze są wyniki doświadczeń. Gdyby komuś udało się za pomocą eksperymentu odkryć zjawisko, w którym zasada zachowania energii nie obowiązuje, musielibyśmy zmienić podręczniki. Raz było całkiem blisko.

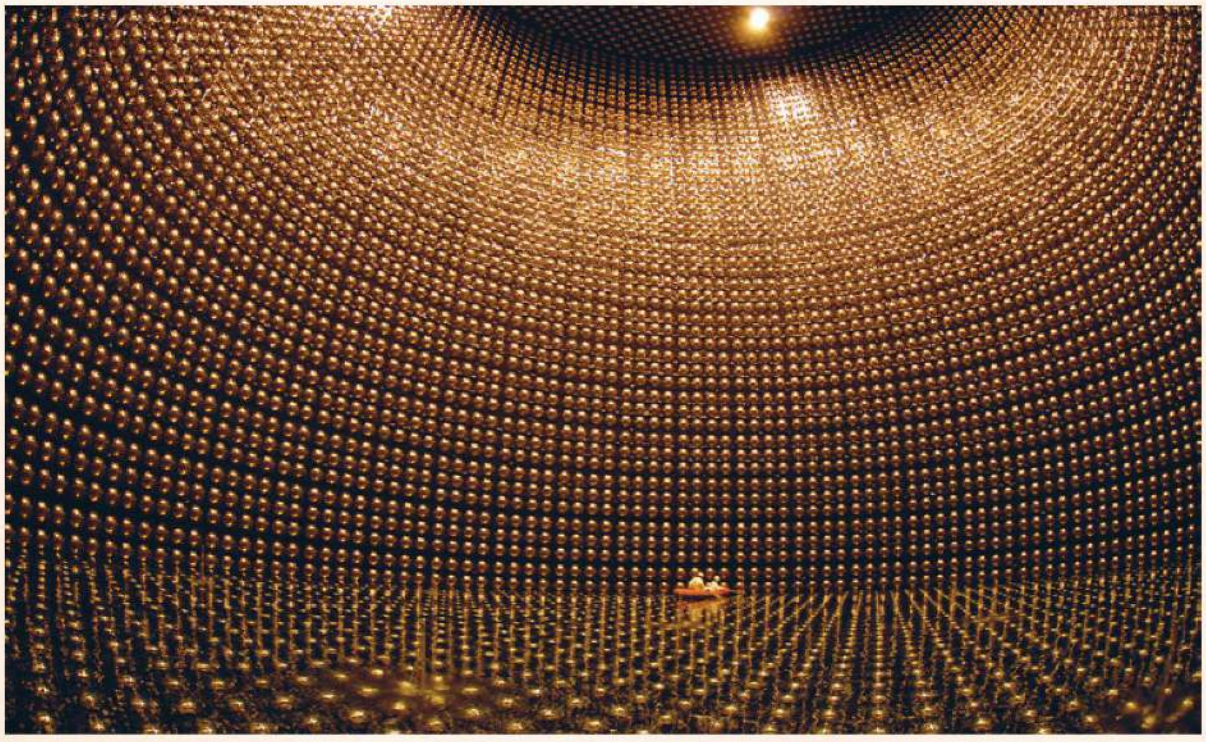
W latach trzydziestych XX w. fizycy dopiero zaczynali badać jądro atomowe, ale znali już zjawisko, w którym rozpadający się neutron tworzy proton i uciekający z jądra elektron. Okazało się jednak, że łączna energia cząstek po rozpadzie jest nieco mniejsza niż przed nim.

Co się stało z energią? Niektórzy fizycy byli gotowi uznać, że zasada zachowania energii nie obowiązuje w przypadku cząstek mniejszych niż atom.

Jednak szwajcarski teoretyk Wolfgang Pauli zaproponował inne rozwiązanie. Podejrzewał, że podczas rozpadu neutronu powstaje jeszcze jedna, nieznana dotąd cząstka, która niepostrzeżenie ucieka z jądra i zabiera ze sobą brakującą energię. Hipoteza Pauliego zakładała, że cząstka ta praktycznie nie oddziałuje z materią, dlatego też bardzo trudno ją zaobserwować. Po prostu „cząstka-duch".

Ze swoich wątpliwości Pauli zwierzył się przyjacielowi, astronomowi Walterowi Baade: „Dziś zrobiłem coś, czego nigdy nie powinien zrobić fizyk-teoretyk: zasugerowałem istnienie cząstki niemożliwej do wykrycia". Kolega wierzył jednak w możliwości eksperymentatorów i z miejsca zaproponował zakład o skrzynkę szampana.

Baade musiał poczekać na trunek dwie dekady, ale zakład wygrał. W 1956 r. grupa badaczy wykryła neutrino. Dzięki temu oni też wygrali – nie szampana, ale nagrodę Nobla.



▲ Detektor neutrin Super-Kamiokande zawiera aż 50 000 ton wody. Naokoło niej znajdują się czujniki światła powstającego w następstwie oddziaływania neutrin w wodzie. Na zdjęciu widzisz także pracowników obsługi w pontonie, sprawdzających czujniki w trakcie napełniania detektora wodą

Zasada zachowania energii

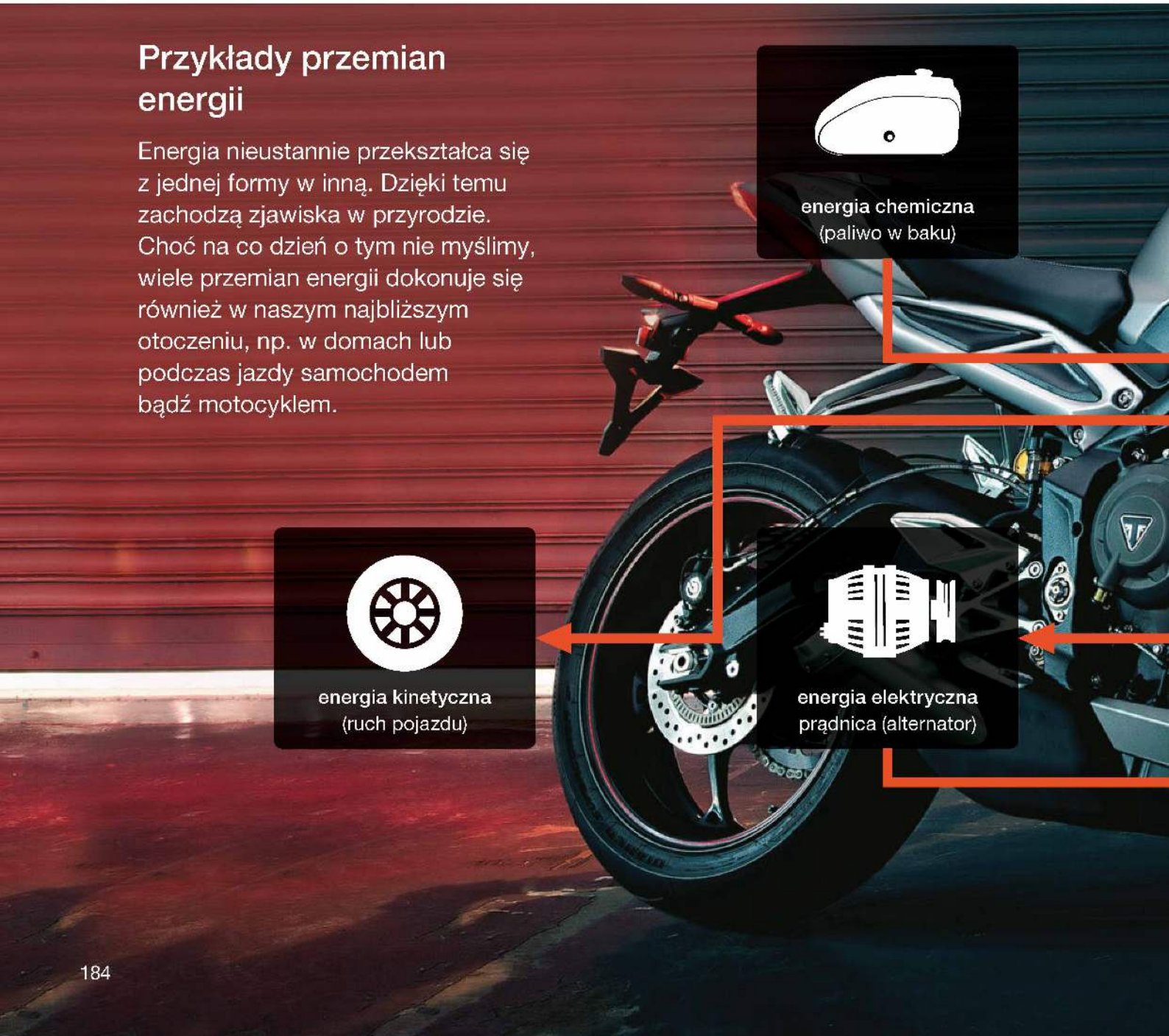
Zaobserwowana w doświadczeniu zależność doprowadziła nas do ważnego wniosku – **zasady zachowania energii mechanicznej:**

> Energia kinetyczna może się zmieniać w potencjalną, a potencjalna w kinetyczną, ale całkowita energia mechaniczna pozostaje stała, jeśli pominąć opory ruchu.

Założenie o braku oporów ruchu jest bardzo ważne. Popchnięty po podłodze karton zatrzyma się po chwili, a więc jego energia kinetyczna zmniejszy się do zera, a energia potencjalna w tym czasie nie ulegnie zmianie. Co się więc stanie z energią mechaniczną? Wystarczy mocno zatrzeć ręce, aby zaobserwować, że się rozgrzewają. Tak więc w przypadku tarcia energia mechaniczna zmienia się w energię wewnętrzną.
Zasada zachowania energii mechanicznej obowiązuje tylko w przypadku braku oporów ruchu. Gdy jednak uwzględnimy inne formy energii (patrz s. 168), okaże się, że

Przykłady przemian energii

Energia nieustannie przekształca się z jednej formy w inną. Dzięki temu zachodzą zjawiska w przyrodzie. Choć na co dzień o tym nie myślimy, wiele przemian energii dokonuje się również w naszym najbliższym otoczeniu, np. w domach lub podczas jazdy samochodem bądź motocyklem.



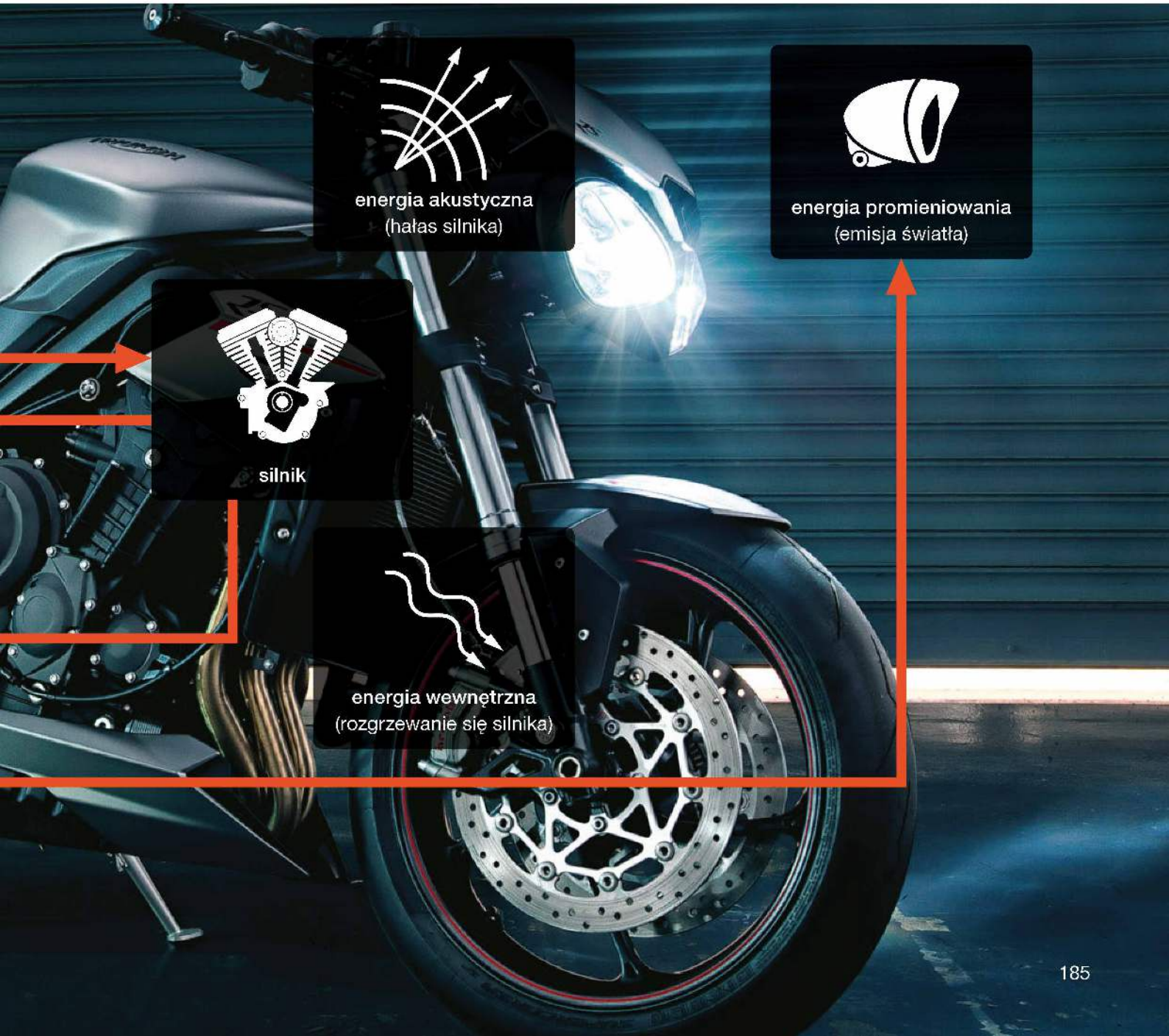
energia nie ginie ani nie powstaje, może tylko zmieniać formę lub przepływać między ciałami. W ten sposób dochodzimy do najważniejszego prawa fizyki – **zasady zachowania energii**.

> Energia może zmieniać formę lub przepływać między ciałami, ale nie może powstać ani zniknąć.

Ta zasada obowiązuje we wszystkich znanych nam zjawiskach.

Zasada zachowania energii w zadaniach

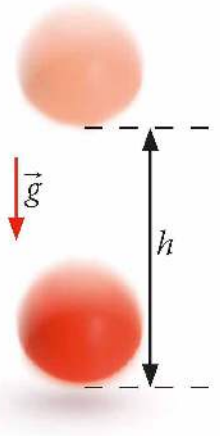
Zasada zachowania energii pozwala nam lepiej przewidywać i rozumieć przebieg procesów fizycznych. Dotyczy to nie tylko mechaniki. W drugiej i trzeciej klasie także będziemy omawiać przemiany energii, m.in. w zjawiskach elektrycznych i cieplnych.



Przykład

Obliczanie prędkości uzyskanej przez spadające ciało

Piłeczka o masie 10 g spada z wysokości 20 m. Jaka jest jej prędkość tuż przed uderzeniem o ziemię? W tym zjawisku można pominąć opory ruchu.



Dane:
$m = 10\ \text{g}$
$h = 20\ \text{m}$

Szukane:
$v = ?$

SPOSÓB I – bez wykorzystania pojęcia energii

Piłeczka poruszała się ruchem przyspieszonym z przyspieszeniem g bez prędkości początkowej. Jej prędkość zmieniała się więc zgodnie ze wzorem:

$$v_\text{k} = gt$$

Skorzystamy ze wzoru na drogę w ruchu jednostajnie zmiennym:

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

Stąd: $$2s = gt^2, \quad \text{więc} \quad t^2 = \frac{2s}{g}$$

A ponieważ przebyta droga s jest równa wysokości h, z której spadała piłeczka, możemy także napisać:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Gdy teraz podstawimy to wyrażenie do wzoru $v_\text{k} = gt$, otrzymamy:

$$v_\text{k} = gt = g\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{g^2 \cdot \frac{2h}{g}} = \sqrt{2gh}$$

Po podstawieniu danych liczbowych:

$$v_\text{k} = \sqrt{2 \cdot 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20\ \text{m}} = \sqrt{400\,\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Jak widać, ten sposób jest dość skomplikowany. Porównajmy go z drugą metodą, w której skorzystamy ze wzorów na energię.

SPOSÓB II

Początkowo piłeczka spoczywała, nie miała więc energii kinetycznej, a jedynie energię potencjalną:

$$E_\text{p} = mgh$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

$$E_\text{p} = 0{,}01\ \text{kg} \cdot 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20\ \text{m} = 2\ \text{J}$$

Tuż przed uderzeniem w ziemię energia potencjalna piłeczki (względem ziemi) była zerowa, za to miała ona energię kinetyczną:

$$E_\text{k} = \frac{mv_\text{k}^2}{2}$$

Ponieważ cała początkowa energia potencjalna zamieniła się w kinetyczną, możemy napisać:

$$E_k = E_p$$

W takim razie także $E_k = 2$ J. Musimy tylko obliczyć, jaką prędkość ma piłeczka o masie 0,01 kg i energii kinetycznej 2 J. Postępujemy jak w przykładzie 3. na s. 179. Ze wzoru $E_k = \frac{1}{2}mv_k^2$ wyznaczamy prędkość:

$$v_k = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}$$

W naszym przypadku po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy:

$$v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot 2\,\text{J}}{0{,}01\,\text{kg}}} = \sqrt{400}\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\left[\sqrt{\frac{\text{J}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

Wynik jest ten sam (to dobrze!). Zauważmy jednak, że w sposobie I nie korzystaliśmy w ogóle z informacji o masie piłeczki. Czy to znaczy, że masa nie ma wpływu na wynik? Tak rzeczywiście jest.

Gdyby piłeczka miała np. 3 razy większą masę, to jej początkowa energia potencjalna byłaby 3 razy większa. W takim razie tuż przed zderzeniem z ziemią piłeczka miałaby co prawda 3 razy większą energię kinetyczną, ale przy 3 razy większej masie oznaczałoby to, że prędkość piłeczki jest taka sama.

Spróbujmy więc rozwiązać zadanie za pomocą energii, ale bez wykorzystania informacji o masie. Okaże się, że w tym przypadku obliczenia będą najłatwiejsze.

SPOSÓB III

Początkowa energia potencjalna piłeczki $E_p = mgh$ zmieniła się w energię kinetyczną $E_k = \frac{1}{2}mv_k^2$, a więc:

$$E_k = E_p$$

czyli:

$$\frac{mv_k^2}{2} = mgh \quad | : m$$

Zatem:

$$\frac{v_k^2}{2} = gh \quad | \cdot 2, \text{ czyli } v_k^2 = 2gh$$

$$v_k = \sqrt{2gh}$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy:

$$v_k = \sqrt{2 \cdot 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20\,\text{m}} = \sqrt{400\,\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Prędkość piłeczki tuż przed uderzeniem o ziemię wynosi $20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

A to ciekawe

Znaczna część energii kinetycznej pojazdów uczestniczących w zderzeniach jest zużywana do wykonania pracy nad wyginaniem metalu, w efekcie czego zmienia się w energię wewnętrzną. Konstruktorzy samochodów wykorzystują tę zależność i w celu zwiększenia bezpieczeństwa jazdy projektują nadwozia w taki sposób, aby jak najwięcej energii kinetycznej pojazdu w momencie zderzenia było absorbowane podczas kontrolowanych odkształceń.



To najważniejsze

- **Zasada zachowania energii**: Energia kinetyczna może się zmieniać w potencjalną, a potencjalna w kinetyczną, ale całkowita energia mechaniczna pozostaje stała, jeśli pominąć opory ruchu.
- Energia może zmieniać formę lub przepływać między ciałami, ale nie może powstać ani zniknąć.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Opisz, jaka przemiana energii zachodzi w następującym urządzeniu:

a) prądnica,



b) świetlówka,



c) grzejnik elektryczny.



2. Na diagramie „Formy energii" na s. 168 przedstawiono przykłady ciał „niebezpiecznych", czyli obdarzonych dużą energią. Opisz dla trzech z nich możliwe dalsze przemiany energii. Postaraj się, aby w każdym przykładzie podać przynajmniej dwie kolejne przemiany.

3. Mały ciężarek zrzucony z pewnej wysokości osiągnął tuż nad ziemią prędkość 30 $\frac{m}{s}$. Oblicz, z jakiej wysokości zrzucono ciężarek. Pomiń w obliczeniach opór powietrza.

4. Skoro obowiązuje zasada zachowania energii, to co oznaczają sformułowania „produkcja energii" albo „straty energii"?



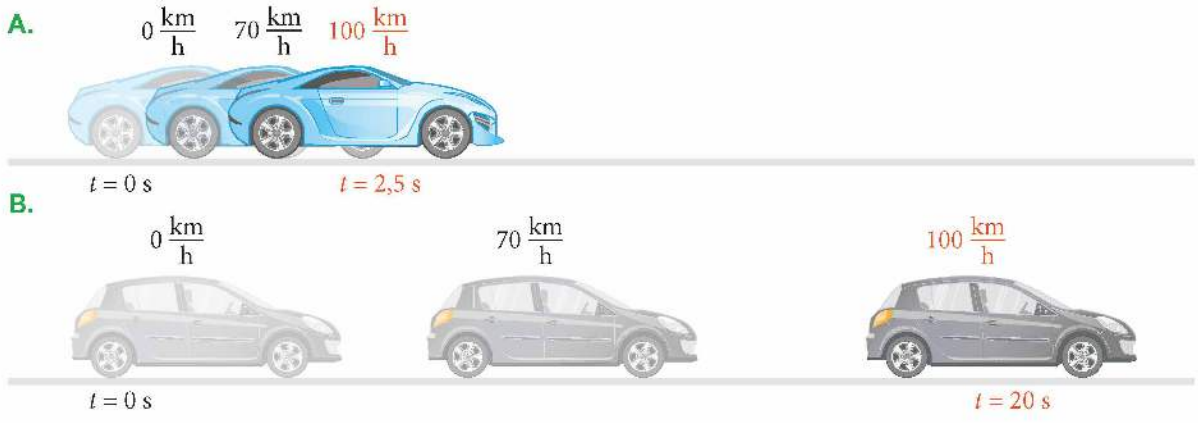
23. Moc

Cele lekcji

- Uporządkujesz wiedzę na temat mocy.
- Nauczysz się obliczać moc i przeliczać jednostki mocy.
- Dowiesz się, co koń mechaniczny ma wspólnego z mocą urządzeń.

Pojęcie mocy

Aby łatwiej zrozumieć pojęcie mocy, zacznijmy od następującego przykładu. Badacze testowali dwa samochody o takiej samej masie 1900 kg. Jeden, aby rozpędzić się od zera do 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, potrzebował 2,5 s (pojazd A na rys. poniżej), a drugi aż 20 s (pojazd B).



▲ Oba pojazdy osiągają tę samą prędkość w różnym czasie

Czym różniły się te pojazdy? Silniki obu samochodów wykonały tę samą pracę: dostarczyły energii wystarczającej do nadania im takiej samej prędkości. A jednak niewątpliwie silnik pierwszego samochodu był „mocniejszy", gdyż taką samą pracę wykonał w krótszym czasie. Te cechę, która odróżnia oba silniki, fizycy rzeczywiście nazywają **mocą** i oznaczają literą P (ang. *power* – moc).

Definicja mocy i jej jednostka

Moc to wielkość określająca, **jaka praca została wykonana w czasie 1 s**. Przypomnijmy, jak ją można obliczać. Na przykład jeśli w ciągu 10 s wykonano pracę 40 J, to na każdą sekundę przypada praca 4 J. Wówczas mówimy, że moc wynosi $4\,\frac{\text{J}}{\text{s}}$. Jak widzisz, aby obliczyć moc, musimy podzielić pracę przez czas jej wykonania. Dlatego wielkość tę definiujemy następująco:

> Moc to iloraz pracy i czasu, w którym została ona wykonana.

Moc obliczamy ze wzoru:

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

Jednostką mocy jest dżul na sekundę. Ta jednostka nazywa się **watem** (W), na cześć Jamesa Watta – wynalazcy maszyny parowej. Urządzenie ma moc 1 W, jeśli w czasie 1 s wykonuje pracę 1 J.

$$1\ \text{W} = 1\,\frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Często używane wielokrotności tej jednostki to:

- **kilo**waty 1 kW = 10^3 W = 1000 W
- **mega**waty 1 MW = 10^6 W = 1 000 000 W
- **giga**waty 1 GW = 10^9 W = 1 000 000 000 W
- **tera**waty 1 TW = 10^{12} W = 1 000 000 000 000 W

Przykład 1

Obliczanie mocy

Jeden samochód rozpędził się do prędkości 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ w czasie 2,5 s, a drugi w czasie 20 s. Masa każdego z pojazdów wynosiła 1900 kg. Oblicz i porównaj moc ich silników. Pomiń opory ruchu.

Dane:

$m_1 = m_2 = m = 1900$ kg

$v_1 = v_2 = v = 100\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$

$t_1 = 2{,}5$ s, $t_2 = 20$ s

Szukane:

$P_1 = ?$

$P_2 = ?$

Rozwiązanie: Najpierw obliczmy, jaką pracę wykonał każdy z silników. Ponieważ pomijamy opory ruchu, praca jest równa energii kinetycznej uzyskanej przez samochód:

$$W = E_\text{k} = \frac{1}{2}mv^2$$

Aby móc skorzystać z tego wzoru, zamieniamy jednostkę prędkości:

$$v = 100\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{100\,000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} \approx 27{,}78\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Podstawiamy dane liczbowe do wzoru na energię kinetyczną.

$$W = E_k = \frac{1}{2} \cdot 1900\ \text{kg} \cdot (27{,}78\ \tfrac{\text{m}}{\text{s}})^2 \approx 733\,000\ \text{J}$$

$$\left[\text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}\right]$$

Teraz możemy obliczyć moc każdego z silników:

$$P_1 = \frac{W}{t_1} = \frac{733\,000\ \text{J}}{2{,}5\ \text{s}} \approx 293\,000\ \text{W} = 293\ \text{kW}$$

$$P_2 = \frac{W}{t_2} = \frac{733\,000\ \text{J}}{20\ \text{s}} \approx 36\,700\ \text{W} = 36{,}7\ \text{kW}$$

Drugi samochód potrzebował ośmiokrotnie dłuższego czasu, by rozpędzić się do określonej prędkości, a moc jego silnika była ośmiokrotnie mniejsza.

Odpowiedź: Moc pierwszego samochodu wynosiła 293 kW, a drugiego – była ośmiokrotnie mniejsza i wynosiła 36,7 kW.

Koń mechaniczny

W oficjalnych dokumentach, np. w dowodzie rejestracyjnym, moc samochodu jest wyrażana w kilowatach. Jednak na co dzień używamy zwykle innej jednostki mocy – **koni mechanicznych**.

Koń mechaniczny to jednostka mocy spoza układu SI:

$$1\ \text{KM} = 735{,}5\ \text{W}$$

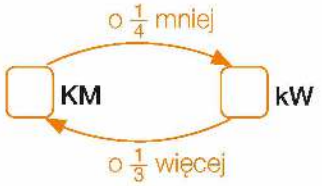
Pierwotnie jednostka ta opisywała przeciętną moc konia pociągowego wykorzystywanego do wyciągania wody z kopalni. Ilu koni potrzebowalibyśmy więc do zastąpienia (przynajmniej w pewnym stopniu) samochodów z przykładu 1.?

$$P_1 = 293\,000\ \text{W} = \frac{293\,000}{735{,}5}\ \text{KM} \approx 400\ \text{KM}$$

$$P_2 = 36\,700\ \text{W} = \frac{36\,700}{735{,}5}\ \text{KM} \approx 50\ \text{KM}$$

Doceńmy więc nasze współczesne pojazdy!

Jak szybko przeliczać konie mechaniczne na kilowaty i odwrotnie?



np.

60 KM = (60 − 15) kW = 45 kW

$\frac{1}{4}$ z 60

9 kW = (9 + 3) KM = 12 KM

$\frac{1}{3}$ z 9

A to ciekawe

Koń mechaniczny opisuje moc zwierzęcia wykonującego stale tę samą pracę. W zrywie jego moc może być nawet kilkanaście razy większa, ale jedynie przez krótki czas. Podobnie jest z ludźmi. Pracując przez dłuższy czas, człowiek może przeciętnie osiągać moc 0,1 KM, a w zrywie 1,2 KM. Wytrenowani sportowcy mają większe możliwości. W 2009 r. Usain Bolt, ustanawiając rekord świata w biegu na 100 m z czasem 9,58 s, osiągał moc 3,5 KM.



A to ciekawe

Moc pioruna to kilkaset terawatów (TW). Sama jego energia nie jest bardzo duża – więcej energii elektrycznej zużywa przeciętne gospodarstwo domowe w ciągu miesiąca. Ogromna wartość mocy wynika przede wszystkim stąd, że energia pioruna wyzwala się w bardzo krótkim czasie. Z tego powodu na ogół nie traktuje się piorunów jako potencjalnego źródła użytecznej energii.



Moc i energia

Moc określa, jak szybko jest wykonywana praca, albo ogólniej – jak szybko wydatkowana jest energia ciała, czy też jak szybko jedna forma energii zamienia się w inną. Zamiast $P = \frac{W}{t}$ możemy też zapisać $P = \frac{E}{t}$.
Jeśli znamy moc jakiegoś urządzenia, możemy łatwo obliczyć, jaką energię zużyje ono w określonym czasie. Ze wzoru $P = \frac{E}{t}$ otrzymamy:

$$E = P \cdot t$$

Wzór ten odpowiada naszej intuicji: jeśli np. silnik ma moc 100 W, czyli w czasie 1 s wykonuje pracę 100 J, to w czasie 5 s wykona pracę 5 razy większą, czyli 500 J.

Kilowatogodzina

W życiu codziennym spotykamy się czasem z pojęciem **kilowatogodziny** (kWh). Odnajdziemy je na każdym rachunku za elektryczność. Kilowatogodzina to po prostu nietypowa jednostka energii. Skąd się bierze?

Jedna kilowatogodzina to energia, jaką zużywa urządzenie o mocy jednego kilowata (czyli tysiąca watów) w ciągu jednej godziny. A więc:
1 kWh = 1000 W · 1 h = 1000 W · 3600 s = 3 600 000 J = 3,6 MJ

Przykład 2

Obliczanie kosztu zużycia energii elektrycznej

Ile zapłacimy za energię potrzebną do półtoragodzinnego prasowania żelazkiem o mocy 2,2 kW? Przyjmij, że cena 1 kWh wynosi 80 gr.

Dane:
$P = 2{,}2$ kW
$t = 1{,}5$ h
cena energii elektrycznej = 80 $\frac{\text{gr}}{\text{kWh}}$

Szukane:
koszt zużycia energii elektrycznej = ?

Rozwiązanie: Korzystamy z wyprowadzonego powyżej wzoru: $E = Pt$. Podstawiamy dane liczbowe:

$$E = 2{,}2 \text{ kW} \cdot 1{,}5 \text{ h} = 3{,}3 \text{ kWh}$$

Zatem za energię 3,3 kWh zapłacimy:

$$3{,}3\ \text{kWh} \cdot 80\ \frac{\text{gr}}{\text{kWh}} = 264\ \text{gr} = 2{,}64\ \text{zł}$$

Odpowiedź: Koszt zużycia energii elektrycznej podczas prasowania tym żelazkiem w czasie 1,5 godziny wynosi 2,63 zł.

Zapotrzebowanie energetyczne organizmu

Za pomocą pojęcia mocy można opisywać również organizmy żywe. Każdy z nas potrzebuje do życia energii pobieranej wraz z pożywieniem. Jak wiele w ciągu doby jej potrzebujemy, czyli jaka jest moc niezbędna do naszego funkcjonowania?
Zwykle zapotrzebowanie energetyczne organizmu dzielimy na dwa rodzaje:

- energię niezbędną do wykonywania jakiegoś rodzaju pracy, np. biegania, spaceru, jazdy na rowerze, dźwigania ciężarów,
- podstawową przemianę materii, czyli energię niezbędną zdrowej osobie wygodnie wypoczywającej w komfortowych warunkach. Energia zużywana w tym stanie jest związana głównie z zapewnieniem stałej temperatury organizmu oraz działaniem organów wewnętrznych – przede wszystkim mózgu (zużywa on aż 25% naszych zasobów energetycznych), ale także serca, płuc i innych.





▲ Nie tylko podczas aktywności fizycznej, ale nawet w czasie snu organizm zużywa energię

To, jak wiele energii w ciągu doby potrzebujemy, zależy od naszego wieku, kondycji, płci i innych czynników (stosowne wzory można znaleźć w internecie), ale z grubsza ludzki organizm w ciągu każdej godziny potrzebuje 4,2 kJ na kilogram masy ciała. Oznacza to, że osoba o masie 60 kg potrzebuje w ramach podstawowej przemiany materii 6048 kJ na dobę. Generuje więc moc $\frac{6048\ \text{kJ}}{24 \cdot 3600\ \text{s}} = 70\ \text{W}$.
Nic dziwnego, że inżynierowie projektujący domy energooszczędne wliczają do bilansu cieplnego domu również ciepło wytwarzane przez domowników.

A to ciekawe

Z pojęciem mocy spotykamy się choćby w przypadku żarówek. To, jak jasno świecą i ile energii zużywają, w dużym stopniu zależy od ich budowy. Dawne żarówki z wolframowym włóknem w szklanej bańce traciły bardzo dużą część dostarczanej energii na ciepło. Tej wady nie mają dzisiejsze żarówki LED. Dlatego żarówka LED o mocy 11 W świeci tak jasno jak tradycyjna żarówka 75 W.



Skala mocy

W codziennym życiu spotykamy urządzenia i obiekty o mocach od ułamka wata do milionów watów. Na skali mocy możemy umieścić również człowieka.

zegarek elektroniczny 0,1 mW



lampka rowerowa 1 W



wiatrak domowy 50 W



żelazko 2 kW



0,1 1 10 10^2 10^3 10^4

kalkulator 0,03 W



odpoczywający człowiek 100 W

żarówka diodowa 10 W



sprinter 2 kW





Airbus A380
220 MW

elektrownia Bełchatów
5,4 GW



mały skuter
3 kW



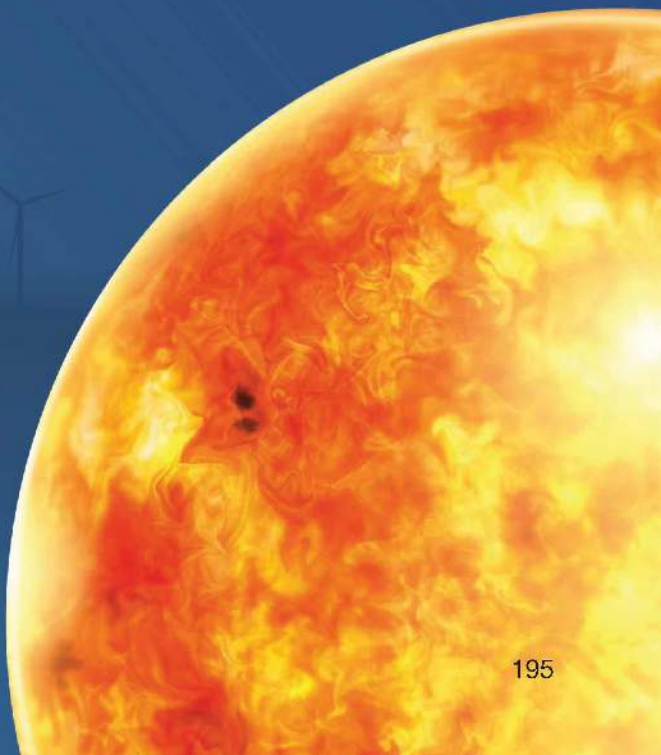
10^5 10^6 10^7 10^8 10^9 10^{10} P [W]

Słońce
$3{,}8 \cdot 10^{26}$ W

farma wiatrowa
w Cisowie
18 MW

ferrari F40
350 kW





To najważniejsze

- **Moc** to iloraz pracy W i czasu t, w którym została ona wykonana: $P = \frac{W}{t}$.
- Jednostką mocy jest **wat**: $1\ \text{W} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}}$.
- **Koń mechaniczny** to jednostka mocy spoza układu SI: 1 KM = 735,5 W.
- Jedna **kilowatogodzina** to energia, jaką zużywa urządzenie o mocy jednego kilowata w ciągu godziny: 1 kWh = 1000 W · 1 h = 3,6 MJ.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dźwig nr 1 podniósł ładunek o masie 200 kg na wysokość 20 m w czasie 60 s. Dźwig nr 2 podniósł ładunek o masie 200 kg na wysokość 20 m w czasie 100 s. Porównaj:

a) pracę wykonaną przez dźwigi,

b) moc, z jaką pracowały dźwigi.

2. Najstarsza żarówka na świecie znajduje się w remizie strażackiej w amerykańskim miasteczku Livermoore i działa nieprzerwanie od 1901 r.

a) Oblicz, jak dużą energię elektryczną zamieniła do dziś na światło i ciepło. Ponieważ moc żarówki zmalała z czasem z 60 W do 4 W, przyjmij, że jej średnia moc wynosiła 32 W.

b) Jedna kilowatogodzina kosztuje obecnie ok. 80 gr. Ile trzeba by było łącznie zapłacić za pracę żarówki z poprzedniego podpunktu według dzisiejszych cen?

3. Zapoznaj się ze skalą mocy (na ilustracji s. 194–195) i wykonaj odpowiednie obliczenia, aby znaleźć odpowiedzi na poniższe pytania.

a) Ile żelazek mogłaby zasilać elektrownia Bełchatów? Czy wystarczyłoby po jednym żelazku dla każdego mieszkańca Polski?

b) Ile żarówek diodowych mogłaby zasilać elektrownia Bełchatów? Po ile wypadłoby dla każdego mieszkańca Polski?

c) Ile skuterów ma łącznie taką moc jak jeden odrzutowiec?

d) Ile razy większa jest moc farmy wiatrowej w Cisowie od mocy lampki rowerowej?

4. Wyciągarka wciągnęła wiadro wody o masie 12 kg na wysokość 6 m. Trwało to 24 s. Oblicz moc silnika wyciągarki. Pomiń opory ruchu.

Doświadczenie domowe

Moc rowerzysty

Wyznacz moc swojego organizmu podczas rozpędzania na rowerze.

Samodzielnie zaplanuj i opracuj sposób pomiaru.

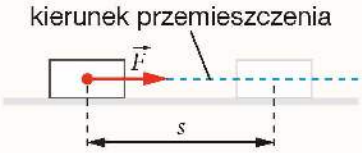
Uwaga. Do obliczenia wykonanej pracy możesz wykorzystać wzór na energię kinetyczną.



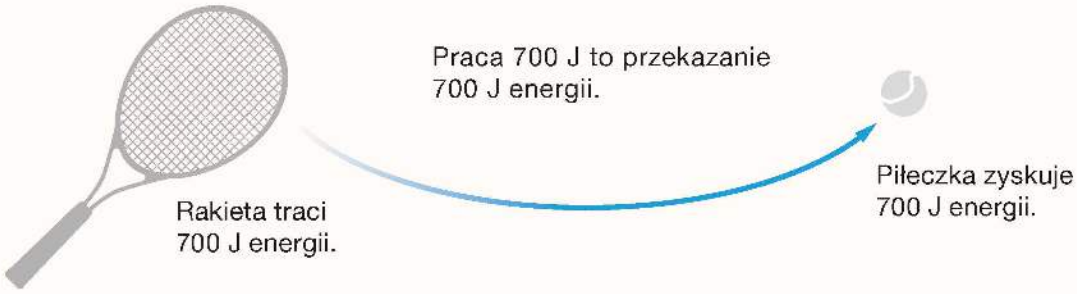
Powtórzenie Praca, moc, energia

- Z pracą mechaniczną mamy do czynienia, gdy siła jest związana z przemieszczeniem ciała. Gdy siła **działa w tę stronę, w którą przemieszcza się ciało** (patrz rys.), pracę obliczamy, mnożąc wartość siły F działającej na ciało przez przebytą drogę s:

$$W = F \cdot s$$



- Jednostką pracy i energii jest **dżul**: **1 J = 1 N · m**.
- **Siła działająca zgodnie z kierunkiem przemieszczenia** ciała wykonuje pracę dodatnią, czyli zwiększa energię ciała. **Siła działająca w przeciwną stronę, niż przemieszcza się ciało,** wykonuje pracę ujemną, czyli zmniejsza energię ciała.
- Praca wykonana przez **siłę prostopadłą do kierunku ruchu** jest równa zeru (np. siłę dośrodkową w ruchu po okręgu).
- Ciało wykonujące pracę W traci energię $E = W$. Ciało, nad którym wykonano pracę W, zyskuje energię $E = W$.



- Istnieje wiele form energii. Jeden jej rodzaj może się przekształcać w drugi. Należą do nich m.in.:

Energia potencjalna grawitacji

- jest związana z położeniem ciała,
- rośnie, gdy podnosimy ciało,
- obliczamy ją ze wzoru:

$$E_p = mgh$$



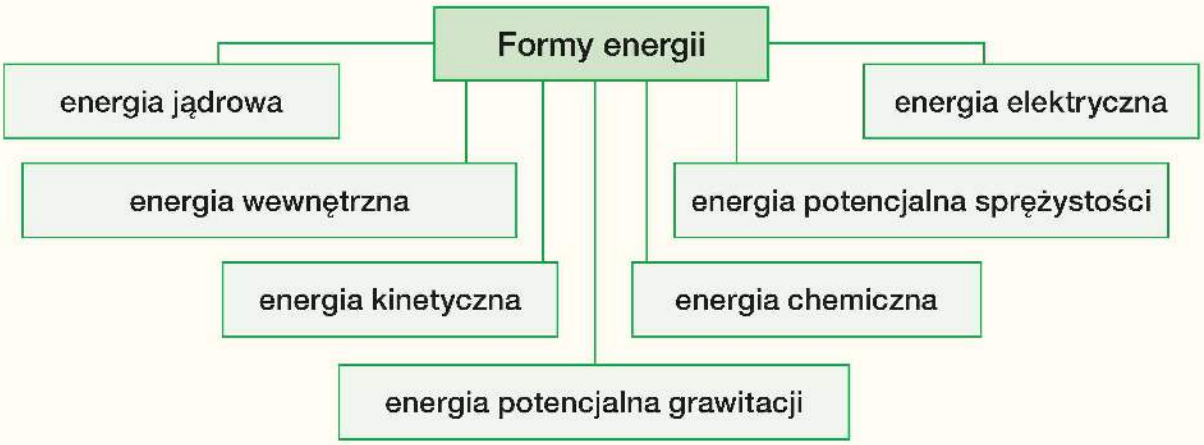
Energia kinetyczna

- jest związana z ruchem ciała,
- rośnie, gdy zwiększa się prędkość ciała,
- obliczamy ją ze wzoru:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$



- Na diagramie przedstawiono różne formy energii.



- **Energia mechaniczna** to suma energii kinetycznej i energii potencjalnej ciała.
- **Zasada zachowania energii mechanicznej:** Energia kinetyczna może się zmieniać w potencjalną, a potencjalna w kinetyczną, ale całkowita energia mechaniczna pozostaje stała, jeśli pominąć opory ruchu.
- **Zasada zachowania energii:** Energia może zmieniać formę lub przepływać między ciałami, ale nie może powstać ani zniknąć.
- **Moc** to iloraz pracy i czasu, w którym została ona wykonana.

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

- Jednostką mocy jest **wat**: $1\,\mathrm{W} = \frac{1\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{s}}$.
- **Koń mechaniczny** to jednostka mocy spoza układu SI: 1 KM = 735,5 W.
- Jedna **kilowatogodzina** to energia, jaką zużywa urządzenie o mocy jednego kilowata (czyli tysiąca watów) w ciągu jednej godziny.

$$1\,\mathrm{kWh} = 1000\,\mathrm{W} \cdot 1\,\mathrm{h} = 1000\,\mathrm{W} \cdot 3600\,\mathrm{s} = 3\,600\,000\,\mathrm{J} = 3{,}6\,\mathrm{MJ}$$

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To trzeba umieć

Uwaga. W zadaniach 2.–4. wskaż właściwe dokończenia zdań.

Informacja do zadań 1. i 2.
Adam zmierzył za pomocą siłomierza, jaką siłą musi ciągnąć wózek dziecinny po piasku. Siła ta wynosi 150 N.

1. Jaką pracę wykona Adam, gdy przeciągnie wózek na odległość 30 m?

A. 5 J **C.** 300 J
B. 4500 J **D.** 0 J

2. Jeśli wózek trzeba będzie przesunąć dwukrotnie dalej, to:

A. praca wzrośnie dwukrotnie.
B. praca wzrośnie czterokrotnie.
C. praca pozostanie taka sama, ponieważ nie zmienia się siła, z jaką Adam ciągnie wózek.

3. Kiedy jabłko spada z drzewa:

A. jego energia potencjalna maleje, a kinetyczna rośnie.
B. jego energia potencjalna rośnie, a kinetyczna maleje.
C. zarówno jego energia potencjalna, jak i kinetyczna maleją.
D. zarówno jego energia potencjalna, jak i kinetyczna rosną.

4. W czajniku elektrycznym:

A. energia elektryczna zmienia się w energię kinetyczną czajnika.
B. energia wewnętrzna zmienia się w energię chemiczną cząsteczek wody.
C. energia potencjalna zmienia się w energię kinetyczną.
D. energia elektryczna zmienia się w energię wewnętrzną.

5. Na rozciągniętej sprężynie buja się rozgrzany pręt paliwowy z elektrowni jądrowej. Podaj co najmniej 4 rodzaje energii, którymi dysponuje opisany układ.

6. Jaką energię potencjalną względem podłogi ma butla wody o masie 5 kg stojąca na stole o wysokości 1,5 m?

7. Ile jest równa energia kinetyczna wózka z zakupami o łącznej masie 20 kg jadącego z prędkością 0,5 $\frac{m}{s}$?

A. 2,5 J **C.** 10 J
B. 5 J **D.** 20 J

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To powinieneś umieć

1. Ania podniosła pudło o ciężarze 500 N i wykonała przy tym pracę 1000 J. Na jaką wysokość podniosła pudło?

2. Wskutek podniesienia ciała o masie 100 kg na wysokość 50 m:

A. jego energia kinetyczna wzrosła o 5000 J.
B. jego energia potencjalna wzrosła o 5000 J.
C. jego energia kinetyczna wzrosła o 50 000 J.
D. jego energia potencjalna wzrosła o 50 000 J.
E. jego łączna energia się nie zmieniła.

3. Jak dużą pracę trzeba wykonać, aby rozpędzić lokomotywę o masie 83 tony do prędkości 72 $\frac{km}{h}$?

4. Jaką pracę wykona w czasie 3 s silnik o mocy 1200 W?

A. 400 J **C.** 0,0025 J
B. 3600 J **D.** 1203 J

5. Samolot zmniejszył prędkość z 800 $\frac{km}{h}$ do 400 $\frac{km}{h}$. Jego energia kinetyczna:

A. nie zmieniła się,

B. zmalała dwukrotnie,

C. zmalała czterokrotnie,

D. wzrosła czterokrotnie.

6. Ile energii w ciągu 15 minut zużyje kuchenka mikrofalowa o mocy 1000 W?

A. 0,25 kWh

B. 15 kWh

C. 250 kWh

D. 1500 kWh

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

1. Jaka jest moc silnika, który podnosi ciało o masie 20 kg na wysokość 4 metrów w ciągu 2 sekund?

A. 40 W **C.** 400 W

B. 160 W **D.** 1600 W

2. Orzeł o masie 4 kg porusza się z prędkością 18 $\frac{km}{h}$ na wysokości 1,5 km. Ile wynosi jego energia kinetyczna?

A. 50 J

B. 648 J

C. 1080 J

D. 60 kJ

3. Które ciało ma większą energię kinetyczną: piłka tenisowa o masie 56 g lecąca z prędkością 120 $\frac{km}{h}$ czy biegacz o masie 70 kg biegnący z prędkością 10 $\frac{km}{h}$?

4. Kolega podnoszący na zajęciach tanecznych Ewę na wysokość 120 cm wykonał pracę 480 J. Jaką masę ma Ewa?

A. 25 kg

B. 36 kg

C. 40 kg

D. 60 kg

5. Na jaką wysokość wzleci piłka podrzucona pionowo z prędkością 5 $\frac{m}{s}$?

6. Podrzucona pionowo piłka o masie 500 g osiągnęła wysokość 15 m. Oblicz prędkość, z jaką podrzucono piłkę. Zaniedbaj opór powietrza.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. Piłeczka o masie 20 g spada z wysokości 15 m, odbija się i wznosi na wysokość 5 m. Oblicz ilość energii rozproszonej podczas zderzenia piłeczki z ziemią. Pomiń opory ruchu.

2. Energia zmagazynowana w największej na świecie baterii litowo-jonowej wynosi 129 MWh. Na jak długo wystarczyłaby ta energia, gdybyśmy chcieli nią zastąpić elektrownię we Włocławku? W ciągu sekundy elektrownia może wyprodukować 160,2 mln J energii.

3. Co ma większą energię potencjalną: ciało o masie 10 t zawieszone 10 m nad powierzchnią Ziemi czy ciało o masie 1 g zawieszone na wysokości 1,5 mm nad powierzchnią gwiazdy neutronowej na której ($g = 2 \cdot 10^{12}$ $\frac{m}{s^2}$)?

Projekt Pożywienie to też energia



Wiemy, że nasze ciała wykorzystują do funkcjonowania energię chemiczną czerpaną z pożywienia. Tę energię wyrażamy w kilokaloriach (1 kcal = 4186 J). Potocznie kilokalorie bywają nazywane kaloriami.

Cel projektu

- Dowiesz się więcej o kilokaloriach i zapotrzebowaniu energetycznym organizmu człowieka.

Zadania i polecenia

1. Dowiedz się, skąd wzięła się ta jednostka: kaloria. Kto ją wprowadził?
2. Znajdź tabelę wartości odżywczych produktów. Spróbuj zmierzyć lub oszacować, ile i jaki ich rodzaj jadłeś podczas wybranego posiłku: śniadania, obiadu lub kolacji.
   Uwaga. Zanotuj też, jaki czas zwykle mija między tym a następnym posiłkiem.
3. Oblicz, ile energii zyskałeś wraz z wybranym posiłkiem. Na tej podstawie oblicz:
   a) na jaką wysokość można by cię podnieść, gdyby zużyć na to dokładnie tyle energii,
   b) do jakiej prędkości można by cię rozpędzić, wykorzystując tę ilość energii,
   c) jaką średnią moc czerpaną ze zjedzonej potrawy mógłbyś rozwinąć do następnego posiłku,
   d) ile takich posiłków daje ci energię równą energii pioruna (500 MJ).
4. Dowiedz się:
   a) jakie jest zapotrzebowanie energetyczne dziecka w wieku przedszkolnym, młodzieży licealnej, dorosłego człowieka pracującego fizycznie oraz człowieka pracującego umysłowo (wybierz dane odpowiednie dla twojej płci),
   b) od jakich warunków zależy zapotrzebowanie energetyczne człowieka.
5. Wymyśl więcej podobnych pytań do podanych w punkcie 3. i znajdź na nie odpowiedzi.
6. Wybierz jedną z aktywności fizycznych, np. wchodzenie po schodach na określoną wysokość lub rozpędzenie się do pewnej prędkości podczas biegu lub na rowerze, a następnie oszacuj teoretyczną wartość energii, którą musisz zużyć na wykonanie tej aktywności.
   Dowiedz się, ile kilokalorii spalasz, wykonując te czynności. Czy wielkości te są identyczne? Jeśli nie, to jak można wytłumaczyć występujące między nimi różnice?
   Uwaga. Jeśli korzystasz ze źródeł informacji w internecie, postaraj się, aby były wiarygodne. Zapisz, z jakich stron korzystasz.



Analiza tekstu

Nowy rekord zapotrzebowania na moc

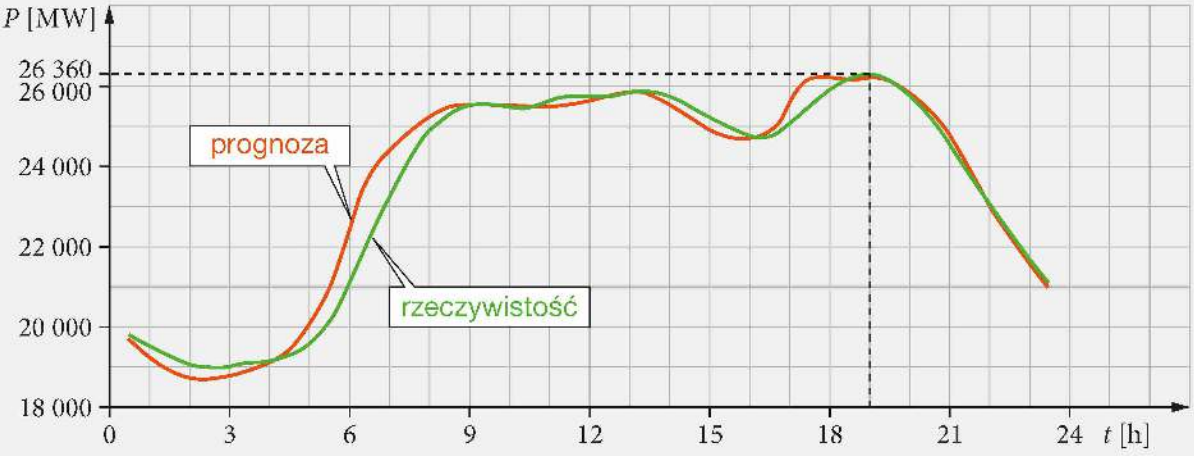
Trwająca w całej Polsce fala mrozów nieuchronnie przełożyła się na sytuację w polskiej energetyce. Potrzebujemy w ostatnich dniach coraz więcej energii, by ogrzewać domy i firmy. W efekcie we wtorek 27 lutego 2018 r. w Polsce pobiliśmy historyczny rekord zapotrzebowania na moc.



Ile wyniósł? Według wstępnych danych przekroczyliśmy 26,36 tys. MW – to o ponad 100 MW więcej niż wynosił poprzedni wynik ze stycznia 2017 r. A ponieważ to wcale nie koniec mrozów, to według prognozy Polskich Sieci Elektroenergetycznych w czwartek w czasie popołudniowego szczytu popyt na moc będzie bliski 26,4 tys. MW.

Wieczorem, gdy biliśmy rekord zapotrzebowania, system energetyczny pracował całkiem sprawnie. Spośród największych elektrowni i elektrociepłowni konwencjonalnych o łącznej mocy 26 GW dostępnych było aż 22 GW. Łatwo jednak policzyć, że nie wystarczyłyby już one do pokrycia zapotrzebowania. Wytwarzania energii nie wspierał import, którego saldo o godz. 19:00 było planowane na jedynie 200 MW w polskim kierunku i takie też zostało zrealizowane. Tym razem farmy wiatrowe dostarczały do systemu blisko 2 GW bardzo potrzebnej w tym czasie mocy (na 5,8 GW maksymalnych możliwości tych źródeł), ok. 1 GW produkowały mniejsze źródła – na biomasę, biogaz i wodne.

Zapotrzebowanie na moc w krajowym systemie energetycznym 27 lutego 2018 r. przedstawiono na poniższym wykresie.



Kluczowym wsparciem okazały się elektrociepłownie. W zimne wieczory nie tylko dostarczają ogromne ilości ciepła mieszkańcom i dla przemysłu, ale przy okazji generują dużą ilość energii elektrycznej. – Przy takich mrozach [największa poznańska elektrociepłownia – red.] Karolin działa „pełną parą" – mówił wczoraj portalowi epoznan.pl Bartłomiej Pawluk z Veolii. – Przy takich temperaturach zewnętrznych dziennie zużywamy obecnie około 3000 ton węgla i około 700 ton biomasy – dodał. Pracująca pełną mocą elektrociepłownia może pokryć połowę szczytowego zapotrzebowania Poznania, odciążając przy okazji sieci przesyłowe, co dodatkowo wspiera bezpieczeństwo aglomeracji. Podobnie jest w każdym dużym mieście w Polsce. W części wieczorne szczyty zapotrzebowania wspierają dodatkowo magazyny ciepła – tak jest np. w należącej do PGE nowej elektrociepłowni gazowej w Toruniu oraz w warszawskiej elektrociepłowni Siekierki należącej do PGNiG. W sytuacji dużego zapotrzebowania na moc w krajowym systemie, mogą one produkować chwilowo więcej energii elektrycznej, a brakującą ilość ciepła uzupełniać z ogromnych zasobników.

Nowych rekordów zapotrzebowania na moc mogliśmy się spodziewać. Już w grudniu na podstawie danych z ENTSO-E, europejskiej organizacji skupiającej operatorów sieci przesyłowych, pytaliśmy: Czy tej zimy w energetyce pobijemy nowy rekord? I z analizy wychodziło, że jeśli tylko przyjdą mrozy, to można spodziewać się nowych maksymalnych wartości. Nie sprawdziły się tylko oczekiwania ENTSO-E, że system się znajdzie pod największą presją już w drugiej połowie stycznia. Ten miesiąc był relatywnie ciepły, a dopiero w lutym nad Polskę i Europę napłynęły masy mroźnego powietrza znad Syberii. To one sprawiają, że w niektórych częściach kontynentu jest zimniej niż na biegunie północnym.

Powoli powinniśmy się do tego przyzwyczajać: ekstremalne warunki pogodowe zaczynają być powoli normą, a zmienność w systemie energetycznym



rośnie. Dodatkowo większe jest nie tylko średnie zużycie energii (w 2017 r. wzrosło o 2%), ale przede wszystkim popyt na moc w szczytowych momentach. Tak było również latem 2017 r. – letni rekord popytu był poprawiany dwukrotnie. Najpierw 28 czerwca podnieśliśmy poprzeczkę z 22,75 do 22,88 tys. MW. A już 1 sierpnia wraz z falą upałów przyszedł nowy wynik – 23,15 tys. MW.

Łatwo zauważyć, że w zimie maksymalne poziomy popytu na moc są wyższe od tych letnich. Dodatkowy popyt generują zarówno handel i przemysł, jak i gospodarstwa domowe. Według danych GUS z 2015 r. 4,5% z nich używało grzejników elektrycznych, by się dogrzewać.

Justyna Piszczatowska
Źródło: „Wysokie Napięcie", http://wysokienapiecie.pl

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



W zadaniach 1., 4. i 5. wskaż poprawne dokończenie zdania.

1. Zapotrzebowanie na moc elektryczną w Polsce:

A. jest większe latem, bo korzystamy z klimatyzatorów.

B. jest większe zimą, bo korzystamy z grzejników.

C. nie zależy od pory roku.

D. maleje z upływem czasu.

2. Podaj co najmniej cztery różne rodzaje elektrowni wymienione w tekście.

3. O której godzinie 27.02.2018 r. zapotrzebowanie na moc w Polsce było największe, a o której najmniejsze? Oblicz różnicę między tymi skrajnymi wielkościami.

4. Elektrociepłownia Karolin:

A. jest elektrownią wodną.

B. zużywa około 5000 t węgla na dobę.

C. nie korzysta z ekologicznych źródeł energii.

D. jest w stanie zasilić połowę Poznania.

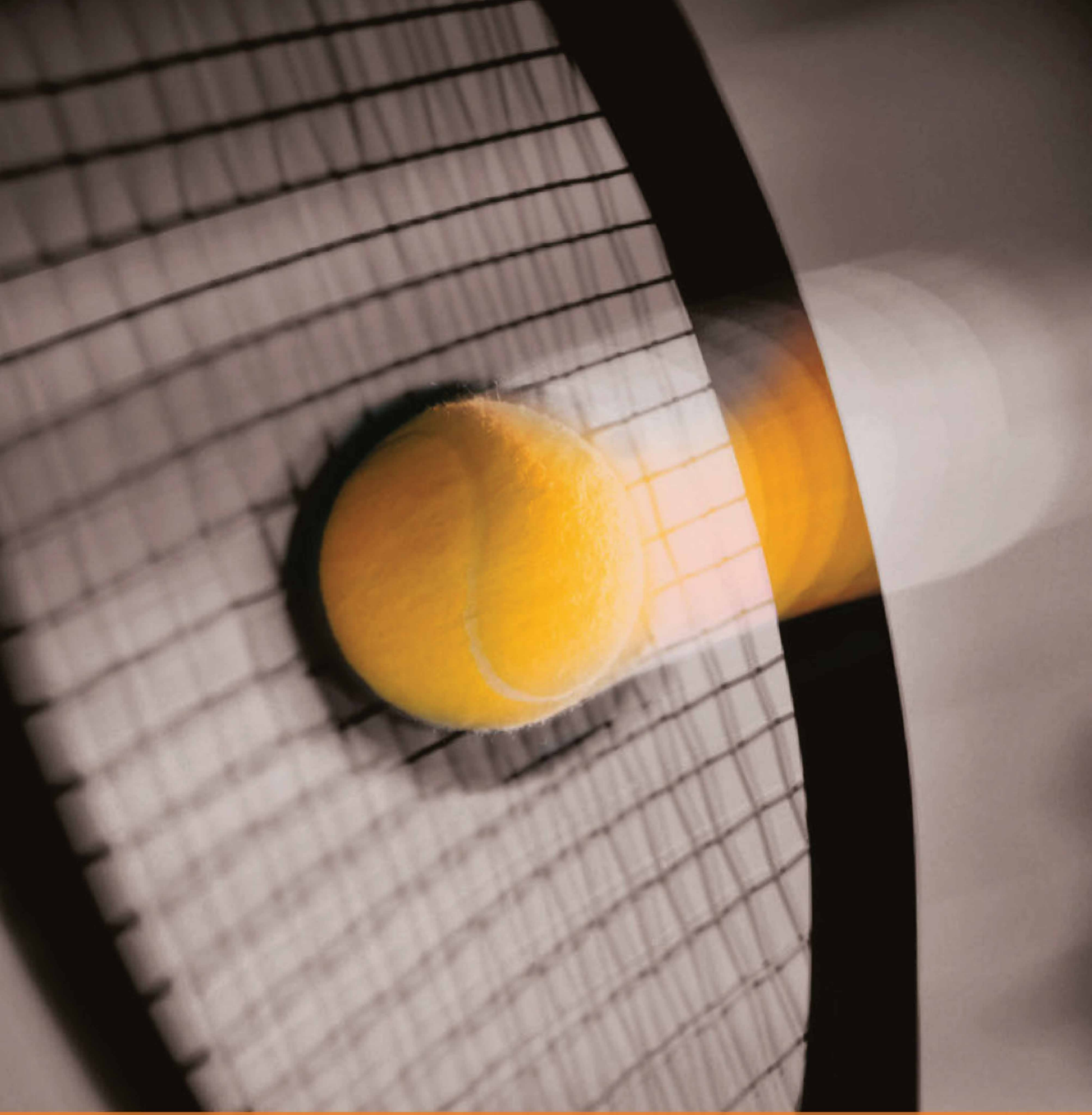
5. Magazyny ciepła:

A. służą do bezpośredniego ogrzewania dużych instytucji publicznych np. szpitali.

B. nagrzewają się w zwykłych elektrowniach i są transportowane do elektrociepłowni.

C. umożliwiają elektrociepłowniom produkcję dodatkowej ilości energii w czasie maksymalnego zapotrzebowania.

D. nie są wykorzystywane w Polsce.



Zbiór zadań

Wprowadzenie
Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego
Ruch po okręgu i grawitacja
Praca, moc, energia

Wprowadzenie

1. Wypisz podane nazwy obiektów w kolejności od najmniejszego do największego z nich. W każdym wypisanym słowie podkreśl drugą literę i odczytaj hasło.

Galaktyka • Księżyc • Słońce • Ziemia

2. Wypisz podane nazwy obiektów w kolejności od najmniejszego do największego z nich. W każdym wypisanym słowie podkreśl czwartą literę i odczytaj hasło.

akacja • atom • bakteria • Chojnice • gwiazda • wirus • żaba

3. Do podanego obiektu dobierz rozmiar z ramki. Niektóre rozmiary zostaną bez pary. Zapisz w zeszycie nazwy i rozmiary obiektów.

a) bakteria

b) Galaktyka (główna część)

c) Księżyc

d) Słońce

e) wirus

f) Ziemia

$\frac{1}{1000}$ mm • $\frac{1}{10\,000}$ mm • 13 000 km • 3500 km • 52 000 km • 1 400 000 km • 100 bln km • 10^{18} km

4. Podstawowymi jednostkami długości, masy i czasu w układzie SI są:

A. km, kg, h.

B. m, g, s.

C. m, kg, s.

5. Wyobraź sobie model naszej Galaktyki, w którym ma ona średnicę 100 m, a następnie odpowiedz na pytania.

a) Ile wynosi rzeczywista odległość między gwiazdami, które w tym modelu dzieli odległość 1 m?

b) W jakiej odległości od Słońca znajduje się najdalsza planeta Układu Słonecznego, a w jakiej – Ziemia?

6. Zamień jednostki na odpowiednie jednostki podstawowe w układzie SI (metry, sekundy lub kilogramy). Możesz skorzystać z tabeli na s. 219.

a) 20 cm, 7 mm, 17 mm, 5 cm, 129 cm

b) 5 min, 8,5 min, 12 min, 0,5 h, 2,5 h

c) 18 dag, 7 g, 34 g, 150 g, 1800 g

7. Zgodnie ze wskazaniem woltomierza napięcie baterii wynosi 8,8 V ± 0,3 V. Czy jest możliwe, aby napięcie w rzeczywistości było większe niż 9 V lub mniejsze niż 8 V?

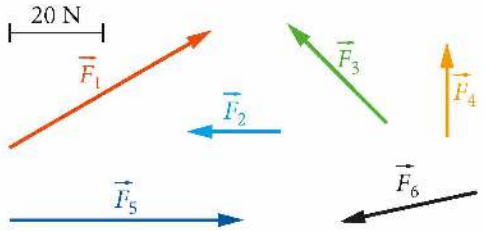
8. Przygotuj plastikową butelkę o pojemności 1,5 l i napełnij ją wodą. Za pomocą stopera (np. w telefonie komórkowym) zmierz czas potrzebny do wylania wody z butelki odwróconej do góry dnem. Pomiar wykonaj 8 razy, a następnie oblicz średni czas wylewania się wody z butelki wraz z niepewnością pomiarową.

9. Niepewność pomiaru masy za pomocą wagi mechanicznej (na zdjęciu) wynosi 10 g, a za pomocą wagi elektronicznej 1 g. Ważenie tego samego ciała na wadze mechanicznej dało wynik 680 g, a na wadze elektronicznej 690 g. Czy te wyniki można uznać za zgodne? Uzasadnij odpowiedź.



1. Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

1. Skorzystaj ze skali i wyznacz wartości sił przedstawionych przez wektory.



2. Ala za pomocą nożnej pompki uzupełnia powietrze w materacu. Zdjęcie przedstawia sytuację w chwili, kiedy dziewczyna naciska pedał pompki siłą o wartości 200 N zwróconą w dół. Co można powiedzieć o sile, którą pedał pompki naciska na jej stopę? Naszkicuj w zeszycie stopę Ali, pedał pompki i wektory obu sił.



3. Narysuj w zeszycie kwadrat o wymiarach 2 × 2 kratki, symbolizujący pewne ciało, oraz wektory sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ zgodnie z opisem poniżej przyłożonych w jego środku. Samodzielnie wybierz taką skalę, aby rysunek był czytelny. Następnie innym kolorem dorysuj wektor siły wypadkowej.

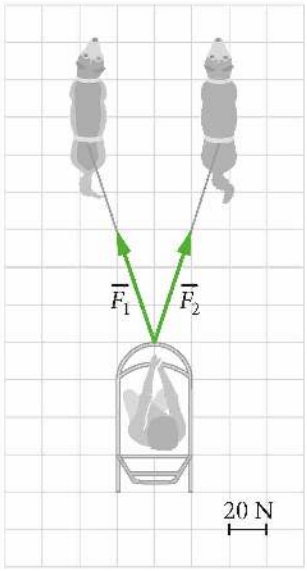
a) siła $\vec{F}_1$ – o wartości 100 N, zwrócona w lewo; siła $\vec{F}_2$ – o wartości 100 N, zwrócona w prawo

b) siła $\vec{F}_1$ – o wartości 200 N, zwrócona w lewo; siła $\vec{F}_2$ – o wartości 100 N, zwrócona w prawo

c) siła $\vec{F}_1$ – o wartości 100 N, zwrócona w prawo; siła $\vec{F}_2$ – o wartości 150 N, zwrócona w prawo

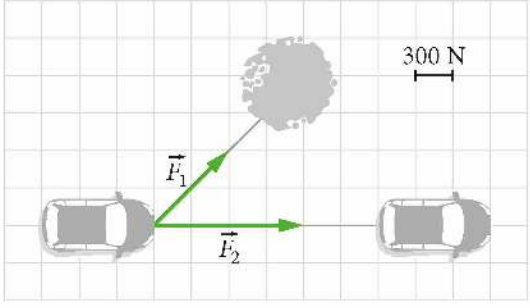
4. Ilustracja przedstawia widziane z góry sanie ciągnięte przez dwa psy. Wyznacz siłę wypadkową sił, którymi ciągną je psy. Oblicz wartość siły wypadkowej, korzystając ze skali.

Uwaga. Nie rysuj w książce. Przerysuj wektory sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ do zeszytu.



5. Samochód terenowy utknął w błocie. Próbowano wyciągnąć go za pomocą linki holowniczej przywiązanej do drugiego pojazdu. Ponieważ to nie wystarczyło, kierowca zaczepił linę wyciągarki o pobliskie drzewo, więc na samochód działały już dwie siły (jak na rysunku). Wyznacz siłę wypadkową tych sił. Oszacuj jej wartość, korzystając ze skali.

Uwaga. Nie rysuj w książce. Przerysuj wektory sił do zeszytu, korzystając z kratek.



6. Kopnięta piłka odbiła się od ściany. Jakie ciało działało na piłkę siłą, która sprawiła, że piłka zmieniła zwrot prędkości?

7. Określ, jakie ciało działa na wymieniony pojazd siłą pozwalającą mu się rozpędzać?

a) przyczepa traktora

b) samochód

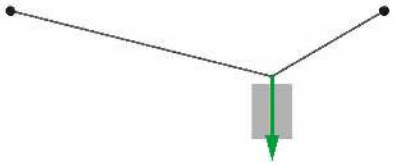
c) czołg

d) samolot napędzany śmigłem

e) samolot odrzutowy

f) żaglówka

8. Rysunek przedstawia ciężkie ciało zawieszone na linie. Jak widzisz, nie zostało ono zaczepione na środku liny. Przerysuj ilustrację do zeszytu i dorysuj siły, którymi ciało jest ciągnięte przez obie części liny w miejscu zaczepienia. Z której strony lina łatwiej może się zerwać?



9. Biegacz pokonał dystans 10 km w czasie 50 min. Jaka była jego prędkość średnia? Podaj ją w kilometrach na godzinę.

10. Państwo Szczyglewscy pojechali ze Szczebrzeszyna do Chrząszczewa. Drogę 280 km pokonali ze średnią prędkością 90 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Ile czasu zajęła im ta podróż?



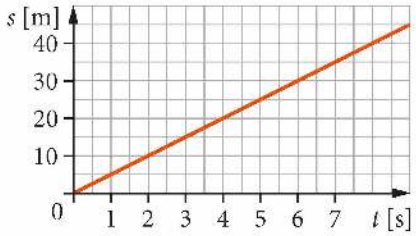
11. Samochód pokonał 20 km na autostradzie z prędkością średnią 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, a następne 20 km na drodze lokalnej z prędkością średnią 40 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jaka była jego prędkość średnia na całej drodze?

> Oblicz najpierw całkowitą drogę i całkowity czas ruchu samochodu. Prędkość średnia nie jest średnią arytmetyczną prędkości podanych w zadaniu!

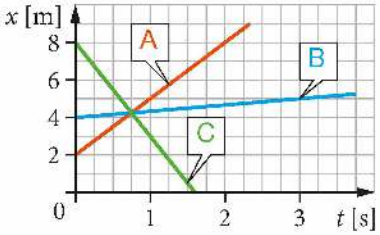
12. Samochód jedzie po prostym odcinku drogi. Wiatraczek jest umieszczony wewnątrz samochodu, jak na zdjęciu. Naszkicuj linię, po której – względem ziemi – porusza się punkt A na końcu skrzydła obracającego się wiatraczka. Czy wiesz, jak się nazywa taka linia?



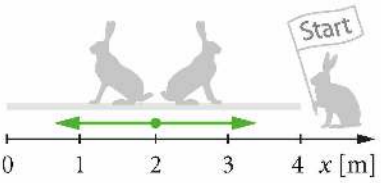
13. Na podstawie wykresu oblicz wartość prędkości ciała.



14. Na podstawie wykresu oblicz wartość prędkości każdego ciała oraz określ jej zwrot (zgodnie z kierunkiem i zwrotem prostej, po której porusza się ciało lub przeciwnie do niego).



15. Dwa zające w chwili $t = 0$ s wybiegły z punktu $x = 2$ m, a następnie poruszały się w przeciwne strony z prędkością o wartości 20 $\frac{m}{s}$. Narysuj wykresy $x(t)$ i $s(t)$ dla każdego z zajęcy. Czy każdy z wykresów będzie inny?



16. Piłka o masie 200 g unosi się na powierzchni wody.

a) Oblicz wartość działającej na nią siły ciężkości.

b) Jaka siła sprawia, że piłka nie tonie? Ustal jej wartość.

Siła ciężkości na Ziemi:

$$F_g = mg$$

gdzie: m – masa ciała,
g – przyspieszenie ziemskie, $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$

17. Dwa psy ciągną sanie w tę samą stronę. Każdy z nich działa na nie siłą o wartości 100 N. Sanie poruszają się ze stałą prędkością 15 $\frac{km}{h}$.

a) Jaka jest wartość siły oporów ruchu tych sań?

b) Która informacja w tym zadaniu jest zbędna?

18. Puszczony swobodnie kamień spada, rozpędzając się z przyspieszeniem $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$. Do jakiej prędkości się rozpędzi w ciągu 5 s?

19. Rowerzysta poruszał się z prędkością 10 $\frac{km}{h}$, a następnie zaczął się rozpędzać ze stałym przyspieszeniem o wartości 0,75 $\frac{m}{s^2}$. Po jakim czasie osiągnie prędkość 20 $\frac{km}{h}$?

$$1\frac{km}{h} = \frac{1000\,m}{3600\,s} = \frac{1}{3{,}6}\frac{m}{s} \approx 0{,}28\frac{m}{s}$$

20. Ustal kierunek i zwrot wektora przyspieszenia pociągu, który jedzie po prostoliniowym torze, w czasie jego:

a) rozpędzania się,

b) hamowania.

21. Narysuj wykres $v(t)$ dla ciała, które poruszało się w chwili $t = 0$ s z prędkością 10 $\frac{m}{s}$, a następnie zaczęło:

a) rozpędzać się z przyspieszeniem o wartości 4 $\frac{m}{s^2}$,

b) hamować z przyspieszeniem o wartości 4 $\frac{m}{s^2}$.

22. Tabela przedstawia wyniki pomiarów prędkości samochodu wykonywane co 2 s.

a) Czy samochód przyspieszał, czy hamował?

b) Czy poruszał się ruchem jednostajnie zmiennym? Jeśli tak, to jakie było jego przyspieszenie?

c) Naszkicuj wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu tego samochodu.

d) Przelicz największą prędkość podaną w tabeli na kilometry na godzinę.

t [s]	0	2	4	6	8
$v\left[\frac{m}{s}\right]$	4	7	10	13	16

23. Deskorolka o masie 2 kg stała na asfalcie (bez obciążenia). Następnie przez 3 s była popychana siłą 1 N.

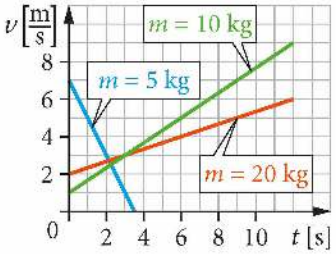
a) Jakie przyspieszenie uzyskała deskorolka?

b) Do jakiej prędkości się rozpędziła?

24. Kajak wraz z siedzącymi w nim osobami miał masę 150 kg. Gdy płynął z prędkością 3 $\frac{m}{s}$, wioślarze przestali wiosłować, a prędkość kajaka zmniejszyła się w czasie 8 s do 1 $\frac{m}{s}$. Oblicz wartość siły oporu wody hamującej ruch kajaka.

25. Na wykresach przedstawiono zależność prędkości od czasu dla trzech

ciał o różnych masach. Oblicz wartość siły wypadkowej działającej na każde z ciał. Określ zwrot każdej z tych sił.



26. Oto zasady dynamiki wyrażone językiem potocznym. **Nie są** one jednak uporządkowane. Jaką literą oznaczono pierwszą, jaką – drugą, a jaką – trzecią zasadę dynamiki? Zapisz je w zeszycie w odpowiedniej kolejności.

A. Jeśli uderzasz głową w mur, to skutek jest taki sam, jakby mur uderzał w głowę ciebie.

B. Jeśli dowolne ciało wprawisz w ruch, to samo się ono nie zatrzyma.

C. Cięższy wózek trudniej popchnąć niż lekki.

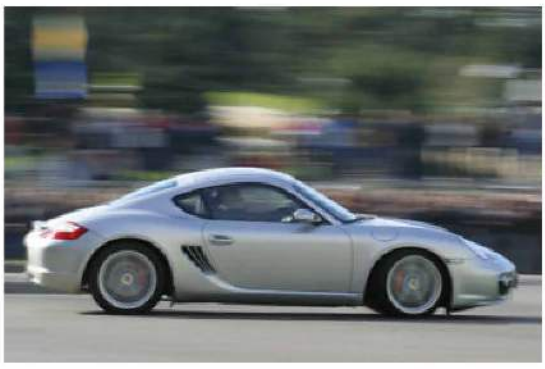
27. Które z opisanych rozwiązań pozwalają zmniejszyć opory ruchu działające na samochód, a które stosuje się po to, aby opór zwiększyć? W których przypadkach chodzi o tarcie, a w których o opór powietrza?

a) Opona ma głęboki bieżnik.

b) Samochód ma opływowy kształt.

c) Podczas hamowania klocki hamulcowe są mocno dociskane do tarczy.

d) Koła są zamocowane na łożyskach.



28. Dlaczego w biegach na krótkim dystansie stosuje się bloki startowe? Dlaczego nie używa się ich w przypadku biegów długodystansowych?



29. Dowiedz się i wyjaśnij, dlaczego wodolot może się poruszać szybciej niż zwykły statek. Zapisz, w jakich źródłach znalazłeś te informacje.

30. Gdy samochód jedzie po szosie, maksymalna wartość siły tarcia statycznego, jaka na niego może działać, to 70% jego ciężaru. Oblicz maksymalne przyspieszenie samochodu na suchej drodze, jeśli jego silnik ma dostatecznie dużą moc.

> Nie jest prawdą, że przyspieszenie samochodu może być dowolnie duże, jeśli silnik jest odpowiednio mocny. Jak sądzisz, dlaczego? Pomiń działanie specjalnych „skrzydeł" w samochodach wyścigowych, które dociskają pojazd do podłoża.

31. Które z narzędzi działa dzięki swojej bezwładności?

a) śrubokręt

b) młotek

c) siekiera

d) piła

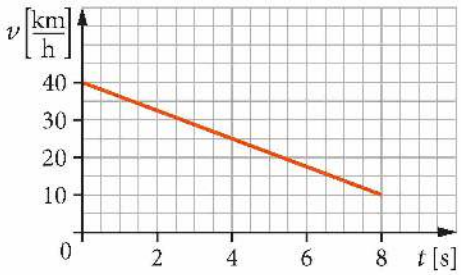
32. Samochody wyścigowe o największym przyspieszeniu rozpędzają się od zera do 60 mil na godzinę (czyli do 27 $\frac{m}{s}$) w czasie około 1,6 s.

a) Oblicz średnie przyspieszenie takiego samochodu podczas rozpędzania i porównaj je z przyspieszeniem grawitacyjnym na Ziemi.

b) Oblicz wartość siły działającej na rozpędzający się samochód wyścigowy. Przyjmij, że jego masa wraz z kierowcą i paliwem wynosi 900 kg.



33. Na ilustracji przedstawiono wykres $v(t)$ dla pewnego tramwaju. Na pasażerów tego tramwaju działa siła bezwładności. W którą stronę jest ona zwrócona?

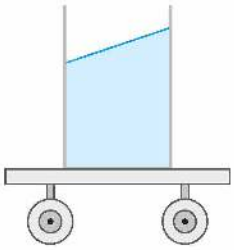


34. Ilustracja poniżej przedstawia wózek, na którym ustawiono szklankę wody. Nachylenie powierzchni wody wynika z działania sił bezwładności. Ustal, czy wózek przyspiesza, czy zwalnia, jeśli się porusza:

a) w lewą stronę rysunku,

b) w prawą stronę rysunku.

Zapisz swoje odpowiedzi, a następnie sprawdź je doświadczalnie. Nie musisz używać wózka – wystarczy przesuwać po stole kubek z wodą.



35. Przeczytaj zamieszczony niżej fragment powieści Henryka Sienkiewicza *Ogniem i mieczem* i wskaż w nim przykład działania sił bezwładności.

> (...) pan Skrzetuski sunął z Heleną do tańca. Gdy ją objął rękoma, zdawało mu się, iż kawał nieba przyciska do piersi. W zawrotach tańca długie jej warkocze omotały mu szyję, jakby dziewczyna chciała go przywiązać do siebie na zawsze.

2. Ruch po okręgu i grawitacja

1. Ryba pływa przy ściance kulistego akwarium z prędkością 2 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$ po okręgu o promieniu 15 cm. Oblicz okres i częstotliwość tego ruchu.



2. Kierowca nie mógł się wydostać z ronda, ponieważ nawigacja w jego telefonie przestała działać. Rondo ma średnicę 20 m, a samochód jeździł po nim z prędkością 5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Nawigacja zaczęła działać po 1 min – wówczas kierowca opuścił rondo. Ile razy je objechał?

3. Orbita Ziemi wokół Słońca jest – w przybliżeniu – okręgiem o promieniu 150 mln km. Oblicz prędkość

Ziemi w jej ruchu po orbicie. Wynik podaj w kilometrach na sekundę i w kilometrach na godzinę.

4. Zosia odpoczywa na plaży nad Bałtykiem, a Tosia – nad Adriatykiem. Obie są w bezruchu, ale poruszają się z powodu obrotu Ziemi. Porównaj ich prędkości i częstotliwości w tym ruchu.

5. Z jaką prędkością Księżyc porusza się wokół Ziemi?

6. Aby pewien samochód pokonał ostry zakręt z prędkością 100 $\frac{km}{h}$, potrzebna jest siła dośrodkowa 10 000 N. Funkcję tej siły może pełnić siła tarcia. Wiesz jednak, że wartość siły tarcia nie może być dowolnie duża. Co się stanie, jeśli w opisanym przypadku siła tarcia może osiągnąć tylko wartość 5000 N?

7. Czasem na ostrych zakrętach szosę pokrywa się bardziej szorstkim gatunkiem asfaltu. Dlaczego?

8. W doświadczeniu opisanym na s. 92 podręcznika Jaś dwukrotnie zmniejszył promień okręgu, nie zmieniając częstotliwości obrotu. Czy zmieniła się prędkość ciała? Jeśli nastąpiła zmiana prędkości, to wyjaśnij, czy prędkość się zmniejszyła czy zwiększyła i ile razy.

9. Po drodze biegnącej po łuku samochód może przejechać z prędkością równą co najwyżej 80 $\frac{km}{h}$. Z jaką maksymalną prędkością może on przejechać po łuku o dwa razy mniejszym promieniu niż poprzednio?

10. Samochód, którego masa wraz z ładunkiem i pasażerami wynosi 1000 kg, jedzie z prędkością 90 $\frac{km}{h}$. Podczas skręcania może na niego działać siła tarcia, statycznego o maksymalnej wartości 3125 N, skierowana prostopadle do kierunku ruchu. Ile wynosi minimalny promień skrętu, tzn. promień łuku okręgu, po którym samochód może jechać z podaną prędkością?

11. Podczas rzutu młotem lekkoatleta obraca się kilka razy, trzymając na linie pędzącą wokół niego kulę. Kula ma masę 4 kg i znajduje się w odległości 2 m od osi obrotu zawodnika, który obraca się z nią 3 razy na sekundę.

a) Z jaką prędkością porusza się kula?

b) Jaką siłą lekkoatleta musi ciągnąć linę?

12. Rower ma masę 10 kg, a rowerzystka 50 kg. Oblicz wartość siły dośrodkowej działającej na rower wraz z rowerzystką podczas jazdy z prędkością 5 $\frac{m}{s}$ po łuku o promieniu 10 m. Jaka siła pełni funkcję siły dośrodkowej w opisanym przypadku?

13. Siła tarcia działająca na samochód o masie 1000 kg nie może przekroczyć wartości 7000 N. Ustal, z jaką co najwyżej prędkością może on jechać po łuku o promieniu 28 m. Porównaj wynik z prędkością dozwoloną w obszarze zabudowanym.

14. Oblicz wartość siły dośrodkowej działającej na wagon o masie 12 t jadący z prędkością 90 $\frac{km}{h}$ po łuku o promieniu 1 km. Jakie ciało działa na wagon taką siłą?

15. Na cienkim sznurku o długości 80 cm umieszczono ciężarek o masie 200 g. Określ z jaką częstotliwością można kręcić tym ciężarkiem, aby sznurek się nie zerwał, jeśli może on wytrzymać siłę 20 N? **Uwaga.** Ciężarkiem kręcimy w płaszczyźnie poziomej.

16. Zawieszone na łańcuchach siodełka karuzeli odchylają się w czasie jej ruchu od pionu o kąt 60°. Na siodełko działają dwie siły: siła ciężkości $\vec{F}_g$ oraz siła naciągu łańcucha $\vec{F}_n$. Ich wypadkowa $\vec{F}_w$, skierowana poziomo

w kierunku osi obrotu, pełni funkcję siły dośrodkowej.

a) Porównaj wartości sił $\vec{F}_g$ i $\vec{F}_n$, tzn. ustal, czy się różnią, a jeśli tak, to która jest większa i ile razy.

b) Porównaj wartości sił $\vec{F}_g$ i $\vec{F}_w$.



17. Dwie kule o masie 3 t każda, umieszczone w odległości 10 m od siebie, przyciągają się siłą grawitacji o wartości około 6 μN.

a) Jaką siłą będą się przyciągać, jeśli odległość zwiększymy do 30 m?

b) W jakiej odległości od siebie powinny znaleźć się kule, aby ich siła przyciągania wyniosła 1,5 μN?

1 μN (mikroniuton) = $\frac{1}{1000\,000}$ N

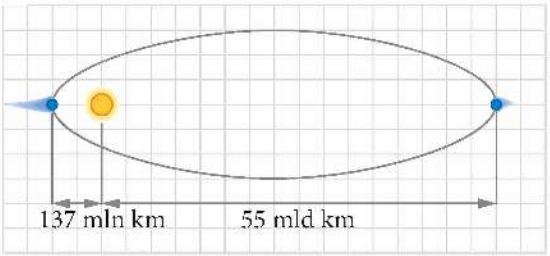
18. Oblicz siłę grawitacji działającą między jedną z małych kul i jedną z dużych kul w doświadczeniu Cavendisha. Potrzebne informacje znajdziesz na s. 106 podręcznika. Odległość między kulami wynosiła 23 cm.

19. Oszacuj siłę grawitacji między opisanymi ciałami.

a) Dwa samochody o masach 0,8 t oraz 1,2 t stoją w odległości 10 m od siebie.

b) Dwa elektrowozy o masie 80 t każdy stoją na przeciwnych końcach peronu o długości 200 m.

20. Kometa Hale'a-Boppa (nazwana na cześć jej odkrywców) krąży wokół Słońca po torze w kształcie mocno wydłużonej elipsy (zob. rysunek). Jej minimalna odległość od Słońca wynosi 137 mln km, a maksymalna – 55 mld km. W którym z tych skrajnych położeń siła grawitacji słonecznej działająca na tę kometę jest większa i ile razy?





21. Gwiazda ma masę $2 \cdot 10^{30}$ kg, a planeta o masie $5 \cdot 10^{24}$ kg obiega ją w odległości 100 mln km (10^{11} m). Jaka siła pełni tu funkcję siły dośrodkowej, sprawiającej, że planeta krąży wokół gwiazdy, zamiast się od niej oddalać? Czy na podstawie podanych informacji można obliczyć wartość tej siły? Jeśli tak – wykonaj odpowiednie obliczenia. Jeśli nie – wyjaśnij, jakich danych brakuje.

22. Dopasuj zakończenia zdań do ich początków. Zapisz w zeszycie pełne zdania.

a) Przyczyną ruchu Ziemi wokół Słońca jest siła grawitacji, zwrócona **A**/ **B**/ **C**.

b) Wektor prędkości Ziemi w jej ruchu wokół Słońca jest zwrócony **A**/ **B**/ **C**.

A. stycznie do toru ruchu Ziemi

B. od Ziemi w stronę Słońca

C. od Słońca w stronę Ziemi

23. Zanim Izaak Newton odkrył prawo grawitacji, wiedział już, że wszystkie ciała spadają na Ziemię z jednakowym przyspieszeniem, i sprawdził za pomocą odpowiednich obliczeń, czy Księżyc „spada" tak samo. Okazało się, że Księżyc „spada" w ciągu 1 s tylko o $\frac{5}{3600}$ m, a nie o 5 m, jak ciała przy powierzchni Ziemi. Newton uznał więc początkowo, że „spadanie" Księżyca ma inną naturę niż spadanie ciał na Ziemi. Czego uczony nie wziął wówczas pod uwagę?

Newton nie używał naszych jednostek miar, ale podajemy je tutaj dla uproszczenia.

24. Wykonaj polecenia.

a) Oblicz wartość siły grawitacji działającej między Ziemią a Księżycem.

b) Wyobraź sobie, że tę siłę może zastąpić stalowa lina. Jak gruba musiałaby być ta lina (tzn. jaką powierzchnię musiałby mieć jej przekrój poprzeczny), aby nie została zerwana? Przyjmij, że lina wytrzymuje siłę $5 \cdot 10^8$ N na każdy 1 m^2 przekroju poprzecznego. Pomiń ciężar własny liny.

c) Porównaj powierzchnię pola przekroju liny obliczoną w punkcie b) z polem powierzchni znanym z geografii.

25. Satelity systemu GPS krążą wokół Ziemi na wysokości 20 200 km. Oblicz prędkość takiego satelity.

26. Odległość satelity na niskiej orbicie od środka Ziemi jest zbliżona do długości promienia Ziemi (6400 km). Na takiej orbicie satelita porusza się z prędkością około 8 $\frac{km}{s}$, a jeden jego obieg wokół Ziemi trwa około 90 min.

a) Przy jakiej odległości od środka Ziemi satelita poruszałby się z prędkością 4 $\frac{km}{s}$?

b) Ile trwałby wówczas jeden jego obieg wokół Ziemi?

27. Obejrzyj animację ruchu satelity geostacjonarnego na stronie: https://pl.wikipedia.org/wiki/Orbita_geostacjonarna

a) Dlaczego satelita geostacjonarny widziany z Ziemi wydaje się nieruchomy, skoro krąży wokół Ziemi?

b) Czy satelita geostacjonarny porusza się z taką samą prędkością, z jaką porusza się położony poniżej punkt na równiku Ziemi?

28. Obejrzyj animację ruchu satelity na orbicie biegunowej na stronie:

https://pl.wikipedia.org/wiki/Orbita_biegunowa

Wyszukaj informacje o rodzajach satelitów, jakie wybierają tę orbitę, a także o tym, dlaczego ją wybierają. Wyszukane wiadomości zapisz w zeszycie.

29. Kuba stał na wadze w spoczywającej windzie. Waga wskazywała 60 kg. Kiedy winda ruszyła w dół, wskazanie wagi zmieniło się na 48 kg.

Do każdego z pytań dobierz odpowiedź z ramki. Odpowiedzi mogą się powtarzać i nie musisz wykorzystać wszystkich propozycji.

a) Jaką siłą Kuba naciskał na wagę, kiedy winda spoczywała?

b) A jaką siłą naciskał, gdy winda ruszała?

c) Jaką siłą Ziemia przyciągała Kubę, gdy winda spoczywała?

d) A jaką siłą go przyciągała, gdy winda ruszała?

e) Jaka była masa Kuby, gdy winda spoczywała?

f) A jaka była, gdy winda ruszała?

48 kg • 60 kg • 48 N • 60 N • 480 N • 600 N

30. Do sufitu windy przymocowano siłomierz, a na nim zawieszono obciążnik o masie 2 kg. Oblicz wskazanie siłomierza w chwili, gdy winda będzie hamować z przyspieszeniem o wartości $4\ \frac{m}{s^2}$. Rozważ dwa przypadki:

a) gdy winda hamuje, jadąc w górę;

b) gdy winda hamuje, jadąc w dół.

31. Astronauta o masie 72 kg pozostaje wewnątrz satelity krążącego bez napędu na wysokości 6400 km nad powierzchnią Ziemi.

a) Jaką siłą przyciąga go Ziemia?

b) Czy tę siłę astronauta może zmierzyć za pomocą siłomierza lub wagi sprężynowej?

32. Wyobraź sobie, że stoisz w windzie, która rusza w dół z przyspieszeniem $20\ \frac{m}{s^2}$.

a) Ile wynosiłby wtedy twój ciężar?

b) Opisz, jak zmieniałby się twój ciężar, gdyby przyspieszenie windy poruszającej się w dół zwiększało się płynnie od 0 do $20\ \frac{m}{s^2}$.

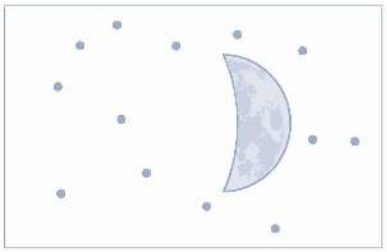
33. Pewnej nocy Księżyc widziany z Polski wyglądał tak jak na rysunku A. Który z rysunków przedstawia jego wygląd za tydzień? A który – po kolejnym tygodniu?



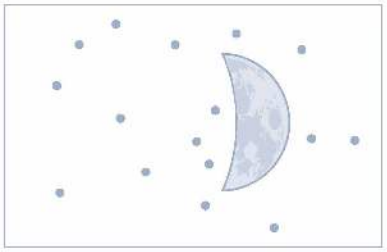
34. W pewnej chwili na całej niewidocznej z Ziemi stronie Księżyca panuje dzień (tzn. widać Słońce). Jaką fazę Księżyca obserwujemy wtedy z Ziemi?

35. Każdy z rysunków miał przedstawiać Księżyc na tle rozgwieżdżonego nieba, ale na jednym z nich popełniono błąd. Na którym? Jaki to błąd?

A.



B.



36. Wykonaj polecenia, korzystając z tablic zamieszczonych na końcu książki.

a) Ustal, ile razy średnica Słońca jest większa od średnicy Księżyca.

b) Ustal, ile razy odległość Ziemi od Słońca jest większa niż odległość Ziemi od Księżyca.

c) Porównaj wyniki obliczeń z punktów a i b. Co zauważasz?

37. Oceń prawdziwość zdań. Uzasadnij odpowiedzi.

a) Największe planety znajdują się dalej od Słońca niż Ziemia.

b) Im dalej od Słońca znajduje się planeta, tym jest większa.

c) Grupy planet w kolejności od Słońca to: planety skaliste, gazowe olbrzymy, lodowe olbrzymy.

d) Im bliżej Słońca znajduje się planeta, tym jest gorętsza.

e) Dwie największe planety mają najwięcej księżyców.

38. Dowiedz się, ile planet pozasłonecznych odkryto do czasu, gdy wykonujesz to zadanie (a nie do czasu, kiedy powstał ten podręcznik!). Zapisz, z jakich źródeł informacji korzystasz.

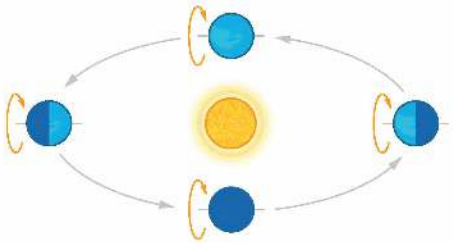
39. Porównaj gęstości wszystkich planet Układu Słonecznego (tabela na s. 219). Co zauważasz? Wyjaśnij swoje spostrzeżenia, korzystając z wiadomości z lekcji.

Uwaga do zadania 40.

Objętość kuli o promieniu r obliczamy ze wzoru $V = \frac{4}{3}\pi r^3$. Liczbę $\pi = 3{,}1415... \approx 3{,}14$ znasz już ze wzorów na długość okręgu i pole koła, poznanych na lekcjach matematyki w szkole podstawowej.

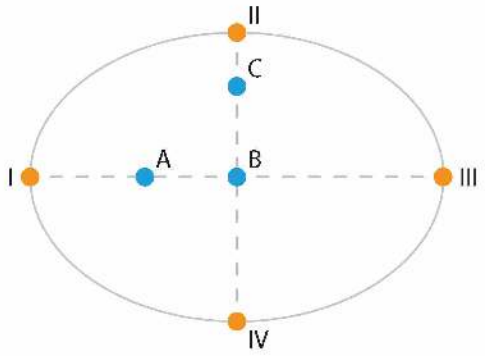
40. Oblicz przybliżoną gęstość pulsara, o którym mowa na s. 144. Oszacuj masę, jaką miałaby łyżeczka (5 cm^3) materii z tego pulsara.

41. Oś obrotu Urana leży niemal dokładnie w płaszczyźnie jego orbity okołosłonecznej (patrz rys.). Czy na Uranie występują pory roku? Jeśli nie, wyjaśnij dlaczego. Jeśli tak, wyjaśnij, jak przebiegają.



42. Merkurego i Wenus możemy obserwować w Polsce tylko niedługo po zachodzie albo niedługo przed wschodem Słońca. Pozostałe planety Układu Słonecznego bywają widoczne także o innych porach nocy. Wyjaśnij za pomocą rysunku, dlaczego tak się dzieje.

43. Przeanalizuj rysunek i wskaż poprawne uzupełnienia tekstu.



Jeżeli na rysunku przedstawiono kształt orbity satelity poruszającego się wokół Ziemi, to Ziemia znajduje się w punkcie **A/ B/ C**. Prędkość satelity jest największa w punkcie **I/ II/ III/ IV**, najmniejsza w punkcie **I/ II/ III/ IV**, a jednakowa w punktach **I/ II/ III/ IV** i **I/ II/ III/ IV**.

44. Planeta A okrąża swoją gwiazdę w ciągu 100 dni. W jakim czasie okrąży tę samą gwiazdę planeta B, poruszająca się wokół niej w odległości trzy razy większej niż odległość planety A?

45. Planeta ma masę $2 \cdot 10^{24}$ kg. Z jaką prędkością porusza się satelita obiegający tę planetę w odległości 5 000 km od jej środka?

46. Mars ma dwa księżyce. Dejmos obiega go po orbicie o wielkiej półosi długości 23 460 km w czasie 30 h. Oblicz długość wielkiej półosi orbity drugiego księżyca Marsa – Fobosa, jeśli obiega on Marsa w czasie 7 h 40 min.

3. Praca, moc, energia

1. Ania ciągnęła sanki siłą 40 N wykonując pracę 20 000 J. Jaką drogę przebyła? Przyjmij, że ciągnęła sznurek poziomo.

2. Samochód poruszał się pod wpływem siły o wartości 8400 N po drodze 15 m. Jaką pracę wykonał silnik tego samochodu?

3. Adam pchał naładowany wózek sklepowy o masie 20 kg po drodze 30 m. Na jaką odległość musi przesunąć wózek o masie 40 kg, by wykonać taką samą pracę? Oblicz to, korzystając z informacji w ramce.

> Wiesz już, że tarcie rośnie, gdy zwiększa się nacisk ciała na podłoże. Okazuje się, że w dobrym przybliżeniu rośnie ono proporcjonalnie do nacisku. Przesunięcie ciała o dwa razy większym ciężarze wymaga więc pokonania dwa razy większej siły tarcia.

4. Znajdź w kuchni co najmniej jeden przykład ciała mającego:

a) dużą energię potencjalną,

b) dużą energię wewnętrzną,

c) energię chemiczną,

d) inny, wybrany przez ciebie rodzaj energii.

5. Podnosząc Anię o 50 cm, jej kolega wykonał pracę 250 J. Oblicz masę Ani.

6. Oblicz energię mechaniczną łosia o masie 500 kg, który wbiegł na wzniesienie o wysokości 30 m i dalej porusza się z prędkością 36 $\frac{km}{h}$.

7. Na jaką wysokość wzniesie się piłka kopnięta pionowo w górę z prędkością 20 $\frac{m}{s}$?

8. Całkowita energia mechaniczna pewnej cessny – samolotu o masie 1000 kg poruszającego się z prędkością 216 $\frac{km}{h}$ – wynosi 11 800 kJ. Ustal, na jakiej wysokości znajduje się samolot.



9. Pocisk o masie 2 g wystrzelono z prędkością 30 $\frac{m}{s}$ pionowo w górę. Jaką będzie miał prędkość na wysokości 10 m?

10. Oblicz prędkość, do jakiej trzeba rozpędzić krążek hokejowy o masie 160 g, aby wjechał on na wzniesienie o wysokości 12 m.

11. Trzynaście największych w Polsce zakładów chemicznych potrzebuje łącznej mocy 6500 MW. Ile energii zużywają te zakłady w ciągu 24 godzin? Porównaj tę energię z energią wydzieloną podczas wybuchu tony trotylu: 4,2 GJ.

12. Słoń o masie 6 t rozpędza się do prędkości 24 $\frac{km}{h}$ w ciągu 10 s. Oblicz moc słonia. Ile koni mechanicznych powinien mieć silnik, który miałby taką moc jak rozpędzające się zwierzę?

Informacja do zadań 13 i 14.

Jak zmagazynować energię? Największe światowe magazyny energii to elektrownie szczytowo-pompowe, w których wodę przepompowuje się do położonych wyżej zbiorników. Zgromadzona woda może później popłynąć przez turbiny i zamienić energię potencjalną na energię prądu elektrycznego.

13. Oceń, jaką energię można zmagazynować w największym na świecie magazynie energii Bath County Pumped Storage Station w Stanach Zjednoczonych, jeśli górny zbiornik tej elektrowni mieści około 44 mln m^3 wody, a różnica poziomów między zbiornikami wynosi 380 m.

W Polsce przykładem elektrowni pompowo-szczytowej jest elektrownia Porąbka-Żar koło Żywca (zdjęcie obok).

14. Wyobraź sobie, że energia zmagazynowana w Bath County Pumped Storage Station może zostać wykorzystana do zasilenia całej Polski w energię. Oceń, na jak długo mogłoby jej wystarczyć, jeśli średnie zapotrzebowanie Polski na moc to około 20 000 MW.



TABELA 1. Wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Przedrostek		Przelicznik	Przykłady
T	tera	$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	1 TeV (teraelektronowolt) = 10^{12} eV
G	giga	$1\,000\,000\,000 = 10^{9}$	1 GW (gigawat) = 1 000 000 000 W
M	mega	$1\,000\,000 = 10^{6}$	1 MHz (megaherc) = 1 000 000 Hz
k	kilo	$1\,000 = 10^{3}$	1 kN (kiloniuton) = 1000 N
h	hekto	$100 = 10^{2}$	1 hl (hektolitr) = 100 l
da	deka	$10 = 10^{1}$	1 dag (dekagram) = 10 g
d	decy	$\frac{1}{10} = 10^{-1}$	1 dm (decymetr) = $\frac{1}{10}$ m
c	centy	$\frac{1}{100} = 10^{-2}$	1 cm (centymetr) = $\frac{1}{100}$ m
m	mili	$\frac{1}{1\,000} = 10^{-3}$	1 mg (miligram) = $\frac{1}{1\,000}$ g
μ	mikro	$\frac{1}{1\,000\,000} = 10^{-6}$	1 μm (mikrometr) = 10^{-6} m
n	nano	$\frac{1}{1\,000\,000\,000} = 10^{-9}$	1 nm (nanometr) = 10^{-9} m
p	piko	$\frac{1}{1\,000\,000\,000\,000} = 10^{-12}$	1 pC (pikokulomb) = 10^{-12} C

TABELA 2. Układ Słoneczny

Nazwa	Masa [$\cdot 10^{24}$ kg]	Średnica [km]	Średnia odległość od Słońca [mln km]	Okres obiegu wokół Słońca [dni]	Okres obrotu wokół własnej osi [godziny]	Liczba księżyców	Średnia gęstość $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
GWIAZDA							
Słońce	1 989 100	1 392 000			609,12		1408
PLANETY							
Merkury	0,33	4879	57,9	88,0	1407,6	0	5427
Wenus	4,87	12 104	108,2	224,7	5832,5	0	5243
Ziemia	5,97	12 756	149,6	365,2	23,9	1	5515
Mars	0,642	6794	227,9	687,0	24,6	2	3933
Jowisz	1898,6	142 984	778,6	4332,6	9,9	69	1326
Saturn	568,5	120 536	1433,5	10 759,2	10,7	62	687
Uran	86,8	51 118	2872,5	30 685,4	17,2	27	1270
Neptun	102,4	49 528	4495,1	60 189,0	16,1	14	1638
PLANETY KARŁOWATE							
Ceres	0,000946	960	414,0	1680	9,075	0	2161
Pluton	0,01303	2374	5906,4	90 465	153,3	5	1750
Eris	0,0166	2326	10 121	203 600	25,9	1	2520

TABELA 3. Wybrane księżyce planet i planet karłowatych

Nazwa	Masa [$\cdot 10^{21}$ kg]	Średnica [km]	Średnia odległość od planety [tys. km]	Okres obiegu wokół planety [dni]	Okres obrotu wokół własnej osi [dni]	Średnia gęstość $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Ziemia						
Księżyc	73,5	3475	384	27,3	27,3	3350
Mars						
Dejmos	0,0000024	15	23,46	1,26	1,26	1750
Fobos	0,0000106	26,8	9,38	0,32	0,32	1900
Jowisz						
Io	89,3	3642	421,6	1,77	1,77	3530
Europa	48,0	3120	671	3,55	3,55	3010
Ganimedes	148,2	5262	1070	7,15	7,15	1940
Kallisto	107,6	4820	1882,7	16,69	16,69	1830
Saturn						
Tytan	134,5	5150	1222	15,94	15,94	1881
Uran						
Tytania	3,52	1598	435,9	8,7	8,7	1710
Neptun						
Tryton	21,4	2706	354,8	5,88	5,88	2050
Pluton – planeta karłowata						
Charon	1,59	1212	19,6	6,39	6,39	1702
Eris – planeta karłowata						
Dysnomia	?	700	37	15,7	15,7	?

Uwaga. Znak „?" oznacza, że tej wartości naukowcy jeszcze nie wyznaczyli.

Międzynarodowy Układ Jednostek SI przyjęty w 1960 roku oparty jest na następujących siedmiu jednostkach podstawowych:

1. Jednostka długości – metr (m)
2. Jednostka masy – kilogram (kg)
3. Jednostka czasu – sekunda (s)
4. Jednostka natężenia prądu elektrycznego – amper (A)
5. Jednostka temperatury termodynamicznej – kelwin (K)
6. Jednostka światłości – kandela (cd)
7. Jednostka ilości materii – mol

Jednostki podstawowe uzupełniają dwie jednostki miary kątów:

1. Jednostka kąta płaskiego – radian (rad)
2. Jednostka kąta bryłowego – steradian (sr)

Na podstawie powyższych jednostek zdefiniowane zostały inne, tzw. jednostki pochodne.

Indeks

A
Aldrin, Buzz 118
amatorskie obserwacje astronomiczne 112
Armstrong, Neil 118
Arystoteles 44
atomy 10

B
Baade, Walter 183
bezwładność 55

C
Cavendish, Henry 106
ciężar 26, 101, 123
cząsteczki 10
częstotliwość 85, 87

D
doświadczenie 15
droga 34
— w ruchu jednostajnie zmiennym 51
Droga Mleczna 9
działo Newtona 109
dżul 167, 171

E
Einstein, Albert 6, 152
energia 167, 170
— chemiczna 168
— jądrowa 168
— kinetyczna 168, 178
— mechaniczna 179
— potencjalna grawitacji 168, 175
— potencjalna sprężystości 168
— wewnętrzna 168

F
fazy Księżyca 132
formy energii 168

G
Gagarin, Jurij 118
galaktyka 9
Galileusz (Galileo Galilei) 44, 141, 147
gazowe olbrzymy 140
GPS 6
Gwiazda Polarna 113, 117
gwiazdozbiory 113, 117

H
herc 85

J
jednostka astronomiczna 141
jednostki miar 15
Joule, James Prescott 167, 169
Jowisz 145

K
Kepler, Jan (Johannes) 147
kierunek 22
kilogram 16
kilowatogodzina 192
kometa 141
koń mechaniczny 191
Kopernik, Mikołaj 139, 146
Księżyc 8, 108, 118, 132, 136, 162
księżyce 220
kwadra 132

L
lodowe olbrzymy 140

M
mapa nieba 115
metoda równoległoboku 30
— trójkąta 30
metr 16
Międzynarodowa Stacja Kosmiczna ISS 118, 161
moc 189, 190, 194, 196, 202
model geocentryczny 139
— heliocentryczny 139

N
Newton, Izaak 44, 109
niedociążenie 127
niepewność pomiaru 16
nieważkość 123, 128, 130
notacja wykładnicza 102
nów 132

O
obserwacje astronomiczne 112
oddziaływanie 22
— grawitacyjne 100
okres 84
opór ośrodka 61

P
Pauli, Wolfgang 183
pełnia 132
planeta 142
planetoida 141
planety 140
— karłowate 140
— pozasłoneczne 144
pływy 162
podwielokrotności jednostek 219
położenie 34
pomiary 15
praca 166
prawo Keplera
—— pierwsze 147
—— drugie 148
—— trzecie 148
— powszechnego ciążenia 101
prędkość 36
— chwilowa 38
— średnia 38
— satelity 119
proporcjonalność odwrotna 54
przeciążenie 124
przemiany energii 181
przemieszczenie 35
przypływy 162
przyspieszenie 48, 78
— ziemskie 55

R
ruch jednostajnie zmienny 48
— jednostajny prostoliniowy 40
— jednostajny po okręgu 83

S
satelita 119, 129, 161
— geostacjonarny 121
Saturn 145
sekunda 16
siła 22
— badanie 92
— bezwładności 65–68, 97
— ciężkości 26, 101, 104
— dośrodkowa 90, 97, 107
— grawitacji 100, 107
— obliczanie 95
— tarcia 59
siły równoważące się 29
Słońce 8
spadek swobodny 55
styczna do krzywej 83
— do okręgu 83

T
tarcie kinetyczne 59
— statyczne 59
teoria geocentryczna 146
Tiereszkowa, Walentina 118
tor ruchu 34
Tracker 77

U
układ
— inercjalny 67–68, 98
— nieinercjalny 67–68, 98, 124
— odniesienia 34
układ SI 15
Układ Słoneczny 8, 138, 142, 219

W
waga sprężynowa 123
wartość 22
— odżywcza 201
wat 190
Watt, James 190
wektor prędkości 83
— przyspieszenia 50
Wenus 137
wielkość skalarna 22
— wektorowa 22
wielokrotności jednostek 219
wzajemność oddziaływań 23
względność ruchu 34

Z
zaćmienie Księżyca 134
zaćmienie Słońca 135
zaokrąglanie liczb 18
zapotrzebowanie energetyczne organizmu 193, 201
zasada dynamiki
—— druga 55
—— pierwsza 43
—— trzecia 23
— zachowania energii 184
Ziemia 8
zwrot 22
życie pozaziemskie 144

Spis dodatków matematycznych

Zaokrąglanie liczb 18
Metoda trójkąta 30
Metoda równoległoboku 30
Wykresy w układzie współrzędnych 41
Dlaczego wykresem $x(t)$ dla ruchu jednostajnego jest linia prosta 42
Proporcjonalność odwrotna 54
Styczna do okręgu 83
Styczna do krzywej 83
Działania na liczbach bardzo dużych i bardzo małych 102

Spis doświadczeń obowiązkowych

Badanie sił bezwładności 65
Badanie zależności siły dośrodkowej od masy, prędkości i promienia okręgu 92

Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań

Wprowadzenie

1. Czym zajmuje się fizyka i po co

Zadanie 5. 100 m – długość boiska do piłki nożnej

Zadanie 6. Mikroskop elektronowy. Zdjęcie przedstawia wirusy ptasiej grypy.

2. Doświadczenia i pomiary

Zadanie 5. a) 184 s, b) Niepewność maksymalna wynosi 6 s.

Zadanie 6. Wynik zapisano z dokładnością 10^{-20} (to jedna stumilionowa rozmiaru jądra).

1. Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

3. Siły. Trzecia zasada dynamiki

Zadanie 3. **Wskazówka.** Zwróć uwagę na jednostki.

a) $F = 2000$ N, b) $F = 40$ N, c) $F = 0{,}2$ N

Zadanie 4. a) $m = \frac{F_g}{g} = 4{,}5$ kg,

b) $m = 250$ g

4. Siła wypadkowa

Zadanie 3. ok. 1450 N, ok. 18°

Zadanie 4. **Wskazówka.** Siłę wypadkową można zmierzyć na rysunku albo obliczyć, korzystając z twierdzenia Pitagorasa. $F_w = 10$ N

5. Opis ruchu prostoliniowego

Zadanie 3. $s = 21$ km

Zadanie 4. a) 25 $\frac{m}{s}$, 20 $\frac{m}{s}$, 19 $\frac{m}{s}$

6. Pierwsza zasada dynamiki

Zadanie 2. c) **Wskazówka.** Z wykresu nie odczytamy dokładnie, jaką drogę przebyło ciało w czasie 1 s, możemy jednak odczytać drogę przebytą w ciągu 10 s. Zwróć uwagę, że położenie x to **nie jest** droga! $v = 0{,}4$ $\frac{m}{s}$

Zadanie 4. **Wskazówka.** Zastanów się najpierw, jaki kształt ma taki wykres.

Zadanie 5. **Wskazówka.** Już w starożytności wiedziano, że Ziemia jest kulista.

7. Ruch jednostajnie zmienny

Zadanie 1. $a = \frac{v_k - v_p}{t} = 0{,}4$ $\frac{m}{s^2}$

Zadanie 2. **Wskazówka.** Najpierw oblicz, o ile zmieniła się prędkość. $t = 5$ s

Zadanie 3. c) **Wskazówka.** Z wykresu nie da się odczytać dokładnie prędkości w dowolnie wybranej chwili. Wybierz taką chwilę, aby odpowiadający jej punkt na wykresie leżał na przecięciu kratek. Zwróć uwagę, że do obliczenia przyspieszenia potrzebna jest **zmiana** prędkości, a nie prędkość w danej chwili. samochód A: 1,5 $\frac{m}{s^2}$, samochód B: −0,5 $\frac{m}{s^2}$ (wartość przyspieszenia 0,5 $\frac{m}{s^2}$, zwrot do tyłu)

d) **Wskazówka.** Najwygodniej obliczyć pole pod wykresem – w jednym przypadku pole trapezu, w drugim pole trójkąta. Możesz też skorzystać ze wzorów. $s_A = 27$ m, $s_B = 35$ m

8. Druga zasada dynamiki

Zadanie 1. $a = \frac{F}{m} = 2$ $\frac{m}{s^2}$

Zadanie 2. **Wskazówka.** Jakiej wielkości potrzebujesz, aby obliczyć siłę? Jak znaleźć tę wielkość?

$a = 15\,000$ $\frac{m}{s^2}$, $F = 855$ N, dorosły człowiek

Zadanie 3. **Wskazówka.** Zwróć uwagę na jednostki prędkości. a) $F \approx 19$ kN, b) $F = 0$ N, c) $F \approx 19$ kN

9. Opory ruchu

Zadanie 3. **Wskazówka.** Od czego zależy opór powietrza?

Zadanie 4. **Wskazówka.** Jaką wartość ma siła wypadkowa działająca na wózek?

$a = \frac{F_w}{m} = 0{,}13$ $\frac{m}{s^2}$

Zadania powtórzeniowe

To trzeba umieć

1. Jest to prędkość względem taśmy, a nie względem pokoju.

2. A. **Wskazówka.** Przypomnij sobie trzecią zasadę dynamiki.

3. B. **Wskazówka.** Przypomnij sobie pierwszą zasadę dynamiki.

4. B, 5. A, 6. $v = 30\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$

7. B. **Wskazówka.** W takich zadaniach warto pomyśleć o konkretnym przykładzie. Na przykład: czy łatwiej rozpędzić pusty wózek czy pełny?

8. I, III

To powinieneś umieć

1. C, 2. A. **Wskazówka.** Przypomnij sobie pierwszą zasadę dynamiki.

3. A, 4. A, 5. $v = 20\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, 6. D

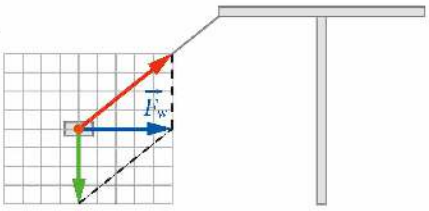
7. Wyjaśnienie Antka: dno szklanki zatrzymało się razem z tacą, ale jej górna część kontynuowała ruch zgodnie z zasadą bezwładności.

Wyjaśnienie ślimaka: przewrócenie szklanki spowodowała działająca na nią siła bezwładności.

8. a) D, b) B, c) A, d) C

To warto umieć

1.



2. $a = 12{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $s = 25$ m

3. $h = 45$ m

4. A. Gdyby w czasie hamowania kawa się rozlała, wyleje się w kierunku, w którym jedzie pociąg.

5. a) $t = 24$ s, b) $v = 0{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, c) $F_w = 0$ N

6. $t = 40$ s. **Wskazówka.** Pamiętaj o zamianie jednostek prędkości. Aby takiej zamiany dokonywać tylko raz, można najpierw obliczyć przyrost prędkości w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

7. a) zgnieciona, b) obie z jednakowym (równym zeru), c) na obie jednakowa (równa ciężarowi)

Wskazówka. Przypomnij sobie przykład ze strony 62.

Dasz sobie z tym radę? Świetnie!

1. **Wskazówka:** Skorzystaj ze wzoru na wysokość trójkąta równobocznego.

$F_w = 100\sqrt{3}$ N ≈ 173 N, wzdłuż dwusiecznej kąta

2. Na dużej wysokości niższe są ciśnienie powietrza i jego gęstość, tzn. powietrze jest bardziej rozrzedzone. Takie powietrze stawia mniejszy opór, co ma duże znaczenie w sprincie, a niewielkie w wolniejszym biegu na długim dystansie. Przy dłuższym biegu większe znaczenie ma fakt, że rozrzedzonym powietrzem jest trudniej oddychać.

2. Ruch po okręgu i grawitacja

11. Ruch po okręgu

Zadanie 1. **Wskazówka.** Użyj ekierki albo rysuj wzdłuż kratek.

Zadanie 3. **Wskazówka.** Równik ma długość ok. 40 tys. km.

Zadanie 4. $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5}$ s $= 0{,}2$ s, $v = 1{,}9\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

12. Siła dośrodkowa

Zadanie 3. **Wskazówka.** Przypomnij sobie, jak się skręca na łyżwach.

Zadanie 4. Siła rośnie jak v^2, a więc wynosi $2^2 \cdot 5000$ N $= 20\,000$ N.

13. Obliczanie siły dośrodkowej

Zadanie 2. a) 750 N, b) 6000 N, c) 1500 N, d) 3000 N

Zadanie 3. **Wskazówka.** Przelicz prędkość na $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

a) ok. 3100 N, b) ok. 12 400 N, c) ok. 6200 N

Zadanie 4. **Wskazówka.** Na Ziemi „w dół" to znaczy „w stronę, w którą skierowana jest siła grawitacji". A jaki jest zwrot siły odśrodkowej?

14. Grawitacja

Zadanie 2. a) 4 mN, b) 144 mN, c) 360 mN, d) 9 mN

Zadanie 4. **Wskazówka.** Na jakiej wysokości latają samoloty?

Zadanie 5. **Wskazówka.** Obliczenia są podobne, jak w przykładzie 2. na s. 103.

a) $F_g = \frac{GMm}{R^2} = 0{,}61\,\text{N}$

b) Na Ziemi ok. 16 razy większa.

15. Siła grawitacji jako siła dośrodkowa

Zadanie 3. **Wskazówka.** Nie musisz wykonywać dokładnych obliczeń.

Zadanie 4. a) $1{,}3 \cdot 10^{22}$ N, b) **Wskazówka.** Jaką masę ma Merkury, a jaką Słońce?

Zadanie 5. $F = \frac{GMm}{R^2} = 2 \cdot 10^{20}\,\text{N}$

16. Ruch satelitów

Zadanie 3. a) $v = \sqrt{\frac{GM}{R_Z + h}} \approx 7{,}56\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$,

b) mniejsza o ok. 4%, c) $T = \frac{2\pi(R_Z + h)}{v} \approx 97$ min

17. Ciężar i nieważkość

Zadanie 1. a) w górę, b) w nieruchomej windzie 800 N, w poruszającej się 900 N, c) $1{,}25\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Zadanie 3. **Wskazówka.** Odważniki także ulegają przeciążeniu.

18. Księżyc – towarzysz Ziemi

Zadanie 2. **Wskazówka.** Zastanów się, w jakich fazach Księżyca następują zaćmienia.

19. Układ Słoneczny

Zadanie 1. Najmniejsze odległości: do Marsa 78 mln km, do Wenus 41 mln km.

Największe odległości: do Marsa 378 mln km, do Wenus 258 mln km.

Zadanie 4. a) 11 razy większy, 320 razy większa masa, b) 165 ziemskich lat, c) 17 h

Zadanie 4. Merkury: 0,4 au, Jowisz: 5,2 au.

Temat dodatkowy. Prawa Keplera

Zadanie 3. $T_2 = \sqrt{\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3}\,T_1 = 2400$ dni

Zadanie 4. **Wskazówka.** Przelicz odległość na metry, a czas na sekundy.

$M = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} = 1{,}4 \cdot 10^{30}\,\text{kg}$

Zadanie 5. Ok. 18 au.

Zadania powtórzeniowe

To trzeba umieć

1. B, 2. B, 3. D, 4. A, 5. D, 6. C, 7. C

To powinieneś umieć

1. B, 2. C, 3. a) najbliżej 1 i 2, najdalej 2 i 3, b) najbliżej 1 i 3, najdalej 1 i 2, 4. D

5. $F = \frac{mv^2}{r} \approx 3125$ N. **Wskazówka.** Pamiętaj o przeliczeniu jednostek prędkości!

6. B, 7. A, 8. D, 9. B C F

To warto umieć

1. B, 2. Dzięki temu zaćmienia zdarzają się stosunkowo rzadko.

3. a) $v = \sqrt{\frac{Fr}{m}} \approx 5{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Wskazówka. Uważaj na jednostki: dag, cm.

b) $f = \frac{v}{2\pi r} \approx 1{,}8$ Hz

4. $r = \frac{mv^2}{F} = 1$ km

5. C, 6. C

7. **Wskazówka.** Najłatwiej najpierw obliczyć prędkość. Pamiętaj o uwzględnieniu promienia Ziemi. $v \approx 5{,}6\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$, $T \approx 239$ min

8. $T = \frac{\pi d}{v} \approx 38$ s. **Wskazówka.** Nie myl średnicy z promieniem!

Świetnie, jeśli to umiesz

1. W nowiu. **Wskazówka.** Naszkicuj, jak położone są względem siebie Słońce, Ziemia i Księżyc.

2. **Wskazówka.** Potrzebne dane odczytaj z tablic. $v = \sqrt{\frac{GM}{R}} \approx 42\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$

3. $R = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} \approx 2800$ km, więc $h \approx 1800$ km.

4. B, 5. C, 6. Masa gwiazdy wynosi $7 \cdot 10^{30}$ kg. Masy planety nie można obliczyć.

3. Praca, moc, energia

20. Praca i energia

Zadanie 3. $s = \frac{W}{F} = 30\,\text{m}$

Zadanie 4. a) 500 000 razy,
b) 6 razy.

Wskazówka. Pomijamy tu straty energii, które mogą być większe przy rozpędzaniu się na rowerze.

c) ok. 12 m

Wskazówka. Wartość energetyczna 1 litra mleka to około 600 kcal. 1 kcal = 4186 J. Na infografice jest informacja, ile energii potrzeba do podniesienia 1 t na 20 m.

21. Energia mechaniczna

Zadanie 1. $\Delta E = 60$ J. **Wskazówka.** Sprawdź, czy wynik jest taki sam przy obu sposobach.

Zadanie 2. $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 1000$ J

Zadanie 4. **Wskazówka.** Zwróć uwagę na jednostkę masy. $v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Zadanie 5. ok. 120 MJ. **Wskazówka.** W ramce podano, że węzeł to niemal dokładnie 0,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Skorzystaj z tego przybliżonego przelicznika. Pamiętaj także o zamianie ton na kilogramy.

22. Przemiany energii mechanicznej

Zadanie 3. $h = \frac{\frac{1}{2}v^2}{g} \approx 45\,\text{m}$

Wskazówka. Zastanów się, jaka przemiana energii zaszła w opisywanym zjawisku. Czym się ona różni od przemiany energii opisanej w przykładzie 1 na s. 186?

23. Moc

Zadanie 1. **Wskazówka.** Nie musisz wykonywać obliczeń, tylko określić, czy wielkości są równe, a jeśli nie, to która jest większa.

Zadanie 2. a) Do roku 2019: około 120 GJ czyli około 33 000 kWh, b) około 26 tys. zł.

Zadanie 3. a) 2,7 mln, nie wystarczyłoby, b) 540 mln, po 14 na każdego mieszkańca Polski, c) ok. 70 tys., d) 18 mln razy

Zadanie 4. $P = 30$ W. **Wskazówka.** Możesz najpierw obliczyć wykonaną pracę.

Zadania powtórzeniowe

To trzeba umieć

1. B, 2. A, 3. A, 4. D.

5. energia sprężystości, energia kinetyczna, energia wewnętrzna, energia jądrowa

6. $E = mgh = 75$ J, 7. A

To powinieneś umieć

1. $s = \frac{W}{F} = 2$ m. **Wskazówka.** Możesz przekształcić wzór na pracę do postaci podanej powyżej. Możesz się też zastanowić, jaką pracę wykonałaby Ania, gdyby podniosła pudło tylko o 1 m. Zauważ, że wysokość, na jaką podnosiła pudło, równe jest przebytej przez nie drodze.

2. D

3. $W = 16{,}6$ MJ. **Wskazówka.** Pytanie brzmi „Jaką pracę...", ale nie musimy korzystać ze wzoru na pracę. Kosztem wykonanej pracy lokomotywa ma się rozpędzić – jaka forma energii ulegnie zmianie? Zwróć także uwagę na jednostki prędkości i masy – trzeba je zamienić na jednostki SI.

4. B. **Wskazówka.** Jaką pracę wykona ten silnik w czasie 1 s?

5. C. **Wskazówka.** Ile razy zmniejszyła się energia kinetyczna?

6. A. **Wskazówka.** Skoro odpowiedzi podane są w kWh, przelicz dany czas na godziny, a daną moc na kilowaty.

To warto umieć

1. C. **Wskazówka.** Możesz najpierw obliczyć wykonaną pracę. Jaka forma energii zmienia się w tym zjawisku?

2. A. **Wskazówka.** Pamiętaj o zamianie jednostek prędkości. Która z informacji w zadaniu nie jest potrzebna do obliczenia energii kinetycznej?

3. Biegacz. **Wskazówka.** Możesz albo obliczyć obie energie, albo porównać osobno masy i prędkości. Przy drugim sposobie pamiętaj,

że energia kinetyczna proporcjonalna jest do kwadratu prędkości.

4. C, 5. ok. 1,25 m, 6. $v = \sqrt{2gh} \approx 17{,}3\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. 2. J. **Wskazówka.** Skąd się wzięła ta energia cieplna?

2. ok. 48 min. **Wskazówka.** Jeśli masz wątpliwości, ile to jest MWh, przypomnij sobie, jak określiliśmy jednostkę kWh.

3. Drugie ciało. **Wskazówka.** W obu przypadkach możemy korzystać z tego samego wzoru na energię potencjalną grawitacji, tylko z właściwym g.

Zbiór zadań

Wprowadzenie

1. Hasło: siła

3. **Wskazówka.** Skorzystaj z infografiki „Rozmiary i odległości we Wszechświecie".

4. C

5. **Wskazówka.** Przybliżoną wielkość Galaktyki odczytaj z infografiki: „Rozmiary i odległości we Wszechświecie". a) ok. 10^{19} m, b) Neptun – ok. 0,0005 mm, Ziemia – 0,00002 mm

6. a) 0,2 m, 0,007 m, 0,017 m, 0,05 m, 1,29 m

b) 300 s, 510 s, 720 s, 1800 s, 9000 s

c) 0,18 kg, 0,007 kg, 0,034 kg, 0,15 kg, 1,8 kg

7. Ze wskazań woltomierza wynika, że rzeczywiste napięcie jest zawarte w przedziale od 8,5 V do 9,1 V. Może więc być większe niż 9 V, ale nie powinno być mniejsze niż 8 V.

8. **Wskazówka.** Postaraj się zawsze nalać tyle samo wody.

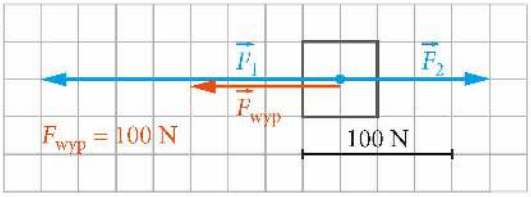
9. Tak, waga mechaniczna określiła przedział 670–690 g, a waga elektroniczna – 689–691 g. Te przedziały mają część wspólną.

1. Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

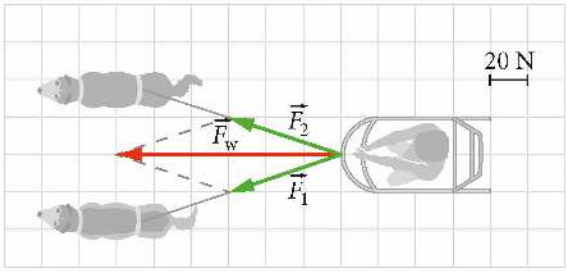
1. 50 N, 20 N, 30 N, 20 N, 50 N, 30 N

2. Pedał naciska na stopę Ali siłą zwróconą w górę, o wartości 200 N, przyłożoną do stopy dziewczyny.

3. b)



4. Siła wypadkowa ma wartość 120 N.



5. Wartość siły wynosi około 1900 N.

7. **Wskazówka.** Pamiętaj, że nie da się działać siłą na samego siebie.

8. Lina może się łatwiej zerwać po prawej stronie ciała, bo tam jest napięta siłą o większej wartości.

9. $v = \frac{s}{t} = 12\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$

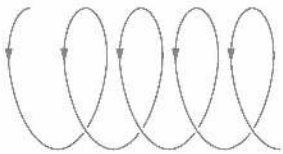
10. $t = \frac{s}{v} \approx 3{,}1\ \text{h}$

11. Całkowita droga: $s = 20\ \text{km} + 20\ \text{km} = 40\ \text{km}$.

Całkowity czas: $t = \frac{20\ \text{km}}{100\ \frac{\text{km}}{\text{h}}} + \frac{20\ \text{km}}{40\ \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0{,}7\ \text{h}$.

Średnia prędkość: $v = \frac{40\ \text{km}}{0{,}7\ \text{h}} \approx 57\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

12. Punkt A na końcu skrzydła wiatraczka porusza się po linii śrubowej (w kształcie sprężyny).



13. **Wskazówka.** Jaką drogę przebywa to ciało w czasie 1 s? $v = 5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

14. **Wskazówka.** Weź pod uwagę punkty wykresu położone na przecięciu kratek, inaczej nie odczytasz dokładnie ich współrzędnych. Zauważ też uwagę, że położenie x nie musi być równe przebytej drodze.

A: $v = \frac{3\ \text{m}}{1\ \text{s}} = 3\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (zwrot wektora prędkości zgodny ze zwrotem osi x)

B: $v = \frac{1\,\text{m}}{3\,\text{s}} \approx 0{,}33\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ (zwrot wektora prędkości zgodny ze zwrotem osi x)

C: $v = \frac{5\,\text{m}}{1\,\text{s}} = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ (zwrot wektora prędkości przeciwny do zwrotu osi x)

16. a) $F_g = mg = 2\,\text{N}$,

b) siła wyporu: $F_{wyp} = F_g = 2\,\text{N}$

17. **Wskazówka.** Najpierw zastanów się, jaka jest wartość siły wypadkowej działającej na sanie.

a) $F_o = 100\,\text{N} + 100\,\text{N} = 200\,\text{N}$, b) prędkość sań

18. $v = gt = 50\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

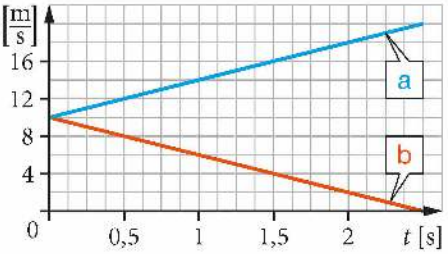
19. **Wskazówka.** Pamiętaj o zamianie jednostek prędkości. Wygodniej dokonywać takiej zamiany tylko raz, więc najpierw oblicz przyrost prędkości w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, a następnie zamień go na $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zmiana prędkości: $\Delta v = 10\,\frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 2{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Czas przyspieszania: $t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{2{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{0{,}75\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 3{,}7\,\text{s}$.

20. a) kierunek – wzdłuż torów (równoległe do wektora prędkości), zwrot – zgodny ze zwrotem wektora prędkości

21.



22. **Wskazówka.** Aby odpowiedzieć na punkt b, sprawdź, czy prędkość zmieniała się co sekundę o tyle samo.

a) przyspieszał,

b) poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym, $a = \frac{3\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{2\,\text{s}} = 1{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

d) $v = 16\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 57{,}6\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$

23. a) $a = \frac{F}{m} = 0{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, b) $v = at = 1{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

24. **Wskazówka.** Najpierw oblicz, o ile zmieniła się prędkość kajaka.

$F = m\frac{|\Delta v|}{\Delta t} = 150\,\text{kg} \cdot \frac{2\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{8\,\text{s}} = 37{,}5\,\text{N}$

25. **Wskazówka.** Weź pod uwagę punkty wykresu położone na przecięciu kratek, inaczej nie odczytasz dokładnie ich współrzędnych.

Ciało o masie 5 kg: $F = m\frac{|\Delta v|}{\Delta t} = -10\,\text{N}$

(zwrot siły przeciwny do zwrotu wektora prędkości).

Ciało o masie 10 kg: $F \approx 6{,}7\,\text{N}$ (zwrot siły zgodny ze zwrotem wektora prędkości).

Ciało o masie 20 kg: $F \approx 6{,}7\,\text{N}$.

26. a) trzecia zasada dynamiki

b) pierwsza zasada dynamiki

c) druga zasada dynamiki

27. a) zwiększanie tarcia

b) zmniejszanie oporu powietrza

c) zwiększanie tarcia

d) zmniejszanie tarcia

28. Bloki startowe stosuje się, aby zwiększyć maksymalną siłę rozpędzającą sportowca, czyli przyspieszenie biegacza w momencie startu, i pozwolić mu szybciej osiągnąć maksymalną prędkość. W biegach długodystansowych początkowe przyspieszenie nie ma większego znaczenia; liczy się wytrzymałość, czyli zdolność do długotrwałego utrzymania dużej prędkości.

29. W czasie rozpędzania wodolotu jego kadłub stopniowo wynurza się z wody. Dzięki temu zmniejszają się oporu ruchu i jednostka może osiągnąć większą prędkość.

30. $a = \frac{T_{max}}{m} = \frac{0{,}7\,F_g}{m} = \frac{0{,}7\,mg}{m} = 7\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

32. a) przyspieszenie: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \approx 16{,}9\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

b) działająca siła: $F = ma \approx 15\,200\,\text{N}$

33. Jest zwrócona zgodnie z wektorem prędkości tramwaju, bo tramwaj hamuje.

35. „W zawrotach tańca długie jej warkocze omotały mu szyję".

II. Ruch po okręgu i grawitacja

1. $T = \frac{2\pi r}{v} \approx 47\,\text{s}$, $f = \frac{1}{T} \approx 0{,}02\,\text{Hz}$

2. **Wskazówka.** Nie myl promienia ze średnicą. Przelicz czas jazdy na sekundy.

Kierowca przejechał drogę:
$s = vt = 300$ m. Jedno okrążenie ronda to droga:
$l = \pi d = 62{,}8$ m
Liczba okrążeń ronda: $\frac{300}{62{,}8} \approx 4{,}8$

3. Okres obiegu wynosi 1 rok, czyli
$365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 31{,}5$ mln sekund
$v = \frac{2\pi r}{T} \approx 30 \frac{\text{km}}{\text{s}} \approx 108\,000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

4. Tosia porusza się z większą prędkością (Adriatyk znajduje się na niższej szerokości geograficznej niż Bałtyk, dalej od osi obrotu Ziemi). Częstotliwości w tym ruchu są jednakowe.

5. **Wskazówka.** Odległość Księżyca od Ziemi znajdziesz w tablicach na s. 220. Okres obiegu Księżyca wokół Ziemi to ok. 4 tygodni.
$v = \frac{2\pi r}{T} \approx 1 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

7. Żeby zwiększyć współczynnik tarcia między asfaltem a oponami samochodów.

8. Jeden obieg okręgu trwa tyle samo (nie zmieniła się częstotliwość, a więc i okres), a długość okręgu jest dwa razy mniejsza. Ciało pokonywało 2 razy mniejszą drogę w tym samym czasie, więc prędkość zmniejszyła się 2 razy.

9. $v_2 = \frac{v_1}{\sqrt{2}} \approx 57 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

10. **Wskazówka.** Pamiętaj o zamianie jednostek prędkości. $r_{\min} = \frac{mv^2}{F} = 200$ m

11. a) $v = \frac{2\pi r}{T} \approx 38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, b) $F_{\text{d}} = \frac{mv^2}{r} \approx 2800$ N

12. $F = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{r} = 150$ N, siłą dośrodkową jest siła tarcia między drogą (asfaltem) a oponami roweru

13. $v_{\max} = \sqrt{\frac{Fr}{m}} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 50{,}4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, prędkość ta jest prawie równa prędkości dozwolonej w obszarze zabudowanym (równej $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$)

14. **Wskazówka.** Pamiętaj o zamianie jednostek prędkości. $F = \frac{mv^2}{r} = 7500$ N, na wagon siłami sprężystości działają szyny

15. Siła dośrodkowa nie może być większa od siły zrywającej sznurek, czyli $F_{\max} = 20$ N. Oznacza to, że prędkość nie może przekroczyć wartości
$v_{\max} = \sqrt{\frac{F_{\max} r}{m}} \approx 8{,}94 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Przy takiej prędkości jeden obieg okręgu trwałby: $T = \frac{2\pi r}{v_{\max}} = 0{,}56$ s, czyli częstotliwość wynosiłaby $f = \frac{1}{0{,}56\text{ s}} = 1{,}78$ Hz

16. **Wskazówka.** Wykonaj staranny rysunek. Przypomnij sobie z lekcji matematyki zależności między długościami boków w trójkącie będącym połową trójkąta równobocznego.

a) Siła F_{n} jest 2 razy większa.

b) Siła F_{w} jest $\sqrt{3}$ razy większa.

17. a) 9 razy mniejszą, czyli około 0,67 μN,

b) aby siła była 4 razy mniejsza, odległość musi wzrosnąć 2 razy, do 20 m

19. **Wskazówka.** Dokładne obliczenia byłyby bardzo trudne, ale polecenie brzmi „Oszacuj", więc możemy skorzystać ze wzoru $F_g = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$, choć dla opisanych ciał daje on tylko przybliżony wynik.

a) $F_{\text{g}} = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \approx 6{,}4 \cdot 10^{-7}$ N,

b) $F_g \approx 1{,}1 \cdot 10^{-5}$ N

20. **Wskazówka.** Przypomnij sobie, jak siła grawitacji zależy od odległości. Zwróć uwagi na skróty „mld" i „mln".

W maksymalnej odległości siła grawitacji jest około $(400)^2 = 160\,000$ razy słabsza.

21. **Wskazówka.** Nie znamy wielkości występujących we wzorze na siłę dośrodkową, możemy jednak poradzić sobie inaczej. Jaka siła pełni rolę siły dośrodkowej w ruchu planety wokół gwiazdy?
$F_{\text{d}} = F_{\text{g}} = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \approx 6{,}7 \cdot 10^{22}$ N

22. a) B, b) A

23. Newton nie uwzględnił zmniejszania się siły grawitacji wraz z odległością. Odległość Księżyca od środka Ziemi jest około 60 razy większa niż promień planety, zatem przyspieszenie powodowane przez siłę grawitacji na orbicie Księżyca jest 3600 razy mniejsze niż na powierzchni Ziemi.

24. a) $F_{\text{g}} = \frac{Gm_{\text{Z}} m_{\text{K}}}{r^2} \approx 2 \cdot 10^{20}$ N,

b) $S = \frac{2 \cdot 10^{20}\,\mathrm{N}}{5 \cdot 10^{8}\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}} = 4 \cdot 10^{11}\,\mathrm{m}^2 = 400\,000\,\mathrm{km}^2$,

c) Jest to nieco więcej niż powierzchnia Polski.

25. **Wskazówka.** Pamiętaj, że wysokość mierzymy od powierzchni Ziemi, a we wzorze na prędkość satelity występuje jego odległość od środka Ziemi.

$v = \sqrt{\frac{GM}{R_Z + h}} \approx 3900\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 14\,000\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$

26. **Wskazówka.** To zadanie możesz rozwiązać, wykonując obliczenia z G i M, ale znacznie prościej porównać ruch dwu satelitów.

a) Prędkość satelity jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka z promienia orbity, zatem 2 razy mniejszą prędkość osiągnie on na orbicie o 4 razy dłuższym promieniu (25 600 km).

b) Jeden obieg na takiej orbicie trwa około 720 min (4 razy dłuższa droga jest pokonywana z 2 razy mniejszą prędkością).

27. a) Ponieważ okrąża Ziemię w czasie równym okresowi obrotu planety (i krąży w tę stronę, w którą obraca się planeta).

b) Satelita porusza się ze znacznie większą prędkością niż punkty na równiku, bo znajduje się w znacznie większej niż one odległości od osi obrotu Ziemi.

28. Na takich orbitach umieszcza się m.in. satelity szpiegowskie i meteorologiczne. Orbity biegunowe umożliwiają obserwację całej planety.

29. a) 600 N, c) 600 N, e) 60 kg,
b) 480 N, d) 600 N, f) 60 kg

30. a) $F = mg - ma = 12\,\mathrm{N}$,

b) $F = mg + ma = 28\,\mathrm{N}$

31. **Wskazówka.** Wysokość 6400 km równa jest promieniowi Ziemi. Ile razy dalej od środka Ziemi znajduje się astronauta w satelicie w stosunku do ludzi na jej powierzchni?

a) Siła przyciągania jest 4 razy mniejsza niż na powierzchni Ziemi; wynosi około 180 N.

b) Nie może zmierzyć. W stanie nieważkości przedmioty nie działają siłą nacisku (niezbędną do działania wagi).

32. a) Tyle samo co w nieruchomej windzie, ale musiałbym stać na suficie windy.

b) Odczuwany ciężar zmniejszałby się stopniowo do zera (do stanu nieważkości przy przyspieszeniu windy równym przyspieszeniu ziemskiemu), a następnie wzrósłby do początkowej wartości (byłby jednak zwrócony ku sufitowi windy).

33. za tydzień – B, za dwa tygodnie – C

34. **Wskazówka.** Naszkicuj wzajemne położenie Księżyca, Ziemi i Słońca w opisanej chwili.

35. Błąd na rysunku B: na nieoświetlonej części tarczy Księżyca nie mogą być widoczne gwiazdy. Ta część Księżyca jest ciemna, a nie przezroczysta.

36. a) ok. 400 razy,

b) ok. 390 razy,

c) rozmiary kątowe Słońca i Księżyca na ziemskim niebie są podobne

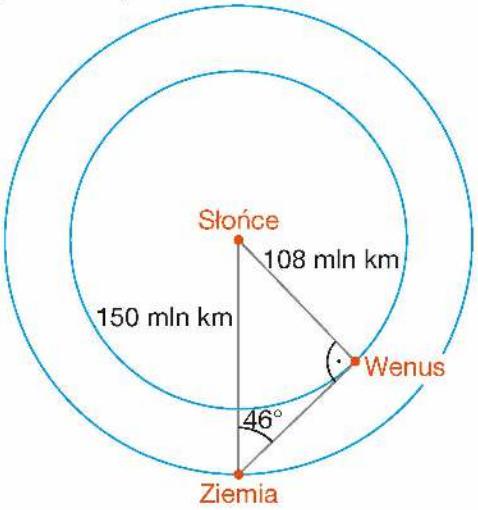
37. **Wskazówka.** Zdanie d) sprawdza się w przypadku większości planet, ale jest od tej zasady wyjątek: Wenus jest najgorętszą planetą, choć nie znajduje się najbliżej Słońca.

39. Gęstości planet olbrzymów są mniejsze od gęstości planet skalistych.

40. **Wskazówka.** Skoro powiedziano, że promień wynosi „kilkanaście kilometrów" w szacunkowych obliczeniach możemy przyjąć np. wartość 15 km. Wyniki trzeba mocno zaokrąglić, bo obliczenia nie były dokładne. Gęstość ok. $1{,}4 \cdot 10^{17}\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$, masa jednej łyżeczki materii ok. $7 \cdot 10^{11}$ kg = 700 mln ton.

41. Na Uranie występują pory roku. Ich przebieg jest inny niż na Ziemi. Obszary, na których mogą wystąpić noc polarna i dzień polarny, rozciągają się od biegunów aż do równika (na Ziemi – od biegunów do kół podbiegunowych). Obszary, na których Słońce może się znaleźć w zenicie, obejmują całą planetę (na Ziemi są to rejony pomiędzy zwrotnikami).

42. Kąt między kierunkami Ziemia–Słońce i Ziemia–Wenus wynosi co najwyżej 46° (sytuację odpowiadającą kątowi 46° przedstawia rysunek poniżej), a dla kierunku Ziemia–Merkury jest jeszcze mniejszy. Tymczasem planety znajdujące się dalej od Słońca niż Ziemia mogą się znaleźć nawet po przeciwnej stronie Ziemi niż Słońce.



43. kolejno: A, I, III, II, IV

44. $T_B = T_A \sqrt{\left(\frac{r_B}{r_A}\right)^3} \approx 520\,\text{d}$

45. $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \approx 5200\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

46. $a_F = a_D \sqrt[3]{\left(\frac{T_T}{T_D}\right)^2} \approx 9400\,\text{km}$

III. Praca, moc, energia

1. $s = \frac{W}{F} = 500\,\text{m}$

2. $W = Fs = 126\,\text{kJ}$

3. 15 m (żeby popchnąć wózek o 2 razy większej masie, Adam musi działać 2 razy większą siłą, zatem taką samą pracę wykona na 2 razy krótszej drodze).

5. $m = \frac{W}{gh} = 50\,\text{kg}$

6. **Wskazówka.** Pamiętaj o zamianie jednostek prędkości. Oblicz osobno energię kinetyczną i osobno potencjalną, a potem je dodaj.

$E = mgh + \frac{mv^2}{2} = 175\,\text{kJ}$

7. **Wskazówka.** Najpierw zastanów się, jakie przemiany energii zachodzą w opisywanym zjawisku. $h = \frac{v^2}{2g} = 20\,\text{m}$

8. **Wskazówka.** Energia kinetyczna samolotu nie zależy od wysokości, na której się znajduje, możesz ją więc obliczyć. Co obliczysz później? $h = 1000\,\text{m}$

9. **Wskazówka.** Masa pocisku nie jest konieczna do rozwiązania tego zadania, ale ułatwia obliczenia. Najpierw zastanów się, jakie przemiany energii zachodzą w opisywanym zjawisku. $v \approx 26{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

10. **Wskazówka.** Najpierw zastanów się, jakie przemiany energii zachodzą w opisywanym zjawisku. $v = \sqrt{2gh} \approx 15{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

11. $E = 6500 \cdot 10^6\,\text{W} \cdot 86\,400\,\text{s} \approx 5{,}6 \cdot 10^{14}\,\text{J}$,

czyli $\frac{5{,}6 \cdot 10^{14}\,\text{J}}{4{,}2 \cdot 10^9\,\text{J}} \approx 133\,000$ razy więcej

niż energia tony trotylu.

Wskazówka. Obliczenia można także zapisać za pomocą przedrostków:

$E = 6500\,\text{MW} \cdot 86\,400\,\text{s} = 6{,}5\,\text{GW} \cdot 86\,400\,\text{s} =$

$= 560\,000\,\text{GJ}$, $\frac{560\,000\,\text{GJ}}{4{,}2\,\frac{\text{GJ}}{\text{t}}} = 133\,000\,\text{t}$

12. $P = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{t} \approx 13{,}3\,\text{kW} \approx 18\,\text{KM}$

13. **Wskazówka.** Jaką masę ma metr sześcienny wody? $E_p = mgh \approx 1{,}7 \cdot 10^{14}\,\text{J}$

14. $t = \frac{1{,}7 \cdot 10^{14}\,\text{J}}{20 \cdot 10^9\,\text{W}} = 8500\,\text{s} \approx 2{,}4\,\text{h}$

Zdjęcie na okładce: Getty Images: Photodisc/Biddiboo.

Zdjęcia: Agencja Gazeta: Michał Grocholski s. 38; **Archiwum NE:** s. 106, 109 (działo Newtona), s. 150 (bitwa pod Grunwaldem), s. 151 (unia lubelska), s. 186; **BE&W:** AKG IMAGES Gmbh s. 150 (wystąpienie Lutra), Alamy Stock Photo - Art Directo s. 152, Art Directors & TRIP s. 141 (Galileusz), s. 146, s. 177, Bart Pro s. 218, blickwinkel s. 213 (kometa), Cephas Picture Library s. 169 (Cascade de l'Arpenaz), CPC Collection s. 180 (Dar Młodzieży), FALKENSTEINFOTO s. 151 (Kepler), Historical image collection by Bildagentur-online 2 s. 151 (Galileusz), History and Art Collection s. 169 (Joule), IanDagnall Computing s. 151 (Newton), Ivan Nesterov s. 174 (deskorolka), Ivy Close Images s. 150 (wynalazek druku), Konstantin Shaklein s. 109 (satelita), Laszlo Podor s. 163, NASA Photo s. 130 (astronauta), Oleksiy Maksymenko s. 151 (Hamlet) Perov Stanislav s. 34 (kobieta w samochodzie), Peter de Clercq s. 189, PRISMA ARCHIVO s. 44 (Galileusz), Robert Wallwork s. 32, Science History Images s. 139 (Kopernik), s. 150 (Kopernik), sportpoint s. 196, Stocktrek Images, Inc. s. 110 (Syriusz), The Print Collector s. 169 (aparat Joula), Tony Watson s. 79 (dragster), HERITAGEIMAGES/The Print Collector s. 109 (Newton), NATURE PICTURE LIBRARY/Stephen Dalton s. 127 (pchła), OLIMPIK/xinhua s. 89 (Anita Włodarczyk), PHOTO12 s. 139 (układ heliocentryczny), SCIENCE SOURCE/New York Public Library s. 139 (układ geocentryczny); **East News:** Science Photo Library/VHB s. 140 (Jowisz), s. 143 (Jowisz, Saturn, Neptun); **Forum:** Foka s. 151 (potop szwedzki), Piotr Męcik s. 151 (bitwa pod Wiedniem), Bartek Sadowski s. 88; **Getty Images:** Aurora s. 35 (motocykl), Brand X Pictures/Blend Images - Erik Isakson s. 22 (piłkarz), Caiaimage/Agnieszka Olek s. 12 (animacje i gry), Corbis/W. Perry Conway s. 36 (sokół), David Arky s. 194 (wiatrak), E+ - Andyworks s. 36 (ślimak), blackred s. 194 (kalkulator), DonNichols s. 188 (prądnica), inhauscreative s. 104 (astronauta na Marsie), ispyfriend s. 10, JaCZhou s. 34 (ruch uliczny), mevans s. 94 (samochód), 168 (samochód), PeopleImages s. 194 (biegacz), scibak s. 161, sharply_done s. 75 (samolot), skynesher s. 53 (kopnięcie piłki), stock-eye s. 193 (jogging), TerryJ s. 168 (piec hutniczy), vm s. 126-127 (winda), vuk8691 s. 62 (spadochroniarka), EyeEm/Pedro Custodio s. 188 (świetlówka), Getty Images Sport/Andy Lyons/Staff s. 191, Hulton Archive - Print Collector s. 147 („O obrotach sfer niebieskich"- dzieło Kopernika), Stringer s. 44 (Newton), iStock Editorial/Getty Images Plus/olrat s. 72 (pociąg w ruchu), iStock Unreleased/Sjo s. 195 (samochód), iStock/Getty Images Plus - 3DSculptor s. 118 (satelita), s. 120, ArxOnt s. 201 (owsianka), Bet_Noire s. 188 (grzejnik), BlackJack3D s. 96 (model atomu), Bojan89 s. 166 (siłownia), curraheeshutter s. 25, davidhajnal s. 134, DNY59 s. 43 (kulki), Elena-studio s. 203, FatCamera s. 24 (siatkarki), s. 165, frozenmarshmallows s. 170 (rowerzysta), FS-Stock s. 210 (sprinterzy), Global_Pics s. 58 (ławica ryb), jctabb s. 170-171 (piorun), LeventKonuk s. 211 (akwarium), Lisa5201 s. 14 (dziecko), mdesigner125 s. 192 (burza), Mlenny s. 175 (kolejka), Ozimician s. 176, PaulaConnelly s. 207, Rostislav_Sedlacek s. 123 (kobieta na wadze), SolStock s. 28, themacx s. 171 (ciężarówka), Tolltek s. 171 (podnoszenie ciężaru), tuachanwatthana s. 168 (dźwig), Valeriy_G s. 174 (schody), Vesnaandjic s. 46 (zjazd na sankach), Weerasaksaeku s. 197 (kontener na podnośniku), Zeffss1 s. 168 (kanister), zrfphoto s. 144, Moment Open/Bill Hinton Photography s. 114 (robienie zdjęcia), Moment - anucha sirivisansuwan s. 159 (statek), Pat Gaines s. 37 (galaktyka spiralna), Santi Sukarnjanaprai s. 114 (ruch gwiazd na niebie), Photodisc - Biddiboo s. 205, Fstop s. 65 (crash test), Photographer's Choice - Erik Simonsen s. 81, 119, Michael Dunning s. 21, Science Photo Library - s. 194 (lampa), SCIEPRO s. 36 (satelita), s. 159 (satelita), Science Source s. 147 (orbity planet), Science Source/NASA NASA s. 129 (prom kosmiczny), The Image Bank/David Madison s. 181 (bobslej), Universal Images Group/Sovfoto s. 118 (Walentina Tiereszkowa); **Indigo:** Alamy Stock Photo - Keystone Pictures USA s. 76, Sport In Pictures s. 40, Science Photo Library - s. 9 (galaktyki), ANDREW BROOKES, NATIONAL PHYSICAL LABORATORY s. 14, EYE OF SCIENCE s. 11, NASA s. 130 (chmury), Johns Hopkins University Applied Physics Labo s. 104, Novespace/CNES/DLR/ESA s. 130 (samolot ZERO-G), PAUL D STEWART s. 150 (Tycho Brahe), SPACEX s. 122 (Starman), Spacephotos s. 125; **Kamioka Observatory Institute** for Cosmic Ray Research of University of Tokyo s. 183; **NASA:** s. 136 (Księżyc), s. 138 (pętla zakreślona przez Marsa), JPL-Caltech/Space Science Institute s. 145; **Shutterstock:** Abas Kamal bin Sulaiman s. 84 (diabelski młyn), Adam Gryko s. 202, Alexey Kartsev s. 93, Anan Kaewkhammul s. 8 (puma), Anansing s. 208, Andrey Yurlov s. 75 (rower górski), Ariwasabi s. 173, artjazz s. 13 (panele słoneczne), Bakhur Nick s. 104 (astronauta na Księżycu), baltskars s. 206, berczy04 s. 217, Bondarenco Vladimir s. 64 (rower miejski), Bukowski Ilya s. 68 (pasażerka w samolocie 1, 2), Castleski s. 136 (odcisk buta na Księżycu), Chones s. 194 (LED), Christos Georghiou s. 84 (układ słoneczny), cloki s. 9 (Ziemia), s. 142 (Ziemia), CREATISTA s. 166 (spawanie), Curioso s. 74, CyberEak s. 89 (motocyklista), cyo bo s. 79 (magnetyczny Trasrapid), Dean Drobot s. 201 (dziewczyna z surówką), Denis Belitsky s. 49, Doug McLean s. 37 (laser), Egorov Artem s. 8 (cząsteczka), Elena Yakusheva s. 89 (zabawa z dzieckiem), Elnur s. 12 (medycyna), s. 72 (pchanie szafy), Ev. Safronov s. 211 (samochód), Florian Teodor s. 170 (wrona), FLUKY FLUKY s. 47, freevideophotoagency s. 72 (motorówka), GaudiLab s. 13 (kobieta w biurze), goir s. 16 (miarka krawiecka), Gorodenkoff s. 6, s. 12 (sport), Greentellect Studio s. 61 (spychacz), guy42 s. 170 (baterie), Hquality s. 104 (astronauta na Ziemi), Icatnews s. 122 (GPS), IgorZh s. 7 (zaćmienie Słońca), s. 194-195 (galaktyka), iko s. 85 (rowerzysta), IKostiuchok s. 86, ImageFlow s. 12 (animacje i gry – tło), iurii s. 27, s. 99, Jacky Co s. 184-185 (ikony samochodowe), James Wheeler s. 7 (tęcza), Jamesteohart s. 197 (samochód), Joggie Botma s. 123 (skok z samolotu), jules2000 s. 168 (atom), Juriah Mosin s. 95, Kamenetskiy Konstantin s. 60 (idąca dziewczyna), Kartinkin77 s. 8 (miarka), l i g h t p o e t s. 5, Marcel Jancovic s. 168 (łuk), MarcelClemens s. 141 (kometa Hale'a–Boppa), martan s. 8 (wirus), mathagraphics s. 8 (bakteria), Mauricio Graiki s. 62 (skok z samolotu), Max A Million Graphics s. 68 (samolot na lotnisku), Michael715 s. 212 (parowóz), MichaelTaylor s. 84 (Ziemia), Microgen s. 22 (pływaczka), Mino Surkala s. 78, monticello s. 84 (zegar), morrbyte s. 132, MOSCHEN s. 82, nico99 s. 60 (gekon), Nikonaft s. 85 (silnik samochodu), Nils Z s. 213 (karuzela), NV77 s. 195 (elektrociepłownia), Olena Yakobchuk s. 68 (pasażerka na lotnisku), paul prescott s. 100 (Ziemia i Księżyc), s. 164, Petr Vaclavek s. 100 (ślimak), Petr84 s. 143 (Uran), phive s. 171 (samolot), PHOTOCREO Michal Bednarek s. 64 (jazda rowerem), Photosmagoria s. 15 (zachód słońca), Pixachi s. 91 (serpentyny w górach), popovartem.com s. 85 (karuzela), priyanka ingale s. 194 (zegarek), Pro3DArtt s. 195 (skuter), puhhha s. 193 (sen), Razvan Stroie s. 107, Rift Solutions s. 184-185 (ikony motocyklowe), Ronnie Chua s. 72 (hokej), serato s. 44 (Szkoła Ateńska), Sergei Gonin s. 61 (koło samochodu), Shutterstock s. 140 (Saturn, Neptun), Shutya s. 185 (znak silnika), Silatip s. 36 (pocisk), Solarseven s. 195 (Słońce), Stefan Ataman s. 188 (crash test), Streetmetal s. 184-185 (motocykl), sumire8 s. 37 (brylant), Sunti s. 112, Svetlana Privezentseva s. 8-9 (Słońce), Syda Productions s. 174 (dziewczyna z książkami), Telsek s. 195 (samolot), TORWAISTUDIO s. 56, s. 64 (rower szosowy), Tudor Stanica s. 210 (samochód), tuulijumala s. 16 (stoper), Uroš Medved s. 91 (zakręt na autostradzie), Vadim Sadovski s. 142 (Wenus), s. 142-143 (wrzechświat), VanderWolf Images s. 75 (hamowanie samolotu), Vintage Tone s. 13 (wykres), Vitalii Nesterchuk s. 62 (kajak), Volodymyr Burdiak s. 179, withGod s. 75 (łożysko), Woloha s. 194 (żelazko), Y Photo Studio s. 174 (pudła), Yerbolat Shadrakhov s. 194-195 (farma wiatrowa), YJPTO s. 193, yousang s. 96 (samochód), zeljkodan s. 170 (łuk); **Thinkstock/Getty Images:** Hemera s. 137 (zaćmienie Słońca), s. 138 (Saturn), iStockphoto/Bobbushphoto s. 162, Photodisc - s. 142 (Merkury), Digital Vision s. 142 (Mars), Stockbyte - s. 87, Tom Brakefield s. 110 (kangur); **Marcin Braun:** s. 17; **Miłosz Budzyński:** s. 16 (dzban na wadze), s. 26, 35 (ślimak), s. 46 (doświadczenie), s. 53 (pudełka i monety), s. 54, 58 (pudełka), s. 59, 61 (kartki papieru), s. 65 (wózek), s. 66, 69, 77, 90 (kubeczek i moneta), s. 92, 94 (butelka na wadze), s. 124, 129 (siłomierz i pierścień), s. 133, 167, 180 (klocki), s. 181, 182; **Maciej Wróbel:** s. 90 (obrót piłeczką), s. 96 (piłeczka na sznurku), s. 131, 136, 147 (rysowanie elipsy); **Agnieszka Żak:** s. 20, 33, 42, 43 (kostka lodu), s. 57, 83, 175 (równia pochyła).

Rysunki: **Elżbieta Buczkowska**, **Zuzanna Dudzic**, **Paulina Podolska**, **Joanna Ptak**, **Ewa Sowulewska**: s. 8, 10, 23, 25, 27–29, 35, 36, 39, 41śr. 45g, 50g, 54, 55, 60, 63, 66, 69, 70 g, d, 71g, 88, 93, 97d, 98, 101, 102, 103, 106, 108, 113, 116, 119–121, 126, 127, 131, 135g, 137, 148, 150, 154, 155g, 156d, 157, 158, 170–173, 177, 184, 185, 189, 197śr, 209, 215, pozostałe **Andrzej Dukata.**

nowa era Twoje mocne strony

Odkryć fizykę

Podręcznik *Odkryć fizykę 1* do zakresu podstawowego zawiera przystępnie opracowane treści, począwszy od tematów związanych z ruchem, które zostały poprzedzone krótkim działem wprowadzającym. Naukę ułatwiają uczniom małe porcje wiedzy, przystępny język i wiele odniesień do życia codziennego. Przykłady, *Dodatki matematyczne*, *To najważniejsze* po każdej lekcji i blok powtórzeniowy po każdym dziale stanowią wsparcie w opanowaniu kolejnych zagadnień.



Różnorodne formy przekazu

Zróżnicowane formy przekazywania treści, takie jak infografiki, diagramy i ilustracje z opisami, ułatwiają zrozumienie i zapamiętanie kluczowych informacji.

Doświadczenia

Wszystkie doświadczenia, w tym obowiązkowe, są zilustrowane, rozpisane kroku po kroku, opatrzone wskazówkami i komentarzem, tak aby łatwiej było zrozumieć ich przebieg.



Fizyka bliska uczniowi

W podręczniku *Odkryć fizykę 1* do zakresu podstawowego szczególny nacisk położono na zainteresowanie ucznia przedmiotem i ułatwienie mu opanowania wiadomości i umiejętności z kolejno omawianych tematów. Przystępny wykład wsparty ciekawymi ilustracjami zawiera liczne przykłady znane uczniom z życia. *A to ciekawe* oraz *Z historii* to elementy będące interesującym dopełnieniem treści omawianych w kolejnych tematach.



Nowa Era Sp. z o.o.
www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 801 88 10 10, 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-3651-3