

Nowość
EDYCJA 2024

NOWE Odkryć fizykę

1 PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM
ZAKRES PODSTAWOWY

ZMIANY
W PODSTAWACH
2024



oznaczenia
usuniętych
treści

nowa
era

NOWE Odkryć fizykę

1 PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM
ZAKRES PODSTAWOWY

MARCIN BRAUN
WERONIKA ŚLIWA

NOWE 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 Marty Koplejewskiej, dr inż. Pauliny Sawickiej-Chudy, dr Izabeli Kraśnickiej.**

Zakres kształcenia: podstawowy

Etap edukacyjny: III

Typ szkoły: ponadpodstawowa (liceum ogólnokształcące i technikum)

Rok dopuszczenia: 2024

Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 1224/1/2024

Podręcznik został opracowany na podstawie *Programu nauczania fizyki w liceum ogólnokształcącym i technikum do zakresu podstawowego*. *NOWE 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.

Szanujemy cudzą własność i prawo. Więcej na www.legalnakultura.pl

Wykorzystywanie treści niniejszego Utworu, w jakiegokolwiek formie lub w jakimkolwiek procesie, do celów eksploracji tekstu i danych, uczenia maszynowego, rozwoju i/lub szkolenia i/lub wzbogacania sztucznej inteligencji jakiegokolwiek rodzaju jest surowo zabronione.



© Copyright by Nowa Era Sp. z o.o. 2024
ISBN 978-83-267-5011-3

Współpraca autorska: Bartłomiej Piotrowski (współautorstwo zadań)

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.

Nadzór artystyczny: Kaia Pichler. **Opieka graficzna:** Grażyna Truchlińska, Maciej Galiński.

Projekt graficzny: Klaudia Jarocka. **Projekt okładki:** Maciej Galiński. **Opracowanie graficzne:** Grażyna Truchlińska, Marcin Kołacz

Ilustratorzy: Joanna Ptak, Andrzej Dukata, Ewa Sowulewska, Zuzanna Dudzic, Ewa Kaletyn, Agata Knajdek, Krzysztof Mrawiński, Marta Długokęcka, Marek Nawrocki, Elżbieta Buczkowska, Rafał Buczkowski, Paulina Podolska

Infografiki: Małgorzata Burakowska – s. 22–23, 38–39, 156–157, Ewa Kaletyn – s. 76–77, 200–201, Marek Nawrocki – s. 134–135, Emilia Węgiel – s. 24, 26–27, 50–51, 105, 122, 131, 140–141, 158, 188–189, 206–207.

Realizacja projektu graficznego: Adam Pocziwek

Nowa Era Sp. z o.o.

Aleje Jerozolimskie 146 D, 02-305 Warszawa

www.nowaera.pl, e-mail: nowaera@nowaera.pl, tel. 58 721 48 00

Druk i oprawa: Quad/Graphics Europe Sp. z o.o.

Spis treści

O czym jest podręcznik 4

Przypomnij sobie

Kinematyka 5

Dynamika 9

Praca, moc, energia 13

Wprowadzenie

1. Czym zajmuje się fizyka 20

2. Doświadczenia i pomiary 28

▶ 1. Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

3. Siły. Trzecia zasada dynamiki 36

4. Siła wypadkowa 42

5. Opis ruchu prostoliniowego 48

6. Pierwsza zasada dynamiki 54

7. Ruch jednostajnie zmienny 60

8. Druga zasada dynamiki 67

9. Opory ruchu 72

10. Siły bezwładności 79

Projekt. Sfilmuj i zbadaj 84

Powtórzenie 86

Zadania powtórzeniowe 90

Analiza tekstu. Co to jest żagiel słoneczny . . 93

▶ 2. Ruch po okręgu i grawitacja

11. Ruch po okręgu 96

12. Siła dośrodkowa 101

13. Wartość siły dośrodkowej 107

14. Grawitacja 112

15. Siła grawitacji jako siła dośrodkowa . . . 120

Temat dodatkowy. Amatorskie obserwacje astronomiczne 125

Klasa 2

4. Elektrostatyka

5. Prąd elektryczny

6. Magnetyzm

16. Ruch satelitów 130

17. Ciężar i nieważkość 138

18. Księżyc – towarzysz Ziemi 147

19. Układ Słoneczny 153

Temat dodatkowy. Prawa Keplera 161

Powtórzenie 169

Zadania powtórzeniowe 173

Projekt. Satelity 177

Analiza tekstu. Nieoceniony towarzysz . . . 178

▶ 3. Praca, moc, energia

20. Praca i energia 182

21. Energia mechaniczna 191

22. Zasada zachowania energii 197

23. Moc 203

Powtórzenie 210

Zadania powtórzeniowe 212

Projekt. Pożywienie to też energia 214

Analiza tekstu. Natura przyszła nam z pomocą 215

▶ Zbiór zadań

Wprowadzenie 218

Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego . . . 219

Ruch po okręgu i grawitacja 227

Praca, moc, energia 235

Dodatki matematyczne 238

Tabele 246

Indeks 248

Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań 249

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.

$$F_g = mg$$

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.

A to ciekawe Z historii

Dzięki ciekawostkom i infografikom historycznym poznasz interesujące fakty związane z lekcją.

Przypomnij sobie

Ten element pomoże ci powtórzyć treści znane ci ze szkoły podstawowej i poprzednich lekcji.

Dodatki matematyczne

Dodatki matematyczne na końcu podręcznika pomogą ci opanować lub przypomnieć sobie umiejętności i wiadomości z matematyki, niezbędne do rozwiązywania zadań z fizyki.

Doświadczenie

Doświadczenie obowiązkowe

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

Powtórzenie

Na tych stronach znajdziesz najważniejsze wiadomości z danego działu.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

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

Pytania i zadania

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

Przykład

Przykłady umożliwią ci prześledzenie toku rozumowania podczas rozwiązywania zadań.

P1

Zadanie analogiczne do przykładu 1.

i

Zadanie wykorzystujące informacje z infografiki.



Do poszukiwania danych lub filmowania przebiegu doświadczenia potrzebny będzie telefon.



Do opracowania wyników pomiarów potrzebny będzie komputer.

Po co uczyć się fizyki?

Dlaczego Księżyc nie spada na Ziemię?

Czy w windzie nasza masa się zmienia?

KINEMATYKA

1. Względność ruchu

Ruch polega na zmianie położenia ciała. Ruch jest **względny** – zawsze trzeba ustalić, względem jakiego ciała go rozpatrujemy.

► Samolot widoczny za oknem jadącego pociągu porusza się względem ziemi i względem pociągu. Siedzący w pociągu pasażer porusza się względem ziemi i samolotu, ale nie porusza się względem pociągu.

Mówimy, że ruch ciała określamy względem wybranego **układu odniesienia**.



2. Droga a tor ruchu

Droga to długość odcinka toru, czyli linii, wzdłuż której ciało się porusza. Jednostką drogi w międzynarodowym układzie jednostek SI (układzie SI) jest **metr** (m). Drogi przebytej przez ciało nie należy mylić z odległością między początkowym i końcowym położeniem ciała.

Droga jest równa odległości tylko wtedy, gdy ciało porusza się po linii prostej i nie zwraca.

► Trasy samochodów jadących z Krakowa do Gdańska. Odległość w linii prostej jest znacznie krótsza



3. Symbol Δ (delta) w fizyce

Symbol delta Δ w fizyce oznacza zmianę. Gdy chcemy pokazać zmianę (przyrost lub ubytek) danej wielkości fizycznej, umieszczamy Δ przed symbolem tej wielkości.

Na przykład, jeśli samochód porusza się początkowo z prędkością $v_1 = 10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a potem **rozpędza** do prędkości $v_2 = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, to przyrost prędkości wynosi:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 10 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

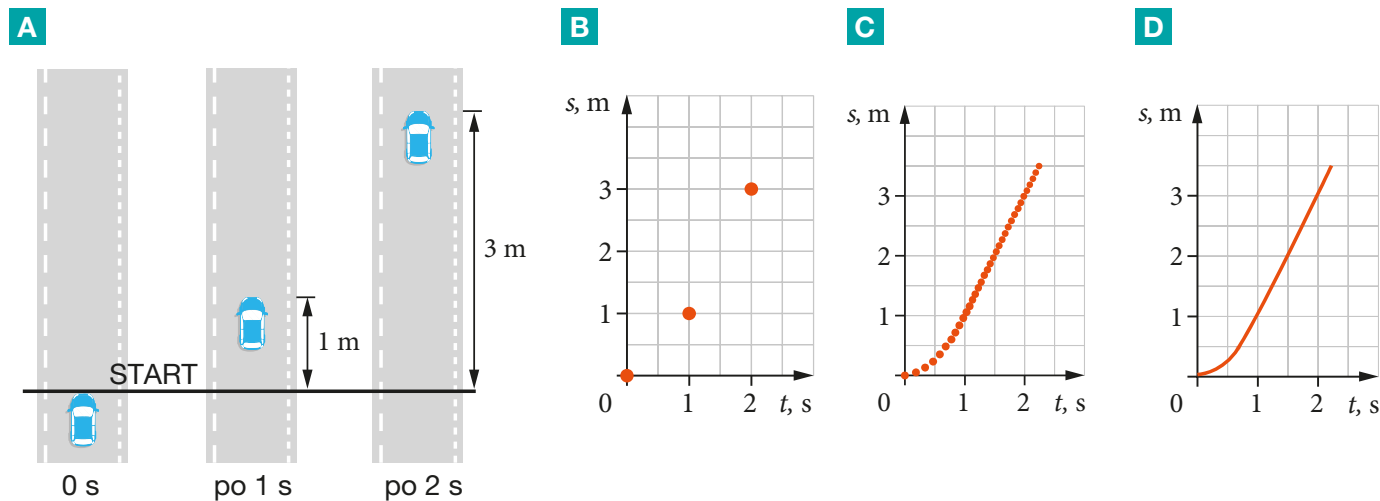
Jeśli natomiast samochód **zwolnił** od $v_1 = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do prędkości $v_2 = 10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, to:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 10 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} = -30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Przyrost dodatni – wielkość wzrosła, **przyrost ujemny** – wielkość zmalała, **przyrost zerowy** – wielkość się nie zmieniła.



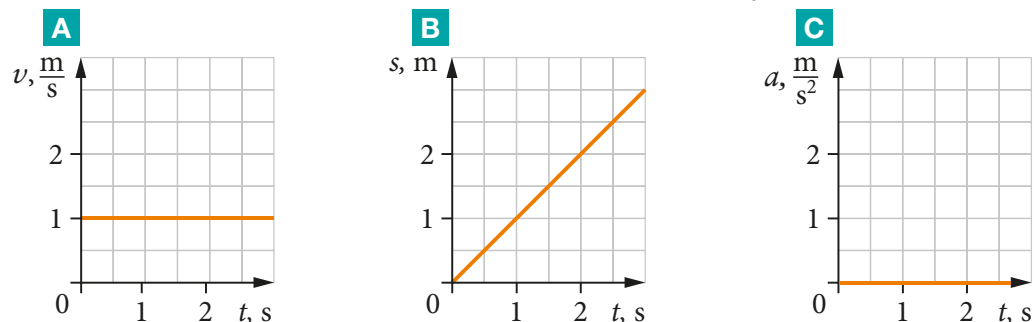
4. Jak powstaje wykres



► **A** Położenie samochodu w kolejnych sekundach ruchu, **B** dane z rysunku A przeniesione na układ współrzędnych, **C** zagęszczone punkty pomiarowe, **D** gdy połączymy punkty linią, otrzymamy wykres zależności drogi od czasu

5. Ruch jednostajny prostoliniowy

W ruchu jednostajnym prostoliniowym torem jest linia prosta, a prędkość ma stałą wartość (rys. A). Wykresem zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym jest linia prosta przechodząca przez początek układu współrzędnych (rys. B). Przyspieszenie w ruchu jednostajnym prostoliniowym ma wartość równą $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ (rys. C).



6. Prędkość w ruchu jednostajnym prostoliniowym

Aby wyznaczyć wartość prędkości w ruchu jednostajnym prostoliniowym, należy drogę przebytą przez ciało podzielić przez czas jego ruchu.

$$\text{prędkość} = \frac{\text{droga przebyta przez ciało}}{\text{czas, w jakim ta droga została przebyta}} \quad v = \frac{s}{t}$$

Wartość prędkości określa, jaką drogę przebywa ciało w jednostce czasu.

Symbol prędkości to v – od ang. *velocity*. Prędkość w ruchu jednostajnym prostoliniowym nie zmienia się w czasie. To znaczy, że ciało nie przyspiesza ani nie zwalnia.

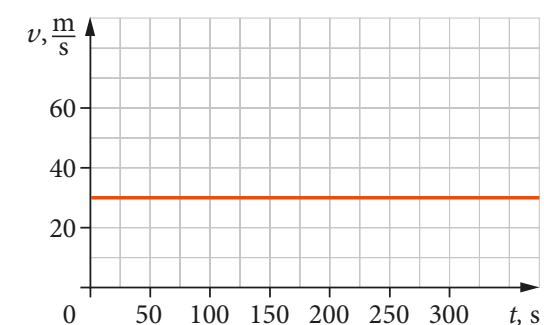
Przykład 1

Obliczanie drogi w ruchu jednostajnym

Na wykresie przedstawiono zależność prędkości pewnego pociągu od czasu. Oblicz, jaką drogę przebędzie ten pociąg w czasie $t = 2$ minuty.

Rozwiązanie:

Wykres przedstawia zależność prędkości (a nie drogi!) od czasu. Wiemy z niego, że prędkość jest stała i wynosi $v = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

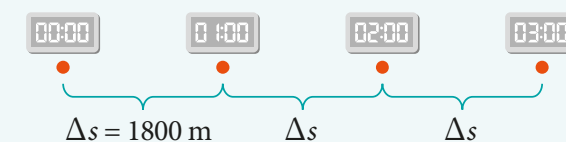


Zanim zaczniesz korzystać z wykresu, zwróć uwagę, jaką zależność on ilustruje, czyli jakie wielkości przedstawiono na osiach i jakie są ich jednostki.

Aby obliczyć drogę przebytą przez ten pociąg w czasie $t = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$, przekształcamy wzór $v = \frac{s}{t}$ do postaci:

$$s = vt$$

Z tego wzoru wynika, że w ruchu jednostajnym droga jest proporcjonalna (patrz → **Dodatek matematyczny 11**, s. 242) do czasu – w jednakowych odstępach czasu jest pokonywana taka sama droga (na rysunku 1800 m w ciągu 1 min).



Podstawiamy do wzoru wartości liczbowe i otrzymujemy:

$$s = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 120 \text{ s} = 3600 \text{ m}$$

Odpowiedź: Pociąg przebędzie drogę 3600 m.

7. Prędkość średnia i prędkość chwilowa

Jeśli wartość prędkości ciała zmienia się podczas trwania jego ruchu, to możemy posłużyć się pojęciami średniej wartości prędkości i prędkości chwilowej.

- Aby obliczyć **średnią wartość prędkości**, należy podzielić całkowitą drogę przebytą przez ciało przez całkowity czas ruchu.

$$\text{średnia wartość prędkości} = \frac{\text{całkowita droga}}{\text{czas jej przebycia}} \quad v = \frac{s_c}{t_c}$$

Średnia wartość prędkości informuje nas o tym, z jaką prędkością powinno poruszać się ciało ruchem jednostajnym, aby daną drogę przebyć w tym samym czasie.

- Prędkość chwilowa** to prędkość ciała w danej chwili (wskazuje ją na przykład prędkościomierz w samochodzie). Może znacząco różnić się od prędkości średniej.



8. Przyspieszenie

Przyspieszenie to wielkość fizyczna określająca, o jaką wartość zmienia się (rośnie lub maleje) prędkość danego ciała w jednostce czasu. Aby obliczyć przyspieszenie, należy zmianę prędkości podzielić przez czas, w jakim ta zmiana nastąpiła.

$$\text{przyspieszenie} = \frac{\text{zmiana prędkości}}{\text{czas, w jakim ta zmiana nastąpiła}} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Przyspieszenie określa, jak szybko zmienia się wartość prędkości.

Symbol przyspieszenia to a – od ang. *acceleration*.

9. Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony

Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony to taki ruch, którego **torem jest linia prosta**, a przyspieszenie się nie zmienia.

Przykład 2

■ Obliczanie przyspieszenia

Samochód elektryczny rozpędzał się ze stałym przyspieszeniem. W czasie 5 s zwiększył swoją prędkość od $v_1 = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $v_2 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz przyspieszenie, z jakim się poruszał.

Rozwiązanie:

Przyspieszenie obliczamy, dzieląc przyrost prędkości przez czas rozpędzania, czyli zgodnie ze wzorem:

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

Obliczmy więc najpierw przyrost prędkości:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Przeliczamy prędkość na $\frac{\text{m}}{\text{s}}$:

$$\Delta v = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{50\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \approx 13,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Teraz możemy obliczyć przyspieszenie:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{13,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = 2,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Przyspieszenie, z jakim poruszał się samochód, ma wartość $2,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



Pamiętaj o zamianie jednostek wielkości fizycznych. Zwykle najwygodniej (a zawsze najbezpieczniej) zamienić je na jednostki układu SI.

DYNAMIKA



10. Siła – oznaczenie i pomiar

Siła to miara oddziaływania między ciałami.

Siłę oznaczamy symbolem F – od ang. *force*.

Jednostką siły jest **niuton**:

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

Aby zmierzyć siłę, można wykorzystać przyrząd zwany **siłomierzem** (patrz zdjęcie). To proste urządzenie ze sprężyną, która rozciąga się pod wpływem przyłożonej siły. Na siłomierzu znajduje się podziałka ze skalą wyrażoną w niutonach.



11. Siła jako wielkość wektorowa

Do opisu siły nie wystarczy jej wartość w niutonach. Ważne jest również, gdzie ta siła jest przyłożona i w którą stronę działa. Siłę $\vec{F}$ charakteryzują więc **cztery cechy**:

- 1) wartość,
- 2) kierunek,
- 3) zwrot,
- 4) punkt przyłożenia.

Wielkości fizyczne, które mają wszystkie te cechy, nazywamy **wielkościami wektorowymi** (w skrócie wektorami).

Strzałka nad symbolem $\vec{F}$ oznacza, że jest to wielkość wektorowa. Symbol F (bez strzałki) informuje jedynie o wartości siły.

Masa m , czas t , gęstość d , droga s to **wielkości skalarne**. Mają one tylko wartość.

12. Siła ciężkości

Siła, jaką Ziemia przyciąga ciało, to siła ciężkości:

$$\text{siła ciężkości} = \text{masa ciała} \cdot \text{przyspieszenie ziemskie} \quad F_g = m \cdot g$$

Wszystkie ciała spadające swobodnie (bez oporu powietrza) poruszają się z jednakowym przyspieszeniem, zwanym **przyspieszeniem ziemskim**:

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

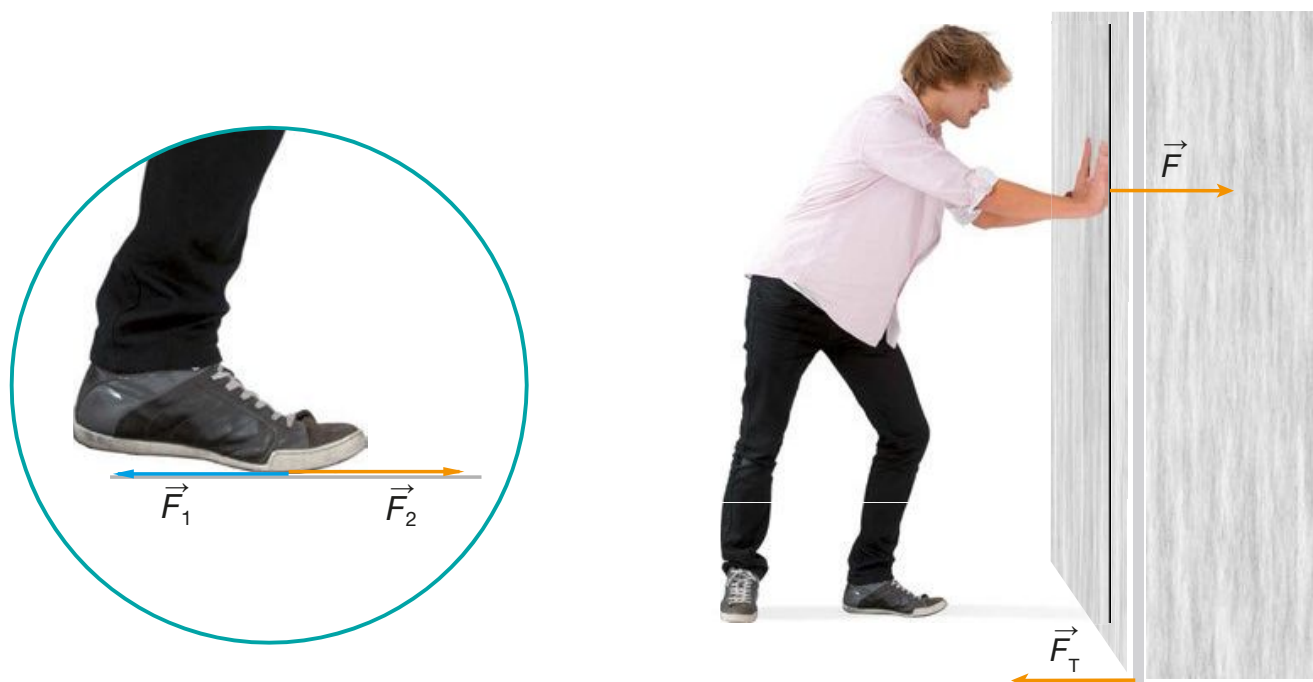
Czas swobodnego spadania zależy od wysokości, z jakiej spada ciało. Nie zależy natomiast od masy ani kształtu ciała.





13. Siła tarcia

Siła tarcia zależy od siły nacisku oraz rodzaju stykających się powierzchni i jest mniejsza przy toczeniu niż przy przesuwaniu. Dzięki sile tarcia możemy nie tylko zatrzymywać, lecz także rozpędzać ciała.



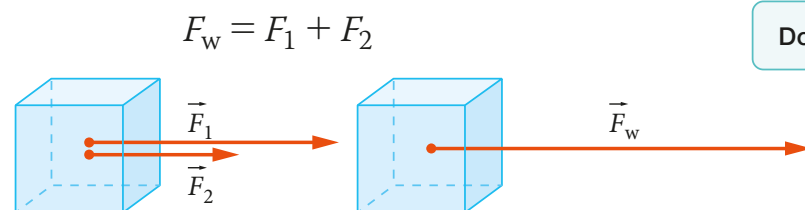
► Gdy odpychasz ziemię siłą $\vec{F}_1$, ziemia działa na nogę siłą $\vec{F}_2$. Obie siły to siły tarcia między butem a podłożem

► Człowiek, który próbuje przesunąć szafę, działa na nią siłą $\vec{F}$. Na szafę działa też siła tarcia $\vec{F}_T$

14. Siła wypadkowa

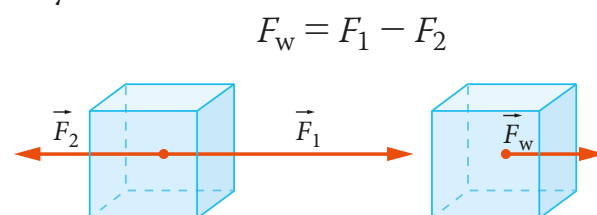
Jeśli na ciało działa kilka sił, można je zastąpić jedną siłą, której skutek działania jest taki sam jak wszystkich tych sił razem. Taką siłę nazywamy **siłą wypadkową**. Jeżeli mamy dwie siły, które mają ten sam kierunek, to wartość siły wypadkowej obliczamy w zależności od zwrotów tych sił.

1) Te same zwroty



Dodatek mat. 1 → s. 238

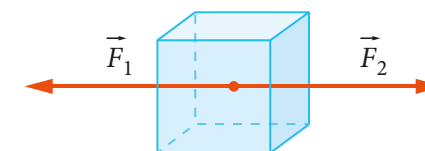
2) Przeciwnie zwroty



15. Siły równoważące się

- Jeżeli dwie siły działające na ciało mają ten sam kierunek, taką samą wartość i przeciwne zwroty, to ich siła wypadkowa jest równa 0 N. Mówimy wtedy, że siły się równoważą.

$$F_w = F_1 - F_2 = 0$$



16. Pierwsza zasada dynamiki

- Jeśli siła wypadkowa działająca na ciało jest równa zero, to ciało pozostaje w spoczynku albo porusza się ze stałą prędkością po linii prostej.
- Pierwszą zasadę dynamiki nazywamy też **zasadą bezwładności**.



► Samochód porusza się ze stałą prędkością, ponieważ działające na niego siły się równoważą.

17. Siły nierównoważące się

- Gdy siły działające na ciało się nie równoważą (czyli wypadkowa sił działających na ciało jest różna od zera), ciało porusza się **ruchem zmiennym**.
- Jeśli siła działa na ciało zgodnie z kierunkiem i zwrotem wektora prędkości, to porusza się ono **ruchem przyspieszonym** (rozpędza się).
- Jeśli siła działa przeciwnie do zwrotu wektora prędkości, to ciało porusza się **ruchem opóźnionym** (hamuje).

18. Druga zasada dynamiki

- Przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do siły działającej na ciało i odwrotnie proporcjonalne do masy ciała. Tę zależność można opisać wzorem:

$$\text{przyspieszenie} = \frac{\text{siła wypadkowa}}{\text{masa ciała}} \quad a = \frac{F}{m}$$

Jeśli nie pamiętasz, na czym polegają proporcjonalność prosta i proporcjonalność odwrotna – patrz → **Dodatek matematyczny 11 i 12**, s. 243 i 244.

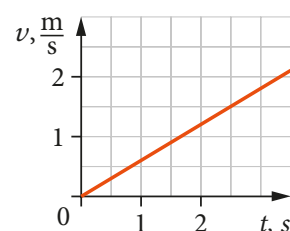
- Oznacza to, że jeśli podwoimy wartość siły działającej na ciało, to uzyska ono dwukrotnie większe przyspieszenie.
- Jeśli przy stałej wartości siły zamienimy ciało na inne, o dwa razy większej masie, uzyska ono dwa razy mniejsze przyspieszenie (będzie przyspieszać lub hamować dwukrotnie wolniej).



Przykład 3

■ Obliczanie siły na podstawie drugiej zasady dynamiki

Obciążony wózek sklepowy poruszał się z pewnym przyspieszeniem pod wpływem pewnej siły wypadkowej. Wykres zależności prędkości wózka od czasu przedstawiono poniżej. Masa obciążonego wózka to $m = 20 \text{ kg}$. Oblicz wartość siły wypadkowej, jaka powodowała jego przyspieszenie.



Sposób rozwiązania zadania możesz wymyślić „od końca”: najpierw pomyśl, czego potrzebujesz, a potem – jak to obliczyć.

Rozwiązanie:

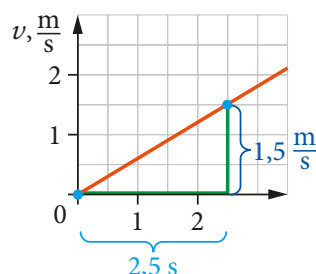
Znamy masę działającą na wózek, a mamy obliczyć siłę wypadkową. Te dwie wielkości występują we wzorze opisującym drugą zasadę dynamiki:

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

Jeśli więc obliczymy najpierw przyspieszenie, będziemy mogli wyznaczyć siłę:

$$F = ma$$

Aby obliczyć przyspieszenie, znajdziemy dowolne dwa punkty leżące na kratkach na wykresie. Niech będą to punkty $(0 \text{ s}; 0 \frac{\text{m}}{\text{s}})$ oraz $(2,5 \text{ s}; 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}})$ zaznaczone na rysunku poniżej.



Tak więc w czasie $\Delta t = 2,5 \text{ s} - 0 \text{ s} = 2,5 \text{ s}$ ciało zwiększyło prędkość o:

$$\Delta v = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Z rysunku możemy też bezpośrednio odczytać, że w czasie $\Delta t = 2,5 \text{ s}$ ciało rozpędziło się o $\Delta v = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Stąd przyspieszenie wynosi:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,5 \text{ s}} = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Podstawiamy je do wzoru na siłę:

$$F = 20 \text{ kg} \cdot 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 12 \text{ N}$$

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

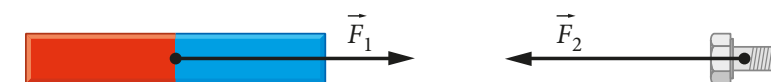
Odpowiedź: Wartość siły wypadkowej wynosi 12 N.



19. Trzecia zasada dynamiki

Jeżeli ciało A działa siłą na ciało B, to jednocześnie ciało B oddziałuje na ciało A siłą równą co do wartości i o tym samym kierunku, ale przeciwnym zwrocie.

- Jeśli magnes przyciąga śrubę, to śruba przyciąga magnes siłą o tej samej wartości i takim samym kierunku, ale przeciwnym zwrocie. Pod wpływem tych dwóch sił poruszyć się mogą zarówno śruba, jak i magnes.



- Skoro Słońce przyciąga Ziemię, to Ziemia również przyciąga Słońce. Jednak z powodu olbrzymiej masy Słońca jego ruch jest niezauważalny.
- Trzecią zasadę dynamiki można zaobserwować podczas zjawiska **odrztutu**, czyli np. w silnikach rakietowych.

- ▶ Wirnik helikoptera pcha powietrze w dół, a powietrze pcha helikopter w górę



PRACA, MOC, ENERGIA

20. Praca

Z pracą mamy do czynienia wtedy, gdy siła powoduje przemieszczenie ciała.

W najprostszym przypadku, kiedy siła jest stała i działa w tę samą stronę, w którą porusza się ciało, pracę obliczamy, mnożąc wartość siły F przez drogę s .



$$\text{praca} = \text{siła} \cdot \text{droga}$$

$$W = F \cdot s$$

Jednostką pracy jest **dżul**.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$



21. Moc

Moc to iloraz pracy i czasu, w jakim ta praca została wykonana. Zatem moc opisuje, jak szybko została wykonana praca.

$$\text{moc} = \frac{\text{praca}}{\text{czas}} \quad P = \frac{W}{t}$$

Jednostką mocy jest **wat** (1 W).

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Jeśli urządzenie dostarcza 1200 J energii w czasie 10 sekund, to oznacza, że jego moc wynosi $P = \frac{1200 \text{ J}}{10 \text{ s}} = 120 \text{ W}$, czyli urządzenie w ciągu każdej sekundy wykonuje pracę równą 120 J.



▲ Konie mogą wykonać taką samą pracę jak traktor, ale w dłuższym czasie

Przykład 4

■ Obliczanie czasu wykonania pracy

Silnik elektryczny pobiera z sieci elektrycznej moc 2000 W i 90% z niej zamienia w pracę użyteczną. W jakim czasie wykona pracę 36 000 J?

Sposób 1.

W ciągu 1 s silnik pobiera z sieci elektrycznej energię $E_e = 2000 \text{ J}$. W użyteczną pracę zamienia $E = 0,9 \cdot 2000 \text{ J} = 1800 \text{ J}$.

Zatem pracę większą $\frac{36\,000}{1800} = 20$ razy wykona w czasie 20 razy dłuższym niż 1 s, czyli w czasie 20 s.

Sposób 2.

Przekształcamy wzór $P = \frac{W}{t}$ do postaci:

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

Podstawiamy do niego wartości $W = 36\,000 \text{ J}$ oraz $P = 0,9 \cdot 2000 \text{ W} = 1800 \text{ W}$:

$$t = \frac{36\,000 \text{ J}}{1800 \text{ W}} = 20 \text{ s} \quad [t] = \frac{\text{J}}{\text{W}} = \frac{\text{J}}{\frac{\text{J}}{\text{s}}} = \text{s}$$

Dodatek mat. 9 → s. 242

Odpowiedź: Silnik wykona tę pracę w czasie 20 s.



22. Energia

Energia to wielkość określająca **zdolność do wykonania pracy**. Energia ciała może zostać zmieniona na skutek wykonania pracy.

- Kiedy przez ciało zostaje wykonana praca, zmniejsza ono swoją energię. Ta energia jest przekazywana innemu ciału lub otoczeniu.
- Kiedy nad ciałem zostaje wykonana praca (przez siły zewnętrzne), zwiększa ono swoją energię (a inne ciało jednocześnie tę energię traci).

Kiedy wykonujemy nad ciałem pracę 1 J, przekazujemy mu energię 1 J. Na przykład, jeśli rozpędzimy ciało i w tym celu wykonamy pracę 8 J, to stracimy na to energię 8 J, a ciało zyska energię 8 J.

Przyrost energii ciała jest równy pracy wykonanej nad tym ciałem, co można zapisać:

$$\text{wykonana praca} = \text{przyrost (zmiana) energii} \quad W = \Delta E$$

Jednostką energii jest **dżul**, czyli jednostka pracy.

23. Formy energii

Energia może występować w różnych formach, takich jak:

- **energia potencjalna ciężkości (gravitacji)** – gdy podnosimy ciało o masie m na wysokość h , uzyskuje ono energię potencjalną:

$$\text{energia potencjalna grawitacji} = \text{masa} \cdot \text{przyspieszenie ziemskie} \cdot \text{wysokość} \quad E_p = mgh$$



▲ Aby zwiększyć swoją energię potencjalną, wspinacz musi wykonać pracę



▲ Dzięki turbinom wiatrowym możemy zamienić energię kinetyczną powietrza w energię elektryczną

- **energia kinetyczna** – jeżeli ciała o masie m nadajemy prędkość v , to zyskuje ono energię kinetyczną:

$$\text{energia kinetyczna} = \frac{1}{2} \text{ masa} \cdot \text{prędkość}^2 \quad E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

- **energia wewnętrzna** to energia ruchu cząsteczek ciała i oddziaływań między nimi. Inne formy to m.in. **energia elektryczna, chemiczna, jądrowa, energia promieniowania**.



24. Zasada zachowania energii

Energia nie powstaje z niczego i nie znika, może wyłącznie zmieniać formę.

- Kiedy mówimy, że elektrownia węglowa produkuje energię elektryczną, posługujemy się skrótem myślowym. Elektrownia nie wytwarza jej z niczego, ale zamienia energię chemiczną węgla w energię elektryczną.
- Z kolei gdy mówimy, że czajnik elektryczny zużywa energię elektryczną, to nie oznacza, że energia znika, ale że zmienia się w energię wewnętrzną wody.
- Lampa świeci (wytwarza energię promieniowania) dzięki dostarczonej energii elektrycznej.



Zasada zachowania energii jest najważniejszym prawem przyrody, będziesz z niej wielokrotnie korzystać podczas rozwiązywania zadań.

Przykład 5

■ Obliczanie zmian energii potencjalnej i kinetycznej

Jabłko o masie 15 dag spadło z wysokości 5 m. Jak zmieniła się jego energia potencjalna, a jak kinetyczna pomiędzy początkiem spadania a chwilą tuż przed uderzeniem w ziemię? Pomiń opór powietrza.

Rozwiązanie:

Najpierw pomyśl o przemianach energii, a dopiero potem o potrzebnych wzorach. W tym zadaniu nie potrzebujesz wzoru na E_k .

Energia potencjalna jest tym większa, im wyżej znajduje się ciało. Tak więc energia potencjalna spadającego jabłka się zmniejszyła. Aby obliczyć, o ile, skorzystamy ze wzoru:

$$\Delta E_p = mgh$$

$$\Delta E_p = 0,15 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \text{ m} = 7,5 \text{ J}$$

$$[\Delta E_p] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

Co się stało z energią 7,5 J? Pomijamy opór powietrza, więc w całości zmieniła się w energię kinetyczną. Tak więc energia kinetyczna jabłka zwiększyła się o 7,5 J.

$$\Delta E_k = 7,5 \text{ J}$$

Odpowiedź: Energia potencjalna zmniejszyła się o 7,5 J, a energia kinetyczna zwiększyła się o 7,5 J.

Przykład 6

■ Obliczanie pracy potrzebnej do rozpędzenia ciała

Jaką pracę trzeba wykonać, aby rozpędzić samochód o całkowitej masie 1600 kg od stanu spoczynku do prędkości $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$? Pomiń straty energii.

Rozwiązanie:

Skoro pomijamy straty energii, to zakładamy, że cała wykonana praca zostaje zamieniona w energię kinetyczną samochodu.

Obliczmy, jaką energię kinetyczną ma samochód o podanej masie i prędkości:

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

Podstawiamy dane, wykonujemy obliczenia i wyznaczamy jednostkę:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 1600 \text{ kg} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 320\,000 \text{ J} = 320 \text{ kJ}$$

$$[E_k] = \text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

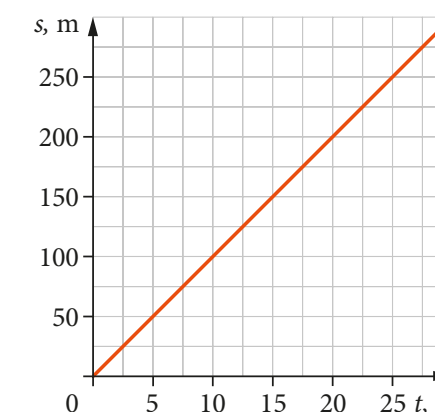
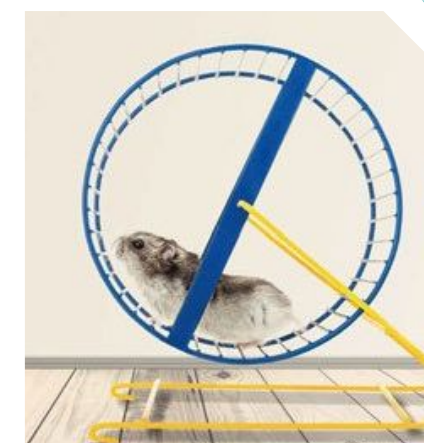
Odpowiedź: Aby rozpędzić samochód, trzeba wykonać pracę 320 kJ.

Uwaga. Do tego samego wniosku dojdziemy na podstawie wzoru $W = Fs$, ale obliczenia będą wtedy trudniejsze.

Sprawdź się

Uwaga. Rozwiązania i odpowiedzi zapisz w zeszycie

1. Chomik biega w kołowrotku, jednak stale znajduje się w tym samym miejscu. Jak więc odpowiedzieć na pytanie, czy się porusza?
2. Pociąg jadący ze stałą prędkością przebył 100 km w czasie 1 h 20 min. Oblicz jego prędkość w tym ruchu.
3. Słoń może biec z prędkością $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz, w jakim czasie przebiegnie z taką prędkością drogę 500 m.
4. Wykres zamieszczony obok przedstawia zależność drogi od czasu dla pewnego ciała. Oblicz:
 - a) **P1** jaką drogę przebędzie ono w czasie 1 minuty,
 - b) ile czasu zajmie mu przebycie drogi 200 m.
5. **P2** Pewien samochód rozpędza się do prędkości $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, czyli $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, w czasie 10 s. Oblicz jego przyspieszenie podczas rozpędzania.





6. Na krótkim odcinku gepard może osiągnąć prędkość $110 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Przelicz tę wielkość na metry na sekundę.

7. Na Księżycu grawitacja jest słabsza niż na Ziemi – przedmioty spadają z przyspieszeniem ok. 6 razy mniejszym niż na naszej planecie.

Oblicz, do jakiej prędkości w czasie 8 s rozpędzi się kamień spadający na Ziemi, a do jakiej – na Księżycu.

8. **P3** Pudełko popchnięto po podłodze z prędkością $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, ale zatrzymało się ono po czasie 4 s. Siła tarcia, która je zatrzymała, miała wartość 20 N. Oblicz masę pudełka.

9. Samochód jedzie po prostej poziomej drodze. Pokonuje przy tym opory ruchu o łącznej wartości 400 N. Jaką pracę musi wykonać silnik, aby ten samochód przejechał 1 km?

10. Jaką moc ma żarówka, która w ciągu minuty pobiera z sieci elektrycznej energię 600 J?

11. **P4** W jakim czasie silnik o mocy 2000 W wykona pracę 100 000 J? Pomiń straty energii.

12. Wojtek podnosi z podłogi torbę o masie 5 kg i stawia ją na półkę znajdującą się 150 cm nad podłogą.

a) Jaką energię potencjalną zyskuje torba?

b) Jaką pracę wykonuje Wojtek?

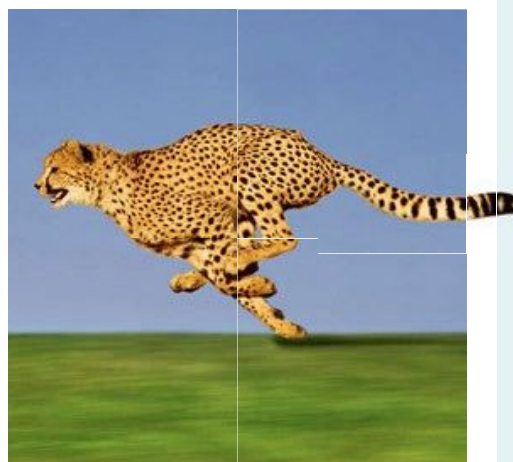
13. **P5** Piłka o masie 400 g została podrzucona pionowo w górę.

a) Czy większą energię potencjalną miała na wysokości 3 m czy na wysokości 5 m? O ile większą?

b) Czy większą energię kinetyczną miała na wysokości 3 m czy na wysokości 5 m? O ile większą?

14. **P6** Rowerzysta ma masę 70 kg, a jego rower ma masę 12 kg. Jaką pracę wykonał rowerzysta, aby rozpędzić się do prędkości $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$?

15. Oblicz energię kinetyczną samochodu o masie 2000 kg jadącego z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.



Wprowadzenie

Jakie są najmniejsze, a jakie – największe obiekty, które bada fizyka? Po co wiedza z fizyki lekarzowi, a po co – archeologowi?



1 Czym się zajmuje fizyka

Z czarnej dziury nie może uciec nawet światło.
W jaki więc sposób możemy obserwować takie obiekty?

Cele lekcji:

- Uzyskasz odpowiedź na pytanie, czym zajmują się fizycy.
- 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, jednak bardziej wnikliwie, niż czynimy to na co dzień. Początkowo badania fizyczne prowadzono z czystej ciekawości i do dzisiaj zainteresowanie światem jest główną motywacją uczonych. Ono także przyciąga wiele osób do centrów nauki, gdzie można wykonywać doświadczenia fizyczne, a także sprawia, że książki popularnonaukowe stają się bestsellerami.

■ Z ciekawości i dla pożytku

Ludzie bardzo szybko się przekonali, że fizyka może być nie tylko interesująca, 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** (Global Positioning System – globalny system lokalizacji) 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.

Mniej oczywiste jest wykorzystanie fizyki w biologii. Tymczasem ta dziedzina zajmuje się np. badaniem funkcjonowania mózgu, inżynierią genetyczną czy budowaniem nanorobotów naprawiających organizm od wewnątrz. Wszyscy studenci biologii uczą się fizyki, a coraz więcej fizyków prowadzi badania wspólnie z biologami. O niektórych zagadnieniach, którymi zajmują się fizycy, przeczytasz na s. 24.

■ Fizyka i astronomia

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. Można w nim obserwować zjawiska niemożliwe do badania na Ziemi, np. zachodzące w pobliżu ciał o ogromnej masie albo w niezwykle wysokich temperaturach. W szkole średniej astronomią będziemy zajmować się na lekcjach fizyki.

■ Rok świetlny

Gdy określamy odległości w kosmosie, przydatną jednostką jest **rok świetlny**.

Jeden rok świetlny to odległość, jaką światło przebywa w ciągu roku.

Ta odległość to 9461 mld km (prawie 10 bln km). Światło może ją przebyć w ciągu roku, ponieważ porusza się z prędkością około $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ (ok. $1 \text{ mld } \frac{\text{km}}{\text{h}}$). Od najjaśniejszej gwiazdy widocznej w Polsce, Syriusza, dzieli nas odległość niemal 9 lat świetlnych.

■ 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 (patrz infografika na s. 22–23). Na lekcjach fizyki będziemy się zajmować zarówno najmniejszymi cząstkami, np. w jądrze atomowym, jak i galaktykami, a nawet całym Wszechświatem. Zaczniemy od badania prostych zjawisk, widocznych gołym okiem.



▲ Dzięki elektroencefalografii (EEG) można nie tylko diagnozować choroby. Fizycy pracują nad wykorzystaniem badania fal mózgowych w wybudzaniu dzieci ze snu.



▲ Zaćmienia Słońca pozwalają astrofizykom badać koronę słoneczną, biologom – cykle dobowe fauny, a historykom pomagają lepiej zrozumieć dawne cywilizacje.

Z bliska...

Przedmiotem zainteresowań fizyków jest nie tylko cała przyroda, którą możemy na co dzień obserwować wokół siebie. Badają także obiekty niedostrzegalne gołym okiem. Aby poznawać ich budowę i właściwości fizyczne, muszą posługiwać się bardzo skomplikowanymi przyrządami.

Diamant

Przykładowa wielkość: 3 mm

Diamant jest najtwardszym minerałem na świecie i lepszym przewodnikiem ciepłym niż wszystkie metale. Światło porusza się w nim znacznie wolniej niż w większości znanych substancji. Oszlifowany, staje się brylantem i najdroższym kamieniem szlachetnym.

Bakteria

Długość: 1 μm

Fizyka bada także właściwości przyrody ożywionej. Poznanie struktury cząsteczkowej substancji przydaje się nie tylko w tej dziedzinie, lecz także wpływa na rozwój biologii, medycyny, chemii i innych nauk.

Atom

Średnica: 10^{-10} m

Mimo że stanowi podstawowy składnik materii, jest strukturą bardzo skomplikowaną. Do występujących w nim oddziaływań musimy zastosować dokładniejsze prawa fizyki niż do zjawisk znanych nam z życia codziennego.

Jądro atomu

Średnica: 10^{-15} m

Zajmuje bardzo niewielką część objętości atomu, a jednak stanowi prawie całą jego masę. Fizyka zajmuje się również badaniem cząstek znacznie mniejszych od jądra atomowego.

... i z daleka

Nasza ciekawość nie ogranicza się tylko do naszego najbliższego otoczenia, czy też przyrody w mikroskali. Fizycy i astronomowie chcą poznawać również obiekty o rozmiarach tak dużych, że wymykają się one ludzkiej wyobraźni.

Droga Mleczna

Średnica: 950 bld km

Nasza galaktyka, Droga Mleczna, ma średnicę ponad 100 000 lat świetlnych (1 rok świetlny to ok. 9,5 bld km) i zawiera miliardy gwiazd. A jest tylko jedną z miliardów galaktyk we Wszechświecie.

Proxima Centauri

Odległość od Ziemi 40 bld km

Najbliższa gwiazda (poza Słońcem) jest oddalona od nas o 4,24 roku świetlnego (40 bld km). Oddziałuje grawitacyjnie z gwiazdami Alfa Centauri i Beta Centauri – wraz z nimi tworzy układ potrójny o średnicy $4 \cdot 10^{12}$ km (4 bld km). Dziś wiemy też, że okrążają ją co najmniej dwie planety.

Słońce

Średnica: 1,4 mln km

W gwiazdach zachodzą procesy i zjawiska trudne do zaobserwowania na naszej planecie. Słońce stanowi także podstawę życia na Ziemi i dlatego skupia uwagę astrofizyków.

Ziemia

Średnica: 13 tys. km

To na razie jedyne ciało niebieskie zamieszkałe przez ludzi. Dziś, m.in. dzięki osiągnięciom fizyków, coraz częściej mówi się o założeniu bazy na Księżycu, a nawet na Marsie.

Układ Słoneczny

Średnica: ponad 9 mld km (orbita Neptuna)

Jest naszym najbliższym otoczeniem w kosmosie, dlatego staramy się dowiedzieć się o nim jak najwięcej. Badamy jego ciała niebieskie i oddziaływania między nimi. Najdalsza planeta, Neptun, krąży po orbicie o średnicy $9 \cdot 10^9$ km (9 mld km), ale inne, drobne ciała niebieskie – po znacznie większych.

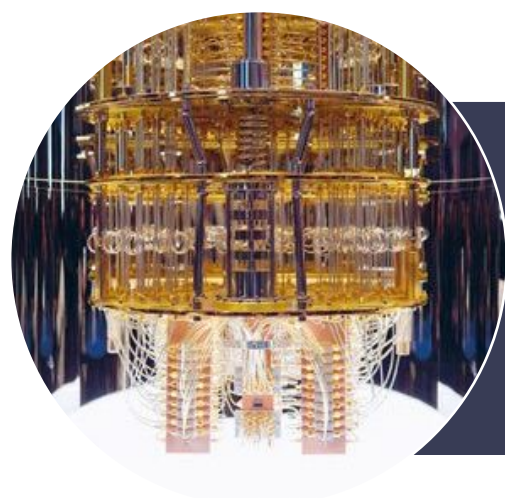


Badanie sekretów czarnych

Ekstremalnie gęste obiekty o takiej gęstości, że nie ucieka z nich nawet światło. Istnieją naprawdę. Astrofizycy obserwują gwiazdy i czarne dziury, aby w tym celu ich własności. Fizycy doświadczają fale grawitacyjne powstające pod wpływem czarnych dziur. Z kolei teoretycy próbują wyjaśnić, co kryje się w grawitacyjnych pułapkach.

Atom

Do powierzchni atomów wyruszają kolejne ekspedycje. W czasie lockdownu badacze zbudowali miniaturowy robot Curiosity. W kosmosie, które mogłyby być planety.



Projektowanie komputerów

Wciąż istnieją ważne problemy, które przekracza możliwości obliczeniowe komputerów. Dlatego powstają nowe technologie wykorzystujące prawa fizyki. Budowa tych maszyn jest bardzo trudna, ale pierwsze z nich już działają. W przyszłości będą zupełnie nowe możliwości.

Wzrost energii w przyszłości

Wzrost energii palącej staje się coraz trudniejszy, wydajnych źródeł energii. Jednym z nich jest energia jądrowa, wykorzystująca energię Słońca. Nad gazem rozgrzanym przez promienie Słońca. Pomimo trudności takich elektrowni trwają.



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 ZESZYTE



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

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

2. 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 wtedy średnica całego atomu? Podaj przykład obiektu o podobnych rozmiarach.

3. Nasza galaktyka, Droga Mleczna, ma średnicę ok. 10^{18} km (10 mld mld km). Wyobraź sobie model Galaktyki, w którym Ziemia ma rozmiar ziarenka maku (czyli ok. 1 mm). Jaka byłaby w tym modelu średnica Galaktyki? Podaj przykład podobnej odległości.

Wskazówka. Możesz dla uproszczenia przyjąć, że średnica Ziemi wynosi 10 000 km.

4. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego rozwija System ELA z danymi 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, co wydało ci się szczególnie ciekawe.

5. Przeanalizuj infografikę na s. 26–27 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.

6. Wejdź na stronę internetową wydziału lub instytutu fizyki jednej z uczelni (np. Uniwersytetu Warszawskiego lub Uniwersytetu Jagiellońskiego) i znajdź informacje na temat zagadnień, jakimi zajmują się pracujący tam fizycy. Zapisz w kilku zdaniach, co cię najbardziej zainteresowało.

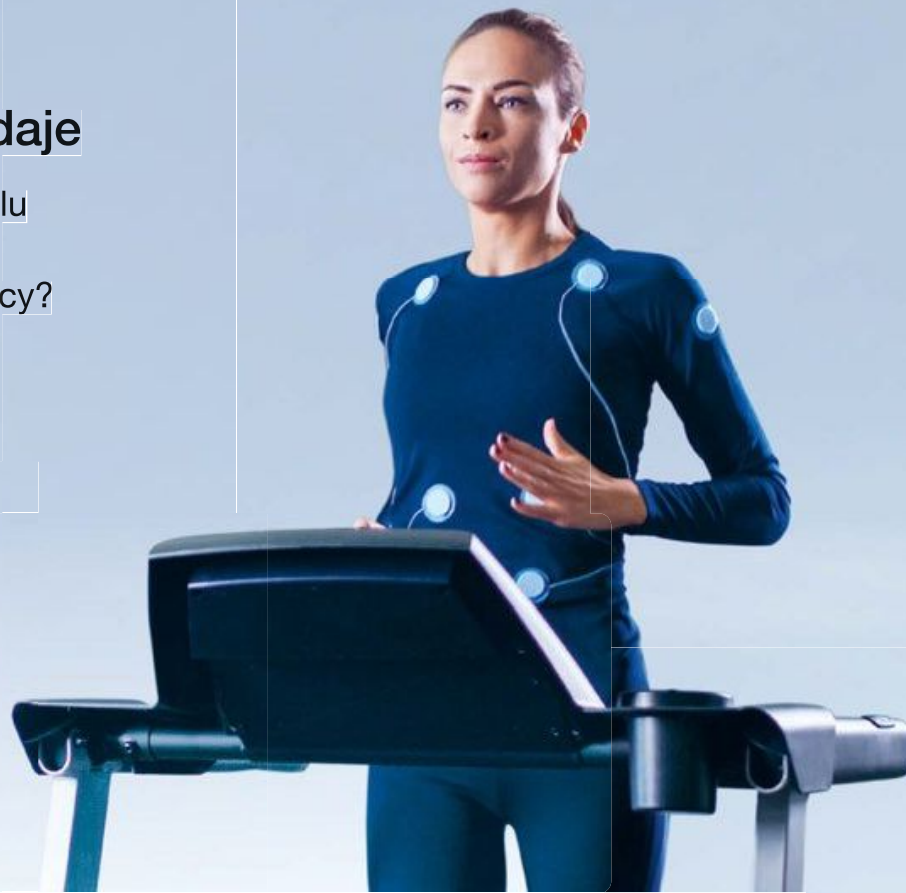
7. Zapoznaj się z tekstem „Czym zajmują się fizycy” na poprzedniej stronie. Które z zagadnień jest najbliższe twoim zainteresowaniom? Uzasadnij swój wybór w kilku zdaniach.

Fizyka – komu się przydaje

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

Sport

Wiedzę z fizyki wykorzystujemy w doskonaleniu sprzętu, odzieży i metod treningu sportowców różnych dyscyplin. Dzięki temu ich wyniki są coraz lepsze. W razie kontuzji trafiają oni do fizjoterapeuty, który oprócz anatomii musi znać także prawa fizyki rządzące działaniem kości, mięśni i stawów.



Animacje i gry

Zaawansowane modele fizyczne trzeba uwzględnić także w grach komputerowych. Wierne odwzorowanie zachowania się obiektów, np. spadania, przyspieszania, zderzania, jest trudne bez znajomości mechaniki.



Medycyna

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



Ekonomia

Metody matematyczne opracowane przez fizyków często okazują się skuteczne także w badaniach gospodarki czy jej działów, np. rynków finansowych. Dlatego wiele przedsiębiorstw chętnie zatrudnia fizyków.



Historia

Odkrycia naukowe i wynalazki grają istotniejszą rolę w dziejach ludzkości niż wyniki bitew czy rządy władców. Mogą też mieć bezpośredni wpływ na politykę – tak było na przykład z wynalezieniem bomby atomowej. Astronomia pozwala datować wydarzenia z odległej przeszłości. Wzmianka w kronice o zaćmieniu Słońca pozwala umiejscowić w czasie opisane w niej wydarzenia. Do datowania znalezisk archeologicznych wykorzystuje się rozpad izotopów promieniotwórczych.



Ochrona środowiska

Ochrona środowiska wymaga zrozumienia procesów w nim zachodzących i rozpoznania zagrożeń. W tym celu fizycy budują niezwykle czułe przyrządy pomiarowe i opracowują modele różnych zjawisk. Pracują także nad udoskonalaniem ekologicznych źródeł energii.



2 Doświadczenia i pomiary



Z jaką dokładnością sędzia w zawodach pływackich może zmierzyć czas osiągnięty przez zawodnika?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, w jaki sposób fizycy badają otaczający nas świat.
- Przypomnisz sobie podstawowe wielkości fizyczne i ich jednostki.
- 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. W nauce dążymy 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 pozwala wyjaśnić np.:

- ▶ tworzenie obrazów przez soczewki,
- ▶ powstawanie tęczy na niebie,
- ▶ fatamorganę na pustyni,
- ▶ 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**.



▲ Już małe dzieci z ciekawością obserwują wyniki eksperymentu

A to ciekawe

Zachód słońca da się namalować lub opisać w poezji, ale można też podejść do niego od strony naukowej, czyli na przykład zadać pytanie, dlaczego kolor słońca jest wtedy inny niż w południe.



My również będziemy poznawać fizykę – prawa rządzące światem przyrody – poprzez wykonywanie doświadczeń i obserwacji.

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.

Doświadczenia i pomiary

W niektórych doświadczeniach chcemy tylko sprawdzić, czy dane zjawisko w ogóle zachodzi. Podczas innych eksperymentów fizycy wykonują dokładne **pomiary** wielkości fizycznych. Na przykład w doświadczeniach dotyczących ciepła może nas interesować więcej niż stwierdzenie, że lód jest zimny, bo chcemy wiedzieć, jaką konkretnie ma temperaturę albo jak szybko jego temperatura się zmienia.

Wielkości fizyczne wyrażamy w odpowiednich jednostkach. Zasada ta dotyczy nawet życia codziennego. Na przykład w sklepie nie wystarczy powiedzieć „poproszę 50 sera”. Sprzedawca nie będzie przecież wiedział, czy chodzi nam o gramy, dekagramy czy kilogramy.

Jednostki miar. Układ SI

W Polsce i prawie na całym świecie jest stosowany międzynarodowy układ jednostek miar SI. Przypomnijmy sobie podstawowe jednostki długości, czasu i masy w tym układzie (patrz diagram poniżej).

Długość, l	Czas, t	Masa, m
1 m metr	1 s sekunda	1 kg kilogram
100 cm = 1 m	1 s	1000 g = 1 kg

Z opisanych powyżej jednostek podstawowych tworzy się jednostki pochodne. Mogą one mieć:

- ▶ postać działania na jednostkach, tak jak jednostka prędkości $\frac{m}{s}$ (metr na sekundę),
- ▶ własną nazwę, tak jak jednostka siły N (niuton), równy $kg \cdot \frac{m}{s^2}$.

Wielokrotności i podwielokrotności

Aby uniknąć używania bardzo dużych liczb i bardzo małych ułamków, stosujemy przedrostki, które oznaczają:

- ▶ wielokrotności, np. kilometr, km,
- ▶ podwielokrotności, np. milimetr, mm.

Wygodniej jest podać, że mrówka ma długość 2 mm, a odległość z Poznania do Gdańska wynosi 340 km, niż zapisywać te wielkości w postaci 0,002 m i 340 000 m.

Przedrostki używane do tworzenia nazw wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar oraz ich symbole znajdują się w tabeli 3. na s. 247.

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 różnych czynników, m.in. z ograniczonej dokładności przyrządu pomiarowego (np. linijki, wagi) lub z warunków pomiaru.

Przykład 1

Opracowanie wyników pomiaru jednokrotnego

Kasia zmierzyła czas staczania się baterii ze stołu za pomocą stopera w telefonie komórkowym. Przyrząd wyświetlił wynik 3,257 s. Zapisz wynik pomiaru wraz z niepewnością i przedstaw na osi liczbowej, w jakim zakresie mieści się wynik.

Określenie niepewności

Stoper wyświetla trzy cyfry po przecinku, co odpowiadałoby niepewności 0,001 s. Jednak gdy włączamy i wyłączamy go ręcznie, musimy uwzględnić czas reakcji przy naciskaniu przycisku. Można oszacować, że wynosi on 0,5 s.

Zaokrąglenie wyniku

Skoro pomiar Kasi miał niepewność 0,5 s, to nie ma sensu zapisywać jego wyniku z trzema cyframi po przecinku. Zaokrąglamy go więc z dokładnością do 0,1 s:

$$t = 3,3 \text{ s}$$



▲ Jedna dawka leku na astmę to tylko 100 µg (mikrogramów), czyli milionowych części grama



▲ Światowa produkcja energii elektrycznej w ciągu roku to ok. 30 000 TWh (terawatogodzin), czyli 30 000 bln watogodzin

Zapisanie wyniku wraz z niepewnością

Zapisujemy wynik w postaci:

$$t = 3,3 \text{ s} \pm 0,5 \text{ s}$$

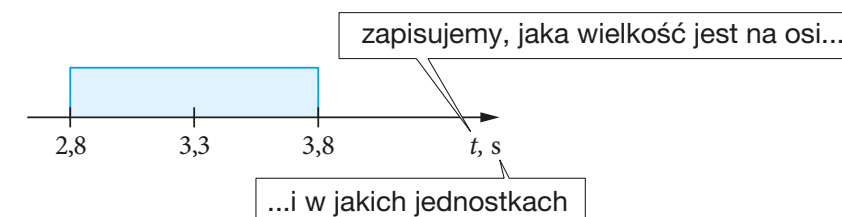
Zaznaczenie na osi liczbowej

Czas staczania się baterii wynosił:

$$\text{od } 3,3 \text{ s} - 0,5 \text{ s} = 2,8 \text{ s}$$

$$\text{do } 3,3 \text{ s} + 0,5 \text{ s} = 3,8 \text{ s}$$

Zaznaczamy przedział na osi liczbowej.



3,257 zaokrąglamy w górę – patrz → **Dodatek matematyczny 5**, s. 239. Symbol $\pm$ (czyt. plus minus) oznacza, że może być więcej albo mniej.

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

Zwróć uwagę na ważny wniosek z powyższego przykładu:

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

W przykładzie musieliśmy samodzielnie ocenić niepewność pomiaru i odpowiednio zaokrąglić wynik wskazany przez stoper.

Pomiary wielokrotne

Aby otrzymać dokładniejszy wynik, należy wykonać pomiar wielokrotnie, a następnie obliczyć średnią arytmetyczną uzyskanych wyników.

Kiedy mierzymy np. długość stołu, 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 zbliży się do rzeczywistej długości stołu.

Niepewność pomiaru wielokrotnego w uproszczony sposób wyznaczamy następująco: znajdujemy największą różnicę między wynikiem pojedynczego pomiaru a średnią i dzielimy tę różnicę przez pierwiastek z liczby pomiarów (patrz przykład 2. na s. 32). Zauważ, że dzięki temu dzieleniu im więcej pomiarów wykonamy, tym mniejsza jest niepewność ostatecznego wyniku.

A to ciekawe

Choć w zawodach sportowych używa się fotokomórek, jednak na wypadek awarii sprzętu czas mierzą także sędziowie ze stoperami. Po odpowiednim szkoleniu potrafią robić to z dokładnością do 0,1 s.



Przykład 2

Opracowanie wyników pomiaru wielokrotnego

Uczniowie zastanawiali się, jaka siła jest potrzebna do popchnięcia stojącego samochodu. Poprosili więc ojca jednego z nich, aby wsiadł do swojego auta 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 poruszał. 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 $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Zatem:

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

Kolejne wskazania wagi oznaczają więc siłę nacisku: 280 N, 300 N, 300 N, 300 N, 250 N, 400 N, 350 N.

Obliczenie średniej arytmetycznej

$$F = \frac{280 \text{ N} + 300 \text{ N} + 300 \text{ N} + 300 \text{ N} + 250 \text{ N} + 400 \text{ N} + 350 \text{ N}}{7} = \frac{2180 \text{ N}}{7} = 311,42857 \text{ N}$$

Wyznaczenie niepewności

Nasza waga pozwalała na odczytanie masy z dokładnością do 1 kg, a zatem odpowiadającej jej siły – z dokładnością do 10 N. Widzimy jednak, że wartości wskazane przez wagę różnią się od średniej znacznie bardziej niż o 10 N.

Największe odchylenie od średniej (dla pomiaru 400 N) to 89 N.

Niepewność pomiaru obliczamy, dzieląc tę wielkość przez pierwiastek z liczby pomiarów:

$$\Delta F = \frac{89 \text{ N}}{\sqrt{7}} = 33,64 \text{ N}$$

Zaokrąglenie niepewności

Ponieważ wynik pomiaru znamy z dokładnością do dziesiątek niutonów, również niepewność zaokrąglamy do pełnych dziesiątek.

$$\Delta F = 33,64 \text{ N} \approx 40 \text{ N}$$

Niepewność pomiaru **zawsze** zaokrąglamy **w górę**.

Zaokrąglenie średniej

Wyniki pojedynczych pomiarów mają dokładność do dziesiątek niutonów, zatem wynik średniej także zaokrąglamy do dziesiątek.

$$F = 311,42857 \text{ N} \approx 310 \text{ N}$$

Zapisanie wyniku wraz z niepewnością

$$F \pm \Delta F = 310 \text{ N} \pm 40 \text{ N}$$

Odpowiedź: Wynikiem pomiarów jest siła o wartości $310 \text{ N} \pm 40 \text{ N}$.

Dokładność przyrządu a obliczona niepewność

W przykładzie 2. waga pozwalała wyznaczać siłę z dokładnością 10 N, ale z różnic między pomiarami otrzymaliśmy wartość większą: 30 N, i to ją wzięliśmy pod uwagę. Przy bardzo dużej liczbie pomiarów może się jednak okazać, że niepewność wyznaczona z różnic między pomiarami jest mniejsza niż dokładność wagi. W takim przypadku weźmiemy pod uwagę dokładność wagi.

Zatem którą wartość zapisywać przy wyniku? Zawsze musimy brać pod uwagę mniej optymistyczną wersję, czyli większą niepewność.

Pamiętaj też, że podane tutaj zasady opracowania danych są mocno uproszczone. Naukowcy posługują się bardziej skomplikowanymi sposobami wyznaczania niepewności, pożytecznymi zwłaszcza wtedy, gdy pomiarów jest dużo: kilkadziesiąt albo nawet kilka tysięcy.

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 pomiar wielokrotnie i obliczamy średnią wyników.
- ▶ Wyniki pomiarów i ich niepewności należy podawać w zaokrągleniu.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. 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.

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

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

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

3. Przeczytaj żartobliwy dialog. Wyjaśnij, na czym polegał błąd i jaki ma on związek z tematem tej lekcji.

– Wiesz, kiedy wyginęły dinozaury?
– 65 mln lat i 2 tygodnie temu.
– A skąd wiesz tak dokładnie?
– Przed dwoma tygodniami tata mi powiedział, że to było 65 mln lat temu.



4. **P1** Wojtek zmierzył za pomocą stopera w telefonie komórkowym czas, po jakim zatrzymuje się piłka potoczona po podłodze. Przyrząd wyświetlił wynik 10,872 s. Zapisz wynik pomiaru wraz z niepewnością i przedstaw na osi liczbowej, w jakim zakresie mieści się wynik.

5. **P2** 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. Marek wykonał pewne doświadczenie i opracował wyniki pomiarów. Zrobił sobie linijkę o długości 2 m, ale z podziałką tylko co 1 m. Zmierzyl swoją wysokość 100 razy: raz otrzymał wynik 1 m, a 99 razy wynik 2 m. Zgodnie z zasadami z przykładu 2.:

- obliczył średnią: 1,99 m,

- stwierdził, że największe odchylenie wyniku od średniej to:

$$1,99 \text{ m} - 1 \text{ m} = 0,99 \text{ m}$$

- obliczył niepewność:

$$\Delta h = \frac{0,99 \text{ m}}{\sqrt{100}} = 0,099 \text{ m}$$

- po zaokrągleniu zapisał wynik wraz z niepewnością w postaci:

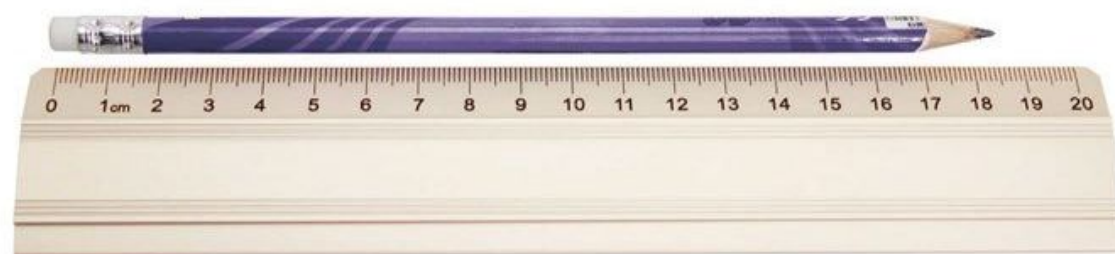
$$h = 2 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$$

O czym zapomniał Marek?

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 wprowadzone w ruch zawsze 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



Pływak popycha stopami ścianę basenu. Dlaczego więc to sportowiec zaczyna się poruszać, a nie ściana?

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie i uporządkujesz wiadomości dotyczące siły jako wielkości wektorowej, siły ciężkości oraz 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 i powodować wprawienie piłki w ruch. Do opisu oddziaływania fizycy używają pojęcia **siły**. Powiemy więc, że stopa piłkarza **działa siłą** na piłkę.

Aby strzelić gola, piłkarz musi kopnąć piłkę:

- ▶ odpowiednio mocno,
- ▶ w odpowiednią stronę,
- ▶ uderzając w odpowiedni punkt piłki.

Mówimy, że siła ma **cztery cechy**:

- ▶ wartość (jak jest duża),
- ▶ kierunek (prosta, wzdłuż której działa siła),
- ▶ zwrot (w którą stronę działa),
- ▶ punkt przyłożenia (punkt, w którym przyłożono siłę).

Jeśli o wielkość można zapytać: „w którą stronę?”, to znaczy, że mamy do czynienia z **wielkością wektorową**. Siła jest więc wielkością wektorową.



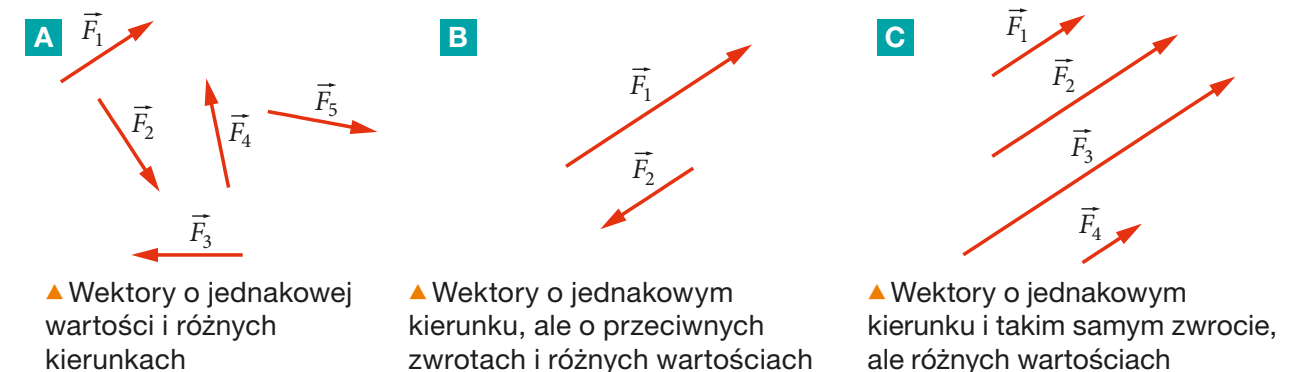
▲ Piłkarz działa siłą na piłkę. Strzałka wskazuje kierunek i zwrot wektora siły

- ▶ Na rysunku wektor siły zaznaczamy za pomocą strzałki. Wskazuje ona, w którą stronę działa siła. Długość strzałki odpowiada wartości wektora, czyli temu, jak duża jest siła. Długość tę określa się według przyjętej umowy skali – oczywiście tak naprawdę siły nie mierzymy w centymetrach.
- ▶ Wektor siły oznaczamy literą $\vec{F}$ (od ang. *force*). Strzałka nad literą oznacza, że jest to wielkość wektorowa.
- ▶ Symbol F (bez strzałki) oznacza wartość siły.

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

Kierunek i zwrot

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**, jednak różnią się **zwrotem**.



Wzajemność oddziaływań – trzecia zasada dynamiki

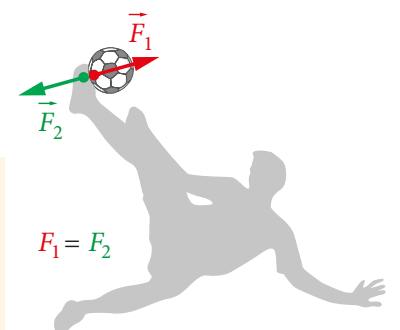
Jeśli zdarzyło ci się kopnąć piłkę bosą nogą, wiesz na pewno, że może to być bolesne. Ale czy ten ból mogła spowodować siła, którą twoja stopa działała na piłkę?

Oczywiście, że nie! Skutki działania siły dotyczą tego ciała, na które ona działa. Zatem ból albo złamanie kości powoduje inna siła. Jest to **siła, którą piłka działa na stopę** (patrz rys. poniżej). Okazuje się jednak, że siły działają zawsze parami: gdy stopa działa pewną siłą na piłkę, wtedy również piłka działa taką samą siłą na stopę. Ból nogi wywołuje ta druga siła.

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**, sformułowana przez Izaaka Newtona.

Siły zawsze działają parami. Siły wzajemnego oddziaływania ciał mają tę samą wartość, ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty i są przyłożone do różnych ciał.



Aby zrozumieć tę zasadę, zwróć uwagę na trzy rzeczy:

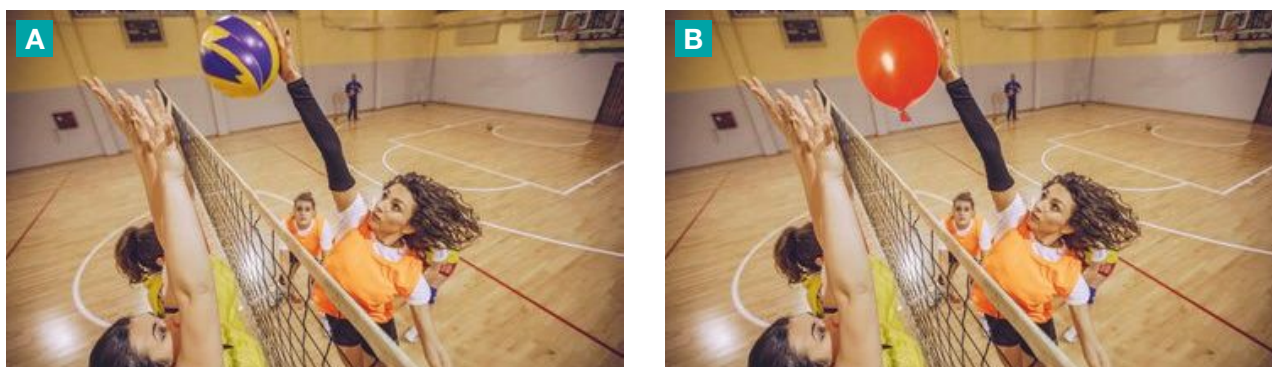
- ▶ Siły wzajemnego oddziaływania działają na różne ciała, dlatego się nie równoważą.

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

- ▶ Jednakowa siła nie oznacza jednakowych skutków. Ściana basenu popycha pływaka taką samą siłą, jaką on popycha ścianę, ale taka siła wystarczy, aby poruszyć pływaka, a nie wystarczy do poruszenia ściany.
- ▶ Żeby działać siłą, nie trzeba wydawać energii. Na przykład stół nie zużywa energii, aby podtrzymywać stojący na nim talerz, choć działa na niego siłą. Także piłka nie zużywa energii, aby działać siłą na nogę piłkarza.

Co wynika z trzeciej zasady dynamiki

Dlaczego siatkarka nie może uderzyć w balon siłą o takiej samej wartości, jaką uderza w piłkę?



Początkowo siła oddziaływania między dłonią a przedmiotem jest niewielka – rośnie dopiero wraz z jego odkształcaniem. Lekki balon odchyła się od dłoni już przy niewielkim odkształceniu, zanim działająca na niego siła osiągnie większą wartość.

Z trzeciej zasady dynamiki wynika, że siła, którą działasz na inne ciało, musi mieć taką samą wartość jak siła, którą ono działa na ciebie – zatem nie może być od niej większa.

Jak wprowadzić w ruch samego siebie

Aby sprawdzić, jak wprowadzić w ruch samego siebie, wykonaj doświadczenie.

Doświadczenie 1.

Ilustracja trzeciej zasady dynamiki

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



Człowiek, zwierzę czy maszyna mogą działać siłą na inne ciała, ale nikt nie może działać siłą wyłącznie na samego siebie, aby wprowadzić się w ruch. Co więc zrobić, aby zacząć się poruszać? W tym celu należy podzielać siłą na jakieś inne ciało. Musi być ona skierowana przeciwnie do strony, w którą chcemy się poruszyć. Wtedy **siła reakcji**, jaką działa na nas ciało, np. ściana, może wprowadzić nas w ruch (patrz infografika poniżej). Podobnie jest w powyższym doświadczeniu: osoba na deskorolce porusza się w stronę przeciwną, niż naciska na ścianę.

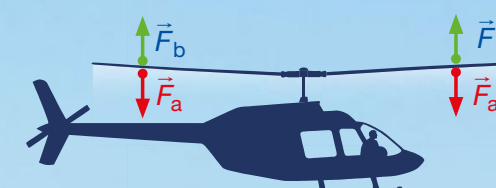
Jak wprowadzić w ruch samego siebie

Działając siłą na samego siebie, np. ciągnąc za swoje ubranie, nie wprowadzimy się w ruch. Aby się poruszyć, należy na inne ciało podzielać siłą skierowaną przeciwnie do zamierzonego kierunku ruchu i wykorzystać trzecią zasadę dynamiki.



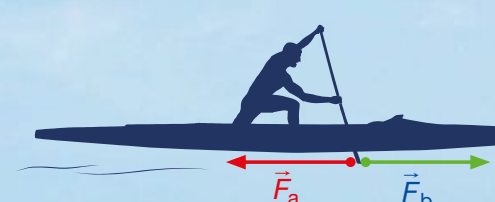
Samolot

Samolot odrzuca do tyłu strumień gazów siłą $\vec{F}_a$. Cząsteczki gazu pchają samolot do przodu siłą $\vec{F}_b$.



Helikopter

Łopaty śmigła zagarniają powietrze i pchają je w dół siłą $\vec{F}_a$. Cząsteczki powietrza działają siłą $\vec{F}_b$ do góry i unoszą helikopter.



Kajak

Kajakarz za pomocą wiosła odpycha wodę do tyłu siłą $\vec{F}_a$. Woda siłą $\vec{F}_b$ pcha do przodu wiosło, a za jego pośrednictwem – także kajakarza i kajak.

Siła ciężkości

Przykładem siły, z którą mamy do czynienia na co dzień, jest **siła ciężkości** (zwana też **ciężarem**), czyli siłą, jaką Ziemia przyciąga dane ciało. Jak wiesz, siła ta jest tym większa, im większa jest masa ciała. Siłę ciężkości obliczamy ze wzoru:

$$F_g = mg$$

siła ciężkości masa ciała
przyspieszenie ziemskie
 $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Powyższa zależność pozwala nam nie tylko obliczać siłę ciężkości na podstawie masy ciała lub na odwrót, lecz także wyobrazić sobie, jak dużą siłę oznacza konkretna wartość. Na przykład określenie „siła 15 N” może brzmieć dla nas zagadkowo. O wiele łatwiej zrozumiemy, o czym mowa, jeśli pomyślimy o tej wielkości jako o sile potrzebnej do podniesienia półtoralitrowej butelki wody mineralnej (o masie 1,5 kg).

Przykład

Obliczanie siły ciężkości

Mała butelka z wodą mineralną ma masę 280 g. Oblicz wartość siły ciężkości działającej na tę butelkę.

Rozwiązanie:

Przeliczamy masę na kilogramy:

$$m = 280 \text{ g} = 0,280 \text{ kg} = 0,28 \text{ kg}$$

Korzystamy ze wzoru:

$$F_g = mg$$

$$F_g = 0,28 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,8 \text{ N}$$

Odpowiedź: Na tę butelkę działa siła ciężkości o wartości 2,8 N.

Siła nacisku a ciężar

Zależność między masą a siłą ciężkości pozwala także używać niektórych rodzajów wagi (np. sprężynowej lub elektronicznej) do mierzenia siły. W rzeczywistości te przyrządy to nic innego jak siłomierze (dynamometry), które mierzą nacisk danego ciała na szalkę.

Waga sprężynowa i waga elektroniczna mierzą siłę nacisku na szalkę. Ta siła jest równa ciężarowi ciała.

Siła ciężkości jest wprost proporcjonalna do masy ciała, dlatego wagi mogą być wyskalowane w jednostkach masy. W przykładzie 2. na s. 32 używaliśmy już wagi łazienkowej, aby mierzyć siłę, jaką pchamy samochód. Możesz też wykorzystać wagę kuchenną i sprytnie zmierzysz siłę, jaką ciągniesz nitkę (patrz zdjęcie obok).



Jak obliczyć wartość siły na podstawie wskazań wagi

Wyobraź sobie, że początkowo waga wskazuje 480 g, a gdy ciągniesz nitkę – tylko 325 g, czyli o 155 g mniej. To oznacza, że ciągniesz nitkę siłą równą ciężarowi ciała o masie 155 g = 0,155 kg, czyli siłą o wartości $F = 1,55 \text{ N}$.

To najważniejsze

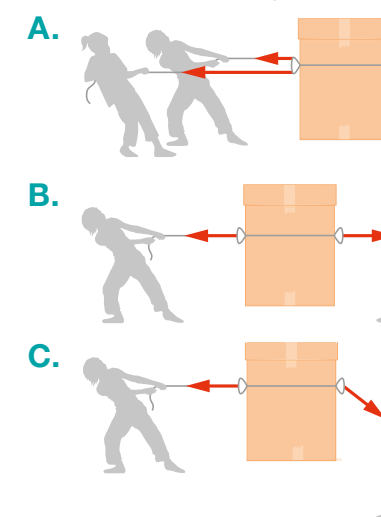
- ▶ **Siła** to wielkość opisująca, w jaki sposób jedno ciało oddziałuje na drugie ciało.
- ▶ Siła to wielkość wektorowa: ma nie tylko **wartość**, lecz także **kierunek**, **zwrot** oraz **punkt przyłożenia**.
- ▶ Siły zawsze działają parami. Siły wzajemnego oddziaływania ciał mają tę samą wartość, ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia (**trzecia zasada dynamiki**).
- ▶ Aby się poruszyć, trzeba działać siłą na inne ciało. Wtedy siła, jaką działa na nas to ciało, wprawia nas w ruch.
- ▶ Ziemia przyciąga ciało o masie m **siłą ciężkości** o wartości $F_g = mg$, gdzie $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ to przyspieszenie ziemskie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE



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



2. Gustaw uderzył pięścią w stół. Jednak stołowi nic się nie stało, a Gustawa boli ręka. Jaka siła spowodowała u Gustawa ból ręki?

3. **P** Oblicz ciężar:

- a) dzika o masie 200 kg,
- b) bociana o masie 4 kg,
- c) myszy o masie 20 g.

4. Oblicz masę:

- a) kota, którego Ziemia przyciąga siłą o wartości 45 N,
- b) zaskrońca, którego Ziemia przyciąga siłą o wartości 2,5 N.

5. **i** 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 infografię na s. 38–39.

4 Siła wypadkowa



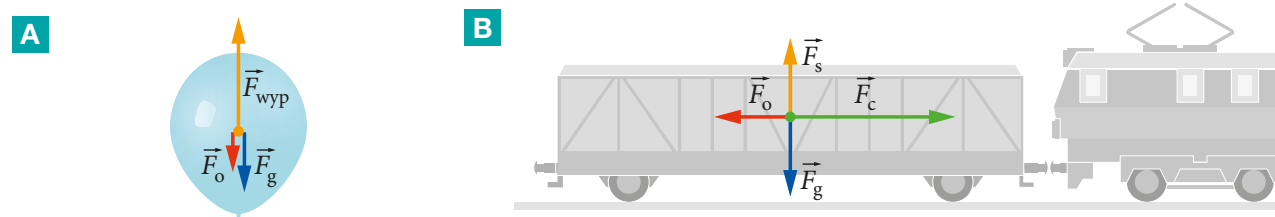
Co zrobić, aby jedna osoba pokonała w przeciąganiu liny dwóch silniejszych przeciwników?

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. Przykłady znajdziesz poniżej: na rysunku A przedstawiono siły działające na wznoszący się balonik z helem, a na rysunku B – na rozpędzający się wagon.



$\vec{F}_{wyp}$ – siła wyporu
 $\vec{F}_g$ – siła ciężkości
 $\vec{F}_o$ – siła oporu powietrza

$\vec{F}_c$ – siła, którą lokomotywa ciągnie wagon
 $\vec{F}_o$ – siła oporów ruchu, $\vec{F}_g$ – siła ciężkości
 $\vec{F}_s$ – siła nacisku szyn na koła

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

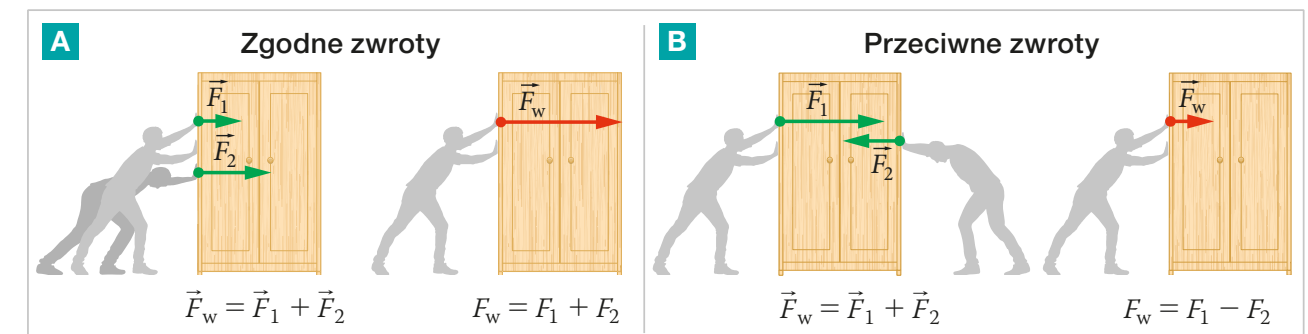
Jeśli kilka sił działających na jedno ciało można zastąpić jedną siłą, której skutek działania jest taki sam jak sił składowych, to taką siłę nazywamy **siłą wypadkową**.

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

■ Jak wyznaczać siłę wypadkową

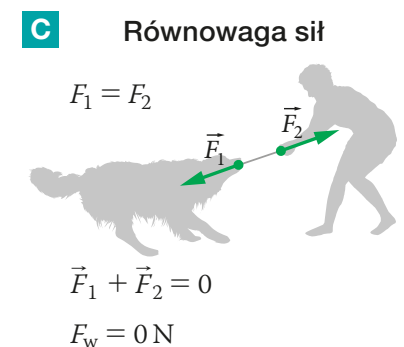
Ze szkoły podstawowej wiesz, jak wyznaczać siłę wypadkową w przypadku **sił o jednakowym kierunku**.

- Gdy ich zwrot jest jednakowy, wartości tych sił dodajemy (patrz rys. A).
- Gdy ich zwroty są przeciwne, wartości tych sił odejmujemy (patrz rys. B). Zwrot siły wypadkowej jest wtedy taki jak zwrot siły o większej wartości – obrazowo możemy powiedzieć, że większa siła przeważa.



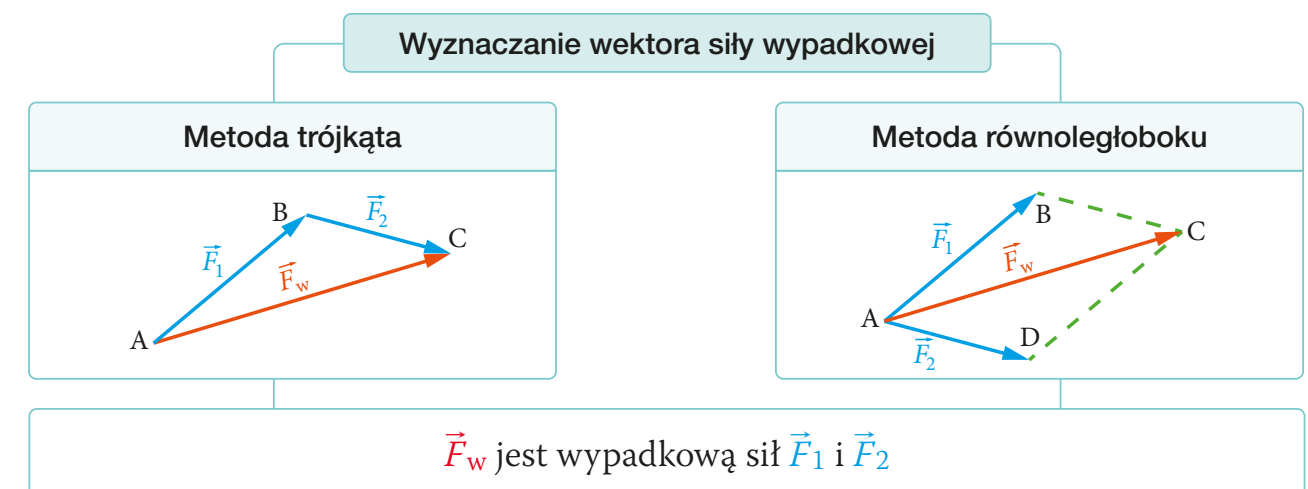
■ Siły, które się równoważą

Jeśli wypadkowa sił działających na to samo ciało jest równa zeru, to mówimy, że te 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. C), ich siły się równoważą – dlatego patyk się nie porusza, tak jakby nie działała na niego żadna siła.



■ Sposoby znajdowania siły wypadkowej

Jak wiesz, siły nie zawsze działają wzdłuż tej samej prostej. Jak wówczas wyznaczyć siłę wypadkową? Dla sił o różnych kierunkach istnieją geometryczne sposoby znajdowania wypadkowej: **metoda równoległoboku** i **metoda trójkąta** (patrz diagram poniżej i **Dodatek matematyczny 1**, s. 238). Możesz stosować dowolną z nich.



Równoważenie siły wypadkowej

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

Doświadczenie 2.

Równoważenie siły wypadkowej

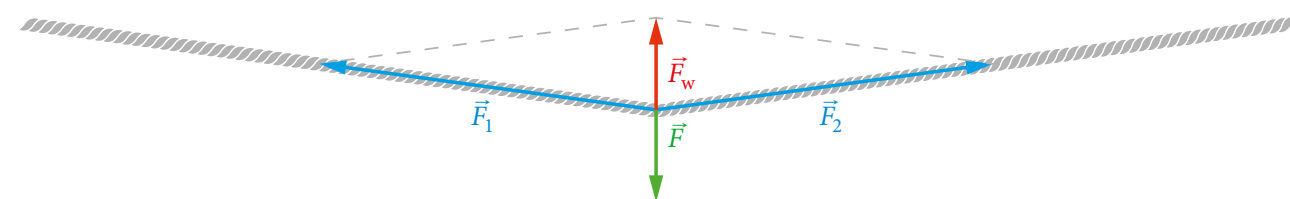
1. Przygotuj długą linę i poproś trzy osoby o pomoc w wykonaniu doświadczenia.
2. Niech dwie silne osoby złapią za przeciwległe końce liny. Ich zadaniem będzie utrzymać linę napiętą poziomo na wysokości opuszczonych rąk (patrz zdjęcie).
3. Trzecia osoba (może być to uczennica lub uczeń drobnej budowy) 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. Cudysłów przy słowie „silniejsze” jest całkowicie uzasadniony. Osoba naciskająca środek liny do podłogi musi przezwyciężyć wypadkową siłę, którymi działają osoby na końcach liny. Wartość tej wypadkowej jest niewielka (rys. poniżej), znacznie mniejsza od wartości każdej z sił składowych.

Poniższy rysunek uzasadnia paradoksalny wynik tego doświadczenia.



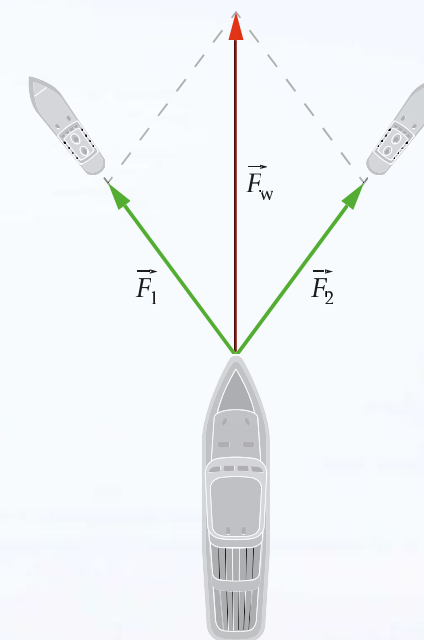
$\vec{F}_1, \vec{F}_2$ – siły składowe $\vec{F}_w$ – siła wypadkowa $\vec{F}$ – siła równoważąca siłę wypadkową

▲ Wartość siły wypadkowej $\vec{F}_w$ zależy od kąta między siłami składowymi $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$. Do zrównoważenia siły wypadkowej wystarczy niewielka siła $\vec{F}$

Jaka siła działa na statek

Skoro umiemy wyznaczać wypadkową sił o różnych kierunkach (patrz s. 43), 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.

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



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



Przykład

■ Siła wypadkowa sił o różnych kierunkach

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

a) Wyznacz wypadkową sił działających na łódkę.

b) Określ wartość siły oporu ruchu, jeśli podczas ruchu łódź nie zmienia prędkości.

Wskazówka. Aby łódź poruszała się ruchem jednostajnym, działające na nią siły muszą się równoważyć.

Rozwiązanie:

a) Aby znaleźć wypadkową sił, jakimi ludzie działają na łódkę, 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.

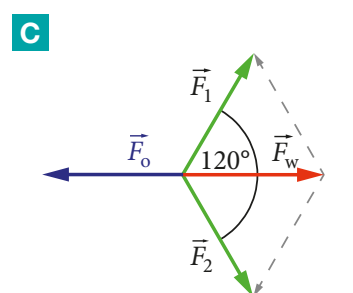
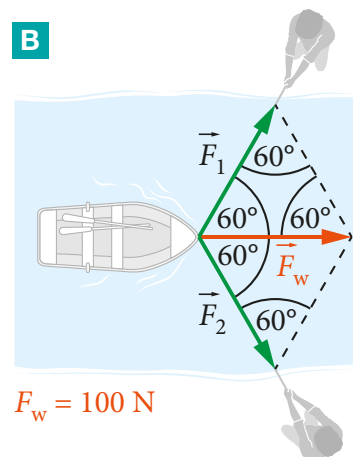
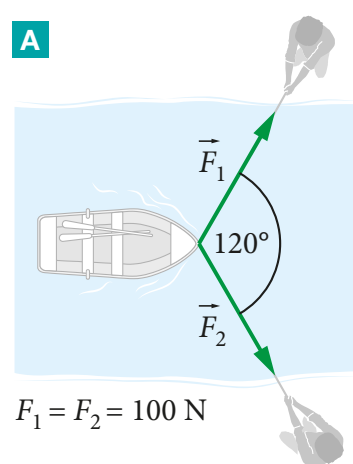
Uwaga. Wartość siły wypadkowej zawsze możemy wyznaczyć na rysunku za pomocą linijki.

Możemy też zauważyć, że nasz równoległobok jest rombem, a przekątna dzieli go na dwa trójkąty równoboczne. Zatem siła wypadkowa ma wartość 100 N.

b) Zgodnie ze wskazówką siły się równoważą, zatem wystarczy narysować siłę oporu ruchu $\vec{F}_o$, która zrównoważy siłę wypadkową pierwszych dwóch sił. Musi mieć ona taką samą wartość jak wypadkowa, ale przeciwny zwrot (patrz rys. C).

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

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

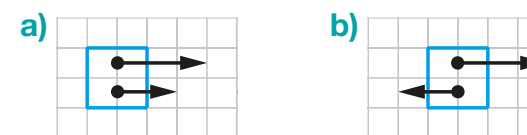


Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Na rysunku przedstawiono dwie siły działające na ciało. Wektory narysowano w skali 1 kratka = 1 N. Wyznacz siłę wypadkową.

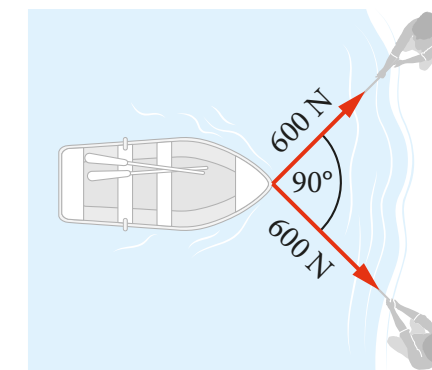


2. Książka o masie 2 kg leży bez ruchu na stole. Działają na nią dwie siły: siła ciężkości skierowana w dół i siła nacisku stołu skierowana w górę. Jakie są wartości tych sił? Jaka jest ich wypadkowa?

3. 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?

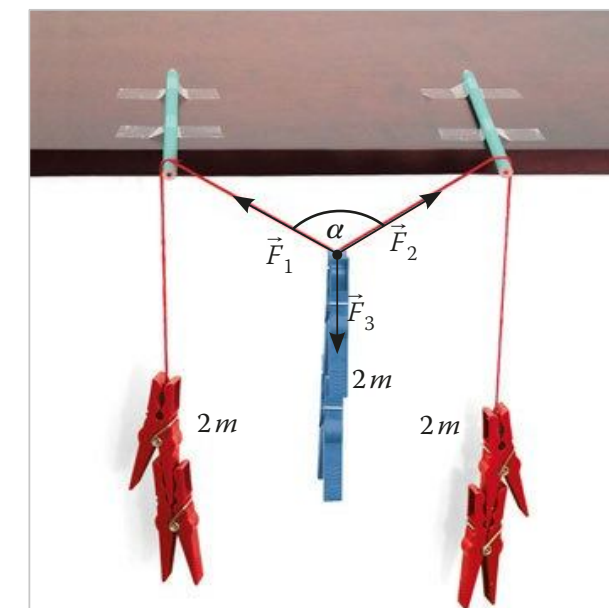
4. **P** Na rysunku widzisz z góry, jak dwie osoby ciągną łódkę w stronę brzegu. Oblicz wartość siły wypadkowej.



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 klamkami do bielizny o jednakowych masach m (patrz zdjęcie).
2. Unieś środkowe klamki (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. 46 wiemy, że trzy równe siły się równoważą, jeśli kąty między ich wektorami wynoszą 120° . Porównaj wynik swoich pomiarów z tą wartością.



Uwaga. Ołówki powinny być gładkie, aby zmniejszyć tarcie.

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 zero, 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 przeciwny zwrot, 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**.

5 Opis ruchu prostoliniowego



Rower się porusza, jednak to jego obraz jest ostry, a nieruchome tło wydaje się rozmyte. Dlaczego?

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

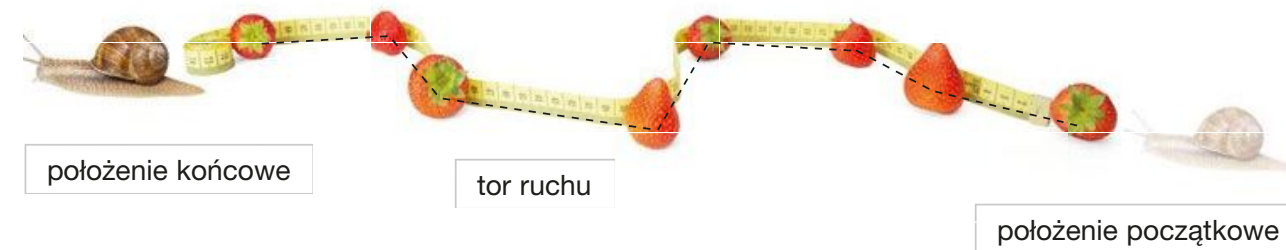
Wyobraź sobie, że siedzisz bez ruchu w samochodzie pędzącym z dużą prędkością. Czy można powiedzieć, że się poruszasz? To zależy. Aby opisywać ruch, musimy najpierw się umówić, **względem** którego ciała go rozpatrujemy. Osoba siedząca w samochodzie nie porusza się względem pojazdu, ale porusza się względem drzew, budynków itd. Innymi słowy, musisz najpierw wskazać, co jest **układem odniesienia**: pojazd czy np. budynek przy drodze, i dopiero względem wybranego obiektu określić, czy jesteś w ruchu, czy w stanie spoczynku.

Tor i droga

Jak wiesz ze szkoły podstawowej, linia zakreślana przez poruszające się ciało to **tor ruchu**. Długość tego toru pomiędzy określonymi punktami to **droga**, oznaczana literą s . Drogę wyrażamy w jednostkach długości, np. w metrach. Mierzmy ją wzdłuż toru, czyli nie zawsze w linii prostej.



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



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

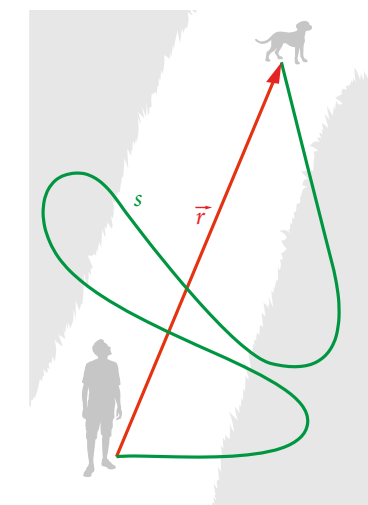
W tym rozdziale będziemy się zajmować tylko ruchem wzdłuż linii prostej, czyli **ruchem prostoliniowym**.

Wektor przemieszczenia

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

Gdyby zaniepokojonemu właścicielowi nieposłusznego czworonoga powiedzieć: „Pana piesek przebiegł drogę 200 metrów”, nie byłaby to wielka pomoc. Nie byłoby wiadomo, w którą stronę skierował się zwierzak ani czy przez cały czas tylko się oddalał.

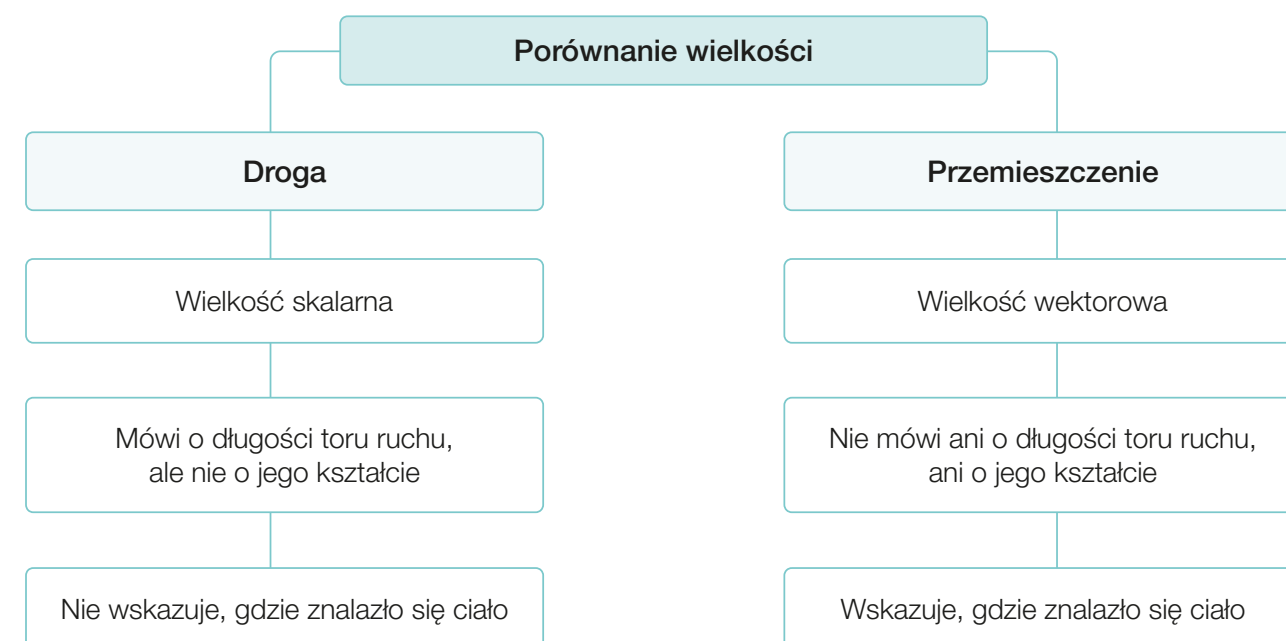
Znacznie bardziej pożyteczna okazuje się informacja: „Pana piesek oddalił się 80 metrów na północny wschód od tego miejsca”. W takim przypadku mówimy, że określiliśmy **przemieszczenie**. Zauważ, że podajemy nie tylko jego wartość (80 m), lecz także kierunek i zwrot (na północny wschód), ponieważ przemieszczenie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



▲ Czerwona strzałka to wektor przemieszczenia pieska, a zielona linia to droga

Wektor przemieszczenia prowadzi od początkowego do końcowego położenia ciała.

Przeanalizuj diagram, aby lepiej zrozumieć różnicę między drogą a przemieszczeniem.



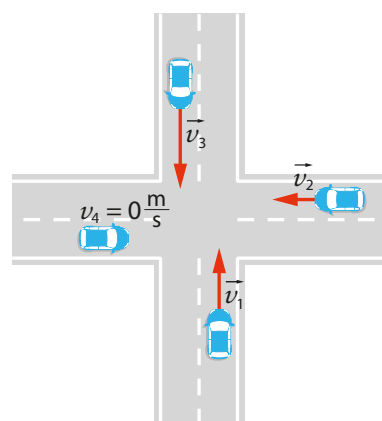
Wektor prędkości

W życiu codziennym „prędkość” oznacza wielkość opisującą, jak szybko porusza się ciało. Jednak w fizyce mówimy 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 (patrz rys. obok).

Prędkość to wielkość wektorowa. Oprócz wartości ma także kierunek i zwrot określające, w którą stronę ciało się porusza.

Często mówimy w skrócie: „prędkość”, zamiast: „wartość prędkości”. Na przykład powiemy: „samochód jedzie z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ”, zamiast: „samochód jedzie z prędkością o wartości $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ”. Jeśli istotne będą dla nas kierunek i zwrot wektora prędkości, będziemy o tym pisać wprost.



▲ Wektory prędkości samochodów jadących w różne strony

W niektórych książkach wartość prędkości nazywamy także szybkością.

Jak obliczamy prędkość

Być może pamiętasz ze szkoły podstawowej, że **prędkość** obliczamy, dzieląc drogę przez czas, w jakim została ona przebyta. Zapisujemy to za pomocą wzoru:

Przypomnij sobie 7 → s. 7

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

prędkość droga
 czas

Ze wzoru wynika, że jednostką prędkości jest iloraz jednostki drogi i jednostki czasu. Najczęściej używane są $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ i $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

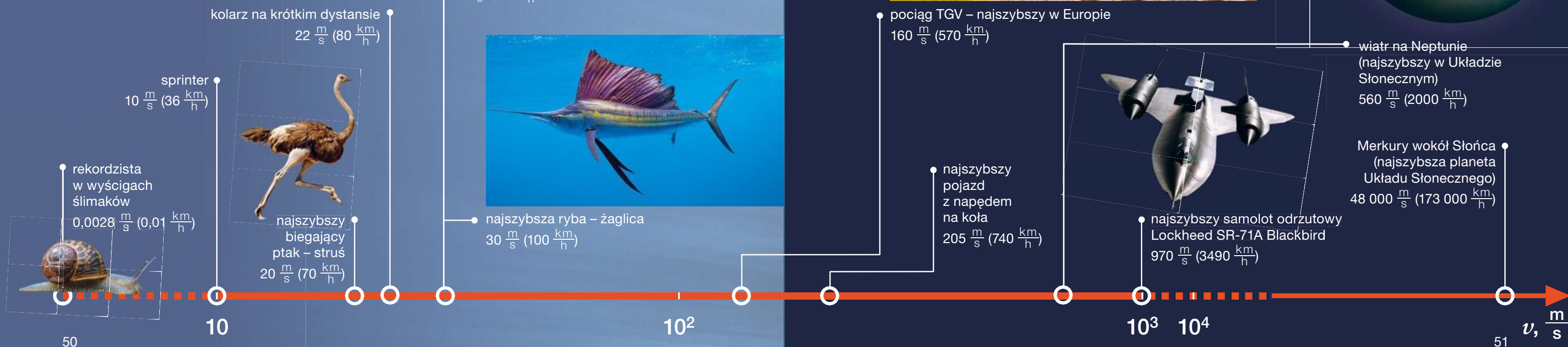
W przypadku ruchu jednostajnego sprawa jest prosta. Jeśli ciało w ciągu 1 s przebywa 4 m, to w ciągu 2 s przebywa 8 m, a w ciągu 3 s już 12 m. Niezależnie od tego, które z tych danych podstawimy do wzoru, otrzymamy ten sam wynik:

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

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

Rekordy prędkości

Rekordy prędkości obiektów występujących w przyrodzie i w technice obejmują wiele rzędów wielkości. Porównajmy wybrane przykłady.



Prędkość średnia

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

$$v_{sr} = \frac{s_c}{t_c}$$

prędkość średnia całkowita droga
całkowity czas trwania ruchu

Zatem samochód, który między godziną 10:00 a 12:00 przebył 160 km, poruszał się z prędkością o średniej wartości $\frac{160 \text{ km}}{2 \text{ h}} = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. 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 $s = 0 \text{ m}$ i $t = 0 \text{ s}$ nie daje sensownego wyniku, ponieważ 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 równej 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, jaką pokonał rowerzysta, wynosiła 39 km. Prędkość średnią obliczamy ze wzoru:

$$v_{sr} = \frac{s_c}{t_c}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

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

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

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

$$v_{sr} = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{18 \cdot 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

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: $v_{sr} = \frac{s_c}{t_c}$, gdzie: s_c – całkowita droga, t_c – całkowity czas.
- ▶ **Prędkość chwilową** obliczamy tak samo jak prędkość średnią, ale dla bardzo krótkiego czasu.

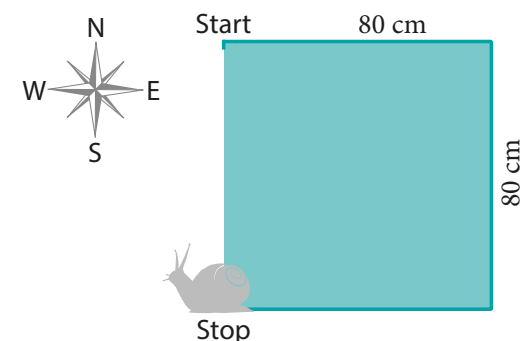
Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYTE



1. Ślimak poruszał się po krawędzi kwadratowego kwietnika o boku 80 cm. Na podstawie rysunku określ:

- a) drogę przebytą przez ślimaka,
- b) wartość, kierunek i zwrot wektora przemieszczenia.



Uwaga. Skorzystaj z kierunków geograficznych.

2. **P** Biegacz rozpoczął trening o 9:00, a zakończył go o 10:15. W tym czasie przebiegł 10 km. Oblicz jego średnią prędkość.

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

4. 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:

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

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:

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

6 Pierwsza zasada dynamiki



Po jakim czasie zatrzymałby się kamień curlingowy, gdyby lód był idealnie gładki?

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 działające na nie się równoważą.

Ruch jednostajny prostoliniowy

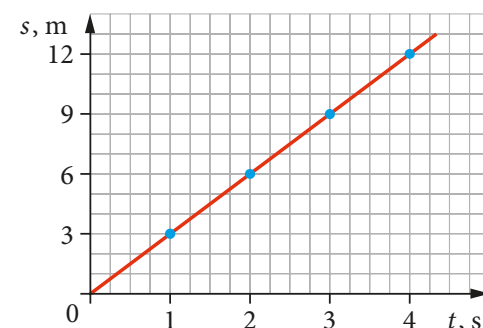
Najprostszym przykładem ruchu jest taki, w którym nie zmieniają się ani wartość, ani kierunek, ani zwrot prędkości. Niezmienny kierunek oznacza, że ciało porusza się po linii prostej, a niezmienny zwrot – że nie zawraca.

Ruch jednostajny prostoliniowy to taki ruch, w którym wektor prędkości jest stały. Ciało porusza się w takim przypadku po linii prostej bez zmiany prędkości.

Ten ruch znasz już ze szkoły podstawowej.

Wykres zależności drogi od czasu

Ze szkoły podstawowej zapewne pamiętasz wykres zależności **drogi od czasu**, w skrócie: wykres $s(t)$, opisujący ruch jednostajny prostoliniowy. Na przykład jeśli ciało porusza się ze stałą 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 – już 9 m itd. (patrz rys. obok).

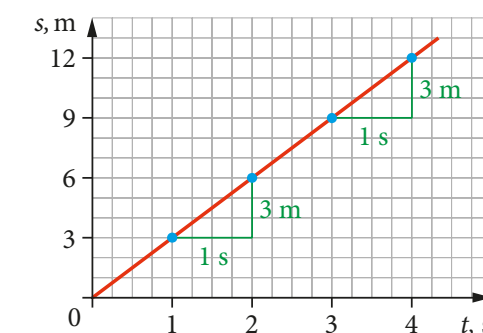


▲ Wykres zależności $s(t)$ dla $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

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

Kolejna ilustracja przedstawia ten sam wykres, ale z dorysowanymi schodkami. Wysokość takiego schodka odpowiada drodze przebytej w czasie 1 s. W ruchu jednostajnym w każdej sekundzie ciało przebywa taką samą drogę, dlatego wysokości schodków są jednakowe.

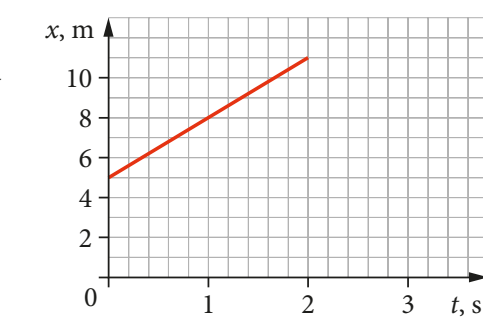
Im większa prędkość, tym dłuższą drogę przebywa ciało w czasie 1 s, a więc tym wyższy jest schodek. To znaczy, że większej prędkości odpowiada bardziej stromy wykres.



▲ Wykres zależności: $s(t)$ z dorysowanymi schodkami

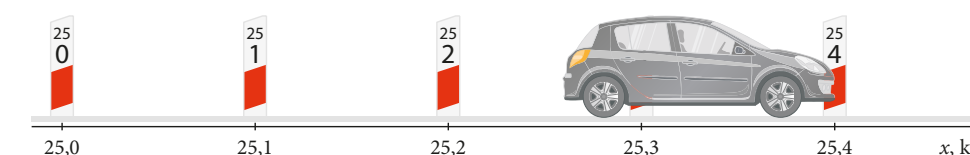
Wykres zależności położenia od czasu

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 (patrz rys. poniżej). Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że współrzędną będzie liczba wraz z jednostką długości. Na takiej osi ruch nie musi rozpoczynać się od punktu zerowego. Gdy ciało zaczęło ruch w punkcie o współrzędnej $x_0 = 5 \text{ m}$ na osi położenia, wtedy trzeba to także zaznaczyć na wykresie przedstawiającym zależność położenia ciała od czasu (rys. obok). Dlatego też wykres $x(t)$ może wyglądać nieco inaczej niż poznany wcześniej wykres $s(t)$.



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

Oba wykresy $s(t)$ i $x(t)$ mają kształt linii prostej, jednak drugi z nich nie musi się zaczynać od punktu $(0, 0)$.



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

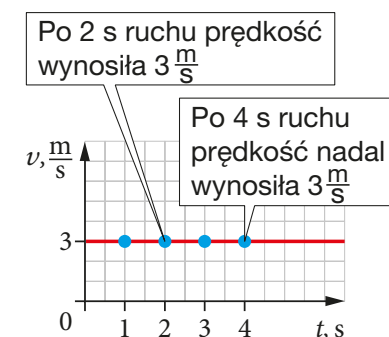
Może się także zdarzyć, że **ciało porusza się w przeciwną stronę** niż wskazuje strzałka osi x . Wtedy współrzędna położenia będzie się zmniejszała. Może ona nawet przyjmować wartości ujemne – przecież wszystkie wartości na osi liczbowej zależą od tego, który punkt określimy jako zerowy.

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

Zwróć uwagę, że kształt wykresu położenia od czasu w układzie współrzędnych nie ma nic wspólnego z prostoliniowym kształtem toru, po którym porusza się ciało ruchem jednostajnym.

Wykres zależności prędkości od czasu

Zależność prędkości od czasu w przypadku ruchu jednostajnego jest oczywista: prędkość jest po prostu stała. Wobec tego kolejne punkty wykresu zależności prędkości od czasu $v(t)$ znajdują się na tej samej wysokości. Wykresem jest pozioma linia prosta.



▲ Wykres zależności prędkości od czasu $v(t)$ dla $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

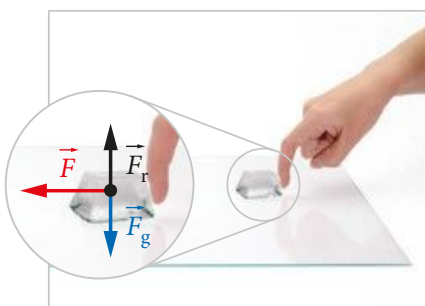
Gdy siła wypadkowa jest równa zeru

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?



W powyższym doświadczeniu siły działające w kierunku pionowym (siła ciężkości $\vec{F}_g$ i siła reakcji podłoża $\vec{F}_r$) się równoważyły, 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 podziałała siła $\vec{F}$, co spowodowało wprawienie kostki w ruch.
- ▶ Gdy siła $\vec{F}$ przestała działać, kostka nadal się poruszała ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Zwróć uwagę, że gdy siła wypadkowa jest równa zeru, możliwe są dwie sytuacje: kostka może spoczywać, ale może też poruszać się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Czy na ciało może nie działać żadna siła

Siła wypadkowa działająca na ciało może być równa zeru w dwóch sytuacjach:

- ▶ gdy na ciało nie działa żadna siła,
- ▶ gdy siły działające na ciało się równoważą.

W codziennym życiu mamy do czynienia z tą drugą możliwością, ponieważ na każde ciało działa co najmniej siła ciężkości. Tak też było w doświadczeniu. Natomiast w kosmosie, z dala od wszelkich ciał niebieskich, na poruszające się ciało nie działa żadna siła. Przyciąganie przez odległe gwiazdy jest tak słabe, że można je pominąć, a ponieważ nie ma atmosfery, nie ma też oporu powietrza. Jeśli taki obszar kosmosu przemierzałby statek z wyłączonymi silnikami, to mógłby lecieć bez zauważalnej zmiany prędkości nawet przez miliony lat.



▲ Wystrzelona w 1977 r. sonda Voyager 1 oddaliła się od Ziemi o zaledwie 24 mld km, czyli niecałą dobę świetlną, a już teraz przyciąganie przez Słońce powoduje zmniejszenie jej prędkości zaledwie o 0,04% rocznie. W kosmosie można znaleźć obszary odległe o miliony lat świetlnych od najbliższej gwiazdy

ZASADA BEZWŁADNOŚCI

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

Arystoteles

Pogląd Arystotelesa wynikał z codziennych obserwacji: przecież skrzynia się zatrzymuje, gdy przestajemy ją pchać po podłodze. Dziś wiemy, że dzieje się tak nie z powodu braku zewnętrznej siły, ale na skutek działania siły tarcia, jednak wtedy tego pojęcia nie znano.



Galileusz

Bliski odkrycia zasady bezwładności był Galileusz. Nie umiał jednak pogodzić wniosków ze swoich obserwacji z faktem, że Ziemia jest kulista, więc w ogóle nie jest na niej możliwy ruch po linii prostej. Dziś wiemy, że gdy ciało porusza się na tak dużą odległość, że kształt Ziemi ma znaczenie, tor jego ruchu zakrzywia się wskutek działania siły ciężkości. Jednak Galileusz nie znał pojęcia siły ciężkości.



Newton

W ten sposób przez setki lat nieznajomość jednych praw i pojęć fizyki uniemożliwiała odkrycie innych. Przełomowy krok uczynił Izaak 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 spójny obraz.



Pierwsza zasada dynamiki

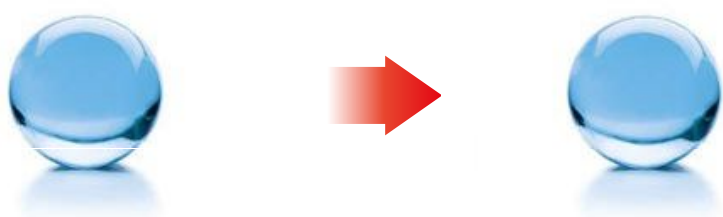
Ruch jednostajny jest ważnym rodzajem ruchu nie tylko dlatego, że najprościej go opisać, lecz także dlatego, że to właśnie tak może się poruszać ciało, gdy działająca na nie siła wypadkowa jest równa zero. Mówi o tym **pierwsza zasada dynamiki**, sformułowana przez Izaaka Newtona.

Jeśli na ciało nie działa siła albo działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w stanie spoczynku lub w stanie ruchu jednostajnego po linii prostej.

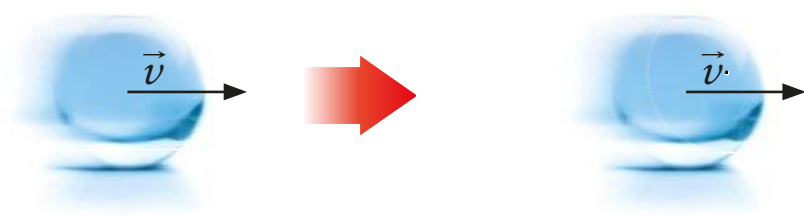
Cechę ciała powodującą, że trudno zmienić jego prędkość, nazywamy bezwładnością. Dlatego pierwszą zasadę dynamiki nazywamy także **zasadą bezwładności**.

Co się dzieje z ciałem, gdy siła wypadkowa jest równa zero

Jeśli ciało spoczywało, nadal będzie **spoczywać**.



Jeśli ciało się poruszało, nadal będzie się **poruszać** z tą samą prędkością co wcześniej.



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 zero, 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.
- Ruch jednostajny prostoliniowy jest ważnym przykładem ruchu dlatego, że zachodzi wtedy, gdy wypadkowa sił działających na ciało jest równa zero.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

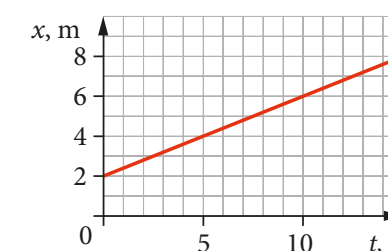


1. Przeanalizuj wykres i wykonaj polecenia.

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

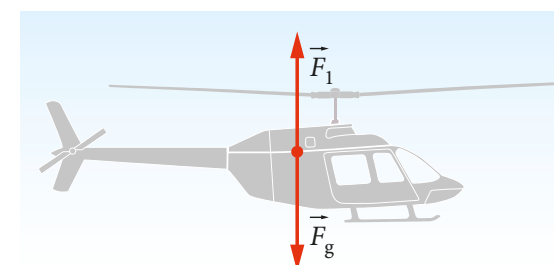
b) Odczytaj, jaką drogę przebyło ciało pomiędzy tymi momentami.

c) Oblicz prędkość, z jaką poruszało się ciało.



2. Narysuj w jednym układzie współrzędnych wykresy zależności drogi od czasu $s(t)$ dla dwóch ciał, z których jedno porusza się z prędkością $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a drugie – z prędkością $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

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



- a) Jak w kierunku pionowym może się poruszać helikopter? Wskaż wszystkie możliwości.

- A. Wisi bez ruchu w powietrzu.
 B. Porusza się coraz szybciej w dół.
 C. Porusza się ze stałą prędkością w dół.
 D. Porusza się coraz szybciej w górę.
 E. Porusza się ze stałą prędkością w górę.
 b) Oblicz wartość i podaj kierunek wypadkowej obu sił.
 c) Czy helikopter będzie się wznosił czy opadał, jeśli początkowo był w stanie spoczynku?

4. i) Przeczytaj tekst w ramce „Z historii” na s. 57. Do zdań A–D dobierz właściwe zakończenia spośród I–V. Zapisz w zeszycie uzupełnione poprawnie zdania.

- 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 siły tarcia.
 V. ...nie znał pojęcia siły ciężkości.

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

7 Ruch jednostajnie zmienny



Prędkość maksymalna pociągu Pendolino wynosi $250 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Czy masz szansę prześcignąć go na rowerze?

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. Pamiętaj, że nadal zajmujemy się tylko ruchem prostoliniowym.

Doświadczenie 4.

Badanie ruchu ciała pod wpływem niezrównoważonej siły

1. Przygotuj ok. 60 cm nitki i dwa pudełka od zapalek. Do wewnętrznej części każdego z nich przyklej taśmą klejącą jeden z końców nitki (zdjęcie A).
2. Nasuń do połowy zewnętrzną część pudełek. Do każdego z nich włóż dwie monety 1 zł, a następnie zamknij pudełka.
3. Jedno pudełko połóż na stole i przytrzymaj. Drugie niech zwisa ze stołu na nitce (zdjęcie B) – jeśli będzie się kołysać, zatrzymaj ten ruch.



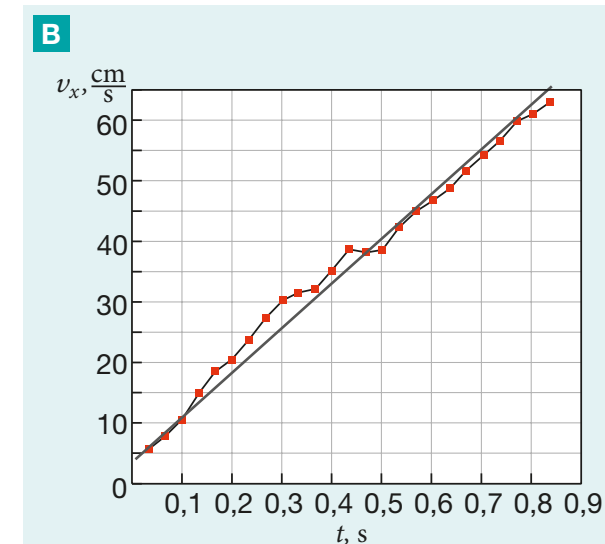
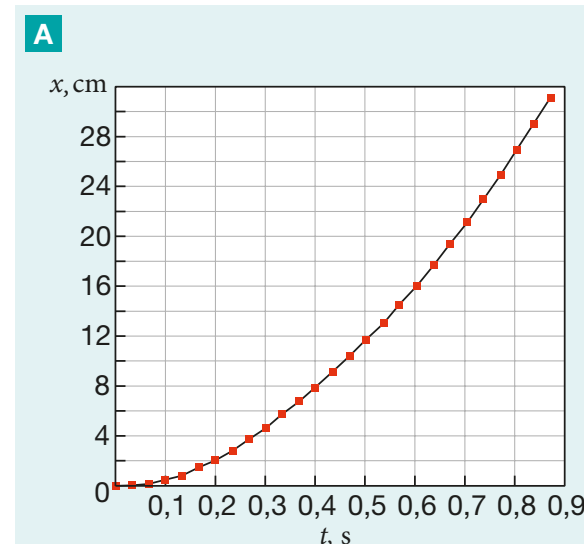
4. Puść pudełka. Jeśli pozostają nieruchome, włóż kolejne monety do wiszącego pudełka. Jeśli się poruszają – sfilmuj telefonem komórkowym ruch pudełka na stole.
5. Skopiuj film do komputera. Przeanalizuj za pomocą programu Tracker, jak się zmienia prędkość pudełka (opis programu w projekcie → **Sfilmuj i zbadaj**, s. 84–85).

Uwaga. Zachowaj pudełka – przydadzą się do kolejnych doświadczeń.

Analiza wyników doświadczenia

Przeanalizujemy wyniki naszego doświadczenia, czyli wykresy otrzymane w programie Tracker. Na początek omówimy wykres A zależności położenia od czasu $x(t)$.

- ▶ Zauważmy, że wykres ten nie jest linią prostą. Nic w tym dziwnego – podczas doświadczenia mogliśmy 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 $v(t)$. Aby otrzymać taki wykres w programie Tracker, wybieramy $v_x(t)$, ponieważ badane ciało poruszało się w kierunku wyznaczanym przez oś x .

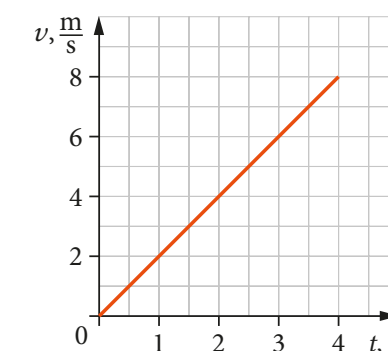


▲ Wyniki doświadczenia: **A** wykres $x(t)$, **B** wykres $v_x(t)$ z dorysowaną (ręcznie) prostą przechodzącą w pobliżu punktów pomiarowych

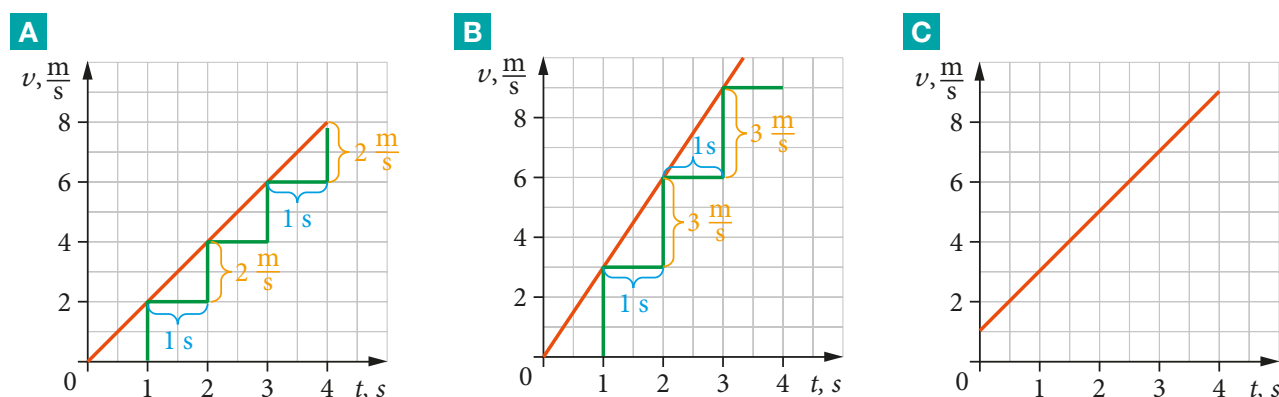
Na wykresie B widzimy, że punkty odpowiadające wynikom pomiaru prędkości układają się **na linii prostej** (w przybliżeniu, ponieważ każdy pomiar jest obarczony niepewnością). Dorysowaliśmy zatem tę prostą – przyłożyliśmy przezroczystą linijkę i ustawiliśmy ją tak, aby jej brzeg leżał jak najbliżej zaznaczonych punktów i przechodził przez początek układu współrzędnych.

Przyspieszenie i ruch jednostajnie zmienny

Co oznacza fakt, że w analizowanym ruchu wykres zależności prędkości od czasu $v(t)$ jest linią prostą? Prześledźmy to na wykresach na następnej stronie, w których dane liczbowe są łatwe do analizy.



▲ Wykres zależności prędkości od czasu $v(t)$ w ruchu jednostajnie zmiennym



▲ Wykres zależności prędkości od czasu $v(t)$ w ruchu pod wpływem niezrównoważonej siły

Na rysunku A do wykresu dorysowano schodki, które pozwalają zauważyć, że w ciągu każdej sekundy prędkość zwiększała się zawsze o tyle samo, a mianowicie o $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wysokość schodka odpowiada zatem przyrostowi prędkości w czasie 1 s. Przyrost prędkości w jednostce czasu opisuje wielkość fizyczna, którą nazywamy przyspieszeniem.

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

Ruch jednostajnie zmienny to ogólna nazwa obejmująca zarówno ruch **jednostajnie przyspieszony**, jak i ruch **jednostajnie opóźniony**.

Różne wykresy ruchu zmiennego

Popatrz teraz na wykres B. Tym razem w każdej sekundzie ciało zwiększało prędkość o $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jak widzisz, większemu przyspieszeniu odpowiada bardziej stromy wykres. Wykresy A i B dotyczą ruchu, w którym w chwili $t = 0$ s prędkość wynosiła $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a więc ciało ruszało ze stanu spoczynku. Może być też tak, że w momencie, od którego zaczynamy obserwować ruch, ciało już się porusza – tak było w sytuacji ukazanej na wykresie C, w której prędkość początkowa wynosiła $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Kiedy zachodzi ruch jednostajnie zmienny

Ruch jednostajnie zmienny to ważny rodzaj 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.

A to ciekawe

Pociąg rozwija prędkość niedostępną dla rowerzysty. Jednak rozpędza się ze znacznie mniejszym przyspieszeniem, więc na krótkim dystansie, np. 50 m, rowerzysta mógłby go wyprzedzić.



Ruch prostoliniowy

jednostajny

- ▶ Siła wypadkowa $F_w = 0$ N.
- ▶ Prędkość jest stała: $v = \text{const.}$
- ▶ Przyspieszenie $a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Przykłady: marsz, bieg czy jazda samochodem ze stałą prędkością po prostej drodze; lot sondy kosmicznej z dala od ciał niebieskich.

jednostajnie zmienny

- ▶ Siła wypadkowa jest stała: $F_w = \text{const.}$
- ▶ Prędkość zmienia się w każdej sekundzie o tyle samo.
- ▶ Przyspieszenie jest stałe: $a = \text{const.}$
- ▶ Przykłady: spadek bez oporu powietrza, zsuwanie się kostki lodu z pochyłego stołu, rozpędzanie się tramwaju.

Przykład 1

Obliczanie przyspieszenia i rysowanie wykresu

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

- Oblicz przyspieszenie, z jakim poruszał się pociąg.
- Narysuj wykres zależności prędkości od czasu.

Dane:

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

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

$$\Delta t = 20 \text{ s}$$

Szukane:

$$a = ?$$

wykres $v(t)$

Wypisanie danych i szukanych często ułatwia analizę zadania.

Rozwiązanie:

Obliczanie przyspieszenia

Prędkość pociągu wzrosła od $v_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $v_2 = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, czyli o $\Delta v = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ten przyrost prędkości nastąpił w ciągu $\Delta t = 20$ s. Na każdą sekundę przypadał przyrost prędkości o $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, ponieważ $30 : 20 = 1,5$.

Te obliczenia możemy zapisać w postaci:

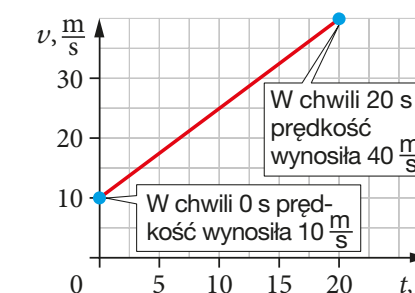
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{30 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20 \text{ s}} = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Wzór posłuży także w innych podobnych zadaniach.

Wykres prędkości

W przypadku ruchu jednostajnie przyspieszonego wykres $v(t)$ jest linią prostą. Aby narysować prostą, wystarczy znaleźć dwa leżące na niej punkty. Zaznaczamy więc punkty odpowiadające chwilom i prędkościom opisanym w zadaniu, a następnie łączymy je linią prostą.

Odpowiedź: Pociąg poruszał się z przyspieszeniem $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Szukany wykres przedstawiono powyżej.



Obliczanie przyspieszenia

Z powyższego przykładu wynika, że przyspieszenie możemy obliczać ze wzoru:

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

zmiana prędkości
czas, w jakim nastąpiła zmiana prędkości

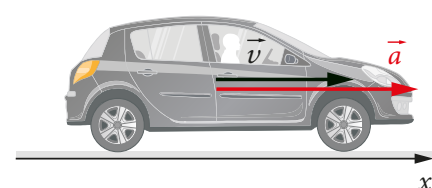
prędkość końcowa
prędkość początkowa

Wektor przyspieszenia w ruchu prostoliniowym

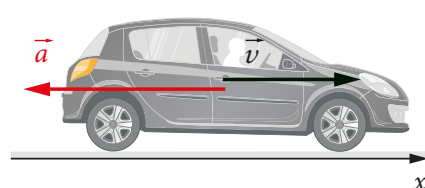
Przyspieszenie, podobnie jak prędkość i siła, jest **wielkością wektorową**.

- ▶ Gdy prędkość się zwiększa, czyli gdy ciało się rozpędza, wektor przyspieszenia jest zwrócony w stronę, w którą ciało się porusza (rys. A).
- ▶ Gdy prędkość się zmniejsza, czyli gdy ciało hamuje, wektor przyspieszenia jest zwrócony w przeciwną stronę niż ta, w którą ciało się porusza (rys. B).

A Ruch przyspieszony – rozpędzanie



B Ruch opóźniony – hamowanie



▲ Zwrot przyspieszenia: **A** przy rozpędzaniu się, **B** podczas hamowania

Przykład 2

Wyznaczanie przyspieszenia 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:

$$v_p = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_k = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta t = 40 \text{ s}$$

Szukane:

$$a = ?$$

wykres $v(t)$

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na przyspieszenie:

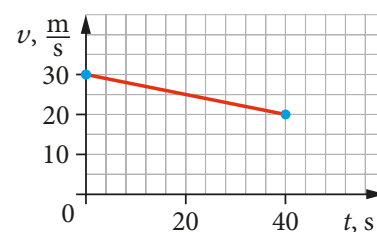
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_k - v_p}{\Delta t}$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

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

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

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



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

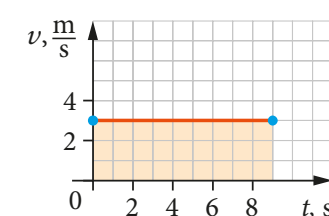
Obliczanie drogi na podstawie wykresu zależności prędkości od czasu

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 $v(t)$ – patrz diagramy poniżej.

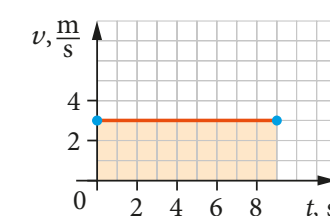
Ruch jednostajny

1. Przykładowe dane



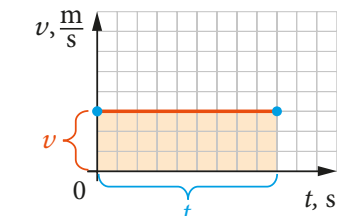
- ▶ Ciało poruszało się przez 9 s z prędkością $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Przebyło więc drogę $s = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9 \text{ s} = 27 \text{ m}$. Zacięniowany prostokąt także ma pole 27, ponieważ jego boki mają długości 3 i 9.

2. Jednostka



- ▶ Długość pionowego boku tej figury $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, natomiast długość poziomego boku $t = 9 \text{ s}$.
- ▶ Wynikiem mnożenia tych wielkości jest zatem nie sama liczba 27, ale wielkość 27 m.

3. Ogólna zasada



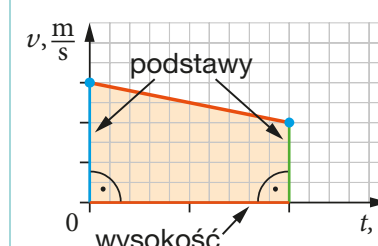
- ▶ Dla dowolnego czasu t i dowolnej prędkości v jest analogicznie. Zacięniowany prostokąt ma boki długości v i t , więc jego pole vt jest równe drodze:

$$s = vt$$

pokonanej przez ciało.

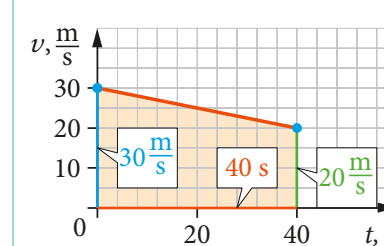
Ruch jednostajnie zmienny

1. Kształt figury



- ▶ Zacięniowany obszar pod wykresem $v(t)$ to trapez prostokątny (jeśli tego nie dostrzegasz, obróć książkę o 90°).

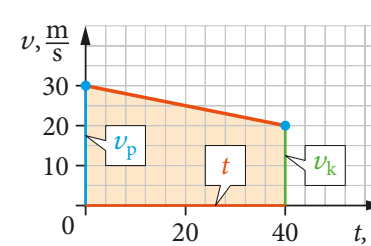
2. Przykładowe dane



- ▶ Droga = pole obszaru pod wykresem:
$$s = \frac{30 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} \cdot 40 \text{ s}$$

$$s = 1000 \text{ m}$$

3. Ogólna zasada



- ▶ Drogę przebytą przez ciało obliczamy ze wzoru na pole trapezu

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

Metoda z wykresem jest przydatna do wyznaczania drogi w każdym rodzaju ruchu. W ruchu jednostajnie zmiennym możemy także użyć wzoru na drogę, wyprowadzonego na poprzedniej stronie (diagram):

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

prędkość początkowa droga $v_p + v_k$ $s = \frac{v_p + v_k}{2} \cdot t$ v_k czas prędkość końcowa

W przypadku gdy prędkość początkowa ciała wynosi zero, nasz wzór przyjmuje prostszą postać $s = \frac{1}{2} v_k t$. Prędkość końcową obliczamy wtedy jako $v_k = at$. Zatem:

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

przyspieszenie

Zwróćmy uwagę, że ten ostatni wzór dotyczy **tylko** sytuacji, gdy prędkość początkowa ciała (jego prędkość w chwili zerowej) jest równa zero.

To najważniejsze:

- ▶ **Przyspieszenie** to wielkość opisująca, jak szybko zmienia się prędkość ciała.
- ▶ Przyspieszenie obliczamy ze wzoru: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_k - v_p}{\Delta t}$, gdzie: Δv – zmiana prędkości, v_k – prędkość końcowa, v_p – prędkość początkowa, Δt – czas, w jakim ona się zmieniała.
- ▶ 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 ZESZCIE



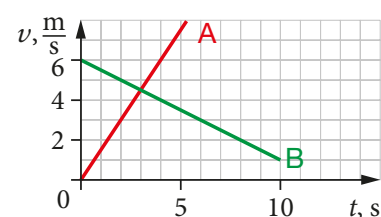
1. **P1** Z jakim przyspieszeniem poruszał się pociąg towarowy, jeśli rozpędzenie się od $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ zajęło mu pół minuty?

- A. $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ B. $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
C. $12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ D. $24 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

2. Samolot leciał z prędkością $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a następnie przez 30 s rozpędzał się z przyspieszeniem $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

- a) Jaką prędkość osiągnął?
b) Jaką drogę przebył w czasie rozpędzania?

3. W układzie współrzędnych przedstawiono wykresy zależności prędkości od czasu $v(t)$ 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 $t = 2 \text{ s}$?
c) **P2** Odczytaj z wykresu przyspieszenie każdego z pojazdów.
d) Oblicz drogę przebytą przez samochód B w czasie przedstawionym na wykresie (od chwili $t = 0 \text{ s}$ do chwili, gdy wykres się urywa).
e) Kiedy auta poruszały się z jednakową prędkością? Ile ona wynosiła?

8 Druga zasada dynamiki



Piłka ma kontakt z butem przez bardzo krótki czas, dlaczego więc rozpędza się do dużej prędkości?

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?

Zależność przyspieszenia od siły

Doświadczenie 5.

Badanie zależności przyspieszenia od masy ciała i wartości siły

- Powtórz doświadczenie ze s. 60, jednak tym razem wykonaj je trzykrotnie:
 - dla 2 monet w pudełku wiszącym i 2 monet w pudełku na stole,
 - dla 2 monet w pudełku wiszącym i 1 monety w pudełku na stole,
 - dla 3 monet w pudełku wiszącym i 1 monety w pudełku na stole.

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

- 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 wykresy zależności $v(t)$ dla wszystkich badanych sytuacji i oceń na ich podstawie, w którym przypadku przyspieszenie było większe (opis programu Tracker w projekcie → **Sfilmuj i zbadaj**, s. 84–85).



**Wskazówki:**

- ▶ Zwróć uwagę, że w przypadkach a) i b) siła rozpędzająca pudełko jest identyczna – równa sile ciężkości działającej na pudełko z 2 monetami. Jednak masy układów są inne.
- ▶ W przypadkach a) i c) równe są całkowite masy układu, ponieważ w ruch przyspieszony są wprawione oba pudełka i ich zawartość, a monety tylko przekładamy między pudełkami. Inna jest natomiast w każdym przypadku siła rozpędzająca układ.

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, ile razy większa jest ta siła, np. dwa razy większa siła wywoła dwa razy większe przyspieszenie. Taką zależność nazywamy proporcjonalnością prostą (patrz → **Dodatek matematyczny 11**, s. 243).

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

Przeanalizuj diagram, aby lepiej zapamiętać, jaki jest związek między siłą działającą na ciało a uzyskiwanym przez nie przyspieszeniem, jeśli masa się nie zmienia.



Duża siła pozwala w krótkim czasie zmienić prędkość ciała. Z taką sytuacją mamy do czynienia na przykład wtedy, gdy mocno kopniemy piłkę. Mniejszą siłą także moglibyśmy nadać jej dużą prędkość, ale trwałoby to dłużej.

■ Zależność przyspieszenia od masy

Doświadczenie z poprzedniej strony pozwoliło nam także zaobserwować, że gdy masa ciała jest większa, siła wywołuje jego mniejsze przyspieszenie. Można stwierdzić, że gdybyśmy **zwiększyli** masę trzy albo cztery razy, to tyle samo razy **mniejsze** byłoby przyspieszenie. W takiej sytuacji mówimy o proporcjonalności odwrotnej (patrz → **Dodatek matematyczny 12**, s. 244).

Przyspieszenie ciała jest odwrotnie proporcjonalne do jego masy.

Przypomnijmy, że właściwość ciała polegająca 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. Pozwala to porównywać bezwładność różnych ciał.



■ 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 wartości 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:

$$\text{przyspieszenie} \rightarrow a = \frac{F}{m} \quad \begin{array}{l} \text{siła wypadkowa} \\ \text{masa ciała} \end{array}$$

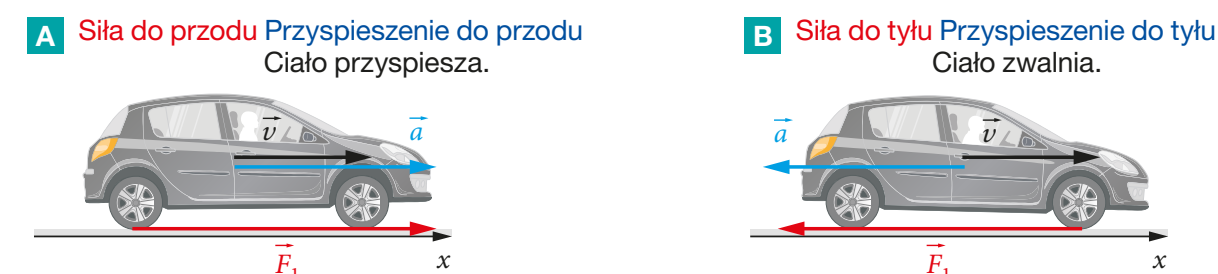
Druga zasada dynamiki zawiera bardzo dużo informacji. Przeanalizujemy je stopniowo.

■ Co wynika z drugiej zasady dynamiki

Wzór $a = \frac{F}{m}$ zgadza się z naszymi wcześniejszymi wnioskami.

$$\begin{array}{l} \text{Im większy mianownik ułamka,} \\ \text{tym mniejsza wartość ułamka,} \\ \text{np. } \frac{1}{3} < \frac{1}{2} \end{array} \quad a = \frac{F}{m} \quad \begin{array}{l} \text{Im większy licznik ułamka,} \\ \text{tym większa wartość ułamka,} \\ \text{np. } \frac{2}{3} > \frac{1}{3} \end{array}$$

Powiedzieliśmy też, że kierunek i zwrot przyspieszenia są zgodne z kierunkiem i zwrotem siły. W przypadku ruchu prostoliniowego mamy tylko dwie możliwości przedstawione na rysunkach A i B poniżej.



▲ Zwrot siły i przyspieszenia podczas: **A** przyspieszania, **B** hamowania samochodu. Zwrot przyspieszenia jest taki sam jak zwrot siły

Spadek swobodny

Przypomnij sobie 12 → s. 9

Przykładem ruchu pod wpływem stałej siły jest **spadek swobodny**, czyli ruch ciała spadającego pod wpływem siły ciężkości (bez oporu 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, tym większa siła ciężkości

Wynik niezależny od masy

Im większa masa, tym większa bezwładność

Na przykład na ciało o masie 2 kg działa siła ciężkości ok. 20 N, a na ciało o masie 3 kg działa siła ciężkości ok. 30 N. W obu przypadkach $a = \frac{20 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = \frac{30 \text{ N}}{3 \text{ kg}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = g$. Jak widzisz, wszystkie ciała spadają swobodnie z tym samym przyspieszeniem g . Różnice w spadaniu wynikają tylko z oporu powietrza.

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:

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

$$\Delta t = 4 \text{ s}$$

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

Szukane:

$$F_w = ?$$

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:

$$F = m \cdot a$$

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:

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

Obliczoną wartość podstawiamy do wzoru na przyspieszenie:

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

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

$$a = \frac{F}{m} \quad | \cdot m \text{ zatem}$$

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

$$ma = F$$

Jeśli masz problem z przekształcaniem wzorów – patrz → **Dodatek matematyczny 9**, s. 242.

$2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ 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.

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 ZESZCIE

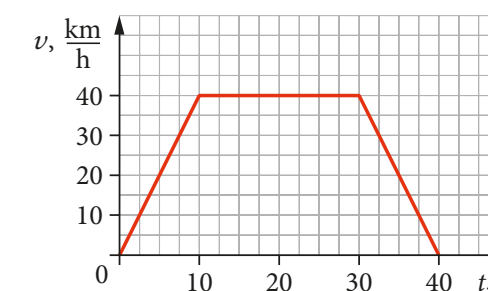


- Wózek sklepowy z zakupami ma masę 10 kg. Popychamy go siłą 20 N. Oblicz przyspieszenie, jakie uzyska wózek.
- P** Samochód o masie całkowitej 1600 kg wyjechał na autostradę i w czasie 20 s rozpędził się od $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $140 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz wartość siły, która powodowała rozpędzanie samochodu.
- 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 $70 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, czyli aż $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Oblicz średnie przyspieszenie piłki, która osiągnęła taką prędkość, oraz średnią wartość działającej na nią siły. Podaj przykład ciała o ciężarze równym tej sile.

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

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



Określ wartość siły wypadkowej działającej na tramwaj podczas:

- przyspieszania,
- jazdy ze stałą prędkością,
- hamowania.

Uwaga. Pamiętaj o zamianie jednostek prędkości.

- Piłkę tenisową upuszczono z wysokości 1,25 m. Jak długo będzie spadać? Wskaż poprawną odpowiedź.

- A. 0,25 s C. 1 s
B. 0,5 s D. 2 s



Delfiny to ssaki, dlaczego więc wyglądają jak ryby?

Cele lekcji:

- Zbadasz, jaki jest wpływ siły tarcia i oporów ośrodka na ruch ciał.
- Sprawdzisz, od czego zależy siła tarcia.
- Ustalisz, od czego zależy opór powietrza.

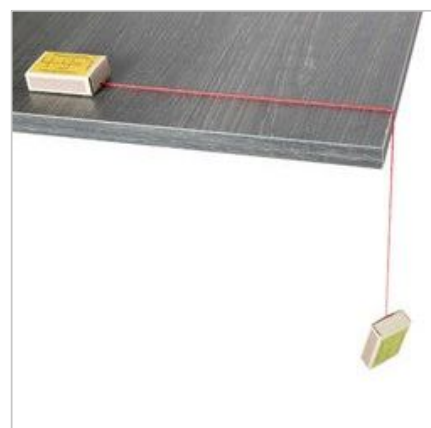
■ Dlaczego ciała zwykle w końcu się zatrzymują

Wyobraź sobie, że jedziesz na rowerze i w pewnej chwili przestajesz pedałowac. Wiadomo, że nie zatrzymasz się natychmiast. Jest to zgodne z pierwszą zasadą dynamiki. 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 (→ **Przypomnij sobie 13**, s. 10) zaczniemy od wykonania doświadczenia.

Doświadczenie 6.

Badanie czynników wpływających na siłę tarcia

1. Przygotuj ponownie układ doświadczenia znany z poprzednich dwóch lekcji. Tym razem jednak w wiszącym pudełku nie umieszczaj żadnych monet, a w pudełku na stole – dwie monety 1 zł.
Uwaga. Jeśli pudełko porusza się po stole, włóż do niego jeszcze więcej takich monet.
2. Do wiszącego pudełka włóż monetę 1 gr. Czy pudełko zaczęło 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. Zaczynaj je popychać. Czy gdy przestaniesz, będzie ono kontynuować ruch?
4. Włóż do pudełka na stole jeszcze więcej monet, a następnie wykonaj ponownie czynności opisane w punkcie 2. Czy teraz do poruszenia pudełka potrzeba więcej czy mniej jednogroszówek niż poprzednio?
5. Powtórz czynności z punktu 2. Tym razem do pudełka na stole włóż tyle samo monet, ile 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** (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, że jest to **tarcie statyczne**.



▲ Ilustracje do analizy doświadczenia 6. Dla czytelności rysunku nie zaznaczono wszystkich działających sił

Porównajmy rysunki A i B zamieszczone powyżej. Widzimy, że gdy sznurek ciągnie pudełko większą **siłą**, **siła tarcia** dostosowuje się do niej i także się zwiększa. Będzie rosła do momentu osiągnięcia maksymalnej możliwej wartości. Gdy to się stanie – układ się poruszy.

Siła tarcia rośnie wraz z siłą próbującą poruszyć ciało. Gdy osiągnie swoją maksymalną wartość, przestaje się zwiększać, a ciało zaczyna się poruszać.

Siła tarcia działa także na poruszające się ciało. Mówimy wtedy o **tarcu kinetycznym**. W punkcie trzecim doświadczenia pudełko pozostawało nieruchome. Gdy je poruszyliśmy, nie zatrzymało się, ale kontynuowało swój ruch. Najwyraźniej siła, jaką ciągnęła je nitka, była zbyt mała, aby pudełko wprawić w ruch, ale wystarczała, aby je w tym ruchu utrzymać.

To oznacza, że aby utrzymać ciało w ruchu, musimy pokonać siłę mniejszą niż wtedy, gdy chcemy je poruszyć. Wynika stąd, że siła tarcia kinetycznego jest mniejsza niż maksymalna siła tarcia statycznego.

■ Czynniki wpływające na siłę tarcia

Na podstawie doświadczenia 6. możemy stwierdzić, 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.

Natomiast nie zależą (dla danych ciał) od pola powierzchni stykających się obszarów (patrz rys. A).

Przyczyną występowania tarcia są zaczepiające o siebie nierówności powierzchni stykających się ciał (patrz rys. B obok). 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 cieczy.

■ Dzięki tarcia możemy się poruszać

Wiesz już, że tarcie może uniemożliwić lub przynajmniej utrudnić ruch ciała. Teraz powiemy o sytuacjach, kiedy siła tarcia pozwala nam się poruszać.

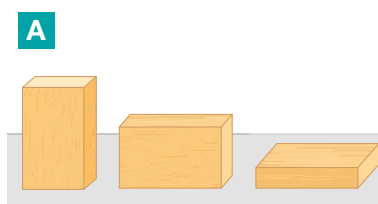
Jak wiesz, nie możesz się wprawić w ruch, działając siłą na samego siebie (→ **Jak wprawić w ruch samego siebie**, s. 38–39). Musisz zadziałać siłą na inne ciało, a ono odpowie ci siłą reakcji, wprawiającą cię w ruch.

Tak właśnie jest w przypadku chodzenia. Wyobraź sobie człowieka stojącego w butach na podłodze. Co ma zrobić, aby pójść do przodu? Powinien spróbować odepchnąć podłogę podeszwą buta. Jeśli podłoga nie jest bardzo śliska, podeszwa nie przesunie się względem podłogi z powodu działającej między nimi siły tarcia.

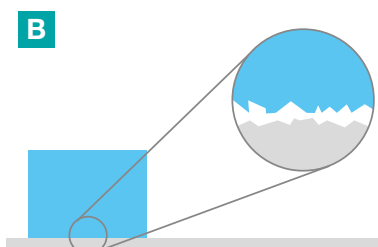
Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki w opisanej sytuacji występują dwie siły tarcia: **stopa pcha podłogę do tyłu**, a **podłoga pcha stopę do przodu** (patrz rys. C wyżej).

Podobnie jest w przypadku samochodów i innych pojazdów. **Opona pcha asfalt do tyłu**, więc **asfalt popycha oponę do przodu**, a wraz z nią – cały pojazd (rys. D).

O tym, że siła tarcia jest nam niezbędna do poruszania, można łatwo się przekonać, gdy próbujemy iść albo jechać po lodzie.



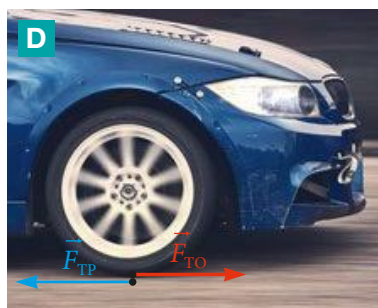
▲ Tarcie klocka o stół nie zależy od tego, na której ścianie go postawimy



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



▲ Dzięki sile tarcia $\vec{F}_{TN}$ działającej na nogę możliwy jest ruch człowieka



▲ Dzięki sile tarcia $\vec{F}_{TO}$ działającej na oponę samochód może przyspieszać

■ Od czego zależy siła oporu ośrodka

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

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

Siła oporu ośrodka zależy od:

- ▶ **rodzaju ośrodka** – jest większa np. w wodzie niż w powietrzu, a jeszcze większa w smole,
- ▶ **prędkości** – im szybciej porusza się ciało, tym większy jest opór ośrodka,
- ▶ **kształtu i rozmiarów ciała** – ten czynnik zbadamy w doświadczeniu.

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 zeszytach.



Płaska kartka opada powoli, ponieważ ze swojej drogi musi usuwać dużą liczbę cząsteczek powietrza.

Gdy tę samą kartkę zgnieciemy, spadnie szybciej. Opór powietrza będzie w tym przypadku mniejszy, ponieważ na drodze kulki znajduje się mniej cząsteczek powietrza, które stawiają jej opór. Właśnie dlatego szybkie samochody muszą mieć aerodynamiczny kształt.

■ Kształt ciała a opór ośrodka

Kształt ciała ma też duże znaczenie w przypadku ruchu w wodzie lub po jej powierzchni. Zarówno łodzie, jak i zwierzęta morskie mają opływowy kształt, zmniejszający opór. Właśnie dlatego delfiny i wieloryby, choć są ssakami i pochodzą od zwierząt lądowych, w procesie ewolucji upodobniły się do ryb.



▲ Wąski i opływowy kształt kajaka pozwala zmniejszyć opór wody

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, kształtu i rozmiarów ciała**.

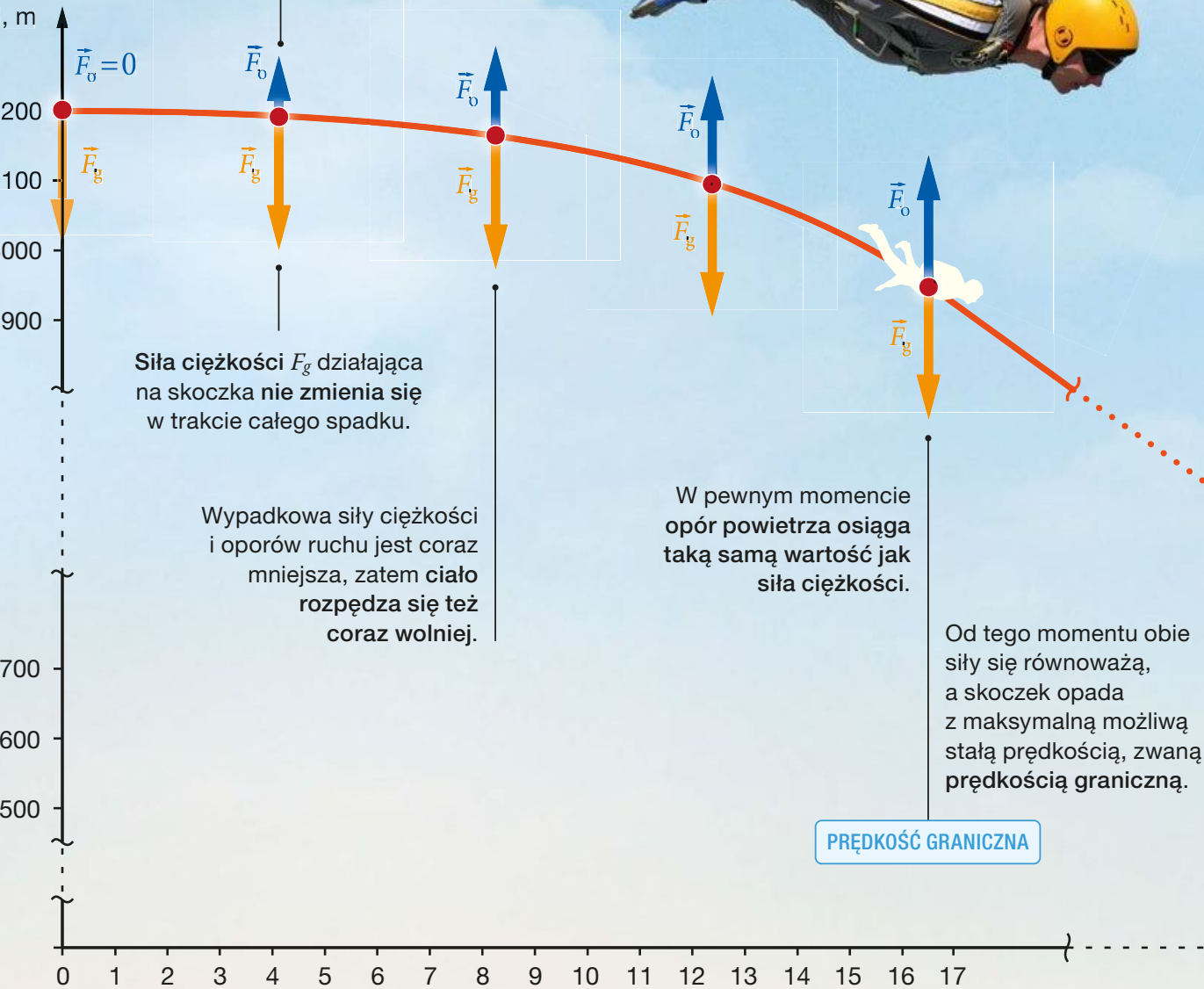
OPÓR POWIETRZA A SPADANIE CIAŁ

Jak to możliwe, że małe zwierzęta, takie jak mrówka lub konik polny, mogą spaść z dowolnej wysokości i nic im się nie stanie, a dla zwierzęcia wielkości królika upadek z kilkunastu metrów jest już bardzo niebezpieczny? Dlaczego człowiek do bezpiecznego lądowania z dużych wysokości potrzebuje spadochronu?

Gdyby nie było oporów powietrza, wszystkie obiekty spadałyby z jednakowym przyspieszeniem, wynoszącym $9,81 \frac{m}{s^2}$. Upuszczone z takiej samej wysokości, uderzałyby w ziemię po takim samym czasie i z taką samą prędkością niezależnie od swojej masy czy rozmiaru. Tymczasem w powietrzu ciężar i rozmiar spadającego obiektu odgrywają istotną rolę.

CO SIĘ DZIEJE W TRAKCIE SKOKU SPADOCHRONOWEGO?

Siła oporu powietrza $\vec{F}_o$ zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości spadającego obiektu. Wypadkowa tej siły oraz siły ciężkości $\vec{F}_g$ nadaje ciału przyspieszenie.



PRĘDKOŚCI SPADANIA CZŁOWIEKA I ZWIERZĄT

Prędkość spadania ustala się, gdy siła oporu równoważy ciężar. Siła oporu powietrza zależy m.in. od wielkości powierzchni, na którą działa, oraz od prędkości opadania. Im większe zwierzę, tym większy jego ciężar oraz rozmiary, ale ciężar przyrasta znacznie szybciej niż powierzchnia ciała, na którą działają opory powietrza i dlatego równowaga sił następuje przy większych prędkościach.

Prędkości graniczne

skoczek w pozycji głową do ziemi

ok. $75 \frac{m}{s}$ (ok. $250 \frac{km}{h}$)

skoczek w pozycji brzuchem do ziemi

ok. $55 \frac{m}{s}$ (ok. $200 \frac{km}{h}$)

kot

ok. $30 \frac{m}{s}$ (ok. $110 \frac{km}{h}$)

wiewiórka

ok. $10-12 \frac{m}{s}$ (ok. $38 \frac{km}{h}$)

skoczek z otwartym spadochronem

$6-8 \frac{m}{s}$ (ok. $20-25 \frac{km}{h}$)

mrówka

$1,8 \frac{m}{s}$ (ok. $20-25 \frac{km}{h}$)

Dlatego właśnie małe zwierzęta, takie jak mrówka lub konik polny, mogą bezpiecznie spaść z dużej wysokości, podczas gdy dla cięższych zwierząt upadek może być bardzo niebezpieczny.

Otwarcie spadochronu sprawia, że opór powietrza działa na większą powierzchnię – siła oporu gwałtownie wzrasta i wyhamowuje skoczka.

Prędkość opadania maleje, co sprawia, że zmniejsza się też siła oporów powietrza.

PRĘDKOŚĆ GRANICZNA

Skoczek z otwartym spadochronem zwalnia do takiej prędkości, przy której obie siły znów się równoważą. Z taką prędkością skoczek opada do momentu lądowania



Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYTE



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

- A. Tarcie jest tym większe, im większy jest nacisk ciała na podłoże.
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. Aby przesunąć szafę, najlepiej ją wcześniej opróżnić.

2. Piłeczka o masie 5 g spada z dużej wysokości. Po pewnym czasie osiąga stałą prędkość. Jaka jest wtedy wartość siły oporu powietrza?

3. Popatrz na zdjęcia A i B. Dlaczego rower przeznaczony do wyścigów jest zaprojektowany tak, że kolarz jest mocno pochylony do przodu, a na rowerze turystycznym siedzi się prosto?



Doświadczenie domowe

Badanie siły oporów ruchu

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

- Wyznacz łączną masę swoją i roweru.
- Na równej, prostej ścieżce rowerowej rozpędź rower do $35 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Przestań pedałować i sprawdź, po jakim czasie prędkość zmniejszy się do $25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, po jakim – do $15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a po jakim – zwolnisz do $5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- Powtórz pomiary kilkakrotnie i oblicz średni wynik.
- Na podstawie wyników swoich pomiarów oblicz średnią siłę oporów ruchu działającą podczas zmiany prędkości od $35 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Przyjmij w przybliżeniu, że taka była siła przy prędkości $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, stanowiącej średnią arytmetyczną prędkości początkowej i końcowej.
- W analogiczny sposób wyznacz siłę oporów ruchu dla prędkości $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ oraz $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- Przedstaw wyniki na wykresie zależności siły oporów ruchu od prędkości.



10 Siły bezwładności



Jakaś siła ciągnie do przodu kierowcę hamującego samochodu. Skąd się ona bierze?

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.

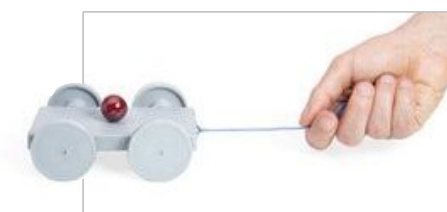
■ Hamowanie i przyspieszanie pojazdu

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 ciągnie nas do przodu. Takie siły nazywamy **siłami bezwładności**. Zbadajmy je teraz doświadczalnie.

Doświadczenie obowiązkowe

Badanie sił bezwładności

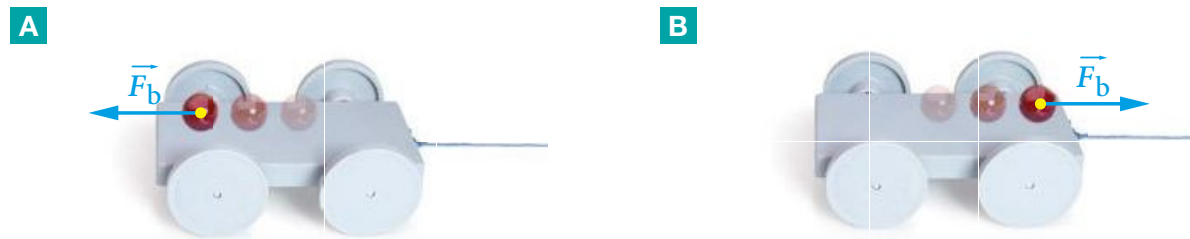
- Przygotuj mały wózek i umieść na nim szklaną lub metalową kulkę tak, aby mogła się swobodnie toczyć.
- Wpraw wózek gwałtownie w ruch. Co obserwujesz?
- Teraz wpraw wózek w ruch, ale przytrzymaj kulkę, aby się względem niego nie poruszała. Następnie puść kulkę i gwałtownie zatrzymaj wózek. Co się teraz dzieje z kulką?
- Powtórz doświadczenie i sfilmuj jego przebieg za pomocą kamery w telefonie umocowanej na wózku. Jak zaobserwowane zjawiska wyglądają na filmie?



■ Co widzi obserwator w pojeździe

Siły bezwładności w autobusie lub samochodzie zwykle obserwujemy wewnątrz pojazdu. W doświadczeniu z poprzedniej strony taką bezpośrednią obserwację umożliwił nam film z kamery znajdującej się na wózku. Nagranie pozwala stwierdzić, że kulka zachowuje się tak samo jak ciała znajdujące się w dużych pojazdach:

- ▶ Gdy wózek rusza do przodu, kulka zaczyna się toczyć do tyłu (względem wózka) – rys. A.
- ▶ Gdy wózek hamuje, kulka zaczyna się toczyć do przodu (względem wózka) – rys. B.



▲ Obserwator na przyspieszającym **A** albo hamującym **B** wózku widzi, że jakaś siła wprawia kulkę w ruch

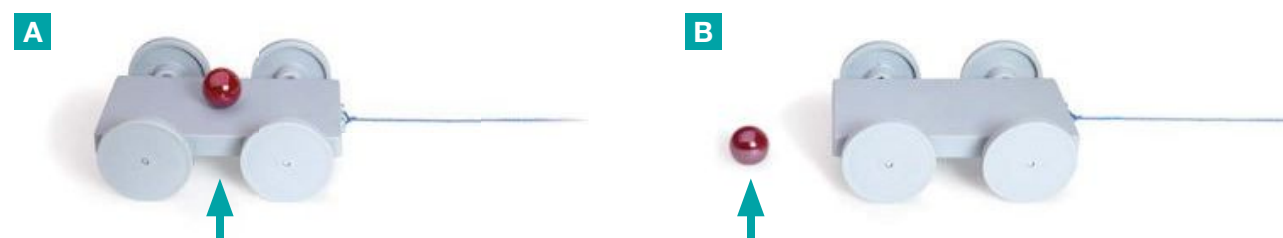
Do wprawienia ciała w ruch jest potrzebna siła. Możemy zatem wyciągnąć wniosek, że w przyspieszającym pojeździe pojawia się **siła skierowana do tyłu**, a w pojeździe hamującym – **siła skierowana do przodu**. Dokładnie to samo odczuwamy, gdy sami jesteśmy pasażerami pojazdów.

Nie możemy jednak odpowiedzieć na pytanie, co (jakie ciało) działa na kulkę albo pasażera siłą bezwładności. Aby wyjaśnić pochodzenie tej siły, musimy się odwołać do tego, co widzimy wtedy, gdy patrzymy na wózek z zewnątrz.

■ Co widzi obserwator z zewnątrz

Kiedy obserwujemy wózek z boku, widzimy zupełnie co innego niż na nagraniu, które zarejestrowała kamera umieszczona na pojeździe.

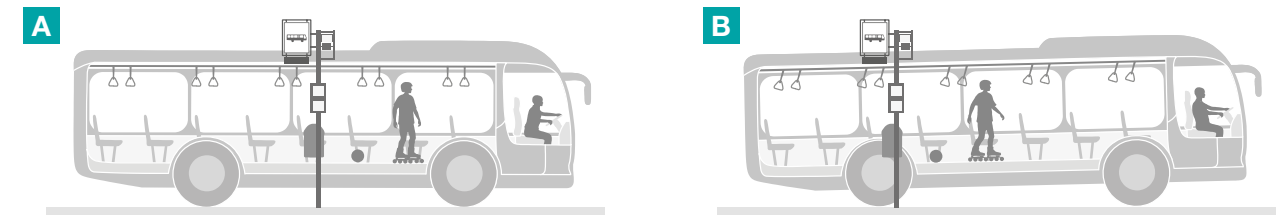
- ▶ Gdy wózek rusza, **kulka** po prostu zostaje na swoim miejscu (zaznaczonym strzałką).
- ▶ Gdy wózek hamuje, **kulka** jedzie dalej z tą samą prędkością.



▲ Obserwator zewnętrzny stwierdzi, że wózek odjechał, a **kulka** została na swoim miejscu (zaznaczonym strzałką)

Zatem zewnętrzny obserwator powie, że na **kulkę** nie działała żadna siła – przecież do tego, aby pozostać na swoim miejscu lub poruszać się ze stałą prędkością, nie jest potrzebna siła. Gdy więc patrzymy z zewnątrz, możemy powiedzieć, że **siła bezwładności** to tylko zjawisko wynikające z ruchu pojazdu.

W podobny sposób możemy wyjaśnić siły bezwładności działające w pojazdach, którymi się poruszamy, np. w ruszającym autobusie (patrz rysunek).



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

■ Układy inercjalne i nieinercjalne

Powiedzieliśmy niedawno, że opis ruchu ciała zależy od układu odniesienia. Okazuje się jednak, że nie wszystkie układy odniesienia są jednakowe. Możemy wśród nich wyróżnić **układy inercjalne**. Przeanalizuj diagram przedstawiający różnice między dwoma rodzajami układów odniesienia.



Siły bezwładności pozwolą opisać nasze odczucia i obserwacje w układzie nieinercyjnym. Jeśli jednak chcemy wyjaśnić, skąd się biorą, musimy przejść do układu inercyjnego.

Każde doświadczenie, w którym obserwujemy skutki działania sił bezwładności, można wyjaśnić również z punktu widzenia układu inercyjnego, czyli bez uwzględnienia tych sił.

✂ ■ Zwrot sił bezwładności

Gdy analizowaliśmy opisane wyżej sytuacje, zaobserwowaliśmy, że:

- ▶ gdy pojazd się rozpędza, siła bezwładności jest skierowana do tyłu,
- ▶ gdy pojazd hamuje, siła bezwładności jest skierowana do przodu.

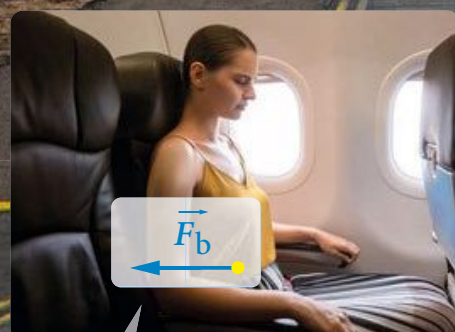
Możemy to podsumować w jednym stwierdzeniu: **zwrot siły bezwładności jest zawsze przeciwny do zwrotu przyspieszenia układu nieinercyjnego**.



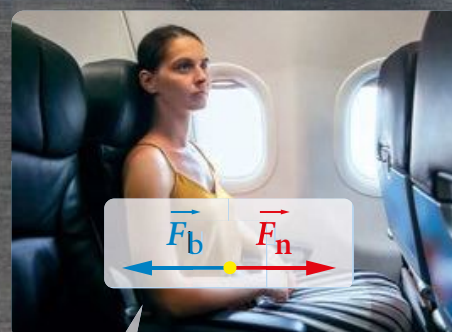
Układ nieinercyjny i siła bezwładności

Siły bezwładności obserwujemy w nieinercyjnych układach odniesienia, np. w rozpędzającym się samolocie.

Gdy samolot przyspiesza, czuję, jak jakaś siła wgniata mnie w fotel.



Czuję, jak **siła bezwładności** wgniata mnie w fotel.



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

Układ inercyjny

Z punktu widzenia obserwatora w układzie inercyjnym, 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:

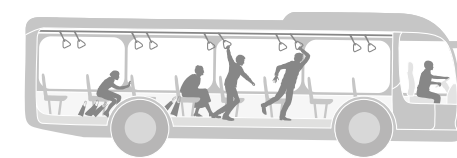
- ▶ **Układ nieinercyjny** to układ odniesienia, w którym oprócz sił wynikających z oddziaływania ciał występują także **siły bezwładności**. Przykładem jest przyspieszający lub hamujący pojazd.
- ▶ W przyspieszającym pojeździe siła bezwładności działa do tyłu (wgniata nas w fotele), a w hamującym –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

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYTE



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, w jakim celu.

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

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 początkowe miejsca. Teraz przesuwaj kartonik powoli. Zakrętka przesunie się poza kubek razem z kartonikiem.
4. Wyjaśnij zaobserwowane zjawiska z dwóch punktów widzenia: układu inercyjnego i układu nieinercyjnego. 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? Dlaczego?



Wskazówki:

- ▶ Do filmowania możesz użyć kamery w telefonie komórkowym – najlepiej z uruchomionym trybem *slow motion*, w którym zapisywana jest większa liczba klatek na sekundę. Zadbaj o to, by użyte przedmioty (kubek, nakrętka, kartonik) miały różne kolory, nie były białe i kontrastowały z tłem.
- ▶ Film możesz przeglądać klatka po klatce za pomocą darmowych programów QuickTime Player lub KMPlayer.



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 wystarczy linijka i zegarek, ponieważ drogę przebytą przez zwierzę wystarczy zmierzyć co kilka minut.

Gdy jednak interesuje nas ruch samochodu jadącego szosą albo spadającego kamienia, nie jesteśmy w stanie wykonać pomiarów ręcznie – wszystko odbywa się zbyt szybko.

Od czego jest jednak kamera w telefonie?

Na ilustracji widzisz okno programu Tracker, który pozwala na analizę filmu przedstawiającego ruch ciała. Aplikacja ta automatycznie – na podstawie analizowanego nagrania – rysuje wykresy położenia i prędkości ciała.

Przykładowe pomysły na badanie:

- ▶ Czy kierowcy w twojej okolicy przestrzegają ograniczeń prędkości? Czy zależy to od pory dnia, marki samochodu albo od czegoś innego?
- ▶ Z jakim przyspieszeniem samochody hamują, a z jakim – ruszają ze skrzyżowania? Od czego to zależy?

Wskazówki:

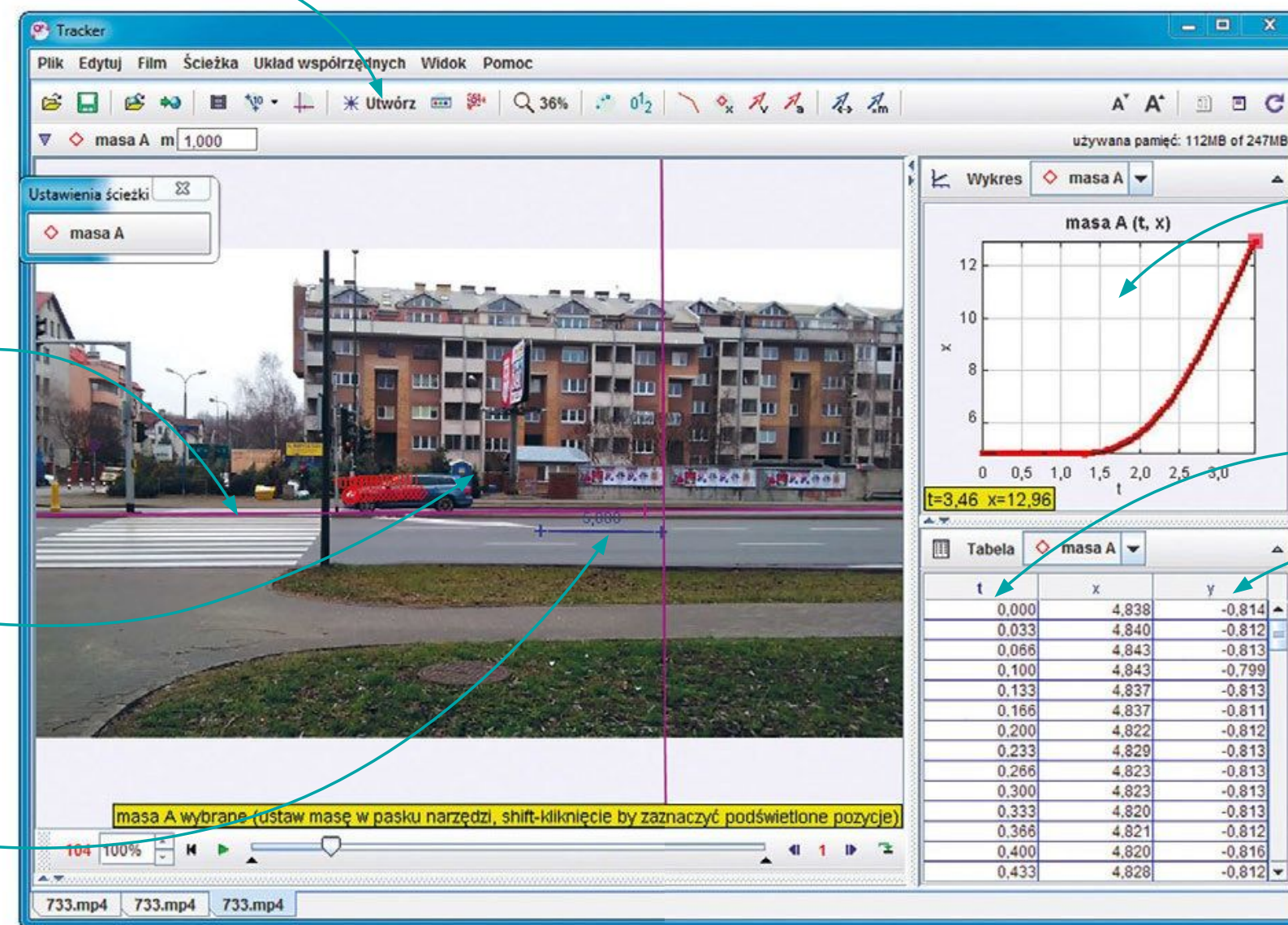
- ▶ Możecie pracować w grupie i podzielić się nagrywanymi filmami do analizy.
- ▶ Program i linki do filmów z instrukcjami jego użytkowania ściągniesz ze strony aplikacji. Łatwo znajdziesz ją przez wyszukiwarkę.
- ▶ Pamiętaj, że przyspieszenie najłatwiej jest wyznaczyć na podstawie wykresu $v(t)$.
- ▶ Podczas nagrywania filmu kamera musi być nieruchoma. Użyj statywu albo przynajmniej oprzyj rękę na czymś stabilnym.

Znaczenie ikon nie zawsze jest intuicyjne. Dlatego zacznij od zapoznania się z instrukcją użytkowania programu.

Układ współrzędnych ustawiamy tak, aby badany pojazd poruszał się wzdłuż osi x .

Dalsze obiekty wydają się mniejsze, więc badany pojazd powinien stale znajdować się w podobnej odległości od kamery. Filmuj go więc, stojąc na wprost.

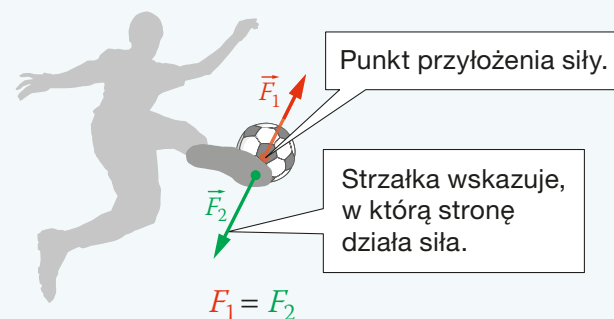
Skalę na wykresie można ustalić na podstawie długości samochodu albo innego ciała, które zmierzmy.



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 (patrz rys. poniżej). Jeżeli ciało A działa na ciało B siłą $\vec{F}_1$, to ciało B działa na ciało A siłą $\vec{F}_2$. Siły te mają tę samą wartość, ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty (**trzecia zasada dynamiki**).

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$$
- Mimo że siły wzajemnego oddziaływania mają te same wartości i kierunek oraz przeciwne zwroty, nie mogą się równoważyć, ponieważ są przyłożone do różnych ciał.



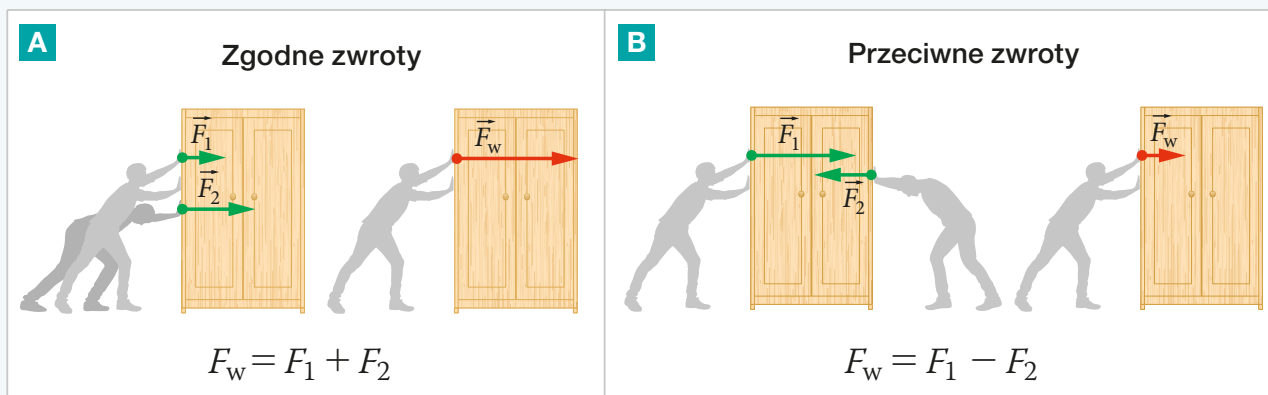
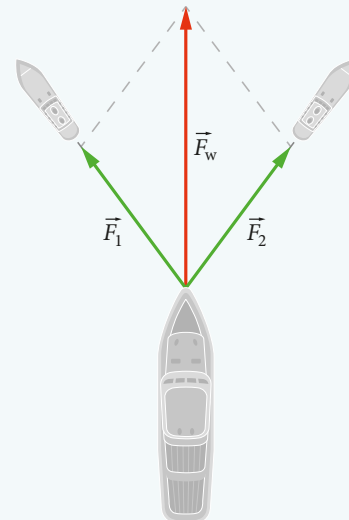
Siła $\vec{F}_1$, którą but działa na piłkę, powoduje ruch piłki.

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

$$F_1 = F_2$$

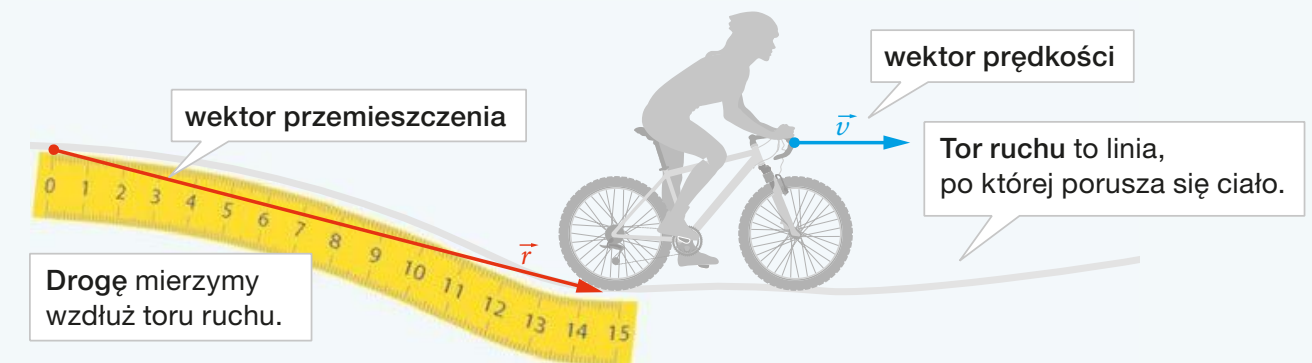
Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki te dwie siły są równe co do wartości.

- Działając siłą na samego siebie, nie wprawimy się w ruch. Dlatego aby zacząć się poruszać, należy podzielać 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, 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 **metodę równoległoboku** (rys. obok) lub **metodę trójkąta**.



- Jeśli wypadkowa sił jest równa zero, 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.


Pierwsza zasada dynamiki:

Jeśli siła wypadkowa działająca na ciało jest równa zero, 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:

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

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

Druga zasada dynamiki:

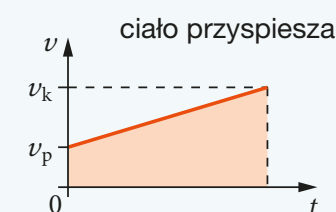
Jeśli siła wypadkowa działająca na ciało jest stała, to ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym. Przyspieszenie ciała w takim ruchu jest wprost proporcjonalne do siły wypadkowej i odwrotnie proporcjonalne do masy ciała.

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

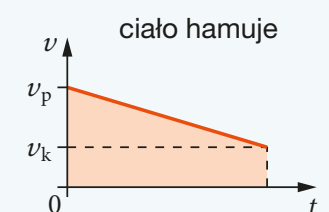
im większa siła, tym większe przyspieszenie

im większa masa, tym mniejsze przyspieszenie

- Wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnie zmiennego jest linią prostą. **Drogę** przebytą przez ciało obliczamy jako **pole powierzchni figury pod tym wykresem**.



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



Jeśli prędkość początkowa wynosi zero ($v_p = 0 \frac{m}{s}$), to droga wynosi $s = \frac{1}{2}at^2$.

■ Porównanie dwóch rodzajów ruchu prostoliniowego.

Ruch jednostajny

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

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

Ruch jednostajnie zmienny

- ▶ Zachodzi, gdy siła wypadkowa jest stała.
- ▶ Prędkość zmienia się w każdej sekundzie o tyle samo.
- ▶ Przyspieszenie jest stałe.
- ▶ 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

Działa między ciałami, które się stykają

Kiedy działa?

Gdy próbujemy poruszyć stykające się ciała względem siebie i gdy się one poruszają

Od czego zależy?

Od siły nacisku

Od rodzaju powierzchni

Opór środka

Działa na ciało poruszające się w powietrzu, wodzie itd.

Kiedy działa?

Tylko wtedy, gdy ciało porusza się w ośrodku

Od czego zależy?

Od prędkości

Od rodzaju ośrodka (woda, powietrze)

88

■ Gdy próbujemy poruszyć jedno ze stykających się ciał względem drugiego, pojawia się **siła tarcia statycznego**, która równoważy przyłożoną siłę.

A

B

- Siła tarcia rośnie wraz z siłą próbującą poruszyć ciało. Gdy osiągnie swoją maksymalną wartość, ciało zaczyna się poruszać. Między poruszającymi się ciałami także działa siła tarcia – **siła tarcia kinetycznego**, ale ma ona mniejszą wartość niż **maksymalna wartość tarcia statycznego**.
- **Siły bezwładności** występują podczas przyspieszania i hamowania.

Jak to widzi pasażer pojazdu
(układ nieinercyjny)

Jak to widzi obserwator zewnętrzny
(układ inercyjny)

Pojazd przyspiesza

- ▶ Siła bezwładności wciska mnie w fotel.
- ▶ Równoważy ją nacisk fotela na moje plecy, dlatego się nie poruszam (względem pojazdu).

- ▶ Fotel popycha pasażera, aby zwiększyć jego prędkość. Pasażer nie może zostać w tyle, gdy pojazd przyspiesza.
- ▶ Siły, którą działa fotel, nic nie równoważy, dlatego pasażer przyspiesza i porusza się razem z nim (względem ziemi).

Pojazd hamuje

- ▶ Siła bezwładności wyrwa 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 on pojazd i wypadł przez przednią szybę.
- ▶ Siły, którą działają pasy, nic nie równoważy, dlatego powoduje ona zmniejszenie prędkości pasażera (względem ziemi).

89

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

To musisz umieć



1. Iwona ćwiczy na bieżni elektrycznej. Urządzenie pokazuje, że dziewczyna biegnie z prędkością $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, choć przecież znajduje się ona ciągle w tym samym miejscu. Wyjaśnij, co oznacza prędkość na wyświetlaczu.



2. Lokomotywa ciągnie jeden wagon. Działa na niego siła o wartości 2000 N, skierowaną do przodu. Jaka jest wartość siły, jaką wagon ciągnie lokomotywę do tyłu?

Rozważ trzy przypadki:

- a) lokomotywa i wagon jadą ze stałą prędkością,
b) lokomotywa i wagon przyspieszają,
c) lokomotywa i wagon hamują.
3. Szybowiec porusza się z prędkością $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Wszystkie działające na niego siły się równoważą. Z jaką prędkością będzie się on poruszał po upływie 1 s?



4. Aby pokonać drogę 150 km ze stałą prędkością $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, trzeba jechać przez:
- A. 2 h. C. 4 h.
B. 3 h. D. 5 h.

5. Wykres przedstawia zależność prędkości samochodu od czasu. Na jego podstawie określ przyspieszenie, z jakim poruszał się samochód.



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

- A. $16 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. C. $400 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
B. $75 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. D. $85 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

7. Dobierz właściwe uzupełnienie zdania. Jeśli na dwa jednakowe ciała działają różne siły wypadkowe, to z większym przyspieszeniem porusza się ciało, na które działa A / B siła.

- A. większa B. mniejsza

8. Dobierz właściwe uzupełnienie zdania. Jeśli na dwa różne ciała działa taka sama siła wypadkowa, to z większym przyspieszeniem porusza się ciało o A / B masie.

- A. większej B. mniejszej

9. 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, wybierz wszystkie spośród podanych niżej.

- I. Gwałtowne hamowanie.
II. Gwałtowne przyspieszanie.
III. Uderzenie w nieruchomą przeszkodę.
IV. Uderzenie w samochód z tyłu przez szybciej jadący pojazd.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

To należy umieć



1. Samochód o masie 1200 kg jedzie ze stałą prędkością $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

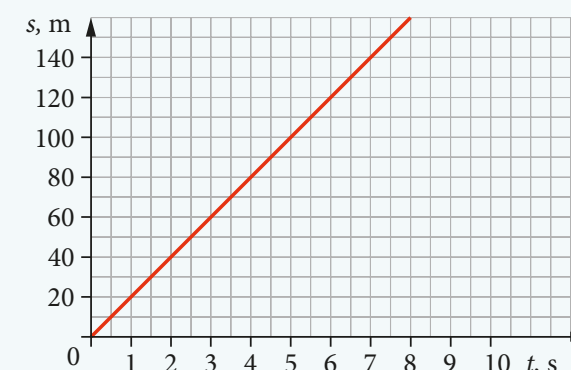
Jaka jest wartość siły **wypadkowej** działającej na ten samochód?

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

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

- A. $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. C. $90 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
B. $324 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. D. $1166,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

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



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

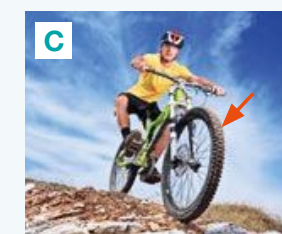
- A. $182 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ C. $202 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
B. $198 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ D. $218 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

5. Wybierz poprawne dokończenie zdania, a następnie uzasadnij swój wybór. Podczas 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.

6. Wskaż, na którym zdjęciu przedstawiono przykład:

- a) zmniejszania siły tarcia,
b) zwiększania siły tarcia,
c) zmniejszania siły oporu powietrza,
d) zwiększania siły oporu powietrza.



7. Piłeczka pingpongowa spada z dużej wysokości. Dobierz poprawne uzupełnienie zdania.

W miarę spadania piłeczki opór powietrza jest coraz A / B, a siła wypadkowa działająca na piłeczkę jest coraz C / D.

- A. większy C. większa
B. mniejszy D. mniejsza

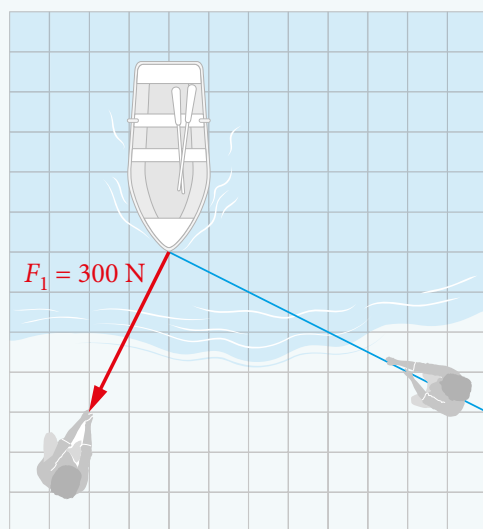
8. Antek szedł szybkim krokiem, niosąc na tacy szklankę z wodą. Kiedy nagle stanął, szklanka się przewróciła. Wyjaśnij, dlaczego tak się stało – z punktu widzenia Antka i z punktu widzenia uczonego ślimaka, który siedział na tacy obok szklanki.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

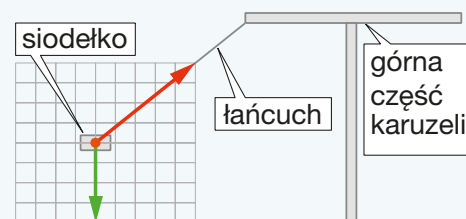
To warto umieć



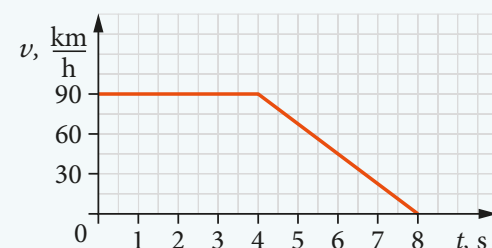
1. Na rysunku przedstawiono dwie osoby ciągnące łódkę za pomocą lin (widok z góry). Osoba widoczna po lewej stronie rysunku działa na łódkę siłą o wartości 300 N. Określ wartość siły, jaką powinna działać osoba po prawej stronie, aby wypadkowa tych sił była skierowana do przodu łodzi (czyli w dół rysunku).



2. Na fotelik karuzeli łańcuchowej 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.

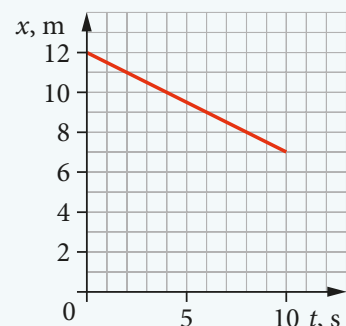


3. Kierowca samochodu zauważył przeszkodę i zaczął hamować. Zmiany prędkości pojazdu przedstawiono na wykresie. Oblicz na jego podstawie wartość przyspieszenia samochodu i drogę hamowania.



4. Podróżnik wrzucił kamień do studni i po 3 sekundach usłyszał plusk. Jak głęboka jest studnia? Pomiń opór powietrza i czas rozchodzenia się dźwięku.
5. Odważnik o masie 2 kg podniesiono siłą 22 N. Z jakim przyspieszeniem poruszał się odważnik?
6. Wykres przedstawia zależność położenia pewnego ciała od czasu.

- a) Określ, 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?



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. Gdy samolot rozpędzał się ze stałym przyspieszeniem od prędkości $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do prędkości $300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, pokonał drogę 6,25 km. Oblicz czas rozpędzania oraz wartość przyspieszenia samolotu.

Analiza tekstu

Co to jest żagiel słoneczny

Żagiel słoneczny to niezwykle sposób napędzania statku kosmicznego. Taki statek jest wyposażony w wielki odblaskowy żagiel, który używa pędu światła słonecznego do popychania statku naprzód. Wynalazek ten wykorzystało Planetary Society (Towarzystwo Planetarne) w misji LightSail 2.

Jak działa żagiel słoneczny

Światło składa się z cząstek zwanych fotonami. Chociaż fotony nie mają masy, jednak mają pęd (ponieważ podlegają zasadom fizyki relatywistycznej). Kiedy światło uderza w podobną do lustra powierzchnię żagla, fotony się od niej odbijają i przekazują mu swój pęd, przez co lekko go popychają. Siły, jakimi działają, są bardzo niewielkie, ale w kosmicznej próżni, gdzie nic nie hamuje ruchu żagla, każde takie popchnięcie zmienia jego prędkość. (...)

Jak szybko może się poruszać żagiel słoneczny?

Prędkość żagla słonecznego zależy od jego wielkości i masy. W większy żagiel trafia więcej światła słonecznego, więc zyskuje on większy pęd i przyspiesza szybciej przy tej samej masie. Dla danej powierzchni żagla mniejsza masa napędzanego statku oznacza większe przyspieszenie. (...)

Dla przykładu, żagiel LightSail 2 o powierzchni 32 m^2 osiąga przyspieszenie



▲ LightSail 2 w czasie otwierania żagla 23 lipca 2019 r. W tle widać Ziemię

zaledwie $0,058 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$. W ciągu miesiąca jego prędkość zwiększy się o $549 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, czyli w przybliżeniu o taką prędkość, z jaką latają samoloty turbośmigłowe.

Większe żagle, a także małe żagle napędzane laserami, mogą teoretycznie poruszać się szybciej. W 2016 r. grupa Breakthrough Initiatives ogłosiła plan wysłania floty małych

żagli słonecznych napędzanych laserami do naszej najbliższej gwiazdy, Alfa Centauri. Będą one napędzane laserami umieszczonymi na Ziemi i przyspieszą do 20% prędkości światła.

Pełny tekst artykułu w języku angielskim znajdziesz pod adresem: <https://www.planetary.org/articles/what-is-solar-sailing>

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Dlaczego na Ziemi bardzo trudno byłoby rozpędzić ciało za pomocą światła, a w przestrzeni kosmicznej jest to możliwe?
2. Jak widzisz na zdjęciu, żagiel opuszcza Ziemię zwiniętą, a rozkłada się go dopiero z dala od naszej planety. Dlaczego?
3. Jak bardzo zwiększyłaby się prędkość żagla LightSail 2 od jego startu do dziś, jeśli założymy, że poruszałby się nadal z podanym w tekście przyspieszeniem?
4. Alfa Centauri znajduje się 4,4 roku świetlnego od Ziemi. Według obliczeń statek napędzany żaglem słonecznym może tam dotrzeć w ciągu 100 lat. Oblicz jego średnią prędkość. Ile razy mniejsza jest ona od prędkości maksymalnej podanej w tekście?
5. Dowiedz się, czy opisany w tekście projekt z 2016 r. został już zrealizowany. Zapisuj, z jakich źródeł korzystasz.

2. Ruch po okręgu i grawitacja

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



11 Ruch po okręgu



Ta karuzela obraca się raz na 3 s, a Ziemia – raz na dobę. A jednak ciała na Ziemi poruszają się z powodu jej obrotu znacznie szybciej niż dziecko na karuzeli. Jak to możliwe?

Cele lekcji:

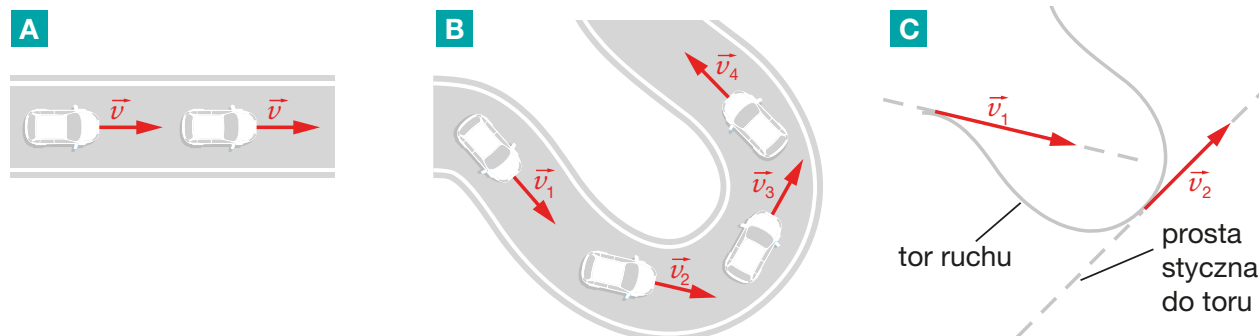
- Dowiesz się, jak jest skierowany wektor prędkości w ruchu po okręgu.
- Nauczysz się obliczać okres, częstotliwość i prędkość w ruchu jednostajnym po okręgu.

Nie każdy ruch jest prostoliniowy

Do tej pory omawialiśmy ruch ciał po linii prostej. Jednak w wielu sytuacjach ciała poruszają się po liniach krzywych, np. samochód na zakręcie, fotelik karuzeli, Księżyc obiegający Ziemię. Taki ruch nazywamy **krzywoliniowym**.

Prędkość – wzdłuż stycznej

Wektor prędkości wskazuje, w którą stronę porusza się ciało (rys. A, B). W ruchu prostoliniowym jest on skierowany wzdłuż toru. A w przypadku ruchu krzywoliniowego? Wtedy wektor prędkości jest skierowany wzdłuż prostej stykającej się z torem ciała (rys. C), nazywanej **styczną** do toru.



▲ Wektor prędkości w ruchu prostoliniowym (rys. A) i krzywoliniowym (rys. B i C)

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 wartość prędkości pozostaje stała, ale zmienia się jej kierunek.

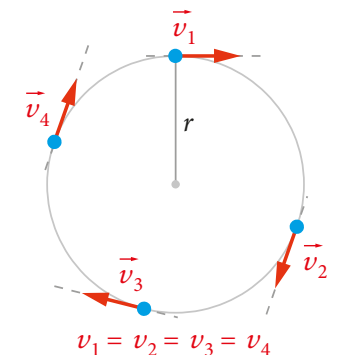
Ruch jednostajny po okręgu

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

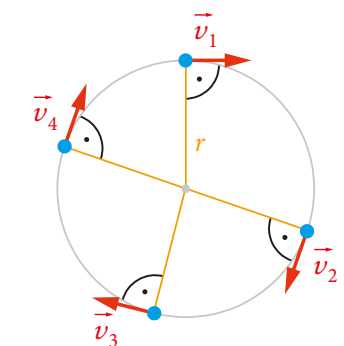
Jeżeli wartość prędkości ciała w ruchu po okręgu jest stała, to mówimy o **ruchu jednostajnym po okręgu**.

Takim ruchem porusza się np. dziecko na karuzeli. W przybliżeniu można przyjąć, że także Ziemia, obiegająca Słońce, porusza się ze stałą prędkością po okręgu.

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



▲ Wektor prędkości w ruchu jednostajnym po okręgu ciągle zmienia kierunek, ale jego wartość pozostaje stała



▲ W każdym punkcie wektor prędkości biegnie wzdłuż stycznej i jest prostopadły do promienia okręgu

Kierunek wektora prędkości

Tak jak w każdym ruchu krzywoliniowym, w ruchu po okręgu wektor prędkości jest skierowany wzdłuż stycznej. W przypadku okręgu jest ona prostopadła do promienia poprowadzonego do punktu styczności. A to oznacza, że również wektor prędkości jest prostopadły do tego promienia (patrz rys.).

Okres w ruchu po okręgu

Gdy zajmujemy się ruchem po okręgu, często interesuje nas nie tylko prędkość ciała, lecz także wielkości opisujące, jak długo trwa pełny obieg naokoło całego toru. Podczas obserwacji ciała poruszającego się po okręgu możesz zauważyć, że po określonym czasie wraca ono do położenia początkowego. Czas ten nazywamy **okresem**.

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

Okres oznaczamy literą T i wyrażamy w sekundach lub w innych jednostkach czasu.

Wyobraźmy sobie karuzelę, która wykonuje jeden obrót w ciągu 10 sekund. Okres ruchu każdego z jej krzesełek wynosi 10 sekund. Jeśli rozpędzimy ją tak, że będzie wykonywać 4 obroty na sekundę, to jej okres wyniesie $\frac{1}{4}$ s.



▲ Okres obrotu koła diabelskiego młyna London Eye wynosi 30 minut

A to ciekawe

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



■ Częstotliwość w ruchu po okręgu

Pewnie nieraz, gdy patrzysz na ciało poruszające się bardzo szybko po okręgu, interesuje cię, ile razy w ciągu sekundy zdoła ono obieć 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 okrążeń ciało wykona w ciągu 1 s.

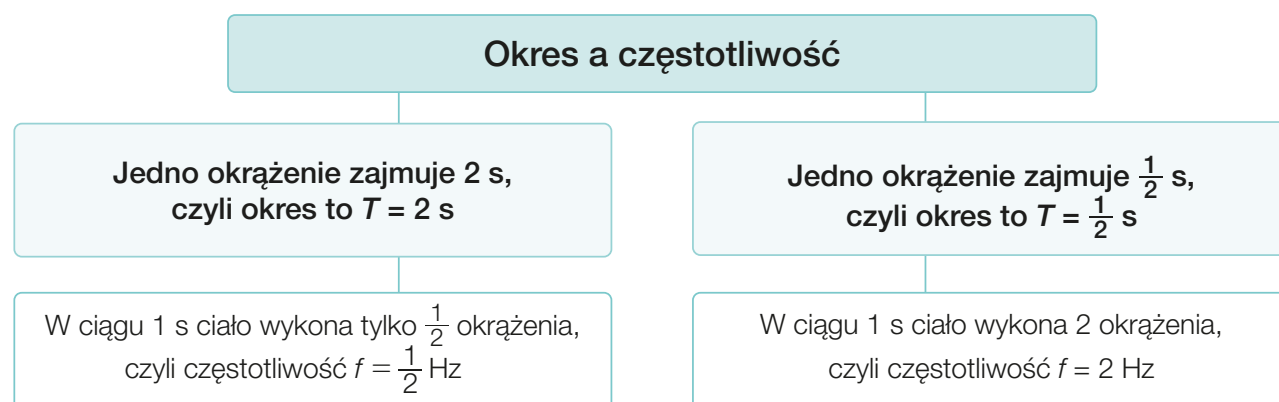
Częstotliwość oznaczamy literą f – od ang. *frequency*, a jej jednostką jest **herc**: $1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}}$. Częstotliwość jest odwrotności okresu.

$$\text{częstotliwość} \rightarrow f = \frac{1}{T} \quad \text{lub} \quad T = \frac{1}{f} \quad \text{okres}$$

Na przykład częstotliwość 5 Hz oznacza, że ciało okrąży okrąg 5 razy w ciągu sekundy, czyli okres jego ruchu wynosi $T = \frac{1}{5} \text{ s}$.

Pojęcia *okres* i *częstotliwość* są ci znane ze szkoły podstawowej z opisu ruchu drgającego. W takim ruchu okres oznacza czas trwania jednego 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.

Przeanalizuj poniższy diagram, aby zrozumieć zależność między okresem i częstotliwością.



■ 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:

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

Przypomnij sobie 6
→ s. 6.

W naszym przypadku w czasie równym jednemu okresowi T ciało przebywa drogę równą długości okręgu (obwodowi koła). Jest ona równa $s = 2\pi r$.

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

$$\text{prędkość} \rightarrow v = \frac{2\pi r}{T} \quad \begin{array}{l} \text{promień okręgu} \\ \text{okres} \end{array}$$

Z tej zależności skorzystamy w przykładzie.

Przykład

■ Obliczanie częstotliwości w ruchu po okręgu

Kulka okrąży koło ruletki o średnicy 50 cm z prędkością $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz okres i częstotliwość obiegu toru przez kulkę.

Dane:

$d = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ – średnica toru
 $v = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ – prędkość

Szukane:

$T = ?$ – okres obiegu
 $f = ?$ – częstotliwość obiegu

Rozwiązanie:

W czasie jednego obiegu kulka pokonuje drogę s równą długości okręgu, czyli:

$$s = 2\pi r \approx 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,5 \text{ m} = 3,14 \cdot 0,5 \text{ m} = 1,57 \text{ m}$$

Prędkość w ruchu jednostajnym obliczamy ze wzoru:

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

Możemy z niego wyznaczyć czas trwania ruchu:

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

Podstawiamy dane i otrzymujemy:

$$t = \frac{1,57 \text{ m}}{6 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,26 \text{ s}$$

Obliczony czas to okres obiegu:

$$T = 0,26 \text{ s}$$

Częstotliwość to odwrotność okresu:

$$f = \frac{1}{0,26 \text{ s}} = 3,8 \text{ Hz}$$

Odpowiedź: Okres obiegu jest równy 0,26 s, a częstotliwość wynosi 3,8 Hz.



Uwaga. 0,5 m to średnica, a nie promień.

Jeśli nie pamiętasz, jak przekształcić wzór – patrz → **Dodatek matematyczny 9**, s. 242

Ten sam okres – różna prędkość

Końcówka wskazówki minutowej każdego zegara obiega środek tarczy w tym samym czasie $T = 1$ h. Jednak prędkość jej ruchu może być bardzo różna.

Dla małego zegarka ręcznego to zaledwie kilka centymetrów na godzinę, a dla największego na świecie zegara w Mekce (patrz zdjęcie) – kilka centymetrów na sekundę. Osoba stojąca blisko tarczy tego ogromnego mechanizmu nie miałaby problemu, aby zauważyć ruch wskazówki.



To najważniejsze

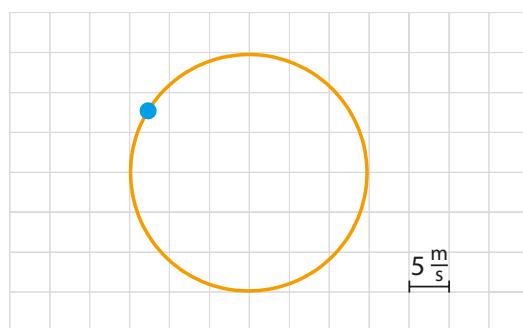
- ▶ W ruchu po okręgu kierunek wektora prędkości stale się zmienia. Wektor ten jest zawsze skierowany wzdłuż stycznej do okręgu, prostopadle do promienia.
- ▶ Czas trwania jednego pełnego obiegu ciała wokół środka okręgu nazywamy **okresem**. Oznaczamy go literą T .
- ▶ Częstotliwość jest równa odwrotności 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 ZESZYTE



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



2. **P** Krzeselko karuzeli porusza się po okręgu o średnicy 5 m z prędkością $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz okres i częstotliwość obiegu krzeselka.

3. Rowerzysta jedzie z prędkością $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ po kolistym torze o promieniu 50 m. W jakim czasie objedzie cały tor?
4. 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?
5. Ścieżki na płycie CD znajdują się w odległości pomiędzy 2 cm a 5,5 cm od jej środka. Podczas odczytywania płyty okres jej obrotu zmienia się tak, że prędkość liniowa głowicy względem odczytywanej ścieżki jest stale równa $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz, w jakich granicach zmienia się częstotliwość obrotu płyty.

12 Siła dośrodkowa



W jaki sposób planujemy uzyskać sztuczną grawitację na przyszłych stacjach kosmicznych?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak jest skierowana siła powodująca, że ciało porusza się po okręgu.
- Poznasz różne siły pełniące funkcję siły dośrodkowej.
- Dowiesz się, czym jest siła bezwładności (siła odśrodkowa) w obracającym się układzie odniesienia.

■ Gdy siła działa prostopadle do kierunku ruchu...

Z lekcji 8. o drugiej zasadzie dynamiki 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?

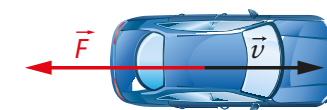
Nie powoduje ona zmiany wartości prędkości ciała, ale **zmienia kierunek** jego ruchu. Przeanalizuj poniższe rysunki, aby zorientować się, jak zachowuje się ciało w zależności od kierunku i zwrotu działającej na nie siły.

A



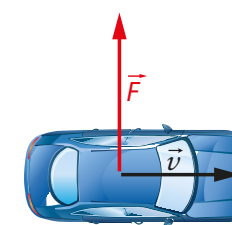
Siła do przodu –
samochód przyspiesza

B



Siła do tyłu –
samochód hamuje

C



Siła w bok –
samochód skręca

▲ Kierunek i zwrot siły w ruchu ciała podczas: **A** przyspieszania, **B** hamowania, **C** skręcania

Siła działająca 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, to powoduje ona zmianę zarówno kierunku, jak i wartości prędkości ciała.

Siła powodująca zmianę kierunku ruchu

Fizyczna natura siły powodującej zmianę kierunku może być różna. Oto przykłady.

- ▶ Na zdjęciu A widzisz motocykl. Aby skręcił, musi na niego zadziałać **siła tarcia** prostopadła do kierunku ruchu. Jeśli tarcie jest zbyt małe, motocykl wypadnie z zakrętu.
- ▶ Na zdjęciu B widzisz lekkoatletkę podczas rzutu młotem, czyli ciężką kulą na linie. Aby rozpędzić młot, zawodniczka, trzymając go, obraca się kilka razy. Musi na kulę działać siłą, dlatego ciągnie linę. Funkcję siły dośrodkowej pełni **siła naprężenia liny**.



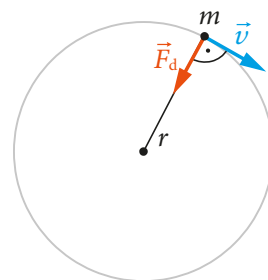
▲ Siły wpływające na zmianę kierunku ruchu ciała: A. siła tarcia działająca na motocykl na zakręcie, B. siła naprężenia liny działająca na kulę

Siła dośrodkowa

Gdy ciało porusza się po okręgu, przez cały czas zmienia kierunek ruchu. To znaczy, że stale musi na nie działać siła skierowana w stronę, w którą ciało skręca, czyli w stronę środka okręgu.

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

Określenie „siła dośrodkowa” nie oznacza rodzaju siły, ale mówi o skutku jej działania, tak samo jak określenia „siła rozpędzająca ciało” albo „siła powodująca zatrzymanie ciała”. Funkcję siły dośrodkowej może pełnić siła tarcia, siła sprężystości nici (jak na zdjęciach A i B), a także wiele innych rodzajów siły.



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

Co się stanie, gdy zniknie siła dośrodkowa

Wykonaj doświadczenie, aby zrozumieć, co dzieje się z ciałem, gdy przestaje na nie działać siła dośrodkowa.

Doświadczenie 7.

Obserwacja skutków działania siły dośrodkowej

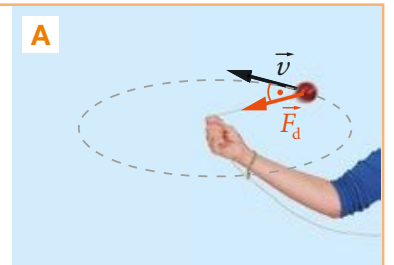
1. Przygotuj: kubeczek po jogurcie lub serku, nożyczki, małą monetę.
2. Odetnij brzeg kubeczka po jogurcie lub serku.
3. Wytnij z otrzymanego w ten sposób pierścienia część stanowiącą $\frac{3}{4}$ okręgu i połóż na gładkiej powierzchni.
4. Wewnątrz ułóż monetę (patrz zdjęcie). Fragment brzegu kubeczka 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?



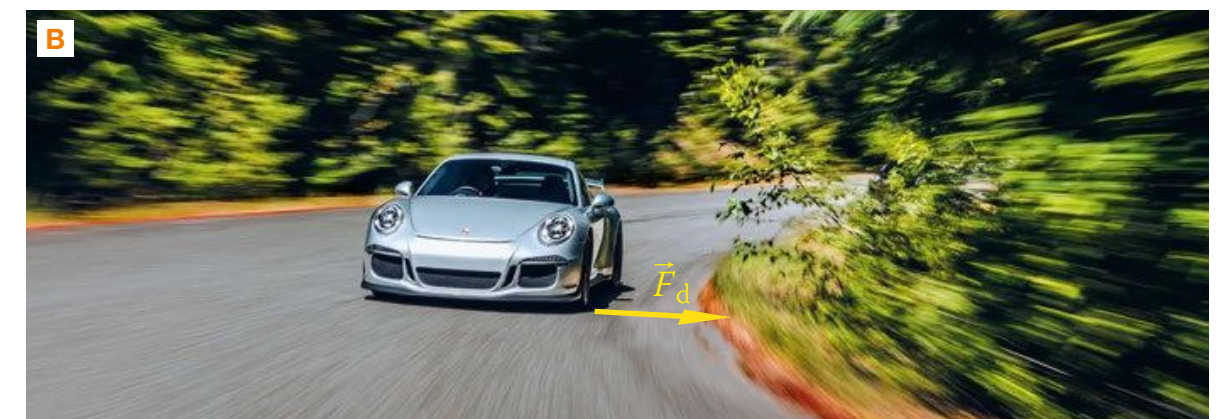
Gdy siła dośrodkowa przestaje działać, ciało przestaje poruszać się po okręgu, tak jak moneta w opisanym wyżej doświadczeniu.

Jak rozpoznać siłę dośrodkową

Nie wiesz, jaka siła pełni funkcję siły dośrodkowej w danej sytuacji? Zastanów się, co musiałoby się stać, aby dane ciało przestało poruszać się po okręgu. Tak było w powyższym doświadczeniu. A oto dwa kolejne przykłady.



- ▶ Piłeczka na sznurku porusza się po okręgu (ilustracja A). Co musiałoby się stać, aby piłeczka odleciała gdzieś dalej? Musiałby się zerwać sznurek. Siłą dośrodkową jest więc **siła naprężenia sznurka**.



- ▶ Samochód jedzie po krętej drodze. Co może spowodować, że wypadnie z zakrętu? Poślizg. Siłą, która utrzymuje pojazd w ruchu po okręgu, czyli siłą dośrodkową, jest więc **siła tarcia** opon o podłoże.



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?

Sytuacja jest podobna do przypadku hamujących i rozpędzających się pojazdów (patrz lekcja 10.). Przypomnijmy, że w takich pojazdach odczuwamy działanie sił zwanych siłami bezwładności. Nie wynikają one z rzeczywistego oddziaływania ciał – są tylko efektem spowodowanym ruchem układu odniesienia z pewnym przyspieszeniem.

Obracający się układ odniesienia jest układem nieinercyjnym. Działa w nim siła bezwładności skierowana na zewnątrz okręgu lub łuku, po którym porusza się ciało. Nazywamy ją **siłą odśrodkową**.

Podobnie jak w przypadku sił bezwładności w hamujących i przyspieszających pojazdach, zjawiska wynikające z sił bezwładności można wyjaśnić bez tych sił, gdy tylko popatrzymy na pojazd z zewnątrz, z inercyjnego układu odniesienia (patrz ramka).

Siła odśrodkowa

Na obracającej się płycie znajdują się ślimak i piłeczka.

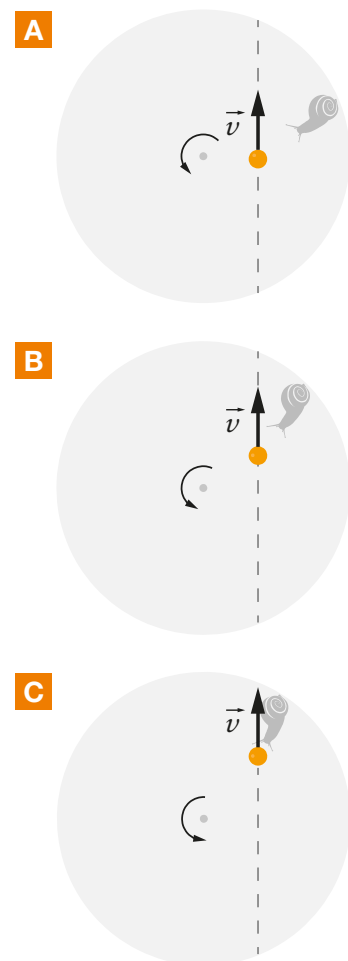
- Ślimak trzyma się płyty swoją lepką stopą, jest więc względem niej nieruchomy.
- Piłeczka spoczywała względem płyty tylko w chwili A, kiedy została na niej położona i puszczona.

► Układ inercyjny – co widzimy z zewnątrz

Na rysunkach A–C przedstawiono położenia piłki i ślimaka widziane z zewnątrz – z układu inercyjnego. Jak widzisz, piłeczka porusza się po linii prostej (zaznaczonej przerywaną linią), czyli zgodnie z zasadą bezwładności. Na piłkę nie działa żadna siła.

► Układ nieinercyjny – co widzi ślimak

Popatrz teraz na kolejne rysunki A–C tak, jak widzi je ślimak. W tym celu obracaj książkę, aby ślimak znajdował się zawsze na prawo od środka płyty. Ślimak widzi, że piłka zaczęła się toczyć w jego stronę. Wydaje mu się więc, że jakaś siła wprawiła piłkę w ruch.

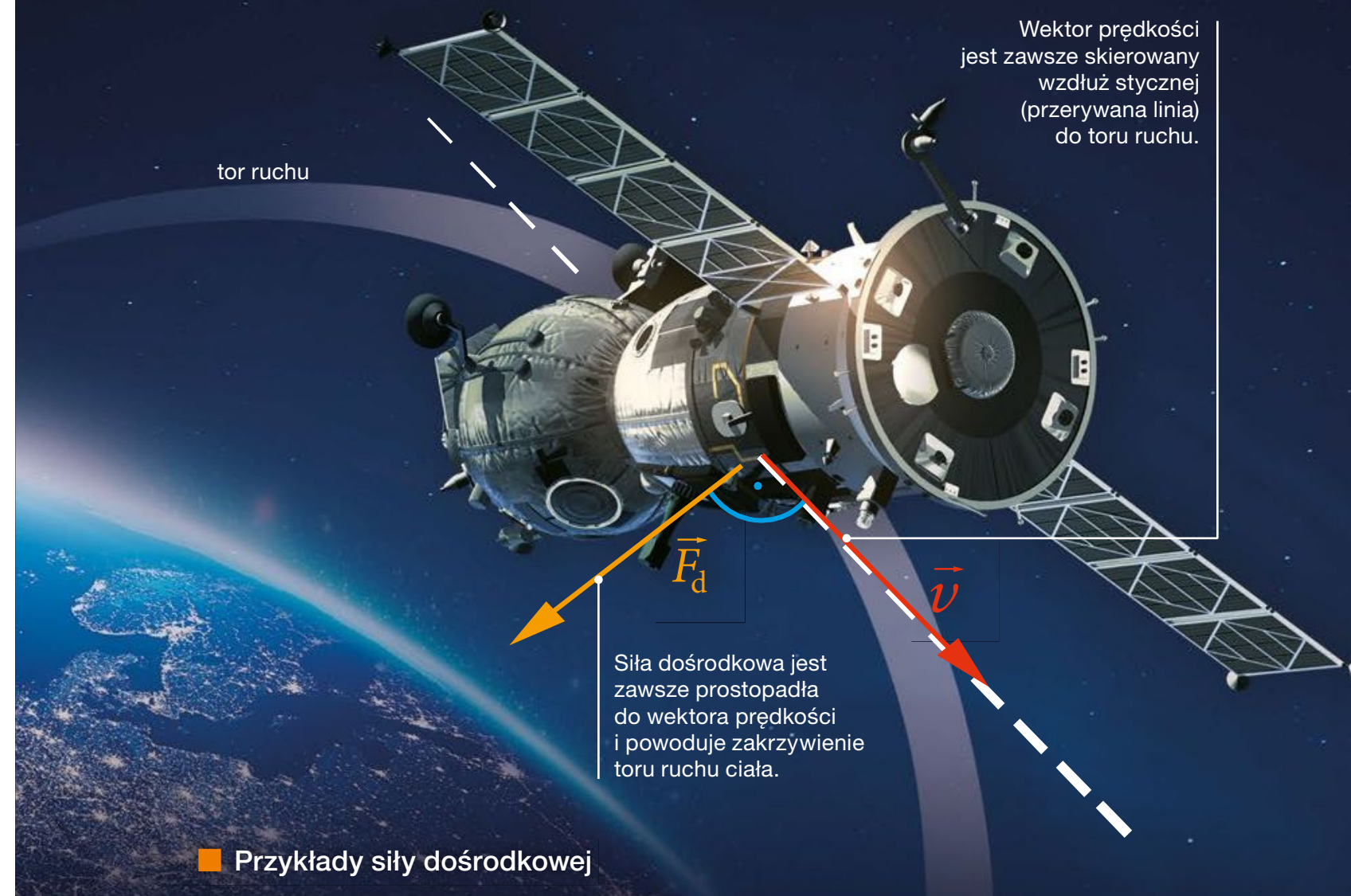


Siła dośrodkowa

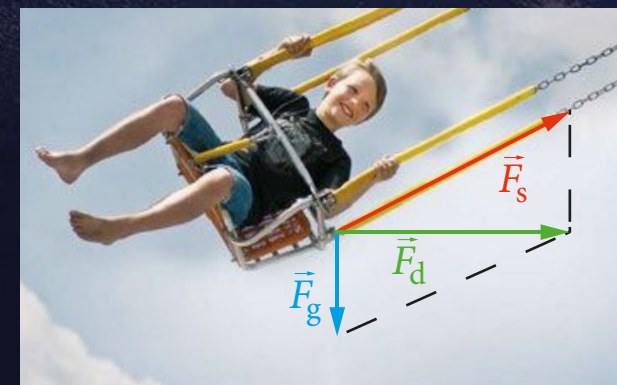
Określenie „dośrodkowa” odnosi się do skutku działania tej siły.

Funkcję siły dośrodkowej mogą pełnić różnego rodzaju siły, takie jak siła tarcia, siła grawitacji, siła magnetyczna czy siła elektrostatyczna.

Przykładowo siłą dośrodkową działającą na satelitę jest siła grawitacji.



Przykłady siły dośrodkowej



Na krzeselko karuzeli działa siła naprężenia łańcucha i siła grawitacji. Ich wypadkowa jest siłą dośrodkową.



Podczas pokonywania takiego zakrętu funkcję siły dośrodkowej pełni siła tarcia.

**A to ciekawe**

Przebywanie w stanie nieważkości jest dużym obciążeniem dla organizmu. Przewiduje się, że przyszłe wielkie stacje kosmiczne będą się obracać wokół własnej osi, a siła odśrodkowa zastąpi w nich grawitację (patrz zdjęcie na górze s. 101). Zastanów się, która ze ścian takiej obracającej się stacji stanie się sufitem, a która podłogą.

**To najważniejsze**

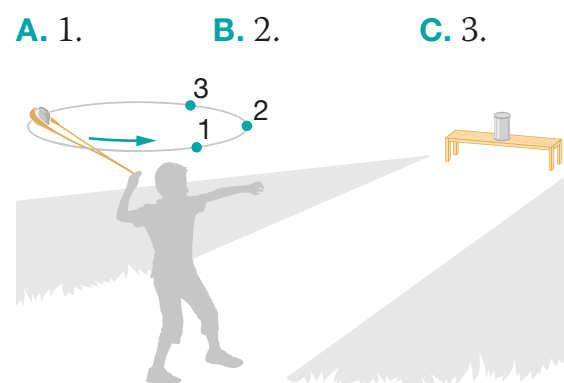
- ▶ Aby ciało poruszało się ze stałą prędkością po okręgu, musi na nie działać siła skierowana do środka tego okręgu. Nazywamy ją **siłą dośrodkową**.
- ▶ Funkcję siły dośrodkowej mogą pełnić różne siły, np. siła tarcia lub siła naprężenia nici.
- ✂ ▶ Obracający się układ odniesienia jest układem nieinercyjnym. W tym układzie na ciała działa siła bezwładności, w przypadku ruchu po okręgu zwana także **siłą odśrodkową**.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE



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



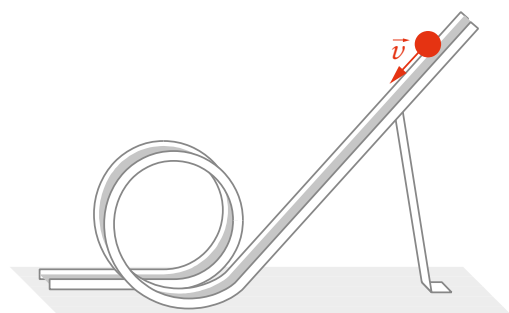
2. Określ, jaka siła pełni funkcję siły dośrodkowej w ruchu:

- a) kulki kręczonej na sznurku,
b) samochodu na zakręcie.

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

4. Na rysunku przedstawiono kulkę toczącą się po torze w kształcie pętli. Dlaczego w najwyższym punkcie toru kulka nie spada? Wyjaśnij to w dwóch układach odniesienia:

- a) inercyjnym (obserwatora zewnętrznego),
b) nieinercyjnym (związany z kulką).

**13 Wartość siły dośrodkowej**

Czy w łyżwiarstwie szybkim lepiej jechać po torze wewnętrznym czy zewnętrznym?

Cele lekcji:

- Poznasz czynniki wpływające na wartość siły dośrodkowej.
- Nauczysz się badać doświadczalnie siłę dośrodkową oraz jej zależność od masy i prędkości ciała oraz promienia okręgu, po którym się ono porusza.
- Nauczysz się obliczać wartość siły dośrodkowej.

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 na poprzedniej stronie widzisz dwa rodzaje zakrętów. Łagodny łuk pierwszego z nich (zdjęcie A) jest łukiem okręgu o dużym promieniu. Łuk drugiego (zdjęcie B) jest bardziej zakrzywiony – 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 promień** okręgu – tym **mniejsza siła** dośrodkowa potrzebna do zmiany kierunku ruchu przy określonej prędkości.

Kolejny czynnik wpływający na wartość siły dośrodkowej to 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 prędkość** ciała – tym **większa siła** dośrodkowa potrzebna do zmiany kierunku ruchu na torze o danym promieniu.

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

Im **większa masa** ciała – tym **większa siła** dośrodkowa potrzebna do zmiany kierunku ruchu.

Badanie siły dośrodkowej

W dokładniejszym zbadaniu zależności siły dośrodkowej od promienia okręgu, prędkości ciała i jego masy pomoże nam doświadczenie.

Doświadczenie obowiązkowe

Jak zależy siła dośrodkowa od masy, prędkości i promienia

- 1. Przygotuj: półlitrową plastikową butelkę z wodą, elektroniczną wagę kuchenną, żyłkę wędkarską lub śliską nitkę o długości 0,5 m, obudowę 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 przywiąż klips biurowy. Drugi przywiąż do szyjki butelki (patrz zdjęcie).
- 3. Wpraw klips na żyłce w szybki ruch po okręgu (wystarczająco 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. 41).

Wskazówka. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki ta siła 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 dwóch 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. Klipsy połącz tak, aby znalazły się w jednakowej odległości od wylotu rurki.
- ▶ 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 <i>m</i> , g	Promień <i>r</i> , cm	Częstotliwość		Prędkość <i>v</i> , $\frac{m}{s}$	Siła dośrodkowa <i>F</i> , mN
			<i>f</i> , $\frac{1}{min}$	<i>f</i> , 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 razy, siła zwiększyła się mniej więcej tyle samo razy.

Nasze pomiary w doświadczeniu nie były zbyt dokładne, dlatego opisane zależności zostały spełnione tylko w przybliżeniu. Doświadczenie z użyciem precyzyjniejszych przyrządów pozwoliłoby potwierdzić je z większą dokładnością.

A to ciekawe

Tor do łyżwiarstwa szybkiego jest podzielony na dwie części: zewnętrzną i wewnętrzną. Dzięki temu jednocześnie może startować dwóch zawodników. Tor wewnętrzny jest krótszy, łatwiej jednak z niego wypaść, ponieważ zakręty są ostrzejsze. Aby zawodnicy mieli równe szanse, w połowie dystansu zamieniają się torami.



Jak obliczać wartość siły dośrodkowej

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

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

masa ciała m , prędkość ciała v , promień okręgu r , siła dośrodkowa F_d

Co wynika ze wzoru na siłę dośrodkową? Wzór ten pozwala nie tylko obliczyć jej wartość, lecz także przeanalizować, jak zmienia się ona przy zmianie danych.

Gdy zamiast jednego klipsa użyliśmy dwóch, siła była 2 razy większa.

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

Gdy klips poruszał się 2 razy szybciej, siła była aż 4 razy większa, ponieważ $2^2 = 4$.

Gdy promień okręgu zmniejszył się 1,3 razy, siła była 1,3 razy większa.

Jak widzisz, że wzorem na siłę dośrodkową zgadzają się wyniki naszego doświadczenia. Sprawdź, że również rozważania o samochodzie na krętej drodze są zgodne z tym wzorem.

Przykład

Obliczanie wartości siły dośrodkowej

W czasie rzutu młotem zawodnik rozpędził kulę o masie 7,26 kg na linie o długości 121 cm do prędkości $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz wartość siły, jaką zawodnik działa na kulę za pośrednictwem liny. Załóż, że kula porusza się po okręgu o promieniu równym długości liny.

Dane:

$$m = 7,26 \text{ kg}$$

$$r = 121 \text{ cm}$$

$$v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Szukane:

$$F_d = ?$$

Rozwiązanie:

Siła, jaką zawodnik działa na kulę, pełni funkcję siły dośrodkowej, więc możemy skorzystać ze wzoru:

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

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$F_d = \frac{7,26 \text{ kg} \cdot (20 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{1,21 \text{ m}} = 2400 \text{ N} \quad [F_d] = \frac{\text{kg} \cdot (\frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{\text{m}} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{\text{m}} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}$$

Odpowiedź: Zawodnik działa na kulę siłą ok. 2400 N.



Uwaga. Okrągły wynik w przykładzie jest przybliżony, ponieważ przyjęliśmy sporo upraszczających założeń. Przede wszystkim pominęliśmy siłę ciężkości działającą na kulę. Natomiast danych 7,26 kg oraz 121 cm nie podaliśmy dla wygody obliczeń – takie są rzeczywiście ich wartości w rzucie młotem mężczyzn.

To najważniejsze

- ▶ **Wartość siły dośrodkowej** zależy od promienia r okręgu, prędkości v ciała oraz jego masy m , zgodnie z zależnością:

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

- ▶ Ze wzoru na siłę dośrodkową wynika, że im ostrzejszy zakręt (mniejszy promień okręgu) oraz im większa prędkość i im większa masa ciała, tym większa siła dośrodkowa jest potrzebna, aby pokonać zakręt.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE



1. Odpowiedz na pytania.

- Czy przy tej samej prędkości większa siła dośrodkowa jest potrzebna do pokonania ostrego czy łagodnego zakrętu?
- Kiedy siła dośrodkowa jest większa: gdy prędkość jest duża czy gdy jest mała?
- Jakie praktyczne wnioski wypływają dla kierowców z odpowiedzi na pytania a) i b)?

2. **P** Samochód o masie 1000 kg jedzie z prędkością $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ po zakręcie, który jest łukiem okręgu o promieniu 50 m. Oblicz wartość siły powodującej zmianę kierunku ruchu samochodu. Jaka siła pełni tę funkcję?

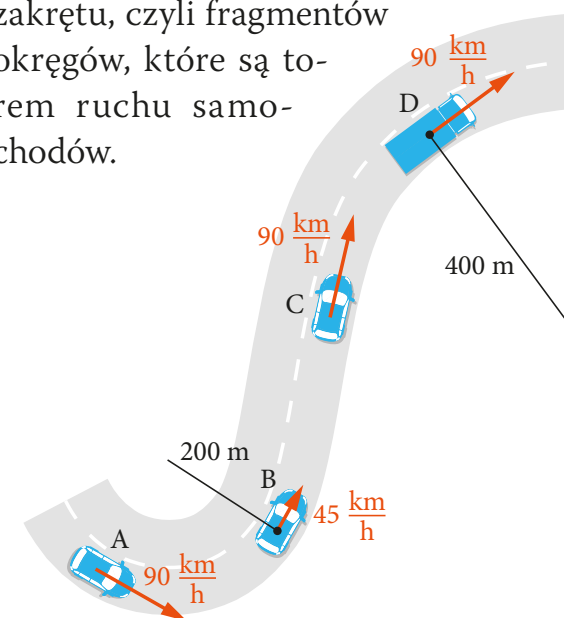
3. Samochód o masie 780 kg porusza się z prędkością $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ po łuku okręgu o promieniu 50 m.

- Jaka jest wartość siły dośrodkowej utrzymującej go w tym ruchu?
- Jaka siła dośrodkowa byłaby potrzebna, gdyby jechał z prędkością $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?
- Jak zmieniłaby się wartość siły dośrodkowej, gdyby promień łuku

okręgu, po którym samochód porusza się z prędkością $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, wynosił 25 m?

4. Na rysunkach przedstawiono samochody jadące po drodze z zakrętami. Wszystkie samochody osobowe mają taką samą masę, a furgonetka – masę dwa razy większą niż samochód osobowy. Na samochód A działa siła dośrodkowa o wartości 3000 N. Oblicz wartość siły dośrodkowej działającej na pozostałe pojazdy.

Uwaga. Na rysunku poniżej czarnymi liniami zaznaczono promień krzywizny zakrętu, czyli fragmentów okręgów, które są torem ruchu samochodów.



14 Grawitacja



Czy jest między nimi jakieś przyciąganie?

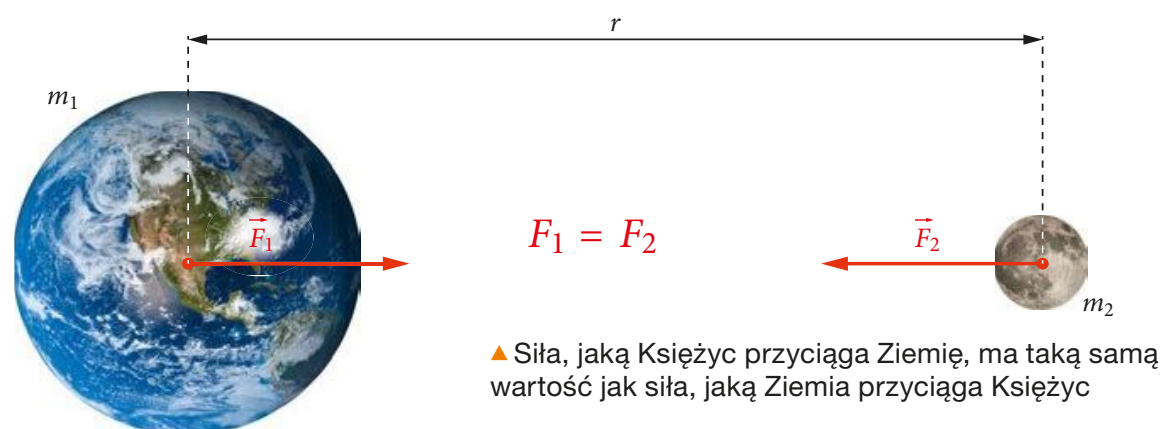
Cele lekcji:

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

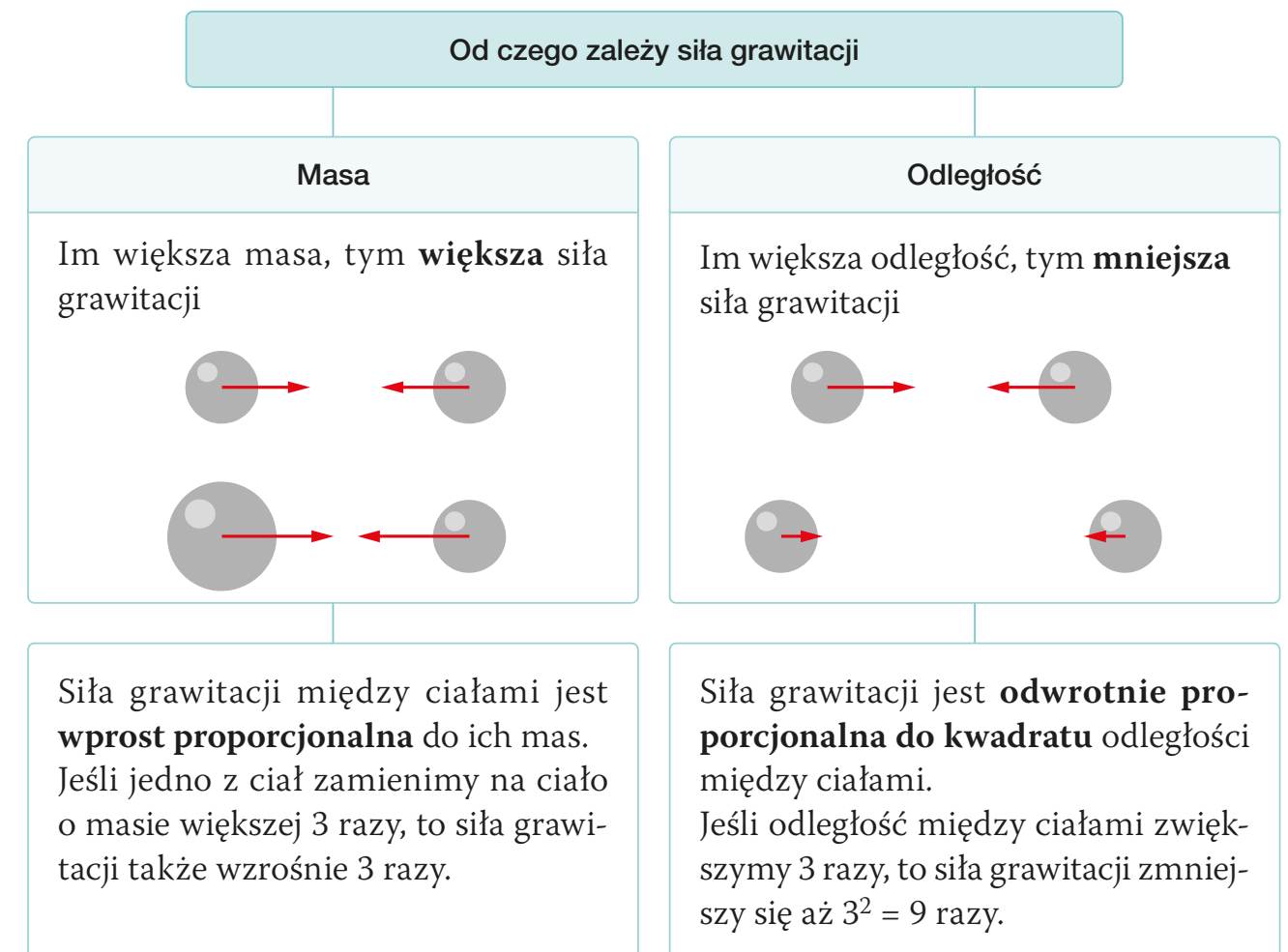
■ Oddziaływanie grawitacyjne i siła grawitacji

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, na Księżycu, a także między planetami i księżycami. 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 ramka „Z historii” na s. 122). Aby wyjaśnić, dlaczego nie obserwujemy siły grawitacji np. między krzesłem a czajnikiem, musimy się najpierw dowiedzieć, jak obliczyć wartość tej siły.



Zauważ, że nawet na ciała o różnych masach działają równe co do wartości siły wzajemnego oddziaływania. To wynika z trzeciej zasady dynamiki.

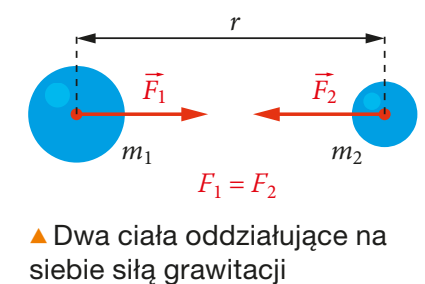
■ Prawo powszechnego ciążenia

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:

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

stała grawitacji masy ciał 1 i 2 odległość

gdzie $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} = 0,0000000000667 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$.
 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. 115).





Przypomnij sobie...

SIŁA CIĘŻKOŚCI

Siła ciężkości (ciężar) to siła, jaką Ziemia przyciąga dane ciało. Wiesz z lekcji 3., że jest ona tym większa, im większa jest masa ciała. Jej wartość obliczamy ze wzoru:

$$F_g = mg$$

gdzie: m – masa ciała,
 g – przyspieszenie ziemskie $= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Wartość tej siły można odczytać za pomocą siłomierza (patrz zdjęcie).

Z siłą ciężkości mamy do czynienia także na innych ciałach niebieskich, ale zwykle ma ona tam inną wartość (dokładniej piszemy o tym na s. 117).



Co rozumiemy przez odległość

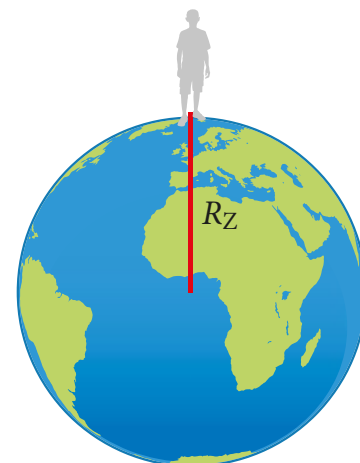
We wzorze na wartość siły grawitacji występuje odległość r . Jak należy ją rozumieć? Otóż jest to odległość między środkami przyciągających się ciał. Jeśli człowiek znajduje się na wysokości 1 m nad powierzchnią Ziemi, to jego odległość r od Ziemi wcale nie jest równa 1 m. Należy wziąć pod uwagę odległość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

Kiedy prawo powszechnego ciążenia daje dokładny wynik

Wzór na prawo powszechnego ciążenia pozwala uzyskać dokładny wynik m.in. wtedy, gdy:

- ▶ oba ciała są kulami,
- ▶ oba są niewielkie w stosunku do dzielącej je odległości (nawet Słońce i Ziemia są niewielkie, gdy ich średnice porównamy z dzielącą je odległością),
- ▶ jedno z ciał jest kulą, a drugie jest niewielkie w stosunku do dzielącej je odległości (patrz przykład 2. na s. 116).

Jeśli podany wzór stosujemy do ciał o kształcie innym niż kulisty i znajdujących się blisko siebie, wynik będzie tylko przybliżony.



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

Siła grawitacji między ciałami spotykanymi na co dzień

Stała grawitacji G jest wyrażona bardzo małą liczbą (w jednostkach SI rzędu dziesięciomiliardowej części jedności). Dlatego w przypadku ciał znanych z życia codziennego siła grawitacji, jaką wzajemnie na siebie działają, ma bardzo niewielką wartość. Obliczmy teraz przykład takiej siły.

$$\begin{aligned} \text{Wartość stałej grawitacji} \\ G &= 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} = \\ &= 0,0000000000667 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \end{aligned}$$

Przykład 1

Obliczanie wartości siły grawitacji

Dwoje uczniów siedzi w ławce. Odległość między nimi wynosi 80 cm. Masa każdego z nich wynosi 60 kg. Oblicz wartość siły grawitacji działającej między uczniami.

Dane:

$$\begin{aligned} m_1 &= m_2 = 60 \text{ kg} \\ r &= 80 \text{ cm} = 0,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Szukane:

$$F = ?$$

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

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na siłę grawitacji:

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

Otrzymamy wynik przybliżony, ponieważ uczniowie nie mają kształtu kuli. Podstawiamy dane liczbowe:

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{60 \text{ kg} \cdot 60 \text{ kg}}{(0,8 \text{ m})^2} \approx 4 \cdot 10^{-7} \text{ N}.$$

Odpowiedź: Między uczniami działa siła grawitacji równa ok. $4 \cdot 10^{-7} \text{ N}$.



Wartość obliczonej siły jest znikoma, sto razy mniejsza od ciężaru mrówki. Dlatego trudno zaobserwować skutki siły grawitacji między ciałami o niewielkiej masie. Możemy ją dostrzec, jeśli przynajmniej jedno z ciał ma wielką masę, np. gdy jest planetą.

A to ciekawe

W kosmosie, gdzie nie ma oporów ruchu, nawet przyciąganie małych cząstek pyłu powoduje ich ruch, a po odpowiednio długim czasie – zbieranie się w większe skupiska. Właśnie w ten sposób powstają gwiazdy. Na zdjęciu (wykonanym w podczerwieni, podobnie jak w termokamerze) widzisz ognistą klepsydę – rodzą się gwiazda i jej układ planetarny.



■ Prawo powszechnego ciążenia a iloczyn mg

Siłę ciężkości działającą na ciało na powierzchni Ziemi umiesz już obliczyć ze wzoru $F = mg$ (patrz → **Przypomnij sobie 12**, s. 9). Dla masy 1 kg jest to ok. 10 N. Poniższy przykład pokazuje, że prawo powszechnego ciążenia daje taki sam wynik.

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 ciało o masie 1 kg leżące na jej powierzchni.

Dane:

$$M = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

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

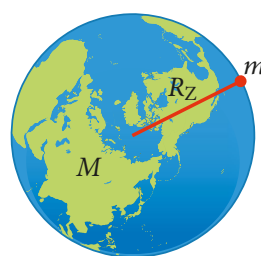
$$R_Z = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$$

Szukane:

$$F = ?$$

Rozwiązanie:

Przez odległość między ciałami rozumiemy w tym przypadku odległość ciała od środka Ziemi, równą promieniowi naszej planety. Korzystamy ze wzoru na siłę grawitacji:



Podstawiamy dane do wzoru:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{R_Z^2} \quad [F] = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{\text{kg}^2}{\text{m}^2} = \text{N}$$

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{6 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 1 \text{ kg}}{(6,4 \cdot 10^6 \text{ m})^2} \approx 9,8 \text{ N}$$

Odpowiedź: Ziemia przyciąga ciało o masie 1 kg leżące na jej powierzchni siłą 9,8 N.

Uwaga. Siłę grawitacji działającą na ciało przy powierzchni Ziemi znacznie łatwiej obliczać ze wzoru $F_g = mg$. Jednak metoda z przykładu 2. jest ogólniejsza. Można ją zastosować do dowolnych dwóch ciał we Wszechświecie. Pozwala ona także wyznaczyć **przyspieszenie grawitacyjne g** , będące odpowiednikiem przyspieszenia ziemskiego na innych ciałach niebieskich.

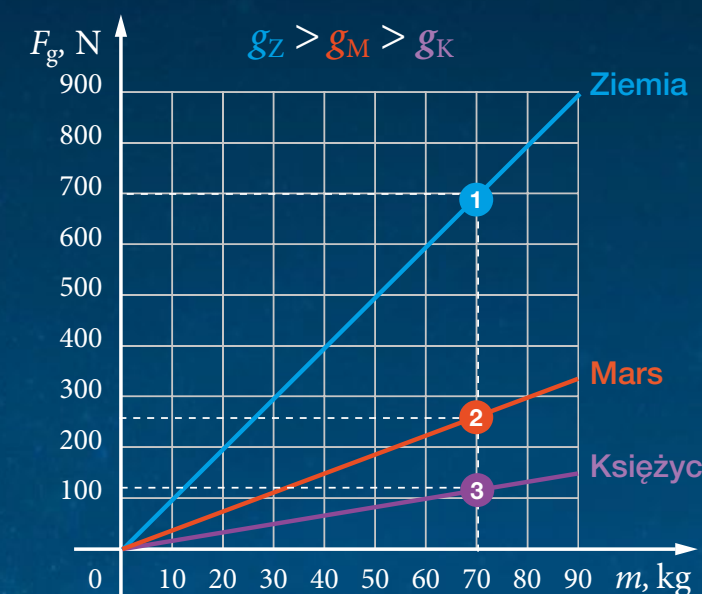
To najważniejsze

- ▶ 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 $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$.
- ▶ 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.

Ciężar na różnych ciałach niebieskich

Jak pokazuje przykład 2., siła grawitacji na Ziemi zależy od jej masy i promienia. Dlatego na innych planetach czy księżycach ciężar astronauty **nie będzie taki sam jak na Ziemi**. Wyznaczamy go ze wzoru:

$$\text{ciężar} \rightarrow F_g = m g_{\text{cn}} \quad \begin{array}{l} \text{masa ciała} \\ \text{przyspieszenie grawitacyjne} \\ \text{na danym ciele niebieskim} \end{array}$$



1 Na Ziemi ciężar astronauty o masie 70 kg jest równy 686 N.

2 Na Marsie ten sam astronauta miałby ciężar ok. 260 N, ponieważ przyspieszenie grawitacyjne jest tam ok. trzech razy mniejsze.

3 Na Księżycu jego ciężar wyniosłby tylko 112 N.

Ciężar ciała zależy nie tylko od jego **masy**, lecz także od **przyspieszenia grawitacyjnego** w miejscu, w którym się znajduje.



1 $g_Z = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



2 $g_M = 3,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



3 $g_K = 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



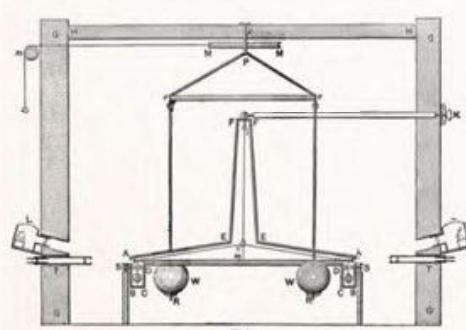
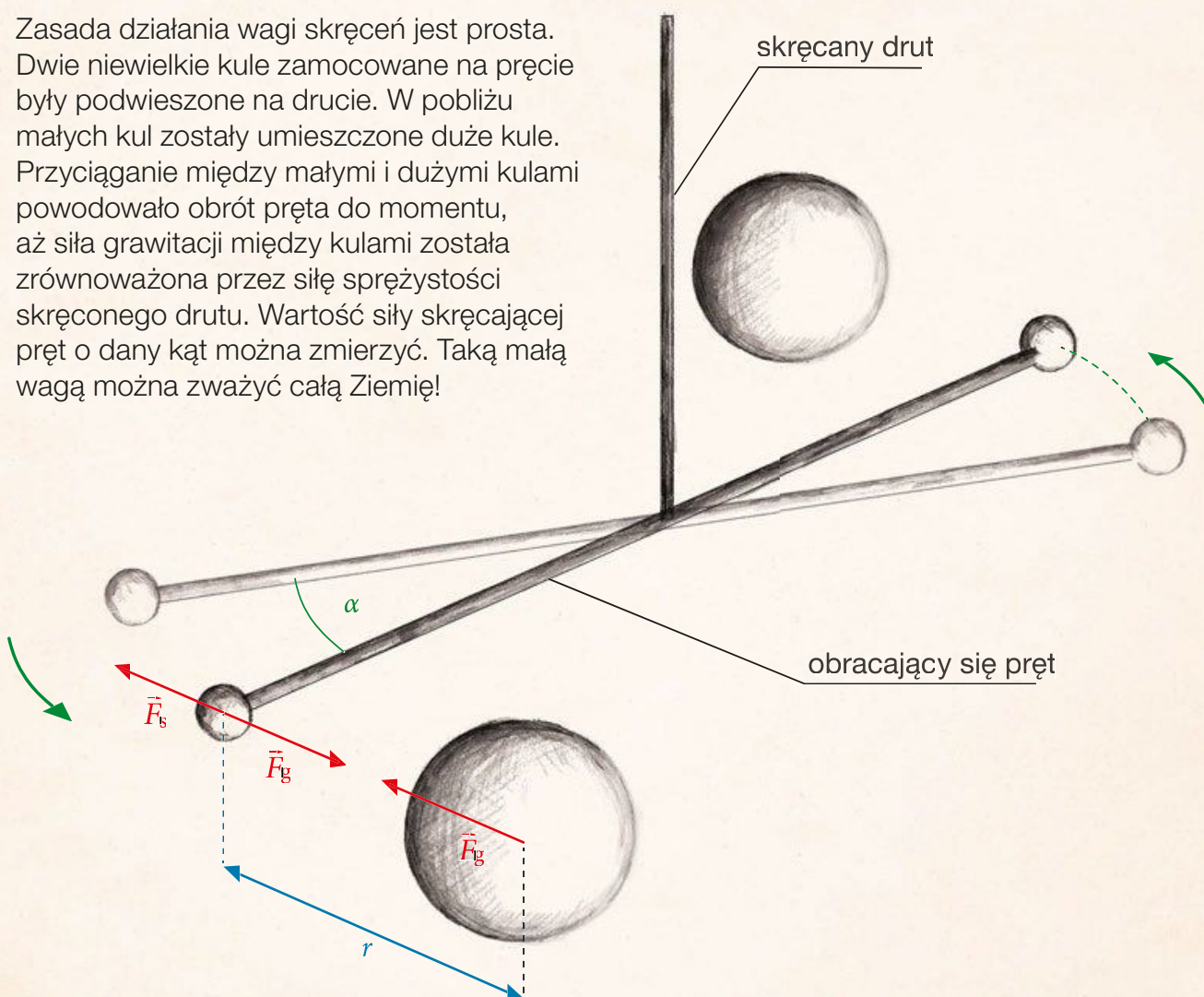
JAK MOŻNA WYZNACZYĆ MASĘ ZIEMI

Czy zastanowiło cię kiedyś, jak wyznaczono masę Ziemi? Otóż jeżeli znamy stałą grawitacji, promień Ziemi i siłę, jaką przyciąga ona ciało o danej masie, możemy wyznaczyć masę Ziemi ze wzoru podanego w przykładzie 2. na s. 116.

Ale jak wyznaczyć stałą grawitacji?

W 1798 r. Henry Cavendish (czyt. henri kawendysz) zbudował przyrząd zwany wagą skręceń, który pozwolił wyznaczyć siłę grawitacji między dwoma ciałami o znanych masach. Wyznaczona za jego pomocą przez Cavendisha stała G , a więc i 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. Taką małą wagą można zważyć całą Ziemię!



Szkic przekroju wagi skręceń Cavendisha

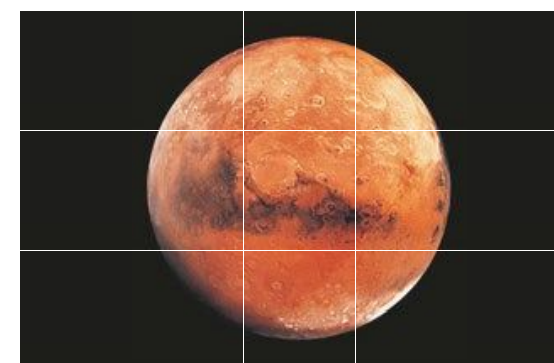
Cavendish w swojej wadze użył dwóch małych ołowianych kul o średnicy 5,1 cm i masie 0,78 kg każda oraz dużych kul o średnicy 30 cm i masie 158 kg każda, również wykonanych z ołowiu. Małe kule były zawieszone na drewnianym pręcie o długości 1,8 m, a duże kule były zamocowane tak, że można je było precyzyjnie ustawiać względem małych.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE



- Naszkicuj w zeszycie Ziemię na orbicie wokół Słońca.
 - Narysuj wektor prędkości Ziemi.
 - Która z sił jest większa: siła, jaką Ziemia przyciąga Słońce, czy siła, jaką Słońce przyciąga Ziemię? A może siły te są równe? Narysuj wektory sił z zachowaniem odpowiednich proporcji.
- Dwa ciała przyciągają się siłą 36 mN. Jaką siłą będą się przyciągać, jeżeli:
 - odległość między nimi wzrośnie trzykrotnie,
 - odległość między nimi zmaleje dwukrotnie,
 - jedno z ciał zamienimy na ciało o masie 10 razy większej,
 - każde z ciał zamienimy na ciało o masie 2 razy mniejszej?
- W tabeli 1. na s. 246 podano masy i średnie odległości od Słońca planet Układu Słonecznego. Wskaż zdania prawdziwe.
 - Merkury jest przyciągany przez Słońce większą siłą niż Wenus, ponieważ znajduje się bliżej Słońca.
 - Ziemia jest przyciągana przez Słońce mniejszą siłą niż Wenus.
 - Mars jest przyciągany przez Słońce większą siłą niż Merkury, ponieważ ma ok. 2 razy większą masę.
 - Mars jest przyciągany przez Słońce mniejszą siłą niż Ziemia.
- P1** Dwa autobusy o masie 15 t każdy stoją w odległości 50 m od siebie. Oblicz przybliżoną wartość siły grawitacji działającej między tymi pojazdami.
 - Porównaj siłę grawitacji, jaką Ziemia przyciąga astronautę o masie 80 kg:
 - na powierzchni Ziemi,
 - na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, krążącej na wysokości ok. 400 km nad powierzchnią Ziemi,
 - na powierzchni Księżyca, czyli w odległości ok. 380 000 km od Ziemi.
 W których przypadkach wzór $F = mg$ daje poprawny wynik?
- P2** W przyszłości jednym ze źródeł surowców mogą się stać planetoidy bogate w złoto, kobalt czy pallad. Niewielka masa tych obiektów będzie jednak wymagała od przyszłych misji technologii zapobiegających przypadkowemu oddalaniu się sprzętu w kosmos.
 - Oszacuj siłę grawitacji, jaką planetoida Ryugu o masie $4,5 \cdot 10^{11}$ kg i średnicy 500 m przyciągałaby koparkę o masie 2 ton stojącą na jej powierzchni.



15 Siła grawitacji jako siła dośrodkowa



Dlaczego Księżyc nie spada na Ziemię, skoro Ziemia go przyciąga?

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

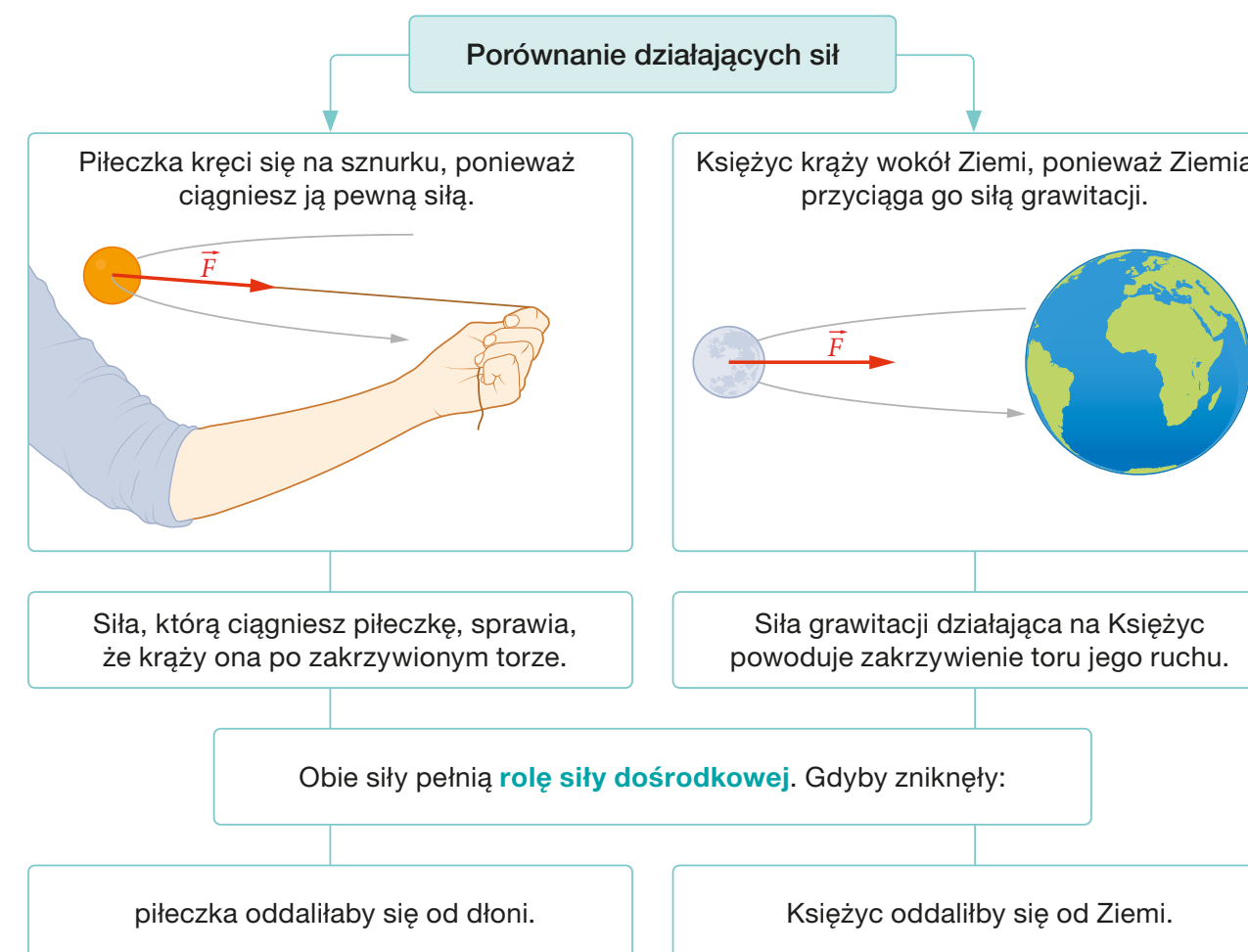
Skoro Ziemia krąży wokół Słońca, musi na nią działać jakaś siła dośrodkowa. W przeciwnym razie Ziemia poruszałaby się po prostej. O tym jednak nikt by się nie uczył, ponieważ z dala od Słońca uczniowie, nauczyciele i autorzy podręczników szybko by zamarli. Zatem jaka siła zapewnia ruch obiegowy Ziemi 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 oraz księżyców wokół planet. Dzięki niej Ziemię okrążają także sztuczne satelity (Księżyc jest satelitą naturalnym).

Jak zilustrować właściwości siły grawitacji

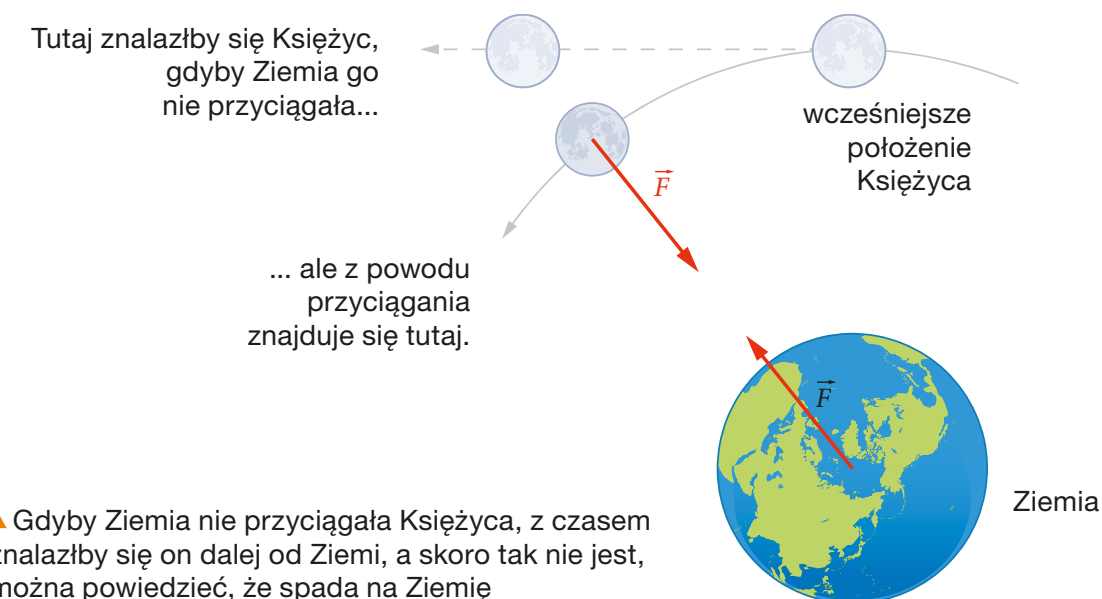
W szkolnej pracowni trudno badać oddziaływania grawitacyjne ciał niebieskich, dlatego aby zilustrować właściwości siły grawitacji, posłużymy się pewną analogią. Porównamy ruch piłeczki przywiązanej do sznurka, która krąży w płaszczyźnie poziomej (rys. po lewej na następnej stronie), z ruchem Księżyca wokół Ziemi (rys. po prawej).



Dlaczego Księżyc nie spada na Ziemię

Na to pytanie możemy nieco przekornie odpowiedzieć: „Właściwie to spada!” (patrz rys.). Przecież gdyby Ziemia nie przyciągała Księżyca, poleciałby on prosto i znalazł się dalej od niej, czyli... wyżej. Skoro dzięki przyciąganiu ziemskiemu jest w stałej odległości od Ziemi – możemy w uproszczeniu nazwać to „spadaniem”.

Te dwa zjawiska – oddalanie i „spadanie” – się równoważą. W ten sposób siła przyciągania powoduje jedynie zakrzywienie toru ruchu Księżyca tak, że okrąża on Ziemię w stałej odległości od jej środka. W tym sensie możemy też mówić, że Ziemia (jak każda planeta w Układzie Słonecznym) „spada na Słońce”.



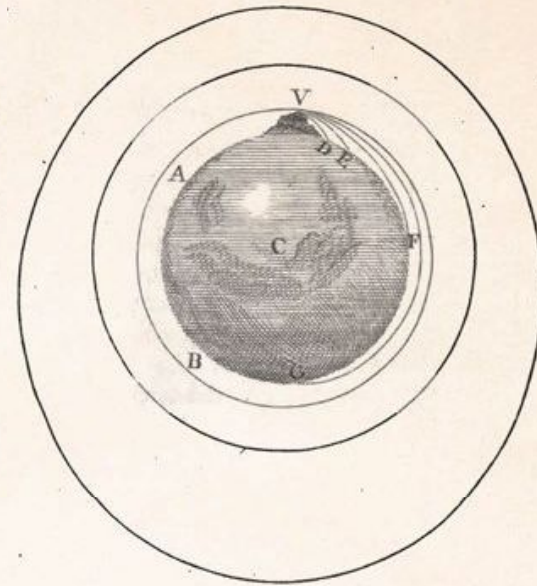


DZIAŁO NEWTONA

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, ponieważ pociski lecą dalej, niż działałoby się to wtedy, gdyby nasza planeta była płaska (patrz rys. obok). W końcu pocisk o odpowiednio dużej prędkości wcale nie spada, ale okrąża Ziemię i trafia w armatę od tyłu. Gdy do takiej kuli armatniej wystrzelonej z bardzo dużej wysokości porówna się Księżyc, łatwo zrozumieć zasadę jego ruchu.

Dziś, ponad trzysta lat po ogłoszeniu teorii Newtona, Ziemię okrążają tysiące sztucznych satelitów.



▲ Rycina z dzieła Izaaka Newtona



▲ Kangur popycha Ziemię taką samą siłą, jaką Ziemia popycha kangura. Jednak masa Ziemi jest ok. 10^{23} razy większa od masy kangura, więc przyspieszenie naszej planety jest ok. 10^{23} razy mniejsze od przyspieszenia zwierzęcia, czyli niezauważalnie małe

■ 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.

■ Układy podwójne

Wzajemne okrążanie dwóch przyciągających się ciał jest najlepiej widoczne, gdy ich masy są podobne. Dzieje się tak w przypadku układów podwójnych gwiazd. Wiele gwiazd nie porusza się w przestrzeni samotnie, lecz ma towarzyszkę lub towarzyszkę.

Układ podwójny tworzą np. Syriusz A – najjaśniejsza gwiazda naszego nieba i znacznie mniejszy od niej Syriusz B (patrz zdjęcie obok). Mniejszej z nich nie zobaczymy gołym okiem. Została odkryta nie poprzez bezpośrednie obserwacje, ale dzięki analizie ruchu Syriusza A.



▲ Układ podwójny: Syriusz A i Syriusz B

To najważniejsze

- ▶ Funkcję siły dośrodkowej w ruchu ciał niebieskich pełni siła grawitacji.
- ▶ Siła grawitacji powoduje, że planety krążą wokół Słońca, a Księżyc wokół Ziemi.
- ▶ Ziemia ma masę ponad 300 tysięcy razy mniejszą niż Słońce, dlatego wpływ Ziemi na ruch Słońca jest niewielki.

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.

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 którym przypadku wpływ księżyca na ruch planety jest większy: Ziemi i Księżyca czy Plutona i jego satelity – Charona (patrz zdjęcie poniżej).

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) Podaj wartość siły grawitacji F_2 , jaką Merkury przyciąga Słońce.

b) Siła F_1 powoduje ruch Merkurego wokół Słońca. Wyjaśnij, dlaczego opisana w punkcie a) siła F_2 nie powoduje ruchu Słońca wokół Merkurego.

5. Oblicz wartość siły grawitacji, jaką Słońce przyciąga Ziemię:

- a) z prawa powszechnego ciążenia,
- b) ze wzoru na wartość siły dośrodkowej $F = \frac{mv^2}{r}$.

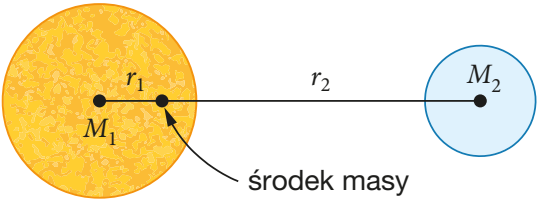
Wskazówka. Prędkość Ziemi na orbicie wokół Słońca możesz obliczyć na podstawie jej odległości od Słońca (150 mln km) i czasu obiegu (1 rok).

6. Skorzystaj z tabel 1. i 2. zamieszczonych na s. 246 i oblicz wartość siły grawitacji działającej między:

- a) Ziemią i Księżycem,
- b) Słońcem i Księżycem.

Porównaj otrzymane wyniki.

7. Czy Ziemia krąży wokół Słońca czy Słońce wokół Ziemi? W rzeczywistości oba te ciała poruszają się wokół pewnego punktu, leżącego na łączącej je prostej – wspólnego środka masy układu. Położenie środka masy zależy od mas i wzajemnej odległości obu ciał. Spełniona jest przy tym równość: $M_1 r_1 = M_2 r_2$. Oblicz odległość środka masy układu Ziemia–Słońce od środka Słońca. Czy ten punkt znajduje się wewnątrz Słońca czy poza nim? Takie same obliczenia wykonaj dla układu Jowisz–Słońce.



Amatorskie obserwacje astronomiczne



Czy do systematycznych obserwacji nieba potrzebujemy teleskopu?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak i gdzie przeprowadzać obserwacje astronomiczne.
- Poznasz aplikacje i strony internetowe pomocne podczas obserwacji.

■ Miłośnicy astronomii

Odkrywczy kosmosu nie zawsze korzystają z wielkich i bardzo drogich instrumentów. Obserwacje gwiazd, poszukiwania komet i planetoid to zadania, w których ważna rola przypada astronomom amatorom. Wielu z nich doczekało się już tytułu odkrywcy i własnych naukowych publikacji.

Jeśli chcesz rozpocząć przygodę z astronomią, poszukaj wsparcia u jej pasjonatów. W wielu miastach odnajdziesz **koła miłośników astronomii**. Możesz też przeglądać zdjęcia nieba wykonane przez innych, np. zamieszczone w internecie.

Jeśli chcesz samodzielnie badać niebo, możesz rozpocząć obserwacje bez jakiegokolwiek sprzętu. Naucz się rozpoznawać poszczególne gwiazdozbiory, badaj Księżyc, śledź zaćmienia Słońca i Księżyca.

Nigdy nie patrz na Słońce przez lornetkę ani teleskop! Grozi to utratą wzroku w ciągu ułamka sekundy. Patrzenie na Słońce gołym okiem też jest szkodliwe.



▲ Za pomocą tego teleskopu w 2011 r. uczniowie z Torunia i Sierpca odkryli trzy planetoidy; copyright: Michael E. Lockwood, Lockwood Custom Optics, Inc.

W poszukiwaniu ciemnego nieba

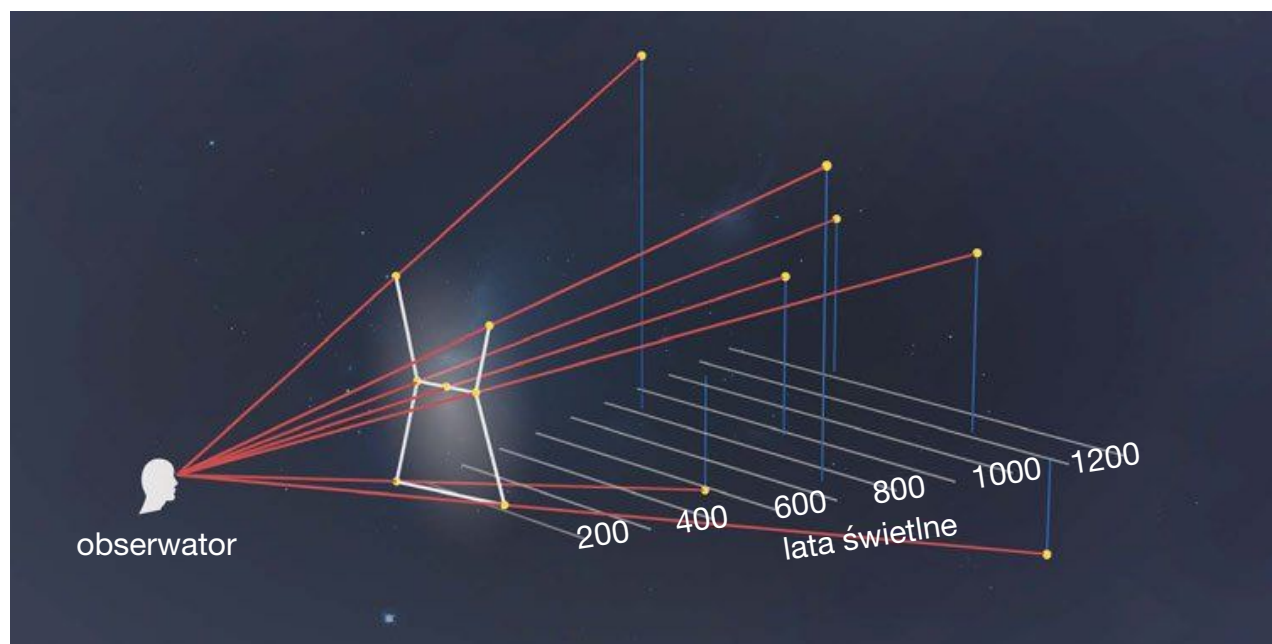
W wielkim mieście nawet przy bezchmurnej pogodzie nie widać zbyt wielu gwiazd. Aby prowadzić obserwacje nieba, trzeba poszukać miejsca położonego z dala od świateł latarni i domów, np. w czasie szkolnej wycieczki. Kiedy wreszcie znajdziesz się w odpowiednim miejscu, musisz przyzwyczaić wzrok do ciemności przez ok. pół godziny.

Gwiazdozbiory

Kiedy spoglądasz 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. Niektóre charakterystyczne układy gwiazd nazywamy gwiazdozbiorami.

Obecnie w astronomii terminem gwiazdozbiór określa się cały obszar na niebie. Sfera niebieska mieści ich 88. Na mapach nieba są one oddzielone liniami przypominającymi granice państw na mapie. Każdy nowy obiekt odkryty przez astronomów zostaje przypisany do jednego z gwiazdozbiorów, nawet jeśli nie pasuje do pierwotnego rysunku.

Gwiazdy należące do jednego gwiazdozbioru nie zawsze znajdują się blisko siebie w kosmosie: niektóre z nich są położone bliżej Ziemi, inne – znacznie dalej. Tak się jednak złożyło, że można je obserwować, patrząc na niebo w podobnym kierunku.



▲ Gwiazdy, które widzimy na niebie jako bliskie, mogą znajdować się w kosmosie daleko od siebie

Gwiazdy wschodzą i zachodzą

Gdy przez dłuższy czas obserwujemy gwiazdziste **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 (patrz zdjęcie s. 127). 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.

A to ciekawe

Z południowej półkuli Ziemi widać inne gwiazdy i gwiazdozbiory niż z Polski. Charakterystycznym gwiazdozbiorem południowego nieba jest Krzyż Południa. Za jego pomocą można odnaleźć południowy biegun nieba i określić, gdzie jest południe – jest to jednak trudniejsze niż znalezienie północy na naszej półkuli.



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 odpowiednika Gwiazdy Polarnej – na południowym przedłużeniu osi obrotu Ziemi nie znajduje się żadna jasna gwiazda.

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.

Najczęściej gdy skierujemy smartfon ku niebu, zobaczymy na ekranie podpisane konstelacje i planety znajdujące się za urządzeniem.

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.



▲ Na zdjęciu naświetlanym przez ponad godzinę widać ślady pozornego ruchu gwiazd na niebie

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.

Entuzjastów obserwacji satelitów może z kolei zainteresować aplikacja **ISS Detector**, pokazujący położenie i przeloty nad nami Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Natomiast obrazy rejestrowane przez stację można podziwiać dzięki aplikacji **ISS HD Live**.

A nasz naturalny satelita? W internecie znajdziemy też aplikacje poświęcone obserwacjom Księżyca, np. **Moon Atlas 3D**.



▲ Obserwacja nieba za pomocą smartfona

Mapy nieba – komputerowe i tradycyjne

Nie da się opublikować mapy przedstawiającej zawsze obowiązujący układ gwiazd i planet na niebie, ponieważ 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.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



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

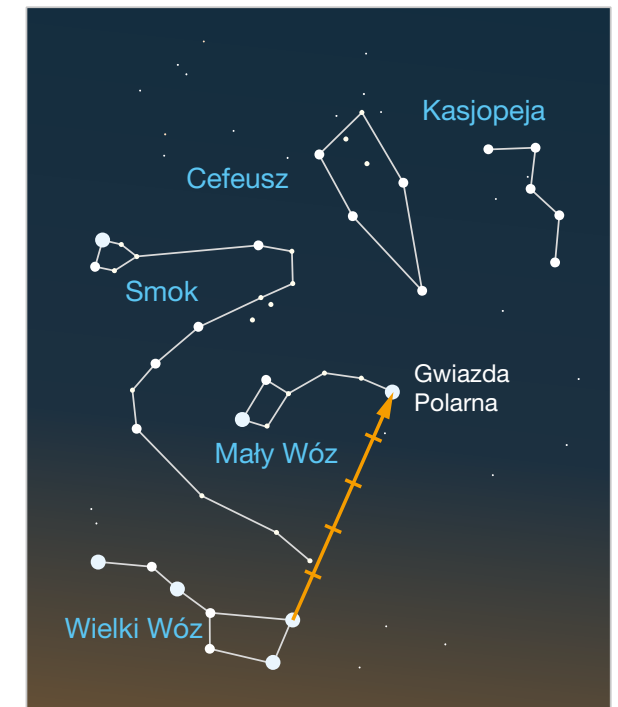
1. Znajdź na niebie Wielki Wóz.

Uwaga. Gwiazdozbiór, w którego skład wchodzi Wielki Wóz, jest nazywany przez astronomów Wielką Niedźwiedzicą.

2. Spójrz na dwie gwiazdy z tyłu Wielkiego Wozu. Jeśli łączący je odcinek przedłużysz pięciokrotnie do góry Wozu, to odnajdziesz niezbyt jasny, ale bardzo ważny punkt – Gwiazdę Polarną. Wskaż ją palcem. Później opuść rękę prosto do poziomu. 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 na wschodzie nisko nad horyzontem ulega zmianie? Co się stało z gwiazdami, które wcześniej znajdowały się nisko na zachodzie? A Gwiazda Polarna – czy dalej wskazuje ten sam kierunek? Sprawdź to: ponownie znajdź Gwiazdę Polarną w sposób opisany wyżej.

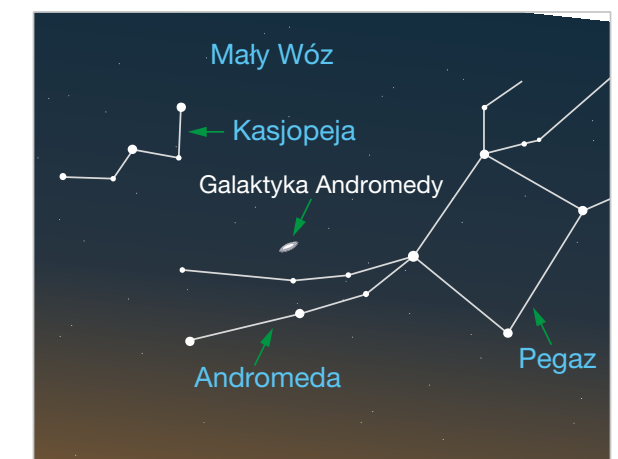


B. Szukanie gwiazdozbiorów

1. Weź obrotową mapę nieba lub uruchom aplikację.
2. Stań na otwartej przestrzeni twarzą w stronę południa. Podnieś mapę nad głowę tak, aby 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 jak bardzo charakterystyczny gwiazdozbiór Kasjopei. Wiele gwiazdozbiorów obserwujemy na niebie tylko przez część roku. Zimą warto poszukać Oriona, latem – Łabędzia, Herkulesa i Wolarza.

C. Daleka galaktyka

1. W jesienny wieczór poza obszarem miejskich świateł poszukaj na niebie gwiazdozbioru Kasjopei, przypominającego niezbyt dużą, ale bardzo wyraźną literę W.
2. Potraktuj prawą połówkę litery jak strzałkę w dół i przesun wzrok mniej więcej na odległość równą szerokości całej litery. Przy dobrej, bezchmurnej pogodzie odnajdziesz tam słabą, rozmytą plamkę – Galaktykę Andromedy, odległą od nas aż o 2,5 mln lat świetlnych.





Ile paliwa zużywa sztuczny satelita krążący po orbicie wokół planety?

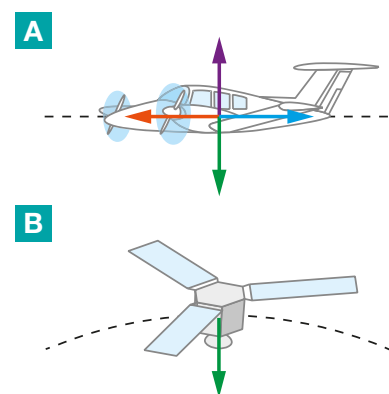
Cele lekcji:

- Nauczysz się opisywać ruch sztucznych satelitów wokół Ziemi.
- Dowiesz się, od czego zależy prędkość satelity na orbicie.
- Poznasz krótką historię lotów kosmicznych.

■ Dlaczego satelita okrąża Ziemię

Sztuczne satelity – podobnie jak Księżyc – krążą wokół Ziemi, a funkcję siły dośrodkowej pełni **siła grawitacji**. Ich ruch także można wyjaśnić także za pomocą „działa Newtona” (patrz s. 122). Satelity poruszają się na tyle szybko (z prędkością wyrażaną w kilometrach na sekundę!), że nie spadają na Ziemię. Nie potrzebują więc stale używać silników ani spalać paliwa (niewielkie silniki rakietowe pozwalają im obracać się albo zmieniać orbitę). Satelita musi znajdować się ponad atmosferą, czyli co najmniej kilkaset kilometrów nad Ziemią – w przeciwnym razie opór powietrza spowodowałby jego zahamowanie i upadek.

Sztuczne satelity mają dziś zastosowanie nie tylko w badaniach naukowych. Wykorzystujemy je również do prognozowania pogody, sporządzania map, nawigacji (system GPS), badania wulkanów, a nawet... wykrywania ognisk malarii.



▲ Samolot zużywa paliwo, aby **siła ciągu** mogła zrównoważyć **opór powietrza** i aby wytworzyć **siłę nośną** równoważącą **siłę grawitacji** (rys. **A**). Satelita ponad atmosferą porusza się bez oporów, a **siła grawitacji** powoduje jedynie zakrzywienie toru, więc nie trzeba jej równoważyć (rys. **B**).

POCZĄTKI ASTRONAUTYKI

Już niemal od siedmiu dekad Księżyc nie jest jedynym satelitą Ziemi.

W październiku 1957 r. na orbitę okołozemską wyniesiono radzieckiego sztucznego 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 dołączyły satelity amerykańskie.

W 1961 r. na pokładzie statku kosmicznego Wostok 1 okrążył Ziemię pierwszy człowiek – **Jurij Gagarin**.

Pierwszą kobietą w kosmosie była **Walentina Tierieszkowa**, która w 1963 r. spędziła tam dwie doby.

Sputnik 1,
1957



Apollo 11,
1969

Księżyc

Wostok 1,
1961

Ziemia

Następny przełom miał miejsce wtedy, gdy 20 lipca 1969 r. w trakcie misji **Apollo 11** na Księżycu wylądowali pierwsi Ziemianie: Amerykanie **Neil Armstrong** i **Buzz Aldrin**.

Obecnie trwa **misja Artemis**, której celem jest kolejne lądowanie na Księżycu, a nawet założenie na nim bazy załogowej.

Po Księżycu wędrują też łaziki chińskie i indyjski, a wkrótce Srebrny Glob może okrążyć załogowa stacja kosmiczna.

Na pokładzie **Międzynarodowej Stacji Kosmicznej** (ISS) przebywa nieprzerwanie od 3 do 6 osób. Prowadzą obserwacje Ziemi i eksperymenty naukowe w stanie nieważkości. Ziemię okrąża także chińska stacja kosmiczna Tiangong.



Prędkość satelity

Obliczmy teraz, z jaką prędkością porusza się satelita na orbicie. Wiemy, że rolę siły dośrodkowej w jego ruchu odgrywa siła grawitacji. Wobec tego możemy zapisać:

$$\text{siła dośrodkowa} \quad \frac{mv^2}{R} = \frac{GMm}{R^2} \quad \text{siła grawitacji}$$

Przekształćmy powyższe równanie, aby obliczyć prędkość:

$$\begin{aligned} \frac{mv^2}{R} &= \frac{GMm}{R^2} \quad | : m \\ \frac{v^2}{R} &= \frac{GM}{R^2} \quad | \cdot R \\ v^2 &= \frac{GM}{R} \end{aligned}$$

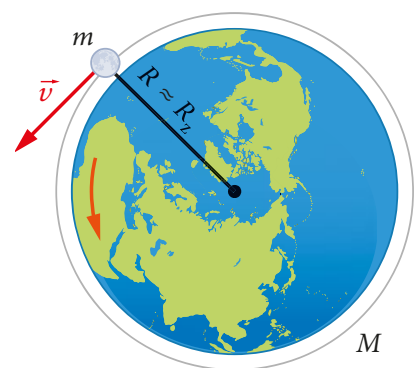
Stąd otrzymujemy wzór na **prędkość satelity**:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

prędkość satelity v stała grawitacji G
odległość satelity od środka Ziemi R masa Ziemi M

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 taką samą prędkością**.

Opis symboli:
 M – masa Ziemi,
 m – masa satelity,
 v – prędkość satelity,
 R – odległość satelity od środka Ziemi,
 G – stała grawitacji.



▲ Dla satelity na niskiej orbicie odległość od środka Ziemi (R) jest zbliżona do promienia Ziemi (R_Z)

Przykład

Obliczanie prędkości i okresu obiegu satelity

Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS) krąży wokół Ziemi na wysokości ok. 400 km. Oblicz jej prędkość i okres obiegu wokół naszej planety.

Rozwiązanie:

Odległość ISS od środka Ziemi to suma promienia Ziemi i wysokości, na jakiej znajduje się stacja:

$$R = 6400 \text{ km} + 400 \text{ km} = 6800 \text{ km} = 6\,800\,000 \text{ m} = 6,8 \cdot 10^6 \text{ m}$$

Prędkość obliczamy ze wzoru:

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{GM}{R}} \\ v &= \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6,8 \cdot 10^6}} = 7670 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,67 \frac{\text{km}}{\text{s}} \\ [v] &= \sqrt{\frac{\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \text{kg}}{\text{m}}} = \sqrt{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Zakładamy, że stacja porusza się po okręgu.

➡ Z taką prędkością stacja obiega Ziemię po orbicie o długości:

$$s = 2\pi R = 42\,700 \text{ km}$$

Zatem okres obiegu, czyli czas pokonania tej drogi, wynosi:

$$T = \frac{s}{v} = \frac{42\,700 \text{ km}}{7,67 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 5570 \text{ s} = 93 \text{ min}$$

Odpowiedź: ISS porusza się z prędkością ok. $7,67 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, a obieg Ziemi zajmuje jej ok. półtorej godziny.

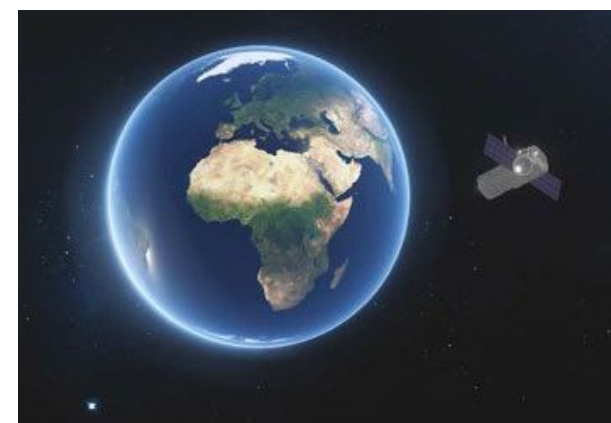
Wzór $2\pi R$ to wzór na długość okręgu, gdzie R to jego promień. Przyjmujemy przybliżenie $\pi \approx 3,14$.

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 stale nad tym samym punktem Ziemi.

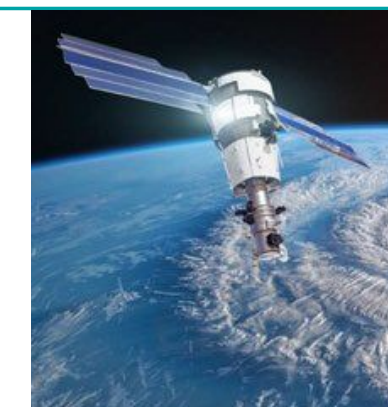
Taki satelita może więc zostać wykorzystany jako nadajnik sygnałów odbieranych przez nieruchome anteny naziemne, np. anteny telewizji satelitarnej. Taką antenę wystarczy raz skierować we właściwym kierunku i nie trzeba jej więcej przestawiać.



▲ 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. Jeśli zastanawiasz się, dlaczego ten czas nie wynosi **dokładnie** 24 h, dowiedz się, czym doba słoneczna różni się od doby gwiazdowej

A to ciekawe

Oprócz satelitów szpiegowskich, które fotografują tereny obcych państw, w kosmosie krążą satelity cywilne. Znaczna ich część to satelity meteorologiczne i 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 odbiornika na Ziemi.

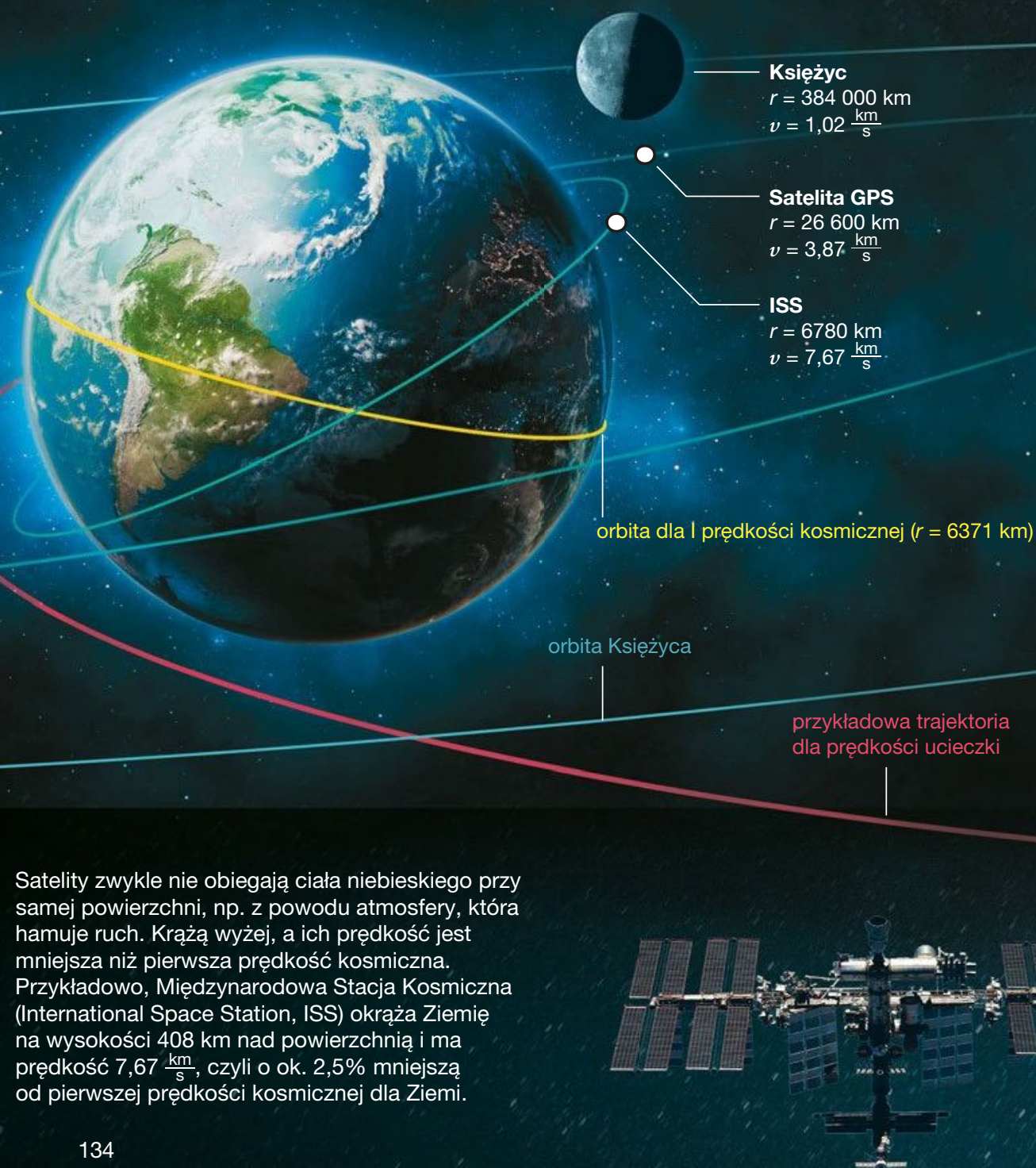


RUCH SATELITÓW NA ORBICIE

Jeśli satelita nie ma silników, które mogłyby korygować tor ruchu, to sposób w jaki się porusza wokół danego ciała niebieskiego, zależy od tego, jak wysoko się znajduje, oraz od jego prędkości. Przyjrzyjmy się, jak prędkość satelity zależy od wysokości, oraz co się dzieje z orbitą, gdy prędkość satelity na danej wysokości się zwiększa.

PIERWSZA PRĘDKOŚĆ KOSMICZNA

Prędkość obliczoną ze wzoru opisującego ruch satelity na orbicie kołowej tuż przy powierzchni ciała niebieskiego nazywamy I prędkością kosmiczną. Pierwsza prędkość kosmiczna jest inna dla każdego ciała niebieskiego ponieważ zależy od jego masy i promienia. Dla Ziemi wynosi ona $7,91 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.



Satelity zwykle nie obiegają ciała niebieskiego przy samej powierzchni, np. z powodu atmosfery, która hamuje ruch. Krążą wyżej, a ich prędkość jest mniejsza niż pierwsza prędkość kosmiczna. Przykładowo, Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (International Space Station, ISS) okrąża Ziemię na wysokości 408 km nad powierzchnią i ma prędkość $7,67 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, czyli o ok. 2,5% mniejszą od pierwszej prędkości kosmicznej dla Ziemi.

WZÓR NA PRĘDKOŚĆ SATELITY NA ORBICIE KOŁOWEJ

Wzór opisujący ruch satelity ma bardzo praktyczne zastosowanie. Dzięki niemu możemy w łatwy sposób się dowiedzieć, do jakiej prędkości trzeba rozpędzić satelitę, aby dalej mógł już bez napędu poruszać się po okręgu dookoła dowolnego ciała niebieskiego. Łatwo zauważyć, że promień orbity jest w mianowniku, a więc prędkość satelity na orbicie kołowej maleje wraz ze wzrostem wysokości.

stała grawitacji
jednakowa w całym
Wszechświecie

masa obieganego ciała
niebieskiego, np. Ziemi

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

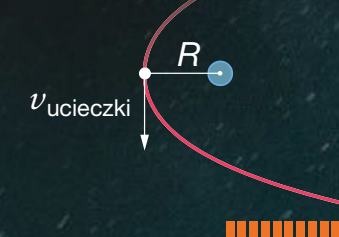
prędkość satelity

promień orbity

ORBITA ELIPTYCZNA

Satelita na danej wysokości R może mieć prędkość większą niż taka, jaka wynika z powyższego wzoru. Jeśli ta prędkość nie przekracza prędkości ucieczki, to satelita nie porusza się po okręgu, ale po elipsie, czyli krzywej przypominającej spłaszczony okrąg (więcej o elipsie na s. 162).

Im większa prędkość satelity w odległości R (w najbliższym położeniu), tym bardziej wydłużona elipsa orbity.



PRĘDKOŚĆ UCIECZKI, DRUGA PRĘDKOŚĆ KOSMICZNA

Jeśli obiekt zostanie wystrzelony z dostatecznie dużą prędkością – tzw. prędkością ucieczki – może z rozpędu już z wyłączonym silnikiem pokonać oddziaływanie grawitacyjne ciała niebieskiego i się od niego oddalić. Minimalna prędkość, aby tego dokonać z powierzchni ciała niebieskiego to tzw. druga prędkość kosmiczna. Dla Ziemi wynosi ona $11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Misje do innych planet

Badań innych planet nie prowadzą jeszcze wyprawy załogowe. W tym celu wykorzystujemy 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.



Sonda New Horizons

Część misji planetarnych tylko przelatuje obok swojego celu, inne po dotarciu na miejsce wchodzą na orbity planet. Sonda staje się sztucznym satelitą globu: obserwuje cel z wysokości kilkuset kilometrów, tworzy mapę powierzchni planety i bada właściwości jej atmosfery oraz otoczenia.

Najdalsze loty

Inne sondy wysłane na obrzeża Układu Słonecznego już docierają do jego granic. Dziś najdalej od Słońca znajduje się wystrzelona w 1977 r. sonda Voyager 1. O wiele trudniejszymi misjami są próby lądowania pojazdów bezzałogowych na planetoidach, a nawet na planetach: na Wenus i – najczęściej – na Marsie.



Badania planetoid

Badania planetoid mają m.in. zapobiec uderzeniu jednej z nich w Ziemię – katastrofie podobnej do tej, jaka przyniosła zagładę dinozaurów. Kosmiczne misje przywożą na Ziemię próbki pobrane z tych ciał, a także zderzają się z nimi, aby zbadać, jak bardzo wpłynie to na ich orbitę.

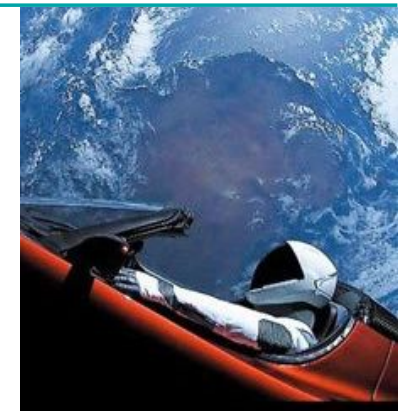
Loty na Marsa

Trwają prace nad pierwszym załogowym lotem na inną planetę – Marsa. Na razie odwiedzają go misje bezzałogowe: po jego powierzchni jeżdżą łaziki, a w atmosferze latał helikopter Ingenuity. Gdy nauczymy się, jak wracać z Czerwonej Planety, będą mogli tam polecieć ludzie. Będzie to jednak duże wyzwanie – w drodze tam i z powrotem astronauta spędzą 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 rakietą Falcon Heavy jest w stanie dostarczyć na inną planetę spory ładunek. Pierwotnym celem Starmana był Mars, jednak inżynierowie misji przestrelili swój cel. Auto krąży więc wokół Słońca po wydłużonej orbicie przecinającej orbitę Marsa, a jedno okrążenie Słońca zabiera mu ok. półtora roku.



To najważniejsze

- ▶ Sztuczne satelity krążą dookoła Ziemi zgodnie z tymi samymi prawami fizyki co Księżyc, czyli 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. Prędkość tę można 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. **i** 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. **P i** 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. 134–135.
 - c) Oblicz okres obiegu tego satelity.
4. Satelita geostacjonarny okrąża Ziemię na wysokości 35 800 km. Oblicz jego:
 - a) prędkość,
 - b) okres obiegu wokół Ziemi.
5. **i** 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, czujesz, że twoje ciało staje się cięższe. Natomiast gdy winda rusza w dół, jest odwrotnie – ciało wydaje się lżejsze. Te zjawiska nazywamy odpowiednio **przeciążeniem** i **niedociążeniem**.

Przeciążenie i niedociążenie nie oznaczają zmiany masy ciała ani zmiany siły ciężkości, jaką Ziemia je przyciąga. Wynikają tylko z ruchu przyspieszonego windy.

Jeśli w windzie staniesz na wadze sprężynowej, potwierdzi ona twoje odczucia. Jednak wiemy, że ruch windy nie może wpływać na twoją masę. Co więc się dzieje? Przypomnijmy sobie że, waga sprężynowa mierzy nie bezpośrednio masę, ale siłę, jaką naciskamy na szalkę. Gdy waga spoczywa, ta siła jest równa twojemu ciężarowi, czyli sile grawitacji, jaką przyciąga cię Ziemia.

Ziemia przyciąga ciało o masie m siłą ciężkości o wartości: $F_g = mg$, gdzie $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$.

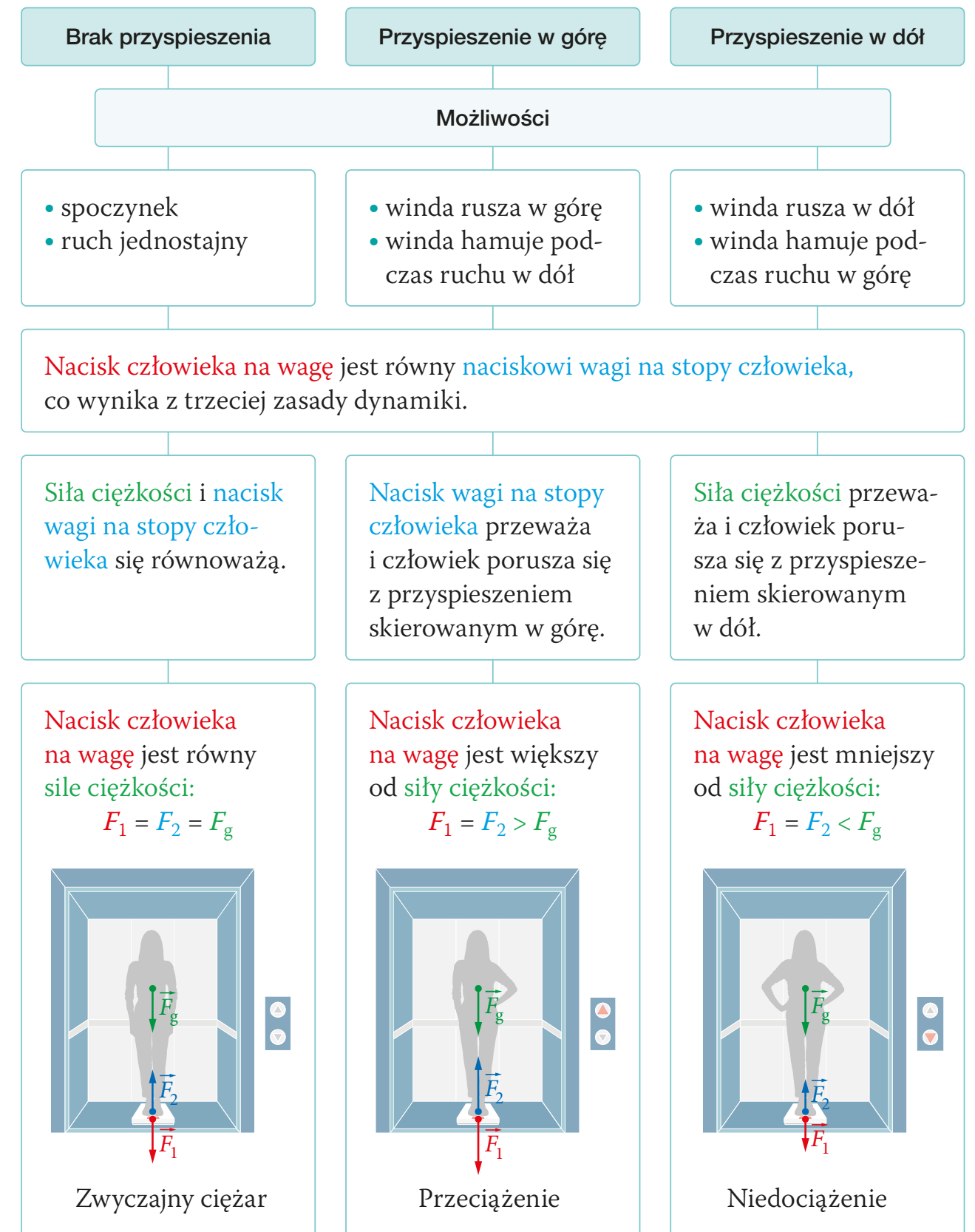


▲ Gdy waga spoczywa, siła nacisku jest równa sile ciężkości

Podobnie jest w czasie ruchu jednostajnego, gdy winda porusza się ze stałą prędkością. Jednak gdy winda rusza lub hamuje, sytuacja się zmienia. Wyjaśnimy to z dwóch punktów widzenia: obserwatora zewnętrznego i obserwatora w windzie.

■ Wyjaśnienie obserwatora zewnętrznego

Obserwator w układzie inercyjnym, czyli patrzący na windę z zewnątrz, może rozważyć trzy przypadki.



Przeciążenie i niedociążenie

Zwykle znajdujemy się w układzie inercyjnym, który się nie porusza lub porusza się ruchem jednostajnym. W takim układzie odczuwany ciężar jest równy sile ciężkości, z jaką Ziemia przyciąga dane ciało, i możemy go obliczyć ze znanego wzoru $F_g = mg$, gdzie m – masa ciała, g – przyspieszenie ziemskie $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$.

Ciężar w układzie nieinercyjnym – rola siły bezwładności

Gdy układ odniesienia porusza się ruchem przyspieszonym, na ciało wewnątrz układu działa siła bezwładności F_B , zwrócona przeciwnie do wektora przyspieszenia układu.

To właśnie siła bezwładności powoduje zwiększenie lub zmniejszenie ciężaru odczuwanego w układzie nieinercyjnym.

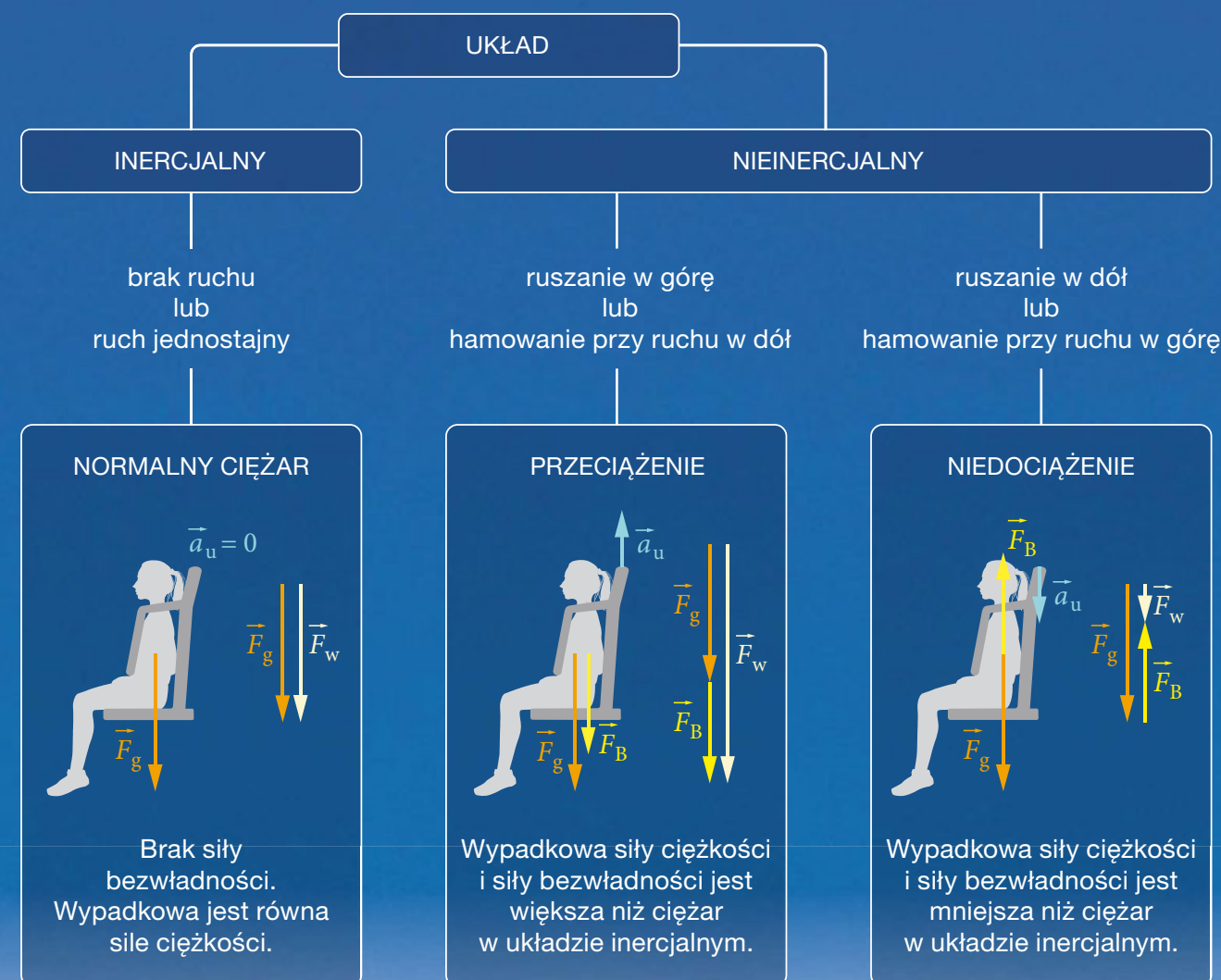
Wartość siły bezwładności można obliczyć ze wzoru:

$$F_B = ma_u$$

gdzie: m – masa ciała, na które działa siła bezwładności, a_u – przyspieszenie układu nieinercyjnego.

Kiedy występuje przeciążenie, a kiedy niedociążenie

Ciężar odczuwany w układzie nieinercyjnym (poruszającym się z przyspieszeniem) jest równy wypadkowej siły ciężkości F_g i siły bezwładności F_B .



Przeciążenie nie tylko w pionie

Pojęcia przeciążenia często używa się nie tylko w odniesieniu do sił działających w pionie, ale do różnych sytuacji, gdy układ porusza się z przyspieszeniem. Przykładowo można powiedzieć, że pilot myśliwca rozpędzającego się na pasie startowym podlega przeciążeniu, mimo że przyspieszenie samolotu ma kierunek poziomy. Często przeciążenie podaje się jako wielokrotność przyspieszenia ziemskiego: np. przeciążenie $3g$ oznacza, że przyspieszenie układu jest 3 razy większe niż $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$, a więc siła bezwładności jest trzykrotnie większa od ciężaru.



**A to ciekawe**

W windzie przyspieszenie nie jest zbyt duże, dlatego różnice wskazań wagi nie są znaczące, ale np. w startującej rakiecie twój ciężar zwiększyłby się pozornie nawet dziesięć razy. Kości astronauty mogłyby nie wytrzymać takiego obciążenia, dlatego w tych okolicznościach nikt nie stoi – astronauta leżą w specjalnie zaprojektowanych fotelach. Przed lotem przechodzą szkolenie przygotowujące ich organizmy do znoszenia takich przeciążeń.

**Wyjaśnienie obserwatora w windzie**

Winda porusza się z przyspieszeniem. Jak wiesz z lekcji 10., pojazd poruszający się z przyspieszeniem stanowi układ nieinercjalny, w którym działają siły bezwładności, skierowane przeciwnie do przyspieszenia układu.

To właśnie one pozwalają wyjaśnić pozorne zmiany ciężaru:

- ▶ gdy przyspieszenie windy jest skierowane w górę, siła bezwładności działa w dół, a więc dodaje się do siły ciężkości,
- ▶ gdy przyspieszenie windy jest skierowane w dół, siła bezwładności działa w górę, a więc częściowo równoważy ona siłę ciężkości.

Zmiany ciężaru a siły bezwładności w pojazdach

Z punktu widzenia fizyki pozorna zmiana ciężaru jest podobna do działania siły bezwładności w ruszającym lub hamującym 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.
- ▶ W kierunku pionowym zawsze działa na nas siła grawitacji, skierowana w dół, więc siłę bezwładności odczuwamy jako zmianę tej siły (choć faktycznie siła grawitacji się nie zmienia).

Zmiany ciężaru odczuwane bez wagi

Zrozumienie wskazań wagi stało się łatwiejsze dzięki wyjaśnieniu, skąd bierze się pozorna różnica ciężaru. Dlaczego jednak odczuwamy ją także bez żadnych przyrządów?

Otóż zmienia się nie tylko nacisk stóp na podłogę lub na wagę, lecz także nacisk głowy na szyję, tułowia na nogi itd. Te zmiany odczuwamy bezpośrednio swoimi zmysłami.



▲ Samochód jest zbudowany tak, aby w razie wypadku się zginał, co wydłuża czas hamowania i zmniejsza siły bezwładności działające na pasażerów. Może to uratować im życie, ale tylko pod warunkiem, że mają zapięte pasy i hamują razem z autem

Przykład**Wyznaczanie przyspieszenia na podstawie wskazań wagi**

Pasażer windy stanął na wadze sprężynowej i stwierdził, że jego masa wynosi 80 kg. Gdy winda ruszyła w dół, waga wskazała 71 kg. Pasażer ucieszył się, że schudł.

- a) Czy słusznie się ucieszył? Dlaczego?
- b) Z jakim przyspieszeniem ruszyła winda?

Rozwiązanie:

a) Oczywiście niesłusznie. Ani masa, ani ciężar pasażera się nie zmieniły. Zmienił się tylko jego nacisk na wagę.

b) Wskazanie wagi w czasie rozpędzania stanowiło $\frac{71}{80}$ wartości w spoczynku.

Zauważ, że 71 kg to $\frac{71}{80}$ z 80 kg.

To oznacza, że nacisk na wagę w czasie rozpędzania stanowił $\frac{71}{80}$ nacisku w spoczynku, czyli $\frac{71}{80}$ ciężaru pasażera.

W takim razie $\frac{71}{80}$ ciężaru pasażera stanowiła siła nacisku na wagę, a pozostałe $\frac{9}{80}$ to siła, która go rozpędzała, aby poruszał się razem z windą.

Zatem siła rozpędzająca go miała wartość:

$$F = \frac{9}{80} F_g = \frac{9}{80} mg$$

Ta siła nadawała mu przyspieszenie a , które chcemy obliczyć, więc:

$$F = ma$$

Z przyrównania prawych stron tych równań otrzymujemy:

$$ma = \frac{9}{80} mg \quad | : m$$

czyli:

$$a = \frac{9}{80} g = \frac{9}{80} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Przypomnij sobie 18 → s. 11–12

Odpowiedź: Winda ruszyła z przyspieszeniem $1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Nieważkość w spadającej windzie

Wyobraź sobie, że znajdujesz się w windzie spadającej z przyspieszeniem ziemskim. Gdyby wypadł ci z ręki jakiś przedmiot, okazałoby się, że nie spada on na podłogę. Ty też czułbyś, że twój ciężar jest zerowy. Wydawałoby ci się, że w windzie nie ma grawitacji.

Jednak gdyby winda była przeszklona, obserwator stojący na schodach stwierdziłby, że upuszczone ciało leci w kierunku ziemi, czyli spada. Ponieważ jednak wszystkie ciała w windzie spadają razem z nią z tym samym przyspieszeniem, równym przyspieszeniu ziemskiemu, więc nie poruszają się względem kabiny.

Stan taki nazywamy **nieważkością**.

Nieważkość nie oznacza braku grawitacji. Występuje w każdym układzie odniesienia, który spada swobodnie.

Stan nieważkości

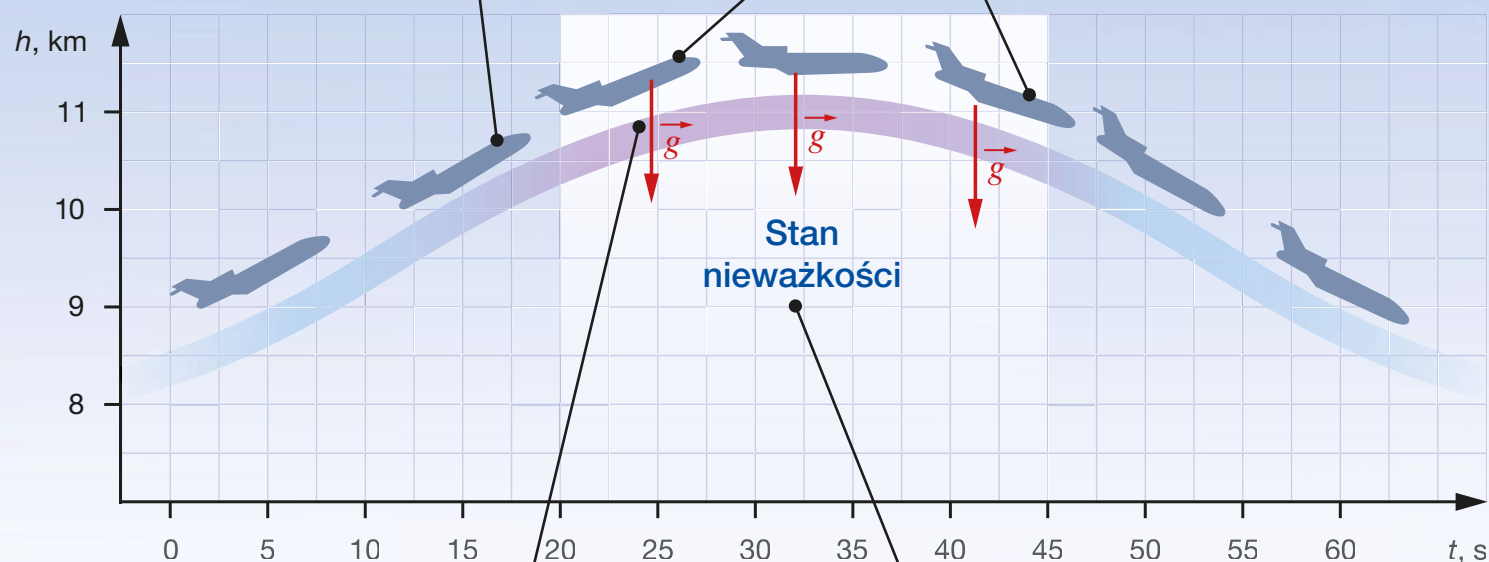
Stan nieważkości można uzyskać w samolocie poruszającym się z przyspieszeniem równym g i skierowanym w dół.



Pod koniec wznoszenia się samolotu pilot redukuje moc silników tak, aby ich ciąg jedynie kompensował opory powietrza.

Pasażerowie samolotu znajdują się w stanie nieważkości zarówno podczas wznoszenia, jak i w trakcie opadania.

Przez kilkadziesiąt sekund w samolocie panują takie same warunki jak na stacji kosmicznej.



Przyspieszenie samolotu może być skierowane w dół także podczas lotu w górę (jak w przypadku podrzuconego kamienia).

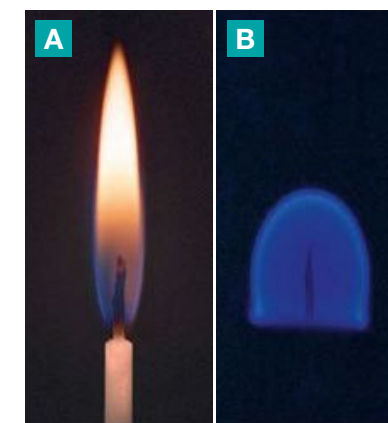
W tej fazie lotu samolot porusza się po podobnym torze jak rzucony kamień, a wewnątrz przez ok. pół minuty panuje stan nieważkości.

Nieważkość na orbicie

Sztuczny satelita Ziemi, znajdujący się na jej orbicie, „spada” w stronę środka przyciągającej go Ziemi, podobnie jak Księżyc. Gdy astronauta wychodzi na spacer kosmiczny, „spada” na Ziemię razem ze statkiem kosmicznym, dlatego się względem niego nie porusza. Co więcej, nie ma znaczenia, czy astronauta jest wewnątrz czy na zewnątrz statku. Wewnątrz satelity człowiek „spada” tak samo jak on, dlatego może zawisnąć nad podłogą.

W satelicie orbitującym wokół Ziemi panuje stan nieważkości. Nie oznacza on braku grawitacji.

Większość satelitów znajduje się na tyle nisko nad Ziemią, że grawitacja jest tam tylko nieco słabsza niż na powierzchni naszej planety. I całe szczęście! Gdyby nie ta siła, satelita po wystrzeleniu oddaliłby się od Ziemi po linii prostej, zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki.



A Zwykle płomień unosi się ku górze, a na jego miejsce napływa bogate w tlen powietrze.

B W stanie nieważkości nie ma góry i dołu, a tlen dociera do płonącego ciała powoli. Płomień jest kulisty i ciemniejszy.

To najważniejsze

- ▶ Waga sprężynowa mierzy nie bezpośrednio masę ciała, ale **nacisk ciała na szalkę**.
- ▶ Gdy poruszasz się z przyspieszeniem skierowanym do góry (np. przyspieszasz podczas ruchu w górę lub hamujesz podczas ruchu w dół), odczuwasz pozorne zwiększenie się ciężaru. Stan ten nazywamy **przeciążeniem**.
- ▶ Odwrotnie jest wtedy, gdy poruszasz się z przyspieszeniem skierowanym w dół. Stan ten nazywamy **niedociążeniem**.
- ▶ W satelicie krążącym po orbicie w ogóle nie odczuwamy ciężaru – panuje tam **stan nieważkości**.
- ▶ Przeciążenie, niedociążenie i stan nieważkości wynikają nie ze zmiany siły grawitacji, ale z przyspieszonego ruchu układu odniesienia.
- ✂ ▶ W układzie nieinercyjnym przeciążenie, niedociążenie i nieważkość można wyjaśnić za pomocą sił bezwładności.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE

1. Ania stanęła w windzie na wadze. Zanim winda ruszyła, waga wskazywała 50 kg. Co wskaże waga, gdy winda ruszy z przyspieszeniem $2 \frac{m}{s^2}$? Rozważ obie możliwości, gdy winda rusza:
 - a) w górę,
 - b) w dół.
2. **P** Gdy Robert ważył się w nieruchomej windzie, waga wskazywała 80 kg.

Gdy winda ruszała, waga przez chwilę wskazywała 90 kg.

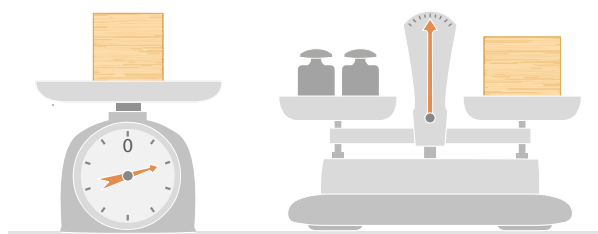
- a) W którą stronę pojechała winda?
- b) Jaki był ciężar Roberta w windzie nieruchomej, a jaki – w poruszającej się?
- c) Z jakim przyspieszeniem poruszała się winda?



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 (patrz rys. A).

Gdy winda ruszyła w górę, wskazanie wagi sprężynowej zmieniło się z 200 g na 220 g. Jakie były wskazania wagi szalkowej?

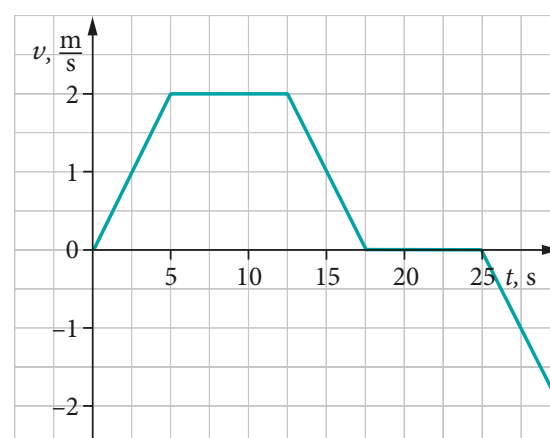
A



4. W windzie zawieszono siłomierz, a na nim powieszono niewielki obciążnik. Gdy winda spoczywała, siłomierz wskazywał 2,0 N. Następnie winda ruszyła. Zmiany jej prędkości przedstawia wykres poniżej – rys. B (prędkość dodatnia to prędkość w górę).

Oblicz, co wskaże siłomierz w chwilach: $t_1 = 2$ s, $t_2 = 10$ s, $t_3 = 15$ s.

B

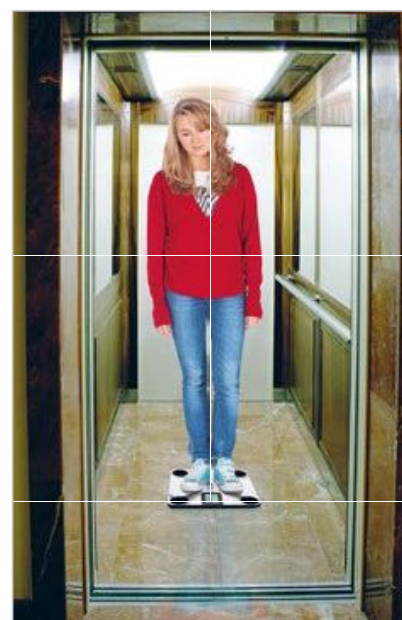


Doświadczenie domowe

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



Księżyc okrąża Ziemię w ciągu miesiąca. Dlaczego więc zaćmienia Księżyca nie zdarzają się co miesiąc?

Cele lekcji:

- 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 – dlatego mówimy o **fazach Księżyca** (patrz rys.). Układ tych trzech ciał niebieskich w przestrzeni ulega zmianom, ponieważ Księżyc okrąża Ziemię, a Ziemia – Słońce. Cały cykl faz Księżyca trwa 29,5 dnia, czyli nieco ponad 4 tygodnie. Zatem poszczególne fazy następują w odstępach nieco dłuższych niż tydzień.

Fazy Księżyca w twoim pokoju

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.

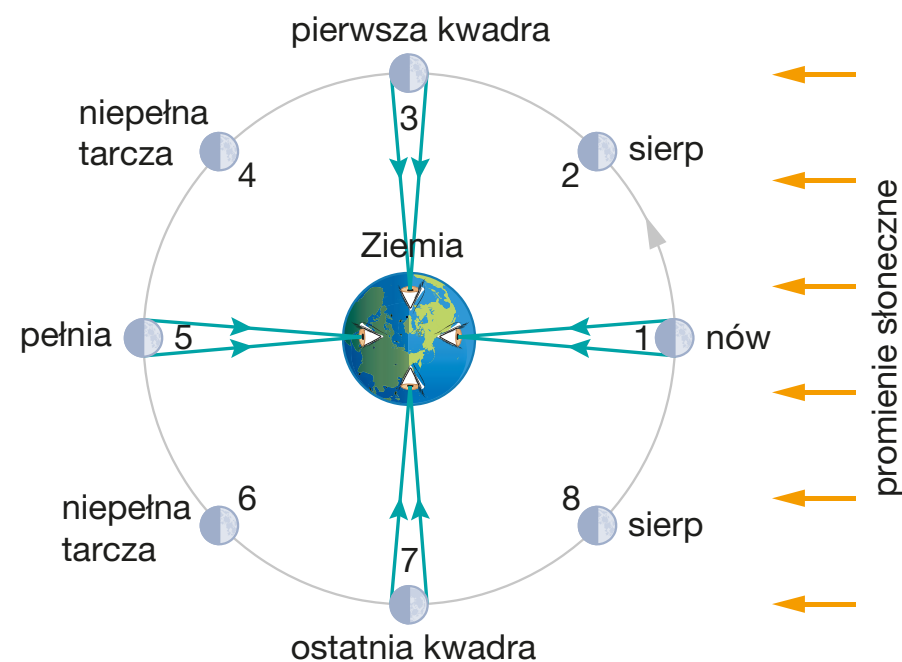


▲ Fazy Księżyca widziane z szerokości geograficznej Polski

Jak powstają fazy Księżyca

Obracaj podręcznik, a zobaczysz, w jaki sposób widać z Polski Księżyc w poszczególnych fazach. Pomoże w tym schematyczny rysunek oka obserwatora i zielone linie symbolizujące zasięg jego wzroku.

Słońce zawsze oświetla połowę powierzchni Księżyca, ale nie zawsze jest to akurat ta połowa, którą widać z Ziemi.



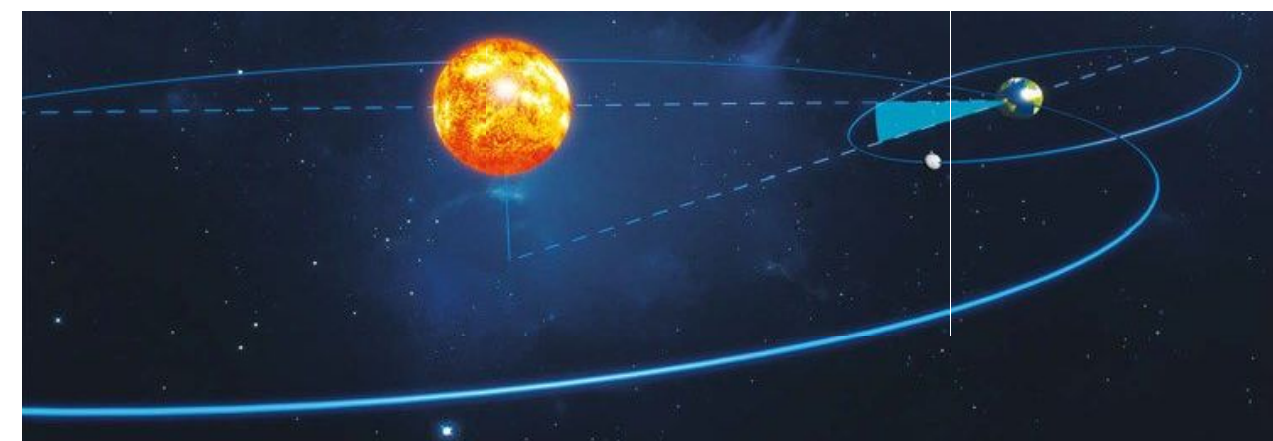
Doświadczenie 8.

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 fazy 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 wtedy, gdy znajduje się po przeciwnej stronie Ziemi niż Słońce? Czy cień rzucany przez Ziemię nie powinien go wtedy zasłaniać? Na ogół nie, ponieważ płaszczyzna orbity Księżyca obiegającego Ziemię jest nachylona pod pewnym kątem do płaszczyzny orbity Ziemi w jej ruchu wokół Słońca.



▲ Nachylenie orbity Księżyca względem orbity Ziemi

Czy teraz rozumiesz, dlaczego w doświadczeniu pojawiło się polecenie: „ustaw globus między tobą a lampką, ale nieco powyżej lub poniżej żarówki”?

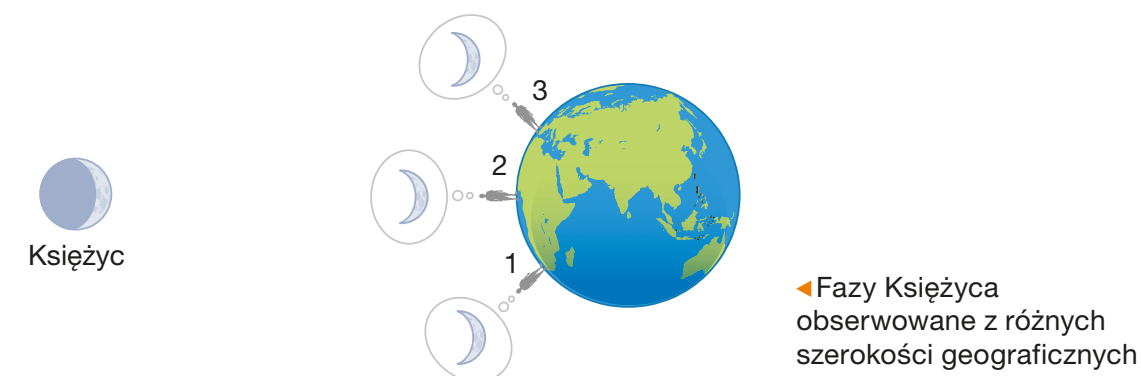
Fazy Księżyca z różnych szerokości geograficznych

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 południowej Afryce fazy wyglądają przeciwnie.

► W okolicach równika Księżyc ma kształt sierpa z rogami do góry lub na dół.

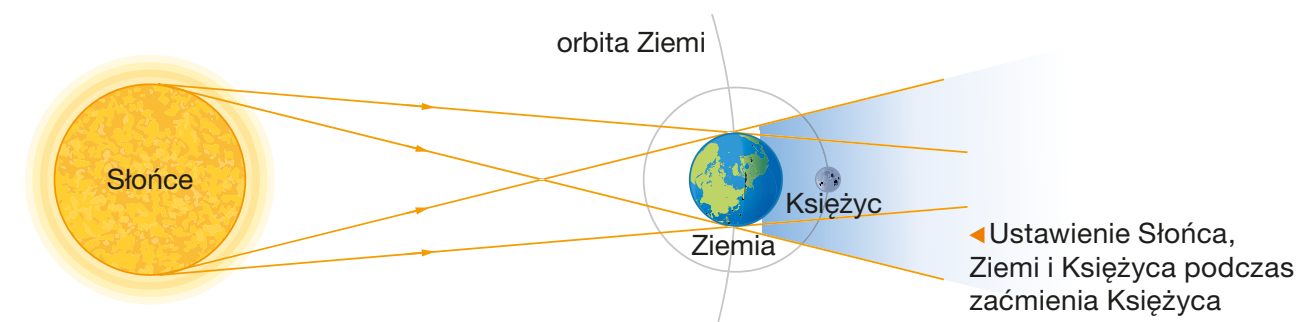
Dlaczego tak jest? Wyjaśnienie przedstawiono na rysunku. Aby zobaczyć, co widzi każdy z obserwatorów, obróć książkę tak, aby ustawić obserwatora głową do góry.



Zaćmienie 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.



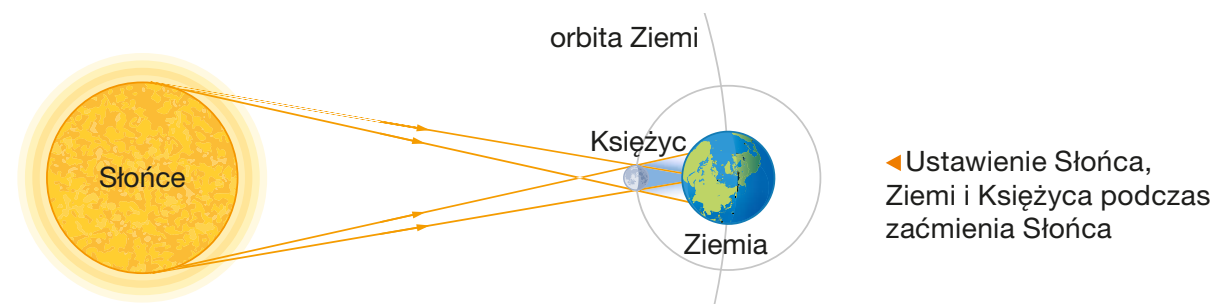
Dlaczego Księżyc w trakcie zaćmienia w ogóle jest widoczny? Otóż oświetla go światło przechodzące przez ziemską atmosferę. Dlatego od ilości zawartych w niej pyłów zależy kolor zaćmionej tarczy Księżyca. Ta ilość zmienia się np. na skutek wybuchów wulkanów i wielkich pożarów.

Oczywiście zaćmienie Księżyca zdarza się w czasie, w którym powinna być pełnia.

■ Zaćmienie Słońca

Czy jest możliwa sytuacja odwrotna: 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 naszej planety obserwujemy wtedy **zaćmienie Słońca**. Jak myślisz, w jakiej fazie jest wtedy Księżyc?

Podczas zaćmienia Słońca jest ono niewidoczne, ponieważ zasłania je Księżyc.



To, że możemy obserwować zarówno zaćmienia Słońca, jak i Księżyca, jest wynikiem niezwykle korzystnego zbiegu okoliczności. Słońce i Księżyc widziane z Ziemi wyglądają, jakby były równej wielkości. Dzieje się tak, ponieważ 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 9.

Model ruchu Księżyca wokół Ziemi

1. Ustaw krzesło tak, aby 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 znajduje się przed tobą – nie pokazujesz mu swojej „drugiej strony”. Jednocześnie obracasz się wokół swojej osi – jeśli patrzysz na pokój, widzisz kolejno wszystkie jego ściany.
4. Jeżeli nie masz pewności, że tak było, obróć się tak samo jeszcze raz, ale tym razem już bez krzesła.



Okazuje się, że Księżyc obraca się wokół własnej osi w takim samym czasie, w jakim obiega Ziemię (w czasie ok. 27 dni) – podobnie jak ty w doświadczeniu obracasz się w tym samym tempie dookoła krzesła i własnej osi.

Niewidoczną z naszej planety stronę Księżyca zobaczono dopiero w XX w., gdy sfotografowały ją sondy kosmiczne (patrz zdjęcie obok). Dziś wędruje po niej chiński łazik Yutu-2, nazwany imieniem królika, który według chińskiej mitologii mieszka na Srebrnym Globie.

■ Powierzchnia Księżyca

Jak wygląda powierzchnia Księżyca?

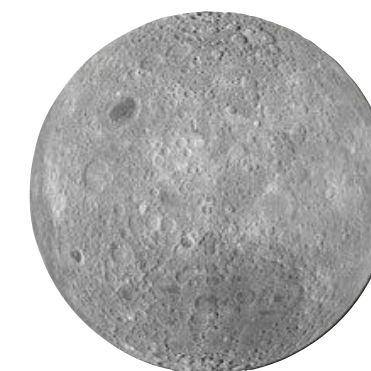
- ▶ Nawet gołym okiem dostrzeżemy na niej dwa rodzaje obszarów: jaśniejsze i ciemniejsze.
- ▶ Przez teleskop, a nawet zwykłą lornetkę zobaczymy, że cała powierzchnia naszego naturalnego satelity jest usiana kraterami.

Skąd się wzięły te obszary i kratery?

Przed 3–4 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, z planetami lub właśnie z Księżycem. Widoczne na Księżycu kratery (patrz zdjęcie powyżej) to ślady po takich uderzeniach.

W wyniku najpotężniejszych kolizji jasna księżycowa skorupa została przebita i wylały się spod niej potoki gorącej lawy, tworzące ciemniejsze obszary, które nazywamy księżycowymi morzami.

Ponieważ na Księżycu nie ma atmosfery ani wody, skały nie erodują, więc kratery pozostają niezmienione przez miliardy lat.



▲ Niewidoczna z Ziemi strona Księżyca



▲ Ślad buta astronauty pozostanie na Księżycu na zawsze, ponieważ nie ma tam wody ani powietrza, które by go zatarły

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, ile jego ruch wokół Ziemi. Dlatego widzimy tylko jedną stronę naszego naturalnego satelity.
- ▶ Na Księżycu **nie występuje atmosfera**. Jego skalista powierzchnia jest usiana kraterami.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Astronauci misji Apollo pozostawili na powierzchni Księżyca odbłyśnik, który odbija światło lasera wysyłane z Ziemi. Dzięki temu możemy precyzyjnie śledzić ruch naszego satelity. Ile trwa podróż laserowego sygnału z ziemskiego obserwatorium na Księżyc i z powrotem?
2. Czy następnego dnia po zaćmieniu Księżyca może nastąpić zaćmienie Słońca? Odpowiedź uzasadnij.



3.  Dawniej Księżyc nazywano miesiącem. Do dziś podobnie jest w wielu językach słowiańskich. Dowiedz się, skąd wzięło się to określenie.
4. Wyobraź sobie, że dzisiejszej nocy przypada pełnia Księżyca. Po jakim czasie będziemy go oglądać w pierwszej kwadrze?
5. 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 astronauty mogą obserwować zmieniające się fazy Ziemi?

Obserwacja

A. Księżycowe kratery

1. Przygotuj dowolną lornetkę.
2. Kilka razy w tygodniu obserwuj Księżyc i notuj wnioski z obserwacji.

Uwaga. 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 często, ponieważ każdego dnia można dokładniej dostrzec inne kratery.

B. 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



Skąd się wzięły pierścienie Saturna?

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.

Planety Układu Słonecznego

Ziemia jest jedną z ośmiu planet okrążających Słońce.

Wszystkie planety Układu Słonecznego to: **Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn, Uran i Neptun.**

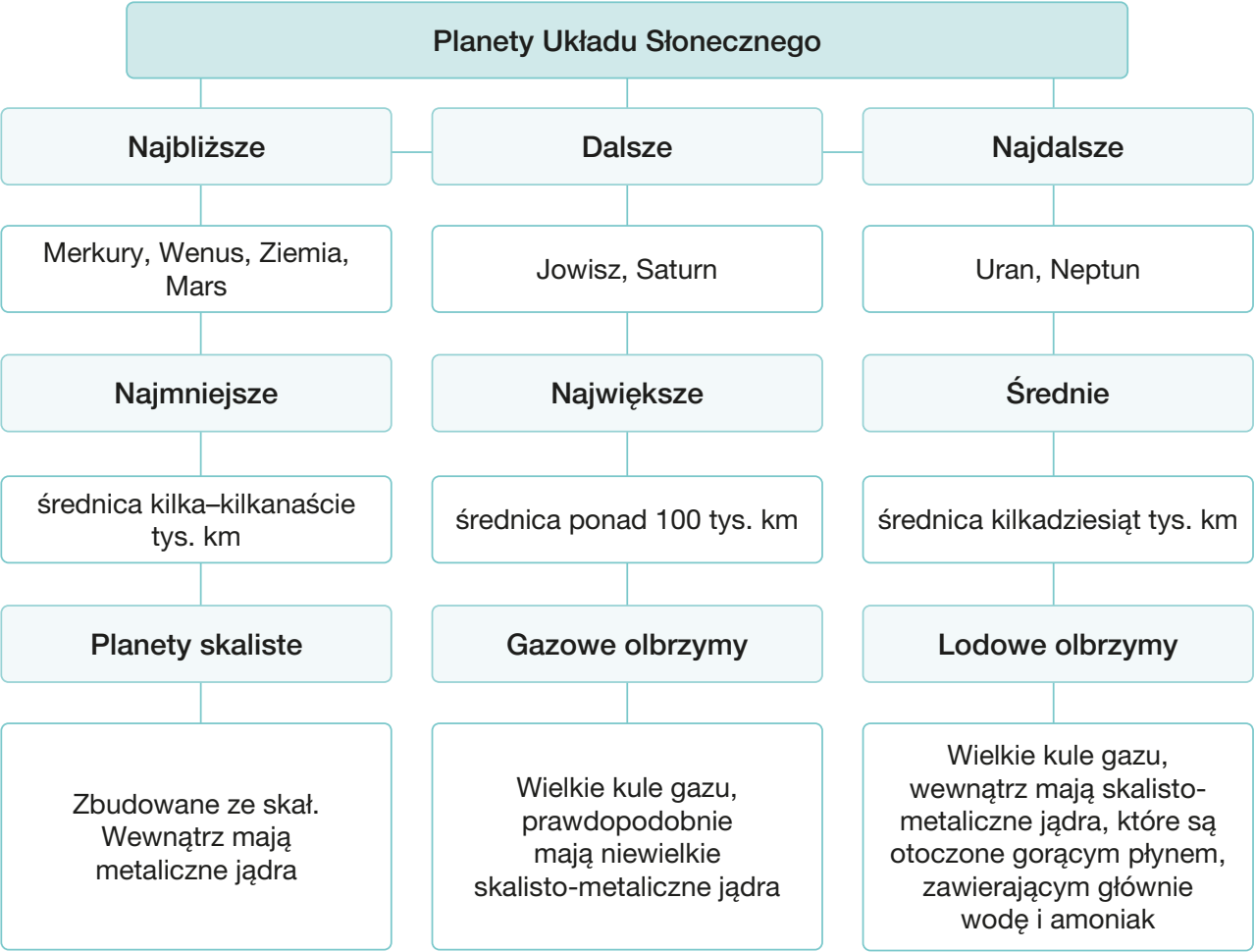
Planety krążą wokół Słońca po orbitach bardzo zbliżonych do okręgów. Orbity te leżą w przybliżeniu w jednej płaszczyźnie.

Budowa planet

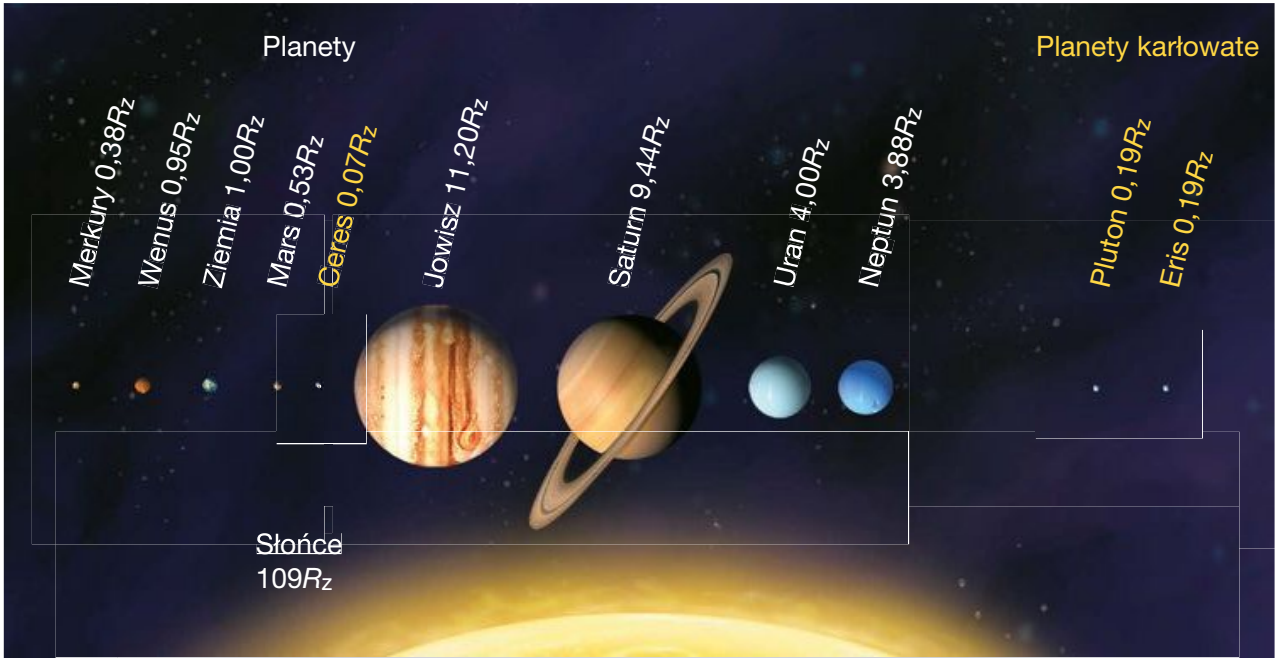
Budowa wewnętrzna planet Układu Słonecznego pozwala podzielić je na trzy grupy. Co ciekawe, taki podział zgadza się z ich kolejnością od najbliższej do najdalszej względem Słońca. Aby poznać budowę planet i dowiedzieć się wielu ciekawostek na ich temat, przeanalizuj diagram na następnej stronie i infografikę na s. 156–157.



▲ Ganimedes, księżyc Jowisza, jest większy od Merkurego. Zarówno on, jak i inne księżycy wielkich planet mogą skrywać pod powierzchnią wodne oceany, a w nich – życie



Nazwa lodowych olbrzymów może mylić, ponieważ nie ma na nich lodu. Określenie wzięło się stąd, że tuż po uformowaniu planet woda i amoniak trafiły na nie w postaci lodu lub gazu uwięzionego w lodzie. Przeanalizuj poniższy rysunek, na którym porównano promień Słońca, planet Układu Słonecznego i wybranych planet karłowatych.



▲ Porównanie promieni: Słońca, planet Układu Słonecznego oraz trzech jego planet karłowatych (R_Z – promień Ziemi)

■ **Inne obiekty Układu Słonecznego**

Wokół Słońca oprócz planet krążą także mniejsze ciała:

▶ **planety karłowate**

Należy do nich **Pluton**, dawniej uważany za dziewiątą planetę Układu Słonecznego. Większość z planet karłowatych, włącznie z Plutonem, ma orbity dalsze od orbity Neptuna. Wyjątkiem jest **Ceres**, którą znajdziemy w pasie planetoid.

▶ **planetoidy**

Te niewielkie metaliczne lub skaliste ciała niebieskie krążą wokół Słońca głównie między orbitami Marsa i Jowisza.

▶ **komety**

Niektóre z tych drobnych, lodowo-skalnych ciał niebieskich okrążają Słońce po wydłużonych orbitach. Inne zbliżają się do naszej gwiazdy tylko jeden raz, a później oddalają w inne rejony Wszechświata



▲ Kometa Hale’a–Boppa (czyt. hejla bopa), którą można było obserwować gołym okiem od maja 1996 r. do grudnia 1997 r.

■ **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 pozasłoneczne**

Czy wiesz, że planety krążą też wokół innych gwiazd? Pierwsze trzy takie ciała odkrył w 1992 r. polski astronom **Aleksander Wolszczan**. Są one odległe o 1000 lat świetlnych od Ziemi i obiegają pulsar, czyli gwiazdę o masie o połowę większej od masy Słońca, ale o promieniu zaledwie ok. 11 km.

Do 2024 r. odkryto już kilka tysięcy planet pozasłonecznych (zwanymi też egzoplanetami). Najbliższe okrążają nawet gwiazdę Proxima Centauri, najbliższą Słońcu. Jedna z tych planet 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. Nie wiemy jednak, czy powstało tam życie.

Słońce i planety Układu Słonecznego

Skaliste, gazowe i lodowe – planety Układu Słonecznego mocno różnią się od siebie. Wszystkie jednak powstały w podobnym okresie co Słońce, czyli około 4,6 mld lat temu. Uczeni sądzą, że w dalekim kosmosie istnieją inne niezwykle planety, np. otoczone głębokimi oceanami.

Słońce

Promień: 700 tys. km (ok. 100 razy większy od promienia Ziemi)
Temperatura: powierzchni 6000°C
jądra 15 mln °C

Merkury

- 58 mln km
- 88 dni

To najmniejsza planeta Układu Słonecznego. Ma największe amplitudy temperatur. Po nieoświetlonej stronie temperatura na jej powierzchni spada do -173°C, a po stronie nasłonecznionej osiąga nawet 430°C.

Ziemia

- 150 mln km
- 365 dni

Jest jedynym miejscem w Układzie Słonecznym, o którym z pewnością wiemy, że rozwinęło się na nim życie.

Wenus

- 108 mln km
- 225 dni

Jest nieznacznie mniejsza od Ziemi. Ma gęstą atmosferę, a na jej powierzchni panują najwyższe temperatury, przekraczające 465°C. Wiruje wokół własnej osi w stronę przeciwną niż inne planety Układu Słonecznego.

Mars

- 228 mln km
- 687 dni

Ma promień o połowę mniejszy niż Ziemia i jest najlepiej (poza nią) poznaną planetą Układu Słonecznego. Uznano go za możliwy do skolonizowania.

Jowisz

- 779 mln km
- 12 lat

To największa planeta w Układzie Słonecznym (o promieniu 11 razy większym od promienia Ziemi). Jest gazową kulą, składającą się głównie z wodoru i helu. Prawdopodobnie ma skaliste jądro.

Saturn

- 1432 mln km
- 29 lat

Saturn to druga co do wielkości planeta Układu Słonecznego (o promieniu 9 razy większym od promienia Ziemi). Ma najwyraźniejsze pierścienie, składające się z okruchów skał i lodu. Jego gęstość jako jedynej planety naszego układu planet jest mniejsza od gęstości wody.

Uran

- 2867 mln km
- 84 lata

Ma promień ok. 4 razy większy od promienia Ziemi i nietypowo ułożoną oś rotacji – wiruje niemal równoległe do płaszczyzny orbity, tak jakby leżał na boku.

Neptun

- 4515 mln km
- 165 lata

Najdalsza planeta od Słońca, nieznacznie mniejsza od Uranu. Na Neptunie wieją najsilniejsze wiatry – osiągają prędkość nawet 2000 $\frac{km}{h}$.

Informacje podane przy planetach:

- odległość planety od Słońca
- okres obiegu planety dookoła Słońca

Odległość planet od Słońca





WSTRZYMAŁ SŁOŃCE, RUSZYŁ ZIEMIĘ

Już tysiące lat temu ludzie obserwowali ruch gwiazd po niebie. Dzisiaj wiemy, że ruch nieba jest pozorny i wynika z obrotu Ziemi wokół własnej osi. Odkrycie tego faktu zajęło jednak całe wieki.



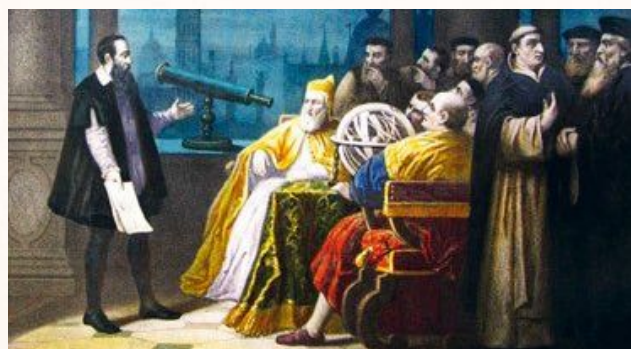
Mikołaj Kopernik

Mikołaj Kopernik (1473–1543) urodził się w Toruniu, mieszkał m.in. we Fromborku. Po ukończeniu Akademii Krakowskiej studiował we Włoszech. Oprócz astronomii interesował się także ekonomią. Jest autorem jednego z jej praw, zwanego prawem Kopernika–Greshama, które mówi, że zły pieniądz wypiera dobry.

Gwiazdy po sklepieniu niebieskim wędrują razem, jakby całe niebo się kręciło. Jest jednak kilka obiektów, które poruszają się inaczej, a nawet zakreślają na niebie pętle (patrz ilustracja na s. 161). Starożytni nazwali je planetami, od greckiego słowa *planao* – błędzę. Ponieważ powszechnie uważano, że Ziemia stanowi środek Wszechświata, więc uznano, że planety także ją okrążają. Dlatego opracowano skomplikowaną teorię opisującą ruch planet, którą nazwano modelem geocentrycznym (od gr. *ge* – Ziemia, *kentros* – środek).

Dopiero w XVI w. Mikołaj Kopernik stworzył model ze Słońcem w centrum, nazywany heliocentrycznym (od gr. *helios* – słońce). Pozwala on zrozumieć, dlaczego ruch planety obserwowany z Ziemi jest tak skomplikowany. Po prostu na inną planetę patrzymy z obiektu, który sam też krąży wokół Słońca. Kopernik widział wyższość swojej teorii nad dotychczasową właśnie w tym, że pozwalała ona łatwiej opisywać ruch innych planet.

Galileo Galilei



Galileo Galilei (1564–1642), zwany Galileuszem, jako pierwszy skonstruował lunetę astronomiczną, dzięki czemu mógł zobaczyć np. góry na Księżycu czy zmiany kształtu tarczy Wenus. Odkrył też cztery najjaśniejsze księżyce Jowisza. Ich istnienie stało się silnym argumentem na rzecz teorii Kopernika.

Poszukiwania życia pozaziemskiego

Poszukiwania życia pozaziemskiego wciąż trwają. 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. Załazek życia może się też tlić w lodowych oceanach pod powierzchnią jednego z księżyców: Enceladusa, będącego satelitą Saturna, lub Europy, czyli 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. Są otoczone gazową atmosferą.
- ▶ 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 a Marsem oraz Ziemią i Wenus.

- c) Oblicz, ile czasu minimalnie, a ile maksymalnie może podróżować sygnał radiowy pomiędzy Ziemią a sondami okrążającymi te planety.

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.

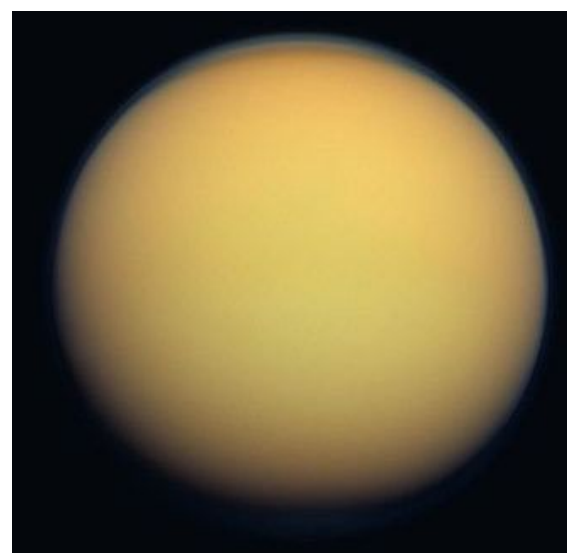
4. Odpowiedz na pytania. Możesz skorzystać z tabel na s. 246.

a) Ile razy większy od promienia Ziemi jest promień Jowisza? Ile razy większa od masy Ziemi jest masa Jowisza?

b) Jak długo trwa rok na Neptunie?

c) Jak długo trwa doba na Uranie?

5. Wyszukaj w internecie informacje o największym księżycu Saturna – Tytanie. Opisz, w czym przypomina on naszą planetę jako jedyne takie ciało Układu Słonecznego.



Obserwacje

A. Księżycy Jowisza

1. Popatrz na Jowisza i za pomocą lunety lub lornetki spróbuj odnaleźć obok niego jego cztery najjaśniejsze księżycy. Można je zobaczyć jako jasne punkty położone blisko planety.
2. Spróbuj ponowić obserwację za dwie, trzy godziny. Czy księżycy zmieniły swoje położenie?
3. Poszukaj w dostępnych źródłach odpowiedzi na pytanie: jakie znaczenie miało odkrycie księżyców Jowisza przez Galileusza.

B. Pierścienie Saturna

1. Jeśli w twojej szkole jest dostępny teleskop, a na niebie widać Saturna, poproś nauczyciela, aby pomógł ci zobaczyć jego najpiękniejsze w Układzie Słonecznym pierścienie.
2. Opisz w zeszycie, jak one wyglądają. Przeczytaj poniżej, w jaki sposób powstały i z czego są zbudowane pierścienie Saturna.

Najbardziej charakterystyczną cechą Saturna są otaczające go pierścienie. Składają się one z lodowo-skalnych okruchów o rozmiarach nie większych niż kilkadziesiąt, a 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.



Prawa Keplera



Skąd znamy masę odległych gwiazd?

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.
- Dowiesz się, jak można wyznaczyć masę odległej gwiazdy.

Dokładniej o teorii geocentrycznej

Jak wiesz z poprzedniej lekcji, opis ruchu planet sprawiał ludziom duże trudności, dopóki sądzili oni, że Ziemia stanowi centrum Wszechświata, a planety krążą wokół niej.



▲ Pętla zakreślona na niebie przez Marsa wśród gwiazd od 2.10.2009 r. do 5.06.2010 r.

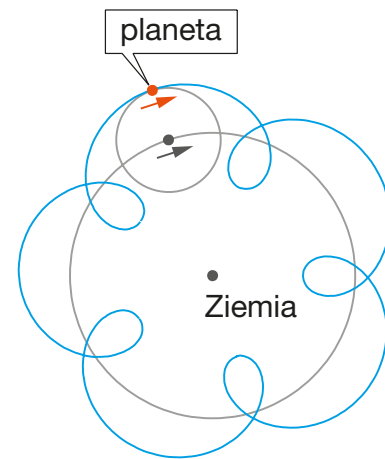
Wiadomo było na przykład, że Mars nie porusza się wokół Ziemi po okręgu. Uważano jednak, że mamy do czynienia ze złożeniem kilku takich ruchów:

- ▶ po okręgu wokół Ziemi porusza się środek drugiego okręgu, na którym porusza się planeta...
- ▶ ... albo środek trzeciego okręgu itd.

■ Pierwsze prawo Keplera

Mikołaj Kopernik uznał, że Ziemia jest jedną z planet obiegających Słońce. Z jego obliczeń wynikało jednak, że planety nie poruszają się po okręgach. Skorzystał więc z metody znanej od starożytności: po okręgu wokół Słońca poruszał się środek drugiego okręgu itd.

Ściśle rzecz biorąc, planety nie poruszały się wokół Słońca, ale wokół punktów w jego pobliżu, i to różnych dla różnych planet. Dopiero **Jan (Johannes) Kepler** wpadł na pomysł, że ruch planety wokół Słońca można opisać prościej, niż zrobił to Kopernik – jako ruch po elipsie.

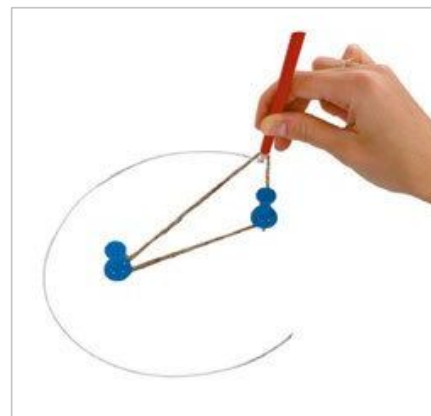


▲ Skomplikowany tor planety poruszającej się wokół Ziemi zgodnie z modelem geocentrycznym

Doświadczenie 10.

Rysowanie elipsy

1. W deseczce 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. Co zauważasz? Na deseczce tworzy się owalna linia – elipsa. Miejsca wbicia szpilek to jej ogniska. Im bliżej siebie znajdują się pinezki, tym bardziej elipsa jest zbliżona do okręgu.



Co prawda elipsa jest krzywą bardziej skomplikowaną niż okrąg, ale do pełnego opisu ruchu planety wystarczała **jedna** elipsa, a nie cały zestaw okręgów.

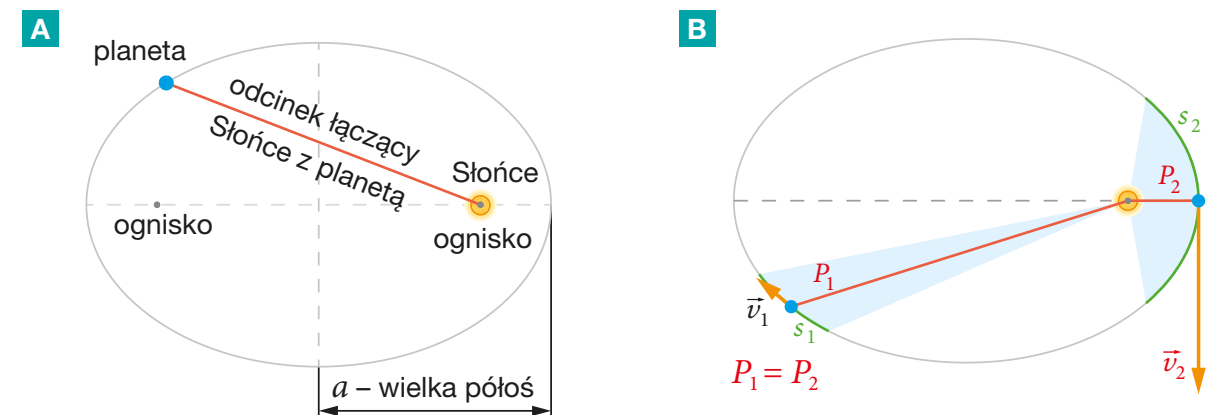
Pierwsze prawo Keplera: Planety krążą wokół Słońca po elipsach, a Słońce znajduje się w jednym z ognisk każdej z tych elips.

Po elipsach (lecz znacznie bardziej wydłużonych) krążą wokół Słońca niektóre komety.

■ Drugie prawo – ruch niejednostajny

Planeta poruszająca się po elipsie czasem znajduje się bliżej Słońca, a czasem – dalej. Na rysunkach na stronie obok widzisz planetę, która obiega Słońce po eliptycznej orbicie (rys. A). Gdy znajduje się daleko od Słońca, przebywa w pewnym czasie drogę s_1 (rys. B). Gdy znajduje się w jego pobliżu, przebywa w tym samym czasie dłuższą drogę s_2 , ponieważ prędkość planety jest wtedy większa. Te dwa czynniki – droga i odległość od Słońca – zależą od siebie tak, że zaznaczone na rysunku 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.



▲ Ilustracja drugiego prawa Keplera i występujących w nim pojęć

■ Im dalej – tym dłużej

Jedną z ciekawych cech modelu heliocentrycznego Kopernika była następująca zależność: im dalej od Słońca znajduje się planeta, tym dłużej trwa jej obieg (patrz rysunek na dole strony). W układzie geocentrycznym nie było podobnej regularności.

Właśnie ta obserwacja stała się podstawą do sformułowania trzeciego prawa Keplera.

Fakt, że dalsze planety potrzebują więcej czasu na okrążenie Słońca, może się wydawać oczywisty: mają przecież dłuższą drogę do przebycia.

Okazuje się jednak, że nie jest to jedyna przyczyna powyższego zjawiska. Na przykład:

- ▶ Mars znajduje się 4 razy dalej od Słońca niż Merkury, ale obiega Słońce w czasie 8 razy dłuższym,
- ▶ Jowisz znajduje się 13 razy dalej od Słońca niż Merkury, ale obiega Słońce w czasie 44 razy dłuższym.

Tak więc dalsza planeta nie tylko ma dłuższą drogę do przebycia, ale na dodatek porusza się po niej z mniejszą prędkością.



▲ Rycina z dzieła Mikołaja Kopernika *O obrotach*. Przy orbitach kolejnych planet podano ich okres obiegu (tłumaczenie znajduje się obok ilustracji)



Wielka półoś elipsy

Aby sformułować trzecie prawo Keplera, musimy najpierw powiedzieć, co rozumiemy przez odległość planety od Słońca, skoro ona stale się zmienia. Otóż bierzemy pod uwagę **wielką półoś elipsy**, oznaczaną jako a . Jest ona równa średniej z najmniejszej i największej odległości planety od Słońca (patrz rys. A na poprzedniej stronie).

Ponieważ orbity planet wokół Słońca są zbliżone do okręgów, możemy założyć, że odległość planety od Słońca się nie zmienia. W takim modelu **wielka półoś** to w przybliżeniu odległość planety od Słońca.

Trzecie prawo – porównanie ruchów planet

Okazuje się, że dla każdej planety Układu Słonecznego sześcian wielkiej półosi podzielony przez kwadrat okresu obiegu planety wokół Słońca daje 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 :

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

wielka półoś orbity planety $\rightarrow a^3$
okres jej obiegu wokół Słońca $\rightarrow T^2$
stała grawitacji, masa Słońca $\rightarrow GM$

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 na tym, że M oznacza wtedy nie masę Słońca, ale masę danej gwiazdy lub planety.

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.

bitwa pod Grunwaldem



wynalazek druku



wystąpienie Lutra



odkrycie Ameryki

początek twórczości Mikołaja Reja

1400

1450

1500

1550

1600

1650

1700

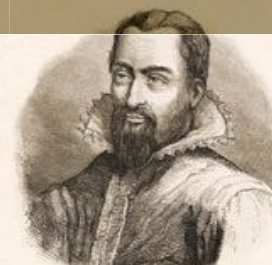
1750



Mikołaj Kopernik



Tycho Brahe



Jan Kepler



Galileo Galilei (Galileusz)



Izaak Newton

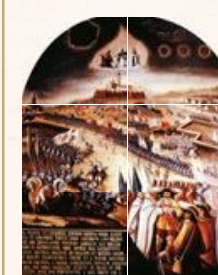
unia lubelska



Hamlet Szekspira



potop szwedzki



odsiecz wiedeńska



Dzięki trzeciemu prawu Keplera możemy wyznaczyć masę gwiazdy na podstawie obserwacji ruchu planety wokół niej albo ruchu gwiazd w układzie podwójnym.

Przykład

Wyznaczanie masy gwiazdy na podstawie ruchu planety

Wokół gwiazdy KELT-11 krąży planeta nazwana KELT-11b. Długa półś jej orbity wynosi 9 320 tys. km, a okres obiegu to 4,7 dnia ziemskiego. Jaką masę ma gwiazda KELT-11?

Dane:

$$a = 9\,320\,000\text{ km} = 9,32 \cdot 10^6\text{ km} = 9,32 \cdot 10^9\text{ m}$$

$$T = 4,7\text{ dnia} = 4,7 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60\text{ s} = 406\,080\text{ s}$$

Szukane:

$$M = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru związanego z trzecim prawem Keplera:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

i wyznaczamy masę gwiazdy M :

$$GMT^2 = 4\pi^2 a^3$$

$$M = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2}$$

Podstawiamy dane liczbowe (działania na jednostkach są dość skomplikowane, więc wykonujemy je osobno):

$$M = \frac{4 \cdot (3,14)^2 \cdot (9,32 \cdot 10^9)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot (406\,080)^2} = 2,9 \cdot 10^{30}$$

$$[M] = \frac{\text{m}^3}{\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \text{s}^2} = \text{m}^3 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2}{\text{kg}^2} = \text{m}^3 \cdot \frac{\text{kg}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2} = \text{m}^3 \cdot \frac{\text{kg}^2}{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2} = \text{kg}$$

Odpowiedź: Gwiazda KELT-11 ma masę $2,9 \cdot 10^{30}\text{ kg}$. Dla porównania: masa Słońca wynosi $2 \cdot 10^{30}\text{ kg}$, a więc KELT-11 jest prawie o połowę cięższa.

Newton i prawa Keplera

Prawa Keplera odpowiadają na pytanie, **jak** się poruszają planety, ale nie mówią, **dla czego** 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 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.

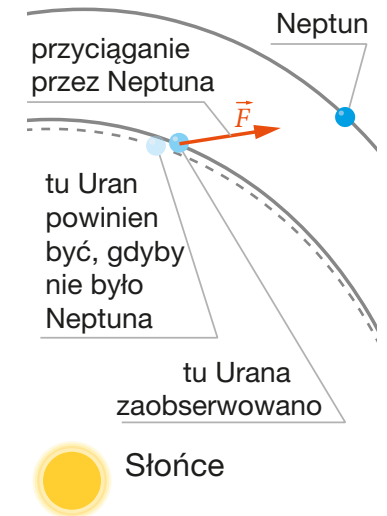
Kolejne potwierdzenie teorii Newtona miało miejsce w pierwszej połowie XIX w., gdy możliwe były bardziej precyzyjne obserwacje. Otóż zauważono, że Uran porusza się jednak nieco inaczej, niż przewidywano, choć w obliczeniach wzięto pod uwagę przyciąganie go zarówno przez Słońce, jak i przez wszystkie 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**, później **nazwana 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.

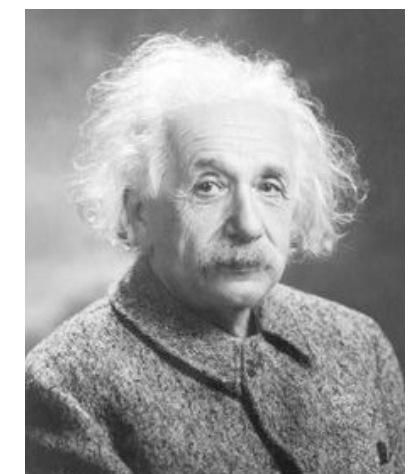
Ograniczenia teorii Newtona

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 początkowo sceptycznych fizyków. Dziś stosujemy ją na co dzień, ponieważ stanowi ona podstawę do obliczania położenia odbiornika w systemie GPS.



▲ Neptuna odkryto dzięki jego wpływowi na ruch Urana



▲ Albert Einstein

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.
 - Każda planeta Układu Słonecznego porusza się po elipsie. Słońce znajduje się w jednym z ognisk tej elipsy.
 - Odcinek łączący Słońce z planetą zakreśla w równych odstępach czasu powierzchnie o równych polach.
 - 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 i można go wykorzystać do obliczenia masy gwiazdy lub planety.
- ▶ **Izaak Newton** sformułował prawo powszechnego ciążenia i zasady dynamiki.

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	III. Kopernik
II. Kepler	IV. Newton

2. **P** 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?
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. Kometa Halleya (patrz zdjęcie poniżej) pojawia się w pobliżu Słońca co 76 lat. Ile wynosi wielka półość jej orbity? Wynik podaj w jednostkach astronomicznych.

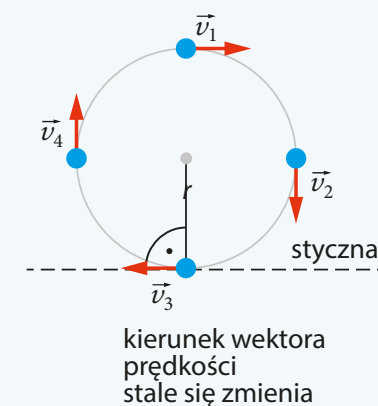
Wskazówka. Porównaj orbitę komety z orbitą Ziemi. Obliczenia w latach (ziemskich) i jednostkach astronomicznych są proste, ponieważ okres obiegu wynosi dla Ziemi 1 rok, a duża półość jej orbity to 1 au (1 jednostka astronomiczna).



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 prostopadłe do promienia (patrz rys.).
- 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 okrążeń ciało wykona w ciągu 1 s. Inaczej mówiąc, częstotliwość to liczba okrążeń wykonanych w jednostce czasu.
- Częstotliwość jest równa **odwrotności okresu**.



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

- Jednostką częstotliwości jest **herc**: $1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}}$.
- **Prędkość** w ruchu jednostajnym po okręgu obliczamy ze wzoru:

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

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:

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

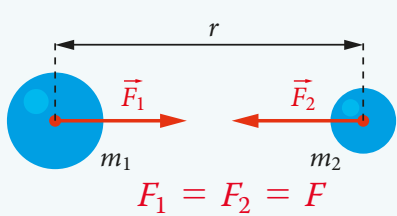
im **większa** masa, tym **większej** siły potrzeba

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 masa ciał i im bliżej siebie się one znajdują. Siłę grawitacji obliczamy ze wzoru:

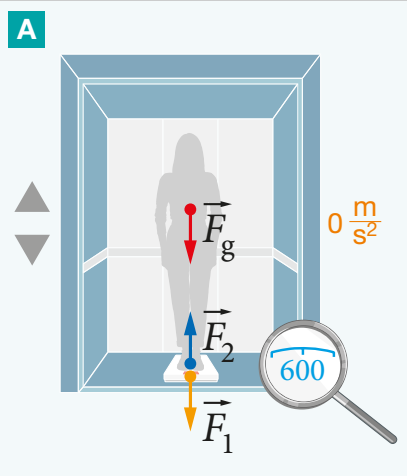
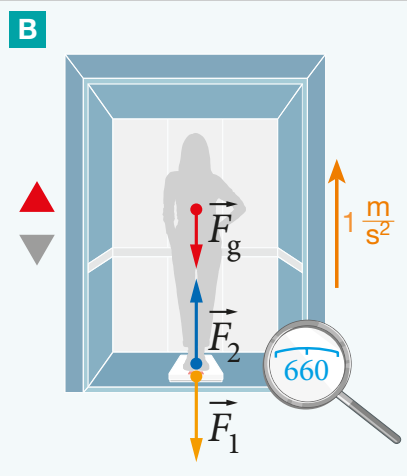
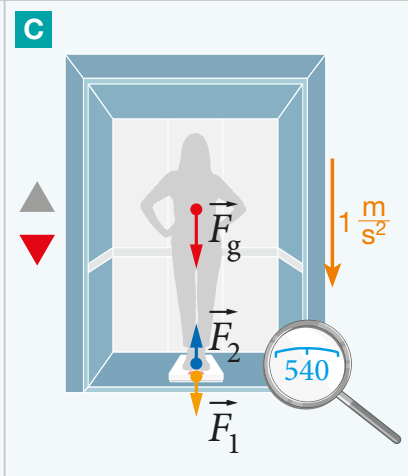

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

masy ciał: im **większe**,
tym **silniejsze** przyciąganie

stała grawitacji
 $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$

odległość między środkami ciał:
im **większa**, tym **słabsze**
przyciąganie

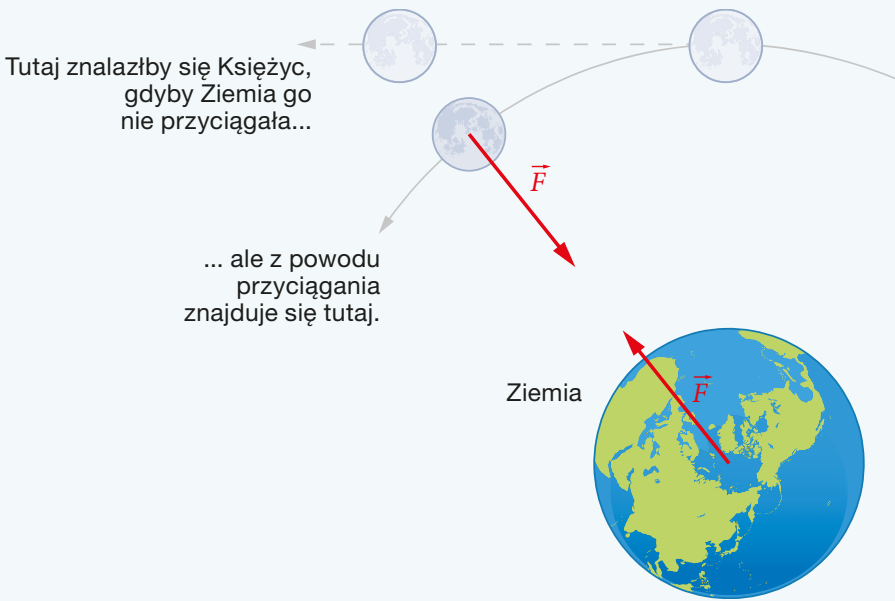
- Siła grawitacji pełni funkcję **siły dośrodkowej** powodującej ruch planet wokół Słońca, a księżyców – wokół planet.
- **Przeciążenie, niedociążenie** – odczuwane zmiany ciężaru ciała, kiedy ruch odbywa się z przyspieszeniem skierowanym w górę lub w dół.

A 	B 	C 
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 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 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 jest ona satelitą, a więc „spada” na Ziemię razem ze znajdującymi się w niej ciałami.

■ Zarówno **Księżyc** (naturalny satelita), jak i sztuczne satelity krążą wokół Ziemi dzięki sile grawitacji. Można też wyobrazić sobie, że satelita „spada” na Ziemię (z miejsca, gdzie byłby, gdyby nie było grawitacji).



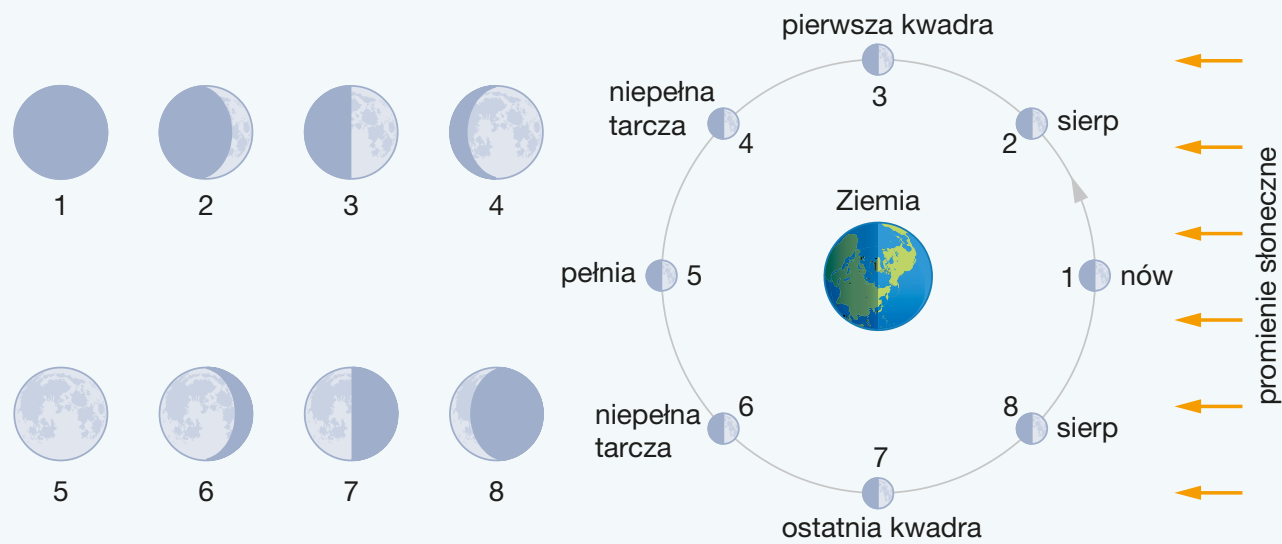
■ **Prędkość satelity** w odległości R od środka Ziemi obliczamy ze wzoru:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

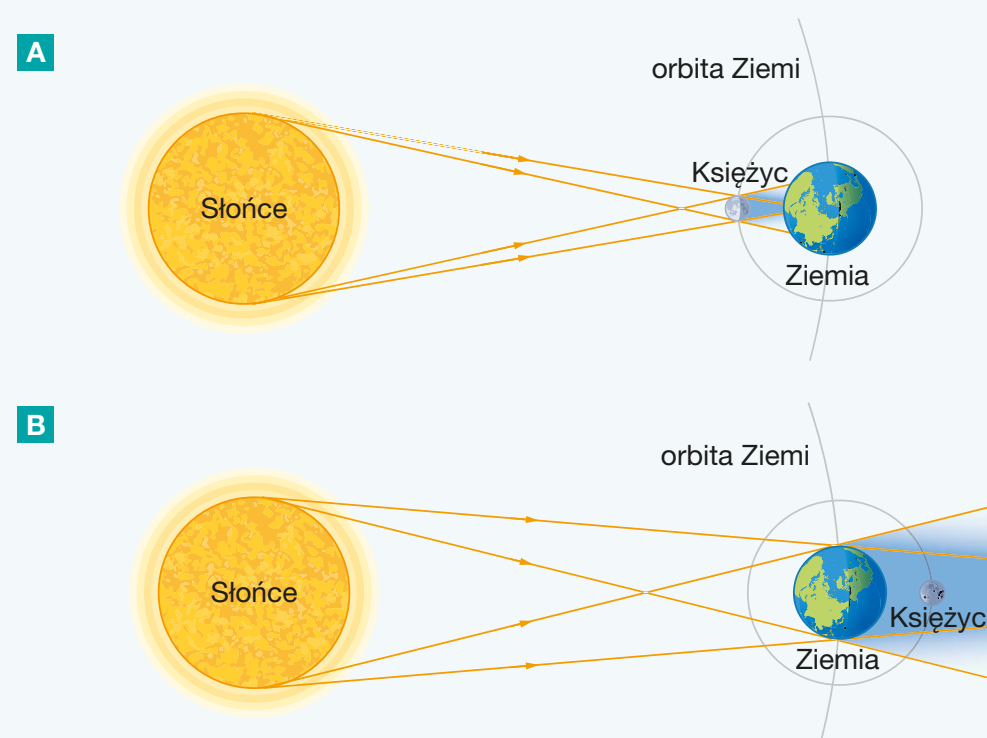
gdzie: M – masa Ziemi, G – stała grawitacji.

■ **Księżyc** nie świeci własnym światłem, ale odbija światło słoneczne. Z tego powodu w zależności od położenia Księżyca względem Ziemi i Słońca jego tarcza może być z Ziemi widoczna w całości, tylko częściowo lub całkowicie niewidoczna. Cykl faz Księżyca trwa 29,5 dnia.

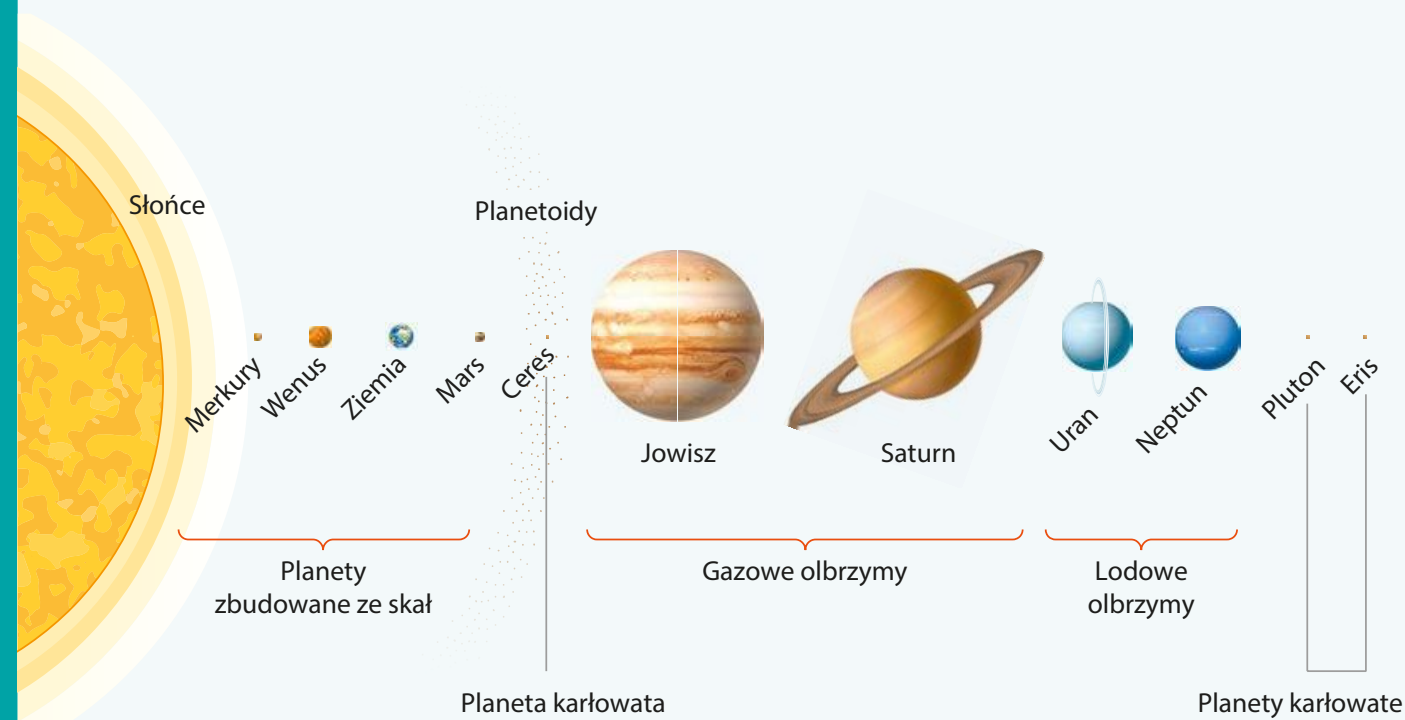
■ Poniższy schemat przedstawia **fazy Księżyca** i jego wygląd na półkuli północnej.



- **Zaćmienie Słońca** obserwujemy, kiedy Księżyc zasłania nam Słońce (rys. A). **Zaćmienie Księżyca** następuje wtedy, gdy Ziemia zasłania Księżyc przed światłem słonecznym (rys. B).



- **Układ Słoneczny** składa się ze Słońca, ośmiu planet i ich księżyców, planet karłowatych oraz drobnych ciał niebieskich.



Uwaga. Skala odległości na rysunku nie jest zachowana. Aby zachować odległości między przedstawionymi ciałami proporcjonalne do ich rozmiarów, potrzebowalibyśmy paska papieru o długości ponad kilometra.

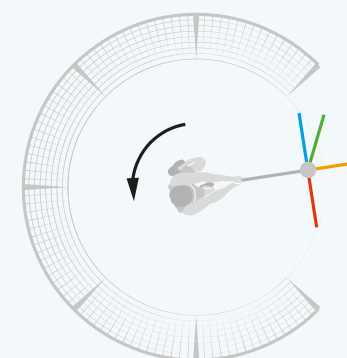
ZADANIA POWTÓRZENIOWE

To musisz umieć



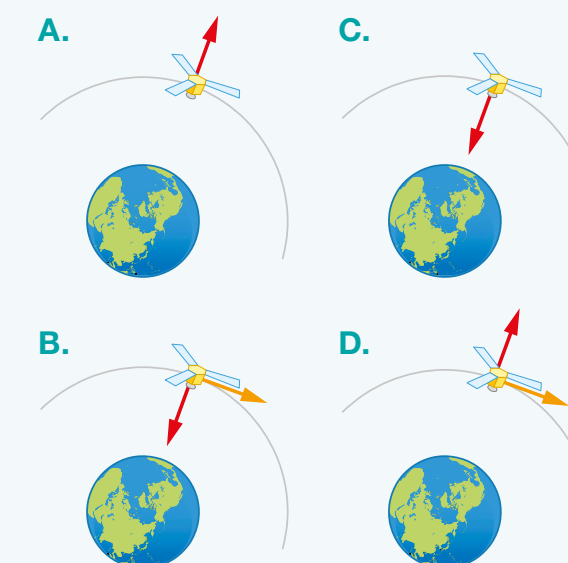
Uwaga. Rozwiązanie każdego zadania zapisz w zeszyte. W każdym zadaniu wskaż jedną poprawną odpowiedź.

- Ziemia obraca się wokół własnej osi i dlatego obserwujemy:
 - zmianę pór roku.
 - wschody i zachody Słońca.
 - zmianę faz Księżyca.
 - zaćmienia Słońca.
- Księżyc jest w nowiu. Za ile tygodni będzie pełnia?
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
- 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:
 - czerwono.
 - żółto.
 - zielono.
 - niebiesko.



- Aby łódź skręciła w lewo, woda musi na nią zadziać siłą skierowaną:
 - w lewo.
 - w prawo.
 - do przodu.
 - do tyłu.

- Wskaż rysunek, na którym poprawnie przedstawiono siły działające na satelitę na orbicie.



- Dwa ciała przyciągają się siłą grawitacji:
 - tylko wtedy, gdy obydwa mają dużą masę.
 - tylko wtedy, gdy przynajmniej jedno z nich ma dużą masę.
 - tylko wtedy, gdy przynajmniej jedno z nich ma kształt kuli.
 - zarówno wtedy, gdy ich masy są duże, jak i wtedy, gdy są one małe.
- Gdy winda rusza, jej pasażer odczuwa pozorną zmianę swojego ciężaru. Jaka to zmiana?
 - Wydaje się, że ciężar rośnie.
 - Wydaje się, że ciężar maleje.
 - Jeśli winda rusza w górę, to wydaje się, że ciężar rośnie, a jeśli w dół – że maleje.
 - Jeśli winda rusza w górę, to wydaje się, że ciężar maleje, a jeśli w dół – że rośnie.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

To należy umieć



Uwaga. Rozwiązanie każdego zadania zapisz w zeszycie. W zadaniach 2.–4. i 7.–8. wskaż poprawne dokończenia zdań.

- Które ze zdań **nie jest** prawdziwe?
 - Zaćmienie Słońca polega na tym, że Słońce zostaje zasłonięte przez Księżyc.
 - Zaćmienie Księżyca polega na tym, że Księżyc zostaje zasłonięty przez Słońce.
 - Księżyc odbija światło słoneczne.
 - Na północnej półkuli Ziemi Księżyc w pierwszej kwadrze ma kształt litery D.
- Jeśli fotelik karuzeli wykonuje 15 okrążeń w ciągu minuty, to częstotliwość jego ruchu wynosi:
 - 15 Hz.
 - $\frac{1}{15}$ Hz.
 - 4 Hz.
 - $\frac{1}{4}$ Hz.
- Czajnik naciska na kuchenkę przede wszystkim z powodu siły grawitacji działającej między:
 - czajnikiem i kuchenką.
 - Ziemią i czajnikiem.
 - Ziemią i kuchenką.
- Aby siła grawitacji między planetą i sondą kosmiczną wzrosła czterokrotnie, odległość między nimi musi się:
 - zwiększyć cztery razy.
 - zmniejszyć cztery razy.
 - zwiększyć dwa razy.
 - zmniejszyć dwa razy.
- Które zdanie **nie jest** prawdziwe?
 - W 1969 r. ludzie wylądowali na Marsie.
 - Satelita musi się poruszać, aby nie spaść na Ziemię.
 - Rozpoczęły się już loty prywatnych statków kosmicznych.

D. Niektóre satelity są wykorzystywane do sporządzania map pogody.

- Najjaśniejsze obiekty na ziemskim niebie oprócz Słońca i Księżyca to planety Wenus i Jowisz. Dlaczego są tak jasne?
 - Ponieważ obie są bardzo duże.
 - Ponieważ obie są blisko Ziemi.
 - Ponieważ Jowisz jest bardzo duży, a Wenus jest blisko Ziemi.
 - Ponieważ Wenus jest bardzo duża, a Jowisz jest blisko Ziemi.
- W stacji kosmicznej na orbicie Ziemi panuje stan nieważkości. Dzieje się tak, ponieważ:
 - nie ma tam powietrza.
 - siła przyciągania ziemskiego nie sięga tak daleko.
 - siła przyciągania ziemskiego nie przenika przez ściany stacji.
 - siła przyciągania ziemskiego nadaje takie samo przyspieszenie stacji i znajdującym się w niej ciałom.



- Jedno z dokończeń zdania jest **błędne**. Wskaż które. Największe planety Układu Słonecznego:
 - to Jowisz i Saturn.
 - znajdują się dalej od Słońca niż Ziemia.
 - znajdują się najdalej od Słońca ze wszystkich planet.
 - są zbudowane głównie z gazu.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

To warto umieć



Uwaga. Rozwiązanie każdego zadania zapisz w zeszycie. W zadaniach 3. i 5. wskaż poprawne dokończenia zdań.

- W jakiej fazie jest Księżyc, gdy z Ziemi widać zaćmienie Słońca?
 - w pełni
 - w nowiu
 - w pierwszej lub ostatniej kwadrze
 - to zależy od miejsca na Ziemi
- 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?



- Siła, jaką 100-tonowa lokomotywa przyciąga ważącego 80 kg maszynistę stojącego w odległości 10 m od niej, wynosi w przybliżeniu:
 - 0,000 05 N.
 - 0,000 000 5 N.
 - 0,000 005 N.
 - 0,000 000 05 N.

- 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?
- Jeśli winda rusza z przyspieszeniem $4 \frac{m}{s^2}$ skierowanym w dół, to ciężar znajdującego się w niej pasażera pozornie:
 - rośnie o 40%.
 - rośnie o 60%.
 - maleje o 40%.
 - maleje o 60%.
- 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.
 - krótszy
 - dłuższy
 - mniejszą
 - większą
 - mniejsza
 - większa
- Oblicz, jaki jest okres obiegu satelity znajdującego się na wysokości 6400 km nad powierzchnią Ziemi.





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 jest widziany 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 jest możliwe zaobserwowanie 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 są potrzebne wiadomości z lekcji „Prawa Keplera”.

Projekt

Satelity



Cel projektu: 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 światła 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 zapewne dostrzeżesz choć jeden jasny poruszający się obiekt. Najłatwiej będzie go zaobserwować po wschodniej stronie nieba – satelity są tam dobrze oświetlone przez Słońce, znajdujące się tuż pod zachodnim horyzontem.
3. Zaobserwuj, przez jakie gwiazdozbiory przeleciał satelita. Zaznacz tor jego lotu na mapie nieba i zapisz dokładną godzinę obserwacji.

Wskazówki:

- ▶ Czas przelotu większości satelitów można przewidzieć. Dużo informacji na ten temat znajdziesz na stronie Heavens-Above, 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. Jeśli masz ochotę na poranne obserwacje, to zwracaj szczególną uwagę na zachodnią stronę nieba, wieczorem natomiast – na stronę wschodnią.
- ▶ Jeżeli masz lornetkę, możesz 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 zatocie 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 dotyczą 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 niezwykle 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.



▲ Odpływ (A) i przypływ (B) w zatoce Fundy

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 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 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)

3. Praca, moc, energia

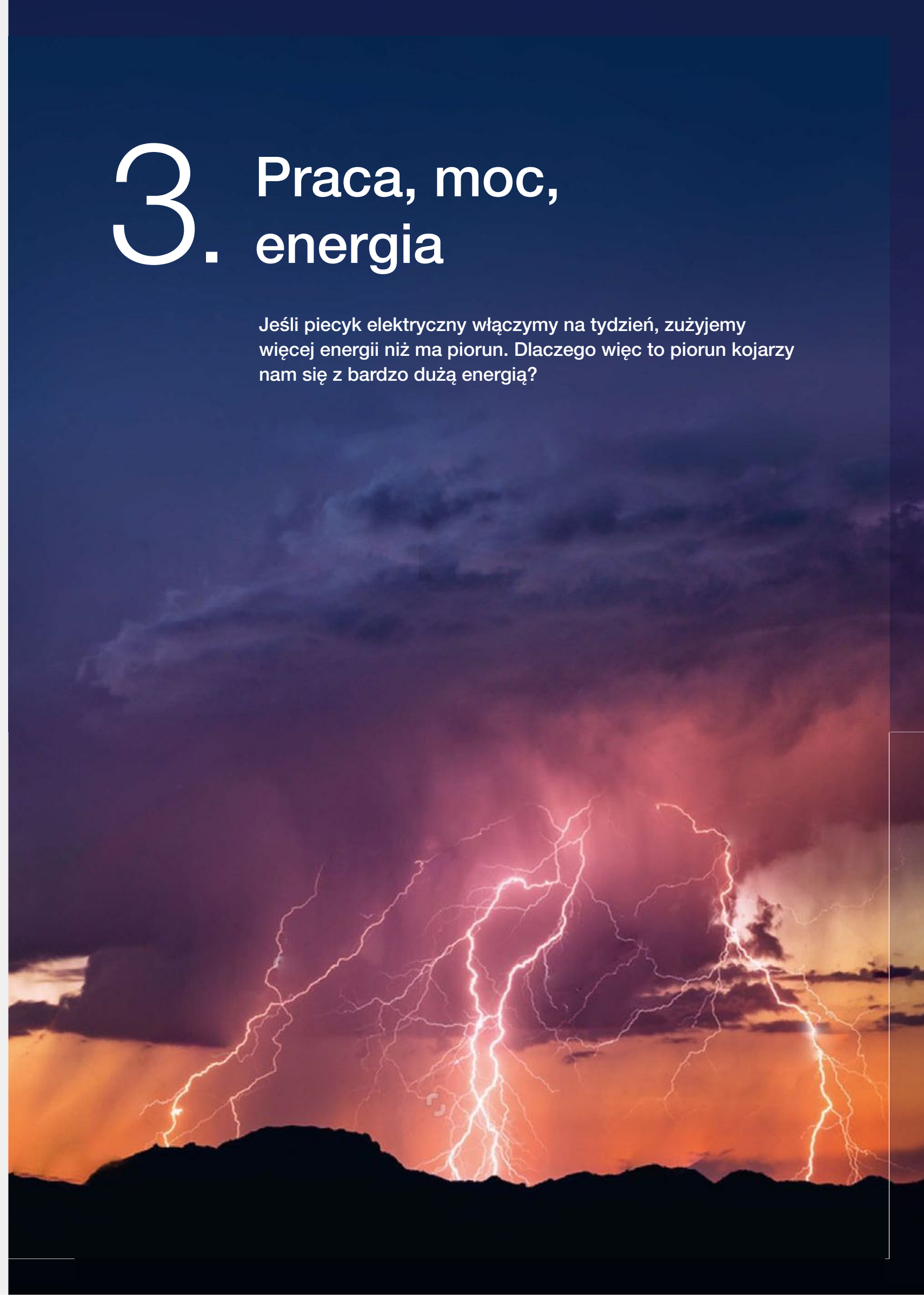
Jeśli piecyk elektryczny włączymy na tydzień, zużyjemy więcej energii niż ma piorun. Dlaczego więc to piorun kojarzy nam się z bardzo dużą energią?

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 położone nad nią tereny?
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?



20 Praca i energia



Czy pani Alina wykonuje pracę wtedy, kiedy uczy fizyki w szkole, czy teraz, kiedy dla przyjemności wspina się na ściankę?

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie pojęcia *praca* i *energia* 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

O osobach przesuających 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 jeśli wymagała dużego wysiłku. W fizyce pod pojęciem pracy rozumiemy **pracę mechaniczną**, związaną z działaniem siły i przemieszczeniem ciała.

Z pracą mechaniczną mamy do czynienia wtedy, gdy efektem działania siły jest przemieszczenie ciała.

Jeśli siła działa w tym samym kierunku, w jakim porusza się ciało (patrz rys.), to pracę obliczamy ze wzoru:

$$W = F \cdot s$$

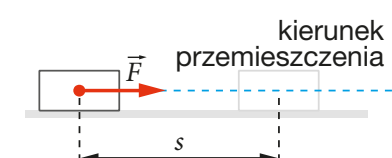
praca

wartość działającej siły

droga przebyta pod wpływem tej siły



▲ Nie każda praca jest pracą mechaniczną



▲ Kierunek działania siły $\vec{F}$ jest zgodny ze zwrotem przemieszczenia

Pracę oznacza się literą W – od ang. work.

Jednostka pracy

Skoro siłę mierzymy w niutonach, a drogę w metrach, to ze wzoru $W = F \cdot s$ wynika, że jednostką pracy jest $\text{N} \cdot \text{m}$. Ta jednostka nazywa się **dżul (J)**, na pamiątkę angielskiego uczonego i wynalazcy Jamesa Joule'a (patrz ramka „Z historii” s. 185).

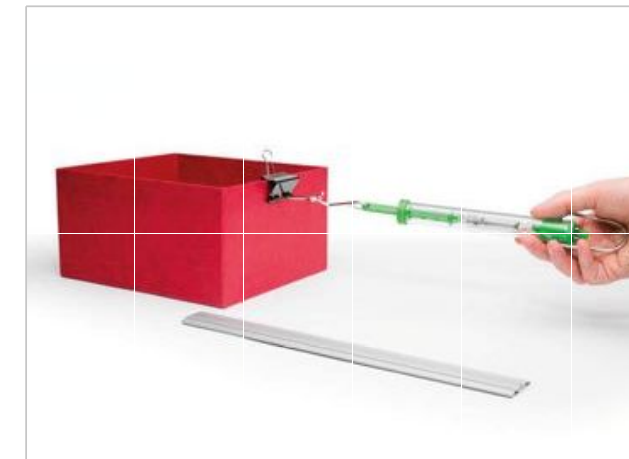
Wyznaczanie pracy

Aby lepiej zrozumieć pojęcie pracy, wykonajmy doświadczenie, w którym wyznaczmy pracę wykonaną przy przesuwaniu przedmiotu.

Doświadczenie 11.

Wyznaczanie wykonanej pracy

1. Przygotuj: pudełko, siłomierz, linijkę, spinacz biurowy.
2. Umieść pudełko na stole. Obok połóż długą linijkę w taki sposób, aby zero na skali linijki znalazło się przy brzegu pudełka (patrz zdjęcie).
3. Zaczep siłomierz o pudełko (np. za pomocą spinacza), aby za jego pomocą dało się je ciągnąć.
4. Przesuń pudełko. Pokonaną przez nie drogę odczytaj na linijce. Z siłomierza odczytaj wartość siły.
5. Oblicz wykonaną przez siebie pracę.



W naszym doświadczeniu kierunek działania siły był zgodny z kierunkiem ruchu ciała, więc możemy skorzystać ze wzoru $W = F \cdot s$. My przesunęliśmy pudełko o 20 cm (czyli 0,2 m), działając siłą 4 N. Oznacza to, że wykonana przez nas praca była równa:

$$W = 4 \text{ N} \cdot 0,2 \text{ m} = 0,8 \text{ J}$$

Przykład

Obliczanie drogi, na jakiej działa siła

Aby samochód się toczył, gdy go pchamy, musimy działać siłą 300 N. Jak daleko trzeba go w ten sposób przesunąć, aby wykonać pracę 6 kJ?

Dane:

$$F = 300 \text{ N}$$

$$W = 6 \text{ kJ} = 6000 \text{ J}$$

Szukane:

$$s = ?$$

Rozwiązanie:

Zależność między pracą a siłą opisujemy wzorem:

$$W = F \cdot s$$

Ponieważ chcemy obliczyć drogę s , musimy ten wzór przekształcić do postaci:

$$s = \frac{W}{F}$$

Podstawiamy dane:

$$s = \frac{6000 \text{ J}}{300 \text{ N}} = \frac{6000 \cancel{\text{N}} \cdot \text{m}}{300 \cancel{\text{N}}} = 20 \text{ m}$$

Dodatek mat. 9 → s. 242

Odpowiedź: Trzeba przesunąć samochód o 20 m.

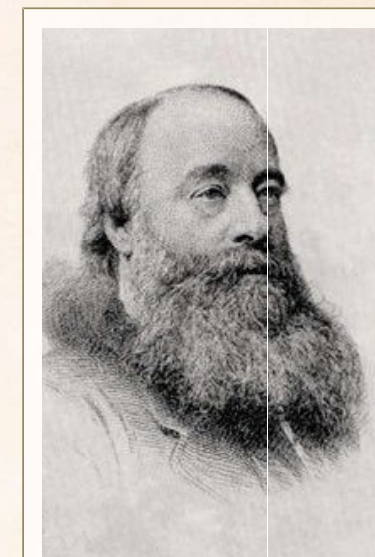
Formy energii

Warto się zastanowić, jakie znaczenie ma wykonana praca w praktyce. Spójrz na diagram poniżej. Wszystkie obiekty przedstawione na zdjęciach coś łączy. Intuicyjnie wyczuwamy, że mogą one spowodować dużą zmianę w otoczeniu: wystarczy wyobrazić sobie spadający ciężar, uderzający w barierkę samochód czy wybuchający kanister z benzyną. W fizyce mówimy, że takie ciała mają **dużą energię**. Jak widzisz, energia może występować w różnych formach. Choć formy energii różnią się między sobą, wszystkie stanowią tę samą wielkość: energię, a jedna jej forma może się zmienić w inną. Na przykład silnik elektryczny zamienia energię elektryczną w energię kinetyczną.



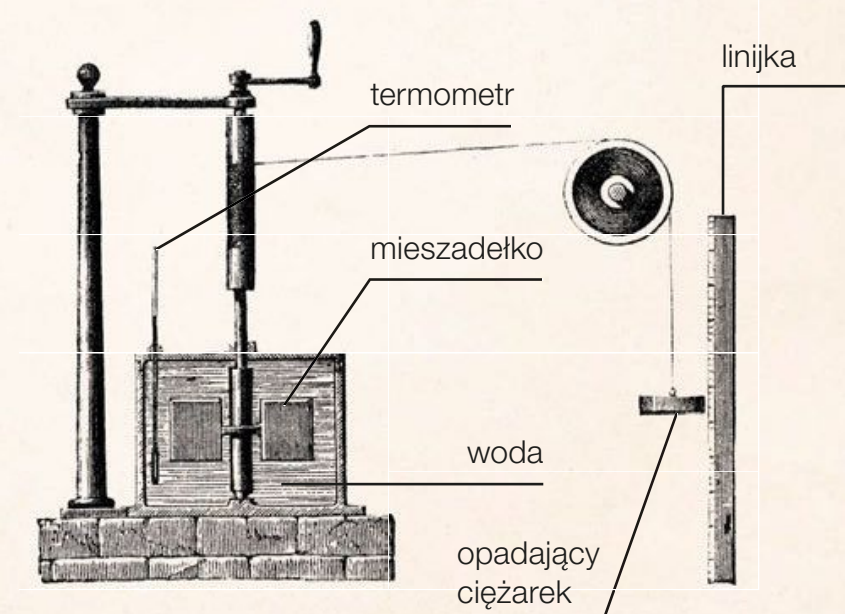
NIEZWYKŁY UCZONY

James Prescott Joule (czyt. dżul, 1818–1889) już jako dziecko fascynował się elektrycznością – wraz z bratem w ramach zabawy aplikował wstrząsy elektryczne sobie i innym domownikom. Gdy podrósł, podjął pracę piwowara w rodzinnym browarze. Jednak zainteresowanie Jamesa nauką nie minęło i wkrótce zaczął on badać, czy podczas produkcji piwa można zastąpić kocioł parowy maszyną elektryczną. To i inne doświadczenia doprowadziły go do wielu odkryć. Jednym z ważniejszych osiągnięć było dokładne wyznaczenie ilości energii niezbędnej do podgrzania litra wody o jeden stopień.



Nawet w czasie podróży poślubnej Joule nie zaprzestawał badań. Podczas pobytu w Alpach postanowił wykorzystać wodospad Cascade de l'Arpenaz (czyt. kaskad de l'arpena), aby zmierzyć, o ile ogrzewa się woda spadająca z wysokości 300 m (to jak ze stupietrowego wieżowca). Jednak z powodu wymiany energii między wodą a powietrzem pomiary się nie udały. Joule został doceniony za swoje prace – przyjęto go do brytyjskiego Towarzystwa Królewskiego (The Royal Society).

Aparat Joule'a do wyznaczania ilości energii potrzebnej do podgrzania litra wody o 1°C.



Opadający ciężarek powoduje obrót mieszadła. Ponieważ musi ono pokonać opór wody, jej temperatura wzrasta. Następuje więc zamiana energii mechanicznej w wewnętrzną.

Jaki związek ma energia z pracą

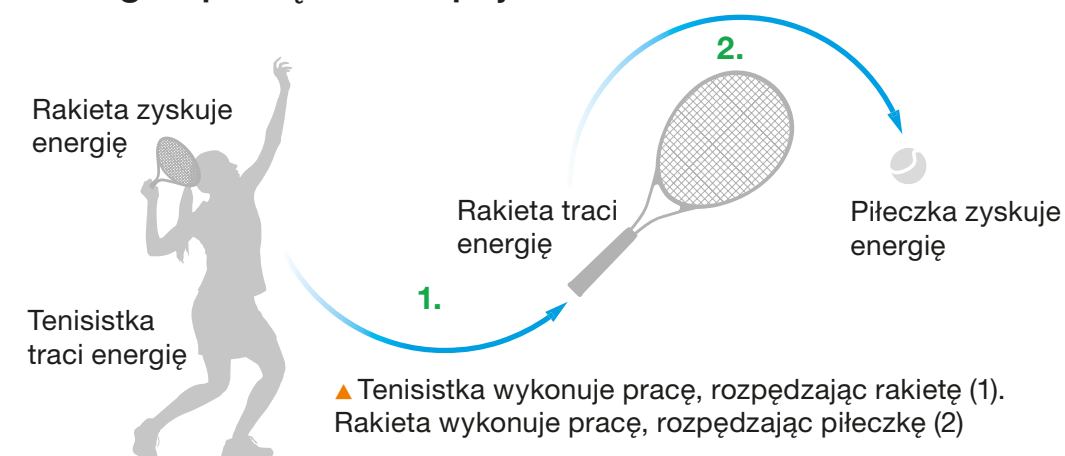
Gdy wykonujemy nad ciałem pracę, zyskuje ono energię. Potem może wykonać pracę kosztem tej energii. Po wykonaniu pracy ciało traci swoją energię.

- ▶ Gdy naciągamy łuk, wykonujemy pracę. Łuk magazynuje tę pracę, czyli zyskuje energię. Potem może ją zwrócić, aby rozprężyć strzałę. Kiedy łuk wykona pracę, traci swoją energię i każdorazowo trzeba jego cięciwę naciągać od nowa.
- ▶ Gdy popychamy kulę do gry w kręgle, wykonujemy pracę. Kula magazynuje tę pracę, czyli zyskuje energię. Potem może ją zwrócić, przewracając kręgle (co wiąże się z wykonaniem pracy). Gdy kula wykona pracę, traci swoją energię i się zatrzymuje, a przynajmniej zwalnia.



▲ Wprawiona w ruch kula zwraca energię, przewracając kręgle. Gdy kula wykona pracę, traci swoją energię i zatrzymuje się

Związek energii z pracą – inne spojrzenie



▲ Tenisistka wykonuje pracę, rozpędzając raketę (1). Rakieta wykonuje pracę, rozpędzając piłeczkę (2)

Na zależność między pracą a energią można spojrzeć także z innej strony. Gdy wykonujemy pracę nad jakimś ciałem, tracimy **tyle samo energii**, ile to ciało jej zyskuje. A zatem podczas wykonywania pracy nad ciałem przekazujemy mu energię.

Praca to sposób przekazywania energii.

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.



■ 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).



Jaką pracę wykonali przedstawione osoby?

- ▶ Praca, jaką 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, jaką wykonała dziewczyna, jest równa **przyrostowi energii kinetycznej** wózka.
- ▶ Jednak wózek hamuje, więc jego energia kinetyczna się **zmniejszyła**.

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 prądnicza 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.



▲ Dziewczyna nie wykonuje pracy mechanicznej

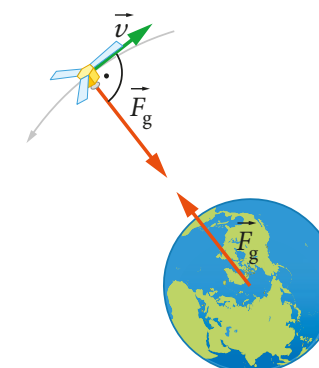
■ Praca siły prostopadłej do kierunku ruchu

Z taką sytuacją mamy do czynienia, gdy przenosimy po poziomej drodze jakiś przedmiot. Działamy wtedy 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 taką samą prędkością. Wobec tego wykonana przez nią praca jest zerowa.

Praca wykonana przez siłę prostopadłą do kierunku ruchu jest równa zero.

Dziewczyna nie wykonała pracy nad kartonami, to znaczy, że 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, ponieważ energia krążącego po okręgu ciała się nie zmienia.



▲ Praca siły grawitacji w przypadku orbity kołowej jest równa zero

Jednostka energii

Ponieważ praca jest sposobem przekazywania energii, obie te wielkości wyrażamy w tych samych jednostkach: **dżulach**. Jeśli na przykład rakietka tenisowa rozpędzająca piłeczkę wykonuje pracę 700 J, to przekazuje piłeczce energię 700 J. W naszych rozważaniach pomijamy na razie straty energii.

To najważniejsze

- ▶ Jeśli siła F działa na ciało w tym samym kierunku, w którym się ono porusza, to na drodze s wykonuje **pracę** $W = F \cdot s$.
- ▶ Siła działająca przeciwnie do kierunku ruchu wykonuje pracę ujemną. Praca ujemna powoduje zmniejszenie energii ciała, nad którym została wykonana.
- ▶ Praca wykonana przez siłę prostopadłą do kierunku ruchu jest równa zero.
- ▶ Gdy wykonujemy nad ciałem pracę, zyskuje ono energię. Potem ciało może tę energię oddać i samo wykonać pracę. Praca jest sposobem przekazywania energii między ciałami.
- ▶ Jednostką pracy i energii jest **dżul**: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Pytania i zadania

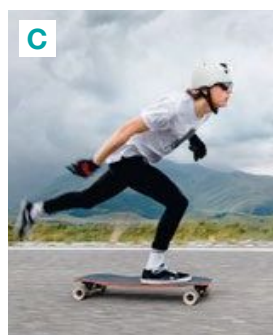
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE



1. Czy w ukazanych sytuacjach wykonywana jest praca mechaniczna? Jeśli tak, to wskaż ciała, które zyskują energię w wyniku wykonania takiej pracy. Jaka forma energii ulega zmianie?



Alek uczy się do klasówki



Bartek rozpędza się na deskorolce



Justyna wchodzi po schodach



Hania trzyma ciężką skrzynkę z jabłkami

2. Samochód przejechał ze stałą prędkością drogę 150 km. Siły oporu działające na niego w trakcie jazdy wynosiły 280 N. Jaką pracę wykonał samochód?
3. **P** Aby przesunąć po podłodze szafę, musimy działać na nią siłą 150 N. Jak daleko możemy przemieścić ten mebel kosztem energii 4500 J?
4. **i** Znajdź odpowiednie dane na infografice *Skala energii* (s. 186–187) i na tej podstawie odpowiedz na pytania.
- a) Ile razy większa jest energia pioruna od energii rowerzysty?
- b) Ile razy mniejszą pracę wykonujemy wtedy, gdy naciągamy łuk, niż wtedy, gdy rozpędzamy się na rowerze?
- c) Oblicz, ile razy mniejsza jest energia kinetyczna biegnącego zająca o masie 5 kg od energii chemicznej tabliczki czekolady.
- d) Oblicz, ile razy większa jest energia promieniowania Słońca wyemitowana w ciągu roku od energii elektrycznej baterii w telefonie.

21 Energia mechaniczna



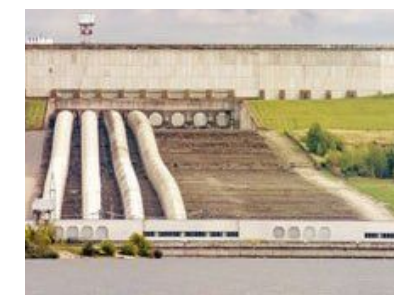
Kot ma masę 1000 razy większą od pocisku z karabinu, ale porusza się 1000 razy wolniej. Czy to znaczy, że ma taką samą energię kinetyczną jak pocisk?

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.

Energia potencjalna grawitacji

Wiemy już, że gdy podnosimy ciało, wykonujemy pracę i w ten sposób zwiększamy jego energię potencjalną grawitacji. Z kolei gdy ciało przemieszcza się z miejsca wyższego do niższego, może wykonać pracę dzięki uzyskanej energii. Na przykład jeśli na równi pochyłej za pudełkiem zapalek umieścisz samochodzik (patrz zdjęcie poniżej), to zjedzie on, pchając przed sobą pudełko – a więc wykona pracę kosztem swojej energii potencjalnej. Aby poznać sposób obliczania energii potencjalnej, zacznijmy od przykładu na następnej stronie.



▲ W elektrowni szczytowo-pompowej energia jest przechowywana w postaci energii potencjalnej grawitacji wody



◀ Samochodzik wykonuje pracę kosztem swojej energii potencjalnej

Przykład 1

■ Obliczanie wykonanej pracy

Na zajęciach sportowych Marta podniosła piłkę lekarską o masie 5 kg na wysokość 2 m. Jaką pracę wykonała? Wynik podaj w kilodżulach.

Dane:

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

$$m = 5 \text{ kg}$$

Szukane:

$$W = ?$$

Rozwiązanie:

Aby obliczyć pracę, musimy znać wartość siły i pokonaną drogę.

- Siła, jaką działa Marta, równoważy siłę grawitacji, a więc ma taką samą wartość:

$$F = F_g = mg$$

gdzie $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ jest przyspieszeniem ziemskim.

- Droga, jaką przebyła piłka, jest równa wysokości, na jaką Marta podniosła piłkę:

$$s = h$$

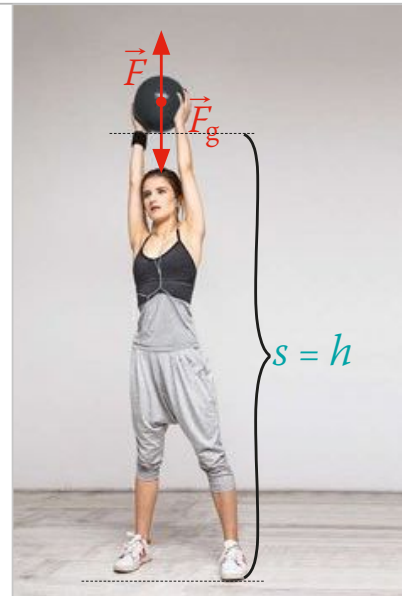
Oznacza to, że Marta wykonała pracę:

$$W = Fs = mgh$$

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 0,1 kJ.



■ Wybór poziomu zerowego

Wiemy, o ile zmienia się energia potencjalna wraz ze zmianą wysokości. Ale ile wynosi ta energia na konkretnej wysokości? Aby odpowiedzieć na to pytanie, musimy umownie przyjąć pewną wysokość za poziom zerowy energii.

- Jeśli w przykładzie 1. przyjmiemy, że poziomem zerowym 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 energia potencjalna piłki okaże się znacznie większa.

Nic dziwnego – aby wnieść piłkę na piętro, trzeba wykonać dodatkową pracę, a jeśli piłka spadnie z tej wysokości na ulicę (nie próbuj tego sprawdzać!), może wykonać znacznie większą pracę i na przykład spowodować zmianę kształtu karoserii zaparkowanego tam samochodu.

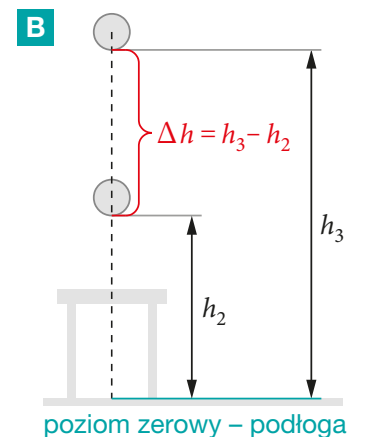
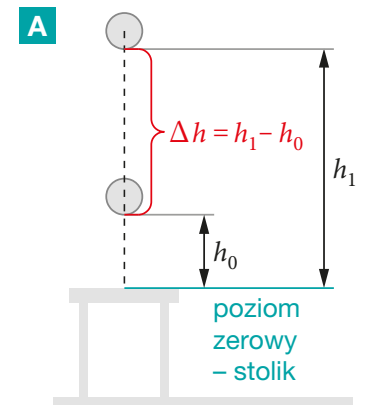
■ Obliczanie energii potencjalnej

Ciało o masie m na wysokości h ponad poziomem umownie przyjętym za zerowy ma **energię potencjalną**:

$$E_p = mgh$$

energia potencjalna masa ciała wysokość przyspieszenie ziemskie

Konieczność wyboru poziomu zerowego zwykle nie jest problemem, ponieważ najczęściej interesuje nas tylko to, o ile **wzrosła lub zmalała** energia w trakcie jakiegoś procesu. Zmiana energii jest równa pracy potrzebnej do przeniesienia ciała i dlatego nie zależy od wybranego przez nas poziomu zerowego, a jedynie od różnicy wysokości końcowej i początkowej.



▲ Na rysunkach **A** i **B** wybrano inny poziom zerowy, ale różnica wysokości Δh jest w obu sytuacjach taka sama



A to ciekawe

Większą pracę wykonujemy, gdy podnosimy torebkę cukru nad powierzchnią Ziemi, niż gdybyśmy podnosili samochód nad powierzchnią komety Halleya. Dzieje się tak dlatego, że nasza planeta ma znacznie większą masę od komety, więc przyciąganie grawitacyjne na powierzchni Ziemi jest znacznie silniejsze.

■ Wzrost energii potencjalnej

W wyniku pracy wykonanej przez Martę piłka znalazła się na wysokości 2 m, z której może spaść i wywołać pewne szkody. Oznacza to, że z punktu widzenia fizyki energia piłki wzrosła i teraz piłka może wykonać pracę. Ponieważ przyrost energii potencjalnej piłki jest równy pracy wykonanej przy jej podnoszeniu, więc w sytuacji opisanej w przykładzie energia podniesionego przedmiotu wzrosła o 100 J. Ogólnie:

$$\Delta E = W$$

przyrost energii potencjalnej ciała praca wykonana przy podnoszeniu ciała

W trakcie rozpatrywania powyższego przykładu wyprowadziliśmy wzór ogólny na **przyrost energii potencjalnej**.

Gdy ciało o masie m wznosimy na wysokość h , jego energia potencjalna wzrasta o:

$$\Delta E_p = mg\Delta h$$

przyrost energii potencjalnej ciała masa ciała przyspieszenie ziemskie przyrost wysokości, na jakiej znajduje się ciało

Energia potencjalna poza Ziemią

Litera g we wzorze na energię potencjalną oznacza **przyspieszenie grawitacyjne**. Określa ono, jak duża siła ciężkości działa na ciało o danej masie. Im większa jest ta siła (czyli im silniejsze przyciąganie grawitacyjne), tym większa jest wartość przyspieszenia g .

Na Ziemi współczynnik g nazywamy **przyspieszeniem ziemskim**. Wynosi ono $9,8 \frac{m}{s^2} \approx 10 \frac{m}{s^2}$.

Znany ci wzór na energię potencjalną $E_p = mgh$ jest prawdziwy także przy powierzchni ciał niebieskich innych niż Ziemia. W takim przypadku podstawiamy do niego wartość g dla danego ciała niebieskiego (patrz tabela obok).

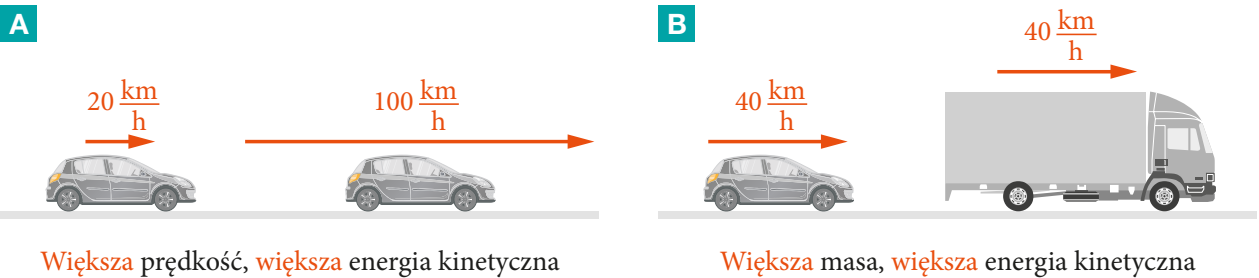
Na przykład na Księżycu przyspieszenie grawitacyjne wynosi tylko $1,6 \frac{m}{s^2}$. To oznacza, że na ciało o masie 1 kg działa siła ciężkości 1,6 N (patrz s. 117). Jeśli przy powierzchni Księżyca podniesiemy takie ciało na wysokość 1 m, wykonamy pracę 1,6 J.

Ciało niebieskie	Przyspieszenie $g, \frac{m}{s^2}$
Merkury	3,7
Wenus	8,9
Ziemia	9,8
Mars	3,7
Jowisz	23,1
Saturn	9,0
Uran	8,7
Neptun	11,0
Księżyc	1,6

Energia kinetyczna

Wyobraźmy sobie poruszające się ciało, np. samochód. Od czego może zależeć jego energia kinetyczna? Aby odpowiedzieć na to pytanie, przypomnijmy, że energia kinetyczna jest **równa pracy** wykonanej przy rozpędzaniu ciała.

- ▶ Aby rozpędzić ciało do większej prędkości, należałoby wykonać większą pracę, niż aby je rozpędzić do prędkości mniejszej. Z kolei z dwóch identycznych ciał większą pracę może wykonać to, które porusza się szybciej. Zatem im **większa** jest prędkość ciała, tym **większa** jest jego energia kinetyczna.
- ▶ Gdy różne ciała rozpędzamy do tej samej prędkości, większą pracę wykonujemy, aby rozpędzić ciało o większej masie. Później to ciało będzie zdolne do wykonania większej pracy. Zatem im **większa** jest masa ciała, tym **większa** jest jego energia kinetyczna.



Ilustracja zależności energii kinetycznej: **A** od prędkości, **B** od masy

Energię kinetyczną ciała obliczamy ze wzoru:

energia kinetyczna

$E_k = \frac{mv^2}{2}$

masa ciała
jego prędkość

Z tej zależności skorzystamy w przykładzie 2.

Przykład 2

Porównanie energii kinetycznych ciał

Pocisk karabinowy o masie 5 g porusza się z prędkością $900 \frac{m}{s}$. Kot ma masę 1000 razy większą, ale za to porusza się 1000 razy wolniej. Oblicz energie kinetyczne obu ciał. Która z nich jest większa i ile razy?

Dane:

$m_1 = 5 \text{ g} = 0,005 \text{ kg}$ $v_1 = 900 \frac{m}{s}$ $m_2 = 5 \text{ kg}$ $v_2 = 0,9 \frac{m}{s}$

Szukane:

$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = ?$



Rozwiązanie:

Energię kinetyczną obliczamy ze wzoru: $E_k = \frac{1}{2} mv^2$.

▶ Dla pocisku: $E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot 0,005 \text{ kg} \cdot (900 \frac{m}{s})^2 \approx 2000 \text{ J}$

$[E] = \text{kg} \cdot (\frac{m}{s})^2 = \text{kg} \cdot \frac{m^2}{s^2} = \text{kg} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = \text{N} \cdot m = \text{J}$

▶ Dla kota: $E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot 5 \text{ kg} \cdot (0,9 \frac{m}{s})^2 \approx 2 \text{ J}$

Zatem: $E_{k1} > E_{k2}$. Obliczmy iloraz tych wielkości: $\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = 1000$.

Odpowiedź: Tysiąc razy większą energię kinetyczną ma pocisk karabinowy.

Chociaż kot ma masę tyle razy większą od pocisku, ile razy wolniej się od niego porusza, to ich energie nie są równe. Prędkość we wzorze na energię kinetyczną jest podniesiona do kwadratu, więc ma większy wpływ na energię niż masa.

Energia mechaniczna

Ciało może mieć jednocześnie energię kinetyczną i energię potencjalną. Na przykład lecący samolot ma zarówno dużą energię kinetyczną, ponieważ szybko się porusza, jak i dużą energię potencjalną względem powierzchni ziemi, ponieważ znajduje się na dużej wysokości.

Sumę tych dwóch form energii nazywamy **całkowitą energią mechaniczną**. Tym pojęciem zajmiemy się dokładniej w następnej lekcji.

To najważniejsze

- ▶ **Energię potencjalną** ciała o masie m znajdującego się na wysokości h nad poziomem zerowym obliczamy ze wzoru $E_p = mgh$, gdzie g to przyspieszenie grawitacyjne (dla Ziemi $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$).
- ▶ **Energię kinetyczną** ciała o masie m poruszającego się z prędkością v obliczamy ze wzoru: $E_k = \frac{mv^2}{2}$.
- ▶ Sumę energii potencjalnej i kinetycznej nazywamy całkowitą **energią mechaniczną** ciała.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



- 1. **P1** Magda stoi na drabinie o wysokości 5 m. Podnosi wiaderko z farbą o masie 3 kg, stojące obok jej stóp, na wysokość 2 m. Oblicz na dwa sposoby, o ile wzrosła energia wiaderka:
a) Przyjmij za poziom zerowy podłogę.
b) Przyjmij za poziom zerowy szczyt drabiny.
- 2. **P2** Które zwierzę ma większą energię kinetyczną: lew o masie 200 kg biegnący z prędkością $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ czy gepard o masie 54 kg biegnący z prędkością $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?
- 3. „Ale się namęczyłem! – powiedział Adam. – Wniosłem po schodach 10 kg ziemniaków, więc wykonałem pracę 600 J!”. Na którym piętrze mieszka Adam, jeśli przeciętna wysokość jednego piętra to 3 m?
- 4. Samolot o masie 250 ton porusza się na wysokości 10 km z prędkością $900 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. O ile większa jest energia mechaniczna tego samolotu od energii mechanicznej samolotu stojącego na pasie startowym?

- 5. Oblicz prędkość, z jaką porusza się piłka o masie 450 g, jeśli jej energia kinetyczna wynosi 90 J.
- 6. Oblicz energię kinetyczną żaglowca „Dar Młodzieży” o masie 3000 ton, płynącego z prędkością 18 węzłów. Skorzystaj z informacji w ramce.

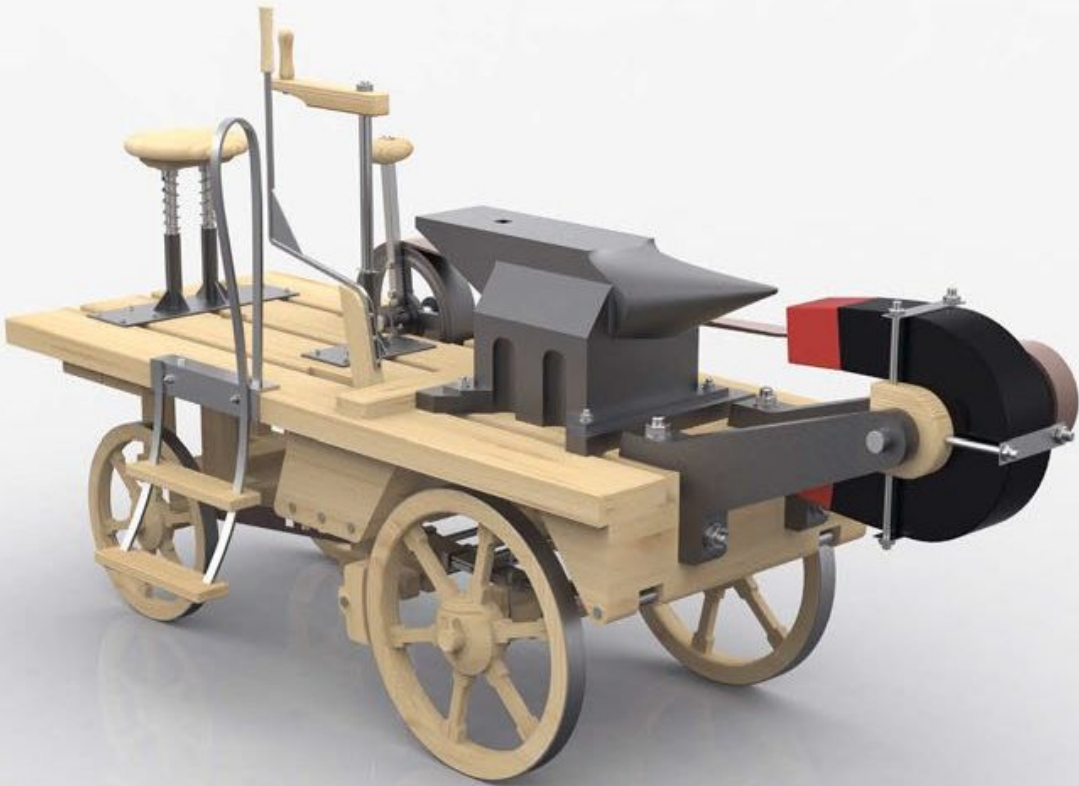
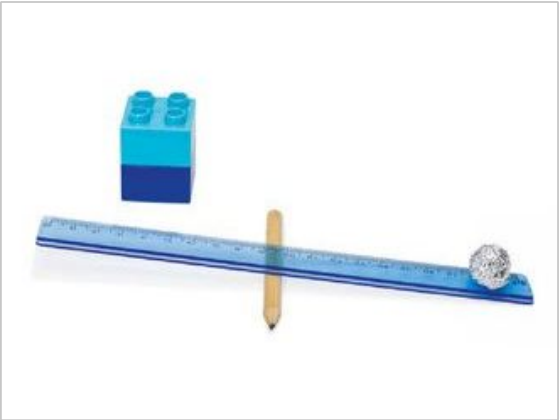
W żegludze prędkość wyrażamy w węzłach. Węzeł to mila morska na godzinę, czyli $1,852 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, niemal dokładnie $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Na przykład prędkość maksymalna żaglowca „Dar Młodzieży” wynosi 18 węzłów, czyli $33 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ albo $9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Doświadczenie domowe

Podskakująca kulka

- 1. Przygotuj długą linijkę, okrągły ołówek, kilka klocków i kulkę z folii aluminiowej.
- 2. Połóż linijkę na ołówku, tak jak na zdjęciu, aby tworzyła z nim „huśtawkę”.
- 3. Na jednym końcu linijki połóż kulkę. Upuść klocek na drugi koniec linijki i zaobserwuj, na jaką wysokość wzniesie się kulka.
- 4. Co się zmieni, gdy zamiast jednego klocka upuścisz dwa albo trzy klocki połączone ze sobą?



Czy można zbudować maszynę, która wykonuje pracę bez paliwa i zasilania?

Cele lekcji:

- Poznasz jedną z najważniejszych zasad fizyki – zasadę zachowania energii.
- Nauczysz się wykorzystywać ją do rozwiązywania zadań.

Przemiany energii mechanicznej

Łatwo zaobserwować, że podrzucona piłeczka najpierw leci coraz wolniej w górę, a potem – coraz szybciej spada. Tak więc w czasie lotu w górę energia potencjalna piłeczki rośnie, a kinetyczna maleje, natomiast w czasie spadania jest na odwrót. Gdybyśmy dokładnie zmierzili prędkość piłeczki na różnych wysokościach, okazałoby się, że suma tych dwóch form energii nie ulega zmianie (jeśli tylko ruch jest na tyle powolny, że można pominąć opór powietrza).

	Energia potencjalna	Energia kinetyczna	$E_p + E_k$
Lot w górę	rośnie	maleje	nie zmienia się
Spadanie	maleje	rośnie	nie zmienia się

Możemy więc powiedzieć, że:

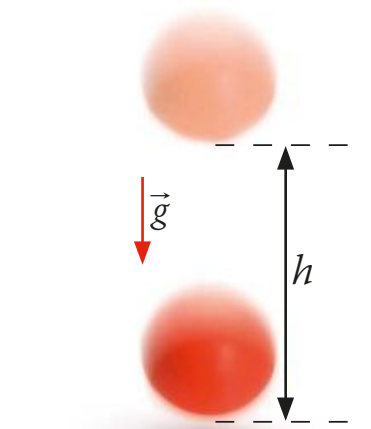
- ▶ w czasie lotu w górę energia kinetyczna zmienia się w potencjalną,
- ▶ w czasie lotu w dół energia potencjalna zmienia się w kinetyczną.

Podobnie jest we wszystkich innych zjawiskach. Jeśli pominiemy opory ruchu, to całkowita energia mechaniczna ciała nie ulega zmianie. To prawo fizyki nosi nazwę „zasada zachowania energii mechanicznej”.

■ Zasada zachowania energii

Zasada zachowania energii mechanicznej obowiązuje tylko w przypadku braku oporów ruchu. Gdy jednak uwzględnimy inne formy energii (patrz s. 184), okaże się, że ilość energii w układzie pozostaje niezmienna, różne natomiast mogą być jej formy, przechodzące jedna w drugą.

Wyobraź sobie piłeczkę spadającą tak szybko, że opór powietrza równoważy ciężar i piłeczka już się nie rozpędza. Energia potencjalna nie zmienia się więc w kinetyczną, ale nie znika – zmienia się w energię wewnętrzną piłeczki i powietrza, ponieważ zwiększa się ich temperatura. W ten sposób dochodzimy do najważniejszego prawa fizyki – **zasady zachowania energii**.



▲ Podczas spadku piłeczki z wysokości h jej energia zmienia formę, ale nie znika

Energia może zmieniać formę lub przepływać między ciałami, ale nie może powstawać ani znikać. 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 spada z wysokości 20 m. Jaka jest jej prędkość tuż przed uderzeniem o ziemię? W obliczeniach można pominąć opory ruchu.

Dane:

$$h = 20 \text{ m}$$

Szukane:

$$v = ?$$

Rozwiązanie:

Początkowa energia potencjalna piłeczki $E_p = mgh$ zmieniła się w energię kinetyczną $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, a więc:

$$E_k = E_p$$

czyli:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh \quad | : m$$

Zatem:

$$\frac{v^2}{2} = gh \quad | \cdot 2, \text{ czyli } v^2 = 2gh$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy:

$$v = \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20 \text{ m}} = \sqrt{400 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Prędkość piłeczki tuż przed uderzeniem o ziemię wynosi $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

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.

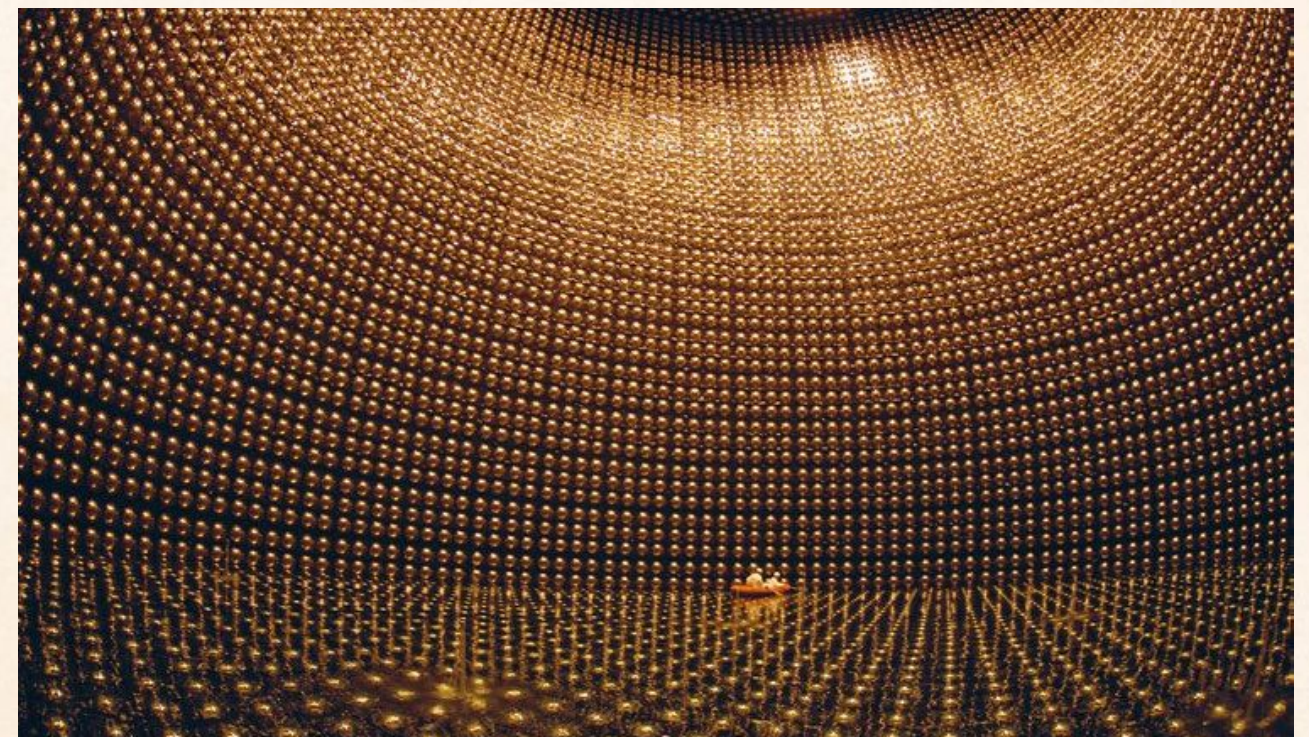
W latach trzydziestych XX w. fizycy dopiero zaczęli badać jądro atomowe, ale znali już zjawisko, w którym rozpadający się neutron tworzy proton i uciekający z jądra elektron. Okazało się jednak, że łączna energia cząstek po rozpadzie jest nieco mniejsza niż przed nim.

Co się stało z brakującą 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.

Podejrzał, 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 i dlatego bardzo trudno ją zaobserwować. Można powiedzieć: cząstka duch!

Ze swoich wątpliwości Pauli zwierzył się przyjacielowi, którym był astronom Walter Baade: „Dziś zrobiłem coś, czego nigdy nie powinien zrobić fizyk teoretyk: zasugerowałem istnienie cząstki niemożliwej do wykrycia”. Jednak kolega na tyle mocno wierzył w możliwości eksperymentatorów, że z miejsca zaproponował zakład o skrzynkę szampana.

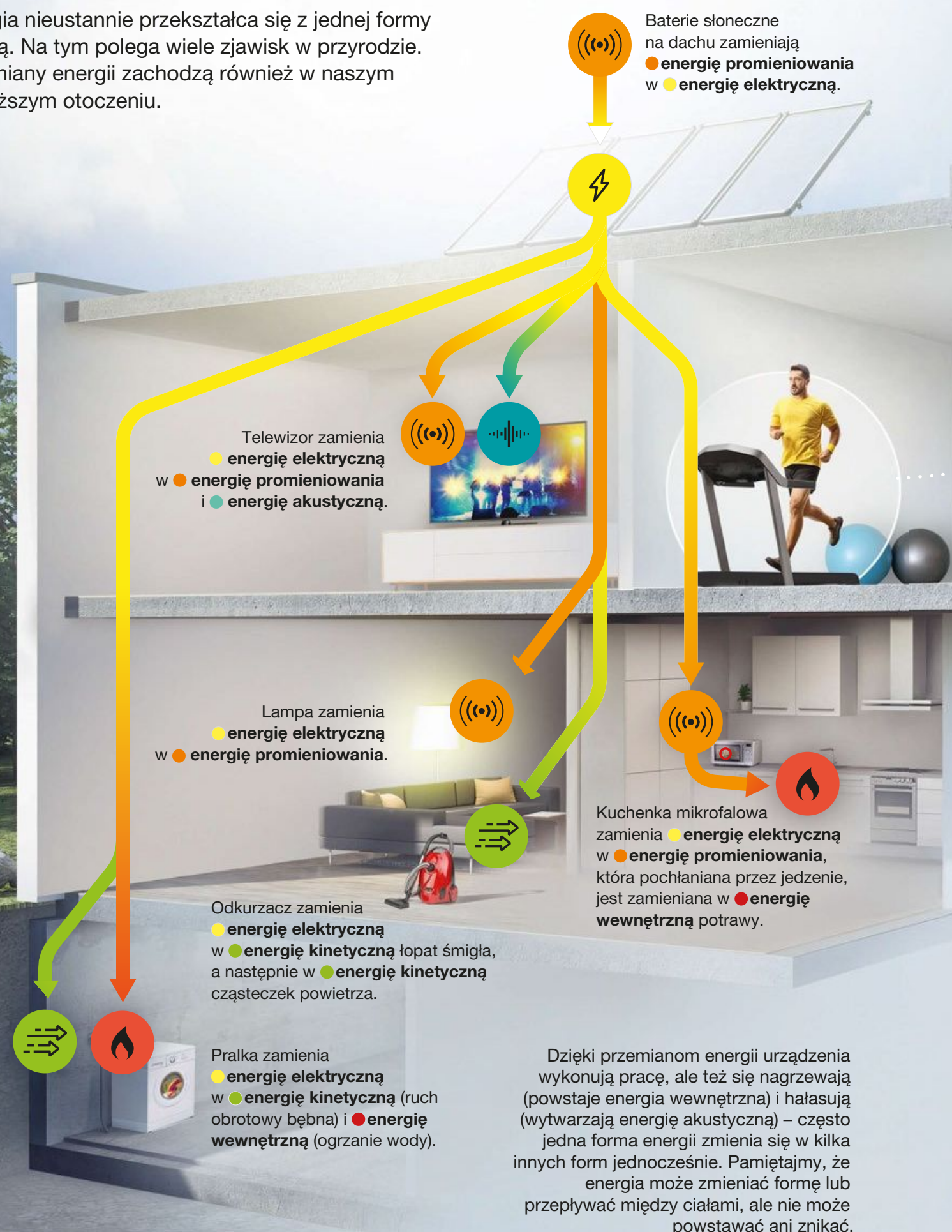
Baade musiał poczekać na trunek dwie dekady, ale zakład wygrał. W 1956 r. grupa badaczy wykryła nową cząstkę – neutrino. Dzięki temu oni też wygrali – co prawda nie szampana, ale Nagrodę Nobla.



▲ Detektor neutrin Super-Kamiokande w Japonii zawiera aż 50 000 ton wody. W jego ścianach znajdują się czujniki światła powstającego w następstwie oddziaływania neutrin z innymi cząstkami w wodzie. Na zdjęciu widzisz także pracowników obsługi w pontonie, sprawdzających czujniki w trakcie napełniania detektora wodą

PRZYKŁADY PRZEMIAN ENERGII

Energia nieustannie przekształca się z jednej formy w inną. Na tym polega wiele zjawisk w przyrodzie. Przemiany energii zachodzą również w naszym najbliższym otoczeniu.



- energia elektryczna
- energia promieniowania
- energia wewnętrzną
- energia chemiczna
- energia kinetyczna
- energia akustyczna

Energia chemiczna jest dostarczana w pożywieniu. W organizmie człowieka jest ona przetwarzana w różne inne formy energii.



Reflektor zamienia **energię elektryczną** w **energię promieniowania** (światło).

W paliwie w baku jest zgromadzona **energia chemiczna**.

Silnik zamienia **energię chemiczną** w **energię kinetyczną**, która umożliwia ruch pojazdu.



A to ciekawe

Znaczna część energii kinetycznej pojazdów uczestniczących w zderzeniach jest zużywana do wykonania pracy nad wygięciem metalu, co sprawia, że zmienia się ona w energię wewnętrzną. Konstruktorzy samochodów wykorzystują tę zależność i w celu zwiększenia bezpieczeństwa jazdy projektują nadwozia w taki sposób, aby w momencie zderzenia jak najwięcej energii kinetycznej pojazdu zostało zużyte na kontrolowane odkształcenia.



To najważniejsze

- ▶ **Zasada zachowania energii:** Energia kinetyczna może się zmieniać w energię potencjalną i na odwrót, 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 działających urządzeniach:

a) dynamo rowerowe,



b) świetlówka,



c) bateria alkaliczna.



2. **P** Z jaką prędkością uderza w ziemię jabłko, które spadło z gałęzi znajdującej się na wysokości 3 m?

3. Mały ciężarek zrzucony z pewnej wysokości osiągnął tuż nad ziemią prędkość $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz, z jakiej wysokości zrzucono ciężarek. Pomiń w obliczeniach opór powietrza.

4. Skoro obowiązuje zasada zachowania energii, to co oznaczają potoczne sformułowania „produkcja energii” oraz „straty energii”?

5. Adam wystrzelił z dmuchawki pionowo w górę strzałkę poruszającą się z początkową prędkością $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Na jakiej wysokości strzałka zwolni do $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$?

23 Moc



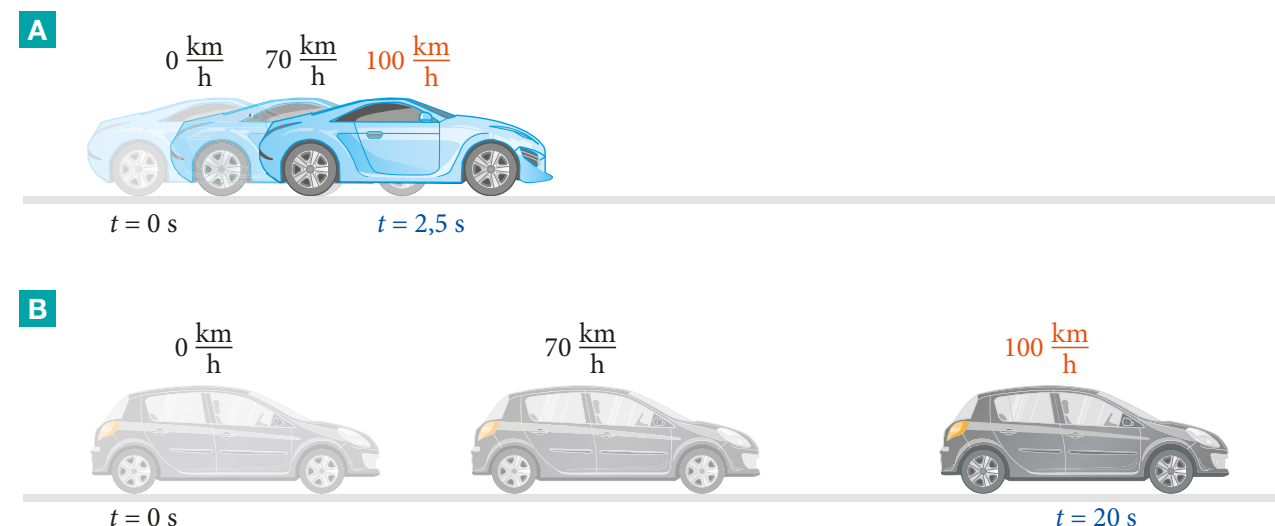
Samochód Formuły 1 jest tylko kilka razy szybszy od konia. Co więc znaczy stwierdzenie, że jego moc to 1000 koni mechanicznych?

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, czym jest moc, przeanalizujemy pewien przykład. 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 na rys. A poniżej), a drugi aż 20 s (rys. 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”, ponieważ taką samą pracę wykonał w krótszym czasie. Te cechy, która odróżnia oba silniki, fizycy rzeczywiście nazywają **mocą** i oznaczają literą P – od ang. *power*.

Definicja mocy i jej jednostka

Moc to wielkość określająca, **jaka praca została wykonana w czasie 1 s**. Jak ją można obliczać? Na przykład jeśli w ciągu 10 s wykonano pracę 40 J, to na każdą sekundę przypada praca 4 J. Wtedy mówimy, że moc wynosi $4 \frac{\text{J}}{\text{s}}$. Jak widzisz, aby obliczyć moc, musimy podzielić pracę przez czas jej wykonania:

moc

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

praca

czas wykonania tej pracy

Jednostką mocy jest dżul na sekundę, czyli **wat** (W). Nazwano ją 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:

- **kilowaty** $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} = 1000 \text{ W}$
- **megawaty** $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W} = 1\,000\,000 \text{ W}$
- **gigawaty** $1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W} = 1\,000\,000\,000 \text{ W}$
- **terawaty** $1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ W}$

Tabela 3. Wielokrotności i podwielokrotności → s. 247

Do wszystkich wielkości stosujemy te same przedrostki:
1 kW = 1000 W, tak samo jak
1 km = 1000 m.

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:

$m = 1900 \text{ kg}$
 $v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 $t_1 = 2,5 \text{ s}, t_2 = 20 \text{ s}$

Szukane:

$P_1 = ?$
 $P_2 = ?$

Rozwiązanie:

Każdy z silników wykonał tę samą pracę. Obliczmy ją. Ponieważ pomijamy opory ruchu, praca jest równa energii kinetycznej uzyskanej przez samochód:

$W = E_k = \frac{1}{2}mv^2$

➡ 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.

$W = E_k = \frac{1}{2} \cdot 1900 \text{ kg} \cdot (27,78 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \approx 733\,000 \text{ J}$

$[W] = \text{kg} \cdot (\frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$

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 ($20 \text{ s} : 2,5 \text{ s} = 8$), aby rozpędzić się do określonej prędkości, a moc jego silnika była ośmiokrotnie mniejsza:

$\frac{P_1}{P_2} = 8$

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 czasem innej jednostki mocy – **koni mechanicznych**.

Koń mechaniczny to jednostka mocy spoza układu SI: $1 \text{ KM} = 735,5 \text{ W}$

Pierwotnie ta jednostka 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!

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. Człowiek pracujący przez dłuższy czas może przeciętnie osiągać moc 0,1 KM, a w zryw – 1,2 KM. Wytrenowani sportowcy mają większe możliwości. W 2009 r. Usain Bolt podczas ustanawiania rekordu świata w biegu na 100 m z czasem 9,58 s osiągnął moc 3,5 KM.



Skala mocy

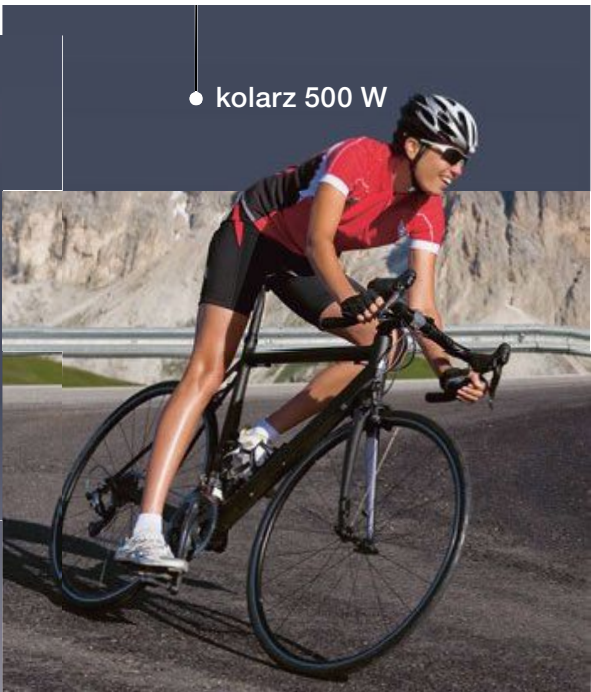
Na co dzień mamy do czynienia z mocą rzędu od miliwatów (mW) do megawatów (MW). Znacznie większe wartości pojawiają się w astronomii – to prawdziwie astronomiczne liczby!



rozmowy
0,3 W



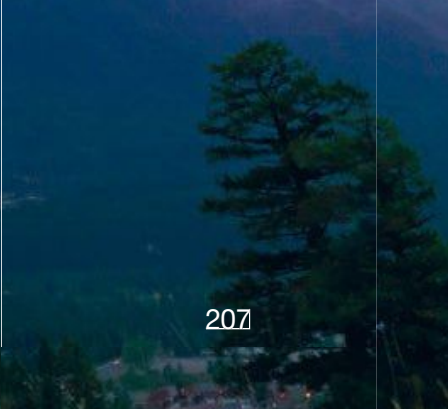
kolarz
500 W



samolot
pasażerski
Airbus A380
220 MW



piorun
 10^{14} W



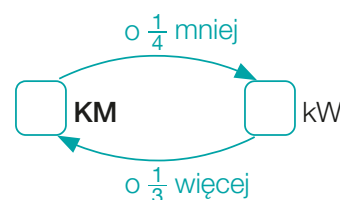
Jak przeliczać KM na kW

Jak szybko przeliczać konie mechaniczne na kilowaty i odwrotnie? Przeanalizuj diagram i przykłady.

Przykłady:

$$60 \text{ KM} = (60 - 15) \text{ kW} = 45 \text{ kW} \quad 9 \text{ kW} = (9 + 3) \text{ KM} = 12 \text{ KM}$$

$\swarrow \frac{1}{4} \text{ z } 60$
 $\nwarrow \frac{1}{3} \text{ z } 9$



Moc i energia

Moc określa, jak szybko jest wykonywana praca, albo ogólniej: jak szybko jest wydatkowana energia ciała lub 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, łatwo obliczymy, jaką energię zużyje ono w określonym czasie. Ze wzoru $P = \frac{E}{t}$ mamy:

$$E = P \cdot t$$

energia $\swarrow$ $\nwarrow$ moc
 czas

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:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Na przykład telewizor o mocy $150 \text{ W} = 0,15 \text{ kW}$ włączony przez 4 h zużyje energię:

$$E = 0,15 \text{ kW} \cdot 4 \text{ h} = 0,6 \text{ kWh}$$

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.



To najważniejsze

- ▶ **Moc** to iloraz pracy W i czasu t , w jakim 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: $1 \text{ KM} = 735,5 \text{ W}$.
- ▶ Jedna **kilowatogodzina** to energia, jaką zużywa urządzenie o mocy jednego kilowata w ciągu godziny: $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 3,6 \text{ MJ}$.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYTE



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) prace wykonane przez dźwigi,
 - b) moce, z jakimi one pracowały.
2. Rowerzysta o masie 70 kg na rowerze o masie 10 kg rozpędził się w czasie 5 s do prędkości $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz średnią moc jego mięśni w tym czasie. Podaj odpowiedź w watach i w koniach mechanicznych.
3.  Zapoznaj się ze skalą mocy (na ilustracji na s. 206–207) i wykonaj

odpowiednie obliczenia, aby znaleźć odpowiedzi na pytania.

a) Ile laptopów mógłby zasilać kolarz, gdyby pedały jego roweru przymocować do prądnicy?

b) Czy gdyby każdy człowiek na Ziemi miał swoją lokomotywę elektryczną, to moc Słońca wystarczyłaby, aby zasilać je wszystkie?

c) Bateria zegarka elektronicznego wystarcza na rok. Jak długo można by taką samą energią zasilać laptopa?

4. Słoń o masie 5 ton w ciągu 15 sekund rozpędził się do prędkości $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jaka była moc słońca? Ile koni mechanicznych wyniosła?

Doświadczenie domowe

Moc rowerzysty

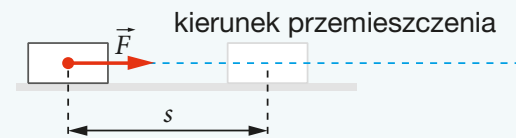
Wyznacz moc swojego organizmu podczas rozpędzania się na rowerze. Samodzielnie zaplanuj i opracuj sposób pomiaru.

Uwaga. Do obliczenia wykonanej pracy możesz wykorzystać wzór na energię kinetyczną.



POWTÓRZENIE Praca, moc, energia

- Z pracą mechaniczną mamy do czynienia wtedy, gdy siła jest związana z przemieszczeniem ciała. Jeśli siła **działa w tę samą stronę, w którą przemieszcza się ciało** (patrz rys.), to pracę obliczamy, mnożąc wartość siły F działającej na ciało przez przebytą drogę s :



praca $W = F \cdot s$

wartość działającej siły
droga przebyta pod wpływem tej siły

- Jednostką pracy i energii jest **dżul**: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$.
- Ciało **wykonujące pracę W traci energię $E = W$** , natomiast ciało, **nad którym wykonano pracę W** , zyskuje energię $E = W$.
- Siła działająca zgodnie ze zwrotem 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 zero (jest tak w przypadku siły dośrodkowej w ruchu po okręgu).
- Istnieje wiele form energii. **Jedna jej forma może przekształcać się w inną.**
- Do form energii należą m.in.:

Energia potencjalna grawitacji

- ▶ jest związana z położeniem ciała,
- ▶ rośnie, gdy podnosimy ciało,
- ▶ obliczamy ją ze wzoru:

$$E_p = mgh$$



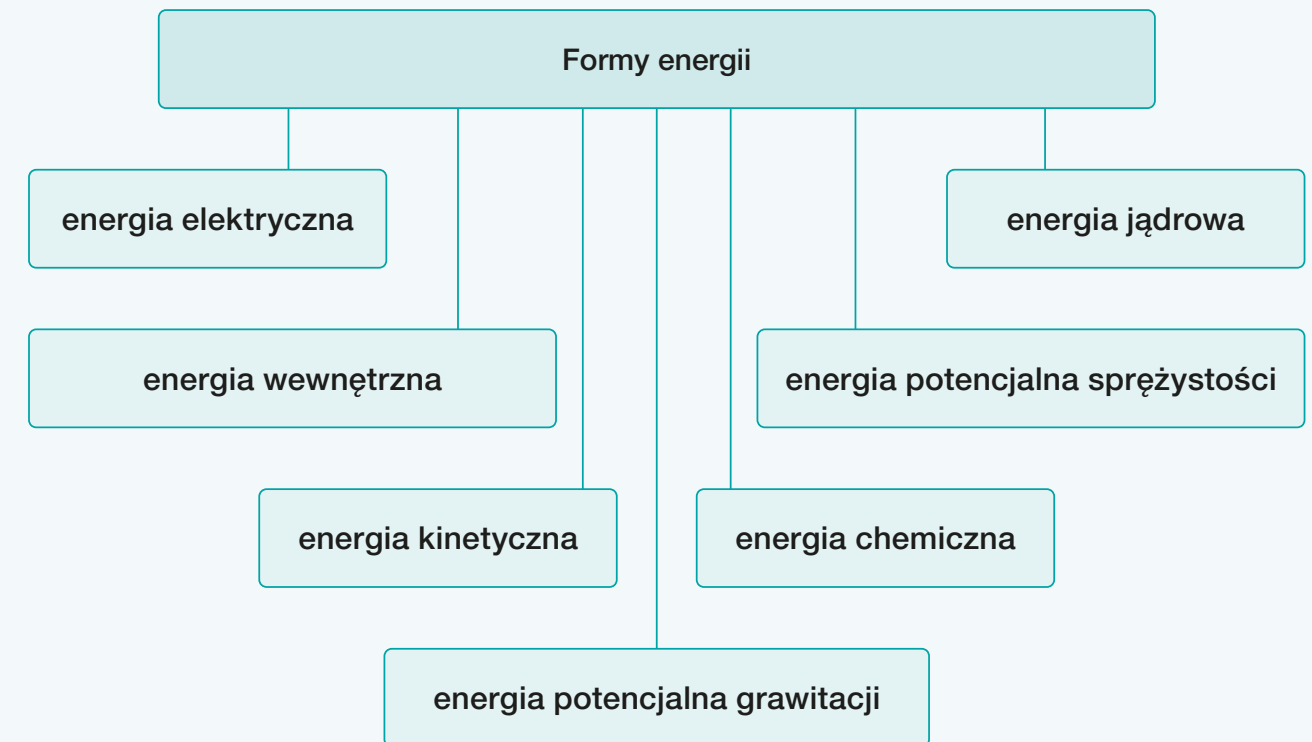
Energia kinetyczna

- ▶ 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.

$$E_{\text{mech}} = E_k + E_p$$

- Zasada zachowania energii:** Energia może zmieniać formę lub przepływać między ciałami, ale nie może powstać ani zniknąć.
- Moc** to wielkość opisująca, jak szybko została wykonana praca albo ogólnie – jak szybko zachodziła przemiana energii.

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

praca
czas

- Jednostką mocy jest **wat**: $1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$.
- Koń mechaniczny** to jednostka mocy spoza układu SI: $1 \text{ KM} = 735,5 \text{ W}$.
- Jedna **kilowatogodzina** to energia, jaką zużywa urządzenie o mocy jednego kilowata (czyli tysiąca watów) w ciągu jednej godziny.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

To musisz umieć



Uwaga. W zadaniach 2.–4. wskaż właściwe dokończenia zdań.

Informacja do zadań 1.–3.

Adam sprawdzał za pomocą siłomierza, jaką siłą musi ciągnąć wózek dziecięcy po piasku. Zmierzył, że jest to 150 N.

- Jaką pracę wykona Adam, gdy przeciągnie wózek na odległość 30 m?
A. 5 J C. 300 J
B. 4500 J D. 0 J
- 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, jaką Adam ciągnie wózek.
- Jeśli Adam przeciągnie wózek z zadania 1. po asfalcie na odległość 30 m, to:
A. wykona większą pracę.
B. wykona mniejszą pracę.
C. wykona taką samą pracę.

- Kiedy jabłko spada z drzewa:
A. jego energia potencjalna maleje, a energia kinetyczna rośnie.
B. jego energia potencjalna rośnie, a energia kinetyczna maleje.
C. zarówno jego energia potencjalna, jak i energia kinetyczna maleją.
D. zarówno jego energia potencjalna, jak i energia kinetyczna rosną.
- Na sprężynie buja się rozgrzany pręt paliwowy z elektrowni jądrowej. Podaj co najmniej cztery formy energii, jakie występują w opisanym układzie.
- Jaką energię potencjalną względem podłogi ma butla wody o masie 5 kg stojąca na półce o wysokości 1,5 m?
- Ile jest równa energia kinetyczna konia o masie 500 kg galopującego z prędkością $20 \frac{m}{s}$?
A. 5000 J
B. 10 000 J
C. 50 000 J
D. 100 000 J

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

To należy umieć



- Ania podniosła pudło o ciężarze 50 N i wykonała przy tym pracę 100 J. Na jaką wysokość podniosła pudło?
D. jego energia potencjalna wzrosła o 50 000 J.
E. jego łączna energia się nie zmieniła.
- 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.
- Jak dużą pracę trzeba wykonać, aby rozpędzić lokomotywę o masie 83 ton do prędkości $72 \frac{km}{h}$?
- 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

- 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.

- Furgonetka o masie 3 t jedzie z prędkością $50 \frac{km}{h}$, a samochód osobowy o masie 1,5 t jedzie z prędkością $100 \frac{km}{h}$. Który z pojazdów ma większą energię kinetyczną?

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

To warto umieć



Informacja do zadań 1. i 2.

Bielik o masie 4 kg leci z prędkością $18 \frac{km}{h}$ na wysokości 15 m.

- Ile wynosi jego energia kinetyczna?
A. 50 J C. 1080 J
B. 648 J D. 60 kJ
- O ile zmieni się całkowita energia mechaniczna bielika z zadania 1., kiedy wylądjuje on na powierzchni ziemi?



- Kolega, który na zajęciach tanecznych podniósł 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
- Z jaką mocą pracuje silnik samochodu o masie 1500 kg, który w czasie 8 s rozpędza się od zera do $100 \frac{km}{h}$? Podaj wynik w kilowatach i koniach mechanicznych. Pomiń opory ruchu.
- Na jaką wysokość wzleci piłka podrzucona pionowo z prędkością $5 \frac{m}{s}$? Pomiń opór powietrza.
- Podrzucona pionowo piłka osiągnęła wysokość 15 m. Oblicz prędkość, z jaką podrzucono piłkę. Pomiń opór powietrza.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

Dasz sobie z tym radę? Świetnie!



- Piłeczka o masie 20 g spada z wysokości 15 m, odbija się i wznosi na wysokość 5 m. Oblicz ilość energii rozproszonej w momencie zderzenia piłeczki z ziemią. Pomiń opór powietrza.
- 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 przyspieszenie grawitacyjne wynosi $g = 2 \cdot 10^{12} \frac{m}{s^2}$?



Wiemy, że nasze ciała wykorzystują do funkcjonowania energię chemiczną czerpaną z pożywienia. Tę energię wyrażamy w kilokaloriach ($1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$). 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 jednostka nazywana kalorią. Kto ją wprowadził?
2. Znajdź tabelę wartości odżywczych produktów. Spróbuj zmierzyć lub oszacować, jakie produkty i w jakiej ilości zjesz podczas wybranego posiłku: śniadania, obiadu lub kolacji.
Uwaga. Zanotuj następnie, jaki czas minął między tym a następnym posiłkiem.
3. Oblicz, ile energii dostarczył ci wybrany posiłek. 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 mógłbyś osiągnąć dzięki energii ze zjedzonego posiłku w zanotowanym czasie,
 - d) ile takich posiłków dałoby 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 osoby pracującej umysłowo (wybierz dane odpowiednie dla twojej płci),
 - b) od jakich warunków zależy zapotrzebowanie energetyczne człowieka.
5. Wymyśl więcej pytań podobnych do tych 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, ile musisz teoretycznie zużyć energii na te czynności.
Dowiedz się, ile kilokalorii spalasz, gdy wykonujesz te aktywności. 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

Natura przyszła nam z pomocą



Polska stanęła na progu blackoutu, gdy jednocześnie zostały wyłączone trzy duże bloki energetyczne. Na ratunek jednak ruszyły siły przyrody. Zaczęło wiać tak mocno, że energetyka odnawialna prawie zrównała się w produkcji prądu z elektrowniami na węgiel kamienny.

14.00 – wiatraki wykreśliły 77,5 GWh, czyli 31,7% energii wyprodukowanej w kraju. To wszystko miało miejsce w sytuacji, gdy operator systemu przesyłowego zalecił, aby ze względu na ograniczone w okresie świątecznym potrzeby zmniejszyć generację energii elektrycznej z farm wiatrowych. Gdyby nie to, rekord by zapewne padł.

Rekordowe wiatraki

W drugi dzień świąt Bożego Narodzenia, 26 grudnia 2022 r., z wiatru produkowano w Polsce aż 32,1% prądu, czyli 112,5 GWh – wynika z przeliczenia danych Europejskiej Sieci Operatorów Systemów Transmisyjnych Energii Elektrycznej. To drugi najlepszy wynik wiatraków po 6 lutego 2022 r., kiedy miały one aż 33,9% udziału w systemie przy produkcji 141,8 GWh.

Co więcej, w kolejnych dniach wiatr nadal wiał aż miło! We wtorek 27 grudnia produkcja wzrosła do 130,5 GWh, następnego dnia wyniosła 123,6 GWh, a kolejnego – tylko do godz.

W okresie Bożego Narodzenia często dochodzi do splotu dwóch czynników – niskiego zapotrzebowania na moc i energię elektryczną oraz wysokiej generacji z farm wiatrowych. Taka sytuacja wystąpiła również w tym roku. Dla zachowania zdolności regulacyjnych KSE polecono zmniejszenie generacji w jednostkach konwencjonalnych oraz wykorzystano w pełni zasoby elektrowni szczytowo-pompowych, jak również skorzystano z międzyoperatorskiego eksportu nadwyżek energii elektrycznej. Pomimo podjętych działań, nadal występował nadmiar produkcji energii elektrycznej. Dlatego wydano polecenie redukcji generacji FW – czytamy w komunikacie Krajowej Dyspozycji Mocy.

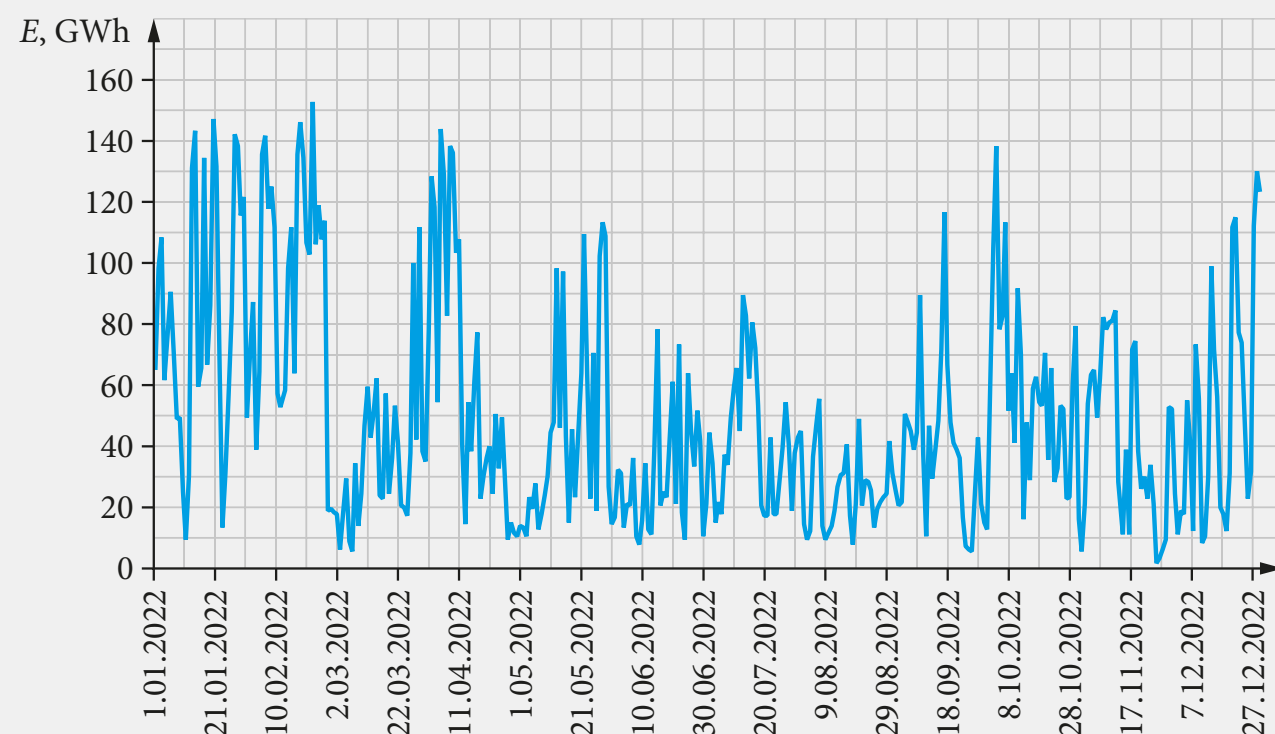
OZE prawie jak węgiel

Choć grudniowe dni należą do najkrótszych w roku, to nawet fotowoltaika potrafi wtedy wyprodukować 2% energii w systemie. A do tego woda w rzekach najwyraźniej płynie jakoś bardziej wartko, skoro także elektrownie wodne zwiększyły produkcję o połowę w porównaniu z początkiem grudnia. W ostatnich czterech dniach łączny udział źródeł odnawialnych w polskiej energetyce wahał się w przedziale 33–36% produkcji prądu w systemie.

Est nadzieja, że w pierwszym tygodniu stycznia 2023 r., na czas remontu bloków energetycznych, wiatraki „dokręcą” jeszcze brakujący prąd. W analogicznym okresie rok wcześniej energetyka wiatrowa dawała 13–27% energii w systemie. Styczeń i luty zwykle są w Polsce najlepsze dla produkcji prądu z wiatru.

Pełna wersja artykułu pod adresem: <https://businessinsider.com.pl/gospodarka/oze-ratuje-energetyke-rekordy-wiatrakow-i-to-akurat-po-awarii-kozienic/0ebpm20>

Autor: Jacek Frączyk, dziennikarz Business Insider Polska



▲ Eksport netto energii elektrycznej; copyright: Business Insider Polska

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Wymień rodzaje elektrowni wspomnianych w tekście. Które z nich korzystają ze źródeł odnawialnych, a które – z nieodnawialnych?
2. Ile kosztowałaby końcowego odbiorcę cała energia dostarczona przez wiatraki 26 grudnia 2022 r.? Przyjmij, że koszt 1 kWh to 1 zł.
3. Ile wynosiła całkowita produkcja energii w Polsce 6 lutego 2022 r.?
4. Na podstawie tekstu i wyników poprzedniego zadania oszacuj, jak dużo energii uzyskiwano codziennie na przełomie roku dzięki ogniwom fotowoltaicznym.

Zbiór zadań

Wprowadzenie

Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

Ruch po okręgu i grawitacja

Praca, moc, energia

Wprowadzenie

Lekcja 1

1. Wypisz podane nazwy obiektów w kolejności od najmniejszego do największego. 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. 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 • $\frac{1}{10000}$ mm • 13 000 km
• 3500 km • 52 000 km • 1 400 000 km
• 100 mln km • 10^{18} km

4. Wyobraź sobie model Układu Słonecznego w skali 1 cm – 1 mln km.

- a) Oblicz, jaką średnicę w takim modelu miałyby Ziemia, a jaką – Słońce.
- b) Oblicz, w jakiej odległości od Słońca znalazłaby się w tym modelu Ziemia, a w jakiej – Pluton.

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 w tym modelu znajduje się najdalsza planeta Układu Słonecznego, a w jakiej – Ziemia?

Lekcja 2

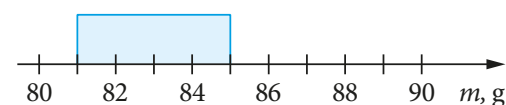
6. Zamień jednostki na odpowiednie jednostki podstawowe w układzie SI (metry, sekundy lub kilogramy).

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

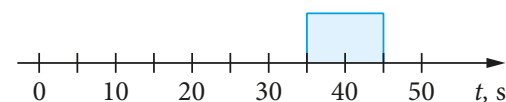
- a) Najlżejszy owad latający (należący do pasożytniczych os) ma masę 0,000 005 g.
- b) Napięcie w kolejowej sieci trakcyjnej w Polsce wynosi 3000 V.
- c) Czas odbicia piłki golfowej od kija wynosi ok. 0,0005 s.
- d) Moc samolotu Concorde była równa 37 000 000 000 W.

8. Wynikiem pomiaru masy pewnego ciała była wielkość (83 ± 2) g. Na osi liczbowej poniżej przedstawiono zakres, w jakim mieści się rzeczywista masa ciała.

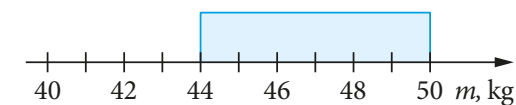


Odczytaj z osi i zapisz wyniki innych pomiarów wraz z ich niepewnościami.

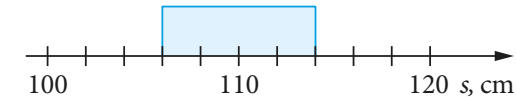
- a)



- b)



- c)



9. Zaznacz wynik pomiaru na osi liczbowej wraz z jego niepewnością (jeśli masz wątpliwości, jak to zrobić, możesz zajrzeć do poprzedniego zadania).

- a) (25 ± 6) m
- b) (130 ± 1) cm
- c) $(0,15 \pm 0,03)$ g
- d) $(1,4 \pm 0,2)$ kg

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

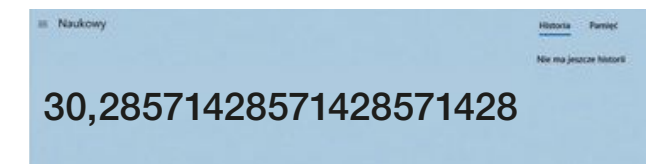
- a) Wybierz prawidłowe dokończenie zdania. Tak zapisany wynik jest pozbawiony

sensu, ponieważ 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).



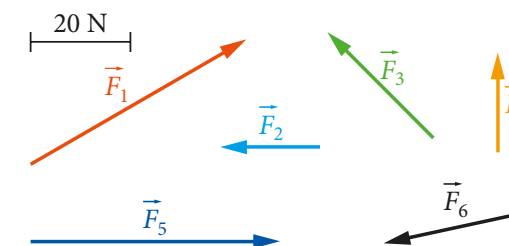
- b) W jakiej postaci Igor powinien podać wynik?

11. 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.

1. Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

Lekcja 3.

1. Skorzystaj ze skali i wyznacz wartości sił przedstawionych za pomocą wektorów.



2. Ala za pomocą nożnej pompki uzupełnia powietrze w pontonie. Zdjęcie przedstawia sytuację w chwili, kiedy dziewczyna na-

ciska pedał pompki siłą o wartości 200 N zwróconą w dół. Co można powiedzieć o sile, jaką pedał pompki naciska na jej stopę? Naskicuj w zeszycie stopę Ali, pedał pompki i wektory obu sił.



3. Kopnięta piłka odbiła się od ściany. Jakie ciało działało na piłkę siłą, która sprawiła, że piłka zmieniła zwrot prędkości?
4. Jeśli popychasz wózek z zakupami siłą 100 N, to wózek:
- działa na ciebie siłą równą 100 N.
 - działa na ciebie siłą, ale mniejszą niż 100 N.
 - działa na ciebie siłą, ale większą niż 100 N.
 - nie działa na ciebie żadną siłą, ponieważ nie ma własnego napędu.
5. Wzór na siłę ciężkości na Księżycu wygląda taka samo jak dla siły ciężkości na Ziemi, jednak zamiast przyspieszenia ziemskiego g musimy użyć przyspieszenia księżycowego g_K : $F = mg_K$, $g_K = 1,62 \frac{m}{s^2}$. Jak dużą masę może na Księżycu podnieść astronauta, który na Ziemi podnosi pojemnik o masie 25 kg?
6. Astronauta na spacerze 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.

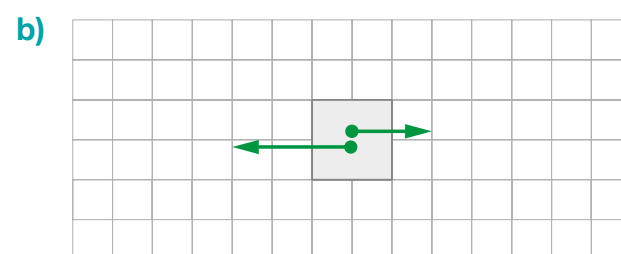
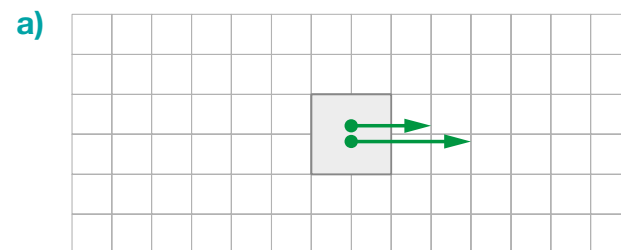


7. Określ, jakie ciało działa na wymieniony pojazd siłą pozwalającą mu się rozpędzić.
- przyczepa traktora
 - samochód
 - samolot napędzany śmigłem
 - samolot odrzutowy

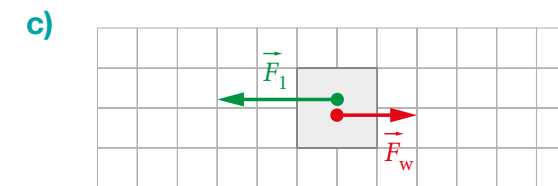
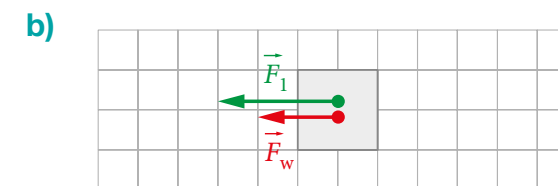
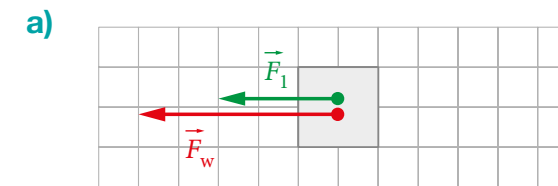
8. Oblicz ciężar na Ziemi:
- butelki wody mineralnej o masie 1,5 kg,
 - monety 1 zł o masie 5 g,
 - samochodu o masie 1,2 t.
9. Oblicz masę:
- piłki o ciężarze 5 N,
 - stołu o ciężarze 120 N,
 - długopisu o ciężarze 0,16 N.

Lekcja 4.

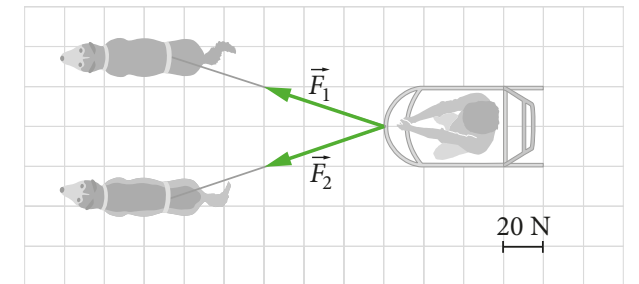
10. Narysuj w zeszycie kwadrat o wymiarach 2×2 kratki, symbolizujący pewne ciało, oraz wektory sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ przyłożonych w jego środku zgodnie z opisem poniżej. Samodzielnie wybierz taką skalę, aby rysunek był czytelny. Następnie innym kolorem dorysuj wektor siły wypadkowej.
- siła $\vec{F}_1$ – o wartości 100 N, zwrócona w lewo; siła $\vec{F}_2$ – o wartości 100 N, zwrócona w prawo
 - siła $\vec{F}_1$ – o wartości 200 N, zwrócona w lewo; siła $\vec{F}_2$ – o wartości 100 N, zwrócona w prawo
 - siła $\vec{F}_1$ – o wartości 100 N, zwrócona w prawo; siła $\vec{F}_2$ – o wartości 150 N, zwrócona w prawo
11. Na rysunku dwie siły działające na ciało przedstawiono w skali 1 kratka – 20 N. Przerysuj ilustrację do zeszytu i dorysuj innym kolorem wektor siły wypadkowej.



12. Na ciało działają dwie siły $\vec{F}_1$ oraz $\vec{F}_2$. Wypadkowa tych sił to $\vec{F}_w$. Na rysunku poniżej przedstawiono siłę $\vec{F}_1$ oraz siłę $\vec{F}_w$. Przerysuj ilustrację do zeszytu i dorysuj wektor siły $\vec{F}_2$.

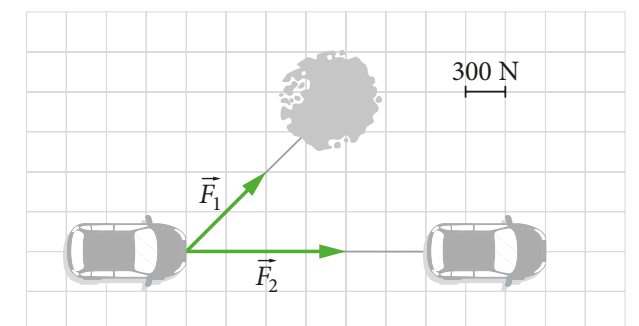


13. Wojtek sprawdził, że jeśli bardzo się postara, to jest w stanie podnieść z podłogi sztangę o masie 50 kg. Na siłowni Wojtek podszedł do sztangi o masie 120 kg i starał się ją podnieść, działając taką samą siłą jak poprzednio, skierowaną ku górze. Jaką wartość ma siła, którą sztanga podnoszona właśnie przez Wojtka naciska na podłogę?
14. Piłka o masie 200 g unosi się na powierzchni wody.
- Oblicz wartość siły ciężkości działającej na piłkę.
 - Jaka siła sprawia, że piłka nie tonie? Ustal wartość tej siły.
15. Ilustracja przedstawia widziane z góry sianie ciągnięte przez dwa psy. Wyznacz siłę wypadkową sił, którymi ciągną je psy. Oblicz wartość siły wypadkowej na podstawie skali.
- Uwaga.** Nie rysuj w książce. Przerysuj wektory sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_w$ do zeszytu.

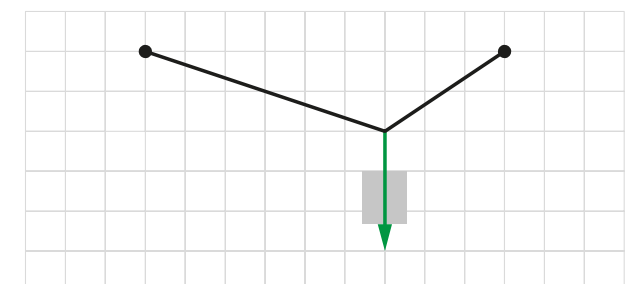


16. Samochód terenowy utknął w błocie. Próbowano wyciągnąć go za pomocą linki holowniczej przywiązanej do drugiego pojazdu. Ponieważ to nie wystarczyło, kierowca zaczepił linę wyciągarki o pobliskie drzewo, więc na samochód działały już dwie siły (jak na rysunku). Wyznacz siłę wypadkową tych sił. Oszacuj jej wartość na podstawie skali.

Uwaga. Nie rysuj w książce. Przerysuj wektory sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_w$ do zeszytu.



- ★17. Rysunek przedstawia ciężkie ciało zawieszone na linie. Jak widzisz, nie zostało ono zaczepione na środku linie.
- Przerysuj ilustrację do zeszytu i dorysuj siły, którymi ciało jest ciągnięte przez obie części linie w miejscu zaczepienia.
 - Z której strony lina łatwiej może się zerwać? Spróbuj to przewidzieć na podstawie swojego rysunku, a następnie sprawdź to doświadczalnie.



Lekcja 5.

18. W ciągu 1 s pociąg przejechał 20 m, podczas gdy w tym samym czasie jego pasażer przeszedł w kierunku lokomotywy 1 m. Jaka jest prędkość pasażera względem pociągu, a jaka względem ziemi?
19. Rowerzysta przebył trasę o długości 18 km w czasie 1,5 h. Oblicz prędkość średnią rowerzysty.
20. Biegacz pokonał dystans 10 km w czasie 50 min. Jaka była jego prędkość średnia? Podaj ją w kilometrach na godzinę.
21. Państwo Szczyglewscy pojechali ze Szczecbrzeszyna do Chrząszczewa. Drogę 280 km pokonali ze średnią prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Ile czasu zajęła im ta podróż?



22. Pociąg odjeżdża z Warszawy o godzinie 7:33 i z prędkością średnią $92,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ jedzie do odległego o 231 km Olsztyna. O której godzinie dociera na miejsce?
23. Turysta idzie ze średnią prędkością $5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jaką drogę może zatem pokonać w czasie 10 minut?
24. Maszyna do drążenia tuneli posuwa się z prędkością $0,5 \frac{\text{m}}{\text{h}}$. Jak długi tunel wydrąży w ciągu tygodnia nieprzerwanej pracy?
25. Na ulicy postawiono znak ograniczenia prędkości do $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. 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.

26. 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!

27. Nasza galaktyka – Droga Mleczna – i odległa od niej o ok. 2,5 mln lat świetlnych Galaktyka Andromedy zbliżają się do siebie z prędkością ok. $110 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Wiemy, że w końcu się zderzą.

Oszacuj, za ile lat się to wydarzy. Załóż, że ich wzajemna prędkość będzie cały czas taka sama. Jeden rok świetlny to odległość ok. 9500 mld km.

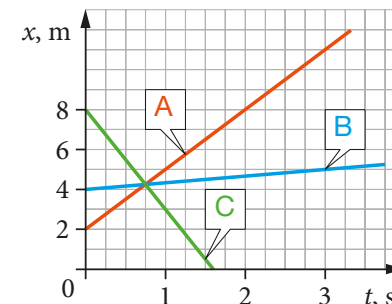
Lekcja 6.

28. Wykres przedstawia zależność drogi przebytej przez pewne ciało od czasu ruchu. Na podstawie tego wykresu odpowiedz na pytania.



- a) Jaką drogę przebyło to ciało w ciągu pierwszych 5 s ruchu?
- b) Ile czasu zajęło ciału przebycie 10 m?
- c) Z jaką prędkością poruszało się ciało?

29. 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).



30. W tabeli przedstawiono zależność położenia windy od czasu (w metrach powyżej podłogi parteru). Na jej podstawie określ wartość i zwrot wektora prędkości windy.

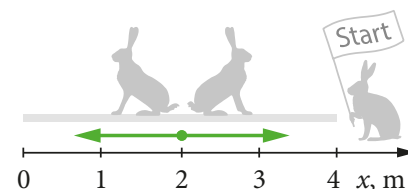
a)

t, s	0	0,5	1	1,5
x, m	5	4,8	4,6	4,4

b)

t, s	0	0,5	1	1,5
x, m	5	5,5	6	6,5

31. Dwa zające w chwili $t = 0$ s wybiegły z punktu $x = 2$ m, a następnie poruszały się w przeciwnie strony z prędkością o wartości $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Narysuj wykresy $x(t)$ i $s(t)$ dla każdego z zająców. Czy każdy z wykresów będzie inny?

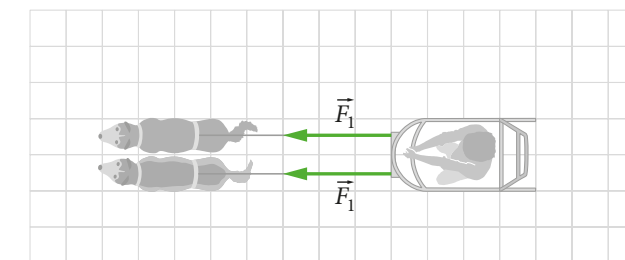


32. Piłka popchnięta po podłodze może toczyć się długo, ale w końcu się zatrzyma. Dlaczego nie porusza się ze stałą prędkością, chociaż nie działamy na nią żadną siłą?

33. 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 $15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

a) Jaka jest wartość siły oporów ruchu tych sań?

b) Która informacja w tym zadaniu jest zbędna?



34. Kierowca prowadzi samochód po krętej górskiej szosie i przez cały czas stara się utrzymać na liczniku prędkość $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Dokończ zdanie tak, aby było prawdziwe. Wypadkowa siła działająca na samochód w trakcie całej tej drogi:

A. wynosi zero, ponieważ samochód jedzie stale z prędkością $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

B. zmienia się, ponieważ mimo że wartość prędkości jest stała, to zmienia się jej kierunek.

Lekcja 7.

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

36. Puszczony swobodnie kamień spada, rozpędzając się z przyspieszeniem $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Do jakiej prędkości rozpędzi się w ciągu 5 s?

37. Rowerzysta poruszał się ze stałą prędkością $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a następnie zaczął się rozpędzać ze stałym przyspieszeniem o wartości $0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Po jakim czasie osiągnie prędkość $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

38. Samochody Ferrari Scuderia rozpędzają się do $100 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ w ciągu zaledwie 3,6 sekundy. Jakie jest przyspieszenie tych samochodów w trakcie rozpędzania?

39. Ustal kierunek i zwrot wektora przyspieszenia pociągu, który jedzie po prostoliniowym torze, w czasie:

- rozpędzania się,
- hamowania.

40. Narysuj wykres $v(t)$ dla ciała, które poruszało się w chwili $t = 0$ s z prędkością $10 \frac{m}{s}$, a następnie zaczęło:

- rozpędzać się z przyspieszeniem o wartości $4 \frac{m}{s^2}$,
- hamować z przyspieszeniem o wartości $4 \frac{m}{s^2}$.

41. W tabeli podano wyniki pomiarów prędkości samochodu wykonywane co 2 s.

- Czy samochód przyspieszał czy hamował?
- Czy poruszał się ruchem jednostajnie zmiennym? Jeśli tak, to jakie było jego przyspieszenie?
- Naszkicuj wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu tego samochodu.
- Przelicz największą prędkość podaną w tabeli na kilometry na godzinę.

t, s	0	2	4	6	8
$v, \frac{m}{s}$	4	7	10	13	16

42. Pociąg Pendolino rozpędza się z przyspieszeniem $0,5 \frac{m}{s^2}$.

- Jaką drogę przebędzie w czasie pierwszych 10 s ruchu po ruszeniu ze stacji?
- Jaką drogę przebędzie, zanim rozpędzi się od $0 \frac{km}{h}$ do $180 \frac{km}{h}$?

43. Samochód jechał z prędkością $20 \frac{m}{s}$, a następnie w czasie 10 s przyspieszył do $25 \frac{m}{s}$. Jaką drogę przebył w czasie rozpędzania?

44. Zgodnie z przepisami sprawne hamulce samochodu pozwalają na hamowanie z przyspieszeniem o wartości $5 \frac{m}{s^2}$. Jaką drogę przebędzie samochód z takim przyspieszeniem od prędkości $50 \frac{km}{h}$, zanim się zatrzyma?

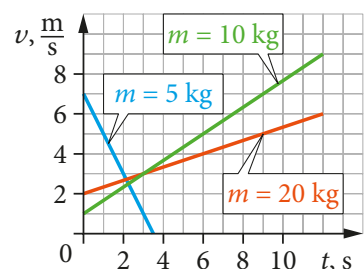
Lekcja 8.

45. Deskorolka o masie 2 kg stała na asfalcie (bez obciążenia). Następnie przez 3 s była popychana siłą 1 N.

- Jakie przyspieszenie uzyskała deskorolka?
- Do jakiej prędkości się rozpędziła?

46. Silnik waży ok. 100 kg, a po włożeniu do samochodu o masie (bez silnika) 1300 kg nadaje mu przyspieszenie $2,9 \frac{m}{s^2}$. Jakie przyspieszenie nadałby ten sam silnik pojazdowi typu mini car, którego masa (bez silnika) wynosi 500 kg?

47. 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.



48. Samochody wyścigowe o największym przyspieszeniu rozpędzają się od zera do 60 mil na godzinę (czyli do $27 \frac{m}{s}$) w czasie ok. 1,6 s.

- Oblicz średnie przyspieszenie takiego samochodu podczas rozpędzania i porównaj je z przyspieszeniem grawitacyjnym na Ziemi.
- Oblicz wartość siły działającej na rozpędzający się samochód wyścigowy. Przyjmij, że jego masa wraz z kierowcą i paliwem wynosi 900 kg.



49. Oblicz masę ciała, któremu siła 20 N nadaje przyspieszenie $4 \frac{m}{s^2}$.

50. Michał zjeżdżał na sankach. Siła ciągnąca sanki do przodu ma wartość 100 N, a siła oporów ruchu hamująca sanki – wartość 25 N. Michał rozpędził się w czasie 5 s od prędkości $2 \frac{m}{s}$ do prędkości $8 \frac{m}{s}$. Jaka jest łączna masa Michała i sanek?

★51. Pocisk o masie 7,5 g poruszający się z prędkością $350 \frac{m}{s}$ uderza w przeszkodę i hamuje w niej na drodze 10 cm. Oblicz średnią wartość siły hamującej pocisk wewnątrz przeszkody.

52. Wyobraź sobie raketę kosmiczną, która wzbiła się już ponad atmosferę, więc nie musi pokonywać oporu powietrza. Silniki są jednak nadal włączone i na raketę 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.

- Siła wypadkowa działająca na raketę jest stała.
- Siła wypadkowa działająca na raketę rośnie.
- Masa rakiety się nie zmienia.
- Masa rakiety maleje, ponieważ paliwo jej się wyczerpuje.
- Masa rakiety maleje do zera.

53. 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.

- Jeśli uderzysz głową w mur, to skutek będzie taki sam, jakby mur uderzył w głowę ciebie.
- Jeśli dowolne ciało wprawisz w ruch, to samo się nie zatrzyma.

C. Cięższy wózek trudniej popchnąć niż lekki.

Lekcja 9.

54. 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?

- Opona ma głęboki bieżnik.
- Samochód ma opływowy kształt.
- Podczas hamowania klocki hamulcowe są mocno dociskane do tarczy.
- Koła są zamocowane na łożyskach.



55. Dlaczego w biegach na krótkim dystansie stosuje się bloki startowe? Dlaczego nie używa się ich w przypadku biegów długodystansowych?



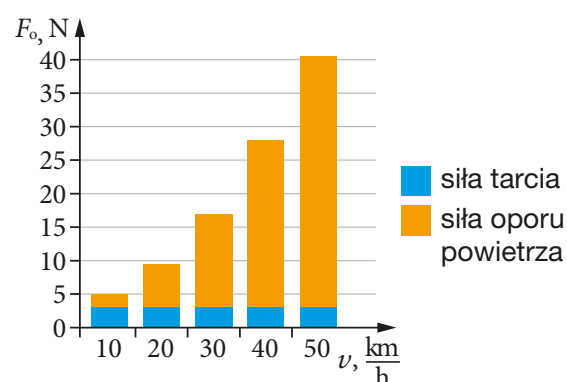
56. Kajak wraz z siedzącymi w nim osobami miał masę 150 kg. Gdy płynął z prędkością $3 \frac{m}{s}$, wiosłarze przestali wiosłować, a prędkość kajak zmniejszyła się w czasie 8 s do $1 \frac{m}{s}$. Oblicz wartość siły oporu wody hamującej ruch kajak.



57. Ogrodnik musi przesunąć ciężką taczkę. Może to zrobić na dwa sposoby: pchając lub ciągnąc. Czy oba wymagają przyłożenia siły o tej samej wartości, czy może jeden z nich sprawia, że przesunąć taczkę jest łatwiej? Dlaczego?



58. Rowerzysta jedzie z prędkością $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Odczytaj z wykresu wartość całkowitej siły oporu ruchu działającej w trakcie jego jazdy. Jaką jej część stanowi opór powietrza?



59. Dowiedz się i wyjaśnij, dlaczego wodolot może się poruszać szybciej niż zwykły statek. Zapisuj źródła, z jakich korzystasz.
60. Gdy samochód jedzie po szosie, maksymalna wartość siły tarcia statycznego, jaka może na niego 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.

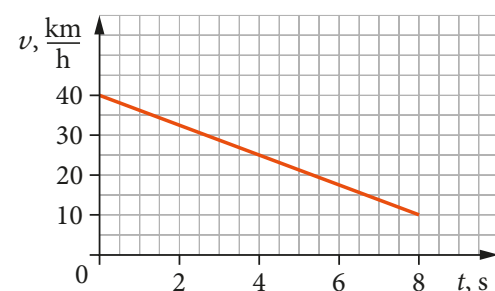
61. Wózek dziecięcy wraz z niemowlęciem waży razem 15 kg. Ojciec popycha wózek siłą 10 N, a siła tarcia ma wartość 8 N. Oblicz przyspieszenie wózka.

Lekcja 10.

62. Które z narzędzi działają dzięki swojej bezwładności?

- śrubokręt
- młotek
- siekiera
- piła

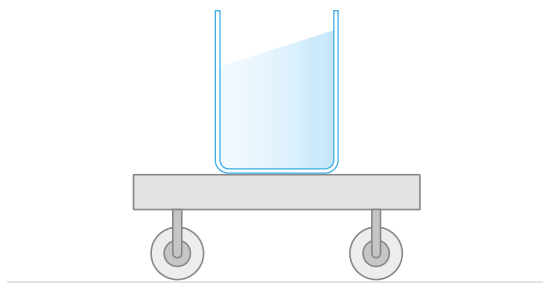
63. Na ilustracji przedstawiono wykres $v(t)$ dla pewnego tramwaju. Na pasażerów tego tramwaju działa siła bezwładności. W którą stronę jest ona zwrócona?



64. Ilustracja poniżej przedstawia wózek, na którym ustawiono szklanę wody. Nachylenie powierzchni wody wynika z działania sił bezwładności. Ustal, czy wózek przyspiesza czy zwalnia, jeśli się porusza:

- w lewą stronę rysunku,
- w prawą stronę rysunku.

Zapisz swoje odpowiedzi, a następnie sprawdź je doświadczalnie. Nie musisz używać wózka – wystarczy przesunąć po stole kubek z wodą.



65. 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 warkoczki omotały mu szyję, jakby dziewczyna chciała go przywiązać do siebie na zawsze.

Informacja do zadań 66–68.

Jak obliczyć wartość siły bezwładności?

Jeśli pojazd rozpędza się z przyspieszeniem a , to znajdujące się w nim ciało o masie m także rozpędza się z takim samym przyspieszeniem. To znaczy, że działa na nie siła $F = ma$.

Skoro w układzie nieinercyjnym, związanym z pojazdem, tę siłę równoważy siła

bezwładności, to znaczy, że ona także ma wartość $F_b = F = ma$.

66. Pociąg metra rozpędza się z przyspieszeniem $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz wartość siły bezwładności działającej na pasażera o masie 70 kg i porównaj ją z ciężarem tego pasażera.

67. Podczas wypadku drogowego, gdy samochód uderza w drzewo, przyspieszenie wewnątrz pojazdu może osiągnąć wartość nawet $400 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Ile razy większa od ciężaru pasażera jest w takim przypadku działająca na niego siła bezwładności?

68. Jeżeli w trakcie startu rakiety misji Artemis pojawiłyby się problemy, kapsuła załogowa może w sposób automatyczny awaryjnie oddalić się od rakiety i w ciągu 2 s osiągnąć prędkość $800 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jaką siłę bezwładności odczuje astronauta o masie 75 kg w trakcie takiej misji awaryjnej? Porównaj ją z siłą przyciągania ziemskiego.

Dział 2. Ruch po okręgu i grawitacja

Lekcja 11.

1. Rybka pływa przy ścianie kulistego akwarium po okręgu o promieniu 15 cm. Prędkość jej ruchu wynosi $2 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. 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 $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Gdy po czasie 1 min nawigacja zaczęła działać, kierowca opuścił rondo. Ile razy

je objechał? Podaj liczbę pełnych okrążeń.

3. Wielka karuzela w wesołym miasteczku wykonuje jeden obrót w 6 s. Osoby na krzeselkach poruszają się wokół osi karuzeli po okręgu o promieniu 10 m. Oblicz prędkość, z jaką poruszają się te osoby.

4. Płyta gramfonowa wykonuje 33 obroty na minutę. Oznacza to, że igła porusza się względem płyty ze zmienną prędkością, ponieważ podczas odtwarzania muzyki igła znajduje się coraz bliżej osi obrotu. Odległość igły od środka płyty zmienia się od 15 cm do 6 cm. Oblicz, w jakich granicach zmienia się prędkość igły względem płyty.

5. Zosia odpoczywa na plaży nad Bałtykiem, a Tosia – nad Adriatykiem. Obie są w bezruchu, ale poruszają się z powodu obrotu



Ziemi. Czy prędkość Zosi w tym ruchu jest większa, mniejsza czy równa prędkości Tosi? A jak jest z częstotliwością?



6. 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.

7. Z jaką prędkością Księżyc porusza się wokół Ziemi?

Wskazówka. Dane znajdziesz w tabeli 2. na s. 246.

Lekcja 12.

8. Do każdego zdania dobierz zakończenie z ramki. Zapisz całe zdania w zeszycie.

- a) Aby samochód przyspieszył, musi na niego działać siła skierowana...
- b) Aby samochód zwolnił, musi na niego działać siła skierowana...
- c) Aby samochód skręcił w lewo, musi na niego działać siła skierowana...
- d) Aby samochód skręcił w prawo, musi na niego działać siła skierowana...

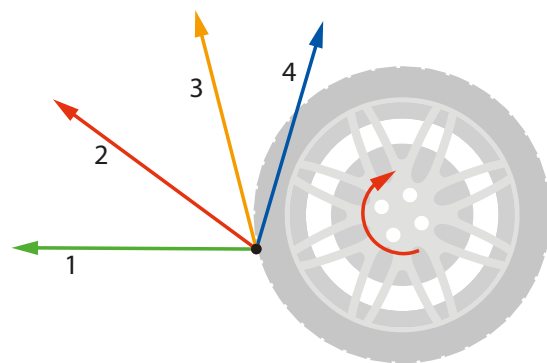
w lewo • w prawo • do przodu • do tyłu

9. Czasem na ostrych zakrętach szosę pokrywa się bardziej szorstkim gatunkiem asfaltu. Dlaczego?

10. Aby pewien samochód pokonał ostry zakręt z prędkością $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, 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 wartość jedynie 5000 N?

11. 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.

12. Na obracającej się płycie gramofonowej znajduje się kostka lodu, która może się po niej poruszać bez tarcia. W pewnej chwili kostka spoczywała względem płyty. Opisz, w jaki sposób kostka będzie się dalej poruszać:

- a) z punktu widzenia osoby patrzącej z zewnątrz,
- b) z punktu widzenia ślimaka siedzącego na płycie.

13. Wykonaj polecenia z poprzedniego zadania, ale tym razem dla sytuacji, w której w pewnej chwili kostka spoczywa względem obserwatora zewnętrznego, a porusza się względem płyty.

Lekcja 13.

14. Rower ma masę 10 kg, a rowerzystka 50 kg. Oblicz wartość siły dośrodkowej działającej na rower wraz z rowerzystką podczas jazdy z prędkością $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ po łuku o promieniu 10 m. Jaka siła pełni funkcję siły dośrodkowej w opisanym przypadku?

15. Kulka o masie 50 g kręci się na sznurku po okręgu o promieniu 80 cm. Porusza się ona z prędkością $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz wartość siły dośrodkowej.

16. Oblicz wartość siły dośrodkowej działającej na wagon o masie 12 ton jadący z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ po łuku o promieniu 1 km. Jakie ciało działa na wagon tą siłą?

17. Podczas rzutu młotem lekkoatletka kilka razy się obraca, trzymając na linie pędzącą wokół siebie kulę. Kula ma masę 4 kg i znajduje się w odległości 1,5 m od osi obrotu zawodniczki, która obraca się z nią 2,5 razy na sekundę.

a) Z jaką prędkością porusza się kula?

b) Jaką siłą lekkoatletka musi ciągnąć linę?

18. 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 $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?

19. Samochód, którego masa wraz z ładunkiem i pasażerami wynosi 1000 kg, jedzie z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Podczas skręcania może na niego działać siła tarcia o maksymalnej wartości 3125 N, skierowana prostopadle do kierunku ruchu. Ile wynosi minimalny promień skrętu, czyli promień łuku okręgu, po jakim samochód może jechać z podaną prędkością?

20. Siła tarcia działająca na samochód o masie 1000 kg nie może przekroczyć wartości 7000 N. Ustal, z jaką maksymalną prędkością może jechać ten pojazd po łuku o promieniu 28 m. Sprawdź w internecie, jaka jest maksymalna dozwolona prędkość w obszarze zabudowanym, i porównaj z nią otrzymany wynik.

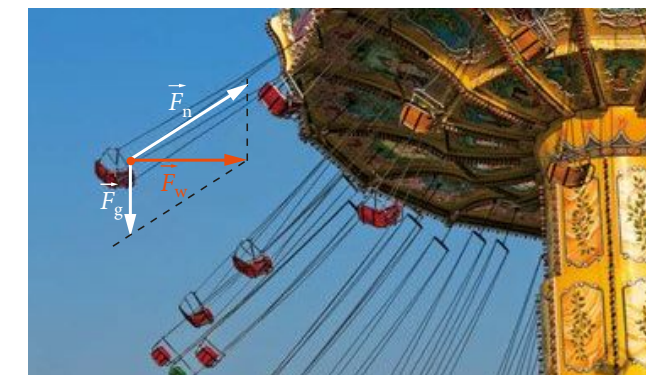
21. Po drodze biegnącej po łuku samochód może przejechać z prędkością równą co najwyżej $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Z jaką maksymalną prędkością może przejechać po łuku o dwa razy mniejszym promieniu niż poprzednio?

22. 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.

- ★23. Siodełka karuzeli łańcuchowej w czasie jej ruchu odchylają się od pionu o kąt 60° . Na siodełko działają dwie siły: siła ciężkości F_g oraz siła naciągu łańcucha F_n . Ich wypadkowa F_w skierowana poziomo w kierunku osi obrotu, pełni funkcję siły dośrodkowej.

a) Porównaj wartości sił $\vec{F}_g$ i $\vec{F}_n$, czyli ustal, czy się różnią, a jeśli tak, to która jest większa i ile razy.

b) Porównaj wartości sił $\vec{F}_g$ i $\vec{F}_w$.



Lekcja 14.

24. Oszacuj siłę grawitacji między 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.

25. Siła grawitacji maleje, gdy ciała się od siebie oddalają. Nie odczuwamy jednak zmniejszania się ciężaru ciał wysoko nad ziemią, np. w samolocie. Dlaczego?

Uwaga do zadań 26.–32. Pod pojęciem odległości między kulami rozumiemy odległość między ich środkami.

26. Oblicz siłę grawitacji działającą między jedną z małych kul i jedną z dużych kul w do-

świadczeniu Cavendisha. Potrzebne informacje znajdziesz na s. 118 podręcznika. Odległość między kulami wynosiła 23 cm.

27. Dwie ołowiane kule o masie 1 t każda, umieszczone w odległości 2 m od siebie, przyciągały się siłą $16 \mu\text{N}$. Odległość zmieniono następnie na 6 m.

- Czy odległość między kulami zwiększyła się czy zmniejszyła? Ile razy?
- Czy siła grawitacji działająca między kulami zwiększyła się czy zmniejszyła? Ile razy?
- Oblicz siłę grawitacji po zmianie odległości.

$$1 \mu\text{N} (\text{mikroniuton}) = \frac{1}{1\,000\,000} \text{ N}$$

28. Dwie kule ołowiane o masie 1 t każda, umieszczone w odległości 2 m od siebie, przyciągały się siłą $16 \mu\text{N}$. Kiedy umieszczono je w innej odległości, okazało się, że siła grawitacji między nimi wynosi $1 \mu\text{N}$.

- Czy siła grawitacji działająca między kulami zwiększyła się czy zmniejszyła? Ile razy?
- Czy odległość między kulami zwiększyła się czy zmniejszyła? Ile razy?
- Oblicz odległość między kulami po zmianie ich położenia.

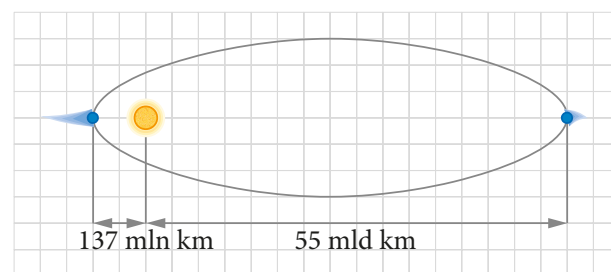
29. Dwie kule o masie 3 t każda, umieszczone w odległości 10 m od siebie, przyciągają się siłą grawitacji o wartości ok. $6 \mu\text{N}$.

- Jaką siłą będą się przyciągać, jeśli odległość zwiększymy do 30 m?
- W jakiej odległości od siebie powinny znaleźć się kule, aby ich siła przyciągania wyniosła $1,5 \mu\text{N}$?

Wskazówka. Postępuj podobnie jak przy dwóch poprzednich zadaniach.

30. Kometę Hale’a–Boppa (nazwana na cześć jej odkrywców) krąży wokół Słońca po torze w kształcie mocno wydłużonej elipsy (patrz rys.). Jej minimalna odległość od Słońca wynosi 137 mln km, a maksymalna – 55 mld km. W którym z tych skrajnych położań siła

grawitacji słonecznej działająca na tę kometę jest większa i ile razy?

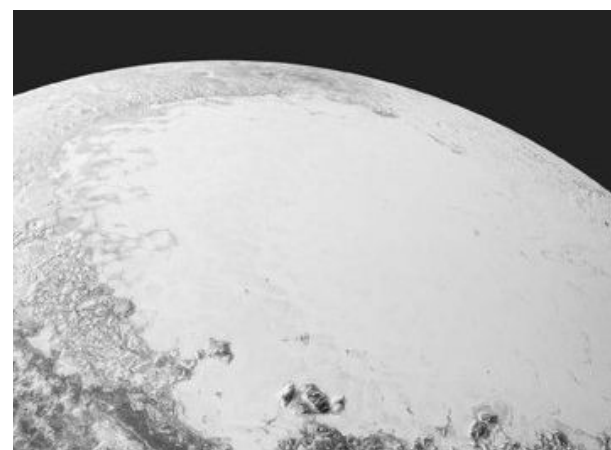


31. Dwa jednakowe kuliste ciała przyciągają się siłą $0,001 \text{ N}$. Odległość między środkami tych ciał wynosi 10 m. Oblicz masę każdego z tych ciał.

32. Jaka powinna być odległość między środkami kul o masie 10 t każda, aby przyciągały się siłą $1 \mu\text{N}$?

33. Masa Plutona wynosi ok. $1,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$, a jego promień to ok. 1190 km.

- Oblicz, jaką siłą Pluton działa na ciało o masie 1 kg położone na jego powierzchni.
- Czy siła grawitacji działająca na dane ciało jest większa na Plutonie czy na Ziemi? Ile razy?



Lekcja 15.

34. 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

35. Wokół planety krąży bez napędu po kołowej orbicie statek kosmiczny. Planeta przyciąga go siłą grawitacji o wartości 2000 N . Jaką wartość ma siła dośrodkowa, powodująca ruch statku po okręgu?

36. Wokół księżyca pewnej planety krąży sonda kosmiczna o masie 50 kg. Porusza się ona w odległości 2000 km od środka tego księżyca z prędkością $600 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

a) Jaka siła pełni tu funkcję siły dośrodkowej, sprawiającej, że sonda krąży wokół księżyca, zamiast się od niego oddalać?

b) Czy na podstawie podanych informacji można obliczyć wartość tej siły? Jeśli tak – wykonaj takie obliczenia, jeśli nie – wyjaśnij, jakich danych brakuje.

37. Gwiazda ma masę $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, a planeta o masie $5 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ obiega ją w odległości 100 mln km (10^{11} m).

Oblicz wartość siły grawitacji, jaką gwiazda przyciąga planetę, oraz wartość siły grawitacji, jaką planeta przyciąga gwiazdę.

38. 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 $5 \cdot 10^8 \text{ N}$ na każdy 1 m^2 przekroju poprzecznego. Pomiń ciężar własny liny.

c) Oblicz średnicę tej liny przy założeniu, że ma ona przekrój kołowy. Porównaj ją z wielkościami znanymi z geografii.

39. Zanim Izaak Newton odkrył prawo grawitacji, wiedział już, że wszystkie ciała spadają na Ziemię z jednakowym przyspieszeniem, i za pomocą odpowiednich obliczeń sprawdził, czy Księżyc „spada” tak samo. Okazało się, że Księżyc „spada” w ciągu 1 s tylko o $\frac{5}{3600} \text{ m}$, 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 pod uwagę?

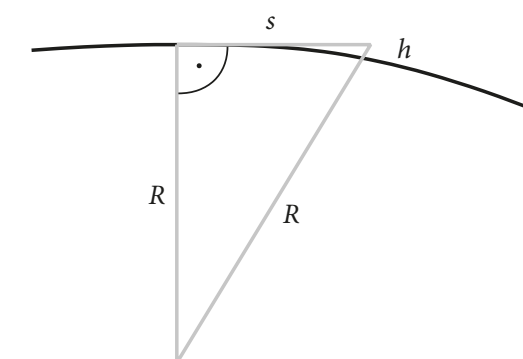
Newton nie używał naszych jednostek miar, ale podajemy je tutaj dla uproszczenia.

40. Gdyby pocisk wystrzelony poziomo nie zakrzywiał swojego toru z powodu siły grawitacji, poruszałby się po linii prostej, stycznej do powierzchni Ziemi, a więc oddalałby się od środka planety (patrz rys.). Przyjmijmy, że taki pocisk porusza się z pierwszą prędkością kosmiczną równą $8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, a więc w czasie 1 s przebywa drogę $s = 8 \text{ km}$.

a) Oblicz, na jakiej wysokości h pocisk znalazłby się po sekundzie od wystrzelenia (patrz rys.).

b) Oblicz, jaką drogę przebywa w czasie 1 s ciało upuszczone na Ziemi.

c) Co zauważasz?




Temat dodatkowy. Amatorskie obserwacje astronomiczne

41. Na rysunku poniżej przedstawiono Ziemię (Z) i trzy gwiazdy (oznaczone cyframi). Wszystkie cztery obiekty leżą w jednej płaszczyźnie.

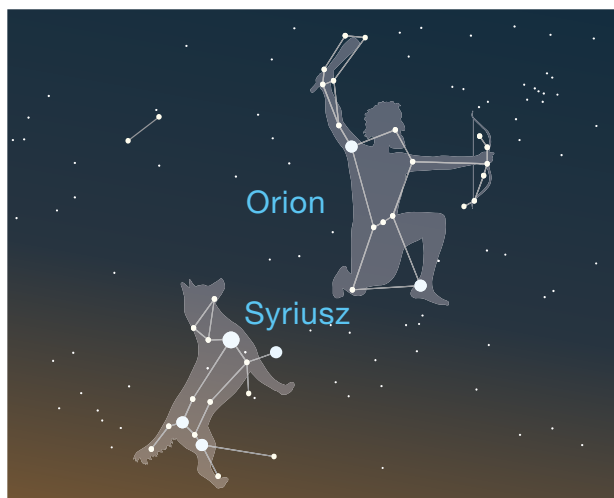
a) Które z tych gwiazd naprawdę znajdują się najbliżej siebie, a które najdalej?

b) Które z nich z perspektywy Ziemi widzimy na niebie jako najbliższe sobie, a które jako najdalsze?



42. W zimie na nocnym niebie dobrze widoczny jest gwiazdozbiór Oriona, nazwany tak przez starożytnych ze względu na skojarzenie jego kształtu z mitologicznym myśliwym. Najłatwiej rozpoznać układające się w jednej linii trzy jasne gwiazdy, tworzące pas myśliwego. Obok Oriona znajduje się gwiazdozbiór Wielkiego Psa (który wyobraża psa myśliwskiego idącego za swoim panem). Do Wielkiego Psa należy Syriusz, najjaśniejsza gwiazda (po Słońcu) na polskim niebie.

Sprawdź na mapie nieba, kiedy możesz zaobserwować te gwiazdozbiory, i znajdź je na nocnym niebie.



43. Planeta Wenus czasami jest widoczna krótko po zachodzie Słońca, a czasami przed wschodem Słońca. W dawnych czasach, gdy nie wiadano jeszcze, że chodzi o to samo ciało niebieskie, nazywano ją Gwiazdą Poranną lub Gwiazdą Wieczorną. Sprawdź na mapie nieba, o jakiej porze można obserwować Wenus w dniu, w którym rozwiążesz to zadanie.

Lekcja 16.

44. Satelita krąży wokół Ziemi na wysokości 3600 km (czyli w odległości 10 000 km od środka Ziemi). Oblicz prędkość satelity oraz okres jego obiegu wokół Ziemi.

45. Statek kosmiczny krąży wokół Księżyca na wysokości 100 km nad jego powierzchnią. Oblicz prędkość i czas obiegu statku.

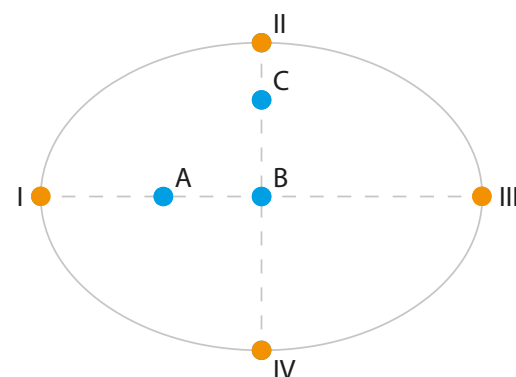
46. Satelita krąży wokół pewnej planety w odległości 2000 km od jej środka. Prędkość satelity wynosi $8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Oblicz masę tej planety.

47. Na niskiej orbicie odległość satelity od środka Ziemi jest zbliżona do długości promienia planety (6400 km). Na takiej orbicie satelita porusza się z prędkością ok. $7,9 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, zwaną pierwszą prędkością kosmiczną, a jeden jego obieg wokół Ziemi trwa ok. 85 min.

a) Przy jakiej odległości od środka Ziemi satelita poruszałby się z prędkością $3,95 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ (połowa pierwszej prędkości kosmicznej)?

b) Ile trwałby jeden obieg satelity wokół Ziemi po orbicie obliczonej w podpunkcie a)?

48. 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.

49. Zapoznaj się z infografiką na s. 134–135. Oblicz pierwsze prędkości kosmiczne dla Merkurego i dla Saturna.

Lekcja 17.

50. Wyobraź sobie, że znajdujesz się w zamkniętej, nieprzeszkłonej kabinie windy. Nagle czujesz 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?

51. 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 $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Rozważ dwa przypadki:

a) gdy winda hamuje, jadąc w górę,

b) gdy winda hamuje, jadąc w dół.

52. 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.

48 kg • 60 kg • 48 N • 60 N • 480 N • 600 N

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 jego masa, gdy winda ruszała?

53. Ania stała na wadze w windzie. Gdy winda ruszała, waga wskazywała 55 kg, gdy kabina jechała ze stałą prędkością – wyświetlacz pokazywał tylko 50 kg, a gdy hamowała – zaledwie 44 kg.

a) Czy Ania jechała w górę czy w dół?

b) Oblicz przyspieszenie windy podczas przyspieszania i podczas hamowania.

54. Astronauta o masie 72 kg pozostaje wewnątrz satelity krążącego bez napędu na wysokości 6400 km nad powierzchnią Ziemi.

a) Jaką siłą Ziemia przyciąga astronautę?

b) Czy tę siłę astronauta może zmierzyć za pomocą siłomierza lub wagi sprężynowej?

55. Wyobraź sobie, że stoisz w windzie, która rusza w dół z przyspieszeniem $20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

a) Ile wynosiłby odczuwany przez ciebie ciężar?

b) Ile wynosiłby twój prawdziwy ciężar, czyli siła, jaką przyciąga cię Ziemia?

c) Opisz, jak zmieniałby się odczuwany przez ciebie ciężar, gdyby przyspieszenie windy poruszającej się w dół zwiększało się od 0 do $20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Lekcja 18.

56. Czy widok połowy tarczy Księżyca na niebie pozwala ustalić, czy znajduje się on w pierwszej czy w ostatniej kwadrze? W jaki sposób?

57. Ile tygodni upływa:

a) między pierwszą kwadrą a pełnią,

b) między ostatnią kwadrą a pełnią?

58. Pewnej nocy Księżyc widziany z Polski wyglądał tak jak na rysunku A. Który z rysun-

ków przedstawia jego wygląd za tydzień, a który – po kolejnym tygodniu?



59. W pewnej chwili na całej niewidocznej z Ziemi stronie Księżyca panuje dzień (czyli widać Słońce). Jaką fazę Księżyca obserwujemy wtedy z Ziemi?

60. Każdy z rysunków miał przedstawiać Księżyc na tle rozgwieżdżonego nieba, ale na jednym z nich popełniono błąd. Na którym? Jaki to błąd?



61. Oblicz, ile razy średnica Słońca jest większa od średnicy Księżyca oraz ile razy odległość Ziemi od Słońca jest większa niż odległość Ziemi od Księżyca.

Porównaj wyniki swoich obliczeń.

62. Czy Ziemia, Słońce i Księżyc mogą się ułożyć w jednej linii w podanej poniżej kolejności? Jeśli tak – jakie zjawisko wtedy następuje? Jeśli nie – dlaczego?

- Słońce, Księżyc, Ziemia
- Ziemia, Słońce, Księżyc
- Księżyc, Ziemia, Słońce

Lekcja 19.

63. 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.

64. Porównaj gęstości wszystkich planet Układu Słonecznego (patrz tabela 1. na s. 246). Co zauważasz? Wyjaśnij swoje spostrzeżenia na podstawie wiadomości z lekcji.

65. 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.

66. Chcemy wykonać model Układu Słonecznego w skali 1 cm – 5000 km, w którym zamiast ciał niebieskich użyjemy owoców. Merkurego będzie symbolizować winogrono o średnicy ok. 1 cm.

a) Jaki owoc może symbolizować Ziemię, a jaki – Jowisza?

b) Jaką wielkość miałoby w tym modelu Słońce? Czy arbuz byłby dobrym jego modelem?

c) Jak daleko od Słońca w tym modelu znalazłaby się Ziemia?

Temat dodatkowy. Prawa Keplera

67. 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?

68. Planeta ma masę $2 \cdot 10^{24}$ kg. Z jaką prędkością porusza się satelita obiegający tę planetę w odległości 5000 km od jej środka?

69. Mars ma dwa księżyce. Pierwszy – Deimos 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 Czerwoną Planetę w czasie 7 h 40 min.

Dział 3. Praca, moc, energia

Lekcja 20.

1. Samochód poruszał się pod wpływem siły o wartości 8400 N po drodze 15 m. Jaką pracę wykonał silnik tego samochodu?

2. Podczas jazdy na rowerze Weronika pokonywała siłę oporów ruchu o wartości 30 N. Oblicz pracę, jaką wykonała dziewczyna, jeśli przebyła drogę 30 km.

3. Ania ciągnęła sanki siłą 40 N i wykonała pracę 20 000 J. Jaką drogę przebyła? Przyjmij, że ciągnęła sznurek poziomo.

4. Lokomotywa manewrowa przepchnęła wagon o 200 m po płaskim torze i wykonała przy tym pracę 60 000 J. Oblicz siłę, jaką pchała wagon.



5. Czy w opisanym przypadku Tymek wykonuje pracę dodatnią, ujemną czy równą zero?

- Tymek stoi i trzyma siatkę ziemniaków.
- Tymek idzie po poziomej drodze i niesie siatkę ziemniaków.
- Tymek wnosi ziemniaki po schodach z parteru na trzecie piętro.
- Tymek znosi ziemniaki po schodach do piwnicy.

6. Kometę krąży wokół Słońca po orbicie w kształcie elipsy. Jaką pracę – dodatnią, ujemną czy równą zero – wykonuje siła grawitacji, gdy:

- kometę oddala się od Słońca,
- kometę zbliża się do Słońca.

7. Przepisz zdania do zeszytu. Z każdej propozycji wybierz takie jedno wyrażenie, aby zdanie było prawdziwe.

a) Podrzucaamy jabłko do góry. Wtedy, gdy działamy na nie siłą, *wykonujemy pracę / jabłko wykonuje pracę.*

b) Na skutek tego my *zyskujemy energię / tracimy energię*, a jabłko *zyskuje / traci* energię.

c) Gdy jabłko leci dalej w górę, zwiększa się jego energia *kinetyczna / potencjalna*, a zmniejsza energia *kinetyczna / potencjalna*.

d) Kiedy spada – zwiększa się jego energia *kinetyczna / potencjalna*, a zmniejsza energia *kinetyczna / potencjalna*.

8. Kafar to urządzenie do wbijania pali w ziemię. Jego głównym elementem jest ciało o dużym ciężarze, które zostaje podniesione, a następnie spada i uderza w pal z dużą siłą.

Podczas podnoszenia pewnego kafara wykonano pracę 1200 J. Odpowiedz na pytania. Pomiń straty energii.

a) Jaką energię zużyto, aby podnieść kafar?

b) Jaką energię potencjalną uzyskał kafar?

c) Jaką energię kinetyczną będzie miał kafar tuż przed uderzeniem we wbijany pal?

d) Jaką pracę może wykonać kafar podczas wbijania pala?

9. Opisz przemianę energii zachodzącą w podanym urządzeniu.

Przykład: Prądnica przekształca energię elektryczną w kinetyczną.

a) silnik elektryczny

b) silnik spalinowy

c) grzejnik elektryczny



Lekcja 21.

10. Jaką pracę wykonamy, aby włożyć walizkę o masie 15 kg na półkę w pociągu znajdującą się na wysokości 150 cm?

11. Stary zegar z kukułką jest napędzany ciężarkiem o masie 1,5 kg, który można podciągnąć na wysokość 120 cm.



- a) Jaka energia jest zmagazynowana w takim podniesionym ciężarku?
- b) Porównaj ją z typową energią zmagazynowaną w baterii AA, wynoszącą 13 000 J.
12. Dolna stacja kolejki na Szyndzielnię znajduje się na wysokości 510 m n.p.m., a jej górna stacja – na wysokości 959 m n.p.m. Kolejka wjechał turysta o masie 70 kg. Oblicz energię potencjalną turysty na wysokości dolnej stacji kolejki, na wysokości jej górnej stacji oraz różnicę tych energii. Za poziom odniesienia przyjmij:
- a) poziom dolnej stacji kolejki,
- b) poziom morza.



13. Aby podnieść Anię o 50 cm, jej kolega wykonał pracę 250 J. Oblicz masę Ani.
14. Pies o masie 20 kg biegnie z prędkością $10 \frac{m}{s}$. Ile wynosi jego energia kinetyczna?



15. 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 $10 \frac{km}{h}$?

16. Żółw biegł z prędkością $20 \frac{cm}{s}$, co odpowiada energii kinetycznej 0,02 J. Oblicz masę tego żółwia.

17. Do jakiej prędkości możemy rozpędzić piłeczkę pingpongową o masie 2,7 g, a do jakiej – piłkę do piłki ręcznej o masie 400 g, jeśli w obu przypadkach wykonamy pracę 100 J?

18. Oblicz energię mechaniczną łosia o masie 500 kg, który wbiegł na wzniesienie o wysokości 30 m i dalej porusza się po nim z prędkością $36 \frac{km}{h}$.

Lekcja 22.

19. Na jaką wysokość wzniesie się piłka kopnięta pionowo w górę z prędkością $20 \frac{m}{s}$?

20. Gdy Wojtek wyszedł przed dom, przypomniał sobie, że nie wziął kluczy. Zadzwoił więc domofonem i poprosił siostrę, aby zrzuciła je przez okno z trzeciego piętra, czyli z wysokości 11 m. Z jaką prędkością klucze uderzą w ziemię?

21. Z jakiej wysokości należy zrzucić piłeczkę, aby uderzyła w ziemię z prędkością $36 \frac{km}{h}$?

22. Pocisk o masie 2 g wystrzelono z prędkością $30 \frac{m}{s}$ pionowo w górę. Jaką będzie miał prędkość na wysokości 10 m?

23. Wagonik kolejki górskiej wesołym miasteczku jest wciągany na pierwsze wzniesienie toru, a dalej jedzie już bez napędu na przemian w górę i w dół. Oceń prawdziwość zdań:

- I. Każde kolejne wzniesienie musi być niższe od poprzedniego.
- II. Ostatnie wzniesienie musi być najniższe.
- III. Każde wzniesienie musi być niższe od pierwszego.

24. Równia pochyła ma wysokość 50 cm i długość 2 m. Zsuwa się z niej klocek o masie 0,5 kg. Oblicz, do jakiej prędkości rozpędzi się klocek, jeśli:

a) zsuwa się bez tarcia,

b) działa na niego siła tarcia o wartości 1 N.

- ★25. Wyprowadź wzór opisujący, z jaką prędkością v uderzy w ziemię ciało spadające z wysokości h . Narysuj wykres zależności v od h . Możesz posłużyć się komputerem.

Lekcja 23.

26. Silnik elektryczny wykonał pracę 60 000 J w ciągu 20 s. Oblicz moc tego silnika.

27. Prądnica ma moc 800 W. Oblicz, jaką energię elektryczną może dostarczyć w czasie jednej godziny.

28. Czajnik elektryczny ma moc 2000 W. Aby zagotować litr wody, musi jej dostarczyć 350 000 J energii. Jak długo to trwa?

29. Wyciągarka wciągnęła wiadro wody o masie 12 kg na wysokość 6 m. Trwało to 24 s. Oblicz moc silnika wyciągarki. Pomiń opory ruchu.

30. Lew o masie 180 kg rozpędza się do prędkości $80 \frac{km}{h}$ w ciągu 5 s. Oblicz moc lwa. Ile koni mechanicznych powinien mieć silnik, który miałby moc taką samą jak rozpędzające się zwierzę?

31. Pierwszy przedwojenny polski samochód CWS T-1 miał silnik o mocy 61 KM. Ile to kilowatów?



32. Odczytaj z dowodu rejestracyjnego przedstawionego na zdjęciu moc samochodu w kilowatach. Przelicz ją na konie mechaniczne.

F.1	1897 kg	F.2	1897 kg	F.3	3297 kg
G	1252 kg	J	M1		
K	e11*2007/46*0243*16				
L	2	O.1	1400 kg	O.2	650 kg
P.1	1598,00 cm ³	P.2	66,00 kW		
P.3	D	Q	---		

33. Elektrownia Kozienice ma moc 4 GW. Jeśli przyjmiemy, że jedno mieszkanie może pobierać maksymalnie moc 5750 W, to ile mieszkań mogłaby zasilać ta elektrownia?

Informacja do zadań 33. i 34.

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.

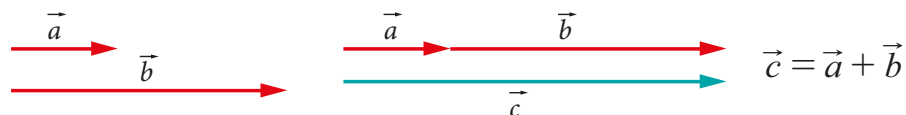
34. Oceń, jaką energię można zmagazynować w największym na świecie magazynie energii Bath County Pumped Storage Station w Stanach Zjednoczonych, jeśli górny zbiornik tej elektrowni mieści ok. 44 mln m³ wody, a różnica poziomów między zbiornikami wynosi 380 m.

35. Wyobraź sobie, że energia zmagazynowana w Bath County Pumped Storage Station może zostać wykorzystana do zasilania całej Polski w energię. Oceń, na jak długo mogłoby jej wystarczyć, jeśli średnie zapotrzebowanie Polski na moc to ok. 20 000 MW.



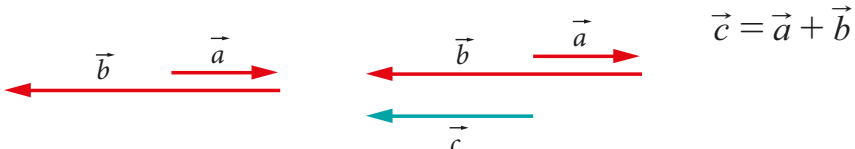
1 Dodawanie wektorów

- o tym samym kierunku i zgodnych zwrotach



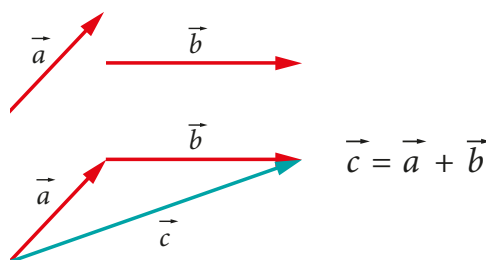
Dodawanie wektorów stosujemy przede wszystkim w dynamice, gdy dodajemy siły działające na dane ciało.

- o tym samym kierunku i przeciwnych zwrotach

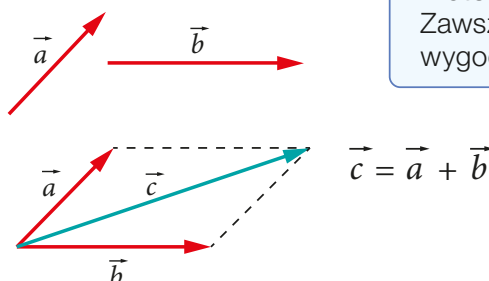


- o różnych kierunkach

metoda trójkąta



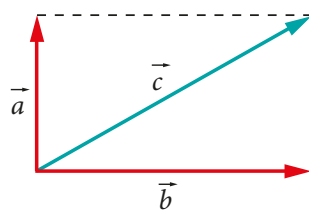
metoda równoległoboku



Dodawanie wektorów **metodą trójkąta** jest równoważne **metodzie równoległoboku**. Zawsze możesz wybrać wygodniejszą z nich.

2 Dodawanie dwóch wektorów prostopadłych do siebie

Szczególnym przypadkiem dodawania wektorów o różnych kierunkach jest dodawanie dwóch wektorów do siebie prostopadłych. Jeśli znamy długości obu wektorów, długość wypadkowego wektora możemy wyznaczyć z twierdzenia Pitagorasa (patrz rys.).

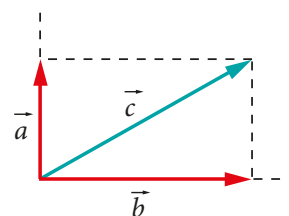


$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b} \quad c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

3 Rozkład wektora na składowe

Jeżeli dwa wektory można zastąpić jednym (dodawanie wektorów), to również jeden wektor można zastąpić dwoma. Taka operacja nosi nazwę **rozkładania wektora na składowe**.

Najczęściej rozkładamy wektor na **dwie składowe do siebie prostopadłe** (patrz rys.).



4 Działanie na potęgach

Dla $a, b \in R$ i dla liczb całkowitych n i k zachodzą równości:

$$a^n \cdot a^k = a^{n+k}$$

$$\frac{a^n}{a^k} = a^{n-k}, a \neq 0$$

$$(a^n)^k = a^{n \cdot k}$$

$$\frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n, b \neq 0$$

$$a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n$$

Przykład 1. Potęgi liczby dziesięć

$$10^3 = 1000 \quad 10^0 = 1 \quad 10^8 = \underbrace{100\,000\,000}_{8 \text{ zer}}$$

$$10^{-1} = 0,1 \quad 10^{-2} = 0,01 \quad 10^{-8} = 0,000\,000\,01$$

8. miejsce po przecinku

Przykład 2. Mnożenie potęg dziesiątki

$$10^4 \cdot 10^3 = 10^{4+3} = 10^7, \text{ bo } 10\,000 \cdot 1\,000 = 10\,000\,000$$

Ta sama zasada obowiązuje przy wykładnikach ujemnych:

$$10^4 \cdot 10^{-3} = 10^{4+(-3)} = 10^1$$

Przykład 3. Dzielenie potęg dziesiątki

$$10^5 : 10^3 = 10^{5-3} = 10^2, \text{ bo } 100\,000 : 1\,000 = 100$$

$$10^5 : 10^{-3} = 10^{5-(-3)} = 10^{5+3} = 10^8,$$

$$\text{bo } 100\,000 : \frac{1}{1\,000} = 100\,000 \cdot 1\,000 = 100\,000\,000$$

Przykład 4. Kwadrat potęgi dziesiątki

$$(10^3)^2 = 10^{3 \cdot 2} = 10^6, \text{ bo } (10^3)^2 = 10^3 \cdot 10^3 = 10^{3+3}$$

$$(10^{-3})^2 = 10^{-3 \cdot 2} = 10^{-6}, \text{ bo } \left(\frac{1}{10^3}\right)^2 = \frac{1}{(10^3)^2} = \frac{1}{10^6}$$

Jaki wykładnik – tyle zer.

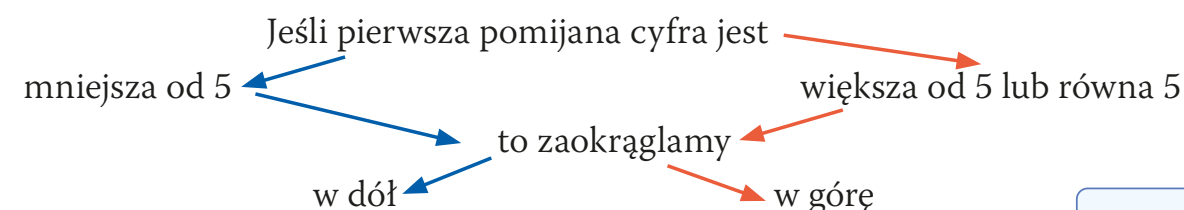
Jaki wykładnik – tyle miejsc po przecinku.

Dodajemy wykładniki (lub liczbę zer).

Dodajemy wykładniki (jeden z nich jest ujemny).

Mnożymy wykładniki.

5 Zaokrąglanie



Przykład 1. Zaokrąglanie do dziesiątek

$$2762 \approx 2760$$

pierwsza pomijana cyfra

$$2765 \approx 2770$$

Przykład 2. Zaokrąglanie do setek

$$3807 \approx 3800$$

pierwsza pomijana cyfra

$$3875 \approx 3900$$

Pierwszą pomijaną cyfrę i wszystkie następne zamieniamy na zera.



**Przykład 3. Zaokrąglanie do części setnych**

$$2,6\textcolor{red}{5}3217 \approx 2,65$$

$$2,6\textcolor{red}{5}728 \approx 2,66$$

Przykład 4. Zmiana kilku cyfr

Czasami przy zaokrąglaniu w górę trzeba zmienić więcej niż jedną cyfrę:

Zaokrąglanie do setek:

$$99\textcolor{red}{5}9 \approx 10\,000$$

(nie ma cyfry większej niż 9)

Zaokrąglanie do części tysięcznych:

$$0,51\textcolor{red}{9}5 \approx 0,52$$

(nie ma cyfry większej niż 9)

6 Notacja wykładnicza

Notacja wykładnicza liczby dodatniej to zapis w postaci: $a \cdot 10^k$, gdzie k jest liczbą całkowitą, natomiast liczba a spełnia warunek $1 \leq a < 10$.

Bardzo duże i bardzo małe liczby wygodnie jest zapisywać w notacji wykładniczej.

Przykład 1. Zamiana notacji wykładniczej na zwykły zapis liczby

$$5 \cdot 10^6 = 5 \cdot 1\,000\,000 = 5\,000\,000$$

$$2,3 \cdot 10^8 = 2,3 \cdot 100\,000\,000 = \textcolor{blue}{230\,000\,000}$$

$\textcolor{red}{8}$ cyfr

$$5 \cdot 10^{-9} = 5 \cdot 0,000\,000\,001 = 0,000\,000\,005$$

$$1,5 \cdot 10^{-6} = 1,5 \cdot 0,000\,001 = 0,000\,001\textcolor{red}{5}$$

$\textcolor{red}{6.}$ miejsce po przecinku

Za pierwszą cyfrą (dwójką) jest jeszcze 8 cyfr, ale nie wszystkie muszą być zerami.

Pierwsza niezerowa cyfra stoi na 6. miejscu po przecinku.

Przykład 2. Mnożenie, dzielenie i potęgowanie w notacji wykładniczej

Możemy osobno wykonać działania na potęgach o podstawie 10 i na pozostałych liczbach:

$$(2,1 \cdot 10^5) \cdot (3 \cdot 10^2) = \textcolor{blue}{6,3} \cdot \textcolor{red}{10^7}$$

$2,1 \cdot 3 = 6,3$ $10^5 \cdot 10^2 = 10^7$

$$\frac{2,7 \cdot 10^4}{3 \cdot 10^{-6}} = 0,9 \cdot 10^{4-(-6)} = 0,9 \cdot 10^{10}$$

$2,7 : 3 = 0,9$

Wynik trzeba doprowadzić do postaci, w której obok potęgi dziesiątki stoi liczba między 1 a 10:

$$0,9 \cdot 10^{10} = 9 \cdot 10^9, \text{ bo } 0,9 = 9 \cdot 0,1 = 9 \cdot 10^{-1} \text{ i } 9 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{10} = 9 \cdot 10^9$$

Podobnie obliczamy:

$$(1,2 \cdot 10^{-3})^2 = \textcolor{blue}{1,2}^2 \cdot (\textcolor{green}{10^{-3}})^2 = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3 \cdot 2} = \textcolor{blue}{1,44} \cdot 10^{-6}$$

$$(4 \cdot 10^{-3})^2 = 16 \cdot 10^{-6} = \textcolor{blue}{1,6} \cdot 10^{-5}$$

$$16 = 1,6 \cdot 10 = 1,6 \cdot 10^1 \text{ i } 1,6 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6} = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

Dodajemy wykładniki dziesiątki.

Odejmujemy wykładniki dziesiątki.

Przykład 3. Dodawanie w notacji wykładniczej

Zanim wykonamy te działania, musimy przekształcić liczby tak, aby miały ten sam wykładnik.

$$1,2 \cdot 10^5 + \textcolor{blue}{2,3 \cdot 10^6} = 1,2 \cdot 10^5 + 23 \cdot 10^5 = \textcolor{blue}{24,2} \cdot 10^5 = 2,42 \cdot 10^6$$

$2,3 \cdot 10^6 = 2,3 \cdot 10 \cdot 10^5$ $1,2 + 23$

7 Jednostki i przedrostki**Przykład 1. Zamiana przedrostka na notację wykładniczą**

Aby przeliczyć 200 nm na metry, sprawdzamy w tablicach, jakiej części metra jest równy jeden nanometr: $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

Wobec tego:

$$200 \text{ nm} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2 \cdot \textcolor{blue}{10^2} \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$200 = 2 \cdot 100 = 2 \cdot 10^2$ $10^2 \cdot 10^{-9} = 10^{2+(-9)} = 10^{-7}$

Przykład 2. Zamiana notacji wykładniczej na przedrostek

Aby wyrazić $2,14 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$ w terahercach (THz), najpierw sprawdzamy w tablicach, ilu hercom jest równy 1 teraherc: $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$.

Trzeba więc zapisać liczbę $2,14 \cdot 10^{11}$ tak, aby występowało w niej 10^{12} :

$$2,14 \cdot 10^{11} = 0,214 \cdot 10 \cdot 10^{11} = 0,214 \cdot 10^{12}$$

iloczyn 11 dziesiątek, więc brakuje nam jednej do 10^{12} tę potęgę musimy pomnożyć przez 10, więc liczbę 2,14 dzielimy przez 10
Zatem $2,14 \cdot 10^{11} \text{ Hz} = 0,214 \text{ THz}$. $2,14 = 0,214 \cdot 10$

8 Cyfry znaczące

Wynik pomiaru odległości zapisano na kilka sposobów:

$$0,\textcolor{blue}{023} \text{ km} = \textcolor{blue}{23} \text{ m} = 2300 \text{ cm} = 23\,000 \text{ mm}$$

Cyfry zaznaczone na niebiesko to **cyfry znaczące**. Występują one w każdym z powyższych zapisów, niezależnie od wybranego przedrostka. Są to więc **wszystkie cyfry z wyjątkiem zer na końcu i na początku liczby**.

Zauważ, że kiedy tę samą równość zapiszemy w notacji wykładniczej, dwójka i trójka pojawiają się jako **jedyne** cyfry przed potęgą dziesiątki:

$$2,3 \cdot 10^{-3} \text{ km} = 2,3 \cdot 10^1 \text{ m} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ cm} = 2,3 \cdot 10^4 \text{ mm}$$

Jeśli nie pamiętasz, jak zapisywać w notacji wykładniczej – patrz → **Dodatek matematyczny 6**, s. 240.

**Przykład. Zaokrąglanie do dwóch cyfr znaczących**

Zaokrąglaj poniższe liczby do dwóch cyfr znaczących.

- a) 0,8715234 b) 6792,13 c) 0,005523

W każdym przypadku zapisujemy potrzebne zera i przecinki, a w miejscach, gdzie pojawia się dwie cyfry znaczące, o których była mowa w poleceniu, zostawiamy kreseczki:

- a) 0, _ _ b) _ _ 00 c) 0,00 _ _

Teraz widzimy, z jaką dokładnością trzeba zaokrąglić daną liczbę:

- a) do części setnych b) do setek c) do czterech miejsc po przecinku

Zaokrąglamy i wpisujemy odpowiednie cyfry nad kreseczkami:

- a) 0,87 b) 6800 c) 0,0055

Jeśli nie pamiętasz, w jaki sposób zaokrąglamy liczby – patrz → **Dodatek matematyczny 5**, s. 239.**9 Przekształcanie najprostszych wzorów**

Wiele wzorów fizycznych ma postać:

$$A = B \cdot C \quad \text{albo} \quad A = \frac{B}{C}$$

Można je przekształcać tak samo jak przy rozwiązywaniu równań, np. mnożyć i dzielić obie strony przez wielkości różne od zera.

Przykład 1. Przekształcanie wzoru w postaci $A = B \cdot C$ Wyznacz F ze wzoru $W = F \cdot s$.

$$W = F \cdot s \quad | : s \quad \text{dzielimy obie strony przez } s$$

$$\frac{W}{s} = F \quad \text{szukaną wielkość chcemy mieć po lewej stronie}$$

Zamieniamy stronami i otrzymujemy:

$$F = \frac{W}{s}$$

Przykład 2. Przekształcanie wzoru w postaci $A = \frac{B}{C}$ Wyznacz t ze wzoru $v = \frac{s}{t}$.

$$v = \frac{s}{t} \quad | \cdot t$$

$$vt = s \quad | : v$$

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

Wyznaczana wielkość musi być w liczniku, więc zabieramy ją z mianownika, dlatego mnożymy obie strony przez t .

Wzór ma postać wzoru z przykładu 1.

Przykład 3. Sprytne przekształcanie wzorów

Prostym sposobem na przekształcanie wzorów jest wyobrażenie sobie konkretnych niewielkich liczb, które spełniają równanie:

wyznaczamy F

$$W = F \cdot s$$

$$10 = 5 \cdot 2$$

$$5 = \frac{10}{2}$$

$$F = \frac{W}{s}$$

wyznaczamy t

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

$$2 = \frac{6}{3}$$

$$3 = \frac{6}{2}$$

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

Ogólnie możemy zapisać:

10 Przekształcanie wzorów – przypadek ogólny

Bardziej skomplikowane wzory przekształcamy tak samo jak równania matematyczne.

Przykład. Przekształcanie wzoruWyznacz v z zależności $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$.

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \quad | \cdot 2$$

$$mv^2 = 2mgh \quad | : m$$

$$v^2 = 2gh$$

Wielkości są nieujemne, więc możemy wyciągnąć pierwiastek z obu stron:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Nie trzeba każdego przekształcenia zapisywać osobno. W naszym przykładzie można zapisać $| \cdot \frac{2}{m}$ Wielkość g to przyspieszenie ziemskie, a h to wysokość, więc obie są nieujemne.**11 Proporcjonalność prosta**Dwie wielkości są wprost proporcjonalne, jeśli **ze wzrostem jednej z nich druga rośnie tyle samo razy**.Wykresem proporcjonalności prostej jest **linia prosta** przechodząca przez początek układu współrzędnych.**Przykład. Proporcjonalność prosta**

Jeśli 1 kg sera kosztuje 30 zł, to 2 kg kosztują 60 zł, 3 kg kosztują 90 zł itd. Ile razy większa jest masa sera, tyle razy większa jest jego cena. Mówimy, że cena sera jest wprost proporcjonalna do jego masy.

Uwaga. Nie każda zależność rosnąca to proporcjonalność prosta. Np. im dłuższy bok kwadratu, tym większe jego pole, ale jeśli bok kwadratu wydłużymy 3 razy, to jego pole wzrośnie 9 razy.



12 Proporcjonalność odwrotna

Dwie wielkości są odwrotnie proporcjonalne, jeśli **ze wzrostem jednej z nich druga maleje tyle samo razy**.

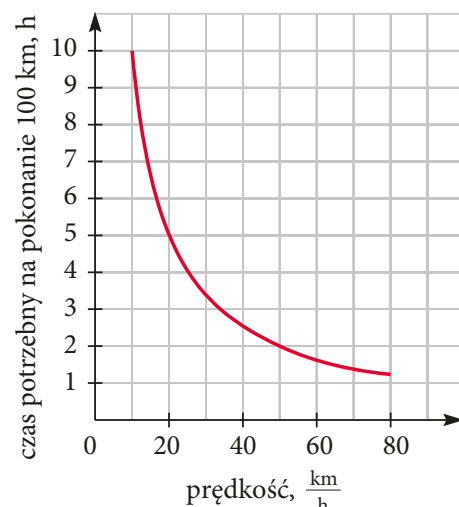
Wykresem proporcjonalności odwrotnej jest linia krzywa zwana hiperbolą.

Przykład. Proporcjonalność odwrotna

Dzielimy dwukilogramowy tort po równo między kilka osób. Ile razy więcej osób, tyle razy mniej dostanie każda z nich. Mówimy, że masa porcji tortu przypadającej na osobę jest odwrotnie proporcjonalna do liczby osób.

Przykład bardziej związany z fizyką to czas potrzebny na przebycie pewnej drogi, np. 100 km, w zależności od prędkości. Ile razy większa jest prędkość, tyle razy krótszy jest czas jazdy.

Uwaga. Nie każda zależność malejąca to proporcjonalność odwrotna. Na przykład im większa odległość planety od Słońca, tym mniejsza siła przyciągania między nimi, ale gdy odległość zwiększy się 3 razy, to siła zmniejszy się aż 9 razy.



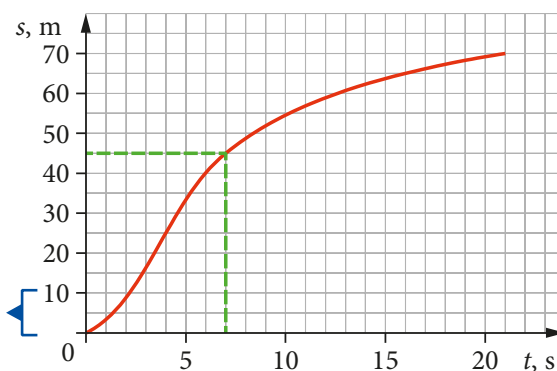
13 Wykresy w układzie współrzędnych

Na rysunku przedstawiono wykres zależności 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

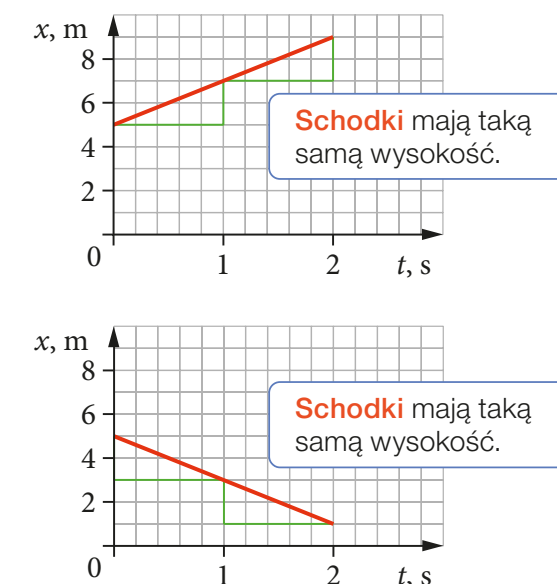
Po odczytaniu danych z wykresu możemy obliczyć, że średnia prędkość rowerzysty w pierwszych siedmiu sekundach jazdy wynosiła $\frac{45 \text{ m}}{7 \text{ s}} \approx 6,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 23 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

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

Popatrzmy na 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**.



15 Zamiana jednostek prędkości

Jednostka prędkości ma postać „jednostka długości przez jednostkę czasu”. Dlatego aby zamienić jednostkę prędkości, możemy potrzebować zamienić zarówno jednostkę długości, jak i jednostkę czasu. Najczęściej zamieniamy $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ na $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ lub odwrotnie.

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m, więc } 1 \text{ m} = \frac{1}{1000} \text{ km}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s, więc } 1 \text{ s} = \frac{1}{3600} \text{ h}$$

Przykład 1. Prędkość pociągu wynosi $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ile to kilometrów na godzinę?

Sposób 1. Prędkość $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ oznacza, że pociąg przebywa 20 m w czasie 1 s. W takim razie w czasie 1 h przebywa 3600 razy dłuższą drogę, czyli: $3600 \cdot 20 \text{ m} = 72\,000 \text{ m} = 72 \text{ km}$.

A więc: $20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Sposób 2. Obliczenia z bezpośrednim wykorzystaniem przeliczników jednostek:

$$20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \cdot \frac{\frac{1}{1000} \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = 20 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{3600}{1} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Przykład 2. Prędkość samochodu wynosi $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Ile to metrów na sekundę?

Sposób 1. W ciągu 1 h samochód przebywa 90 km. W ciągu 1 s przebywa 3600 razy krótszą drogę, czyli:

$$\frac{90 \text{ km}}{3600} = \frac{90\,000 \text{ m}}{3600} = 25 \text{ m}$$

A więc: $90 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Sposób 2. Obliczenia z bezpośrednim wykorzystaniem przeliczników jednostek:

$$90 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{90 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{90 \cdot 1\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{90}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

TABELA 1. Układ Słoneczny

Nazwa	Masa, · 10 ²⁴ kg	Średnica, km	Średnia odległość od Słońca, mln km	Okres obiegu wo- kół Słońca, dni	Okres ob- rotu wokół własnej osi, godziny	Średnia gęstość, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
GWIAZDA						
Słońce	1 900 000	1 390 000			609	1410
PLANETY						
Merkury	0,33	4880	57,9	88,0	1410	5430
Wenus	4,87	12 100	108	225	5830	5340
Ziemia	5,97	12 800	150	365	23,9	5520
Mars	0,642	6790	228	687,0	24,6	3930
Jowisz	1900	143 000	779	4330	9,9	1330
Saturn	569	121 000	143 0	10 800	10,7	687
Uran	86,8	51 100	2870	30 700	17,2	1270
Neptun	102	50 000	4500	60 200	16,1	1640
PLANETY KARŁOWATE						
Ceres	0,000946	960	414,0	1680	9,08	2160
Pluton	0,0130	2380	5910	90 500	153	1750
Eris	0,0166	2330	10 100	204 000	25,9	2520

Uwaga. Wszystkie wielkości podano z dokładnością do trzech cyfr.

TABELA 2. Wybrane księżyce planet i planet karłowatych

Planeta lub planeta karło- wata	Nazwa księżyca	Masa, · 10 ²¹ kg	Śred- nica, km	Średnia odległość od planety, tys. km	Okres obiegu wokół pla- nety, dni	Okres obrotu wokół własnej osi, dni	Średnia gęstość, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Ziemia	Księżyc	73,5	3480	384	27,3	27,3	3350
Mars	Dejmos	0,0000024	15	23,5	1,26	1,26	1750
	Fobos	0,0000106	26,8	9,38	0,32	0,32	1900
Jowisz	Io	89,3	3640	422	1,77	1,77	3530
	Europa	48,0	3120	671	3,55	3,55	3010
	Ganimedes	148	5260	1070	7,15	7,15	1940
	Kallisto	108	4820	1880	16,7	16,7	1830
Saturn	Tytan	135	5150	1220	15,9	15,9	1880
Uran	Tytania	3,52	1600	436	8,7	8,7	1710
Neptun	Tryton	21,4	2710	355	5,88	5,88	2050
Pluton	Charon	1,59	1210	19,6	6,39	6,39	1700
Eris	Dysnomia	0,082	615	37	15,7	15,7	670

Uwaga. Kolorem niebieskim oznaczono wybrane księżyce planet karłowatych.

TABELA 3. Wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Przedrostek		Przelicznik	Przedrostek		Przelicznik
T	tera	1 000 000 000 000 = 10 ¹²	c	centy	$\frac{1}{100} = 10^{-2}$
G	giga	1 000 000 000 = 10 ⁹	m	mili	$\frac{1}{1\,000} = 10^{-3}$
M	mega	1 000 000 = 10 ⁶	μ	mikro	$\frac{1}{1\,000\,000} = 10^{-6}$
k	kilo	1 000 = 10 ³	n	nano	$\frac{1}{1\,000\,000\,000} = 10^{-9}$
h	hekto	100 = 10 ²	p	piko	$\frac{1}{1\,000\,000\,000\,000} = 10^{-12}$
da	deka	10 = 10 ¹			
d	decy	$\frac{1}{10} = 10^{-1}$			

TABELA 4 . Wybrane wzory występujące w podręczniku

Ruch jednostajnie zmienny	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_k - v_p}{\Delta t}$	a – przyspieszenie, Δv – zmiana prędkości, v_k – prędkość końcowa, v_p – prędkość początkowa, s – droga, t – czas
	$s = \frac{v_p + v_k}{2} \cdot t$	
Druga zasada dynamiki	$a = \frac{F}{m}$	a – przyspieszenie, F – siła wypadkowa, m – masa ciała
Ruch po okręgu	$f = \frac{1}{T}$ lub $T = \frac{1}{f}$	f – częstotliwość, T – okres
	$F_d = \frac{mv^2}{r}$	F_d – siła dośrodkowa, m – masa ciała, v – prędkość ciała, r – promień okręgu
Grawitacja	$F_g = mg$	F_g – siła ciężkości, m – masa ciała, g – przyspieszenie ziemskie
	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	F – siła grawitacji, G – stała grawitacji, m_1, m_2 – masy ciał, r – odległość między ciałami
	$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$	v – prędkość satelity, G – stała grawitacji, M – masa Ziemi, R – odległość satelity od środka Ziemi
	$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$	a – wielka półoś orbity planety, T – okres jej obiegu wokół Słońca, G – stała grawitacji, M – masa Słońca
Praca, energia, moc	$W = Fs$	W – praca, F – wartość działającej siły, s – droga przebyta pod wpływem tej siły
	$E_p = mgh$	E_p – energia potencjalna, m – masa ciała, g – przyspieszenie ziemskie, h – wysokość
	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	E_k – energia kinetyczna, m – masa ciała, v – prędkość ciała
	$P = \frac{W}{t}$	P – moc, W – praca, t – czas wykonywania pracy

Wartość stałej grawitacji $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} = 0,0000000000667 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$.

Indeks

A

Arystoteles 57
atomy 23

B

bezwładność 58, 68

C

Cavendish, Henry 118
ciężar 40, 114, 138
cząsteczki 39
częstotliwość 98

D

droga 5, 48, 65
— w ruchu jednostajnie zmiennym 66
Droga Mleczna 23
działo Newtona 122, 130
dżul 13, 15, 183, 190

E

Einstein, Albert 20, 167
energia 15, 184, 186, 208, 214, 247
— kinetyczna 16, 194, 202
— mechaniczna 185, 195, 197
— potencjalna grawitacji 16, 191
— potencjalna sprężystości 184, 186
— wewnętrzna 16, 184, 185, 198, 200, 202

F

fazy Księżyca 147
formy energii 16, 184, 200

G

galaktyka 23, 129
Galileusz (Galileo Galilei) 57, 158, 165
gazowe olbrzymy 154, 172
GPS 20, 130, 133, 134, 167, 179
grawitacja 112, 247
Gwiazda Polarna 126, 127, 129
gwiazdozbiory 126, 129

H

herc 98

J

jednostka astronomiczna 155
jednostki miar 29
Joule, James Prescott 183, 185

K

Kepler, Jan (Johannes) 162, 165, 168
kierunek 9, 13, 36, 37, 49, 50, 54, 69, 97, 101, 183
kilogram 29
kilowatogodzina 208
kometa 155, 162
koń mechaniczny 205
Kopernik, Mikołaj 158, 162, 163, 167, 168

Księżyc 18, 24, 112, 117, 121, 131, 134, 147, 178, 194, 246
księżyce 120, 136, 153, 159, 160, 165, 246
kwadra 147

L

lodowe olbrzymy 154, 172

M

mapa nieba 126, 128
metr 5, 29
Międzynarodowa Stacja Kosmiczna ISS 128, 131, 134, 177
moc 14, 203, 215, 247

N

Newton, Izaak 21, 57, 113, 122, 165, 166, 167, 168
niepewność pomiaru 30
nieważkość 106, 131, 143, 144, 145
niuton 9, 37
notacja wykładnicza 240
nów 148

O

obserwacje astronomiczne 125
oddziaływanie 9, 36
— grawitacyjne 112
okres 97, 156
odpływ 178–179
opory ruchu 72, 197
opór ośrodka 72, 75

P

Pauli, Wolfgang 199
pełnia 147, 150
planetoida 125, 136, 155, 160, 172
planety 153, 156
— karłowate 154, 155
— pozasłoneczne 155
pływy 178
praca 13, 15, 182, 247
prawa Keplera 161
prawo powszechnego ciążenia 113, 166
prędkość 6, 50
— chwilowa 7, 52
— średnia 7, 52
— satelity 105, 132, 134
proporcjonalność odwrotna 244
przeciążenie 138, 170
przemiany energii 197, 200
przemieszczenie 49
przyptywy 178
przyspieszenie 8, 11, 62, 64, 68, 69
— ziemskie 9, 114, 194

R

rok świetlny 21, 23

ruch jednostajnie zmienny 11, 60, 247
— jednostajny prostoliniowy 6, 54, 63
— jednostajny po okręgu 97, 247

S

satelita 120, 130
— geostacjonarny 132
sekunda 29
siła 9, 36
— bezwładności 79, 104, 140, 142
— ciężkości 9, 40
— dośrodkowa 101, 105, 107, 120, 130
— odśrodkowa 104
— grawitacji 105, 112, 120
— tarcia 10, 73
— wypadkowa 10, 42
siły równoważące się 11, 43
Słońce 22, 127, 150, 156
spadek swobodny 70

T

tarcie kinetyczne 73
— statyczne 73
tor ruchu 5, 48
Tracker 61, 84

U

układ
— inercjalny 81, 82, 104, 139, 140
— nieinercjalny 81, 82, 104, 140, 142
— odniesienia 5, 48, 81, 104
układ SI 29
Układ Słoneczny 23, 153, 156, 246

W

waga sprężynowa 40, 138
wartość odżywcza 214
wat 14, 204
Watt, James 204
wektor 9, 36, 37
Wenus 152, 153, 154, 156, 194, 246
Wolszczan, Aleksander 155
wzajemność oddziaływań 37
względność ruchu 5, 48

Z

zaćmienia 150, 151
zaokrąglanie liczb 30, 239
zasada dynamiki
— — druga 11, 67, 247
— — pierwsza 11, 54
— — trzecia 13, 36
— zachowania energii 16, 197
zwrot wektora 9, 36, 37, 43, 50, 64, 69, 81
życie pozaziemskie 159

Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań

Przypomnij sobie

Zadanie 2. $v = \frac{s}{t} = 75 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Zadanie 3. $t = \frac{s}{v} = 0,0125 \text{ h} = 45 \text{ s}$

Zadanie 4. a) $s = 600 \text{ m}$, b) $t = 20 \text{ s}$

Zadanie 5. $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Zadanie 6. $v \approx 30,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Zadanie 7. na Ziemi: $v_Z = gt = 80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$;
na Księżycu: $v_K \approx 13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Zadanie 8. $m = \frac{F\Delta t}{\Delta v} = 40 \text{ kg}$

Zadanie 9. $W = Fs = 400\,000 \text{ J} = 400 \text{ kJ}$

Zadanie 10. $P = \frac{E}{t} = 10 \text{ W}$

Zadanie 11. $t = \frac{W}{P} = 50 \text{ s}$

Zadanie 12. a) $E_p = mgh = 75 \text{ J}$,
b) $W = E_p = 75 \text{ J}$

Zadanie 13. a) $\Delta E_p = mg(h_2 - h_1) = 8 \text{ J}$

Zadanie 14. $W = E_k = \frac{mv^2}{2} = 1025 \text{ J}$

Wprowadzenie

1. Czym zajmuje się fizyka

Zadanie 2. $d = 100 \text{ m}$ – długość boiska
do piłki nożnej

Zadanie 3. $d = 10^{14} \text{ mm} = 100 \text{ mln km}$, czyli
około $\frac{2}{3}$ odległości Ziemi od Słońca

2. Doświadczenia i pomiary

Zadanie 1. a) 0,01 s, b) 10^8 V , c) $2 \cdot 10^{10} \text{ J}$

Zadanie 4. $t = (10,9 \pm 0,5) \text{ s}$

Zadanie 5. a) $t_{\text{sr}} = 184 \text{ s}$, b) $\Delta t = \frac{6 \text{ s}}{\sqrt{7}} \approx 2 \text{ s}$

1. Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

3. Siły. Trzecia zasada dynamiki

Zadanie 3. a) $F_c = mg = 2000 \text{ N}$,

b) $F_c = mg = 40 \text{ N}$, c) $F_c = mg = 0,2 \text{ N}$

Zadanie 4. a) $m = \frac{F_c}{g} = 4,5 \text{ kg}$,

b) $m = \frac{F_c}{g} = 0,25 \text{ kg} = 250 \text{ g}$

4. Siła wypadkowa

Zadanie 2. **Wskazówka.** Zastanów się
najpierw, jaką wartość ma siła wypadkowa.

Zadanie 3. $F_w = 10 \text{ N}$

Zadanie 4. $F_w = 600\sqrt{2} \text{ N} = 850 \text{ N}$

5. Opis ruchu prostoliniowego

Zadanie 1. a) $s = 240 \text{ cm}$, b) $r = 80 \text{ cm}$
na południe

Zadanie 2. $t = 75 \text{ min}$; $v = \frac{s}{t} = 8 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Zadanie 3. $s = 21 \text{ km}$

Wskazówka. Najłatwiej zamienić 20 min na
ułamek zwykły godziny.

6. Pierwsza zasada dynamiki

Zadanie 1. a) $x_1 = 4 \text{ m}$; $x_2 = 6 \text{ m}$,

b) $s = x_2 - x_1 = 2 \text{ m}$, c) $v = \frac{s}{t_2 - t_1} = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Zadanie 3. b) $F_w = 0$

Zadanie 4. A-II, B-IV, C-V, D-I

7. Ruch jednostajnie zmienny

Zadanie 1. **A Wskazówka.** Pamiętaj
o zamianie jednostki czasu.

Zadanie 2. a) $v_k = v_0 + a\Delta t = 260 \frac{\text{m}}{\text{s}}$,

b) **Wskazówka.** Nie możesz korzystać

ze wzoru $s = \frac{1}{2}at^2$ (dlaczego?)

$s = \frac{v_p + v_k}{2} \cdot t = 6900 \text{ m}$.

Zadanie 3. b) $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$,

c) $a_A = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; $a_B = \frac{\Delta v}{\Delta t} = -0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

d) **Wskazówka.** Oblicz drogę jako pole pod
wykresem $s_B = 35 \text{ m}$.

e) $t = 3 \text{ s}$; $v = 4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

8. Druga zasada dynamiki

Zadanie 1. $a = \frac{F}{m} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Zadanie 2. Wskazówka. Pamiętaj o zamianie jednostek.

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2 \text{ kN}$$

Zadanie 3.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 14\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; F = ma \approx 800 \text{ N};$$

$$m = \frac{F}{g} = 80 \text{ kg}$$

Zadanie 4.

$$\text{a) } F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} \approx 18\,900 \text{ N, b) } F = 0 \text{ N,}$$

$$\text{c) } F = m \frac{|\Delta v|}{\Delta t} \approx 18\,900 \text{ N}$$

Zadanie 5. B Wskazówka. Zamiast obliczać czas, możesz obliczyć, z jakiej wysokości spada piłeczka w czasie 0,25 s, 0,5 s itd., aż znajdziesz właściwą odpowiedź wśród podanych.

9. Opory ruchu

Zadanie 1. A-III, B-I, C-II

Zadanie 2. Wskazówka. Zastanów się najpierw, jaką wartość ma wypadkowa sił działających na piłeczkę. Jakie to siły?

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

2. $F = 2000 \text{ N}$

3. $v = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

4. B, 5. $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

6. A, 7. A, 8. B, 9. I, III

To należy umieć

1. A, 2. A, 3. $v = \frac{s}{t} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, 4. D, 5. A, 6. a) D, b) C, c) A, d) B, 7. A, D

To warto umieć

1. $F_2 = \frac{F_1}{2} = 150 \text{ N}$

3. $a = \frac{|\Delta v|}{\Delta t} = 6,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; s = 50 \text{ m}$

4. $h = \frac{gt^2}{2} = 45 \text{ m}$

5. $a = \frac{F - mg}{m} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

6. a) $t = 24 \text{ s}$, b) $v = \frac{s}{t} = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, c) $F_w = 0$

Dasz sobie z tym radę? Świetnie!

1. $F_w \approx 173 \text{ N}$

2. $t = 25 \text{ s}; a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Analiza tekstu

Zadanie 4.

$$v = \frac{s}{t} = 0,044 \frac{\text{rok świetlny}}{\text{rok}} = 0,44 \text{ prędkości}$$

$$\text{światła} = 13\,200 \frac{\text{km}}{\text{s}}; \frac{0,2}{0,044} \approx 4,5 \text{ razy}$$

mniej

2. Ruch po okręgu i grawitacja

11. Ruch po okręgu

Zadanie 2. Wskazówka. W zadaniu podano średnicę, a nie promień okręgu.

$$T = \frac{\pi d}{v} \approx 3,14 \text{ s}; f = \frac{1}{T} \approx 0,32 \text{ Hz}$$

Zadanie 3.

$$t = 2 \frac{\pi r}{v} \approx 0,0175 \text{ h} \approx 63 \text{ s}$$

Zadanie 5. $f_{\min} \approx 3,47 \text{ Hz}; f_{\max} \approx 9,55 \text{ Hz}$

12. Siła dośrodkowa

Zadanie 3. Wskazówka. Co robisz, gdy chcesz skrócić, jadąc na łyżwach?

13. Wartość siły dośrodkowej

Zadanie 1. a) do ostrego

Zadanie 2. $F_d = \frac{mv^2}{r} = 2000 \text{ N}$

Zadanie 3.

a) $F_d = \frac{mv^2}{r} \approx 3000 \text{ N}$, b) $F_d = 12\,000 \text{ N}$,

c) $F_d = 6000 \text{ N}$

Zadanie 4. Wskazówka. Odpowiedzi do podpunktów b) i c) możesz łatwo obliczyć na podstawie odpowiedzi do podpunktu a).

$$F_B = F_A \cdot \frac{m_B}{m_A} \cdot \frac{r_A}{r_B} \cdot \left(\frac{v_B}{v_A}\right)^2 = 750 \text{ N}$$

$$F_C = 0 \text{ N}$$

$$F_D = F_A \cdot \frac{m_D}{m_A} \cdot \frac{r_A}{r_D} \cdot \left(\frac{v_D}{v_A}\right)^2 = 3000 \text{ N}$$

14. Grawitacja

Zadanie 1. Wskazówka. Pamiętaj o jednej z zasad dynamiki.

Zadanie 2. Wskazówka. Zastanów się, czy siła wzrośnie, czy się zmniejszy, i ile razy.

a) $F = 4 \text{ mN}$, c) $F = 360 \text{ mN}$

Zadanie 3. Wskazówka. Nie musisz obliczać dokładnej wartości tych sił. Wystarczy szacowanie, np. Wenus jest 2 razy dalej od Słońca niż Merkury, ale ma około 15 razy większą masę – co przeważa?

Zadanie 4. $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ N} = 6 \mu\text{N}$

Zadanie 5. Wskazówka. Na Księżycu astronauta jest przyciągany przede wszystkim przez Księżyc, ale nie o tym mówimy w zadaniu.

na stacji kosmicznej: $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \approx 690 \text{ N}$

Zadanie 6. $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \approx 1 \text{ N}$

15. Siła grawitacji jako siła dośrodkowa

Zadanie 4. a) $F_2 = F_1 = 1,3 \cdot 10^{22} \text{ N}$

Zadanie 5. Wskazówka. Ze względu na przybliżenia wyniki mogą nie być idealnie równe. Jeśli jednak otrzymasz znacznie różniące się wielkości, to na pewno przynajmniej w jednym sposobie obliczania tkwi błąd.

a) $F = \frac{Gm_Sm_Z}{r^2} \approx 3,52 \cdot 10^{22} \text{ N}$,

b) $F = \frac{4\pi^2rm_Z}{T^2} = 3,56 \cdot 10^{22} \text{ N}$

Zadanie 6. Wskazówka. Możesz przyjąć, że Księżyc znajduje się w tej samej odległości od Słońca, co Ziemia – różnica jest niewielka.

a) $F = \frac{Gm_Zm_K}{r_{ZK}^2} \approx 2 \cdot 10^{20} \text{ N}$,

b) $F = \frac{Gm_Sm_K}{r_{SK}^2} \approx 4,3 \cdot 10^{20} \text{ N}$

Zadanie 7.

dla Ziemi: $r_1 = 450 \text{ km}$,

dla Jowisza: $r_1 = 744\,000 \text{ km}$

16. Ruch satelitów

Zadanie 3.

a) $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \approx 7,56 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, b) 4%

c) $T = \frac{2\pi r}{v} \approx 5800 \text{ s} \approx 97 \text{ min}$

Zadanie 4.

a) $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \approx 3,1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,

b) $T = \frac{2\pi r}{v} \approx 24 \text{ h}$

Uwaga. Dokładniejsze dane dałyby wynik 23 h 56 min (doba gwiazdowa), natomiast 24 h to doba słoneczna. Sprawdź, np. w encyklopedii, czym się różnią.

17. Ciężar i nieważkość

Zadanie 1.

a) $m' = m \frac{g+a}{g} = 60 \text{ kg}$

b) $m' = m \frac{g-a}{g} = 40 \text{ kg}$

Zadanie 2.

b) $F = mg = 800 \text{ N}$

c) $a = \frac{m' - m}{m} g = 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Zadanie 3. Wskazówka. Odważniki również znajdują się w tej windzie.

Zadanie 4. Wskazówka. Najpierw oblicz przyspieszenie w danych momentach

w chwili t_1 : $F' = F + F_b = 2,08 \text{ N}$.

18. Księżyc – towarzysz Ziemi

Zadanie 1. $t = \frac{2d}{c} \approx 2,56 \text{ s}$

19. Układ Słoneczny

Zadanie 1.

b) Mars: $d_{\text{Mmin}} = 78 \text{ mln km}$;

$$d_{\text{Mmax}} = 378 \text{ mln km}$$

Wenus: $d_{\text{Wmin}} = 42 \text{ mln km}$;

$$d_{\text{Wmax}} = 258 \text{ mln km},$$

c) Mars: $t_{\text{Mmin}} \approx 260 \text{ s}$;

$$t_{\text{Mmax}} \approx 1260 \text{ s} \approx 21 \text{ min}$$

Wenus: $t_{\text{Wmin}} \approx 140 \text{ s}$;

$$t_{\text{Wmax}} \approx 860 \text{ s} \approx 4 \text{ min } 20 \text{ s}$$

Zadanie 4.

a) $\frac{r_J}{r_Z} \approx 11,2; \frac{m_J}{m_Z} \approx 318$,

b) 60 200 dni $\approx 165 \text{ lat}$,

c) 17,2 h

Temat dodatkowy. Prawa Keplera

Zadanie 2. $M = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} \approx 1,4 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Zadanie 3.

$T_2 = 300 \text{ d} \cdot \sqrt{\left(\frac{400 \text{ mln km}}{100 \text{ mln km}}\right)^3} = 2400 \text{ d}$

Zadanie 4. $a_k = a_Z \sqrt[3]{\left(\frac{T_k}{T_Z}\right)^2} \approx 17,9 \text{ au}$

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

1. B, 2. B, 3. D, 4. A, 5. C, 6. D, 7. C

To należy umieć

1. B, 2. D, 3. B, 4. D, 5. A, 6. C, 7. D, 8. C

To warto umieć

1. B
2. $r = \frac{mv^2}{F_d} = 1000 \text{ m}$
3. C
4. $F_d = \frac{mv^2}{r} = 3125 \text{ N}$
5. C
6. B, C, F
7. $T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+h)^3}{GM}} \approx 14\,400 \text{ s} \approx 4 \text{ h}$

Dasz sobie z tym radę? Świetnie!

2. $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} \approx 42,1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
3. $h = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} - R \approx 1800 \text{ km}$
4. B, 5. C
6. $M = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} \approx 7 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Analiza tekstu

3. $t \approx 26 \text{ lat}$
4. $t \approx 7000 \text{ lat}$

3. Praca, moc, energia

20. Praca i energia

Zadanie 2. $W = Fs = 42 \text{ MJ}$

Zadanie 3. $s = \frac{W}{F} = 30 \text{ m}$

Zadanie 4.

a) $\frac{E_p}{E_r} = 500\,000$

21. Energia mechaniczna

Zadanie 1.

a) $\Delta E = mg(h_2 - h_1) = 60 \text{ J}$,

b) $\Delta E = mg(h_2 - h_1) = 60 \text{ J}$

Zadanie 2. lew: $\frac{E_l}{E_g} = \frac{m_l}{m_g} \cdot \left(\frac{v_l}{v_g}\right)^2 \approx 1,3$

Zadanie 3. na drugim: $h = \frac{W}{mg} = 6 \text{ m}$

Zadanie 4. **Wskazówka.** Zamień jednostki.

$\Delta E = \frac{mv^2}{2} + mgh \approx 32,8 \text{ GJ}$

Zadanie 5. $v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Zadanie 6. $E_k = \frac{mv^2}{2} \approx 120 \text{ MJ}$

22. Zasada zachowania energii

Zadanie 2. $v = \sqrt{2gh} \approx 7,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Zadanie 3. $h = \frac{v^2}{2g} = 45 \text{ m}$

Zadanie 5. $h = \frac{v_0^2 - v_k^2}{2g} = 15 \text{ m}$

23. Moc

Zadanie 1.

a) $W_1 = W_2 = mgh = 40 \text{ kJ}$,

b) $P_1 = \frac{W_1}{t_1} \approx 0,67 \text{ kW}$;

$P_2 = \frac{W_2}{t_2} = 0,4 \text{ kW}$

Zadanie 2. $P = \frac{mv^2}{2t} \approx 250 \text{ W} \approx 0,34 \text{ KM}$

Zadanie 3.

- a) 8,
- b) tak (z ogromnym zapasem),
- c) niecałą minutę

Zadanie 4. $P = \frac{mv^2}{2t} \approx 17 \text{ kW} \approx 23 \text{ KM}$

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

1. B, 2. A, 3. B, 4. A
6. $E_p = mgh = 75 \text{ J}$
7. D

To należy umieć

1. $h = \frac{W}{F} = 2 \text{ m}$
2. D
3. $W = E_k = \frac{mv^2}{2} = 16,6 \text{ MJ}$
4. B, 5. C, 6. osobowy

To warto umieć

1. A
2. $\Delta E = -\left(\frac{mv^2}{2} + mgh\right) = -650 \text{ J}$
3. $C, m = \frac{W}{gh} = 40 \text{ kg}$
4. $P = \frac{mv^2}{2t} \approx 72,3 \text{ kW} \approx 98 \text{ KM}$
5. $h = \frac{v^2}{2g} = 1,25 \text{ m}$
6. $v = \sqrt{2gh} \approx 17,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Dasz sobie z tym radę? Świetnie!

1. $|\Delta E| = mg(h_1 - h_2) = 2 \text{ J}$
2. Drugie ciało (ok. 3 razy większa energia)

Analiza tekstu

2. 112,5 mln zł
3. $E = 418,3 \text{ GWh}$
4. $E \approx 8,4 \text{ GWh}$

Zbiór zadań

Wprowadzenie

1. siła
2. mutacja
3. bez pary zostaną: 52 000 km, 100 bln km
4. a) Ziemia: 0,13 mm, b) Ziemia: 1,5 m
5. a) $x = 1000 \text{ lat świetlnych}$, b) Neptun: $d = 450 \text{ nm}$; Ziemia: $d = 15 \text{ nm}$ (to dwa razy więcej niż grubość błony komórkowej)
6. a) 17 mm = 0,017 m, b) 8,5 min = 510 s, c) 34 g = 0,034 kg
7. a) 5 μg, c) 0,5 ms
8. a) $t = (40 \pm 5) \text{ s}$

10. b) **Wskazówka.** Jaka jest dokładność pomiaru linijką?

1. Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego

1. $F_1 \approx 50 \text{ N}$; $F_4 \approx 20 \text{ N}$; $F_6 \approx 30 \text{ N}$

2. $F = 200 \text{ N}$

4. A

5. **Wskazówka.** Masa ciała na Księżycu jest taka sama jak na Ziemi, zmienia się tylko ciężar. Zakładamy też, że siła, jaką może działać astronauta, jest taka sama jak na Ziemi.

8. b) $F = 0,05 \text{ N}$

9. a) $m = \frac{F}{g} = 0,5 \text{ kg}$

11. **Wskazówka.** Najpierw zastanów się, jak zwrócona jest siła $\vec{F}_w$.

12. **Wskazówka.** Najpierw zastanów się, jak zwrócona jest siła $\vec{F}_2$.

13. **Wskazówka.** Wojtek nie poruszył sztangi, a to znaczy, że działające na nią siły się równoważą. Naskicuj wektory tych sił.

14. a) $F_c = mg = 2 \text{ N}$,

b) **Wskazówka.** Przypomnij sobie ze szkoły podstawowej prawo Archimidesa $F_{wyp} = F_c = 2 \text{ N}$

15. $F_w = 120 \text{ N}$

16. $F_w = 300 \sqrt{40} \text{ N} \approx 1900 \text{ N}$

17. **Wskazówka.** Najpierw narysuj wypadkową szukanych sił.

18. prędkość względem ziemi:

$v_z = \frac{21 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

20. $v = \frac{s}{t} = 12 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

21. $t = \frac{s}{v} \approx 3,1 \text{ h}$

22. o 10.03

23. $s = vt \approx 0,83 \text{ km} = 830 \text{ m}$

24. $s = vt = 84 \text{ m}$

26. $v_{sr} \approx 57 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

27. **Wskazówka.** Najpierw oblicz drogę w kilometrach. Wygodnie będzie posłużyć się

notacją wykładniczą (patrz → **Dodatek matematyczny 9**, s. 242). Oblicz czas w sekundach, a potem przelicz go kolejno na godziny, doby i lata, $t \approx 7$ mld lat.

28. c) $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

29. c) $v_C = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ przeciwnie do osi

30. b) $v = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

31. **Wskazówka.** Oba wykresy $s(t)$ będą jednakowe, natomiast wykresy położenia będą różne (i inne niż wykresy drogi).

32. **Wskazówka.** W zadaniu powiedziano, że my nie działamy żadną siłą. Ale czy na piłkę nie działają żadne siły?

33. a) $F_0 = 200 \text{ N}$

36. $v = gt = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

37. $\Delta t = \frac{v_k - v_0}{a} \approx 3,7 \text{ s}$

38. $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \approx 7,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

41. b) tak; $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, d) $57,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

42. a) $s = \frac{at^2}{2} = 25 \text{ m}$,

b) **Wskazówka.** Najpierw oblicz czas rozpędzania.

43. **Wskazówka.** Samochód od razu jechał z pewną prędkością, więc nie można korzystać ze wzoru $a = \frac{1}{2} at^2$, $s = \frac{v_0 + v_k}{2} t = 225 \text{ m}$

44. **Wskazówka.** Najpierw przelicz prędkość na $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

$$s = \frac{(\Delta v)^2}{2a} = 19,3 \text{ m}.$$

45. b) $v = a\Delta t = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

46. **Wskazówka.** Możesz skorzystać z proporcji, ale pamiętaj, że przyspieszenie jest odwrotnie proporcjonalne do masy. Pamiętaj także o masie samego silnika.

$$a_2 = a_1 \frac{m_1 + m_s}{m_2 + m_s} \approx 6,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

47. Zielony wykres: $a = \frac{2}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; $F \approx 6,7 \text{ N}$

48. a) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \approx 17 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 1,7g$

50. **Wskazówka.** Najpierw oblicz przyspieszenie. $m = \frac{(F_c - F_{op})\Delta t}{v_k - v_p} = 62,5 \text{ kg}$

51. **Wskazówka.** Oblicz najpierw przyspieszenie z odpowiednio przekształconego wzoru na drogę w ruchu jednostajnie zmiennym. Zwróć uwagę na jednostki.

$$F = \frac{mv_0^2}{2s} \approx 4600 \text{ N}$$

56. $F = m \frac{v_k - v_0}{\Delta t} = 37,5 \text{ N}$

57. **Wskazówka.** Tarcie zależy od nacisku ciała na podłoże. W którym wypadku nacisk jest większy?

58. $27,5 \text{ N}$; ok. 90%

61. $a = \frac{F_{\text{wyp}}}{m} \approx 0,13 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

63. **Wskazówka.** Wystarczy odczytać z wykresu, czy tramwaj przyspiesza czy hamuje.

66. $F_b = ma = 175 \text{ N}$; $\frac{F_b}{F_c} = \frac{a}{g} = 0,25$

67. $\frac{F_b}{F_c} = \frac{a}{g} = 40$

68. $\frac{F_b}{F_c} = \frac{F_b}{mg} = 11$

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. $n = \frac{vt}{\pi d} \approx 4,8$, czyli 4 pełne okrążenia

4. $v_{\min} \approx 20,7 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$;

$$v_{\max} \approx 51,8 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

6. $v = \frac{2\pi r}{T} \approx 29,9 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 108\,000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

7. $v = \frac{2\pi r}{T} \approx 1 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 3600 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

11. **Wskazówka.** Zastanów się, jak skierowany jest wektor prędkości grudki tuż przed oderwaniem się od opony.

14. $F_d = \frac{mv^2}{r} = 150 \text{ N}$

15. $F_d = \frac{mv^2}{r} = 1 \text{ N}$

16. **Wskazówka.** Zwróć uwagę na jednostki.

$$F_d = \frac{mv^2}{r} = 7500 \text{ N}$$

17. a) $v = 2\pi rf \approx 23,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$,

b) $F = \frac{mv^2}{r} \approx 1500 \text{ N}$

18. **Wskazówka.** Zastanów się najpierw, czy siła byłaby większa czy mniejsza, i ile razy.

19. $r_{\min} = \frac{mv^2}{F_{d\max}} = 200 \text{ m}$

21. $v_2 = v_1 \sqrt{\frac{r_2}{r_1}} = v_1 \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 56 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

23. a) $\frac{F_g}{F_n} = \frac{1}{2}$,

b) **Wskazówka.** Przerysuj do zeszytu rysunek składania i sił i zaznacz w nim podane kąty.

$$F_w = \sqrt{3} F_g \approx 1,7 F_g$$

24. a) $F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \approx 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ N}$

25. $\frac{F_{\text{samolot}}}{F_{\text{Ziemia}}} = \left(\frac{6370 \text{ km}}{6380 \text{ km}}\right)^2 \approx 0,997$

26. $F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \approx 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ N}$

27. c) $F \approx 1,8 \mu\text{N}$

28. c) $d = 8 \text{ m}$

30. Gdy jest najbliżej, ponad 160 000 razy

Wskazówka. Nie musisz obliczać wartości sił, aby je porównać.

31. $m = \sqrt{\frac{Fr^2}{G}} \approx 38\,700 \text{ kg}$

32. $r = \sqrt{\frac{Gm^2}{F}} \approx 82 \text{ m}$

33. b) Na Ziemi, 16 razy

35. **Wskazówka.** Nie musisz korzystać ze wzoru na siłę dośrodkową, aby odpowiedzieć na to pytanie.

36. b) $F_d = \frac{mv^2}{r} = 9 \text{ N}$

37. $F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \approx 6,7 \cdot 10^{22} \text{ N}$

38. a) $F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \approx 2 \cdot 10^{20} \text{ N}$,

c) $d \approx 715 \text{ km}$

40. a) $h = \sqrt{R^2 + s^2} - R = 0,005 \text{ km} = 5 \text{ m}$,

b) $x = \frac{gt^2}{2} = 5 \text{ m}$

44. $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \approx 6300 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,3 \frac{\text{km}}{\text{h}}$;

$$T = \frac{2\pi r}{v} \approx 10\,000 \text{ s} \approx 2 \text{ h } 45 \text{ min}$$

45. $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \approx 1630 \frac{\text{m}}{\text{s}}$;

$$T = \frac{2\pi r}{v} \approx 7000 \text{ s} \approx 2 \text{ h}$$

46. $M = \frac{v^2 r}{G} \approx 1,9 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

47. a) **Wskazówka.** Prędkość satelity obliczamy ze wzoru $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$. Jak powinno się zmienić

R , aby prędkość zmniejszyła się 2 razy?

$r_2 = 4r_1 \approx 25\,000 \text{ km}$,

b) $T_2 = 8T_1 = 680 \text{ min}$

49. Merkury:

$$v = \sqrt{\frac{GM_M}{R_M}} \approx 3000 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3 \frac{\text{km}}{\text{s}};$$

Saturn: $v = \sqrt{\frac{GM_S}{R_S}} \approx 25\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 25 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

51. a) $F_n = m(g - a) = 12 \text{ N}$,

b) $m(g + a) = 28 \text{ N}$

52. b) $F'_n = m'g = 480 \text{ N}$,

d) $F_c = 600 \text{ N}$,

e) $m = 60 \text{ kg}$

53. b) ruszanie: $a = \frac{m' - m}{m} g = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

hamowanie: $a = \frac{m - m'}{m} g = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

54. **Wskazówka.** Możesz skorzystać z prawa powszechnego ciążenia, ale obliczenia będą znacznie prostsze, gdy się zastanowisz, ile razy mniejsza jest szukana siła od siły ciężkości na powierzchni Ziemi.

55. a) $F_n = ma - mg = m \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

57. a) około 1 tygodnia,

b) ok. 3 tygodni

61. średnice: $\frac{d_S}{d_K} \approx 400$; odległości: $\frac{a_S}{a_K} \approx 391$

66. a) Ziemia: $d \approx 3 \text{ cm}$; Jowisz: $d \approx 30 \text{ cm}$; śliwka, arbuz,

b) $d \approx 280 \text{ cm}$,

c) $d \approx 30\,000 \text{ cm} = 300 \text{ m}$

67. $T_B = T_A \sqrt{\left(\frac{a_B}{a_A}\right)^3} \approx 520 \text{ dni}$

68. $v = \sqrt{\frac{GM}{R}} \approx 5200 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

69. $a_F = a_D \sqrt[3]{\left(\frac{T_F}{T_D}\right)^2} \approx 9450 \text{ km}$

III. Praca, moc, energia

1. $W = Fs = 126 \text{ kJ}$

3. $s = \frac{W}{F} = 500 \text{ m}$

4. $F = \frac{W}{s} = 300 \text{ N}$

8. a) $E = W = 1200\text{ J}$,

c) $E_k = E_p = 1200\text{ J}$,

d) $W = E_k = 1200\text{ J}$

10. $W = mg\Delta h = 225\text{ J}$

11. na) $E_p = mgh = 18\text{ J}$,

b) $\frac{E_{\text{bat}}}{E_p} \approx 720$, energia w baterii jest ponad 700 razy większa

12. **Wskazówka.** Różnica energii jest taka sama, niezależnie od poziomu odniesienia.

a) dolna: $E_{\text{pd}} = 0$;

górna: $E_{\text{pg}} = mgh = 314\ 300\text{ J}$;

różnica: $E_{\text{pg}} - E_{\text{pd}} = 314\ 300\text{ J}$

13. $m = \frac{W}{g\Delta h} = 50\text{ kg}$

14. $E_k = \frac{mv^2}{2} = 1000\text{ J}$

15. biegacz

16. $m = \frac{2E_k}{v^2} = 1\text{ kg}$

17. piłeczka pingpongowa:

$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} \approx 270\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$; piłka do piłki ręcznej:

$v \approx 22\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

18. **Wskazówka.** Weź pod uwagę energię kinetyczną i potencjalną. Przelicz $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ na $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

$E = \frac{mv^2}{2} + mgh = 175\ 000\text{ J}$

19. **Wskazówka.** Jaka przemiana energii zachodzi w czasie wznoszenia się piłki? Masa piłki nie jest dana, ale jeśli odpowiednio przekształcisz wzory, to się skróci.

$h = \frac{v^2}{2g} = 20\text{ m}$

20. **Wskazówka.** Jaka przemiana energii zachodzi w czasie spadania kluczy? Masa kluczy nie jest dana, ale jeśli odpowiednio przekształcisz wzory, to się skróci.

$v = \sqrt{2gh} = 14,8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

21. **Wskazówka.** Zadanie brzmi inaczej niż zadanie 19., ale obliczenia są podobne (dlaczego?) Pamiętaj o zamianie jednostek prędkości. $h = 5\text{ m}$.

22. **Wskazówka.** Najpierw oblicz energię kinetyczną tuż po wystrzale i na wysokości 10 m. $v = \sqrt{v_0^2 - 2gh} \approx 26,5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

24. a) $v = \sqrt{2gh} = 3,16\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$,

b) $v = \sqrt{\frac{2(mgh - F_{\text{T}}s)}{m}} = 1,41\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

26. $P = \frac{W}{t} = 3000\text{ W} = 3\text{ kW}$

27. $E = Pt = 2,88\text{ MJ}$

28. $t = \frac{E}{P} = 175\text{ s}$

29. **Wskazówka.** Wiadro zyskało energię potencjalną. Ile ona wynosiła?

$P = \frac{mg\Delta h}{t} = 30\text{ W}$

30. $P = \frac{mv^2}{2t} \approx 8,9\text{ kW} \approx 12\text{ KM}$

32. $P \approx 90\text{ KM}$

33. $n \approx 700\ 000$ mieszkań – tyle mniej więcej jest w Warszawie

34. **Wskazówka.** Metr sześcienny wody – ile to litrów? Ile to kilogramów? $E = mgh \approx 1,7 \cdot 10^{14}\text{ J}$

35. $t = \frac{E}{P} \approx 8400\text{ s} \approx 2,3\text{ h}$

Zdjęcie na okładce: Shutterstock/Mikael Damkier.

Zdjęcia: Archiwum NE: s. 11, 118, 122 (działo Newtona), s. 158 (Kopernik), s. 164 (Bitwa pod Grunwaldem), s. 165 (Unia Lubelska), s. 198; **BE&W:** AKG IMAGES Gmbh s. 164 (wystąpienie Lutra), Alamy Stock Photo – Art Directors & TRIP s. 153 (Saturn), s. 168, blickwinkel s. 230 (kometa), Cephas Picture Library s. 185 (wodospad), Christophe Coat s. 153 (Ganimedes), CPA Media Pte Ltd s. 158 (Galileusz), CPC Collection s. 196 (Dar Modzieży), Creator s. 54, dotted zebra s. 206–207 (Voyager), FALKENSTEINFOTO s. 165 (Kepler), GL Archive s. 167, Historical image collection by Bildagentur-online 2 s. 165 (Galileusz), History and Art Collection s. 185 (Joule), IanDagnall Computing s. 165 (Newton), Ivy Close Images s. 164 (wynalazek druku), John Green s. 107 (panczenista), Konstantin Shaklein s. 122 (satelita), Laszlo Podor s. 179, Michal Jesensky s. 91 (hamujący samolot), Oleksiy Maksymenko s. 165 (Hamlet), Panther Media GmbH s. 235 (lokomotywa), Prisma Archivo s. 57 (Galileusz), Robert Wallwork s. 45, Science History Images s. 164 (Kopernik), Stocktrek Images, Inc. s. 123 (Syriusz), s. 161 (Syriusz A i Syriusz B), The Print Collector s. 185 (aparat Joula), Granger Collection s. 144 (astronauta), Heritagelimages/The Print Collector s. 122 (Newton w pracowni), OLIMPIK/xinhua s. 102 (rzut młotem), Science Source s. 163; **Business Insider Polska** s. 216 (wykres – rekordowa produkcja energii z wiatru w Polsce); **East News:** AP/Roscosmos State Space Corporation s. 134 (stacja kosmiczna), Bridgeman Images s. 106 (astronauta), s. 138 (astronauci), S. Numazawa s. 131 (Sputnik 1), Polaris Exclusive/Aubrey Gemignani s. 142 (astronauci), Science Photo Library/VHB s. 154 (Jowisz); **Forum:** Anatol Chomicz s. 52, Foka s. 165 (potop szwedzki), NASA/Zuma Press s. 174, Piotr Męcik s. 165 (bitwa pod Wiedniem), Reuters/Phil Noble s. 205; **ESA:** s. 119 (planetoida Ryugu); **Getty Images:** 500px/Grzegorz Radosław Maziarski s. 187 (piorun), Archive Photos/Space Frontiers s. 120, Brand X Pictures/Science Photo Library/NASA EARTH OBSERVATORY s. 156 (Ziemia), Caiaimage/Agnieszka Olek s. 26 (animacje i gry – chłopak w okularach VR), Corbis Documentary/Stuart Westmorland s. 72 (delfin), Corbis Historical s. 51 (Neptun), Corbis/Sears Wiebkin s. 225 (start z bloków startowych), E+ – anton5146 s. 78 (rower szosowy), bymuratdeniz s. 228, Dusan Stankovic s. 190 (licealista nad książkami), Gorfer s. 206 (kobieta na rowerze), HansUntch s. 187 (samolot), Imgorthand s. 125 (obserwacja nieba), s. 142 (pasy bezpieczeństwa), inhauscreative s. 117 (astronauta na Marsie), RgStudio s. 206 (mężczyzna z telefonem), sdlgzps s. 184 (piec hutniczy), sharply_done s. 91 (samolot), simonkr s. 36 (piłkarz), skyneshes s. 112 (nastolatki w ławce), s. 115 (nastolatki w ławce), South_agency s. 38 (siatkarki), stockstudioX s. 48 (rower), TommasoT s. 42, vuk8691 s. 77, EyeEm – Christoph Oberschneider s. 18 (rowerzysta), Pedro Custodio s. 202 (światłówka), Tal Hakimi s. 127 (ruch gwiazd), Gallo Images ROOTS RF collection/Martin Harvey s. 50 (gepard), Getty Images News/Bill Pugliano/Stringer s. 79 (crash test), Hulton Archive – Heritage Images s. 220, Stringer s. 57 (Newton), iStock Editorial/Getty Images Plus – Alexander Shapovalov s. 235 (kafar), olatr s. 51 (TGV), s. 88 (pociąg), iStock/Getty Images Plus – aapsky s. 133, AlbertoTirado s. 184 (dźwig), Andreyuu s. 36 (pływak), Argestes s. 90 (szybowiec), choochart choochaikupt s. 107 (ostrzy zakręt), DieterMeyrl s. 147, DNY59 s. 58, dottedhippo s. 101, Dr_Flash s. 207 (samolot), dzika_mrowka s. 207 (Słońce), frozenmarshmallows s. 186 (kolarz), Inok s. 175 (satelita GPS), Kerkez s. 182 (spawacz), LeventKonuk s. 227, Lisa5201 s. 28 (dziecko), microgen s. 31, paulafrench s. 50 (struś), Rostislav_Sedlacek s. 138 (kobieta na wadze), TomasSereda s. 30 (elektrownia), Vesnaandjic s. 35, yacobchuk s. 21 (EEG), Moment Open/Bill Hinton Photography s. 128, Moment – Alastair Pollock Photography s. 50 (zagłica), anucha sirivisansuwan s. 175 (kontenerowiec), Artur Debat s. 78 (prędkościomierz), Iuliia Bondar s. 190 (licealistka wchodzący po schodach), Kees Smans s. 186 (pszczoła), Krzysztof Baranowski s. 213, Scott Stringham photographer s. 208, skaman306 s. 209, Photodisc/Digital Vision s. 119 (Mars), Science Photo Library – Carol&Mike Werner s. 23 (atom litu), Mark Garlick s. 20, s. 22 (Układ Słoneczny), s. 23 (cząstka Higgsa, Proxima b), s. 24 (wysyanie gwiazdy neutronowej), s. 136 (misja na Marsa), SCIEPRO s. 156 (Merkury, Wenus, Mars, Jowisz), s. 157 (Jowisz, Saturn, Neptun), Score by Aflo/Enrico Calderoni s. 67 (kopnięcie piłki), Stock/Getty Images Plus/Weerasaksaeku s. 210 (podnośnik), Stocktrek Images s. 127 (Krzyż Południa), s. 157 (Uran), s. 177, Stone – Ascent/ PKS Media Inc. s. 207 (błyskawica), Jordan Siemens s. 48 (kierowca), The Image Bank/George Shelley s. 75 (kajak), Universal Images Group Editorial/ Universal History Archive s. 136 (New Horizons), Universal Images Group/Universal History Archive s. 160 (Tytan), Westend61 s. 110, s. 186 (czekolada); **Indigo:** Science Photo Library s. 22 (bakteria), s. 131 (Wostok 1), NASA s. 144 (samolot ZERO-G – chmury), Novespace/CNES/DLR/ESA s. 144 (samolot ZERO-G), Paul D Stewart s. 164 (Tycho Brahe), PHILIPPE PSAILA s. 24 (Tokamak), SpaceX s. 137 (Starman), spacephotos com s. 193; **Kamioka Observatory Institute** for Cosmic Ray Research of University of Tokyo s. 199 (detektor neutrin Super-Kamiokande); **Michael E. Lockwood,** Lockwood Custom Optics, Inc. s. 125 (teleskop); **NASA:** s. 131 (Apollo 11), s. 136 (DART – badanie planetoid), s. 145 (pomień w nieważkości), s. 151 (Księżyc), s. 161 (pętla zakreślona przez Marsa), David Higginbotham s. 19 (Teleskop Jamesa Webba), JPL s. 56 (Voyager), s. 136 (Voyager) JPL-Caltech s. 24 (łazik marsjański), Space Science Institute s. 160 (pierścienie Saturna), SwRI/MSSS s. 176 (Jowisz), Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute s. 230 (Pluton), JHUAPL-SWRI s. 124 (Pluton z Charonem), Photo Jim Ross s. 51 (samolot Lockheed SR-71A Blackbird), Science: NASA, ESA, CSA, STScI/ Image Processing: Joseph DePasquale (STScI), Alyssa Pagan (STScI), Anton M. Koekemoer (STScI) s. 115 (L1527 i Protostar); **Panthermedia:** Peter Wienerroither s. 22 (teleskop); **PAP:** Grzegorz Michałowski s. 237 (samochód CWS T-1); **Pexels:** Eduard Beichel s. 156–157 (niebo z gwiazdami); **Shutterstock:** 3Dsculptor s. 105 (satelita), Abas Kamal bin Sulaiman s. 97, Abrar Sharif s. 100, Africa Studio s. 186 (uczniczka), AHoltPhoto s. 141, Aleksandra Suzi s. 62, Alexey Kartsev s. 106 (łyżwiarka), Algirdas Gelazius s. 191 (elektrownia), Andrey_Popov s. 27 (biznesmen przy komputerze), annet999 s. 201 (motocykl), Ariwasabi s. 189, Art_man s. 14 (koń), artjazz s. 27 (panele słoneczne), Artsiom P s. 135, Bakhur Nick s. 117 (astronauta na Księżycu), Beautifull landscape s. 105 (niebo), Billion Photos s. 17, Boykov s. 24 (komputer kwantowy), Brandon Woyshnis s. 103 (samochód), s. 184 (samochód), BrunoRosa s. 28 (pływaczka), Bukowski Ilya s. 82 (pasażerka w samolocie), Castleski s. 151 (odcisk buta na Księżycu), Chones s. 16 (żarówka), CyberEak s. 102 (motocyklista), Dabarti CGI s. 186 (kręgle), Daniel Gale s. 13, Dean Drobot s. 192, 214 (dziewczyna jedząca sałatkę), Dennizn s. 137 (smartfon z GPS), Dima Zel s. 95, Dotted Yeti s. 130, Elena11 s. 134 (fazy Księżycza), Elnur s. 26 (technologia w medycynie), s. 88 (pchanie szafy), elwynn s. 39 (odpychanie od ściany), EQRoy s. 140, Feher Istvan s. 215, fizkes s. 206 (śpiąca kobieta), fokke baarszen s. 16 (wiatraki), freevideophotoagency s. 88 (motorówka), garetsworkshop s. 78 (rower miejski), Germanskydiver s. 76 (spadochroniarz), Gorodenkoff s. 26 (sport), Haggardous50000 s. 225 (samochód), Hank Shiffman s. 76 (samolot), Harvepino s. 187 (kula ziemska), Hquality s. 117 (astronauta na Ziemi), IgorZh s. 21 (zaćmienie Słońca), ilmarinfo s. 219, Image Craft s. 203, ImageFlow s. 26 (animacje i gry – ilustracja okręgu z gry), Irina Rogova s. 30 (inhalator), Ivan Garcia s. 224, Ivan Kurmyshov s. 184 (samochód), Jacek Chabraszewski s. 9 (kasztan), jamesteohart s. 210 (samochód), Joel_420 s. 8, John D Sirlin s. 181, jules2000 s. 184 (rozszczepienie atomu), KARNAVALL22 s. 201 (szafa, zabudowa), KB_3 s. 200 (dom jednorodzinny), Kitreel s. 22 (kobieta przy mikroskopie), LightField Studios s. 44, Ljupco Smokovski s. 200–201 (mężczyzna na bieżni), Ljupco Smokovski s. 74 (idący człowiek), Ljupco Smokovski s. 91 (rower górski), logosland s. 27 (wykopalska archeologiczne), Mar.K s. 197, MarcelClemens s. 155, Maria Ivanushkina s. 236 (pies), Max A Million Graphics s. 82 (samolot), Mikael Damkier s. 217, Mino Surkala s. 18 (samochód), Nata Bene s. 214 (posiłek), Natalia Bratslavsky s. 9 (kasztanowiec), Nattapol Meechart s. 98, Nejrnon Photo s. 182 (wspinaczka), New Africa s. 184 (łuk), Nils Jacobi s. 191 (kot), Nils Jacobi s. 195, Nils Z s. 229, OlegRi s. 74 (koto), Oleksandr Kostiuchenko s. 202 (bateria), Olena Yakobchuk s. 82 (pasażerka na lotnisku), Ollyy s. 5, OttoPles s. 184 (kanister), paffy s. 190 (licealistka niosąca paczkę), paul prescott s. 112 (Ziemia i Księżyc), Photosmagoria s. 29 (zachód słońca), Piotr Wawrzyniuk s. 236 (gondola kolejki linowej), Pixel-Shot s. 90 (bieżnia), Pyty s. 107 (łagodny zakręt), Rangizzz s. 105 (Ziemia), Richard Susanto s. 159, Ronnie Chua s. 88 (hokej), Rudmer Zwerver s. 50 (ślimak), serato s. 57 (Szkoła Ateńska – fresk), Shutterstock s. 154 (Saturn, Neptun), slowmotiongli s. 18 (gepard), smspsy s. 14 (traktor), solareseven s. 156 (Słońce), Stefan Ataman s. 202 (crash test), StockStudio Aerials s. 96, Studio Peace s. 38–39 (aquatic flyboard), Suntis s. 152 (teleskop), Thammanoon Khamchalee s. 134 (niebo), TheFarAwayKingdom s. 39 (deskorolka), Triff s. 22–23 (galaktyka), tuulijumala s. 29 (stoper), vanitjan s. 200 (pokój, monitor), vichni s. 105 (krzeselko karuzeli), Vitalii Matokha s. 16 (wspinaczka) Volodymyr Burdiak s. 186 (zając), Vulp s. 99, withGod s. 91 (łożysko), xtock s. 134 (kula ziemska), yanik88 s. 190 (licealista na deskorolce), yousang s. 105 (samochód), Yu Lan s. 236 (zegar), ZagAlex s. 60 (pendolino); **Thinkstock/Getty Images:** Hemera s. 152 (zaćmienie Słońca), iStockphoto s. 131 (Księżyc), Bobbushphoto s. 178, Stockbyte/Tom Brakefield s. 123 (kangur), Stocktrek Images s. 154 (Uran); **Wikipedia:** Wikimedia link: http://www.planetary.org/multimedia/space-images/earth/lightsail-2-with-sail.html/The Planetary Society – Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported s. 93 (żagiel LightSail 2); **Marcin Braun** s. 32; **Milosz Budzyński** s. 29 (miarka, dzban na wadze), s. 40, 49, 60 (doświadczenie), s. 67 (doświadczenie), s. 72 (doświadczenie), s. 73, 75 (doświadczenie), s. 79 (doświadczenie), s. 80, 83, 84, 85, 103 (kubeczek i moneta), s. 108, 114, 148, 183, 196 (doświadczenie), s. 202 (dynamo); **Maciej Wróbel** s. 10, 103 (obróć sznurkiem), s. 146, 150, 162; **Agnieszka Żak** s. 9 (siłomierz), s. 34, 47, 56 (doświadczenie), s. 191 (doświadczenie).

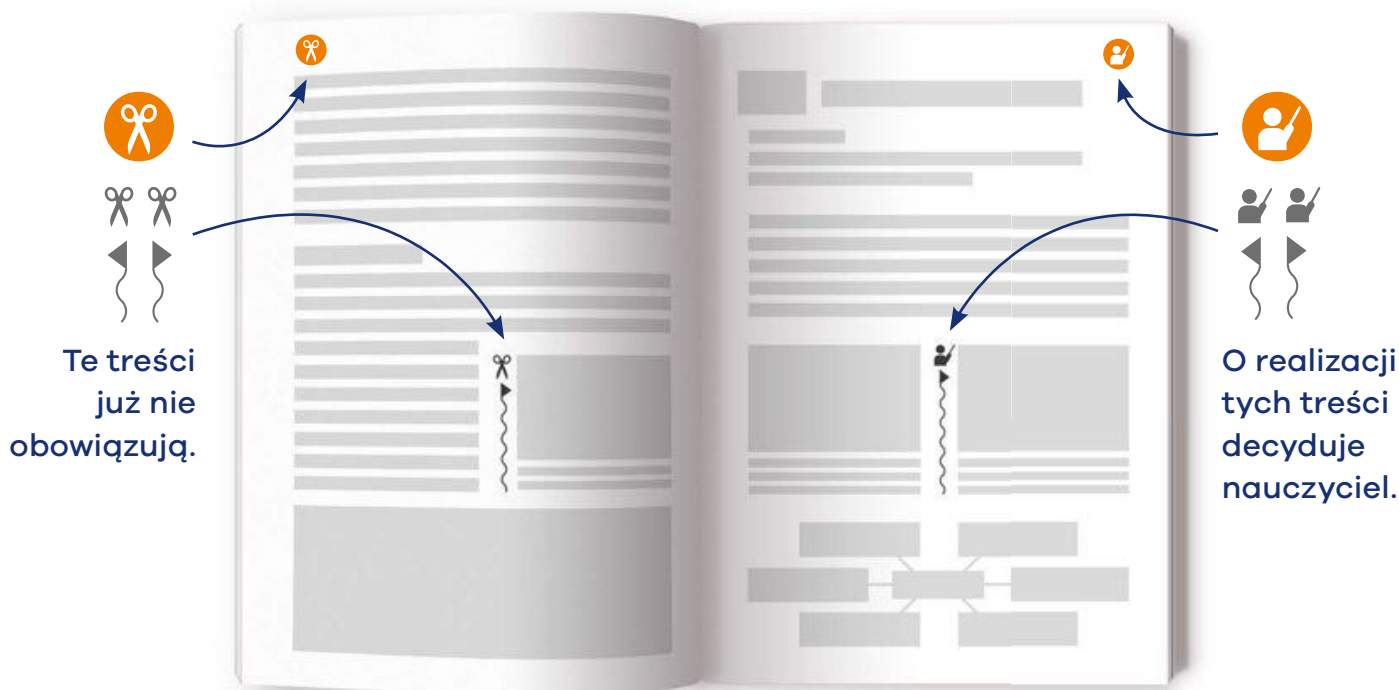
Ilustracje: Joanna Ptak – s. 5, 6 (4a), 13 (góra), 37 (góra), 41, 42 (b), 43 (a, b), 45-46, 47 (prawa), 49-50, 55 (oś), 64 (a, b), 68-69 (auta), 86-87, 92 (lewa góra), 96-97, 100, 111, 114, 116, 121, 124, 132, 147-148, 149 (środek, dół), 150-151, 171, 172 (góra), 173 (góra), 189 (dół), 194 (auta), 203 (auto), 221 (prawa), 223 (prawa góra), 226 (dół), 228, 234 (góra), 245 (środek); Andrzej Dukata – s. 6 (4b-d, 5a-c), 7, 12, 13 (dół), 17, 42 (a), 54, 55 (wykresy), 59 (wykres), 61-63, 64 (wykres), 65, 66, 71, 73, 88-91, 92 (wykresy), 102, 106 (prawa), 113, 126, 130, 146 (prawa), 162-163, 167, 169, 170 (góra), 182, 210, 216, 222 (prawa), 223 (lewa góra), 224, 226 (prawy wykres), 243-244, 245 (wykresy); Ewa Sowulewska – s. 10, 11, 31, 37 (dół), 43 (dół), 47 (a, b), 56, 81, 83, 101 (opisy), 112, 129, 141, 144, 170 (lupy), 193, 194 (cieńarówka), 218-220, 221 (lewa), 222 (lewa), 226 (lewa góra), 231-232, 238; Zuzanna Dudzić – s. 39, 43 (c), 44, 53, 59 (dół), 74, 104, 106 (lewa), 118, 139, 146 (lewa), 170 (windy), 173 (dół), 188, 189 (góra), 187 (góra), 223 (lewy dół); Ewa Kaletyn – s. 76-77, 200-201; Agata Knajdek – s. 101 (auto); Laura Maziewska – s. 103; Marta Długocka – s. 122, 131; Marek Nawrocki – s. 134-135; Elżbieta Buczkowska – s. 154 (słońce, układ), 172 (dół: słońce, układ), 203 (układ); Rafał Buczkowski – s. 154 (planety), 172 (dół: planety); Paulina Podolska – s. 68 (bolid), 69 (tír, bolid), 230, 234 (środek).

Za co polubisz podręczniki **NOWE Odkryć fizykę?**

- ★ Małe porcje tekstu, schematy, wypunktowania
- ★ Liczne ilustracje i atrakcyjne infografiki
- ★ Przykłady i podobne do nich zadania do samodzielnego rozwiązania
- ★ Dodatki matematyczne w jednym miejscu
- ★ Zbiór z zadaniami podzielonymi wg lekcji



**W podręczniku znajdziesz oznaczenia treści,
które od września 2024 r. nie są już wymagane.**



Pomarańczowa ikona na górze strony wskazuje, że na tej stronie znajdują się treści, które nie są wymagane – oznaczono je szarą ikoną i falką.

Nowa Era Sp. z o.o.



www.nowaera.pl



nowaera@nowaera.pl



Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-5011-3



9 788326 750113