

To nasz świat

PODREČZNIK

# Fizyka 7



Z OZNACZENIEM  
ZMIAN  
2024

gdańskie  
wydawnictwo  
oświatowe





## Bezpłatne materiały dydaktyczne dla serii *To nasz świat. Fizyka*



Broszura  
z komentarzami do lekcji



*Czas na zadania!*  
Karty i odpowiedzi



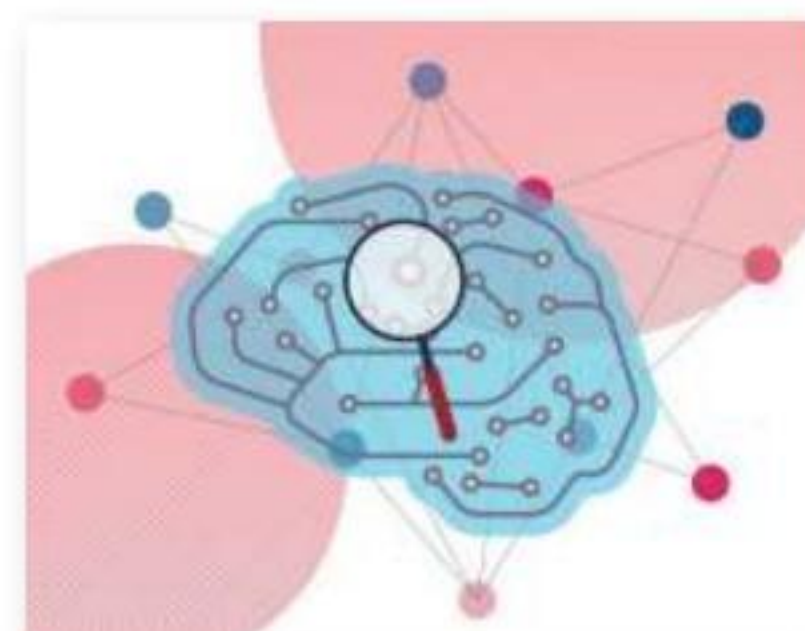
*Czas na doświadczenie!*



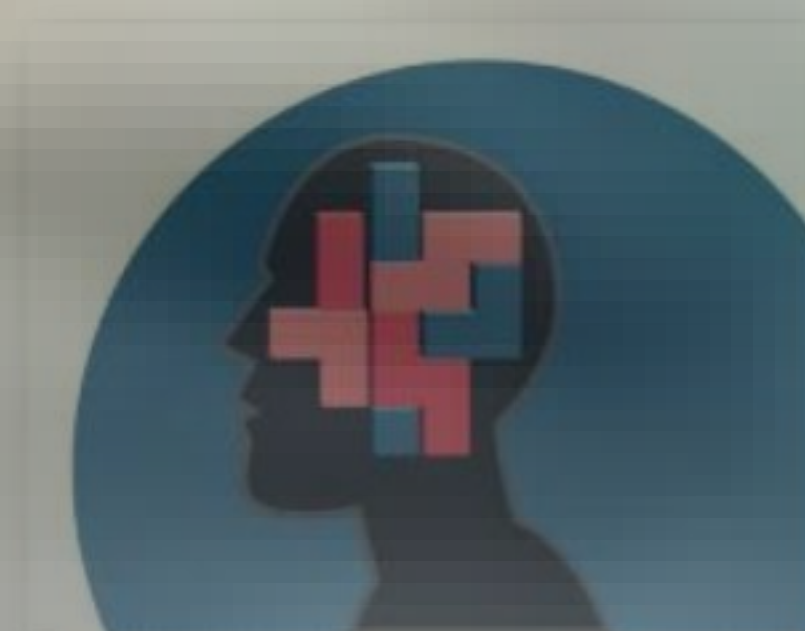
Prace klasowe



Interaktywne  
powtórzenia



Sketchnotki



Rebusy



Eksperymentarium



Festiwale Fizyki

**Podstawy, programy, rozkłady**



To nasz świat

# Fizyka 7

Podręcznik dla klasy siódmej szkoły podstawowej







Piotr Nieżurawski  
Iwona Szczepańska

To nasz świat

# Fizyka 7

Podręcznik dla klasy siódmej szkoły podstawowej

gdańskie  
wydawnictwo  
oświatowe





Projekt graficzny: *Jarosław Zakrzewski*

Redakcja: *Maria Hoffmann, Kamila Woronicz*

Konsultacja merytoryczna: *Małgorzata Dziecielska, Elżbieta Koziróg*

Korekta: *Anna Maria Sarmiento*

Grafika komputerowa: *Leszek Jakubowski, Jarosław Zakrzewski*

Ilustracje: *Bartłomiej Brosz*

Fotoedycja: *Ilona Krasnopiórko, Jakub Swerpel*

Skład (T<sub>E</sub>X): *Joanna Szyller*

Książka jest zgodna z programem *To nasz świat. Fizyka* i obowiązującą podstawą programową.

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników szkolnych przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania fizyki na poziomie klasy VII szkoły podstawowej, na podstawie recenzji rzeczoznawców: mgr Izabeli Okrzesik-Frąckowiak, dr. Stanisława Jakubowicza i mgr. Klemensa Stróżyńskiego.

Numer dopuszczenia: 1161/1/2023

ISBN 978-83-8118-547-9

© Copyright by Gdańskie Wydawnictwo Oświatowe

Wydawca: Gdańskie Wydawnictwo Oświatowe, 80-309 Gdańsk, al. Grunwaldzka 413

Gdańsk 2023. Wydanie pierwsze

Druk i oprawa: Interak, Czarnków

Podręcznik został wyprodukowany na papierze posiadającym certyfikaty FSC, PEFC, EU-Ecolabel oraz Blue Angel.

Niniejsza publikacja podlega ochronie przewidzianej w przepisach Ustawy z dnia 4.02.1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych. Każdy przypadek kopiowania lub zwielokrotniania fragmentu lub całości publikacji stanowi niedozwolone naruszenie praw twórcy lub wydawcy, o ile nie odbywa się zgodnie z przepisami wyżej wymienionej ustawy.

Uwaga. W podręczniku nie należy zapisywać żadnych odpowiedzi, podkreślać ani zaznaczać rozwiązań zadań.

Wszystkie książki Wydawnictwa są dostępne w sprzedaży wysyłkowej.

Zamówienia można składać w księgarni internetowej: [www.ksiegarnia.gwo.pl](http://www.ksiegarnia.gwo.pl)  
lub nadsyłać listownie pod adresem:

Gdańskie Wydawnictwo Oświatowe

80-305 Gdańsk 5, skrytka pocztowa 80

tel. 801 643 917, 58 340 63 63

fax 58 340 63 61, 58 340 63 66

<http://www.gwo.pl> e-mail: [handel@gwo.pl](mailto:handel@gwo.pl)



# Spis treści

## Oddziaływania i materia

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 1. Fizyka — poszukiwanie zrozumienia .....   | 10 |
| 2. Rodzaje oddziaływań .....                 | 16 |
| Lekcja dodatkowa. Atomy.....                 | 21 |
| 3. Siła i jej cechy .....                    | 25 |
| 4. Rodzaje sił .....                         | 30 |
| 5. Równoważenie się sił .....                | 36 |
| 6. Zasada akcji i reakcji .....              | 41 |
| 7. Masa a siła ciężkości .....               | 46 |
| 8. Stany skupienia .....                     | 53 |
| 9. Budowa ciał stałych, cieczy i gazów ..... | 59 |
| 10. Siły międzycząsteczkowe .....            | 65 |
| 11. Gęstość. Jednostki gęstości .....        | 70 |
| 12. Wyznaczanie gęstości .....               | 75 |
| Powtórzenie .....                            | 80 |

## Ciśnienie i siła wyporu

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 13. Ciśnienie .....                        | 88  |
| 14. Prawo Pascala .....                    | 94  |
| 15. Ciśnienie hydrostatyczne .....         | 100 |
| Lekcja dodatkowa. Naczynia połączone ..... | 107 |
| 16. Prawo Archimedesesa .....              | 113 |
| 17. Pływanie a siła wyporu .....           | 119 |
| 18. Pływanie a gęstość .....               | 123 |
| Powtórzenie .....                          | 128 |

## Pierwszy Festiwal Fizyki .....

135

## Ruch i siły

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 19. Ruch i jego opis .....               | 144 |
| 20. Prędkość. Jednostki prędkości .....  | 148 |
| 21. Ruch jednostajny prostoliniowy ..... | 152 |
| 22. Wykresy prędkości .....              | 158 |
| 23. Ruch odcinkami jednostajny .....     | 163 |
| Lekcja dodatkowa. Prędkość średnia.....  | 170 |



|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 24. Ruch jednostajnie przyspieszony .....  | 173 |
| 25. Ruch jednostajnie zmienny .....        | 178 |
| Lekcja dodatkowa. Ruch i wykresy.....      | 183 |
| 26. Pierwsza zasada dynamiki Newtona ..... | 186 |
| 27. Druga zasada dynamiki Newtona .....    | 192 |
| 28. Trzy zasady dynamiki Newtona .....     | 198 |
| Powtórzenie .....                          | 204 |

## Praca, energia, moc

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 29. Praca .....                           | 212 |
| 30. Energia i zasada jej zachowania ..... | 217 |
| 31. Energia potencjalna grawitacji .....  | 223 |
| 32. Energia kinetyczna .....              | 228 |
| 33. Energia mechaniczna .....             | 233 |
| 34. Straty energii mechanicznej .....     | 237 |
| Lekcja dodatkowa. Maszyny proste.....     | 242 |
| 35. Moc .....                             | 246 |
| 36. Moc, czas i prędkość .....            | 251 |
| Powtórzenie .....                         | 254 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| <b>Drugi Festiwal Fizyki .....</b> | <b>261</b> |
|------------------------------------|------------|

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>Tabele fizyczne .....</b> | <b>271</b> |
|------------------------------|------------|

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <b>Skorowidz .....</b> | <b>275</b> |
|------------------------|------------|

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| <b>Odpowiedzi .....</b> | <b>277</b> |
|-------------------------|------------|

W podręczniku przyjęto następujące oznaczenia:

Znak  oznacza zadanie nietypowe (niekoniecznie trudne).

Znak  oznacza zadanie o charakterze doświadczalnym.

Treści usunięte z podstawy programowej w 2024 r.



## Wstęp

Gdy otwierasz pudełko z nową grą, znajdujesz instrukcję i uczysz się zasad. To ekscytująca chwila. Ale zauważ, że ciągle „grasz” w coś bardziej ekscytującego... Całe życie próbujesz zrozumieć, na czym polega „gra” zwana światem. Fizycy piszą do niej część „instrukcji” — odkrywają i wyjaśniają fundamentalne zasady tej gry. Dzięki nim zrozumiesz, że otaczająca cię rzeczywistość jest o wiele ciekawsza i bardziej zaskakująca niż jakakolwiek gra.

Zapraszamy cię do udziału w przygodzie. Twoim biletem wstępu jest zaciekawienie — staraj się obserwować świat i zadawać pytania: Jak to działa? Dlaczego? A co by było, gdyby...? Aby „grać” w fizykę, potrzebna jest wytrwałość. Przeczytaj lekcję. Powtórz samodzielnie przykładowe rozwiązania. Jeśli ich nie rozumiesz, przepisz je dwa razy, zastanów się nad każdym etapem. Poproś o wyjaśnienie koleżankę, kolegę, nauczyciela. Wykonaj ćwiczenia — są bardzo podobne do przykładów. Nie rezygnuj! Wkrótce zrozumiesz, jak poszukiwać odpowiedzi, i poradzisz sobie z pozostałymi zadaniami. Im więcej pracy włożysz na początku w poznanie „reguł”, tym przyjemniejsza będzie dalsza „gra”.

Powodzenia!

PS W odkrywaniu reguł towarzyszyć ci będzie dwójka bohaterów.



Imię *Weritka* pochodzi od łacińskiego słowa *veritas*, które oznacza prawdę. A imię *Hasto* — od angielskiego słowa *hasty* (czyt. hejsti), ale nie będziemy pochopnie zdradzać, co ono oznacza.







# 1 Oddziaływania i materia



## Kogo bardziej zboli cios?

Dzięki fizyce wiemy, że na atakującego zawodnika działa siła o takiej samej wartości, jak wartość siły, którą atakujący działa na przeciwnika. Gdy obaj zawodnicy zderzają się tymi samymi częściami ciała, na przykład piszczelami, bez ochraniaczy, to odczucie bólu zależy tylko od wrażliwości zawodników. Przy podobnej wrażliwości obaj odczuwają porównywalny ból. I obaj w podobnym stopniu mogą uszkodzić sobie nogę.



# 1 Fizyka – poszukiwanie zrozumienia



Dlaczego helikopter unosi się w powietrzu?  
Czy helikopter mógłby się wznosić  
w próżni, czyli gdyby nie było powietrza?  
Jak to sprawdzić?

## Cel lekcji

Dowiesz się, czym się zajmuje fizyka oraz na czym polega metoda naukowa. Nauczysz się zapisywać wyniki pomiarów wraz z niepewnością.

## Warto wiedzieć

Wyraz „Ziemia”, zaczynający się wielką literą, oznacza planetę. Wyraz „ziemia” (zapisany małą literą) oznacza powierzchnię, po której chodzimy, inaczej grunt, glebę.



## Badanie najprostszego

Fizyka to przygoda, której celem jest zrozumienie świata. Marzeniem fizyków jest **odkrycie jak najprostszycch praw i zasad**, które wyjaśniłyby wszystko, co obserwujemy. Fizykom przede wszystkim zależy na tych najprostszycch prawach, dlatego starają się zrozumieć najpierw najprostszycze zjawiska, na przykład: *dlaczego rzucony kamień spada na ziemię*. Można mieć różne pomysły na wyjaśnienie tej kwestii. Przeczytaj rozmowę Hasto i Weritki:

- *Jestem pewien, że kamień spada na ziemię dlatego, że w ziemi znajduje się wiele innych kamieni* — twierdzi Hasto.
- *Czy chcesz powiedzieć, że podobne rzeczy się przyciągają?* — pyta Weritka.
- *Tak, to oczywiste! Nad czym tu się zastanawiać?*
- *To wyjaśnienie jest fajne, bo bardzo proste, ale patrz: upuszczam długopis i on też spada na ziemię. Czy to oznacza, że w ziemi jest tyle samo długopisów co kamieni?*
- *Zapewne tak.*
- *To nieprawda. W ziemi nie ma tylu długopisów. Poza tym, potarte szalikiem dwa balony się odpychają, a są przecież podobne. Zgodnie z twoim pomysłem powinny się przyciągać. Poszukajmy innego wyjaśnienia.*



Hasto zaproponował ciekawe, proste wyjaśnienie, ale Weritka wykazała, że nie może ono być prawdziwe. Pomysł Hasto nie pomaga też wyjaśnić innych, podobnych zjawisk.

## Metoda naukowa

Fizycy oceniają propozycje praw i zasad, tak jak Weritka — sprawdzają, czy postawione tezy zgadzają się z tym, co obserwujemy w rzeczywistości. Często przeprowadzają doświadczenia, eksperymenty. To właśnie wyniki doświadczeń są sądem najwyższym w fizyce.

### Doświadczenie

### Wahadło

Sprawdźcie, czy jest prawdziwe stwierdzenie:

*Liczba wahaní w wahadła w ustalonym czasie nie ma związku z długością wahadła.*

- ① Przygotujcie: dwa podobne ciężarki (np. jabłka lub kule z plasteliny), dwa sznurki o długościach około 120 cm i 70 cm, miejsce do zamocowania wahadeł, stoper (np. w telefonie).
- ② Zbudujcie dwa wahadła: jedno o długości sznurka około 50 cm, a drugie o długości sznurka około 100 cm.
- ③ Podzielcie się na dwie grupy: jedna będzie liczyć wahaní krótszego wahadła, a druga — dłuższego. Za jedno wahaní uznajemy ruch „w tę i z powrotem”, czyli wahadło wychylone np. w lewo wykona jedno wahaní, gdy ponownie będzie wychylone maksymalnie w lewo.
- ④ Wychylcie oba wahadła i puśćcie jednocześnie. Czy wahadła bują się tak, że ciężarki są zawsze obok siebie? Ile wahaní w ciągu 30 sekund wykonuje krótkie wahadło, a ile — długie?



Właśnie zastosowaliście **metodę naukową**, czyli sprawdziliście doświadczalnie hipotezę o niezależności liczby wahaní od długości wahadła. Okazało się, że jest ona fałszywa. Wyniki doświadczenia świadczą o tym, że lepszym opisem rzeczywistości jest stwierdzenie: *Krótsze wahadło wykonuje więcej wahaní w ustalonym czasie niż dłuższe wahadło.*

**Metoda naukowa** to logiczny sposób weryfikowania opisów zjawisk.



**PRZYKŁAD 1.**

Hasto uważa, że: *Ziemia przyciąga kamienie, bo każdy kamień i Ziemia mają wewnątrz magnesy, a magnesy się przyciągają*. Jak to zweryfikować?

**Odp.** Zbliżane dwa kamienie nie przyciągają się ani nie odpychają.

**ĆWICZENIE 1.** Niektórzy twierdzą, że Ziemia jest płaska. Zaproponuj doświadczenia lub obserwacje, które pozwoliłyby wykazać, że tak nie jest.

W doświadczeniu z wahadłem porównaliście dwie liczby — liczby wahnięć. Fizycy starają się być precyzyjni i dlatego używają języka matematyki do opisu rzeczywistości. Będziemy więc używać liczb i równań. Wielkości takie jak: długość, czas, masa, objętość już potrafisz wyrazić jako liczby z odpowiednimi jednostkami, np. 2 metry, 5 sekund, 40 kilogramów, 3 litry. Oprócz nowych wielkości poznasz też równania, w których te wielkości występują.

## Niepewność pomiaru

Każdy pomiar jest niedokładny. Sprawdźmy to.

### Doświadczenie

### Mierzenie podręcznika

Niech każda osoba w klasie zmierzy za pomocą linijki długość krótszej krawędzi swojego podręcznika do fizyki. Jaki wynik pojawia się najczęściej? Z czego wynikają różnice w pomiarach?

Fizycy zwykle informują, jak niepewny jest uzyskany wynik. Na przykład zapis  $(300 \pm 5)$  mm oznacza, że wynikiem pomiaru długości najczęściej było 300 mm, ale ta liczba nie jest dokładna. Prawdziwy wynik jest pomiędzy 295 mm a 305 mm. Niepewność pomiaru — zapisana po znaku „plus minus” — jest równa „5 mm”.

**i** Można też podać przedział, w którym znajduje się mierzona wartość, np. 295 mm – 305 mm.

Żaden pomiar nie jest idealnie dokładny. Wyniki pomiarów należy podawać wraz z **niepewnością**.

Niepewność pomiaru zależy od użytego przyrządu, jego dokładności. Przyjmujemy, że niepewność jest równa najmniejszej podziałce na skali przyrządu.





**PRZYKŁAD 2.**

Ogrodnik zmierzył długość skrzynki na sadzonki. Z taśmy mierniczej odczytał wynik 545 mm. Najmniejsza podziałka zaznaczona na taśmie ma 1 mm. Podaj wynik pomiaru wraz z niepewnością.

**Odp.** Przyjmujemy niepewność pomiaru równą 1 mm, więc wynik pomiaru to  $(545 \pm 1)$  mm.



**ĆWICZENIE 2.** Zapisz wynik pomiaru temperatury wraz z niepewnością.



### Dowiedz się więcej o różnych źródłach niepewności

W szkole podstawowej będziemy uznawać, że niepewność pomiaru jest równa najmniejszej podziałce przyrządu pomiarowego, np. 1 mm w przypadku linijki. W rzeczywistości niepewność jest przeważnie większa, gdyż występują inne przyczyny zmniejszające dokładność pomiaru. Przy pomiarze linijką szerokości podręcznika wynik zależy m.in. od tego, jak dobrze przyłożymy kreseczkę z 0 mm (zaznaczoną na linijce) do krańca okładki, czy linijka będzie ułożona równolegle do mierzonej krawędzi, czy nie będzie wygięta.

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. *Księżyc na uwieży*

Hasto próbuje, w swoim dosyć przewrotnym stylu, wytłumaczyć kolejne zjawisko. Twierdzi, że *Księżyc krąży wokół Ziemi dlatego, że jest trzymany na grubym, mocnym sznurku*. Co powinniśmy zaobserwować, co znaleźć, jeśli to wytłumaczenie byłoby prawdziwe?



### Zadanie 2. *Balonowe prawo*

Zaproponuj i zapisz *Prawo pękania balonów*, uzupełniając poniższe zdanie. Powinno być na tyle precyzyjne, by można było sprawdzić je doświadczalnie.  
*Napompowany balon pęka, gdy ...*

### Zadanie 3. *Artyści*

Dwóch artystów spierało się ze sobą o to, który z dwóch rysunków jest ładniejszy. Czy fizyka może pomóc w tym sporze?

### Zadanie 4. *Czy tylko drewno?*

Czy stwierdzenie: *Łódka pływa, ponieważ jest zbudowana z drewna* można uznać za przydatne prawo fizyczne? Uzasadnij swoją odpowiedź.

### Zadanie 5. *Dokładność pomiaru*

Uzupełnij poniższy tekst.

*Żaden pomiar nie jest ... Fizycy podają wynik pomiaru wraz z jego ...*



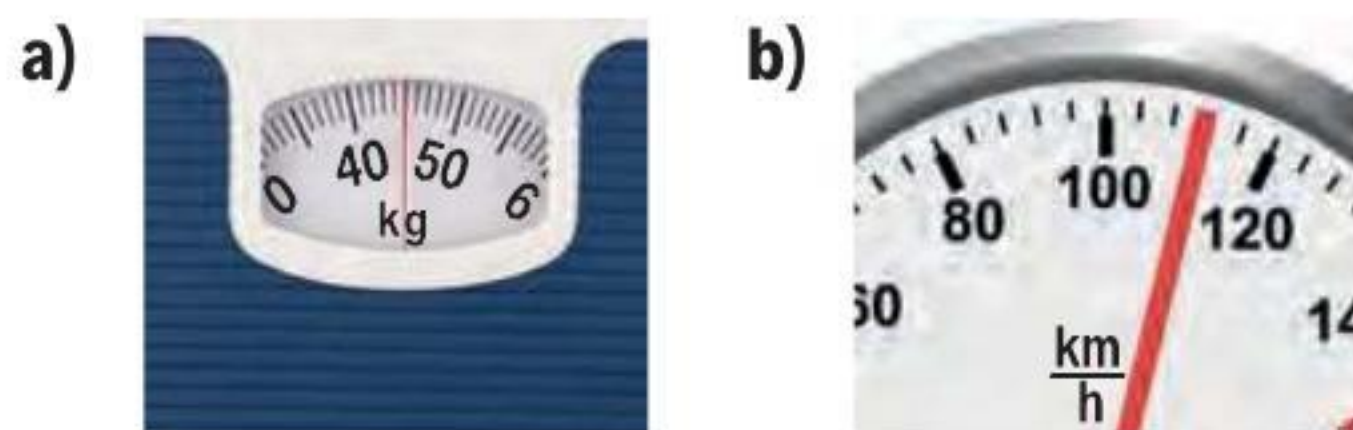
### Zadanie 6. Niepewna długość

Długość szyny podano jako  $(600 \pm 2)$  cm. Uzupełnij poniższy tekst.

Niepewność pomiaru długości szyny to ...  
Najprawdopodobniej szyna jest dłuższa niż ... i krótsza niż ...

### Zadanie 7. Pomiary

Odczytaj z fotografii wynik pomiaru wraz z niepewnością.



### Zadanie 8. Cylinder miarowy

Przyjrzyj się cylindrowi miarowemu (zdjęcie obok). Do czego służy ten przyrząd? Ile wody jest w cylindrze? Zapisz wynik pomiaru wraz z niepewnością.



### Zadanie 9. Kubek

Użyj cylindra miarowego i zmierz pojemność kubka, z którego najczęściej pijesz. Zapisz wynik pomiaru z niepewnością.

### Zadanie 10. Latarka

Weritka chciała ustalić, jak długo może nieprzerwanie świecić latarka. Co 20 minut sprawdzała, czy latarka jeszcze świeci. Po 240 minutach wciąż świeciła, ale po 260 minutach już nie. Ustal, który z poniższych zapisów najlepiej informuje o wyniku tego doświadczenia.

- A.  $(260 \pm 10)$  min
- B.  $(20 \pm 1)$  min
- C. od 240 min do 250 min
- D. od 240 min do 260 min

### Zadanie 11. Kartka formatu A4

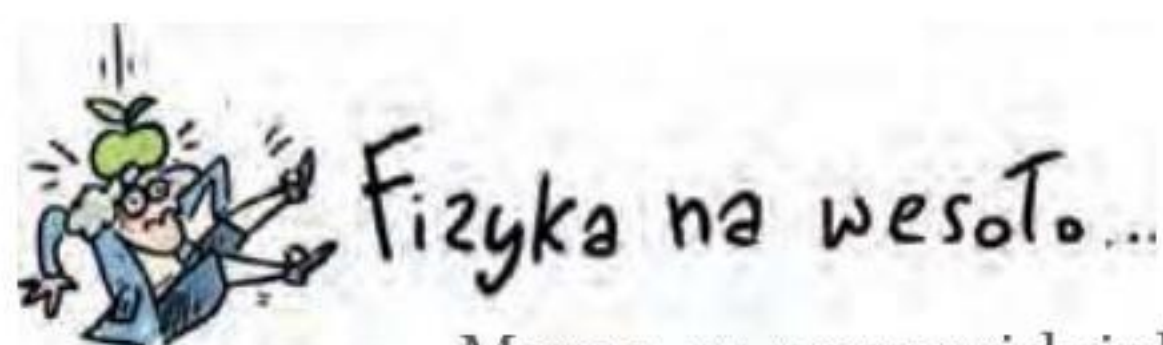
Dłuższy bok kartki formatu A4 zmierzono linijką, której najmniejsza podziałka to 1 mm. Kraniec mierzonego boku był najbliżej kreski oznaczającej 29,6 cm. Zapisz wynik pomiaru wraz z niepewnością.

### Zadanie 12. Zajrzeć w głąb

Zdjęcie rentgenowskie może przedstawiać kości człowieka. Są też inne metody rejestrowania wnętrza ludzkiego ciała. Zastanów się, po co są inne metody, dlaczego zdjęcia rentgenowskie nie zawsze wystarczają. Odpowiedzi możesz też poszukać w Internecie.



- Czy prawa fizyki dotyczą też żywych istot?
- Dlaczego Ziemia krąży wokół Słońca i nie odlatuje w przestrzeń kosmiczną?
- Dzięki jakim zjawiskom coś słyszymy i widzimy?
- Dlaczego nie przelatujemy przez podłogę?



— Mamo, w nocy widziałem przez uchylone drzwi, jak w kuchni pojawiła się jasność. To chyba jakiś duch albo obcy nas odwiedził?  
— Też go widziałam. Blask pochodził z otwartej lodówki, z której nocny gość — twój brat — wyjadł cały ser i poszedł dalej spać.



**GPS.** System urządzeń w kosmosie i na Ziemi, dzięki którym można ustalić dokładną pozycję w prawie każdym miejscu kuli ziemskiej. Satelita wysyła sygnał elektromagnetyczny, a odbiornik oblicza czas, jaki minął od wysłania do odbioru. Dzięki znajomości prędkości sygnału odbiornik oblicza również odległość do satelity. Odbierając sygnały z przynajmniej 3 satelitów, które przesyłają także informacje o swoim położeniu, sprzęt znajdujący się na Ziemi jest w stanie dokładnie określić swoją pozycję.



Wiele powszechnie stosowanych urządzeń powstało dzięki odkryciom fizycznym.

### **Dysk twardy (HDD).**

Najważniejsze jego elementy to talerze oraz głowica zamknięte w szczelnej obudowie. Gdy prąd przepływa przez głowicę, pojawia się pole magnetyczne i namagnesowuje się niewielki fragment talerza – w taki sposób na dysku zapisywane są dane.



### **Rentgen (RTG).**

Promieniowanie elektromagnetyczne wytwarzane przez specjalną lampę przenika częściowo przez ciało pacjenta, a następnie pada na błonę fotograficzną. Kości mają większą zdolność pochłaniania promieni niż tkanki miękkie, dlatego na zdjęciu są widoczne jako miejsca niezaczernione.



**Mikrofalówka.** Urządzenie to wykorzystuje energię elektryczną pobieraną z sieci elektrycznej do wytwarzania promieniowania elektromagnetycznego. Wnika ono w żywność i wprawia cząsteczki znajdujące się w niej wody w drgania. Drgające cząsteczki wody przekazują energię sąsiednim cząsteczkom i w efekcie porcja jedzenia staje się ciepła.



### **Termos.**

Przewodnictwo cieplne polega na przekazywaniu energii cząsteczek w wyniku zderzeń między nimi. Ze względu na to, że pomiędzy ściankami termosu jest niewiele cząsteczek powietrza (prawie próżnia), cząsteczki wewnętrznej ścianki termosu nie mają się z czym zderzać i przekazywać swojej energii. W efekcie temperatura w termosie zmienia się znacznie wolniej niż w zwykłym naczyniu.





# 2 Rodzaje oddziaływań



Czyje ręce muszą być silniejsze:  
akrobatki, która znajduje się na górze,  
czy akrobata, który ją podtrzymuje?

## Cel lekcji 8

Dowiesz się, w jaki sposób ciała mogą na siebie oddziaływać oraz na czym polega wzajemność oddziaływań.

## Co się dzieje wokół nas?

Cały czas obserwujesz mnóstwo zjawisk. Stojący na stole kubek, spadająca kropla, ładowanie baterii w telefonie, działanie amortyzatorów w aucie — wszystko wokół, wszelkie zmiany i procesy zachodzą dzięki oddziaływaniom.

### Doświadczenia

### Oddziaływanie przedmiotów

- Ⓐ Potrzymaj nadmuchany balon kawałkiem tkaniny, np. wełny, a następnie zbliż go do drobnych skrawków papieru. Jak się one zachowują?
- Ⓑ Zbliż magnes do papieru lub spinacza biurowego. Która strona magnesu bardziej działa na spinacz? Czy magnes przyciąga skrawki papieru?
- Ⓒ Zbliżaj do siebie dwa magnesy na różne sposoby. Czy zawsze się przyciągają?
- Ⓓ Upuść długopis na podłogę. Dlaczego spada?

W doświadczeniach obserwowaliśmy oddziaływania różnych ciał na siebie. **Ciało** to dowolna rzecz, przedmiot lub organizm, na przykład: ty, balon, papier, magnes, Ziemia. Ciała oddziałują ze sobą na różne sposoby.

**Oddziaływanie** to sposób działania na siebie ciał.



W doświadczeniu ① w wyniku pocierania balon naelektryzował się i przyciąga skrawki papieru. Wystąpiło tutaj **oddziaływanie elektryczne** pomiędzy balonem a papierem. Takie samo oddziaływanie można zaobserwować pomiędzy naelektryzowanym balonem a włosami. Intensywne czesanie włosów plastikowym grzebieniem powoduje elektryzowanie włosów i grzebienia (w klasie 8 dowiesz się dokładnie, na czym to polega). W efekcie włosy są przyciągane przez zbliżony grzebień.

W doświadczeniach ② i ③ wystąpiło **oddziaływanie magnetyczne**. Magnes i spinacze przyciągają się. Dwa magnesy przyciągają się lub odpychają. Nie obserwujemy natomiast oddziaływania magnetycznego pomiędzy magnesem a papierem.

#### PRZYKŁAD 1.

Sportowiec w trakcie treningu rozciągał sprężynę przymocowaną do drabinki. Wymień występujące w tym zdarzeniu:

**a)** trzy ciała, **b)** dwie pary ciał oddziałujących ze sobą.

a) **Odp.** sportowiec, sprężyna, drabinka

b) **Odp.** sportowiec-sprężyna, sprężyna-drabinka

**ĆWICZENIE 1.** Alpinista zawisł na linie. Na szczęście lina dobrze trzymała się haka zamocowanego w skale. Wymień występujące w tym zdarzeniu:

**a)** cztery ciała, **b)** trzy pary ciał oddziałujących ze sobą.

Dzięki **oddziaływaniu grawitacyjnemu** upuszczony długopis spada (doświadczenie ④), a kubek stojący na stole jest przyciskany do blatu. Co jest źródłem tego oddziaływania? W wymienionych sytuacjach jest to Ziemia.

Bez oddziaływania grawitacyjnego nie powstałyby gwiazdy ani planety. Kosmiczny pył krążyłby w przestrzeni, „nie chcąc” się formować w takie obiekty jak nasza planeta. Nie byłoby świata takiego, jaki znamy. Pofantazjujmy o tym, co by się stało, gdybyśmy „wyłączyli” grawitację. Po podskoczeniu już nie wrócilibyśmy na powierzchnię Ziemi (bez pomocy np. linki). Zawsze musielibyśmy trzymać się Ziemi. Inaczej odlecielibyśmy — podobnie jak wypadlibyśmy z kręcącej się karuzeli, nie mogąc



Naelektryzowany balon i skrawki papieru łączą się.



Magnes i spinacze przyciągają się.







Słońce przyciąga grawitacyjnie krążącą dookoła niego Ziemię, podobnie jak zawodnik przyciąga stalową liną rozkręconą kulę.

się niczego przytrzymać — bo Ziemia wiruje wokół własnej osi jak karuzela. Po „wyłączeniu” grawitacji z Ziemi „uciekłaby” też woda i atmosfera. Na szczęście nie można „wyłączyć” grawitacji. Ziemia „nie ucieka” w kosmiczną dal, lecz porusza się dookoła Słońca, ponieważ Słońce przyciąga Ziemię. Podobnie jak zawodnik przy rzucie młotem przyciąga stalową liną kulę. Ale przecież nie ma liny między Słońcem a Ziemią. Zatem jak Słońce przyciąga Ziemię? Oczywiście odpowiedzialne jest za to oddziaływanie grawitacyjne — Słońca i Ziemi.

#### Przykłady skutków **oddziaływania grawitacyjnego**:

- upuszczone przedmioty spadają,
- Ziemia krąży dookoła Słońca.

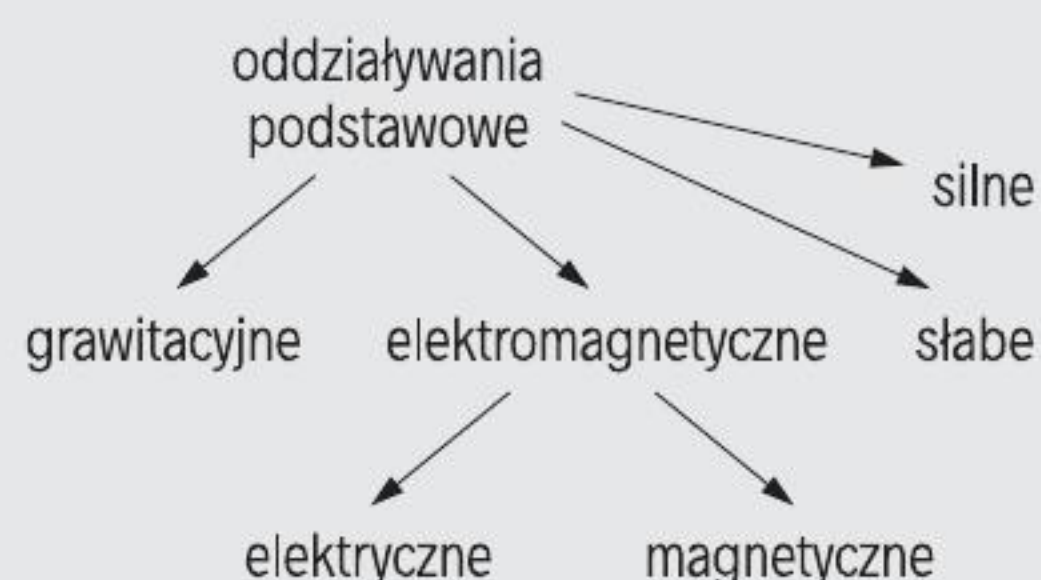
Jako źródła oddziaływania grawitacyjnego wymienialiśmy tylko bardzo duże ciała: Słońce i Ziemię. Jednak wszystkie ciała oddziałują grawitacyjnie. Ty też przyciągasz grawitacyjnie inne ciała, na przykład jabłko. Oddziaływania takie są jednak pomijalne, gdyż ich źródłem są ciała o niewielkich masach.

**Wszystkie ciała oddziałują grawitacyjnie.** Im większa masa jest źródłem takiego oddziaływania, tym jest ono silniejsze.

### Dowiedz się więcej o oddziaływaniach

Fizycy wyróżniają kilka rodzajów **oddziaływań podstawowych**, czyli takich, których nie potrafią opisać już prościej. W szkole podstawowej zajmiemy się dwoma oddziaływaniami podstawowymi: grawitacyjnym i elektromagnetycznym. Oddziaływanie elektromagnetyczne zawiera w sobie oddziaływania elektryczne i magnetyczne.

Pozostałe dwa oddziaływania podstawowe to oddziaływanie słabe (odpowiedzialne m.in. za radioaktywne rozpady beta jąder atomowych) oraz oddziaływanie silne (dzięki niemu istnieją protony i neutrony oraz mogą się z nich formować jądra atomowe).





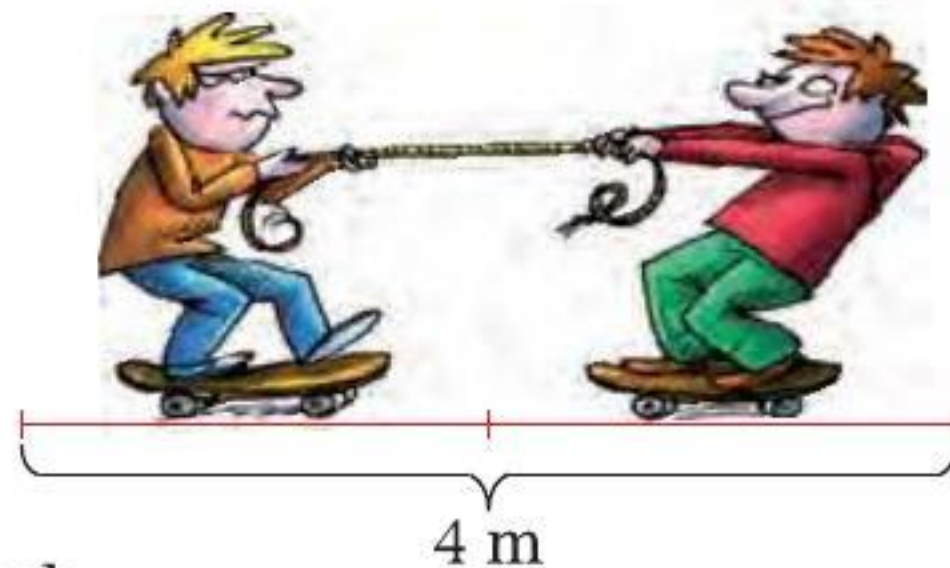
## Wzajemność oddziaływań

Potrafisz już nazwać niektóre oddziaływania, a teraz poznasz ich bardzo ważną cechę.

### Doświadczenie

### Przyciąganie na deskorolkach

- ① Przygotujcie dwie deskorolki, taśmę mierniczą, kredę i sznurek o długości około 5 m.
- ② Narysujcie kredą na równej podłodze odcinek o długości 4 m, zaznaczcie jego końce oraz środek.
- ③ Ustawcie deskorolki na końcach odcinka.
- ④ Wybierzcie dwie osoby o zbliżonych masach. Niech staną lub siądą na deskorolkach (nie opierając się o podłogę) i chwycą sznurek.
- ⑤ Niech każda z tych osób ciągnie delikatnie sznurek. W jakim punkcie odcinka spotkają się deskorolki?
- ⑥ Ustawcie deskorolki na końcach odcinka. Niech jedna osoba powoli ciągnie sznurek, druga jedynie trzyma jego koniec. Gdzie nastąpi spotkanie deskorolek?



W powyższym doświadczeniu osoby na deskorolkach oddziaływały na siebie za pomocą sznurka. Nawet jeżeli sznurek był przyciągany tylko przez jedną z nich, to druga również oddziaływała na pierwszą. W efekcie nie było różnicy, czy obie osoby przyciągały sznurek, czy tylko jedna. W obu przypadkach deskorolki spotykają się w tym samym miejscu. Gdyby osoby miały równe masy i identyczne deskorolki, spotkanie nastąpiłoby na środku odcinka bez względu na sposób przyciągania.

Oddziaływania zawsze są **wzajemne**.

Wzajemność oznacza, że **jeżeli jedno ciało działa na drugie, to drugie działa na pierwsze**. Nie da się tego uniknąć. Gdy jeden bokser uderza drugiego, to od ciosu cierpi zarówno głowa drugiego, jak i ręka pierwszego. Gdy szlifujemy drewno papierem ściernym, widzimy ślady na drewnie i na papierze, który się zużywa.

Czasami nie dostrzegamy tej wzajemności. Gdy kopniesz głaz, wydaje ci się, że cierpi głównie twoja noga, a głaz wygląda na nietknięty. Ale stopa oddziaływała na niego tak samo mocno, jak on na stopę.



### Zadanie 1. *Kot i wazon*

Wazon stał na szafce, ale po szafce przeszedł kot i otarł się o niego. Wazon spadł i stłukł się po uderzeniu w podłogę. Podaj występujące w tym zdarzeniu:

- co najmniej trzy ciała,
- co najmniej trzy pary ciał oddziałujących ze sobą.

### Zadanie 2. *Ziemia i Słońce*

Dokończ zdanie: *Ziemia jest przyciągana przez Słońce dzięki oddziaływaniu ...*

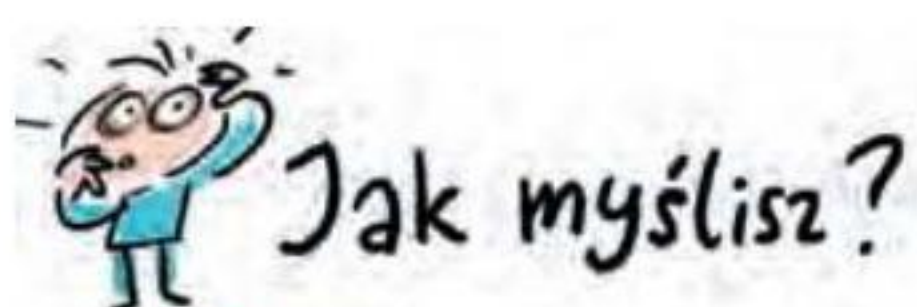
### Zadanie 3. *Cechy grawitacji*

Które stwierdzenie jest prawdziwe?

- Oddziaływanie grawitacyjne gwiazdy jest tym silniejsze, im większa jest jej masa.
- Grawitacja Ziemi nie działa na ryby, bo gdyby działała, wszystkie ryby znajdowałyby się na dnie, np. akwarium czy morza.
- Grawitacja Ziemi działa tylko na ciała znajdujące się bezpośrednio na jej powierzchni.

### Zadanie 4. *Jajka*

Wyobraź sobie, że uderzamy o siebie dwoma jajkami ugotowanymi na twardo. Dlaczego pęka przeważnie skorupka tylko jednego z nich, skoro oddziaływania są wzajemne?



- Czy gdyby Księżyc „urósł” i miał masę większą niż Ziemia, to dalej krążyłby dookoła naszej planety tak, jak obecnie?
- Jak opisać oddziaływanie? Jak je mierzyć?

### Zadanie 5. *Balony*

Mamy dwa jednakowo nadmuchane balony — żółty i niebieski. Przyciskamy żółty balon do niebieskiego. Który z balonów bardziej się odkształci? Swoją odpowiedź sprawdź doświadczalnie.

### Zadanie 6. *Rodzaje oddziaływań*

Dokończ poniższe zdania.

- Gdy magnes i spinacze się przyciągają, obserwujemy oddziaływanie ...
- Gdy potarty tkaniną balon i skrawki papieru się przyciągają, występuje oddziaływanie ...

### Zadanie 7. *Stacja kosmiczna*

Wyobraź sobie, że jesteś na stacji kosmicznej, poza zasięgiem grawitacji Ziemi. Znajdujesz się w środku dużego pomieszczenia, daleko od ścian, podłogi i sufitu — są one poza twoim zasięgiem. Możesz czekać, aż ktoś się pojawi i cię ściągnie, albo coś wymyślić. Zaproponuj, jak znaleźć się blisko ściany lub sufitu.

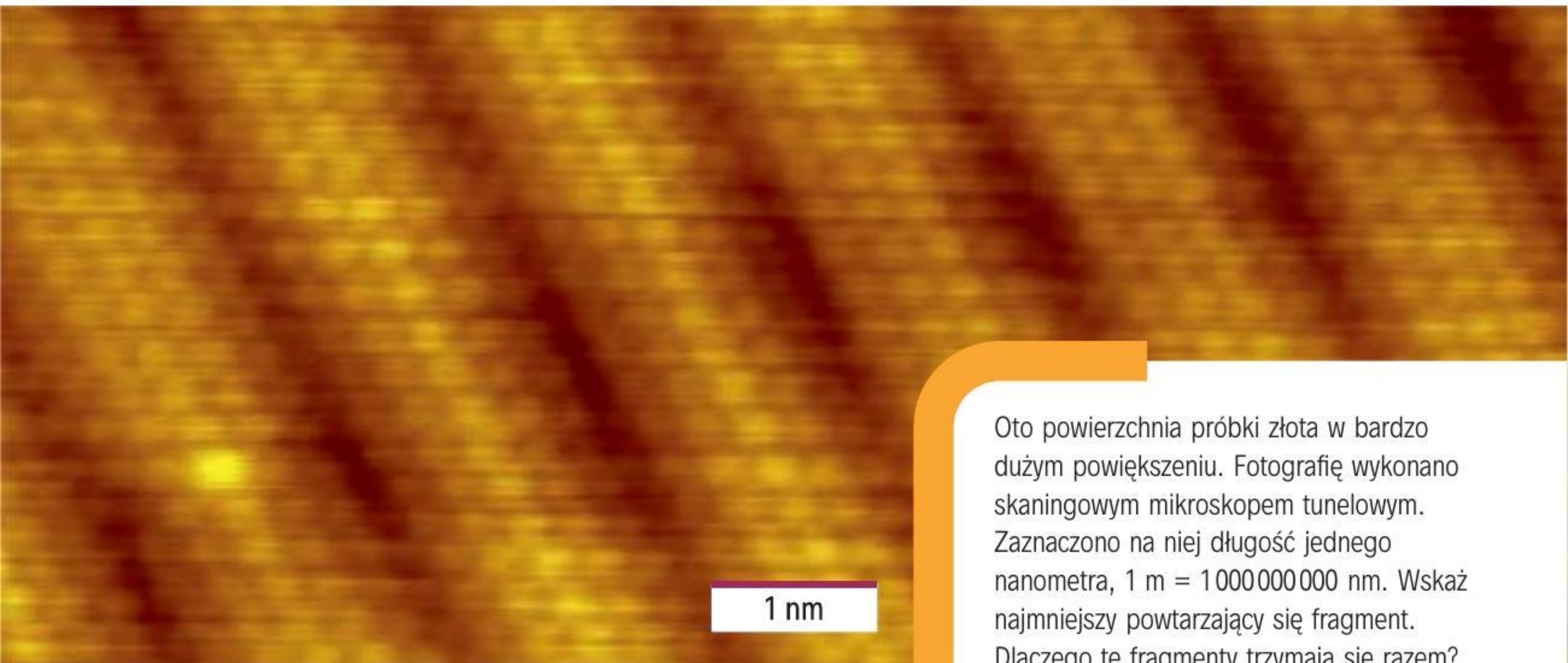
### Zadanie 8. *Butelka w kosmosie*

Jesteś w przestrzeni kosmicznej, poza zasięgiem oddziaływania grawitacyjnego. Chcesz wylać wodę z otwartej butelki, ale po jej odwróceniu woda nie wypływa. Zaproponuj, jak można pozbyć się wody:

- z butelki z elastycznego plastiku,
- ze szklanej, sztywnej butelki.



# Lekcja dodatkowa. Atomy



Oto powierzchnia próbki złota w bardzo dużym powiększeniu. Fotografie wykonano skaningowym mikroskopem tunelowym. Zaznaczono na niej długość jednego nanometra,  $1 \text{ m} = 1\,000\,000\,000 \text{ nm}$ . Wskaż najmniejszy powtarzający się fragment. Dlaczego te fragmenty trzymają się razem?

## Podstawowy budulec

Gdy jabłko leży na stole, grawitacja ściąga je w dół, do środka Ziemi. A jednak jabłko nie spada. Co sprzeciwia się grawitacji? Stół, to on zapobiega spadaniu jabłka. Przeanalizujmy to zjawisko bardziej szczegółowo.

Dzięki badaniom wiemy, że wszystkie ciała składają się z małych, kulistych obiektów — **atomów**. Jabłko i stół również. Atomy są bardzo małe. Jedno jabłko składa się z ponad  $10^{25}$  atomów (dziesięć kwadrylionów). Każdy atom składa się z jednego **jądra atomowego** oraz jednego lub więcej **elektronów**. Elektrony i jądro atomowe przyciągają się. Dzięki temu elektrony znajdują się w pobliżu jądra. Możemy to sobie wyobrazić tak, że elektrony tworzą „chmurę” wokół jądra. Na rysunku obok przedstawiono schemat atomu. Niebieska otoczka symbolizuje chmurę elektronów.

### Cel lekcji

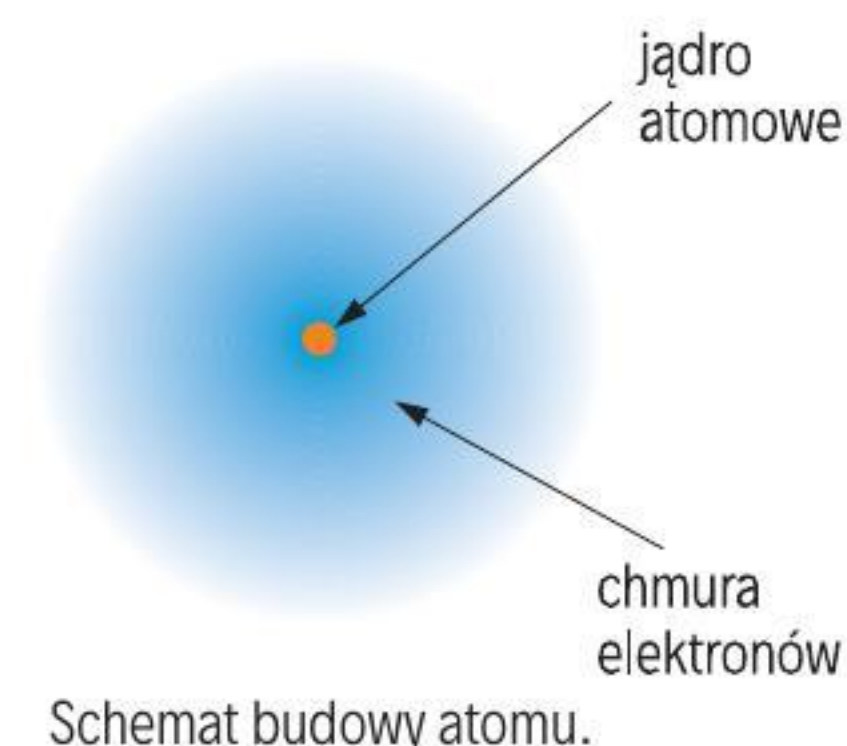
Dowiesz się, jaki jest podstawowy budulec wszystkiego, co cię otacza.

**i** Zapis  $10^{25}$  to skrócony zapis liczby  
 $1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$   
25 zer

Wszystkie ciała składają się z **atomów**.

Atom składa się z jednego **jądra atomowego** oraz jednego lub więcej **elektronów**.

Elektrony i jądro atomowe przyciągają się.





## Oddziaływanie elektryczne

Jądro atomowe utrzymuje elektrony przy sobie dzięki **oddziaływaniu elektrycznemu**. Również atomy oddziałują ze sobą elektrycznie. Stół, który jest zbiorem wielu atomów, nie rozsypuje się jak piasek, właśnie dzięki temu oddziaływaniu.

Jądro atomowe **oddziałuje elektrycznie** z elektronami. Ciała składają się z atomów, które dzięki oddziaływaniu elektrycznemu łączą się ze sobą.

### PRZYKŁAD 1.

Na ławce leży książka. Nazwij istotne w tej sytuacji oddziaływania i krótko je opisz.

**Odp.** Ziemia oddziałuje grawitacyjnie na książkę, przyciągając ją (każdy jej atom). Natomiast ławka powstrzymuje książkę przed spadaniem — atomy w powierzchni ławki oddziałują z atomami z okładki książki. Jest to oddziaływanie elektryczne.

O atomach dowiesz się znacznie więcej na lekcjach chemii. Elektronom poświęcimy sporo czasu na lekcjach fizyki w klasie 8.

Wróćmy do jabłka leżącego na stole. Atomy jabłka oddziałują elektrycznie z atomami stołu i dzięki temu jabłko nie spada. Atomy jabłka, które napierają na atomy stołu, są odpychane do góry.

Oddziaływanie elektryczne między atomami odpowiada także za sztywność przedmiotów. Błat nie załamuje się pod jabłkiem, mimo że trochę się ugina.

**ĆWICZENIE 1.** Na asfaltowym parkingu stoi samochód. Nazwij istotne w tej sytuacji oddziaływania i krótko je opisz.

### Nieśmiertelne atomy

W twoim organizmie są atomy, które powstały miliardy lat temu. Przez ten czas zmieniły „gospodarza” wiele razy. Niektóre spośród atomów, z których są zbudowane twoje zęby, mogły być 100 tysięcy lat temu w uchu mastodonta, a 10 miliardów lat temu przemierzać centrum naszej galaktyki.



## Oddziaływanie magnetyczne

Magnes przyciąga żelazny gwoździć, bo atomy w magnesie **oddziałują magnetycznie** z atomami w gwoździu. Oddziaływanie magnetyczne ciał wynika z oddziaływania magnetycznego atomów znajdujących się w tych ciałach. Siła tego oddziaływania zależy od tego, z jakich atomów składają się ciała i jak te atomy są w ciałach ustawione.

Jeśli zbliżanie magnesu do ciała nie powoduje widocznych skutków, to przyjmujemy, że oddziaływanie magnetyczne nie jest w tym przypadku istotne.

Przykłady skutków **oddziaływania magnetycznego**:

- przyciąganie lub odpychanie się dwóch magnesów,
- przyciąganie śrubki i magnesu.



Magnes i stalowe śrubki oddziałują magnetycznie.

### Czas na zadania!

#### Zadanie 1. Atom

Atom składa się:

- A. tylko z elektronów,
- B. tylko z jąder atomowych,
- C. z jądra atomowego i co najmniej jednego elektronu,
- D. z elektronu i co najmniej dwóch jąder atomowych.

#### Zadanie 2. Jabłko

Jabłko nie rozpada się na pojedyncze atomy przede wszystkim dlatego, że atomy w jabłku:

- A. oddziałują ze sobą grawitacyjnie,
- B. są uwięzione w skórce jabłka, jak piasek w worku,
- C. oddziałują ze sobą elektrycznie,
- D. nie oddziałują ze sobą.



#### Zadanie 3. Spinacze i magnes

Weritka zbliżała dwa spinacze biurowe, ale nie zaobserwowała oddziaływania między nimi. Hasto umieścił magnes przy jednym ze spinaczy, a wtedy on przysunął się do magnesu. Hasto twierdzi, że magnes oddziaływał magnetycznie na spinacz, a Weritka — że to spinacz oddziaływał magnetycznie na magnes. Kto ma rację? Jak to udowodnić eksperymentalnie?

#### Zadanie 4. Klej

Łączenie klejem dwóch kawałków drewna to wykorzystanie:

- A. oddziaływania grawitacyjnego między atomami kleju i atomami drewna,
- B. oddziaływania elektrycznego między atomami kleju i atomami drewna,
- C. oddziaływania magnetycznego między atomami dwóch kawałków drewna.



### Zadanie 5. *Atomy w jabłku*

Znajdź w tej lekcji potrzebne informacje i wybierz właściwe zakończenie zdania.

Jabłko składa się z:

- A. około 10 000 atomów
- B. mniej niż 1000 atomów
- C. około miliarda atomów
- D. ponad 1000 miliardów atomów

### Zadanie 6. *Pomidor*

Pomidor wisiał na gałązce, spadł i uderzył w ziemię. Dokończ poniższe zdania.

- a) *Spadanie pomidora jest skutkiem oddziaływania ...*
- b) *Pomidor zatrzymał się na ziemi dzięki oddziaływaniu ...*
- c) *W opisanej sytuacji nie zaszło oddziaływanie ...*

### Zadanie 7. *Dotyk*

Jakie oddziaływanie zachodzi, gdy czujesz, że czegoś dotykasz?

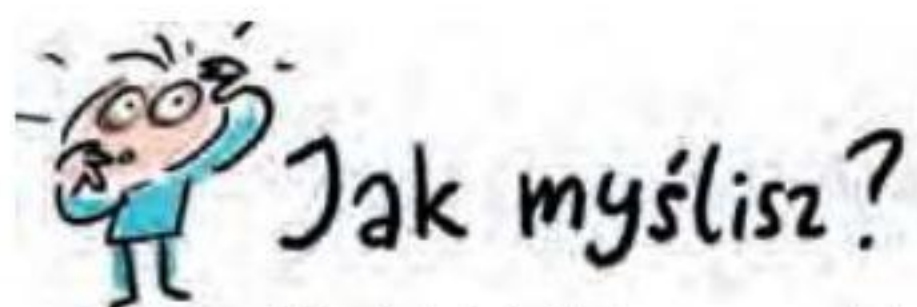
### Zadanie 8. *Hydroelektrownia*

Hydroelektrownia zaporowa wykorzystuje fakt, że woda spływa w dół, napiera na turbiny i je obraca. Uzupełnij poniższy tekst, korzystając z tych informacji.

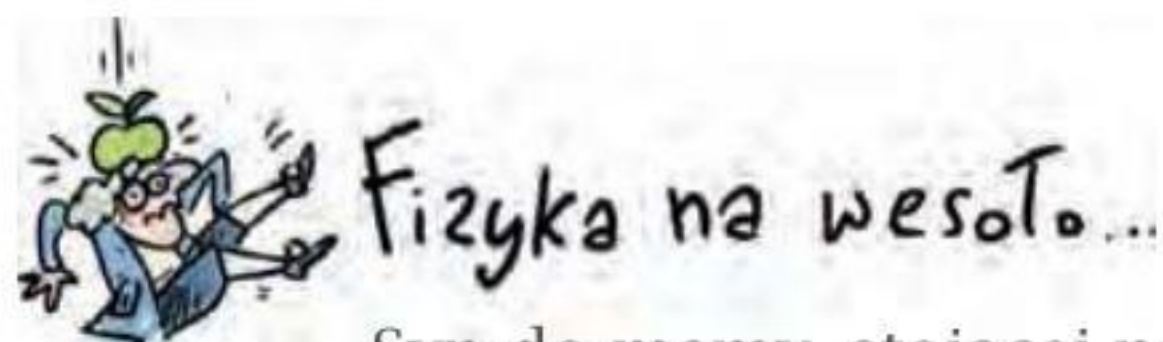
*Oddziaływanie grawitacyjne Ziemi powoduje, że woda ... Atomy, z których składa się woda, działają na atomy na powierzchniach turbin dzięki oddziaływaniu ...*

### Zadanie 9. *Świeczka*

Spalanie świeczki zachodzi dzięki temu, że spotykają się ze sobą atomy, z których składa się parafina, i atomy tlenu. Jakie oddziaływanie jest odpowiedzialne za to spalanie?



- Dzięki jakiemu oddziaływaniu most nie załamuje się pod przejeżdżającym pociągiem?
- Dzięki jakiemu oddziaływaniu dane są zapamiętywane w komputerach i smartfonach?
- Jakie oddziaływanie jest odpowiedzialne za pracę naszych mięśni?
- Skoro i w jabłku, i w stole są atomy, to dlaczego jabłko i stół nie łączą się trwale?
- Czym się różnią atomy?
- Woda i lód składają się z takich samych atomów. Co różni wodę od lodu?



Syn do mamy, stojącej nad porcelanowymi skorupami:

- Nie martw się mamo... Wiesz, w sumie niewiele się zmieniło, bo... to są nadal te same atomy!
- Tak, ale wolałam, gdy były razem i mówiliśmy na nie po prostu wazon.



# 3 Siła i jej cechy



Dlaczego ciała zawieszone na linie zwisają pionowo? Dlaczego budynki przeważnie są pionowe? Jak wyznaczyć poziom?

## Pomiar siły

Łatwo jest podnieść i utrzymać w ręku jabłko, a znacznie trudniej — głaz. Oddziaływanie Ziemi z jabłkiem jest słabsze niż z głazem. Intensywność tego oddziaływania opisujemy za pomocą **siły**. Im silniejsze jest oddziaływanie, tym większa siła mu odpowiada.

Określenia „mała siła” czy „duża siła” nie są precyzyjne. Jak długość można opisać liczbą metrów, a masę — liczbą kilogramów, tak wartość siły opisujemy liczbą **niutonów**.

**Siła** to wielkość opisująca oddziaływanie.  
Jednostką siły jest **niuton** oznaczany literą N.

## Cel lekcji 8

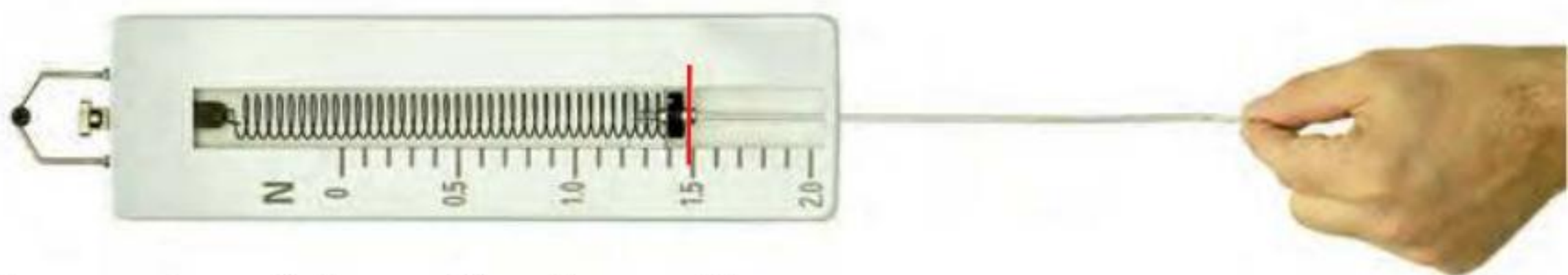
Dowiesz się, co to jest siła, jakie ma cechy i jak ją zmierzyć.

## Warto wiedzieć

Nazwa *niuton* pochodzi od nazwiska angielskiego uczonego Isaaca Newtona (czyt. ajzaaka niutona).

Do pomiaru siły służy urządzenie o nazwie **siłomierz**.

Przyjrzyj się fotografii. Z czego jest zbudowany siłomierz? Jaką wartość siły wskazuje? Jaką największą wartość siły można zmierzyć tym siłomierzem? Jaka jest niepewność pomiaru?

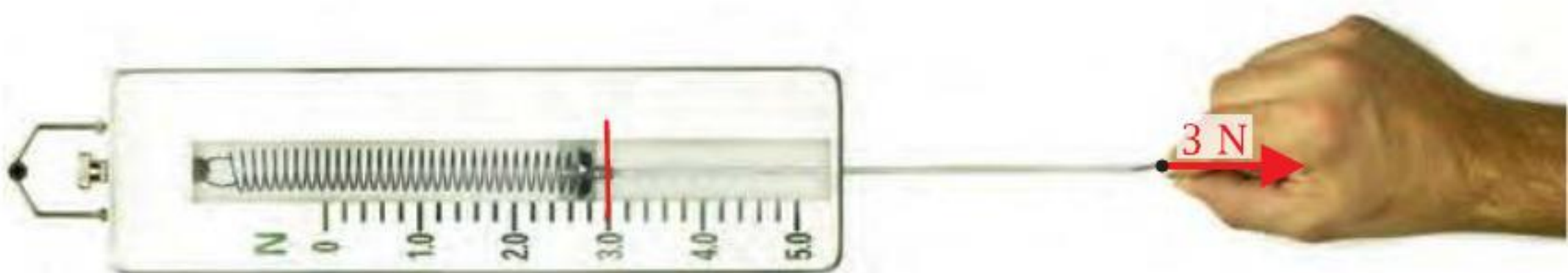




- ① Przygotuj siłomierz o zakresie przynajmniej 25 N, lekką torebkę, dwa opakowania cukru (po 1 kg).
- ② Rozciągnij siłomierz rękami tak, żeby wskazywał kolejno: 5 N, 10 N, 20 N. Które wskazanie wymagało najmniej siły, a które — najwięcej?
- ③ Zawieś na siłomierzu torebkę z 1 kg cukru. Odczytaj wskazanie siłomierza.
- ④ Umieść w torebce 2 kg cukru. Odczytaj wskazanie siłomierza.

## Siła – wielkość wektorowa

Gdy działasz na haczyk siłomierza, to jego sprężyna jest rozciągana, a urządzenie wskazuje wartość siły, którą oddziałujesz. Tę siłę można przedstawić za pomocą strzałki.



Czerwona strzałka reprezentuje siłę, którą ręka działa na haczyk siłomierza.



Czerwona strzałka to wektor siły, którą uchwyt torby działa na haczyk siłomierza.

Gdy na haczyku pionowo trzymanego siłomierza zawiesimy 1 kg cukru, to sprężyna rozciągnie się i wskaźnik zatrzyma się na około 10 N. Oznacza to, że na haczyk działa uchwyt torby z cukrem siłą:

- o wartości 10 N,
- o kierunku pionowym,
- o zwrocie w dół.

Strzałka przedstawiona na rysunku obok to **wektor**. Jego początek określa **punkt przyłożenia siły**, a koniec (grot strzałki) wskazuje **zwrot** wektora, czyli w którą stronę działa siła. Długość wektora to **wartość** tej siły. Prosta, na której leży wektor, to **kierunek** wektora.

Siła jest wektorem. Cechy wektora to:  
**wartość, kierunek, zwrot i punkt przyłożenia.**

Znasz na pewno takie wielkości, do opisu których wystarczy sama liczba — nazywamy je skalarami. **Skalar** to na przykład: długość (5 m), masa (100 kg) lub temperatura (23°C). Skalarów nie opisujemy, mówiąc, w którą stronę działają — nie miałoby to sensu.

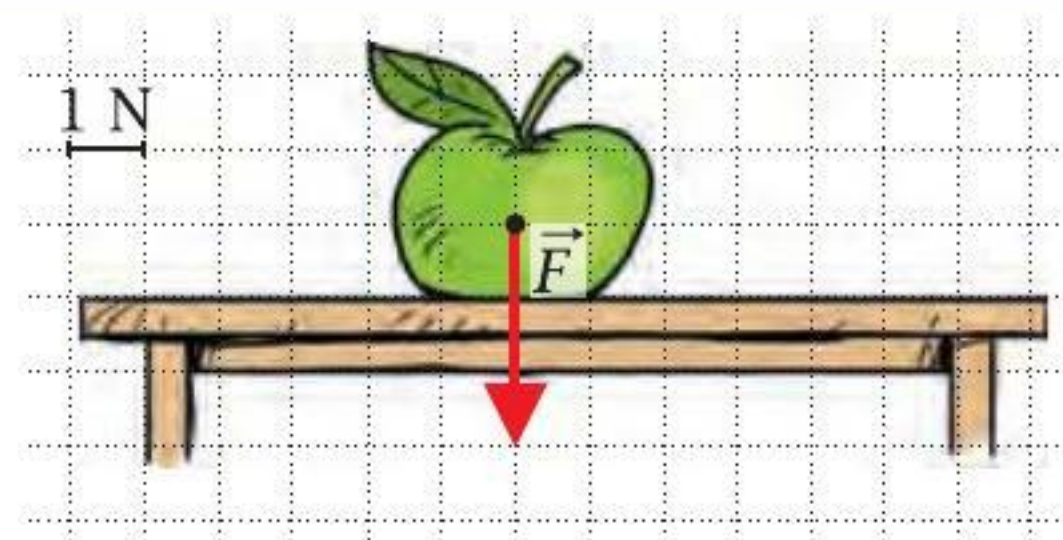


Siłę będziemy oznaczać symbolem  $\vec{F}$  od angielskiego słowa *force* (czyt. fors). Strzałka nad  $F$  oznacza, że wielkość jest wektorem. Samą wartość siły zapisujemy zawsze bez strzałki, na przykład  $F = 10\text{ N}$ , bo wartość siły jest tylko jedną z jej cech (nic nie mówi np. o kierunku).

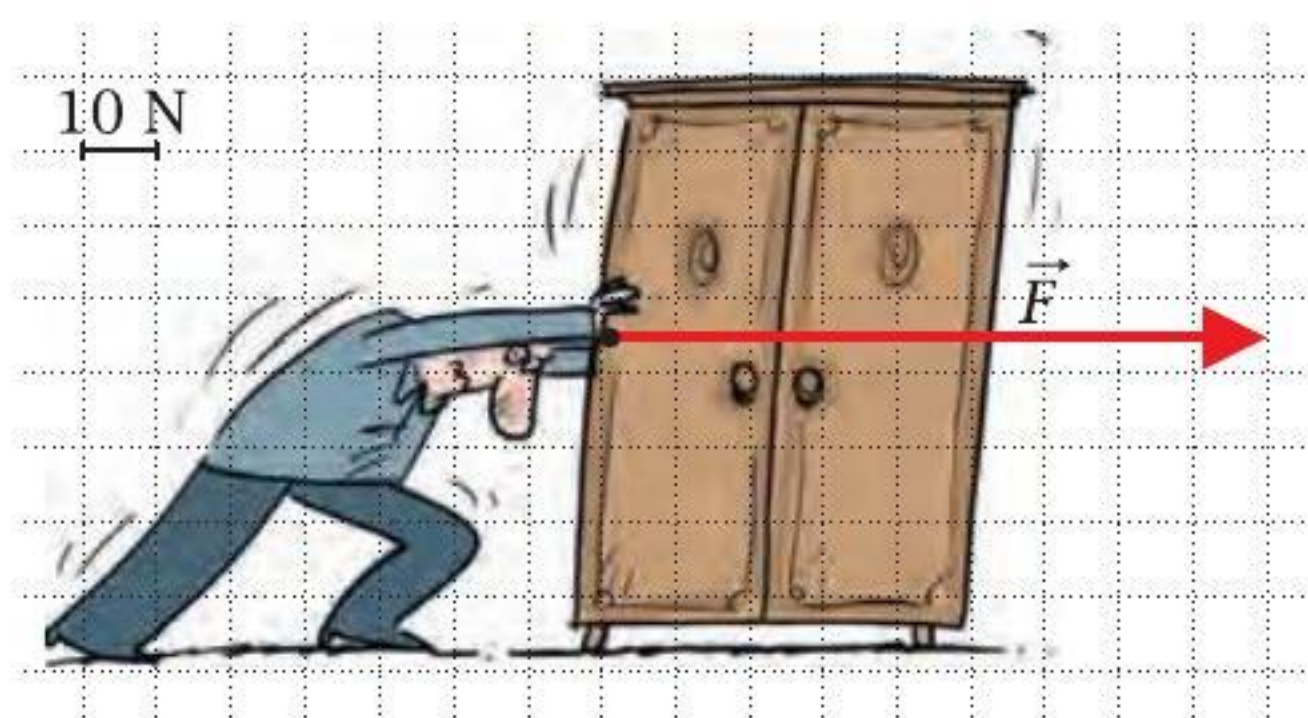
### PRZYKŁAD 1.

Określ wartość, kierunek i zwrot siły  $\vec{F}$  działającej na jabłko leżące na stole, tak jak pokazano na rysunku obok.

**Odp.** Wartość: 3 N, kierunek pionowy, zwrot w dół.



**ĆWICZENIE 1.** Pan Henryk przemeblowuje pokój. Określ wartość, kierunek i zwrot przedstawionej na rysunku siły  $\vec{F}$  działającej na szafę przesuwaną po poziomej podłodze. Zwróć uwagę na jednostkę na rysunku.



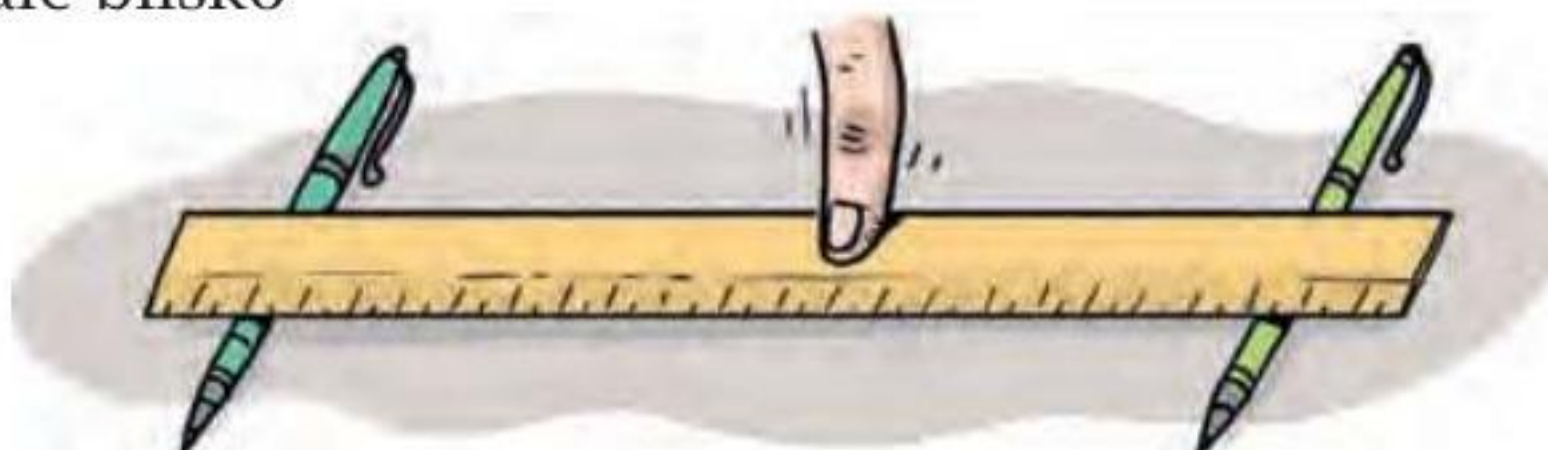
## Punkt przyłożenia siły

Sprawdźmy teraz doświadczalnie, czy faktycznie punkt przyłożenia siły ma jakieś istotne znaczenie.

### Doświadczenie

#### Gdzie lepiej przyłożyć siłę?

- ① Przygotuj plastikową linijkę o długości przynajmniej 30 cm oraz dwa długopisy.
- ② Na stole połóż długopisy, a na nich linijkę tak, jak pokazano na rysunku.
- ③ Naciśnij na środek linijki tak, aby dotknęła stołu.
- ④ Ponownie naciśnij na linijkę, ale blisko jednego z długopisów. Linijka powinna dotknąć stołu.
- ⑤ Która z sytuacji wymagała użycia większej siły?

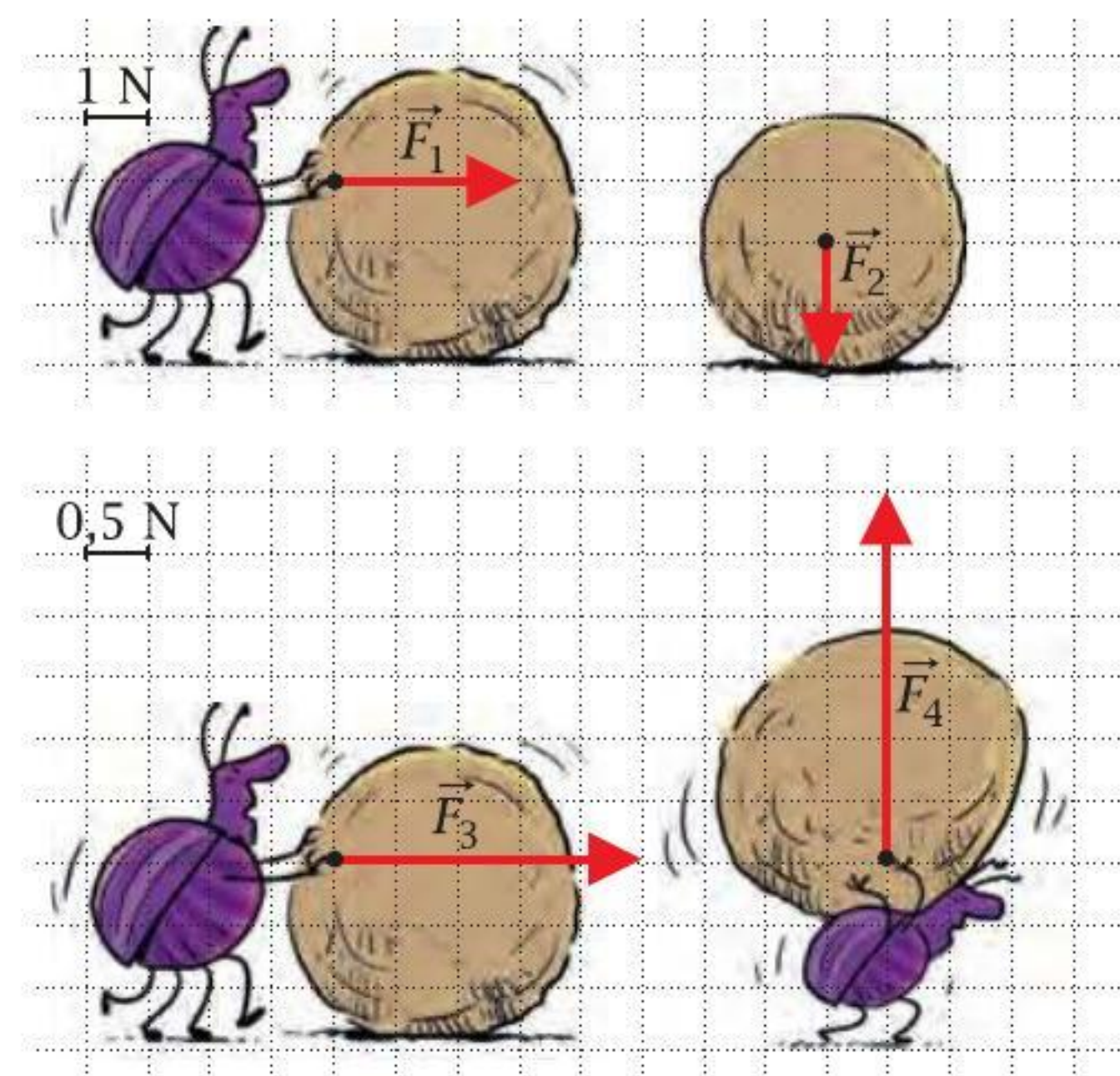


Naciskanie linijki w innym punkcie niż jej środek wymagało użycia większej siły. Oznacza to, że siły o tych samych wartościach, kierunkach i zwrotach, ale innych punktach przyłożenia mogą powodować różne skutki.



### Zadanie 1. **Wektory**

Określ wartości, kierunki i zwroty sił przedstawionych na rysunkach. Zwróć uwagę na jednostki.



### Zadanie 2. **Co poza wartością?**

Narysuj w zeszycie trzy wektory siły, wszystkie o wartości 5 N. Niech każdy ma inny kierunek. Przyjmij, że 0,5 cm na rysunku odpowiada wartości 1 N.

### Zadanie 3. **Co poza kierunkiem?**

Narysuj w zeszycie trzy wektory siły, wszystkie o takim samym kierunku. Niech każdy ma inną wartość. Przyjmij odpowiednią jednostkę. Obok każdego wektora zapisz jego wartość.

### Zadanie 4. **Cukier**

Znajdź w tej lekcji potrzebne informacje i wybierz właściwe zakończenie zdania.

Torebka z kilogramem cukru, zawieszona na haczyku siłomierza, działa na niego siłą o wartości około:

- |          |          |
|----------|----------|
| A. 0,1 N | C. 10 N  |
| B. 1 N   | D. 100 N |

### Zadanie 5. **Cechy siły**

Na lampę sufitową działa pionowa siła. Aby w pełni opisać tę siłę, należy jeszcze określić jej:

- wartość i punkt przyłożenia,
- kierunek, wartość i punkt przyłożenia,
- zwrot, wartość i punkt przyłożenia,
- kierunek i zwrot.

### Zadanie 6. **Kierunek i zwrot**

Uzupełnij poniższe zdania.

- Zawieszona na haczyku siłomierza torebka cukru działa na haczyk siłą o kierunku ... i zwrocie ...
- Gdy stoję na poziomej podłodze, to działam na nią siłą o kierunku ... i zwrocie ...
- Ciągnąc na zachód wózek za poziomą linę, działam na niego siłą o kierunku ...

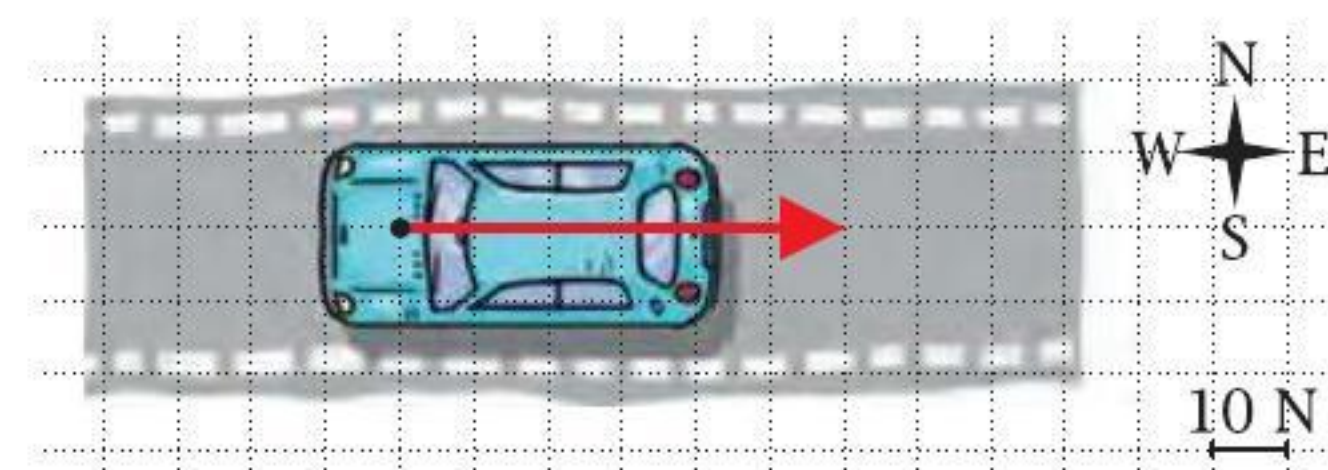
### Zadanie 7. **Niepewność**

Weritka mierzy siłę, jaką tabliczka czekolady działa na haczyk siłomierza. Na rysunku obok przedstawione jest wskazanie siłomierza. Zapisz wynik tego pomiaru wraz z niepewnością.



### Zadanie 8. **Opór aerodynamiczny**

Na jadący samochód działa powietrze siłą przedstawioną na rysunku. Określ wartość, kierunek oraz zwrot tej siły.



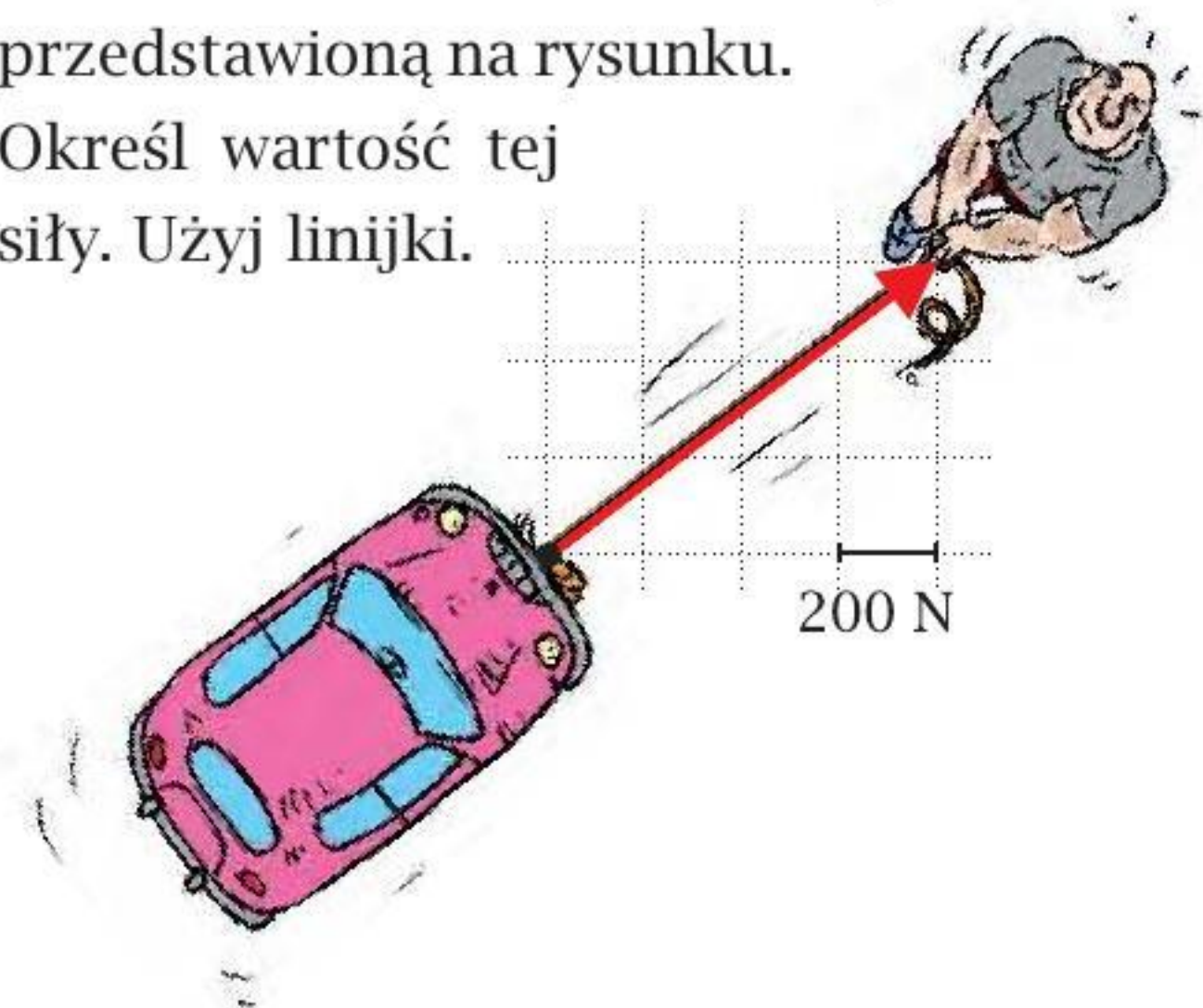


### Zadanie 9. Turbina wiatrowa

Wiatr wieje z północy na południe i działa siłą o wartości 200 N na turbinę wiatrową. Narysuj w zeszycie wektor tej siły oraz zaznacz kierunki geograficzne. Przyjmij, że 1 cm na rysunku odpowiada wartości siły 100 N.

### Zadanie 10. Lina

Lina działa na samochód siłą przedstawioną na rysunku. Określ wartość tej siły. Użyj linijki.



### Zadanie 11. Linijka

Wykonaj poniższe doświadczenia.

- Położ linijkę na wyciągniętym poziomo palcu w taki sposób, żeby utrzymała się poziomo i nie spadła. W jakim miejscu należy podeprzeć linijkę?
- Położ linijkę na dwóch wyciągniętych poziomo palcach (jednym prawej ręki, drugim lewej) tak, żeby linijka była ustawiona poziomo i żeby nie spadła. W jakich miejscach należy podeprzeć linijkę?

### Zadanie 12. Drzwi

Właściwy wybór punktu przyłożenia siły jest ważny na co dzień. Sprawdź samodzielnie, czy łatwiej jest otworzyć drzwi, popychając je małym palcem blisko zawiasów, czy tym samym palcem blisko klamki.



### Jak myślisz?

- Czy można przewidzieć, jaką wartość wskaże siłomierz, gdy zawiesimy na nim jakieś ciało? Co musielibyśmy wiedzieć o tym ciele?
- Czy niuton jest związany z innymi jednostkami takimi jak metr lub kilogram?
- Co wskazywałby na Księżycu lub na Marsie siłomierz, na którym wisi 1 kg cukru?
- Co mierzy siłomierz, na który działa inny siłomierz?
- Dlaczego wskazanie siłomierza, na którym wisi ciężarek, zmienia się, gdy machamy siłomierzem w górę i w dół?



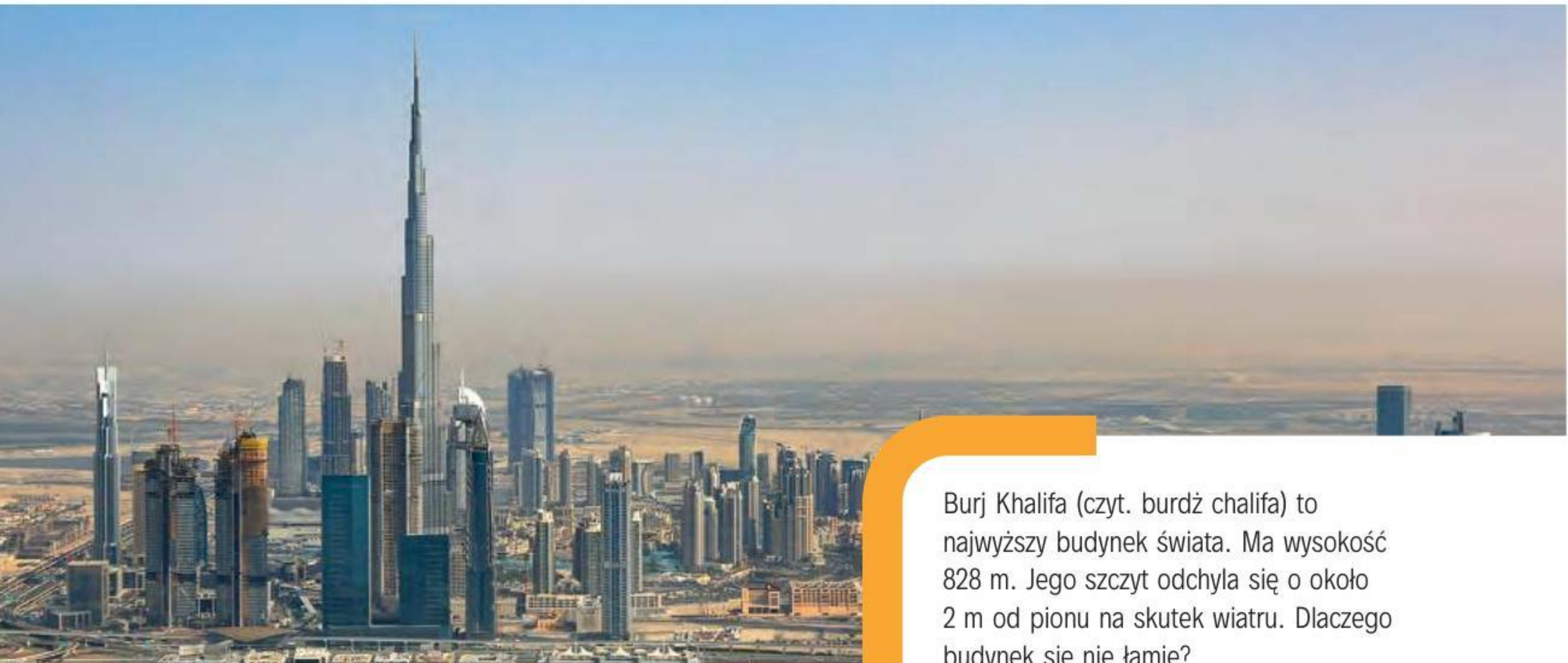
### Fizyka na wesoło...

Na lekcji fizyki.

- Z jakimi siłami rzadko mamy do czynienia na co dzień?
- Z siłami specjalnymi?
- Bardzo śmieszne, Hasto. A przy okazji, dlaczego spóźniłeś się na pierwszą lekcję?
- A to już przez siłę wyższą: autobus się zepsuł.



# 4 Rodzaje sił



Burj Khalifa (czyt. burdż chalifa) to najwyższy budynek świata. Ma wysokość 828 m. Jego szczyt odchyła się o około 2 m od pionu na skutek wiatru. Dlaczego budynek się nie łamie?

## Cel lekcji

Poznasz różne rodzaje sił oraz ich własności. Nauczysz się podawać przykłady sił w różnych sytuacjach praktycznych.

## Różne siły

Pewna siła powoduje, że kopnięta piłka spada w końcu na ziemię, a zupełnie inna, że ta piłka od ziemi się odbija. Jeszcze inny rodzaj siły sprawia, że piłka tocząca się po płaskim i równym boisku w końcu się zatrzyma. Podczas tej lekcji poznasz kilka rodzajów sił, ale wiedz, że jest ich dużo więcej.

### Doświadczenie

#### Linijka i różne siły

- ① Przygotuj plastikową linijkę o długości co najmniej 30 cm, dwa długopisy, lekki kubek i drobne przedmioty (np. monety, śrubki).
- ② Połóż linijkę na dwóch długopisach leżących na stole. Długopisy powinny znajdować się przy końcach linijki.
- ③ Postaw kubek na środku linijki. Wkładaj do niego drobne przedmioty, aż linijka dotknie blatu. Zastanów się, dlaczego linijka się ugina.
- ④ Zdejmij kubek. Dlaczego linijka wraca do swojego wcześniejszego kształtu?
- ⑤ Dociśnij palcem środek linijki do blatu. Zsuń palec tak, by linijka podskoczyła na długopisach. Dlaczego linijka podskoczyła?

Aby zrozumieć zachowanie linijki, opiszemy siły występujące w powyższym doświadczeniu.



## Siła ciężkości

Przyczyną tego, że upuszczone przedmioty spadają na Ziemię, jest siła ciężkości.

**Siła ciężkości** to siła, jaką Ziemia działa grawitacyjnie na każde ciało. Ciało nie musi dotykać Ziemi, by działała na nie siła ciężkości. Siła ta działa pionowo w dół.



Siła ciężkości działa na linijkę, długopisy, kubek, a także na blat. Na każdy z tych przedmiotów działa siła ciężkości o innej wartości, ale każda działa pionowo w dół. Początek wektora siły ciężkości (punkt przyłożenia siły) będziemy umieszczać w środku ciała, na które działa ta siła.



Siła ciężkości działa na każdy z przedmiotów.

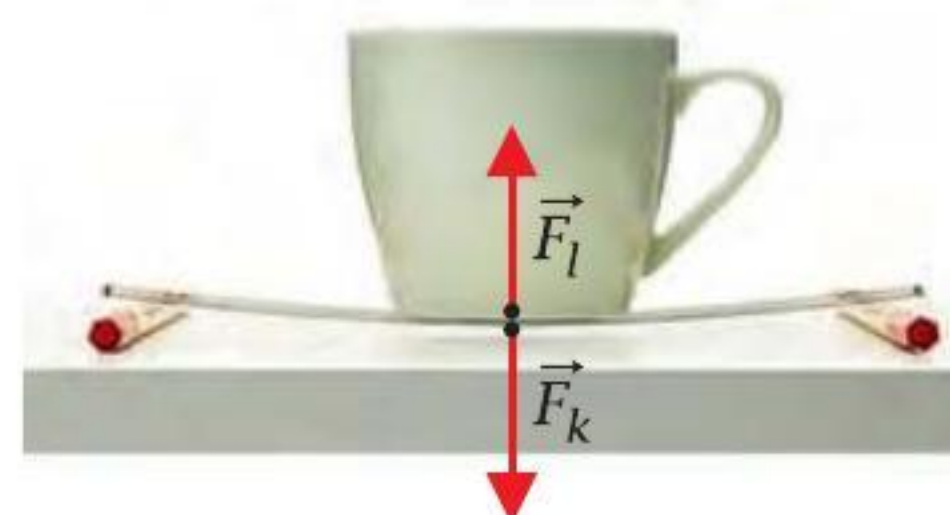
## Siła nacisku

Linijka wygięła się po postawieniu na niej kubka, ponieważ kubek naciska na linijkę.

**Siła nacisku** to siła, jaką jedno ciało naciska na drugie, gdy ciała te stykają się ze sobą.



Kubek działa na linijkę siłą nacisku, ale linijka także naciska na kubek. Możesz to zaobserwować, naciskając linijkę palcem. Poczujesz, że linijka także naciska na palec.



Kubek działa na linijkę siłą nacisku  $\vec{F}_k$  o zwrocie w dół.

Linijka działa na kubek siłą nacisku  $\vec{F}_l$  o zwrocie w górę.

## Siła sprężystości

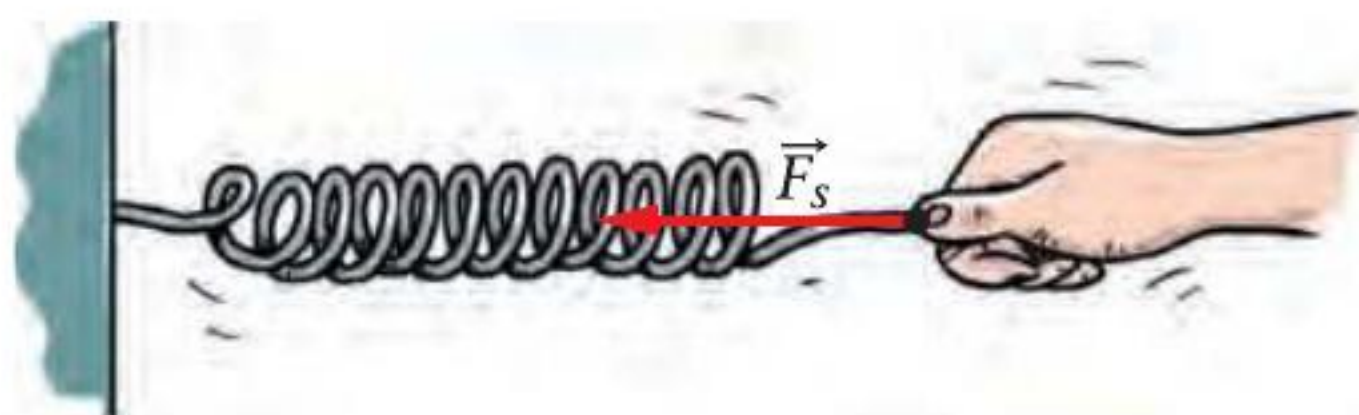
Dlaczego linijka wyprostowała się, gdy kubek został zdjęty? Odpowiedzialna jest za to siła sprężystości, która sprzeciwia się odkształcaniu. Podobnie jak „sprzeciwia się” lekko rozciągana lub ściskana sprężyna, która puszczona, powróci do swojej normalnej długości.

**Siła sprężystości** to siła, z jaką ciało sprzeciwia się odkształcaniu (rozciąganiu, ściskaniu, wyginaniu).

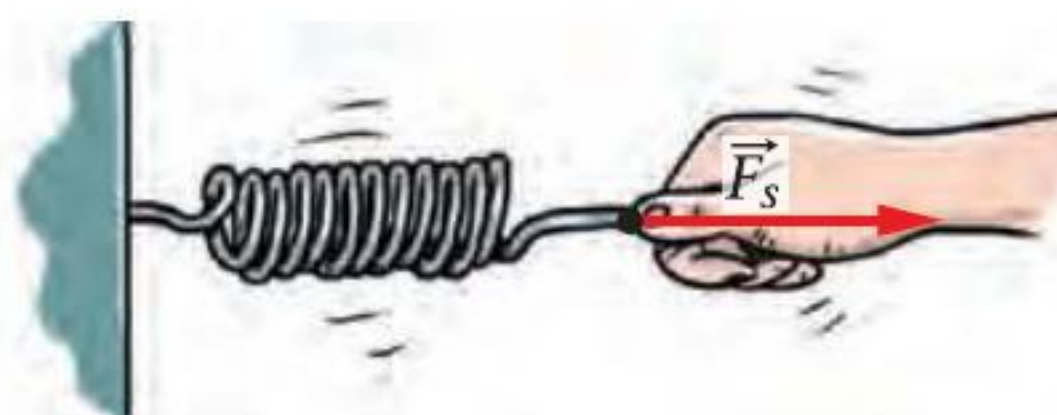




Poniżej przedstawiono siłę sprężystości  $\vec{F}_s$ , jaką sprężyna działa na rękę.



Rozciągana sprężyna ciągnie rękę w stronę ściany siłą  $\vec{F}_s$ .



Ściskana sprężyna odpycha rękę od ściany siłą  $\vec{F}_s$ .

### PRZYKŁAD 1.

Odważnik wisi na sprężynie i rozciąga ją. Określ kierunek i zwrot działającej na odważnik:

- a) siły ciężkości,
- b) siły sprężystości sprężyny (nacisku haka sprężyny na uchwyt odważnika).

a) **Odp.** kierunek pionowy, zwrot w dół

b) **Odp.** kierunek pionowy, zwrot w górę



Siła sprężystości jest często jednocześnie siłą nacisku. W omawianym doświadczeniu siła sprężystości linijki jest równa sile nacisku, którą linijka działa na kubek. Można więc powiedzieć, że linijka działa na kubek siłą nacisku zwróconą w górę. A można tę samą sytuację opisać tak: linijka działa na kubek siłą sprężystości zwróconą w górę.

**ĆWICZENIE 1.** Ciężarek stoi na pionowo ustawionej sprężynie, ściska ją. Określ kierunek i zwrot działającej na ciężarek:

- a) siły ciężkości,
- b) siły nacisku (sprężystości).

## Siła oporów ruchu

Gdy próbujemy biec zanurzeni po pas w wodzie, okazuje się to znacznie trudniejsze niż bieg po lądzie. Dlaczego? Musimy przemieszczać wodę, by się poruszać. Powietrze także utrudnia ruch, ale jego przemieszczanie jest znacznie łatwiejsze. W obu przypadkach mówimy o oporach ruchu.

Opory ruchu występują także, gdy ciała trą o siebie. Gdy ciągniesz sanki, opory ruchu wynikają głównie z tarcia płóz sanek o podłoże. Te opory mogą być większe lub mniejsze. Z pewnością zauważysz różnicę między ciągnięciem sanek po śniegu i po asfalcie.

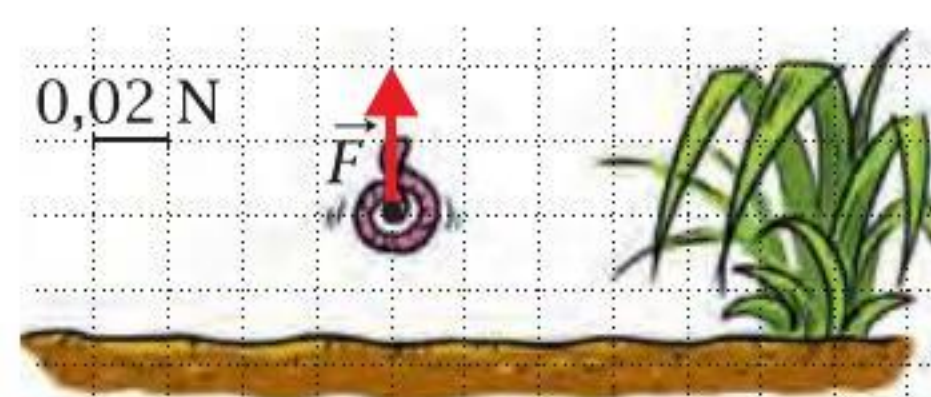
**Siła oporów ruchu** to siła, która utrudnia ruch ciała, hamuje go. Jest ona zwrócona zawsze przeciwnie do ruchu.



**PRZYKŁAD 2.**

Robak spada pionowo. Narysuj wektor siły oporu powietrza działającej na robaka. Przyjmij, że siła ta ma wartość 0,04 N.

Odp.



**ĆWICZENIE 2.** Hasto jedzie na rowerze po poziomej ścieżce, na południe. Jest bezwietrznie. Określ, jak zwrócona jest siła oporu powietrza działająca na Hasto.

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. *Złoto na stół*

Na blacie stołu leży sztabka złota.

- Co działa na stół siłą nacisku zwróconą w dół?
- Co działa na stół siłą zwróconą w górę?
- Jaka siła, inna niż siła nacisku, działa na stół?

### Zadanie 2. *Krzesło i kot*

Na krześle, stojącym na poziomej podłodze, siedzi kot.

- Na schematycznym rysunku przedstaw siły działające na krzesło. Nazwij je.
- Siedzisko krzesła lekko się ugina pod kotem. Opisz kierunek i zwrot siły sprężystości, którą siedzisko działa na kota.

### Zadanie 3. *Rodzaje sił*

Dopasuj podane rodzaje sił (A, B, C) do ich cech (1, 2, 3).

- A. Siła ciężkości    B. Siła sprężystości  
C. Siła oporów ruchu

- jest zwrócona zawsze przeciwnie do ruchu.
- działa zawsze pionowo w dół.
- to siła, z jaką ciało sprzeciwia się odkształcaniu.

### Zadanie 4. *Hamulce rowerowe*

Podczas hamowania metalowe szczęki hamulcowe roweru dociskają gumowe klocki do obręczy koła. Mocniejsze dociskanie gumowych klocków do obręczy koła ma na celu:

- zwiększenie wartości siły ciężkości działającej na koło,
- zmianę zwrotu siły ciężkości działającej na koło,
- zwiększenie wartości siły oporów ruchu działającej na koło,
- zmniejszenie wartości siły sprężystości, którą obręcz działa na klocki.

### Zadanie 5. *Proca w marynarce*

Na zdjęciu widać procę, używaną do przetrzucia lin między statkami. Na jakie ciała działa siłą sprężystości rozciągnięta guma procy?





### Zadanie 6. Zrzut

Spadochron wykorzystuje siłę oporu. Spadochroniarz spada pionowo w dół. Na rysunku zaznaczono dwie siły:  $\vec{F}_1$  oraz  $\vec{F}_2$ .



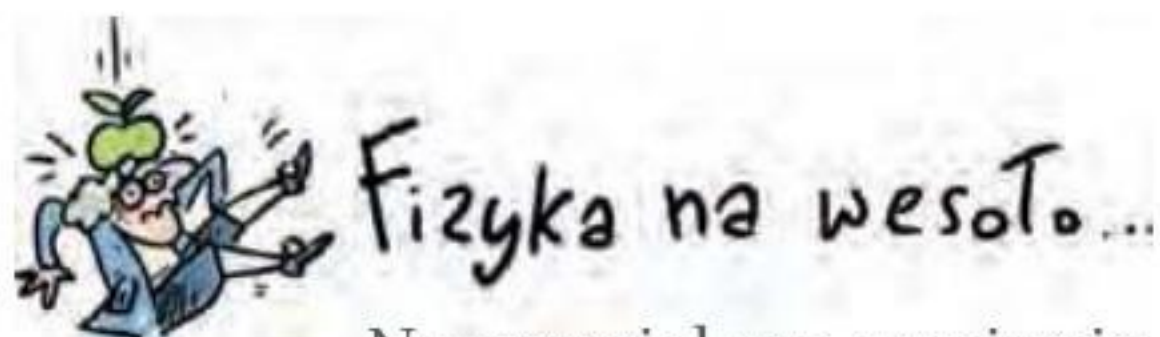
- Która z tych sił jest siłą ciężkości, a która siłą oporu ruchu?
- Co działa na spadochron siłą oporu?
-  Jaki powinien być spadochron, by spadochroniarz spadał jak najwolniej? Sformułuj hipotezę i zaproponuj, jak można ją eksperymentalnie sprawdzić.

### Zadanie 7. Trampolina

Stojąc na trampolinie, Weritka stwierdziła: *Trampolina działa na mnie siłą nacisku*. Hasto powiedział: *Trampolina działa na ciebie siłą sprężystości*! Kto z nich ma rację? Odpowiedź uzasadnij.



- Czy można zepsuć sprężynę?
- Jak się zwiększa wartość siły sprężystości przy rozciąganiu sprężyny?
- Czy można pozbyć się oporów ruchu?
- Jak siła ciężkości kubka stojącego na blacie jest związana z siłą nacisku blatu na kubek?



Nauczyciel ma wrażenie, że nadzwyczaj jasno przedstawił temat uczniom. Zadowolony z siebie kończy przemowę:

— Podsumowując: Praktycznie zawsze są jakieś opory ruchu. Z naciskiem na „praktycznie”... Na dziś to tyle! Czy są pytania?

Jeden z uczniów nieśmiało podnosi rękę.

— Co to jest *znacisk* i czym są *totyle*?

### Zadanie 8. Jak mucha w smole

Przemieszczanie ręki w powietrzu jest łatwe, a w wodzie — trudniejsze.

- Określ kierunek i zwrot siły oporu ruchu działającej na rękę, jeśli przemieszczamy ją w powietrzu poziomo w prawo przy bezwietrznej pogodzie.
- Wymień dwie substancje (inne niż woda), w których przemieszczanie ręki będzie trudniejsze niż w powietrzu.

### Zadanie 9. Łuk

Łuk składa się ze sprężystego pręta (łęczyska) oraz napinającej go linki (cięciwy).

- Wyjaśnij, w jaki sposób z łuku można strzelać strzałami. Postaraj się użyć nazw sił poznanych podczas tej lekcji.
- Co działa siłami oporów na strzałę podczas jej wystrzelania i w trakcie lotu?







### Łapacz gruntowy

Na końcu pasa startowego na lotniskach często znajduje się łapacz gruntowy. Jest to podłoże z kruchego betonu lub spulchnionej ziemi. Samolot, który nie zmieści się podczas lądowania na pasie, dosyć szybko hamuje na łapaczu. Dzieje się tak, ponieważ koła samolotu grzęzną w łapaczu. Wtedy na koła działają znacznie większe siły oporów niż na pasie do lądowania.



### Spadochroniarz

Czy wiesz, że skoczek spadochronowy spadający w pozycji „na brzuchu”, może się rozpędzić jedynie do prędkości około  $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ? Przy tej prędkości opór powietrza jest już tak duży, że skoczek przestaje przyspieszać. Żuk, spadając ze złożonymi skrzydłami nie jest w stanie rozpędzić się do takich prędkości. Dlaczego?



### Spadochron hamujący

Niektóre specjalistyczne samoloty, żeby zmniejszyć swoją prędkość podczas lądowania, korzystają ze spadochronu hamującego. Zwiększa to opór powietrza i pozwala szybciej wyhamować.





# 5 Równoważenie się sił



Jakie powinny być szczęki nożyc, żeby mogły przeciąć ogniwo łańcucha?  
Co można powiedzieć o wartościach sił, którymi szczęki działają na ogniwo?  
Jak są zwrócone te siły? Jakimi siłami działają ręce na uchwyty nożyc?

## Cel lekcji 8

Dowiesz się, co to jest siła wypadkowa oraz jakie siły działają na spoczywające ciało.

## Siła wypadkowa

Na szafę napierają Hasto i Weritka. Efekt ich działania jest taki sam, jak w wypadku siłacza.

Siła wypadkowa:

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ F &= 100 \text{ N} + 150 \text{ N} = \\ &= 250 \text{ N} \end{aligned}$$



Jeśli na ciało działa kilka sił, to taki sam efekt można osiągnąć, działając na to ciało tylko jedną siłą. Tę siłę nazywamy **siłą wypadkową** lub **wypadkową siłą**.

Tym razem na szafę napiera dwóch siłaczy, ale siły te są zwrócone przeciwnie. Aby znaleźć wartość wypadkowej dwóch sił o przeciwnych zwrotach, od większej z wartości tych sił odejmujemy mniejszą. Siła wypadkowa ma ten sam zwrot, co większa z sił.

Siła wypadkowa:

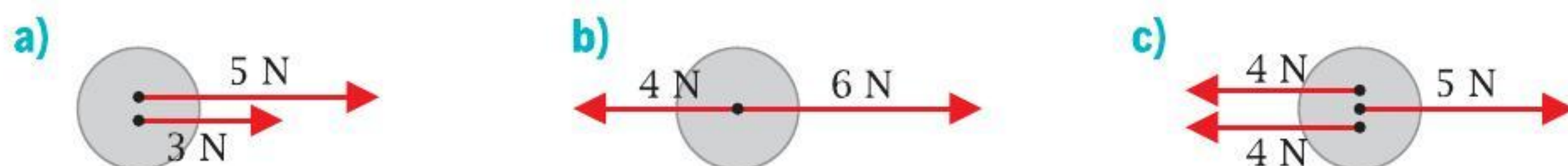
$$\begin{aligned} F &= F_1 - F_2 \\ F &= 350 \text{ N} - 250 \text{ N} = \\ &= 100 \text{ N} \end{aligned}$$





**PRZYKŁAD 1.**

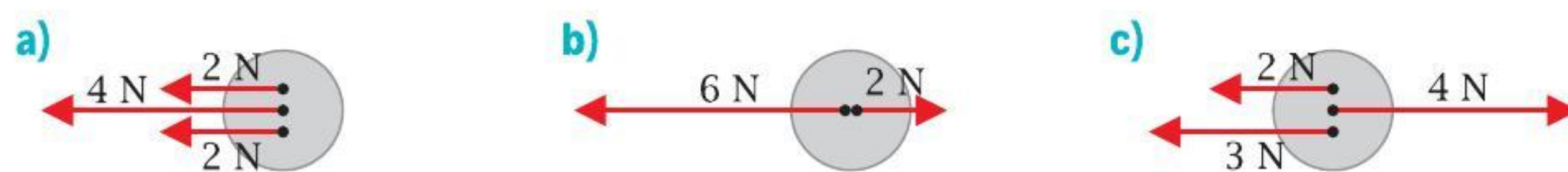
Wyznacz wartość wypadkowej sił działających na ciało. Określ jej kierunek i zwrot.



**Rozwiązanie:**

- |                                                            |                                 |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| a) $F = 5\text{ N} + 3\text{ N} = 8\text{ N}$              | kierunek poziomy, zwrot w prawo |
| b) $F = 6\text{ N} - 4\text{ N} = 2\text{ N}$              | kierunek poziomy, zwrot w prawo |
| c) $F = 4\text{ N} + 4\text{ N} - 5\text{ N} = 3\text{ N}$ | kierunek poziomy, zwrot w lewo  |

**ĆWICZENIE 1.** Wyznacz wartość wypadkowej sił działających na ciało. Określ jej kierunek i zwrot.



## Siły działające na nieruchome ciało

Gdy usiłujesz pchać olbrzymi kamień, może się okazać, że kamień się nie poruszy. Ale przecież działasz na niego siłą. Zbadajmy siły działające na nieruchome ciała.

### Doświadczenie

#### Która siła ma większą wartość?

- ① Dobierzcie się w pary. Niech każda para przygotuje dwa siłomierze o takich samych zakresach oraz klocek z haczykami umieszczonymi po jego przeciwnych stronach.
- ② Za haczyki zaczepcie siłomierze.
- ③ Niech jedna osoba ciągnie siłomierzem klocek w jedną stronę, a druga — w przeciwną. Starajcie się, by klocek się nie poruszał.
- ④ Obserwujcie wskazania siłomierzy. Jaką wartość wskazuje drugi siłomierz, gdy pierwszy wskazuje 1 N? A gdy pierwszy siłomierz wskazuje 5 N?
- ⑤ Sformułujcie hipotezę o siłach działających na nieruchome ciało.

Jeśli na klocek działają dwa siłomierze tak, że się nie porusza, to wypadkowa sił działających na klocek jest równa 0 N. Można powiedzieć, że te siły „się kasują”. Jedna siła działa dokładnie przeciwnie do drugiej. Mówimy, że takie siły **się równoważą**.





Siły  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  równoważą się. Tę sytuację można opisać także następująco:

- Siła  $\vec{F}_2$  równoważy siłę  $\vec{F}_1$ .
- Siła  $\vec{F}_2$  jest siłą równoważącą siłę  $\vec{F}_1$ .

Dwie siły równoważące się mają:

- ten sam kierunek (działają wzdłuż tej samej prostej),
- przeciwne zwroty,
- równe wartości.

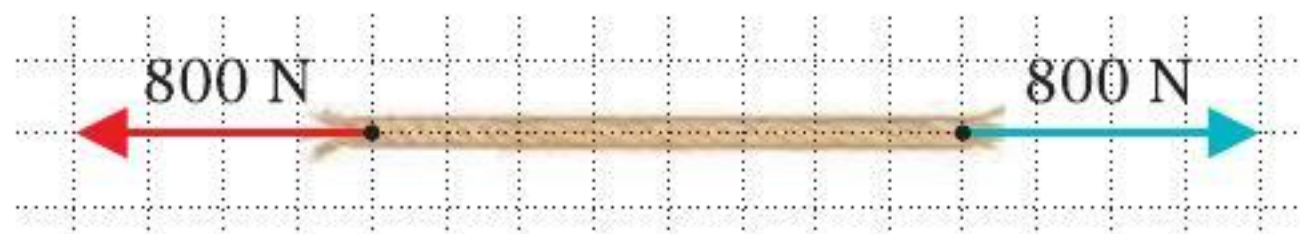
Jeśli ciało się nie porusza, to siły działające na to ciało **równoważą się**, czyli ich wypadkowa ma wartość 0 N.

Jeżeli siły  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  się równoważą, to mają takie same wartości,  $F_1 = F_2$  (zwróć uwagę na brak strzałek nad symbolami). Zauważ, że siła  $\vec{F}_1$  jest jednak różna od siły  $\vec{F}_2$ , ponieważ mają one przeciwne zwroty. Pamiętaj, że wektory sił o tych samych wartościach muszą mieć na rysunkach tę samą długość.

### PRZYKŁAD 2.

Dwóch zawodników przeciąga linę. Jeden z nich ciągnie linę w lewo, poziomą siłą o wartości 800 N. Mimo to lina jest nieruchoma. Wykonaj schematyczny rysunek i zaznacz wektory sił, jakimi na linę działają zawodnicy. Określ kierunki, zwroty i wartości tych sił.

**Odp.** Lina się nie porusza, więc działające na nią siły równoważą się. Zawodnicy działają na linę siłami poziomymi, jeden w lewo, drugi w prawo. Obie siły mają wartość 800 N.



**ĆWICZENIE 2.** Alpinista wisi nieruchomo na pionowej linie. Na alpinistę działa siła ciężkości o wartości 880 N.

**a)** Narysuj w zeszycie wektory sił działających na alpinistę (oznacz go kropką).

**b)** Określ, jak jest zwrócona siła, którą lina działa na alpinistę, i zapisz wartość tej siły.



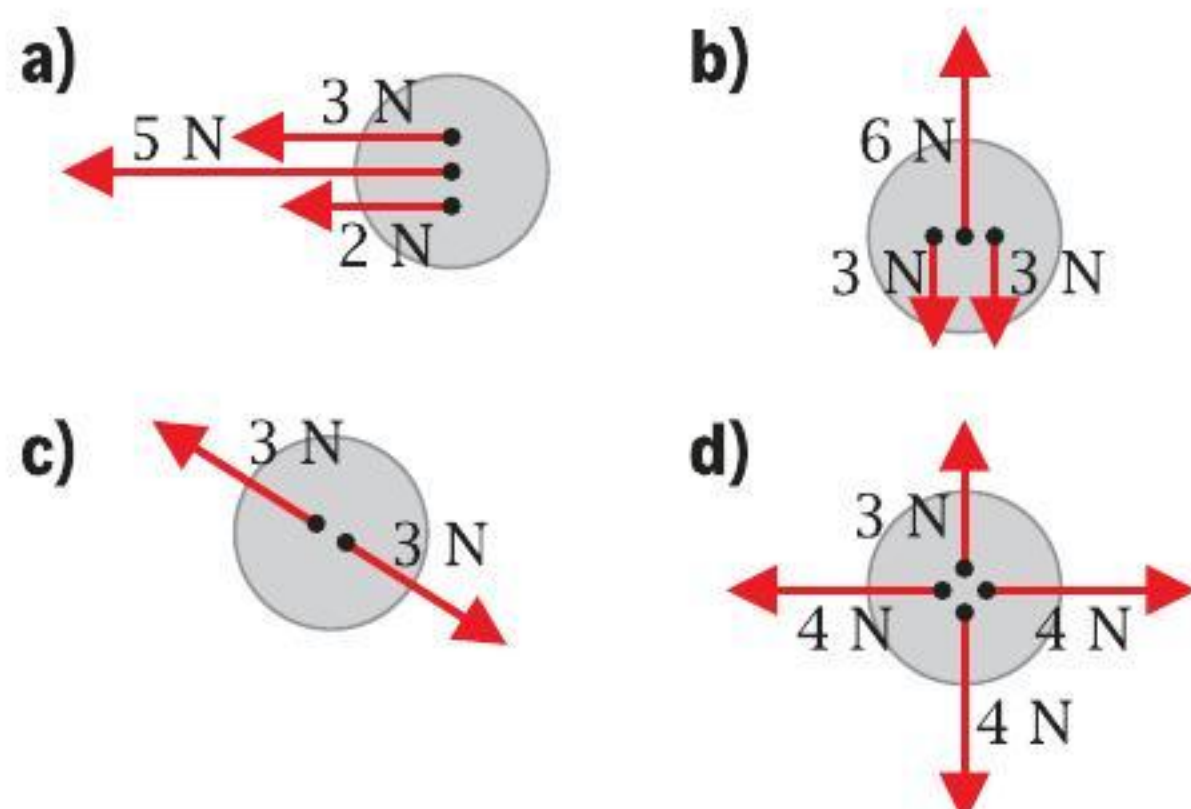
Jeśli ciało się nie porusza, to siły działające na to ciało równoważą się wzdłuż każdej prostej (każdego kierunku). Dotyczy to sił działających poziomo, pionowo oraz w każdym innym kierunku.



## Czas na zadania!

### Zadanie 1. Siła wypadkowa

Wyznacz wartość wypadkowej sił działających na ciało. Określ jej kierunek i zwrot.



### Zadanie 2. Torba

Na pustą torbę działała siła ciężkości o wartości 10 N. Do torby włożono arbuza, który działa na nią siłą o wartości 50 N zwróconą pionowo w dół. Hasto działa na torbę siłą zwróconą pionowo w górę o wartości 40 N. Określ wartość i zwrot wypadkowej sił działających na torbę.

### Zadanie 3. Skrzynia

Na nieruchomą skrzynię, stojącą na poziomej podłodze, działa siła ciężkości o wartości 220 N.

- Narysuj wektory sił działających na skrzynię. Skrzynię przedstaw za pomocą kropki.
- Zapisz wartość i nazwę siły, która równoważy siłę ciężkości.

### Zadanie 4. Dwuosobowa drużyna

Dwie drużyny przeciągają linę. Pierwsza drużyna składa się z dwóch zawodników, z których każdy ciągnie linę w lewo z siłą o wartości 600 N. Lina jest nieruchoma. Określ, jak jest zwrócona siła, którą na linę działa druga drużyna. Oblicz wartość tej siły.

### Zadanie 5. Flaming

Na unoszącego się na wodzie dmuchanego flaminga działają następujące siły zwrócone pionowo w dół:

- siła ciężkości flaminga o wartości 30 N,
- siła nacisku o wartości 400 N wywierana przez dziewczynkę siedzącą nieruchomo na flamingu (siła ta wynika z tego, że na dziewczynkę działa siła ciężkości).

- Narysuj wektory sił działających na nieruchomego flaminga. Flaminga przedstaw za pomocą kropki.
- Określ zwrot siły, którą na nieruchomego flaminga działa woda.
- Oblicz wartość tej siły.

### Zadanie 6. Insuknawr

Insuknawr (czyt. insuknor) to dwuosobowa gra znana w północno-wschodnich Indiach. Gracze trzymają drąg i starają się wypchnąć przeciwnika z zakreślonego na ziemi kręgu (zob. fotografia).

- Zawodnik po lewej napiera na nieruchomy drąg w prawą stronę siłą o wartości 800 N. Określ wartość siły zwróconej w lewo, którą na drąg działa drugi zawodnik.
- Na drąg działa siła ciężkości o wartości 90 N. Określ zwrot i wartość pionowej siły, którą zawodnicy wspólnie działają na nieruchomy drąg.





### Zadanie 7. Krzesło

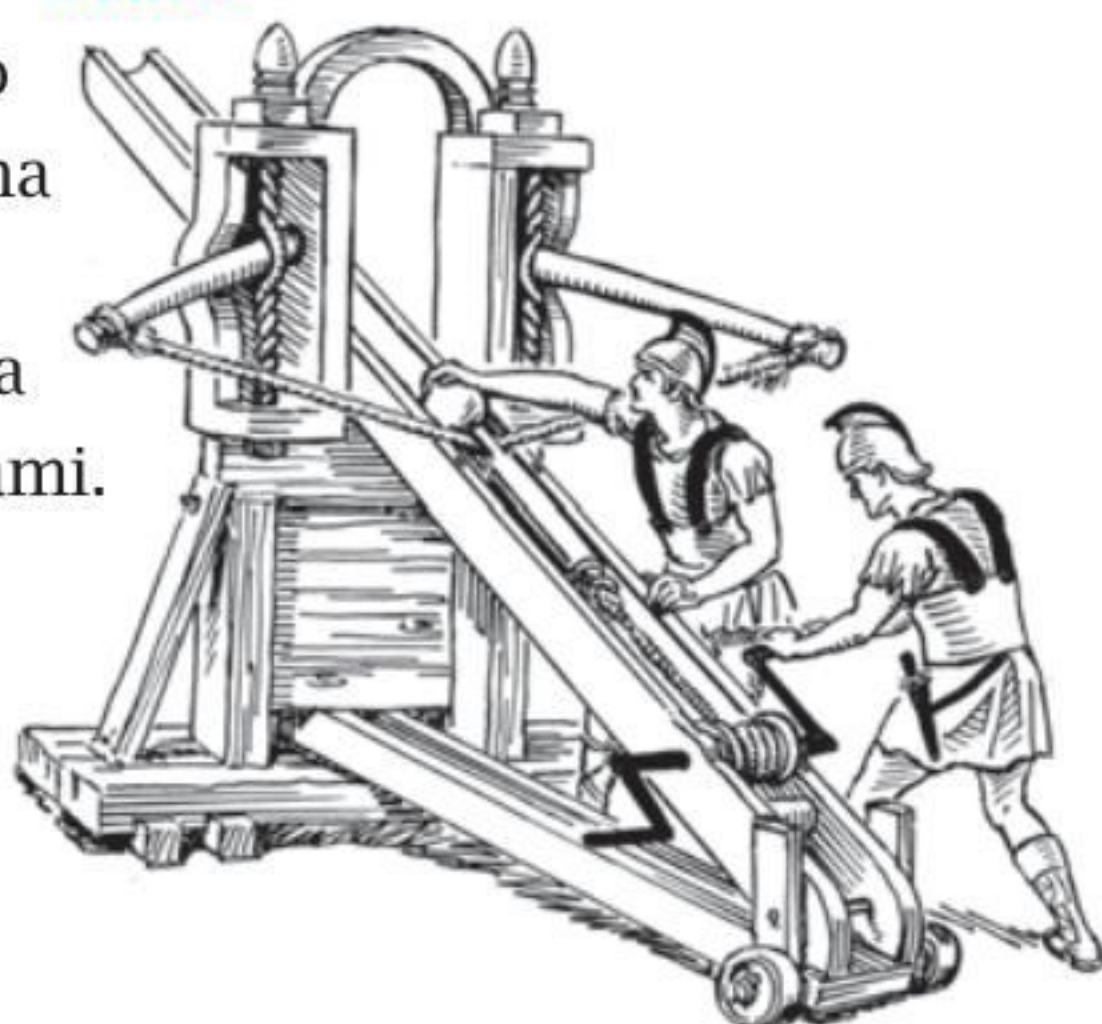
Na nieruchome, stojące na poziomej podłodze krzesło działają następujące siły zwrócone w dół:

- siła ciężkości krzesła o wartości  $120\text{ N}$ ,
- siła nacisku o wartości  $500\text{ N}$  wywierana przez siedzącą na krześle Weritkę (siła ta wynika z tego, że na Weritkę działa siła ciężkości).

Określ zwrot siły, którą na krzesło działa podłoga. Oblicz wartość tej siły.

### Zadanie 8. Balista

Balista to starożytna maszyna miotająca kamieniami.



Na rysunku widać koryto, wzdłuż którego porusza się tłok. O górny koniec tłoka opiera się kamień. Przez tłok jest przewleczona częściowo napięta cięciwa balisty. Z drugiej strony tłok jest ciągnięty przez linę nawiniętą na szpulę.

Wzdłuż koryta na nieruchomy tłok balisty działa:

- kamień — siłą o wartości  $100\text{ N}$  i zwrocie w dół koryta,
- cięciwa — siłą o wartości  $3200\text{ N}$  i zwrocie w górę koryta.

Pomiń siłę ciężkości działającą na tłok oraz siły oporów wynikające z tarcia tłoka o koryto.

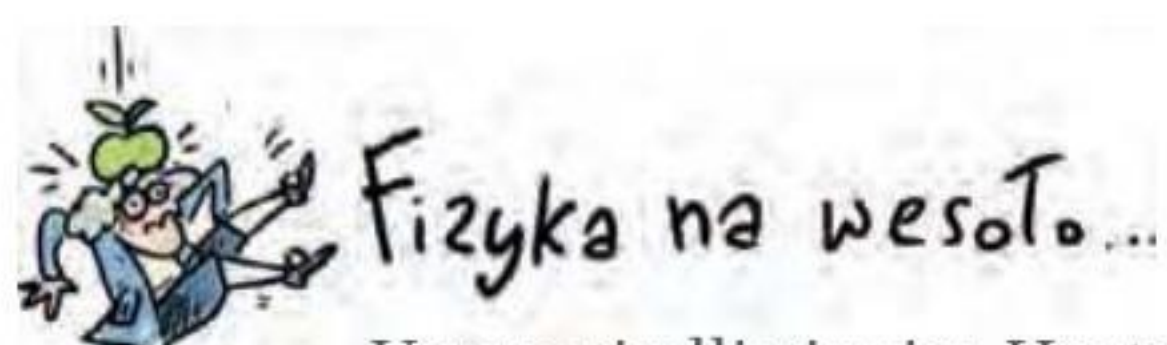
- Określ zwrot siły, jaką na tłok działa lina nawinięta na szpulę.
- Oblicz wartość tej siły.

**i** Wskazówka. Wartości sił działających w dół koryta zapisz po jednej stronie równania (w tym szukaną wartość), a wartość siły działającej w górę koryta — po drugiej.



### Jak myślisz?

- Jak sprawdzić, czy siły działające na ciało wzdłuż tej samej prostej i o tym samym zwrocie można zastąpić jedną siłą o wartości równej sumie wartości tych dwóch sił?
- Czy na wiszący na siłomierzu ciężarek działa tylko siła ciężkości i hak siłomierza? A jak by było, gdyby ciężarek umieścić w wodzie?
- Jeśli działasz pewną siłą na krzesło, to jaką siłą krzesło działa na ciebie?
- Co się dzieje z ciałem, gdy działają na nie dwie siły o tych samych wartościach, w przeciwne strony, ale nie wzdłuż tej samej prostej?



### Fizyka na wesoło...

Usprawiedliwienie: *Hasto był wczoraj nieobecny w szkole, bo twierdził, że w ramach pracy domowej musiał sprawdzić, czy działająca na niego siła ciężkości jest dokładnie równoważona przez kanapę, na której leżał. Potrzebował całego dnia, aby w to uwierzyć.*



# 6 Zasada akcji i reakcji



Jakie są skutki zderzenia auta ze ścianą? Czy ściana działa na auto większą siłą niż auto na ścianę? Dlaczego przeprowadza się takie doświadczenia?

## Ty działasz na mnie, ja działam na ciebie

Wiesz już, że wszystkie **oddziaływania są wzajemne**. Naciskanie palcem guzika w windzie oznacza, że guzik także naciska na palec. Podczas szurania krzesłem po dywanie ścierają się zarówno nogi krzesła jak i dywan. Tej wzajemności nie da się uniknąć. Podczas tej lekcji zbadamy to zjawisko dokładniej.

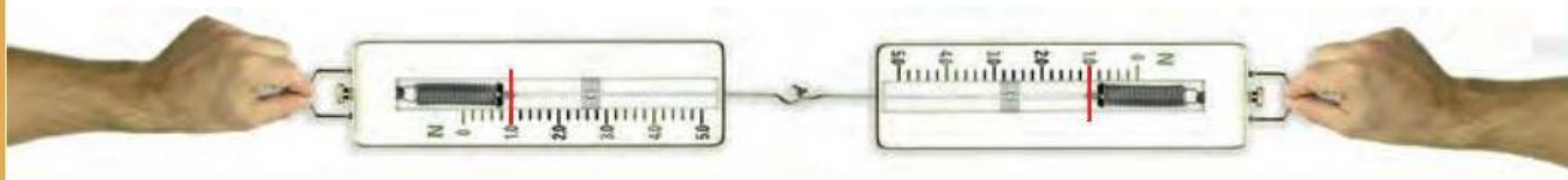
### Cel lekcji 8

Poznasz zasadę akcji i reakcji, czyli trzecią zasadę dynamiki Newtona.

#### Doświadczenie

#### Która siła ma większą wartość?

- ① W parach przygotujcie dwa siłomierze o takich samych zakresach (np. 20 N).
- ② Zaczepcie je o siebie haczykami. Niech każda osoba chwyci jeden siłomierz.
- ③ Rozciągajcie siłomierze powoli w przeciwnie strony, zatrzymując się co pewien czas. Przy każdym zatrzymaniu obserwujcie i notujcie wskazania siłomierzy.
- ④ Następnie trzymajcie jeden siłomierz nieruchomo, a drugi ciągnijcie. Ponownie zatrzymujcie się co pewien czas i notujcie wskazania siłomierzy.
- ⑤ Określcie zwrot i wartość siły, którą siłomierz pierwszy działa na drugi. Jaki jest zwrot i wartość siły, którą siłomierz drugi działa na pierwszy?





Za każdym razem wskazania obu siłomierzy były identyczne. Siły, którymi działały na siebie przyrządy, miały te same wartości i kierunki, ale przeciwne zwroty. Tę precyzyjną wzajemność sił zauważył i sformułował w XVII wieku **Isaac Newton** (czyt. ajzaak niuton).



### Trzecia zasada dynamiki

Jeśli ciało  $A$  działa na ciało  $B$  siłą, to ciało  $B$  działa jednocześnie na ciało  $A$  siłą o takiej samej wartości i tym samym kierunku, ale przeciwnie zwróconą.

Pierwszą i drugą zasadę dynamiki Newtona omawiamy w tematach 26–27.

### Akcja i reakcja

Trzecia zasada dynamiki bywa nazywana zasadą akcji i reakcji (każda akcja powoduje reakcję). Jedną z sił (dowolną) określa się wtedy mianem akcji, a drugą nazywa reakcją. **Siły zawsze występują parami.**

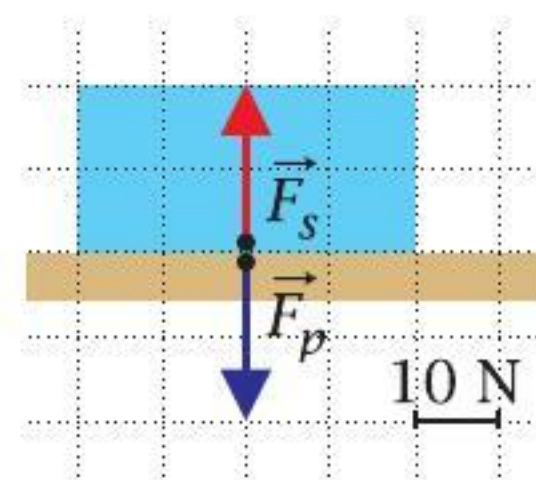
Zauważ, że trzecia zasada dynamiki mówi o siłach działających na dwa różne ciała, więc nie można z niej wnioskować, że siły działające na jedno z ciał równoważą się. W przypadku stykających się ciał będziemy rysować początek wektora siły tak, by wyraźnie zaznaczyć, na które ciało działa siła.



#### PRZYKŁAD 1.

Pudełko działa na stół siłą nacisku  $\vec{F}_p$  o wartości 20 N. Przedstaw to na rysunku. Zaznacz wektor siły  $\vec{F}_s$ , którą stół działa na pudełko, oraz podaj jej wartość.

**Odp.** Stół działa na pudełko siłą o wartości  $F_s = 20$  N.



#### ĆWICZENIE 1.

Palec Hasto naciska przycisk w windzie siłą  $\vec{F}_H$  o wartości 5 N. Siła ta działa prostopadle do powierzchni przycisku. Przedstaw tę sytuację na rysunku. Zaznacz siłę  $\vec{F}_H$  oraz siłę  $\vec{F}_p$ , którą przycisk działa na Hasto. Podaj wartość siły  $\vec{F}_p$ .



## Czy człowiek przyciąga Ziemię?

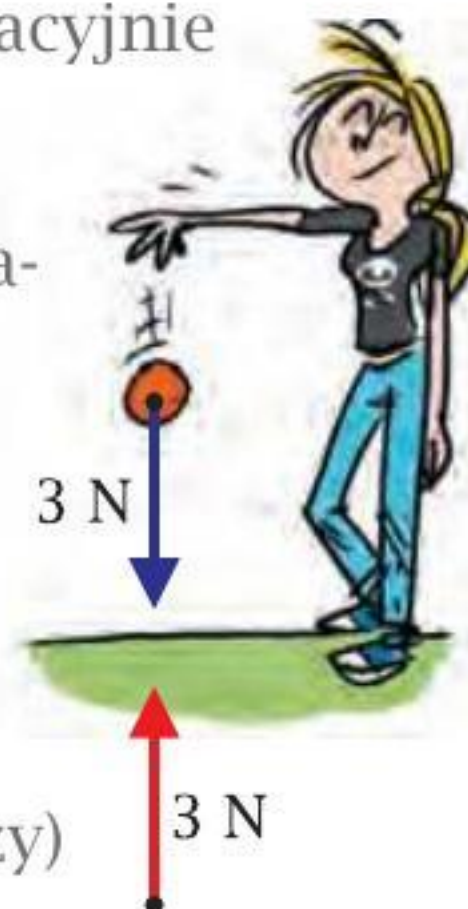
Ziemia przyciąga wszystko, co znajduje się w jej pobliżu, na przykład pomarańczę. Trzecia zasada dynamiki mówi o tym, że pomarańcza też przyciąga Ziemię — i to siłą o takiej samej wartości. Jak pogodzić to z tym, że to pomarańcza spada na Ziemię, a nie odwrotnie? Wiąże się to z różnicą mas. Siłą o wartości 3 N można rzucić owoc, ale nie uda się poruszyć Ziemi.

**ĆWICZENIE 2.** Na stojący na lotnisku samolot działa siła ciężkości o wartości 55 000 N. Określ kierunek, zwrot i wartość siły, jaką samolot działa grawitacyjnie na Ziemię.

### PRZYKŁAD 2.

Ziemia działa grawitacyjnie na pomarańczę siłą o wartości 3 N. Określ kierunek, zwrot i wartość siły, jaką pomarańcza działa grawitacyjnie na Ziemię.

**Odp.** Siła, jaką pomarańcza działa grawitacyjnie na Ziemię, zwrócona jest pionowo w górę (przeciwnie do siły ciężkości pomarańczy) i ma wartość 3 N.



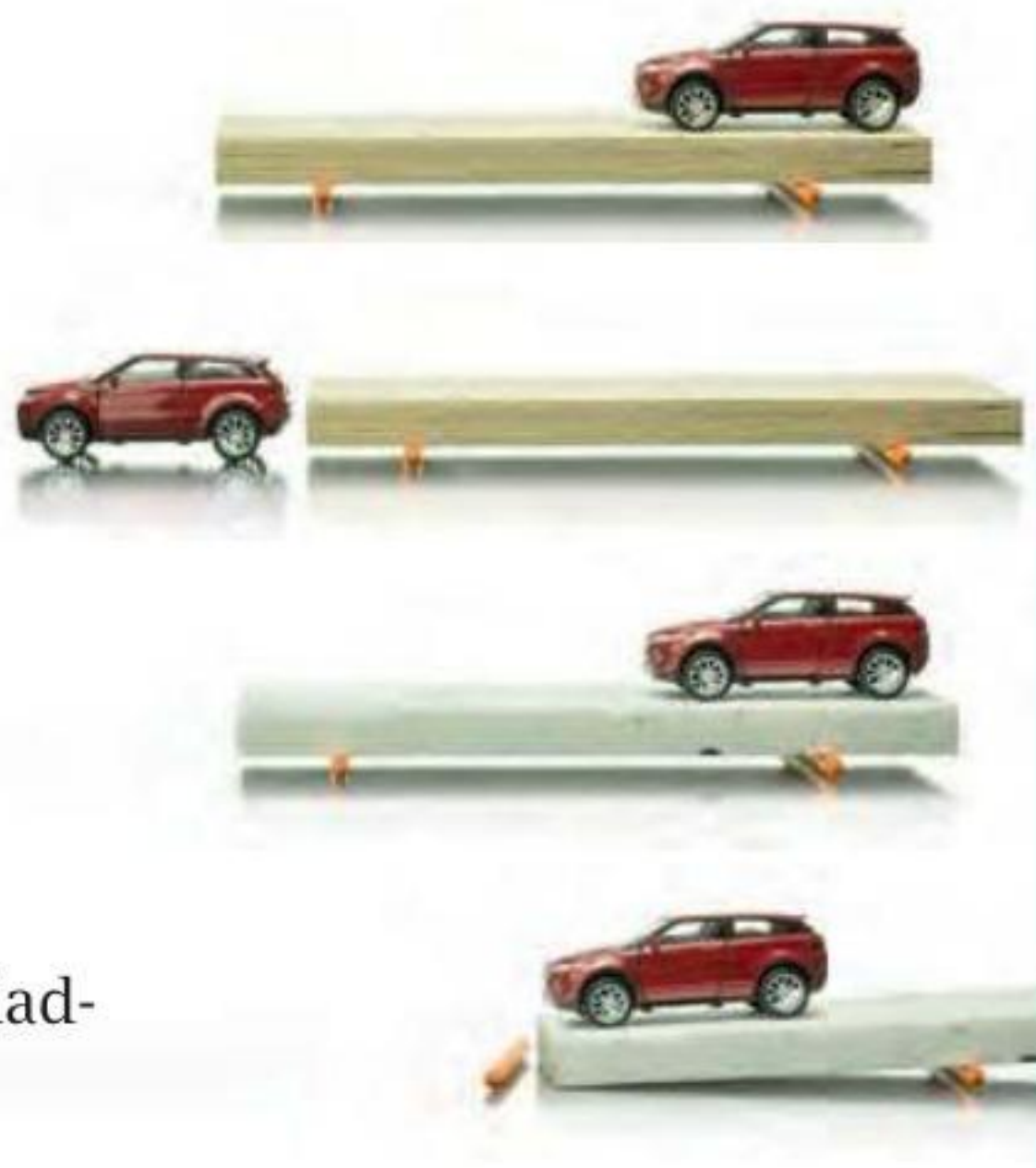
## Do tyłu, żeby do przodu

Dzięki wzajemności oddziaływań możemy się przemieszczać. Gdy stopą odpychamy się od podłogi, podłoga odpycha stopę. Koło rowerowe próbuje „przesunąć” do tyłu jezdnię, więc jezdnia działa na rower siłą do przodu. Sprawdźmy, czy koła pojazdów odpychają jezdnię.

### Doświadczenie

#### Styropianowa jezdnia

- ① Przygotuj samochodzik z napędem, dwa okrągłe ołówki, drewnianą deskę i styropianową płytę. Deska oraz płyta to jezdnie, po których będzie jeździć samochodzik.
- ② Połóż deskę na ołówkach. Samochodzik z włączonym napędem postaw na początku takiej jezdni i poczekaj aż samochodzik zjedzie.
- ③ Połóż styropianową płytę na ołówkach. Samochodzik z włączonym napędem postaw na początku jezdni i poczekaj, aż zjedzie.
- ④ Dlaczego rezultaty w punktach ② i ③ doświadczenia były różne?



Samochodzik wyraźnie przesuwa lekką, styropianową jezdnię. Podobnie, jeśli gwałtownie poruszysz się na lekkim dywaniku leżącym na śliskiej podłodze, bardziej przesunie się dywanik do tyłu niż ty do przodu.



Trzecia zasada dynamiki dobrze opisuje sytuacje, gdy ciała oddziałują ze sobą grawitacyjnie lub przez kontakt (stykają się). Jest też prawdziwa dla spoczywających ładunków elektrycznych i magnesów. W bardziej zaawansowanych zagadnieniach elektromagnetyzmu okazuje się, że przy opisie wzajemnego oddziaływania poruszających się ciał należy uwzględnić dodatkowe efekty (zmiany pola elektrycznego i magnetycznego). Wtedy trzecia zasada dynamiki nie jest spełniona.



## Czas na zadania!

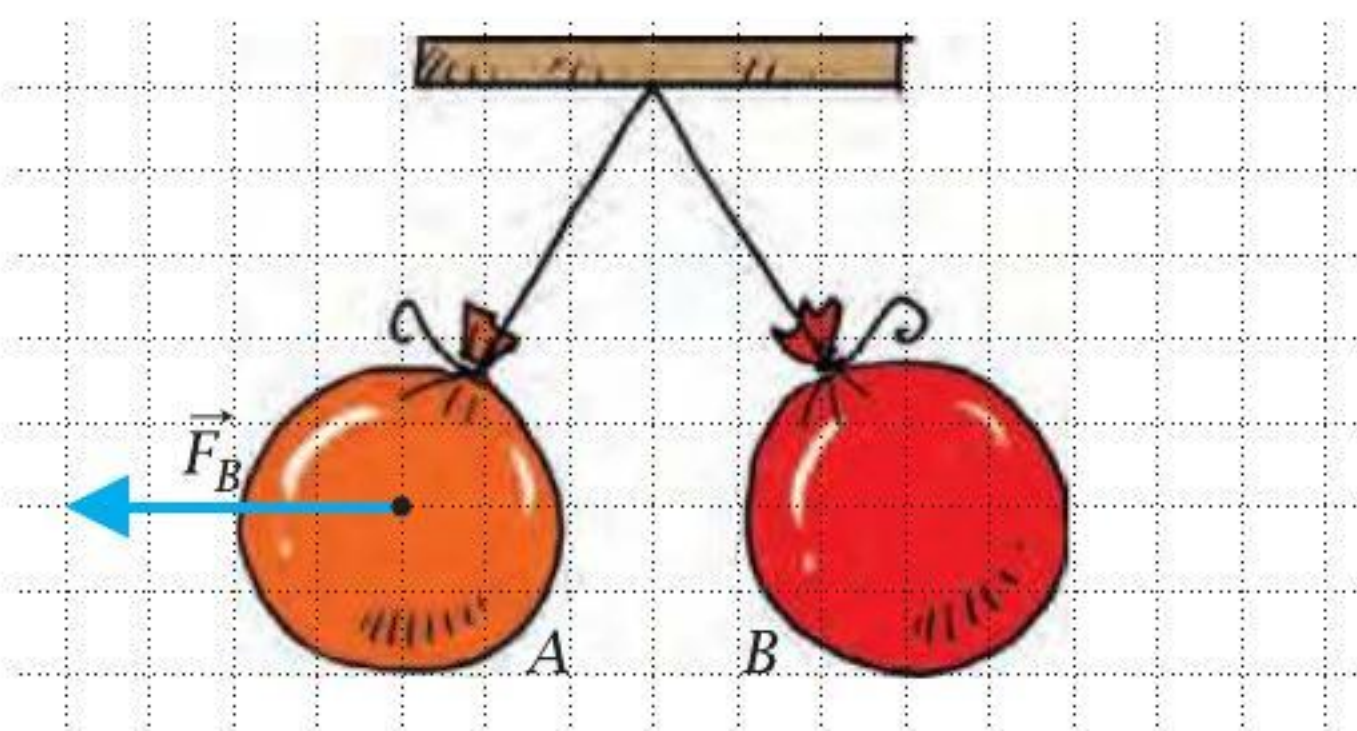
### Zadanie 1. Lokomotywa i wagon

Uzupełnij tekst.

Lokomotywa działa na wagon siłą o wartości 30 000 N zwróconą na południe, wagon na lokomotywę siłą o wartości ?.. zwróconą ?.. Wagon działa na poziome szyny, na których stoi, siłą nacisku zwróconą ?..

### Zadanie 2. Naelektryzowane balony

Balon B działa na balon A siłą  $\vec{F}_B$  (zob. rysunek). Przerysuj schemat do zeszytu i zaznacz wektor siły  $\vec{F}_A$ , którą balon A działa na balon B.



### Zadanie 3. Taran

Taran służy do siłowego otwierania bram lub drzwi. Drewnianych taranów używano w średniowieczu jako maszyn ob-

łęźniczych. Koniec tarana, którym uderzano, wzmacniano metalowym okuciem. Skorzystaj z trzeciej zasady dynamiki i wyjaśnij, dlaczego taran powinien być wykonany z odpornego materiału.

### Zadanie 4. Uwaga na odbicie

Rąbiąc drewno, należy uważać nie tylko na to, by się nie zranić ostrzem siekiery. Siekiera może odbić się od drewna i uderzyć drwala w głowę, choć wydaje się, że to siekiera działa na pień siłą zwróconą w głąb drewna.

- Wyjaśnij, dlaczego siekiera może odbić się od drewna.
- Nazwij rodzaj siły, którą drewno działa na siekierę, gdy ją odbija.

### Zadanie 5. Skrzynka i Ziemia

Ziemia działa grawitacyjnie na skrzynkę siłą o wartości 150 N.

- Podaj zwrot i wartość siły, którą skrzynka działa grawitacyjnie na Ziemię.
- Czy z podanych informacji wynika, że siły działające na skrzynkę się równoważą?



### Zadanie 6. *Prawa gwoździ*

Podczas wbijania gwoździ w drewno Weritka i Hasto sformułowali kilka praw. Oceń ich prawdziwość i uzasadnij swoją ocenę.

- ① Prawo dominacji młotka: *Młotek działa na gwoździe siłą o większej wartości niż gwoździe na młotek.*
- ② Prawo przewagi gwoźdź: *Gwoździe działa na drewno siłą o większej wartości niż drewno na gwoździe.*
- ③ Prawo przekory: *Młotek działa na gwoździe siłą zwróconą przeciwnie niż siła, którą gwoździe działa na młotek.*
- ④ Prawo klepania deski: *Młotek działa na drewno siłą o takiej samej wartości, jak drewno na młotek.*

### Zadanie 7. *Skrzynka, blat i Ziemia*

Na skrzynkę leżącą na poziomym blacie działa siła ciężkości o wartości  $F_c = 150 \text{ N}$ .

- a) Określ kierunek, zwrot i wartość siły nacisku  $\vec{F}_b$  blatu na skrzynkę.
- b) Określ kierunek, zwrot i wartość siły nacisku  $\vec{F}_s$  skrzynki na blat.
- c) Jakie cechy wspólne mają siły  $\vec{F}_b$  i  $\vec{F}_s$ ? Czym się różnią?

### Zadanie 8. *Szklanka i książka*

Na szklankę działa siła ciężkości o wartości  $1 \text{ N}$ . Szklanka stoi na książce leżącej na poziomym blacie. Na książkę działa siła ciężkości o wartości  $4 \text{ N}$ .

- a) Określ kierunek, zwrot i wartość siły nacisku  $\vec{F}_k$  książki na szklankę.
- b) Oblicz wartość siły nacisku  $\vec{F}_b$ , którą blat działa na książkę.

### Zadanie 9. *Kontener i dźwig*

Na nieruchomy, stojący na poziomym nabrzeżu kontener działa siła ciężkości o wartości  $20\,000 \text{ N}$ . Dźwig działa na kontener siłą  $10\,000 \text{ N}$  zwróconą w górę.

- a) Oblicz wartość siły nacisku  $\vec{F}_n$  nabrzeża na kontener. Zauważ, że na kontener działają dwie siły zwrócone w górę i jedna w dół.
- b) Określ zwrot i wartość siły nacisku  $\vec{F}_k$ , którą kontener działa na nabrzeże.
- c) Dlaczego wartość siły nacisku  $\vec{F}_k$  jest mniejsza od wartości siły ciężkości działającej na kontener?



Fizyka na wesoło...



Jak myślisz?

- Czy siła nacisku występuje zawsze w parze z siłą ciężkości?
- Pchasz wózek z zakupami: działasz na wózek, a wózek na ciebie. Skoro obie siły mają tę samą wartość, to dlaczego wózek jedzie do przodu, a nie przesuwa ciebie do tyłu?

- O czym mówi trzecia zasada dynamiki?
- Nie czynь drugiemu, co tobie niemiłe.
- Blisko... a możesz sformułować ją dla ciał?
- Oko za oko, ząb za ząb.
- Brakuje jeszcze kilku szczegółów, o których mówiliśmy... Opowiesz o jakiejś sytuacji związanej z tą zasadą?
- Biegłem i uderzyłem głową w gałąź.
- I co, zasada okazała się boleśnie prawdziwa?
- Boleśnie — tak, ale nie do końca prawdziwa, bo ja mam siniaka na czole, a gałąź — nie.



# 7 Masa a siła ciężkości



Na zdjęciu widać astronautkę oraz kroplę wody w stacji kosmicznej. Jak zwrócona jest siła ciężkości działająca na kroplę? Czy siła ciężkości działająca na astronautkę ma taką samą wartość jak na powierzchni Ziemi? Jak daleko sięga grawitacja Ziemi?

## Cel lekcji 8

Dowiesz się, czym są masa i ciężar.  
Nauczysz się stosować w obliczeniach związek między siłą, masą i przyspieszeniem grawitacyjnym.  
Przećwiczysz zamianę jednostek masy.

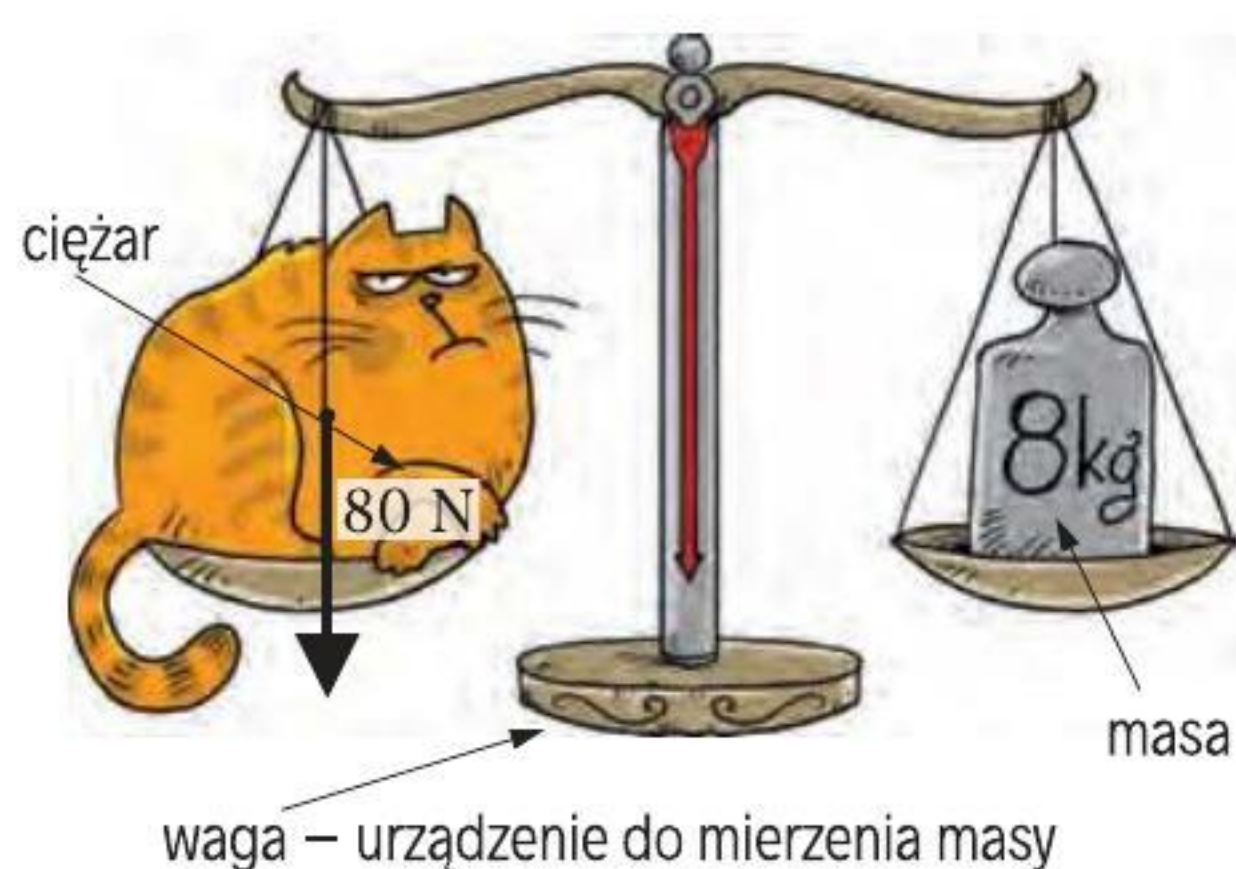
## Waga, masa i ciężar

W języku potocznym waga, masa i ciężar to to samo. Dla fizyka „waga” oznacza zawsze urządzenie pomiarowe (np. waga szalkowa, sprężynowa), „masa” opisuje ilość substancji (np. 10 kg, 5 ton), a „ciężar” — wartość siły ciężkości (np. 100 N).

**Masa** opisuje ilość substancji (np. 17 kg).

**Ciężar** to wartość siły ciężkości (np. 170 N).

**Waga** to urządzenie do mierzenia masy.



## Jak zmierzyć masę?

Do zmierzenia masy można wykorzystać wagę szalkową. Taka waga składa się z dwóch identycznych szalek. Pomiar masy polega na porównaniu poziomu obciążonych szalek. Jeżeli są na tym samym poziomie, oznacza to, że obie szalki zostały obciążone taką samą masą. Gdy jedna z szalek jest obciążona większą masą, znajdzie się niżej.



W sklepach spotkasz najczęściej wagi elektroniczne. Posiadają one jedną szalkę i nie potrzebują odważników. Taka waga mierzy siłę, z jaką produkty naciskają na szalkę. Im większa masa naciska na szalkę, tym większe jest wskazanie wagi. Podobnie jak w wypadku siłomierza: im większa masa zawieszona na nim ciała, tym bardziej rozciąga się sprężyna, a wskaźnik pokazuje większe wartości.

Okazuje się, że siłomierzem można także mierzyć masę. Niektóre siłomierze mają oprócz podziałki w niutonach podziałkę w gramach (zob. fotografia obok). Siłomierz jest najprostszą wagą sprężynową.

## Siła ciężkości a masa

Torebka cukru o masie 1 kg zawieszona na siłomierzu działa na niego siłą o wartości około 10 N (zob. str. 26). Jest to jednocześnie wartość siły ciężkości, którą Ziemia przyciąga grawitacyjnie 1 kg cukru. Gdy na siłomierzu zawiesimy 1 kg mąki, to nadal będzie on wskazywał około 10 N. Jeśli na siłomierzu zawieszono by metalowy odważnik, a siłomierz wskazałby 10 N, można by stwierdzić, że odważnik ma masę około 1 kg. W tych samych warunkach (np. przy powierzchni Ziemi) **na ciała o tej samej masie działa siła ciężkości o takiej samej wartości**. Wartość ta nie zależy od tego, z czego ciała się składają, z cukru, z mąki czy metalu. W poniższej tabeli przedstawiono przybliżone wskazania siłomierza, umieszczonego przy powierzchni Ziemi, po zawieszaniu na nim różnych produktów.

|        |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|        |  |  |  |  |  |  |
| Masa   | 10 g                                                                                | 100 g                                                                               | 1 kg                                                                                  | 2 kg                                                                                  | 6 kg                                                                                  | 7 kg                                                                                  |
| Ciężar | 0,1 N                                                                               | 1 N                                                                                 | 10 N                                                                                  | 20 N                                                                                  | 60 N                                                                                  | 70 N                                                                                  |

Okazuje się, że ciężar jest tym większy, im większa jest masa. Przy powierzchni Ziemi **wartość siły ciężkości jest w przybliżeniu 10 razy większa niż masa ciała wyrażona w kilogramach**. Na przykład ciężar dyni o masie 7 kg wynosi około 70 N ( $7 \cdot 10 = 70$ ). Ten stały czynnik, przez który należy pomnożyć masę, to **przyśpieszenie grawitacyjne**.



Siłomierz wskazuje nie tylko siłę, z jaką Ziemia oddziałuje na jabłko (ok. 1,25 N), ale także przybliżoną masę jabłka (ok. 125 g).

### Warto wiedzieć

Przyśpieszenie grawitacyjne przy powierzchni Ziemi jest też nazywane przyśpieszeniem ziemskim.



### Warto wiedzieć

Dzięki dokładnym pomiarom wiemy, że Ziemia działa na ciało o masie 1 kg, znajdujące się przy jej powierzchni, siłą grawitacji o wartości około 9,8 N. Będziemy używać przybliżonej wartości 10 N.

Znając masę ciała, jego ciężar na Ziemi wyznaczysz, mnożąc masę przez przyspieszenie grawitacyjne  $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ .

$$\begin{array}{ccc} \text{siła ciężkości} & & \text{przyspieszenie grawitacyjne} \\ \text{działająca} & \rightarrow F_g = m \cdot g \leftarrow & \text{na Ziemi około } 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \\ \text{na ciało} & & \\ & \uparrow & \\ & \text{masa ciała wyrażona w kg} & \end{array}$$

### PRZYKŁAD 1.

Oblicz wartość siły, jaką Ziemia działa grawitacyjnie na worek gruszek o masie 5,5 kg.

#### Dane:

$m = 5,5 \text{ kg}$  — masa worka gruszek

$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$  — przyspieszenie grawitacyjne

#### Szukane:

$F_g = ?$  — ciężar worka gruszek

#### Rozwiązanie:

I sposób:  $F_g = m \cdot g$

$$F_g = 5,5 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 55 \text{ N}$$

II sposób: Ciężar jest około 10 razy większy od masy wyrażonej w kg:

$$5,5 \cdot 10 = 55, \text{ zatem } F_g = 55 \text{ N}$$

**Odp.** Wartość tej siły to około 55 N.

**i** Zauważ, że jednostki skracamy tak, jak liczby:  $\text{kg} \cdot \frac{\text{N}}{\text{kg}} = \text{N}$ , podobnie jak  $2 \cdot \frac{3}{2} = 3$ .

**ĆWICZENIE 1.** Oblicz wartość siły, którą nieruchomy obraz o masie 3,2 kg działa na gwóźdź, na którym wisi. Załóż, że tylko gwóźdź zapobiega spadaniu obrazu.

Znając ciężar ciała, można obliczyć jego masę.

### PRZYKŁAD 2.

Na siłomierzu zawieszono arbuza umieszczony w lekkiej foliowej torebce. Siłomierz wskazał 47 N. Oblicz masę arbuza. Pomiń masę torebki.

#### Dane:

$F_g = 47 \text{ N}$  — ciężar arbuza

$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$  — przyspieszenie grawitacyjne

#### Szukane:

$m = ?$  — masa arbuza

#### Rozwiązanie:

I sposób:  $F_g = m \cdot g$

$$47 \text{ N} = m \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \quad | : 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$\frac{47 \text{ N}}{10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = \frac{m \cdot \cancel{10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}}{\cancel{10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}}$$

$$4,7 \text{ N} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{N}} = m$$

$$m = 4,7 \text{ kg}$$

II sposób: Masa wyrażona w kg jest około 10 razy mniejsza od ciężaru:

$$47 : 10 = 4,7, \text{ zatem } m = 4,7 \text{ kg}$$

**Odp.** Arbuza ma masę 4,7 kg.



**ĆWICZENIE 2.** Na siłomierzu zawieszono worek z ziemniakami. Siłomierz wskazał 150 N. Jaką masę ma worek z ziemniakami?

## Siła ciężkości na Księżycu

Waga sprężynowa (np. siłomierz) wskazuje poprawnie masę ciała tylko przy powierzchni Ziemi. **W dużej odległości od Ziemi waga sprężynowa wskaże nieprawdziwą masę.** Wartość siły ciężkości, którą nasza planeta działa na ciało, maleje, gdy ciało się od niej oddala. Księżyc również działa grawitacyjnie na każde ciało. Jednak na Księżycu waga sprężynowa także wskaże niewłaściwą masę. Na Księżycu na ciało o masie 1 kg działa siła ciężkości o wartości około 1,6 N (czyli około 6 razy mniejszej niż na Ziemi), a więc sprężyna w siłomierzu rozciągnie się znacznie mniej niż na Ziemi. Mimo, że 1 kg cukru po przetransportowaniu na Księżyc ma nadal masę 1 kg, to wartość siły ciężkości działającej na torebkę z cukrem znacznie się zmniejsza. Na Księżycu przyspieszenie grawitacyjne ma inną wartość niż przy powierzchni Ziemi. Wynik pomiaru wagą sprężynową należałoby więc skorygować, uwzględniając słabsze oddziaływanie grawitacyjne Księżyca. Wady tej nie mają wagi szalkowe, gdyż na wadze szalkowej porównujemy masę ciała z masą odważnika.

Na ciała na Księżycu działa siła grawitacji około 6 razy mniejsza niż na Ziemi.



Słoń ważony na Ziemi.



Słoń ważony na Księżycu.





Replika wzorca kilograma pod dwoma ochronnymi szklanymi kloszami.

## Wzorzec kilograma

Mierząc masę, używamy odważników i wag. Ufamy, że ich producenci wykonali je starannie. Jak jednak sprawdzić, czy odważnik 1 kg ma taką właśnie masę oraz czy waga działa poprawnie? Większość państw na świecie przyjęła wspólne definicje jednostek fizycznych, za pomocą których wyrażamy wyniki pomiarów. W ramach **Międzynarodowego Układu Jednostek Miar**, zwanego krócej układem SI (czyt. es i), podstawową jednostką masy jest kilogram.

Użytecznym **wzorcem kilograma jest masa litra destylowanej wody o temperaturze 4°C**. W przypadku bardziej precyzyjnych pomiarów do niedawna używano wzorca kilograma w postaci platynowo-irydowego walca przechowywanego we Francji. Nadal wiele państw posiada kopie tego wzorca.

W 2019 r. w ramach układu SI wprowadzono nową definicję kilograma, w której jest wykorzystywana wielkość opisująca procesy na poziomie atomowym. Kilogram zdefiniowano tak, by można go było wyznaczyć samodzielnie w laboratorium, korzystając z praw fizyki, bez porównywania z jakimkolwiek wzorcem.

## Kilogram, dekagram, gram, miligram

Przypomnijmy przedrostki używane w nazwach jednostek masy.

| Nazwa przedrostka | Symbol | Wartość |
|-------------------|--------|---------|
| kilo-             | k      | 1000    |
| deka-             | da     | 10      |
| mili-             | m      | 0,001   |

Przedrostek *kilo* oznacza 1000, stąd *kilogram* (1 kg) to tysiąc gramów (1000 g). Pozostałych przedrostków używamy analogiczne.

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg} = \frac{1}{1000} \text{ kg}$$

$$1 \text{ dag} = 10 \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 0,1 \text{ dag} = \frac{1}{10} \text{ dag}$$

$$1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$$

$$1 \text{ mg} = 0,001 \text{ g} = \frac{1}{1000} \text{ g}$$

Ponadto 1 tona (1 t) to 1000 kg.



**PRZYKŁAD 3.**

Włos o długości 70 cm ma masę około 1,2 mg. Oblicz masę warkocza zaplecionego ze 100 000 takich włosów. Wyraż ją w gramach.

**Dane:**  $m = 1,2 \text{ mg}$  — masa włosa

**Szukane:**  $m_w = ?$  — masa warkocza

**Rozwiązanie:**  $m_w = 100\,000 \cdot 1,2 \text{ mg} = 120\,000 \text{ mg} = 120 \text{ g}$

**Odp.** Masa warkocza zaplecionego ze 100 000 włosów jest równa 120 g.

**ĆWICZENIE 3.** Kubek ma masę 300 g. Masę 20 takich kubków wyraż w kg.

## Czas na zadania!

**i** Jeśli nie napisano inaczej, to przyjmij, że ciała znajdują się przy powierzchni Ziemi.

### Zadanie 1. Jednostki

Zamień na wskazane jednostki.

**a)** gramy: 2 kg, 32 dag, 943 dag, 47 mg

**b)** kilogramy: 1040 dag, 555 dag, 234 g, 3 t, 60 dag

### Zadanie 2. Jabłko na szali

Na jednej szalce wagi leży jabłko, a na drugiej odważniki o masach: 50 g, 50 g, 10 g, 10 g, 5 g, 5 g. Waga jest w równowadze.

**a)** Wyraż masę jabłka w kilogramach.

**b)** Oblicz ciężar jabłka.

### Zadanie 3. Daleko

Wartość siły ciężkości, którą Ziemia działa na ciało znacznie od niej oddalone, jest:

- A. większa niż przy powierzchni Ziemi,
- B. mniejsza niż przy powierzchni Ziemi,
- C. taka sama jak przy powierzchni Ziemi.

### Zadanie 4. Sprężyna

Sprężyna z zawieszonym na niej odważnikiem o masie 1 kg rozciągnie się:

- A. bardziej na Ziemi niż na Księżycu,
- B. bardziej na Księżycu niż na Ziemi,
- C. tak samo na Księżycu i na Ziemi.

### Zadanie 5. Masa i ciężar

Przerysuj tabelę do zeszytu i uzupełnij ją.

|        |        |     |     |      |        |
|--------|--------|-----|-----|------|--------|
| Masa   | 0,1 kg | ... | ... | 8 kg | 100 kg |
| Ciężar | ...    | 2 N | 5 N | ...  | ...    |

### Zadanie 6. Waga

Weritka mierzyła masę smartfona za pomocą wagi elektronicznej. Najmniejsza wartość, o którą może zmienić się wskazanie tej wagi, to 1 g (jest to niepewność pomiaru). Waga wskazała 216 g. Zapisz wynik pomiaru wraz z niepewnością.

### Zadanie 7. Masa porcji wody

Jaką masę ma 15 l destylowanej wody o temperaturze 4°C?

### Zadanie 8. Woda na wadze

Waga wskazała 250 g, gdy umieszczono na niej wazon. Gdy wlano do niego wodę, waga wskazała 790 g. Oblicz masę wody.

### Zadanie 9. Nasiona Inu

Gdy na wadze znajdował się pusty pojemnik, waga wskazywała 50 g. Gdy Hasto i Weritka wrzucili do pojemnika 1000 ziaren Inu, waga wskazała 54 g. Przyjmij, że ziarna są identyczne. Oblicz masę jednego ziarna Inu i wyraż ją w miligramach.



### Zadanie 10. **Dźwig**



Oblicz wartość siły, którą na hak dźwigu działa zawieszona na nim, nieruchoma betonowa płyta stropowa o masie 2647 kg. Załóż, że tylko hak zapobiega spadaniu płyty.

### Zadanie 11. **Odważnik i szalka**

Odważnik o masie 10 kg stoi na poziomej szalce wagi. Załóż, że tylko szalka zapobiega spadaniu odważnika. Oblicz wartość siły, którą szalka działa na odważnik.

### Zadanie 12. **Koliber i bukiet**

Pewien koliber ma masę 3 g.

- Wyraź tę masę w kilogramach.
- Oblicz wartość siły ciężkości działającej na kolibra.
- Ustal, co ma większą masę: 100 kolibrów o masie 3 g każdy czy bukiet kwiatów o masie 0,5 kg.

### Zadanie 13. **Żelazo i pierze**

Co jest cięższe, czyli ma większy ciężar: 1 kg żelaza czy 1 kg pierza?

### Zadanie 14. **Wytrzymałość**

Maksymalna wartość siły, którą mogą działać na podłogę ustawione na niej ciała, to 40 000 N. Większa wartość obciążenia podłogi grozi jej zarwaniem. Oblicz maksymalną masę ciał, które można ustawić na tej podłodze.

### Zadanie 15. **Siłomierz jako waga**

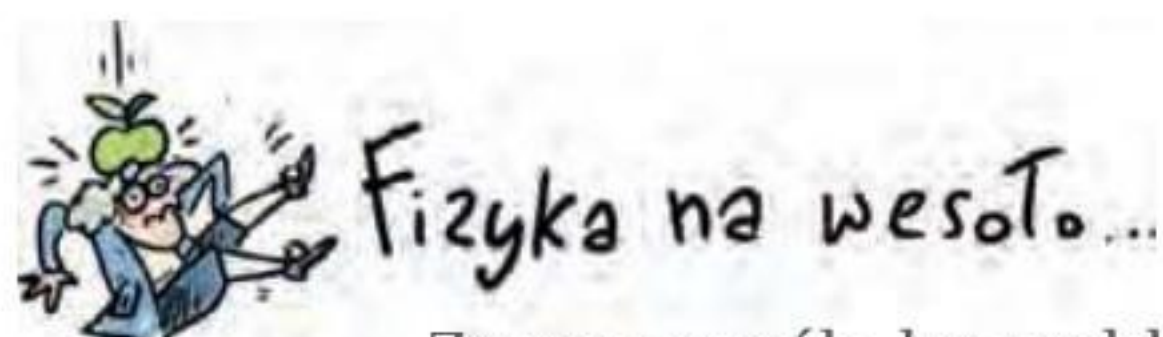
Siłomierz wskazuje 1,8 N, gdy wisi na nim nieruchomo banan. Oblicz masę banana. Wynik wyraż w gramach.

### Zadanie 16. **Zgniotek**

Hasto ogłosił *Prawo zgniotka* o treści: *Masa porcji waty zwiększa się, gdy zostanie ona zgnieciona*. Zaproponuj doświadczenie, za pomocą którego można sprawdzić, czy to prawda.



- Dlaczego Narodowy Bank Polski precyzyjnie określa masy monet?
- Jaki jest ciężar łazika o masie 1070 kg na Marsie?
- Jaka jest wartość siły, którą 1 kg cukru działa grawitacyjnie na Ziemię?
- Jak daleko trzeba oddalić ciało od Ziemi, by jego ciężar zmniejszył się o połowę?
- Czy można zmierzyć masę ciała, gdy nie działa na nie siła ciężkości?



- Znasz sposób, by szybko stracić na wadze?
- Kupujesz wagę i od razu sprzedajesz ją za pół ceny.



# 8 Stany skupienia



Na zdjęciu jest widoczna woda w formie płynnej i w postaci lodu. W powietrzu znajduje się niewidoczna para wodna. Czy każda substancja występuje w takich trzech postaciach? Czy szybę można zamienić w ciecz, a kamień – w gaz?

## Jaki kształt mają woda i powietrze?

Nalewamy wodę do kubka, ale wrzucamy do niego kostki lodu. Czym różnią się woda i lód, że do ich opisu używamy innych słów, mimo że kostki lodu powstają z wody? Dlaczego opony pompujemy powietrzem, a nie wodą? Dlaczego po przewróceniu kubka z herbatą, ta rozlewa się po stole, a nie rozchodzi jak dym? Wskażmy różnice między poszczególnymi rodzajami materii.

### Cel lekcji 8

Poznasz trzy stany skupienia oraz właściwości ciał stałych, cieczy i gazów. Przypomnisz sobie jednostki objętości.

#### Doświadczenie

#### Co łatwo zmienia objętość?

- ① Przygotuj strzykawkę oraz wodę.
- ② Do strzykawki nabierz powietrze, zatkaj wylot i ściśnij powietrze tłokiem.
- ③ Teraz nabierz do strzykawki wody, zatkaj wylot i spróbuj ścisnąć wodę tłokiem.
- ④ Czego objętość można łatwiej zmienić: wody czy powietrza?



Spróbuj opisać kształt powietrza, soku i kostek do gry.



Kostka do gry nie rozpływa się tak jak woda. Przedmioty, które zachowują swój kształt, nazywamy **ciałami stałymi** (bo charakteryzują się stałością). Nie chodzi w tym przypadku o bardzo dużą twardość czy sztywność przedmiotów. Linijkę można wyginać, gumową rękawiczkę napompować, sznurek z wiązać, ale żaden z tych przedmiotów nie rozpływa się, nie ścieka, gdy go podniesiemy.

Woda po wleciu do naczynia dopasowuje się do kształtu tego naczynia. Wylana, rozpływa się po blacie. Jednak nie da się zmniejszyć objętości wody, ściskając ją w strzykawce — mówimy, że ciecze są nieściśliwe. Porcja wody wylana na blat też nie zmienia swojej objętości — co prawda zajmuje większą powierzchnię niż w łyżeczce, ale jest to kałuża o znacznie mniejszej głębokości niż przed rozlaniem. Ciała o takich własnościach jak woda nazywamy **cieczami**.

Gumową rękawiczkę wypełnioną powietrzem łatwo deformować. Jednak powietrze różni się od wody tym, że bardzo łatwo rozchodzi się w przestrzeni, zwiększając zajmowaną objętość jak dym po zgaszonej świecy. Do-

syć łatwo można ścisnąć w strzykawce porcję powietrza, czyli zmniejszyć objętość tej porcji. Takie substancje jak powietrze nazywamy **gazami**.



Objętość butli z helem jest mniejsza niż objętość balonów nadmuchanych gazem z tej butli. Jest to możliwe dzięki temu, że gaz w butli jest ściśnięty bardziej niż w balonie.

## Stany skupienia

Substancja może występować w postaci ciała stałego, cieczy lub gazu. Formy te nazywamy **stanami skupienia**.

### Ciała stałe

- Zachowują swój kształt.
- Zachowują objętość.



### Ciecze

- Nie zachowują kształtu.
- Zachowują objętość.



### Gazy

- Nie zachowują kształtu.
- Nie zachowują objętości.





### PRZYKŁAD 1.

Gąbka do mycia naczyń wepchnięta do szklaneczki dostosuje do niej swój kształt. Ściskając gąbkę, zmieniamy jej objętość. Czy to oznacza, że gąbka jest cieczą? Uzasadnij odpowiedź i zaproponuj doświadczenie ją potwierdzające.

**Odp.** Gąbka jest ciałem stałym. Po położeniu gąbki na blacie, czy chwyceniu jej za róg, nie rozplywa się ona ani nie rozpada. Jej kształt i objętość się nie zmieniają.

**ĆWICZENIE 1.** Lód powstaje z wody, czyli cieczy. Czy to oznacza, że lód też jest cieczą? Uzasadnij odpowiedź i zaproponuj doświadczenie ją potwierdzające.

Odpowiednio dużą siłą można zmienić kształt i objętość każdego ciała stałego. Za ciało stałe uznamy jednak taki przedmiot, który podniesiony ręką nie rozplywa się (jak ciecz) i nie rozpada (jak gaz).

Ta sama substancja może występować w różnych stanach skupienia. Woda (ciecz), gdy ją schłodzimy, zamienia się w lód (ciało stałe). Woda (ciecz) może przechodzić w stan gazowy — parę wodną. Ta przemiana zachodzi intensywnie, gdy woda wrze. Para wodna jest gazem przezroczystym. Jednak nie każdy gaz ma taką własność. Na przykład jod w formie gazowej ma barwę fioletową.



Widoczna „mgiełka” to nie gaz, to tak naprawdę kropelki wody (ciecz), w które zamienia się para wodna (gaz), schładzając się w powietrzu.

## Objętość i jej jednostki

Objętość opisuje, ile przestrzeni zajmuje dane ciało. Do opisu objętości służą najczęściej jednostki: litr (l), mililitr (ml), centymetr sześcienny ( $\text{cm}^3$ ), decymetr sześcienny ( $\text{dm}^3$ ) oraz metr sześcienny ( $\text{m}^3$ ).

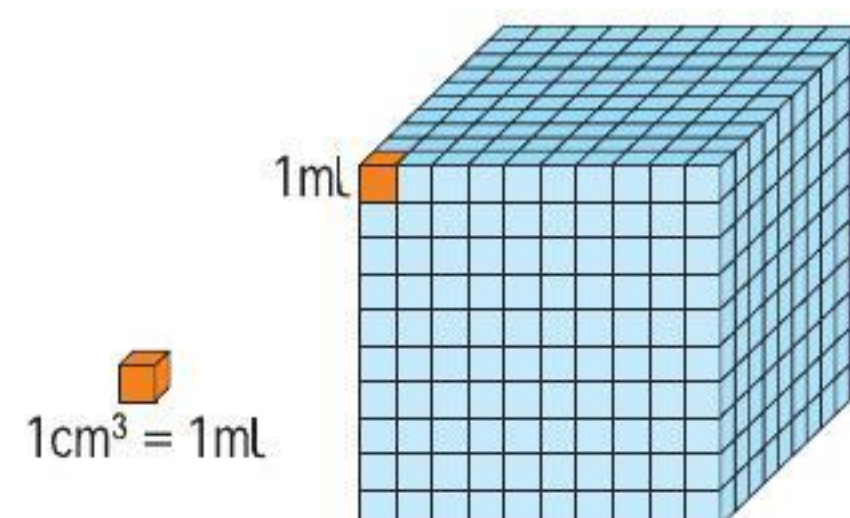
$$1 \text{ l} = 1000 \text{ ml} \quad 1 \text{ ml} = 0,001 \text{ l}$$

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3 = 0,001 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3 = 0,001 \text{ dm}^3$$

Na łyżeczce od herbaty mieści się około 5 ml wody. Standardowe strzykawki mają pojemność od 1 ml do 50 ml. Cylindry miarowe (naczynia z podziałką), których będziemy używać, mają skalę w mililitrach. W szklance lub kubku mieści się około 250 ml, czyli ćwierć litra cieczy.

Przy opisywaniu ilości cieczy można posłużyć się określeniem **wysokość słupa cieczy**, które oznacza po prostu wysokość poziomu cieczy nad dnem naczynia.

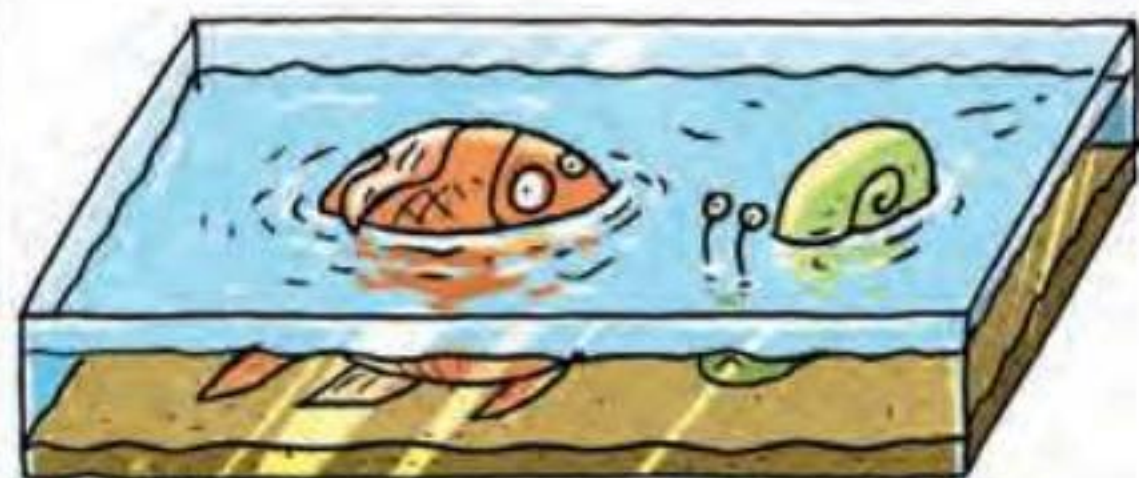
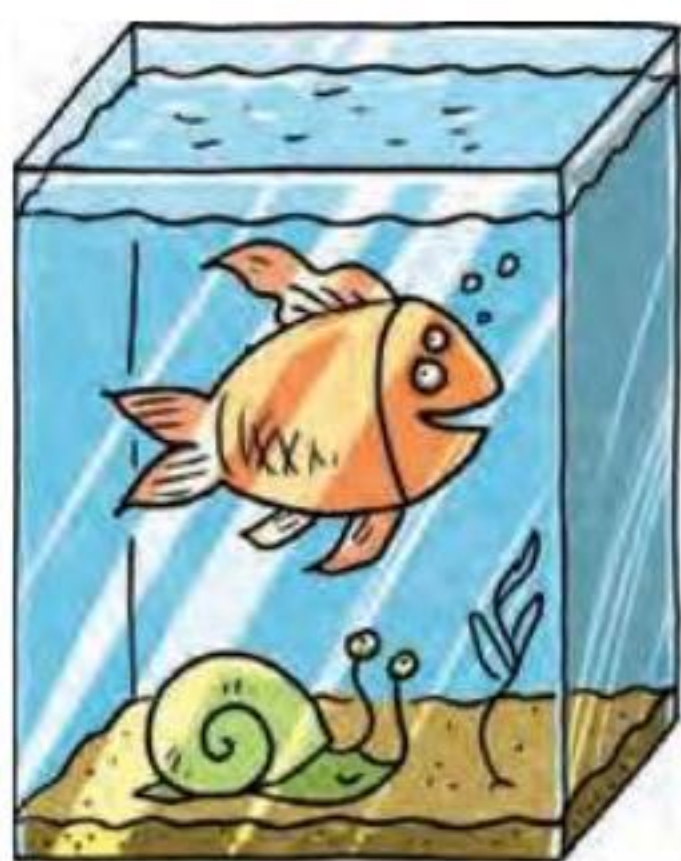


$$\begin{aligned} 1 \text{ l} &= 1000 \text{ ml} = 1000 \text{ cm}^3 = \\ &= 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} = \\ &= 1 \text{ dm} \cdot 1 \text{ dm} \cdot 1 \text{ dm} = 1 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

**i**  $1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm}$







Wysokość słupa cieczy zależy od kształtu i wymiarów naczynia, w którym znajduje się ta ciecz. Załóżmy, że woda wypełnia prostopadłościennie naczynie o polu podstawy  $100 \text{ cm}^2$  do wysokości  $60 \text{ cm}$  (innymi słowy wysokość słupa

cieczy wynosi  $60 \text{ cm}$ ). Gdy przelejemy ją do naczynia o polu podstawy  $600 \text{ cm}^2$ , czyli 6 razy większym, wysokość słupa wody będzie równa  $10 \text{ cm}$  (czyli 6 razy mniej).

Objętość prostopadłościanu:  $V = P \cdot h$

$P$  – pole podstawy prostopadłościanu,  $h$  – wysokość prostopadłościanu

### PRZYKŁAD 2.

Litr wody wlewano do prostopadłościennego wazonu, którego wnętrze ma pole podstawy równe  $50 \text{ cm}^2$  i wysokość  $100 \text{ cm}$ .

a) Uzasadnij, że woda zmieściła się w wazonie.

b) Oblicz wysokość słupa wody w wazonie.

**Dane:**  $V_{\text{wody}} = 1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$  — objętość wody

$P = 50 \text{ cm}^2$  — pole podstawy wnętrza wazonu

$h_{\text{wazonu}} = 100 \text{ cm}$  — wysokość wnętrza wazonu

a) **Szukane:**  $V_{\text{wazonu}} = ?$  — objętość wnętrza wazonu

**Rozwiązanie:**  $V_{\text{wazonu}} = P \cdot h_{\text{wazonu}}$

$$V_{\text{wazonu}} = 50 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} = 5000 \text{ cm}^3 > 1000 \text{ cm}^3$$

**Odp.** Woda zmieściła się w wazonie, ponieważ ma mniejszą objętość niż wazon.

b) **Szukane:**  $h_{\text{wody}} = ?$  — wysokość słupa wody w wazonie

**Rozwiązanie:**

I sposób:

$$V_{\text{wody}} = P \cdot h_{\text{wody}}$$

$$1000 \text{ cm}^3 = 50 \text{ cm}^2 \cdot h_{\text{wody}} \quad | : 50 \text{ cm}^2$$

$$\frac{1000 \text{ cm}^3}{50 \text{ cm}^2} = h_{\text{wody}}$$

$$h_{\text{wody}} = 20 \text{ cm}$$

II sposób:

$$V_{\text{wody}} = P \cdot h_{\text{wody}} \quad | : P$$

$$h_{\text{wody}} = \frac{V_{\text{wody}}}{P}$$

$$h_{\text{wody}} = \frac{1000 \text{ cm}^3}{50 \text{ cm}^2} = 20 \text{ cm}$$

**Odp.** Wysokość słupa wody w wazonie to  $20 \text{ cm}$ .

**i** W zadaniach, o ile nie napisano inaczej, zakładamy, że prostopadłościennie naczynie stoi tak, że jego podstawa jest pozioma.

Pamiętaj, że objętość prostopadłościanu można też obliczyć ze wzoru  $V = a \cdot b \cdot c$ , gdzie  $a$ ,  $b$  i  $c$  to długości krawędzi prostopadłościanu.

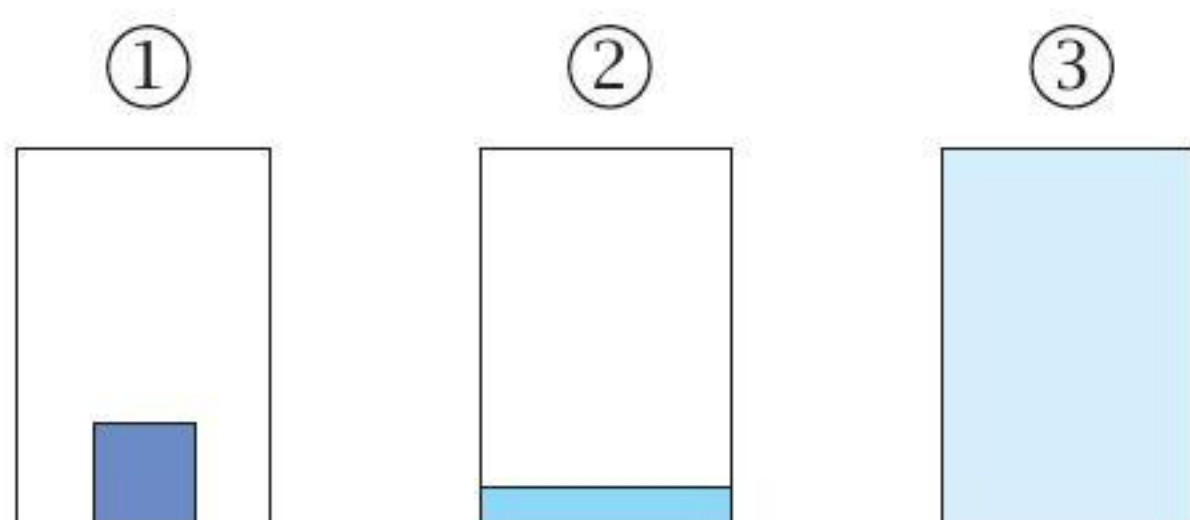


**ĆWICZENIE 2.** Litr mleka wlewano do pustego prostopadłościennego naczynia, którego wnętrze ma pole podstawy równe  $250\text{ cm}^2$  i wysokość  $5\text{ cm}$ . Czy mleko zmieściło się w naczyniu? Jeśli tak, oblicz wysokość słupa mleka w naczyniu.

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. *Trzy pojemniki*

W każdym z trzech pojemników umieszczono sześcienną kostkę lodu (nie było tam powietrza). Następnie każdy z pojemników przetrzymywano w innej, stałej temperaturze. Na schematach przedstawiono te pojemniki z zawartością zaznaczoną na niebiesko. Opisz stany skupienia zawartości pojemników.



### Zadanie 2. *Różne stany skupienia*

Wskaż trzy substancje, które mogą występować w przynajmniej dwóch różnych stanach skupienia.

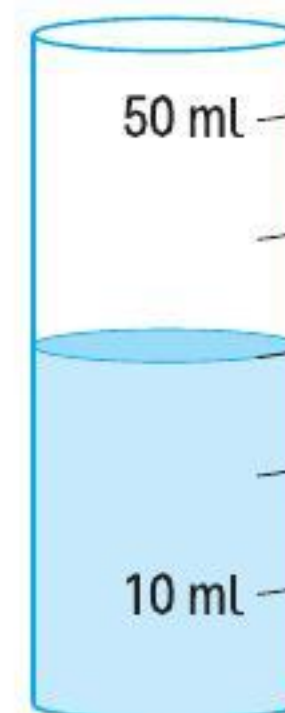
### Zadanie 3. *Chlupotanie*

Powołaj się na własności stanów skupienia i zaproponuj wyjaśnienie poniższych obserwacji.

- Gdy zamknięta nieprzezroczysta butelka jest częściowo wypełniona cieczą, to po jej potrząśnięciu lub przechyleniu wydobywają się odgłosy chlupotania.
- Odgłosów chlupotania nie słychać, gdy ciecz całkowicie wypełnia butelkę.
- Odgłosów chlupotania nie słychać, gdy w butelce znajduje się tylko gaz.

### Zadanie 4. *Cylinder miarowy*

Do pionowo ustawionego cylindra miarowego wlewano wodę (zob. rysunek), aby ustalić jej objętość. Niepewność pomiaru jest równa najmniejszej podziałce na cylindrze. Zapisz wynik pomiaru wraz z niepewnością.



### Zadanie 5. *Nietypowe naczynie*

Zaproponuj metodę pomiaru objętości naczynia o nietypowym kształcie, mając do dyspozycji cylinder miarowy oraz wodę.

### Zadanie 6. *Nurek*

Człowiek potrzebuje do oddychania około 10 litrów powietrza na minutę.

- Ile litrów powietrza potrzebuje do oddychania człowiek w ciągu godziny?
- Jak to możliwe, że płetwonurek spędza pod wodą ponad godzinę z niewielką butlą na plecach?



### Zadanie 7. *Powietrze w pudle*

W prostopadłościennym pudle o długościach krawędzi  $30\text{ cm}$ ,  $40\text{ cm}$  i  $50\text{ cm}$  znajduje się powietrze. Oblicz objętość tej porcji powietrza. Wynik wyraż w litrach.



### Zadanie 8. Sok

Dwa litry soku wlewano do prostopadłościennego naczynia, którego wnętrze ma pole podstawy  $100\text{ cm}^2$  i wysokość  $25\text{ cm}$ .

- Uzasadnij, że cały sok zmieścił się w naczyniu.
- Oblicz wysokość słupa soku w naczyniu.

### Zadanie 9. Powietrze

Litr powietrza w klasie Wertiki i Hasto ma masę około  $1,2\text{ g}$ .

- Oblicz masę  $1000$  litrów powietrza w tej klasie.
- Oblicz wartość siły ciężkości działającej na  $1000$  litrów powietrza w tej klasie.

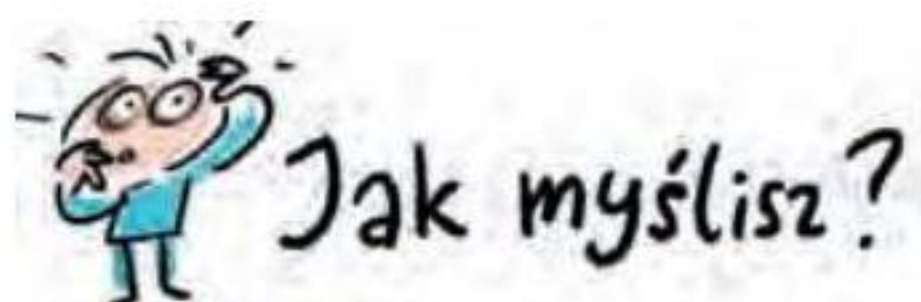
### Zadanie 10. Słup oleju

W prostopadłościennym naczyniu, którego wnętrze ma pole podstawy  $400\text{ cm}^2$  i wysokość  $1,5\text{ m}$ , znajduje się  $20\text{ l}$  oleju. Oblicz wysokość słupa oleju. Wynik wyraż w metrach.

### Zadanie 11. Organizmy

Zwierzęta i rośliny mają w sobie dużo cieczy. Jednak nie ma takich organizmów, które składałyby się tylko z cieczy. Zaproponuj wyjaśnienie tego faktu.

Meduza składa się w ok.  $96\%$  z wody.



- Ani gazy, ani ciecze nie mają swojego kształtu (przyjmują kształt naczynia, w którym się znajdują). Dlaczego ciecze mają określoną objętość, a gazy — nie?
- Gdzie na Ziemi można spotkać skałę w stanie ciekłym?
- Kałuże powstające podczas deszczu w końcu wysychają. Podobnie jest z wilgotnym praniem. Dlaczego tak się dzieje?

### Zadanie 12. Przelewanie

W prostopadłościennym szklanym akwariu, którego wnętrze ma pole podstawy  $3000\text{ cm}^2$ , znajdował się słup wody o wysokości  $20\text{ cm}$ . Wodę tę przelano do prostopadłościennego plastikowego naczynia, którego wnętrze ma pole podstawy  $1500\text{ cm}^2$  i wysokość  $50\text{ cm}$ . Oblicz wysokość słupa tej wody w plastikowym naczyniu.

### Zadanie 13. Między młotem a kowadłem

Metalowy gwóźdź można młotem rozklepać na kowadle na płaską blaszkę. Czy to oznacza, że stan skupienia gwoździa to ciecz, bo można zmienić jego kształt? Uzasadnij odpowiedź i zaproponuj doświadczenie ją potwierdzające.

### Zadanie 14. Pompowanie opon

Litr powietrza w napompowanej oponie rowerowej ma masę  $4,8\text{ g}$ . Objętość jednej opony to  $2\text{ l}$ .

- Jaką masę ma powietrze w dwóch tak napompowanych oponach roweru? Wyraż ją w dekagramach.
- Dzięki jakiej własności gazów można wtłoczyć w oponę rowerową o pojemności  $2$  litrów aż  $6$  litrów powietrza atmosferycznego?





# 9 Budowa ciał stałych, cieczy i gazów



Na zdjęciu widoczne są kryształy soli z kopalni w Wieliczce. Dlaczego fragmenty ich ścian są równe? Dlaczego krawędzie są ostre? Jak to możliwe, że naturalny twór ma takie gładkie ściany? Czy kryształ soli można zamienić w ciecz lub gaz?

## Cząsteczki w trzech stanach skupienia

Wszystko, co nas otacza — również my sami — składa się z małych, kulistych obiektów — **atomów**. Atomy oddziałują ze sobą elektrycznie, dzięki czemu łączą się ze sobą. Trwale połączona grupa atomów to cząsteczka (np. wody).



W każdym **ciele stałym** atomy zajmują stałą pozycję względem siebie. Dzięki temu ciała stałe zachowują swój kształt. Oczywiście można zdeformować ciało stałe, czyli zmienić położenie atomów względem siebie, ale nie jest to takie łatwe, jak w wypadku cieczy czy gazów. Atomy oraz cząsteczki w ciele stałym nie są zupełnie nieruchome, cały czas **drgają**. Mimo to ruchy te są na tyle niewielkie, że nie niszczą uporządkowania atomów w ciele stałym.

### Cel lekcji 8

Poznasz różnice w mikroskopowej budowie ciał stałych, cieczy i gazów. Nauczysz się wyjaśniać własności substancji w oparciu o ich budowę wewnętrzną.

### Warto wiedzieć

W fizyce cząsteczką nazywamy nawet pojedynczy atom.



Cząsteczki ciał stałych „pilnują” swojej pozycji, nie zmieniają jej. Dlatego ciała stałe zachowują swój kształt.





Cząsteczki cieczy przemieszczają się samoczynnie. Dlatego esencja herbaty „rozejdzie” się w wodzie pomimo braku dodatkowych ruchów, np. łyżeczką.



Cząsteczki gazu samoczynnie wędrują.

Cząsteczki **cieczy** oddziałują ze sobą na tyle silnie, że kropla nie rozpada się na pojedyncze cząsteczki (ciecz zachowuje objętość), ale na tyle słabo, że mogą się względem siebie przemieszczać (ciecz przyjmuje kształt naczynia, w którym jest umieszczona). Cząsteczki cieczy nie są ze sobą trwale połączone i dlatego ciecz rozplywa się po blacie. Stale **poruszają się i drgają**. Mogą wędrować nawet w cieczy, której nie mieszamy.

Otaczający nas **gaz** — powietrze — składa się głównie z cząsteczek azotu ( $N_2$ ) oraz tlenu ( $O_2$ ), które poruszają się tak szybko, że podczas zderzeń odbijają się od siebie. To powoduje, że „rozbiegają się”, dlatego gaz zajmuje całą objętość naczynia, w którym się znajduje. Cząsteczki gazu **poruszają się swobodnie**, więc gazy bardzo łatwo mieszają się ze sobą. Przykładem jest powietrze — mieszanina wielu gazów.

Cząsteczki **ciał stałych** nie przemieszczają się względem siebie.

Cząsteczki **cieczy** łatwo się przemieszczają.

Cząsteczki **gazu** łatwo się przemieszczają i „rozbiegają się” po całej dostępnej objętości.

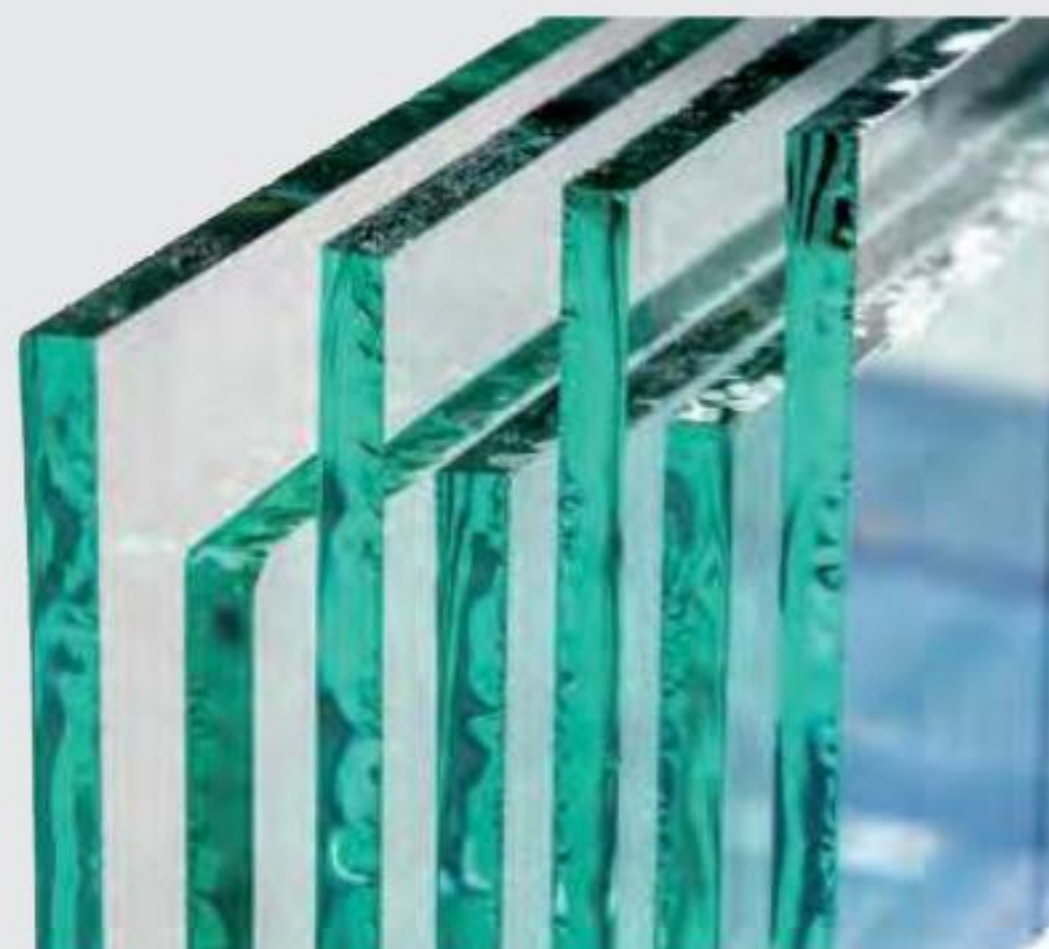
### Dowiedz się więcej o szkle

Istnieje powszechny, ale nieprawdziwy pogląd, że szkło to ciecz oraz że w temperaturze pokojowej można zaobserwować, jak płynie. Skąd wzięło się to błędne przekonanie? Zauważono, że szyby w oknach starych katedr są często grubsze na dole, i bezkrytycznie przyjęto, że szkło powoli „spływa”.

Wyjaśnienie jest jednak inne.

Dawniej nie produkowano tak równych szyb jak obecnie. Szklarze wstawiali szyby bardziej masywnym brzegiem do dołu, bo tak było wygodniej.

Z obliczeń wynika, że trzeba by czekać kilka razy dłużej, niż istnieje Ziemia, by zaobserwować jakiegokolwiek płynięcie szyby. W tym czasie „rozpływałyby” się inne przedmioty, które uznajemy za ciała stałe.





**PRZYKŁAD 1.**

W którym stanie skupienia najtrudniej jest zmienić położenie cząsteczki substancji względem sąsiednich cząsteczek?

**Odp.** W ciele stałym.

**ĆWICZENIE 1.** W których stanach skupienia cząsteczki substancji mogą łatwo przemieszczać się względem siebie?

**Jakie są rozmiary atomów i odległości między nimi?**

Do opisu wymiarów zeszytu użyjemy centymetrów, do wyrażenia średnicy ołówka — milimetrów. Do opisu długości czegoś mikroskopijnego, np. bakterii, wygodnie jest się posłużyć **mikrometrem** (skrót:  $\mu\text{m}$ ). Przedrostek *mikro* ( $\mu$ ) oznacza 0,000001.

$$1 \mu\text{m} = 0,000001 \text{ m} = 0,0001 \text{ cm} = 0,001 \text{ mm}$$

Średnica atomu to około  $0,0001 \mu\text{m}$ , czyli  $0,0000001 \text{ mm}$ . Cząsteczki są przeważnie kilka razy większe od atomów. O około tyle samo, czyli  $0,0001 \mu\text{m}$ , są oddalone od siebie środki atomów w ciałach stałych i cieczech, bo w tych stanach skupienia atomy są blisko siebie. To tak jak z kulami — jeśli ustawisz dwie takie same kule obok siebie, to odległość między ich środkami jest równa średnicy każdej z nich.

W otaczającym nas powietrzu, w temperaturze  $20^\circ\text{C}$ , odległości między cząsteczkami są duże, średnio około 10 razy większe niż długość średnicy cząsteczki. Między cząsteczkami powietrza znajduje się próżnia. Dlatego dosyć łatwo można zmniejszyć objętość porcji powietrza. Odległość między cząsteczkami w gazie jest zawsze większa niż w cieczy czy ciele stałym. A może być też bardzo duża, jeśli niewielka liczba cząsteczek gazu znajduje się w bardzo dużym pojemniku.

Cząsteczki ciał stałych oraz cieczy są możliwie blisko siebie. Odległość między cząsteczkami w gazie jest większa (poza zderzeniami) niż w cieczech i ciałach stałych.



Odległość między środkami stykających się ze sobą kul o takich samych promieniach jest równa średnicy każdej kuli.



**PRZYKŁAD 2.**

Średnica włosa to około 0,1 mm, a średnica atomu jest równa około 0,000 000 1 mm. Ile atomów mieści się wzdłuż średnicy włosa?

**Rozwiązanie:**  $\frac{0,1 \text{ mm}}{0,0000001 \text{ mm}} = 1\,000\,000$

**Odp.** Wzdłuż średnicy włosa mieści się około miliona atomów.

**ĆWICZENIE 2.** Długość pewnego wirusa to około 0,1 μm, a średnica atomu to około 0,0001 μm. Ile atomów mieści się wzdłuż długości tego wirusa?

### Dowiedz się więcej o ciałach stałych

Wskaż wspólną cechę poniższych płatków śniegu.

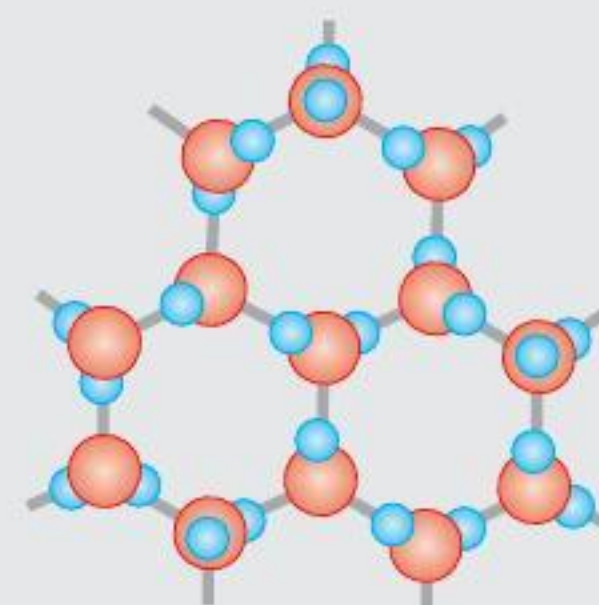


Dlaczego każdy płatek ma 6 ramion? Jednym z powodów jest fakt, że w zamarzającej wodzie cząsteczki ustawiają się w sieć sześciokątów (zob. rys. obok). Na początku powstaje sześciokątna lodowa płytka, a do niej doczepiają się kolejne cząsteczki wody. Jeśli na każdym boku sześciokąta jest taka sama temperatura i wilgotność, to powstaje sześć podobnych ramion.

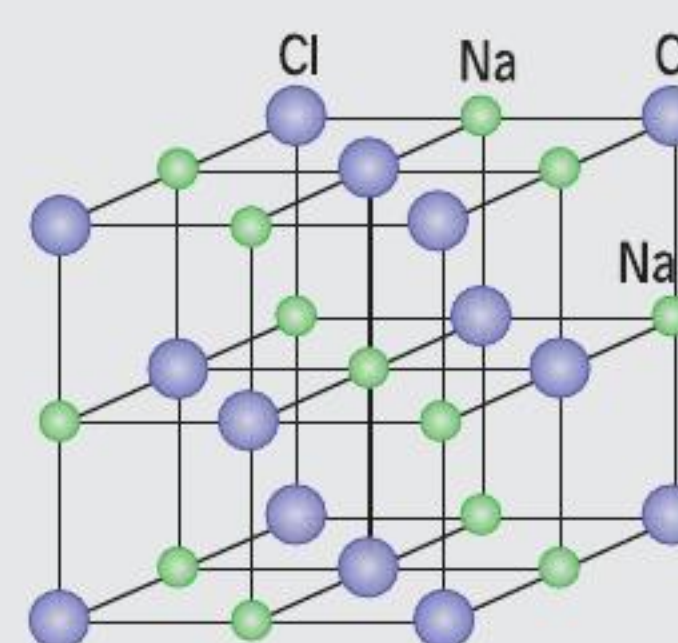
Z kryształem soli z kopalni w Wieliczce oraz solą kuchenną jest podobnie. Atomy w kryształach soli są ustawione w wierzchołkach sześciannów (zob. rys. obok). Skoro na poziomie atomowym sól jest „sześcienna”, to również duży kryształ ma taką cechę.

Zauważ, że zarówno w lodzie, jak i w soli są fragmenty, które się regularnie, zawsze w takich samych odstępach, powtarzają. Jest to cecha charakterystyczna kryształów.

**Kryształy to uporządkowane ciała stałe.** Nie wszystkie ciała stałe są kryształami. **Ciała niekryształiczne** to takie, w których nie ma fragmentu powtarzającego się w regularnych odstępach. Przykładem takiego ciała jest szkło, z którego produkowane są szyby, a także bursztyn oraz większość plastików.



Struktura lodu. Atomy tlenu (O) zaznaczono na czerwono, wodoru (H) – na niebiesko.

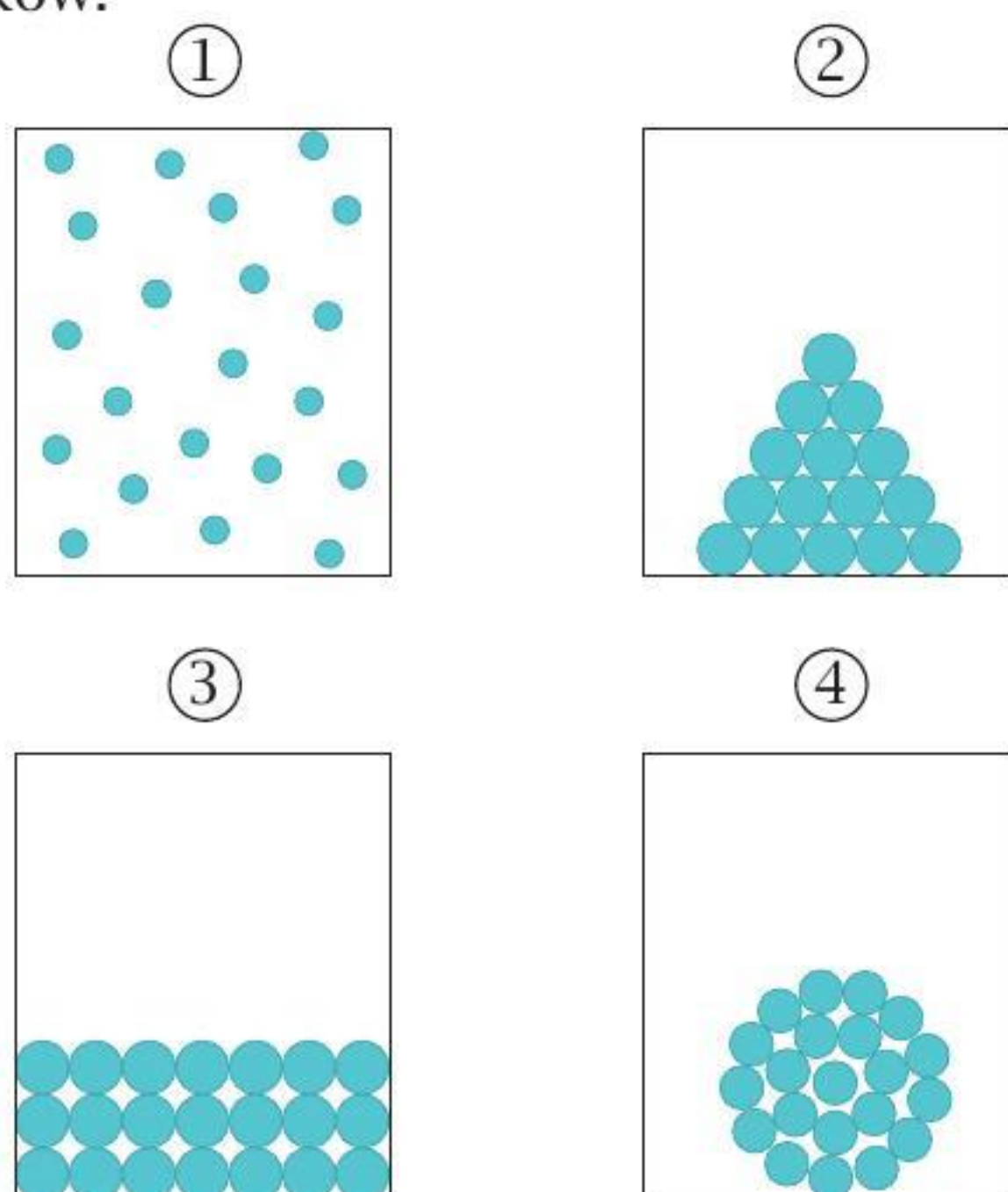


Struktura soli kuchennej (NaCl). Atomy sodu (Na) zaznaczono na zielono, chloru (Cl) – na fioletowo.



### Zadanie 1. *Cztery pojemniki*

Na poniższych rysunkach kółka symbolizują atomy, a prostokąty — pojemniki. W środku każdego pojemnika umieszczono inną substancję, a następnie pojemnik szczelnie zamknięto. Określ stan skupienia substancji w każdym z pojemników.



### Zadanie 2. *Duże odległości*

W jakim stanie skupienia odległości między cząsteczkami danej substancji są największe?

### Zadanie 3. *Małe odległości*

Cząsteczki pewnej substancji stykają się ze sobą. W jakim stanie skupienia może się znajdować ta substancja?

### Zadanie 4. *Ściskanie*

Dlaczego z łatwością można zmniejszyć objętość porcji powietrza, a trudno zrobić to z porcją wody? Fakt, że tak jest, możesz zaobserwować, ściskając w strzykawce powietrze, a następnie próbując to samo zrobić z wodą.

### Zadanie 5. *Stany skupienia*

Które stwierdzenia są prawdziwe?

- ① Ze wszystkich stanów skupienia najmniejsze odległości między cząsteczkami są w gazie.
- ② Cząsteczka w cieczy może łatwiej zmieniać swoje położenie niż w ciele stałym.
- ③ Porcja gazu ma ustaloną objętość, niezależną od objętości naczynia, w którym tę porcję umieścimy.
- ④ Ciała stałe zachowują objętość.

### Zadanie 6. *Ciała krystaliczne*

— Można powiedzieć, że wszystkie ciała są krystaliczne, bo przecież powtarzają się w nich te same fragmenty, czyli atomy — zauważył Hasto.

— To byłoby dziwne, bo wtedy nie warto tworzyć takiej nazwy jak „ciała krystaliczne” — stwierdziła Weritka.

Wyjaśnij, o czym zapomniał Hasto, opisując ciała krystaliczne.

### Zadanie 7. *Złota blaszka*

Złota blaszka ma grubość  $0,6\ \mu\text{m}$ , a średnica atomu złota to  $0,0003\ \mu\text{m}$ . Oblicz, ile razy grubość blaszki jest większa od średnicy atomu złota.

### Zadanie 8. *Kartka*

Pewien producent papieru podał, że grubość kartki jest równa  $80\ \mu\text{m}$ . Wyraź tę grubość w milimetrach.



### Zadanie 9. Rozlana woda

Do prostopadłościennej miseczki, której dno ma pole powierzchni  $20 \text{ cm}^2$ , wlane 3 ml wody i rozprowadzono ją tak, że zajęła całe dno miseczki, a warstwa wody ma wszędzie taką samą wysokość. Podaj wysokość warstwy wody w milimetrach. Oblicz, ile razy wysokość warstwy wody jest większa od  $0,0000003 \text{ mm}$ , czyli od rozmiaru cząsteczki wody.

### Zadanie 10. Miliser

Oblicz, ile sześciątów sera o krawędzi  $1 \text{ mm}$  mieści się w sześcianie o krawędzi  $1 \text{ cm}$ .



### Zadanie 11. Cząsteczki powietrza

W temperaturze  $20^\circ\text{C}$  w 40 litrach powietrza jest około  $10^{24}$  cząsteczek. Oblicz liczbę cząsteczek powietrza w:

- a)  $1 \text{ l}$       b)  $1 \text{ ml}$       c)  $1 \text{ mm}^3$

i Liczba  $10^{24}$  to  $\underbrace{100\dots00}_{24 \text{ zera}}$ , a  $1 \text{ mm}^3 = 0,001 \text{ cm}^3$ .

### Zadanie 12. Cząsteczki azotu

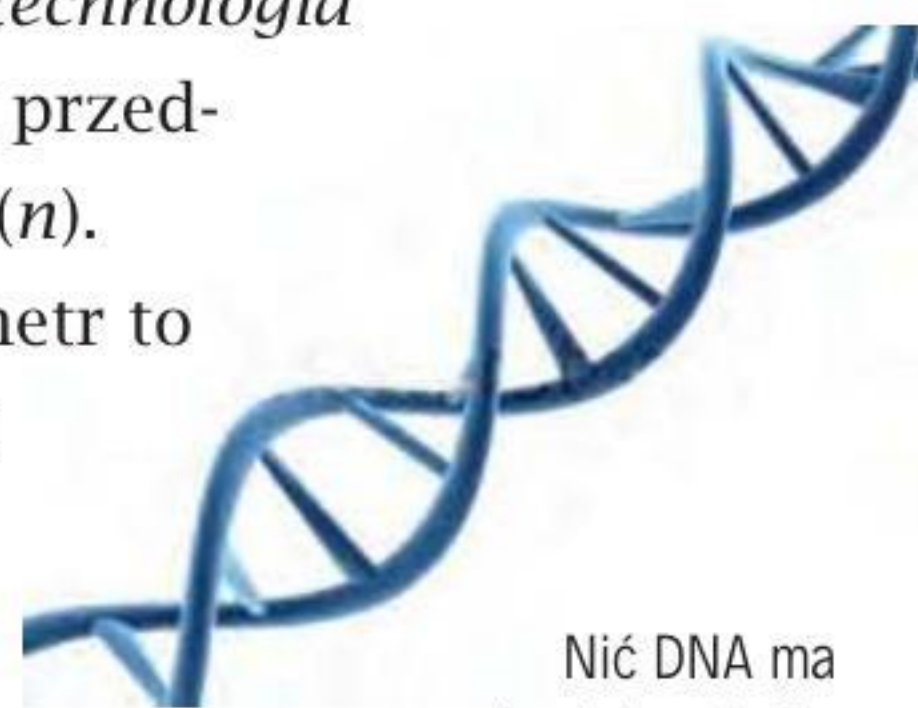
W strzykawce z zamkniętym wylotem jest  $5 \cdot 10^{19}$  cząsteczek azotu. Tłok strzykawki znajduje się przy wartości  $2 \text{ ml}$ . Oblicz liczbę cząsteczek azotu w  $1 \text{ ml}$ , gdy wysuniemy tłok tak, że będzie znajdował się przy wartości  $5 \text{ ml}$ .

i Liczba  $5 \cdot 10^{19}$  to  $\underbrace{500\dots00}_{19 \text{ zer}}$ .

### Zadanie 13. Nano

Nazwa *nanotechnologia* pochodzi od przedrostka *nano* (*n*).

Jeden nanometr to  $0,000000001$  metra.

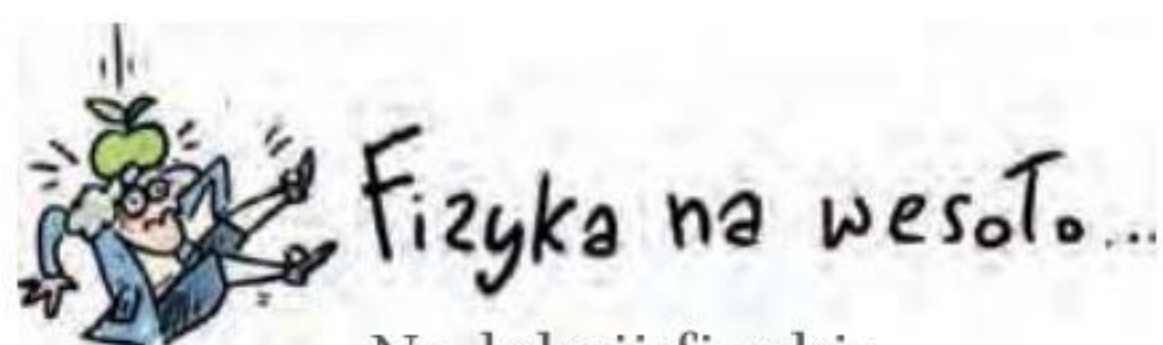


Nić DNA ma średnicę ok.  $2 \text{ nm}$ .

Ile atomów o średnicy  $0,0000000001 \text{ m}$  mieści się wzdłuż jednego nanometra ( $1 \text{ nm}$ )?



- Czy są włosy o znacznie mniejszej średnicy niż  $0,1 \text{ mm}$ ?
- Co się stanie, jeśli zwiększymy drgania atomów w ciele stałym?
- Dlaczego wszystkie ramiona w płatku śniegu są bardzo podobne? Dlaczego nie są identyczne?
- Czym są ciekłe kryształy?
- W jakich warunkach cząsteczki gazu łączą się ze sobą, tworząc ciecz?



Na lekcji fizyki:

- Wymień znane ci stany skupienia.
- Yyy?
- To raczej zupełny brak skupienia...



# 10 Siły międzycząsteczkowe



Na zdjęciu pokazano nartnika – owada, który potrafi stać na wodzie. Dlaczego odnóża nartnika się nie zanurzają? Dlaczego powierzchnia wody zagina się przy odnóżach? Jak ciężki bagaż mógłby mieć nartnik stojący na wodzie? Jakie oddziaływania są ważne w tym zjawisku?

## Siły spójności

Dlaczego krople wody mają kształt podobny do kuli? Wszystkie substancje zbudowane są z cząsteczek, które oddziałują ze sobą. Woda tworzy krople, ponieważ cząsteczki przyciągają się wzajemnie. To przyciąganie nazywamy **siłami spójności**. Dzięki nim kropla wody nie rozpada się na pojedyncze cząsteczki. Z drugiej strony, gdy próbujemy ścisnąć wodę, na przykład w strzykawce z zamkniętym wylotem, to okazuje się, że trudno jest zmienić jej objętość. Dzieje się tak dlatego, że przy próbie przybliżania cząsteczek, te zaczynają się odpychać.



Oddziaływania między cząsteczkami wody przeciwdziałają ich rozdzieleniu, ale też przybliżeniu.

Siły wzajemnego przyciągania się cząsteczek tej samej substancji nazywamy **siłami spójności**.

## Cel lekcji 8

Dowiesz się, czym są siły spójności i przylegania oraz w jaki sposób wpływają one na właściwości cieczy. Dowiesz się, czym jest napięcie powierzchniowe.



Krople wody „najchętniej” tworzą kształt podobny do kuli.

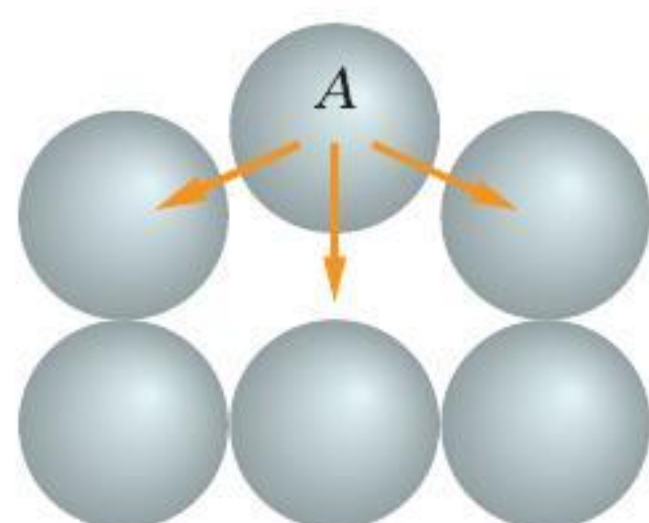


## Napięcie powierzchniowe

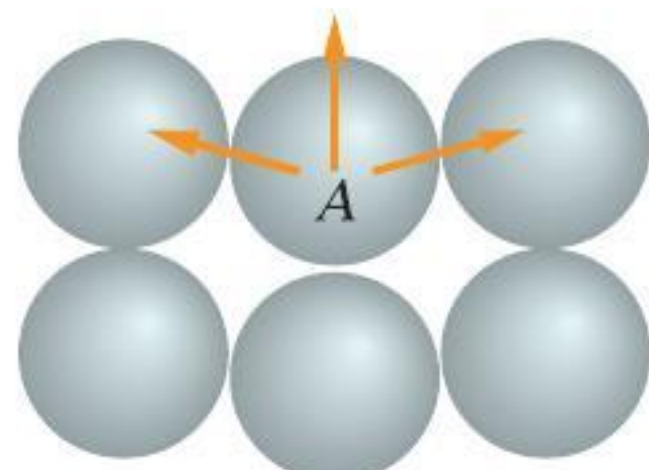
### Doświadczenie

### Spinacz na wodzie

- ① Przygotuj szklankę z wodą i spinacz biurowy.
- ② Połóż spinacz na powierzchni wody w taki sposób, aby nie zatonął. Przyjrzyj się uważnie powierzchni wody.



rys. 1



rys. 2

Powierzchnia wody pod nartnikiem lub spinaczem ugina się jak siatka trampoliny pod skaczącą osobą. Zachowuje się tak, jakby była elastyczną błoną. Takie zjawisko nazywamy **napięciem powierzchniowym**. Za jego powstawanie odpowiedzialne są siły przyciągania (siły spójności). Ale cząsteczki nie zawsze się przyciągają. Napompowany balon nie zapada się, gdyż na powłokę napiera od wewnątrz powietrze. Podobnie cząsteczki wewnątrz kropli działają na cząsteczki na powierzchni. Dzięki temu krople dążą do kulistego kształtu.

Gdy cząsteczka A próbuje oddalić się od pozostałych, siły spójności przyciągają ją do powierzchni. Gdy próbuje nadmiernie „się wcisnąć”, też jest zawracana — cząsteczki na powierzchni przyciągają ją, a wewnętrzne wypychają. Jeśli cząsteczka spoczywa, to działające na nią siły się równoważą.

### PRZYKŁAD 1.

Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Dwie znajdujące się blisko siebie cząsteczki zaczynają się przyciągać, gdy próbujemy:

- A. oddalić je od siebie,      B. zbliżyć je do siebie.

Odp. A.

**i** Pamiętaj, że cząsteczki starają się nie być ani zbyt blisko, ani zbyt daleko od siebie.

### ĆWICZENIE 1.

Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Dwie znajdujące się blisko siebie cząsteczki zaczynają się odpychać, gdy próbujemy:

- A. oddalić je od siebie,      B. zbliżyć je do siebie.

### Doświadczenie

### Woda z „górką”

- ① Przygotuj szklankę, wodę oraz kilkanaście monet.
- ② Napełnij szklankę wodą po sam brzeg.
- ③ Ostrożnie wrzucaj do wody monety i obserwuj powierzchnię wody.
- ④ Jak wytłumaczyć to, że woda może wystawać ponad krawędź szklanki?



Jeszcze przed wrzuceniem monet wydawało się, że woda wypełniała całą szklankę. Jednak można było w niej zmieścić jeszcze kilka monet. Po ich wrzuceniu powierzchnia wygięła się jak elastyczna błona.

**Napięcie powierzchniowe** to zjawisko, dzięki któremu powierzchnia cieczy zachowuje się jak sprężysta powłoka. Napięcie powierzchniowe wynika z istnienia sił między cząsteczkami.



Powierzchnia wody wygina się jak elastyczna błona.

## Jak zmienić napięcie powierzchniowe wody?

Sprawdź doświadczalnie, jak można zmienić napięcie powierzchniowe wody.

### Doświadczenie

### Sznurek na wodzie

- ① Przygotuj trzy identyczne kawałki nitki (lub sznurka), dwie szklanki z zimną wodą i jedną — z gorącą oraz roztwór płynu do mycia naczyń (połącz kilka kropel płynu z 10 ml wody).
- ② Na powierzchni wody w każdej szklance połóż nitkę. Zaobserwuj kształt powierzchni wody wokół nitki. Czy nitka nasiąka wodą? W której szklance nitka tonie?
- ③ Do jednej ze szklanek z zimną wodą dodaj kilka kropel roztworu płynu do mycia naczyń. Obserwuj, jak zachowuje się nitka.

Okazuje się, że nitka może leżeć na powierzchni zimnej wody (bez dodatku płynu) i pozostaje sucha. Po dodaniu płynu do mycia naczyń nitka nasiąka wodą i zaczyna opadać na dno naczynia. Dzieje się tak dlatego, że płyn do mycia naczyń zmniejsza napięcie powierzchniowe wody.

Napięcie powierzchniowe zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury. Między innymi dlatego w gorącej wodzie nitka szybciej nasiąka wodą.

### Dowiedz się więcej o substancjach powierzchniowo czynnych

W skład środków myjących i piorących wchodzi tak zwane **substancje powierzchniowo czynne**. Między innymi obniżają one napięcie powierzchniowe wody, dzięki czemu warstwa wody z detergentem łatwiej pokrywa skórę lub tkaninę, jak również drobiny zanieczyszczeń.





Krople wody po deszczu utrzymują się na pionowej szybie.

## Siły przylegania

Wiesz już, że cząsteczki danej substancji wzajemnie na siebie oddziałują. Sprawdźmy, czy cząsteczki różnych substancji (na przykład wody i szkła) również mogą na siebie oddziaływać w podobny sposób.

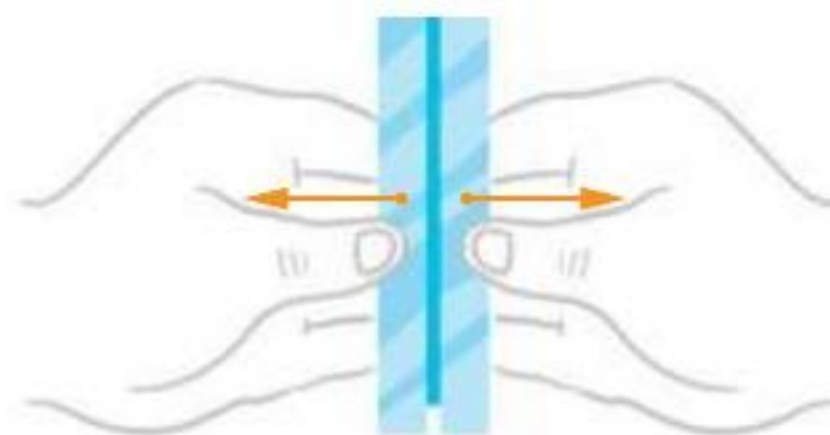
Szyba po deszczu wygląda tak, jak na zdjęciu obok. Nawet gdy nie pada już dłuższą chwilę, krople wody utrzymują się na pionowej szybie. Dzieje się tak dzięki wzajemnemu przyciąganiu cząsteczek wody z cząsteczkami szkła.

### Doświadczenie

#### Woda jak klej

Dwa płaskie szkiełka zwilż wodą i przyłóż do siebie, a następnie spróbuj je rozdzielić, odciągając od siebie.

Dlaczego szkiełka tak trudno jest rozdzielić?



#### Warto wiedzieć

W powyższym doświadczeniu byłyby istotne tylko siły spójności i przylegania, gdyby doświadczenie było wykonywane w próżni. Wyeliminowano by wtedy wpływ cząsteczek powietrza bombardujących szkiełka.

Szkiełka zwilżone wodą trudno jest od siebie odkleić, gdyż cząsteczki wody i szkła przyciągają się, gdy chcemy je od siebie oddalić.

Siły wzajemnego przyciągania się cząsteczek różnych substancji nazywamy **siłami przylegania**.

O kształcie kropli wody znajdującej się na jakiejś powierzchni decydują zarówno siły spójności jak i siły przylegania. Na przykład na szkło woda rozlewa się „chętniej” niż na wosk. Wynika to z tego, że siły przylegania pomiędzy cząsteczkami wody i szkła są większe niż siły przylegania pomiędzy cząsteczkami wody i wosku.

### Dowiedz się więcej o kohezji i adhezji

Siły spójności to inaczej **kohezja**, a siły przylegania — **adhezja**.

Kohezja i adhezja odgrywają bardzo ważną rolę w procesach biologicznych. Umożliwiają transportowanie wody w roślinach nawet na wysokość ponad 100 m. Tak wysoka „nitka” wody nie rozrywa się i nie spływa, bo cząsteczki wody przylegają do siebie oraz do ścianek kanału. Ponieważ woda z liści odparowuje, kolejne jej cząsteczki dzięki siłom spójności i przylegania są wciągane do góry.





## Czas na zadania!

### Zadanie 1. Siły spójności to siły:

- A. dzięki którym Słońce przyciąga Ziemię,
- B. przyciągania między cząsteczkami,
- C. występujące tylko w gazach,
- D. występujące tylko na powierzchni cieczy.

### Zadanie 2. **Siły przylegania i spójności**

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Siły przylegania występują pomiędzy cząsteczkami A/B.

Siły spójności występują pomiędzy cząsteczkami A/B.

- A. tej samej substancji
- B. różnych substancji

### Zadanie 3. **Kształt kałuży**

Poniższe zdjęcia przedstawiają wodę wylaną na dwa różne płaskie drewniane blaty w tym samym pomieszczeniu. Sposób lania wody był w obu sytuacjach identyczny.



Zaproponuj wyjaśnienie faktu, że przedstawione na lewej fotografii krople wody połączyły się w większą „kałużę”, a na prawej — nie.



### Zadanie 4. **Pędzel**

Włosy pędzla po wyjęciu z wody łączą się (zob. rysunek obok). Zaproponuj wyjaśnienie tego zjawiska.

### Zadanie 5. **Zwarta rtęć**

Na fotografii na następnej stronie przedstawiono rtęć rozlaną na blacie.

- a) Jakie siły zapobiegają rozlaniu się porcji rtęci po całym blacie?
- b) Jak nazywa się zjawisko, dzięki któremu powierzchnia kropli rtęci zachowuje się tak, jakby była sprężystą błonką?

### Zadanie 6. **Kształt kropli**

Dzięki siłom międzycząsteczkowym kropla stara się przyjąć kształt kuli. Dlaczego duża kropla na liściu jest bardziej rozplaszczona niż mała kropla? Zaproponuj wyjaśnienie.



### Zadanie 7. **Lepka woda**

Do talerza nalej wody. Dnem szklanki dotknij powierzchni wody, a następnie powoli unieś szklankę. Co dzieje się z powierzchnią wody? Zaproponuj wyjaśnienie tego zjawiska.



- Jaki kształt przybiera kropla wody, gdy spada w powietrzu?
- Co oprócz mniejszego napięcia powierzchniowego powoduje szybsze moknięcie nitki leżącej na powierzchni gorącej wody?



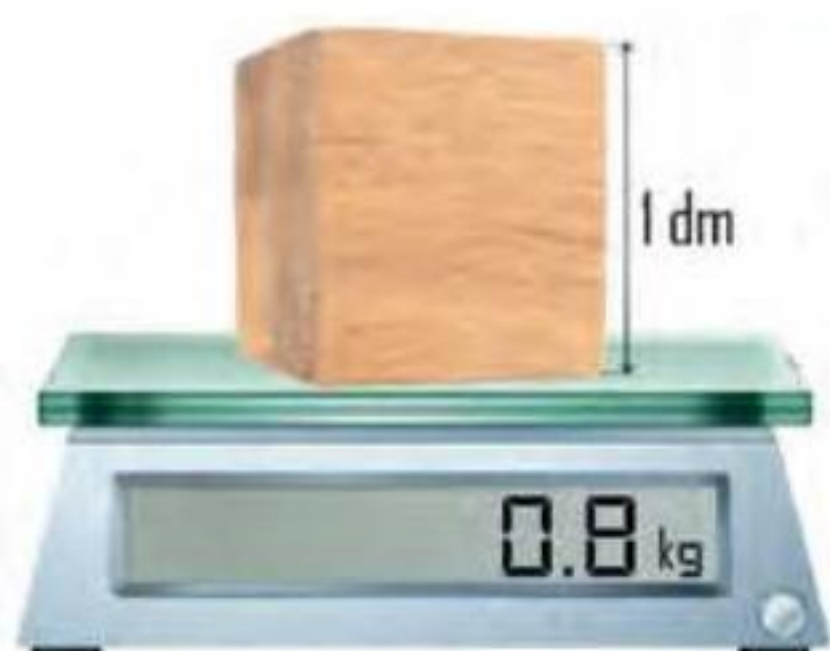
# 11 Gęstość. Jednostki gęstości



Na zdjęciu widać rtęć – jedyny metal, który w normalnych warunkach jest ciekłą. Jaką masę ma litr rtęci? A dwa litry? Od czego zależy masa litra substancji?

## Cel lekcji

Poznasz pojęcie gęstości i jej jednostki. Dowiesz się, jak wyznaczać gęstość cieczy.



Sześcienna kostka z drewna.



Sześcienna kostka ze stali.

## Co to jest gęstość?

Na ilustracjach przedstawiono dwa sześciany o dokładnie takich samym wymiarach. Każdy ma jednak inną masę. Dlaczego tak jest? Od czego zależy masa tych sześcianów?

Sama objętość nie wystarczy, żeby dowiedzieć się, jaka jest masa przedmiotu. Stalowa kostka ma większą masę niż kostka drewniana, mimo że mają identyczny rozmiar. Wielkością, która opisuje, ile masy przypada na jednostkę objętości, jest **gęstość**.

Oba sześciany na fotografiach mają krawędzie długości 1 dm, czyli objętość każdego z nich wynosi  $1 \text{ dm}^3$ . Drewniany sześcian ma masę 0,8 kg. Jego gęstość to  $0,8 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ , co czytamy: *0,8 kilograma na decymetr sześcienny*.

### PRZYKŁAD 1.

Na podstawie informacji przedstawionych na fotografii odpowiedz na pytania.

- a) Jaką masę ma  $1 \text{ dm}^3$  stali?
- b) Jaka jest gęstość stali?

Odp. a) 8,1 kg, b)  $8,1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ .



**ĆWICZENIE 1.** Zważono sześcienny betonowy blok o krawędzi 1 m (zob. fotografia).

- a) Jaką masę ma 1 m<sup>3</sup> tego betonu?
- b) Jaka jest gęstość tego betonu?

Gęstość oznaczamy literą  $d$ , od angielskiego słowa *density* (czyt. densyti).



Sześcienny betonowy blok.

$$\text{gęstość} \longrightarrow d = \frac{m}{V} \longleftarrow \text{masa porcji substancji}$$

↑  
objętość porcji substancji

Gęstość najczęściej wyrażamy w jednostkach:  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,  $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ ,  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

**PRZYKŁAD 2.**

W cysternie znajduje się mleko o objętości 20 m<sup>3</sup> i masie 20 600 kg. Oblicz jego gęstość.

**Dane:**

$m = 20\,600\text{ kg}$  — masa mleka

$V = 20\text{ m}^3$  — objętość mleka

**Szukane:**

$d = ?$  — gęstość mleka

**Rozwiązanie:**  $d = \frac{m}{V}$

$$d = \frac{20\,600\text{ kg}}{20\text{ m}^3} = \frac{20\,600}{20} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Odp.** Mleko ma gęstość  $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**ĆWICZENIE 2.** Cegły poukładano tak, że utworzyły prostopadłościan o wymiarach 1 m × 1 m × 2 m. Masa tej prostopadłościennej konstrukcji to 3200 kg. Oblicz gęstość cegieł.

Na końcu podręcznika znajdziesz tablice przybliżonych gęstości różnych substancji. Poniżej przedstawiono fragment tych tablic. Dla której z poniższych substancji jej porcja o objętości 1 m<sup>3</sup> ma największą masę, a dla której — najmniejszą?

|                                               | woda (4°C) | gliceryna | ręć    | aluminium | lód | ołów   | stal nierdzewna | złoto  |
|-----------------------------------------------|------------|-----------|--------|-----------|-----|--------|-----------------|--------|
| Gęstość<br>[ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ] | 1000       | 1260      | 13 500 | 2700      | 917 | 11 300 | 8100            | 19 300 |



## Znane gęstość i objętość, szukana masa

Jeśli znamy gęstość i objętość danego ciała, możemy wyznaczyć jego masę. Wiedząc, że woda ma gęstość  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , łatwo można ustalić, że w zbiorniku o objętości  $5 \text{ m}^3$  zmieści się  $5000 \text{ kg}$  wody. W bardziej skomplikowanych przypadkach można skorzystać ze wzoru  $d = \frac{m}{V}$ .

### PRZYKŁAD 3.

Oblicz masę  $30 \text{ m}^3$  płynnej czekolady o gęstości  $1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**Dane:**  $V = 30 \text{ m}^3$  — objętość czekolady  
 $d = 1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  — gęstość czekolady

**Szukane:**  $m = ?$  — masa czekolady

**Rozwiązanie:**

I sposób:

$$\begin{aligned}d &= \frac{m}{V} \\1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} &= \frac{m}{30 \text{ m}^3} \quad | \cdot 30 \text{ m}^3 \\1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 30 \text{ m}^3 &= \frac{m}{\cancel{30 \text{ m}^3}} \cdot \cancel{30 \text{ m}^3} \\39\,000 \frac{\text{kg}}{\cancel{\text{m}^3}} \cdot \cancel{\text{m}^3} &= m \\m &= 39\,000 \text{ kg}\end{aligned}$$

II sposób:

$$\begin{aligned}d &= \frac{m}{V} \quad | \cdot V \\d \cdot V &= \frac{m}{\cancel{V}} \cdot \cancel{V} \\m &= d \cdot V \\m &= 1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 30 \text{ m}^3 \\m &= 39\,000 \text{ kg}\end{aligned}$$

**Odp.**  $30 \text{ m}^3$  czekolady o gęstości  $1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ma masę  $39\,000 \text{ kg}$ .

**ĆWICZENIE 3.** Oblicz masę  $2 \text{ m}^3$  lodu o gęstości  $920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

*Warto wiedzieć*

$1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$   
Każda z tych wartości to **gęstość wody** wyrażona w różnych jednostkach (w ziemskich warunkach w temperaturze  $4^\circ\text{C}$ ).

## Jednostki gęstości

Podstawowymi jednostkami układu SI są kilogram i metr, więc najczęściej gęstości są podawane w  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Gęstość można wyrażać też w innych jednostkach, na przykład  $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ ,  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Do zamiany jednostek gęstości potrzebna jest znajomość podstawowych zależności dla jednostek masy i długości, np.  $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$ ,  $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$ .

### PRZYKŁAD 4.

Gęstość benzyny to około  $750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Wyraż tę gęstość w  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

**Rozwiązanie:**  $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$

$$1 \text{ m}^3 = 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 100 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 1\,000\,000 \text{ cm}^3$$

$$750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{750 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = \frac{750\,000 \text{ g}}{1\,000\,000 \text{ cm}^3} = \frac{750}{1000} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

**ĆWICZENIE 4.** Gęstość złota to około  $19,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Wyraż tę gęstość w  $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$  oraz w  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .



- ① Przygotuj ciecz inną niż woda (np. mleko, słoną wodę, olej), wagę oraz cylinder miarowy. Przerysuj tabelę do zeszytu.
- ② Wykonaj pomiary i obliczenia według poniższego planu i zapisz wyniki w tabeli.
- ③ Zmierz masę cylindra miarowego.
- ④ Nalej do cylindra 100 ml cieczy. Zmierz masę cylindra z cieczą.
- ⑤ Oblicz masę 100 ml cieczy.
- ⑥ Wyraź objętość cieczy w  $\text{cm}^3$ . **i**  $1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$
- ⑦ Oblicz gęstość cieczy.



| Wielkość                                                            | Jednostka                      | Wynik pomiaru lub obliczeń |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| $m_{\text{naczynia}}$ , masa cylindra miarowego                     | g                              |                            |
| $m_{\text{całości}}$ , masa cylindra z 100 ml cieczy                | g                              |                            |
| $m = m_{\text{całości}} - m_{\text{naczynia}}$ , masa 100 ml cieczy | g                              |                            |
| $V$ , objętość cieczy                                               | $\text{cm}^3$                  |                            |
| $d = \frac{m}{V}$ , gęstość cieczy                                  | $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ |                            |

- Jaka jest niepewność pomiaru masy, a jaka — objętości?
- Czy gęstość cieczy jest mniejsza od gęstości wody, która wynosi  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ?

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. Gliceryna, ciekły azot i platyna

Oblicz gęstość podanych substancji, wiedząc, że:

- a)  $2000 \text{ dm}^3$  gliceryny ma masę 2520 kg,
- b)  $5 \text{ dm}^3$  ciekłego azotu ma masę 4 kg,
- c)  $20 \text{ cm}^3$  platyny ma masę 428 g.

### Zadanie 2. Drewniany klocek

Oblicz gęstość sześciennego drewnianego klocka o krawędzi 20 cm i masie 4 kg. Wyraź ją w  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .



### Zadanie 3. Syrop

W naczyniu, stojącym na wadze, znajduje się syrop o objętości  $200 \text{ cm}^3$ . Układ pomiarowy oraz wskazania przyrządów przedstawiono na rysunku. Masa pustego naczynia to 90 g. Oblicz gęstość syropu.





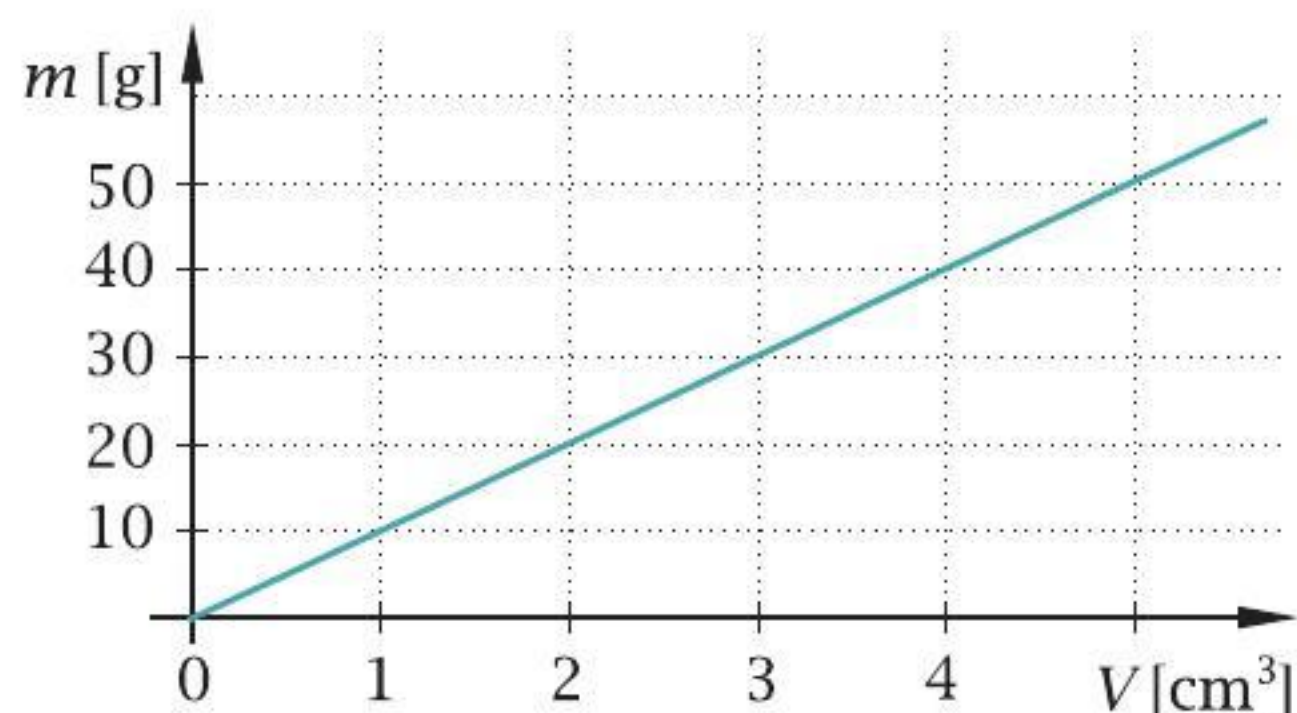
#### Zadanie 4. Aluminium i żelazo

Gęstość aluminium to  $2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , a gęstość żelaza to  $7,87 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Który z tych metali ma większą gęstość?

#### Zadanie 5. Srebro

Wykres przedstawia zależność między objętością srebra ( $V$ ) a jego masą ( $m$ ).

- Jaką masę mają  $4 \text{ cm}^3$  srebra?
- Jaką gęstość ma srebro?



#### Zadanie 6. Kostki na wadze

Na wadze szalkowej położono sześćienne kostki: na lewej — stalową kostkę o krawędzi  $4 \text{ cm}$  i gęstości  $8,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , a na prawej — ołowianą kostkę o krawędzi  $2 \text{ cm}$  i gęstości  $11,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

- Oblicz masy tych kostek.
- Opisz zachowanie szalek wagi.

#### Zadanie 7. Woda w oceanie

Gęstość wody przy powierzchni Oceanu Atlantyckiego to około  $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

- Wyraź tę gęstość w  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .
- Spróbuj wyjaśnić, z czego wynika różnica między gęstością wody w Atlantyku a gęstością czystej wody.

#### Zadanie 8. Masa powietrza w klasie

Oblicz masę powietrza znajdującego się w twojej klasie. Przyjmij, że powietrze przy powierzchni Ziemi ma gęstość  $1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

#### Zadanie 9. Zmiany gęstości wody

Gęstość wody zależy między innymi od temperatury. Woda jest najgęstsza w temperaturze  $4^\circ\text{C}$ . Korzystając z informacji podanych w tabeli na str. 271, oblicz, o ile różni się masa  $1000 \text{ dm}^3$  wody w temperaturze  $4^\circ\text{C}$  od masy  $1000 \text{ dm}^3$  wody w temperaturze  $25^\circ\text{C}$ .

#### Zadanie 10. Filmowe złoto

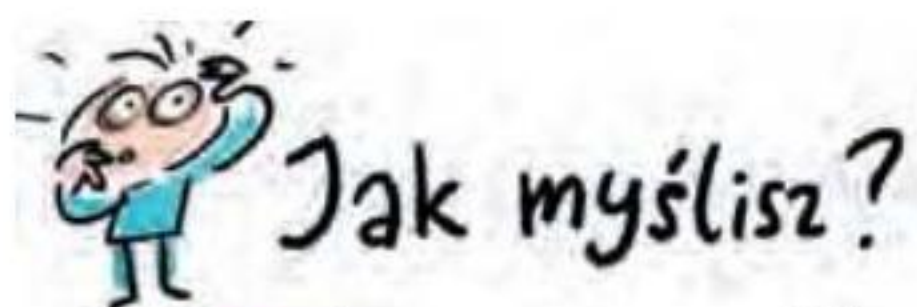
Weritka i Hasto oglądają film, w którym złodzieje wywożą sztabki złota ze skarbca.

— Wzięli tych sztabek ze 300 sztuk — mówi Weritka.

— Ale to jest niemożliwe... dach samochodu by się zarwał — odpowiada Hasto.



Oszacuj masę 300 sztabek złota i oceń, czy omawiana scena filmowa jest realistyczna. Przyjmij, że objętość sztabki złota to  $0,7 \text{ dm}^3$ , a gęstość złota to około  $19,3 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ .



- Dlaczego gęstość ludzkiego ciała jest bliska gęstości wody?
- Jak dosypywanie soli lub cukru do wody zmienia jej gęstość?
- Co należy dodać do wody, by mieszanina miała mniejszą gęstość niż woda?
- Jak zmierzyć gęstość złotego łańcuszka?



# 12 Wyznaczanie gęstości



Dlaczego góra lodowa nie tonie? O ile obniżyłby się poziom oceanu, gdyby wyciągnąć tę górę z wody? Co oznacza określenie „wierzchołek góry lodowej”?

## Jak wyznaczyć gęstość cegły?

Wiesz już, co to jest gęstość i jak ją obliczać. Spróbuj samodzielnie wyznaczyć gęstość cegły, dokonując odpowiednich pomiarów.

### Cel lekcji 8

Dowiesz się, jak wyznaczać gęstość ciał stałych o regularnych i nieregularnych kształtach.

#### Doświadczenie

#### Gęstość prostopadłościanu

- ① Przygotuj wagę elektroniczną, linijkę oraz przedmiot w kształcie prostopadłościanu (np. cegłę, klocek).
- ② Zmierz masę przedmiotu za pomocą wagi.
- ③ Zmierz linijką krawędzie przedmiotu i oblicz jego objętość.
- ④ Wyznacz gęstość substancji, z której wykonany jest przedmiot.



## Jak wyznaczyć gęstość klucza?

Aby wyznaczyć gęstość klucza, trzeba znać jego masę oraz objętość. Masę ustalimy, używając wagi. A co z objętością? Klucz ma nieregularny kształt, nie mamy wzoru opisującego jego objętość. Ale wystarczy sprawdzić, o ile podniesie się poziom cieczy w cylindrze miarowym, gdy zanurzymy w niej klucz. Tak ustalimy objętość klucza.



**PRZYKŁAD 1.**

Oblicz objętość klucza. Wynik wyraż w  $\text{cm}^3$ . Wykorzystaj wskazania poziomu wody w cylindrze miarowym (zob. rysunek).

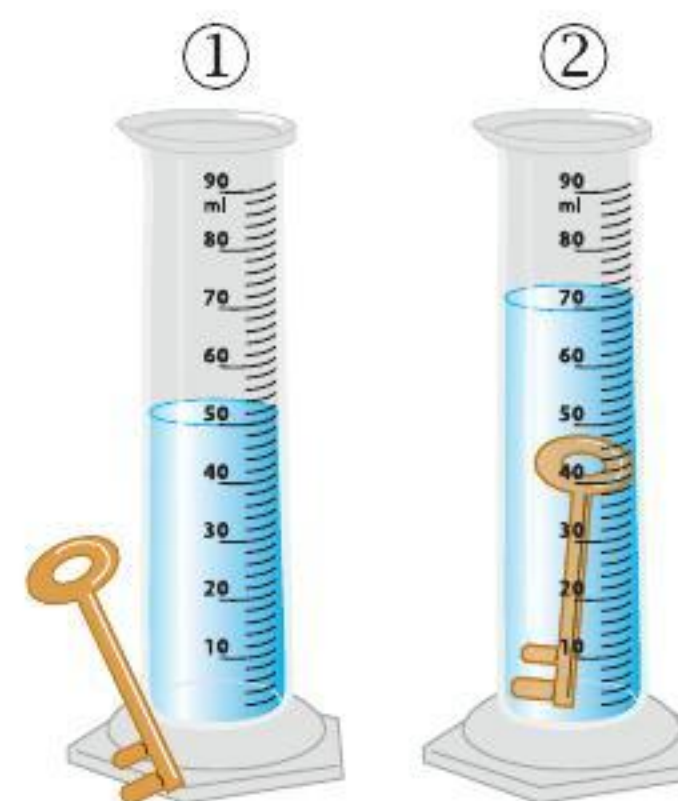
**Rozwiązanie:**

$$70 \text{ ml} - 50 \text{ ml} = 20 \text{ ml}$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$$

$$20 \text{ ml} = 20 \text{ cm}^3$$

**Odp.** Klucz ma objętość  $20 \text{ cm}^3$ .



**ĆWICZENIE 1.** W cylindrze miarowym było  $160 \text{ cm}^3$  cieczy. Po zanurzeniu w tej cieczy ołowianej figurki poziom cieczy wskazał  $210 \text{ cm}^3$ . Oblicz objętość figurki.

**Doświadczenie****Pomiar gęstości nieregularnych przedmiotów**

- ① Przygotuj: nieregularny przedmiot (np. kamień, plastelinową figurkę), wagę, cylinder miarowy, wodę. Przerysuj tabelę do zeszytu.
- ② Wykonaj pomiary i obliczenia według poniższego planu i zapisz wyniki w tabeli.
- ③ Zmierz na wadze masę nieregularnego przedmiotu.
- ④ Za pomocą cylindra miarowego i wody wyznacz objętość przedmiotu.
- ⑤ Wyraż objętość przedmiotu w  $\text{cm}^3$ .
- ⑥ Oblicz gęstość przedmiotu.

| Wielkość                               | Jednostka                      | Wynik pomiaru lub obliczeń |
|----------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| $m$ , masa przedmiotu                  | g                              |                            |
| $V$ , objętość przedmiotu              | ml, $\text{cm}^3$              |                            |
| $d = \frac{m}{V}$ , gęstość przedmiotu | $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ |                            |



$$d_1 = 1550 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



$$d_2 = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Gęstość substancji sypkich**

Na obu taczkach (zob. rysunki obok) znajduje się taki sam piasek o masie  $50 \text{ kg}$ . Na drugim rysunku piasek jest ubity. Podczas ubijania (lub utrząsania) substancji sypkich, czyli takich, jak cukier, sól, mąka, piasek, ich ziarna układają się tak, by jak najlepiej dopasować się do siebie i zająć mniejszą objętość. W efekcie po ubiciu więcej ziaren mieści się w jednostce objętości niż przed ubijaniem. Zatem wraz z ubijaniem gęstość substancji rośnie.



## Znane masa i gęstość, szukana objętość

Jeśli znamy masę i gęstość ciała, możemy wyznaczyć jego objętość, korzystając ze wzoru  $V = \frac{m}{d}$  (można go otrzymać po przekształceniu wzoru  $d = \frac{m}{V}$ ).

**i** Dla dociekliwych

$$\begin{array}{lcl} d = \frac{m}{V} & | \cdot V & \\ d \cdot V = m & | : d & \\ V = \frac{m}{d} & & \end{array}$$

### PRZYKŁAD 2.

Oblicz objętość 440 g plasteliny o gęstości  $2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

**Dane:**

$m = 440 \text{ g}$  — masa plasteliny

$d = 2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  — gęstość plasteliny

**Szukane:**

$V = ?$  — objętość plasteliny

**Rozwiązanie:**

$$V = \frac{m}{d}$$

$$V = \frac{440 \text{ g}}{2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = \frac{440}{2} \frac{\text{g}}{\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 220 \cancel{\text{g}} \cdot \frac{\text{cm}^3}{\cancel{\text{g}}} = 220 \text{ cm}^3$$

**Odp.** Plastelina ma objętość  $220 \text{ cm}^3$ .

**ĆWICZENIE 2.** Oblicz objętość 4500 kg ropy naftowej o gęstości  $900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

## Gęstość substancji w różnych stanach skupienia

Tabela przedstawia gęstości trzech substancji w różnych stanach skupienia.

| Substancja                    | Ciało stałe                                                    | Ciecz                                                         | Gaz                                                             |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| woda ( $\text{H}_2\text{O}$ ) | $917 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (lód, $-1^\circ\text{C}$ )  | $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ( $4^\circ\text{C}$ )     | $0,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (para, $101^\circ\text{C}$ ) |
| azot                          | $940 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ( $-210^\circ\text{C}$ )    | $808 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ( $-196^\circ\text{C}$ )   | $1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ( $20^\circ\text{C}$ )       |
| rteć                          | $14\,200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ( $-39^\circ\text{C}$ ) | $13\,500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ( $20^\circ\text{C}$ ) | $3,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ( $360^\circ\text{C}$ )      |

Dana substancja w stanach stałym i ciekłym ma podobną gęstość, bo w obu tych stanach cząsteczki są blisko siebie. Większość substancji ma największą gęstość jako ciało stałe, ale nie jest to reguła. Istnieją substancje (np. woda), które największą gęstość mają w stanie ciekłym.

Gęstość substancji w stanie gazowym jest około 1000 razy mniejsza niż jej gęstość w stanie ciekłym lub stałym. Wynika to z faktu, że średnie odległości między najbliższymi cząsteczkami w gazach są około 10 razy większe niż w cieczach i ciałach stałych. Taka sama liczba cząsteczek ma w postaci gazu około 1000 razy większą objętość niż w postaci cieczy lub ciała stałego.



**Zadanie 1. Wanna**

Archimedes napełnił wannę po brzegi wodą. Następnie powoli całkowicie się w niej zanurzył. Wtedy z wanny wypłynęło 65 l wody. Jaka jest objętość Archimedesa w  $\text{dm}^3$ ?



**Zadanie 2. Kule bilardowe**

W cylindrze miarowym było 0,9 l wody. Po zanurzeniu w niej całkowicie dwóch takich samych kul bilardowych poziom wody wynosił 1,1 l. Oblicz objętość jednej kuli. Wyraż ją w  $\text{dm}^3$ .

**Zadanie 3. Mosięzna sowa**

W cylindrze miarowym znajdowała się woda z całkowicie w niej zanurzoną mosięzną figurką sowy. Poziom wody wynosił 950 ml. Po wyjęciu sowy poziom wody obniżył się do 770 ml. Oblicz objętość figurki sowy. Wyraż ją w  $\text{cm}^3$ .

**Zadanie 4. Stalowa śruba**

W cylindrze miarowym było 130 ml wody. Po całkowitym zanurzeniu w niej stalowej śruby o masie 80 g poziom wody wynosił 140 ml. Oblicz gęstość śruby. Wynik podaj w  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**🕒 Zadanie 5. Wata**

Wata ma gęstość  $0,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Porcję tej waty ściśnięto tak, że jej objętość zmniejszyła się 4 razy. Oblicz gęstość ściśniętej porcji waty.

**Zadanie 6. Ołów**

Gęstość ołowiu w stanie stałym to około  $11\,300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , a w stanie ciekłym  $10\,700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Liczba atomów ołowiu w  $1 \text{ cm}^3$  w stanie stałym jest:

- A. większa niż w stanie ciekłym,
- B. mniejsza niż w stanie ciekłym,
- C. taka sama jak w stanie ciekłym.

**Zadanie 7. Gęstość a odległość cząsteczek**

Uzupełnij poniższe zdanie. Wybierz odpowiedź A albo B oraz jej uzasadnienie 1 albo 2.

Gęstość azotu w stanie ciekłym jest A/B od gęstości azotu w stanie gazowym, ponieważ 1/2.

- A. większa
- B. mniejsza

1. w stanie gazowym średnie odległości między najbliższymi cząsteczkami są większe niż w stanie ciekłym
2. w stanie ciekłym średnie odległości między najbliższymi cząsteczkami są większe niż w stanie gazowym

**👨🍳 Zadanie 8. Ubijanie mąki**

Do miarki nasyp 150 g mąki i zanotuj jej objętość. Następnie ubij mąkę w miarce i ponownie zanotuj objętość mąki.

- a) Oblicz, ile razy gęstość ubitej mąki jest większa od gęstości nieubitej mąki.
- b) Wyjaśnij, dlaczego ubijanie spowodowało wzrost gęstości mąki.
- c) Korzystając ze swoich pomiarów, oblicz objętość 900 g ubitej mąki.
- d) Wyjaśnij, dlaczego w niektórych przepisach kulinarnych jest mowa o „przesiewaniu mąki”.



### Zadanie 9. *Styropianowa płyta*

Styropianowa, prostopadłościenna płyta ma masę 100 kg, gęstość  $20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , długość 5 m, a szerokość 2 m.

- a) Oblicz objętość płyty. Wynik wyraż w  $\text{m}^3$ .
- b) Oblicz grubość płyty.

### Zadanie 10. *Puchnąca tona wody*

Korzystając z tabeli na str. 271, ustal, o ile różni się objętość 1000 kg wody w temperaturze  $25^\circ\text{C}$  i w temperaturze  $4^\circ\text{C}$ . Wynik podaj w  $\text{m}^3$ .

### Zadanie 11. *Olej*

Olej o masie 54 g i gęstości  $0,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  wlano do prostopadłościennego naczynia, którego podstawa ma wymiary  $4 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ . Olej zmieścił się w naczyniu.

- a) Oblicz objętość oleju.
- b) Oblicz wysokość słupa oleju.

### 🕒 Zadanie 12. *Ciekły i gazowy azot*

— Przeczytałam, że odległości między najbliższymi cząsteczkami w gazowym azocie są około 9 razy większe niż w ciekłym azocie — powiedziała Weritka.

— Sprawdźmy to. Wyobraźmy sobie, że mamy porcję ciekłego azotu wypełniającą sześcian o objętości  $1 \text{ m}^3$ . Jeśli cząsteczki oddalimy od siebie 9 razy, to każda z krawędzi sześcianu zwiększy się do 9 m... — zamyślił się Hasto.

— Czyli objętość tej porcji azotu w stanie gazowym będzie równa  $9 \text{ m} \cdot 9 \text{ m} \cdot 9 \text{ m}$ , a masa się nie zmienia — dokończyła Weritka.

— Znalazłem gęstość ciekłego azotu. To około  $810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  — dodał Hasto.

— Oszacujmy więc gęstość gazowego azotu! — krzyknęła Weritka.

- a) Oblicz masę ciekłego azotu o objętości  $1 \text{ m}^3$ .
- b) Oblicz gęstość gazowego azotu zgodnie z powyższym opisem.
- c) Oceń poprawność znalezionej przez Weritkę informacji o średniej odległości między najbliższymi cząsteczkami azotu w stanie gazowym, jeśli wiadomo, że gęstość gazowego azotu w normalnych warunkach to około  $1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .



### Jak myślisz?

- Dlaczego gęstość wody zależy od jej temperatury?
- Dlaczego gęstość powietrza atmosferycznego zmienia się wraz z wysokością?
- Dlaczego olej wypływa na powierzchnię wody?
- Skoro gaz nie zachowuje objętości i wypełnia dostępną przestrzeń, to dlaczego powietrze nie uciekło z Ziemi w przestrzeń kosmiczną?
- Dlaczego porcja wody zwiększa objętość, gdy zamarza?



### Fizyka na wesoło...

Optymista widzi szklankę do połowy pełną, pesymista — w połowie pustą. Kto nie spał na fizyce wie, że szklanka jest pełna po brzegi: w połowie wypełniona wodą, a w połowie powietrzem.



## CZĘŚĆ 1. Zestawienie wiadomości

**Fizyka** zajmuje się odkrywaniem najbardziej podstawowych praw przyrody.

1

**Siła** to wielkość opisująca oddziaływanie. Siła jest wielkością wektorową. Jej cechy to: punkt przyłożenia, kierunek, zwrot i wartość. Jednostką siły jest 1 **niuton** (1N).

5

### III zasada dynamiki

Jeśli ciało A działa na ciało B siłą, to ciało B działa jednocześnie na ciało A siłą o takiej samej wartości i tym samym kierunku, ale zwróconą przeciwnie.

9

2

Fizycy posługują się **metodą naukową**: stawiają pytania – hipotezy i sprawdzają doświadczalnie ich prawdziwość.

6

**Siła nacisku** to siła, jaką jedno ciało naciska na drugie, gdy stykają się ze sobą. **Siła sprężystości** to siła, z jaką ciało sprzeciwia się odkształcaniu (rozciąganiu, ściskaniu, wyginaniu). **Siła oporów ruchu** to siła, która utrudnia, hamuje ruch ciała. Siła oporów jest zwrócona zawsze przeciwnie do ruchu. **Siła ciężkości** to siła, jaką Ziemia działa grawitacyjnie na każde ciało.

Wartość siły ciężkości  $F_g$  przy powierzchni Ziemi (ciężar ciała) jest równa  $F_g = m \cdot g$ , gdzie  $m$  to masa ciała, a  $g$  nazywane jest **przyśpieszeniem ziemskim**.  
Blisko Ziemi  $g \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ .

10

14

**Gęstość** ( $d$ ) informuje o tym, ile masy danej substancji przypada na jednostkową objętość. Obliczamy ją ze wzoru  $d = \frac{m}{V}$ , gdzie  $m$  to masa substancji, a  $V$  jej objętość. Przykładowe jednostki gęstości to  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  lub  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , przy czym:  
 $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

13

Siły wzajemnego przyciągania się cząsteczek tej samej substancji nazywamy **siłami spójności**. Siły te powodują napięcie powierzchniowe, dzięki któremu powierzchnia cieczy zachowuje się jak sprężysta powłoka. **Siły przylegania** to siły wzajemnego przyciągania cząsteczek różnych substancji.



Żaden **pomiar** nie jest idealnie dokładny. Wyniki pomiarów podajemy wraz z niepewnością, na przykład:  $(17,3 \pm 0,1)$  cm.

3

Między ciałami występują różne **rodzaje oddziaływań**.

Obserwujemy oddziaływania: grawitacyjne, elektryczne, magnetyczne. Wszystkie oddziaływania są wzajemne.

4

7

Jeśli ciało się nie porusza, to siły działające na to ciało się równoważą. Dwie siły **równoważą się**, wtedy gdy działają na to samo ciało oraz mają ten sam kierunek i jednakowe wartości, ale przeciwne zwroty.

**Siła wypadkowa**

to siła, która zastępuje działanie kilku sił. Jeśli dwie siły mają te same kierunki i zwroty, to wartość siły wypadkowej jest sumą wartości tych sił, a jeśli przeciwne zwroty – różnicą.

8

11

Substancje są zbudowane z atomów i cząsteczek. Mogą występować w trzech **stanach skupienia**: stałym, ciekłym i gazowym. Cząsteczki są w ciągłym ruchu: w ciałach stałych drgają, w cieczach drgają i przemieszczają się, w gazach przemieszczają się niezależnie od siebie.

12

**Ciała stałe** zachowują kształt i objętość, ponieważ cząsteczki są możliwie blisko siebie i silnie ze sobą oddziałują. **Ciecze** nie zachowują kształtu, ale zachowują objętość. Cząsteczki są gęsto upakowane, ale nie oddziałują ze sobą tak silnie jak w ciałach stałych. **Gazy** nie zachowują ani kształtu, ani objętości. Odległości między cząsteczkami są spore i siły ich wzajemnego oddziaływania są słabe.

15

Gęstości stanu stałego i ciekłego danej substancji są zbliżone, ponieważ w obu tych stanach cząsteczki są blisko siebie. Ta sama substancja w stanie gazowym ma dużo mniejszą gęstość z powodu dużych odległości między cząsteczkami.



## CZĘŚĆ 2. Sprawdź, czy wiesz

1. Na czym polega metoda naukowa?
2. Co to jest niepewność pomiaru?
3. Jakie oddziaływania mogą występować między ciałami? Podaj przykłady.
4. Podaj nazwy oddziaływań zachodzących pomiędzy:
  - Ziemią i Księżycem,
  - magnesem i stalowym spinaczem,
  - naelektryzowaną plastikową linijką i strzępkami papieru,
  - naciągniętą cięciwą łuku i strzałą.
5. Wymień cechy wektora. Przedstaw na rysunku dowolny wektor siły i opisz go.
6. Określ kierunek i zwrot wektora siły ciężkości.
7. Podaj nazwę siły opisującej oddziaływanie:
  - książki na blat biurka, na którym leży,
  - siłomierza na ciężarek, który na nim zawieszono,
  - powietrza na jadący samochód.
8. Wyjaśnij, kiedy dwie siły się równoważą. Przedstaw takie siły na rysunku.
9. Wyjaśnij, co to jest siła wypadkowa.
10. Podaj przykłady wzajemności oddziaływań. Przedstaw na rysunku siły akcji i reakcji. Jakie cechy mają te siły? Czy siły te się równoważą?
11. Sformułuj третią zasadę dynamiki.
12. Omów, w jaki sposób można wyznaczyć masę ciała.
13. Podaj, jaką częścią kilograma jest jeden gram. Jaką częścią metra sześciennego jest centymetr sześcienny?
14. Wyjaśnij, w jaki sposób można obliczyć ciężar ciała, znając jego masę.
15. Wymień stany skupienia substancji.
16. Podaj właściwości substancji w różnych stanach skupienia.
17. Opisz, jak zachowują się cząsteczki w ciałach stałych, ciekłych i gazach.
18. Wyjaśnij, dlaczego na powierzchni wody można położyć spinacz.
19. Określ, jakie siły nazywamy siłami spójności, a jakie — siłami przylegania.
20. Podaj przykłady zjawisk, które można wyjaśnić obecnością sił spójności oraz sił przylegania.
21. Opisz doświadczenie, w którym można zaobserwować napięcie powierzchniowe.
22. Podaj definicję gęstości.
23. Wyjaśnij, dlaczego gęstość danej substancji w stanie gazowym jest dużo mniejsza od gęstości tej substancji w stanach ciekłym i stałym.
24. Wymień przyrządy niezbędne do wyznaczenia gęstości ciała:
  - w stanie ciekłym,
  - w kształcie prostopadłościanu,
  - o nieregularnym kształcie.
25. Omów, jakie czynności należy wykonać, aby wyznaczyć gęstość ciała:
  - w stanie ciekłym,
  - w kształcie prostopadłościanu,
  - o nieregularnym kształcie.



## CZĘŚĆ 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka

**Zadanie 1.** Poniższe masy wyraż w podanej jednostce.

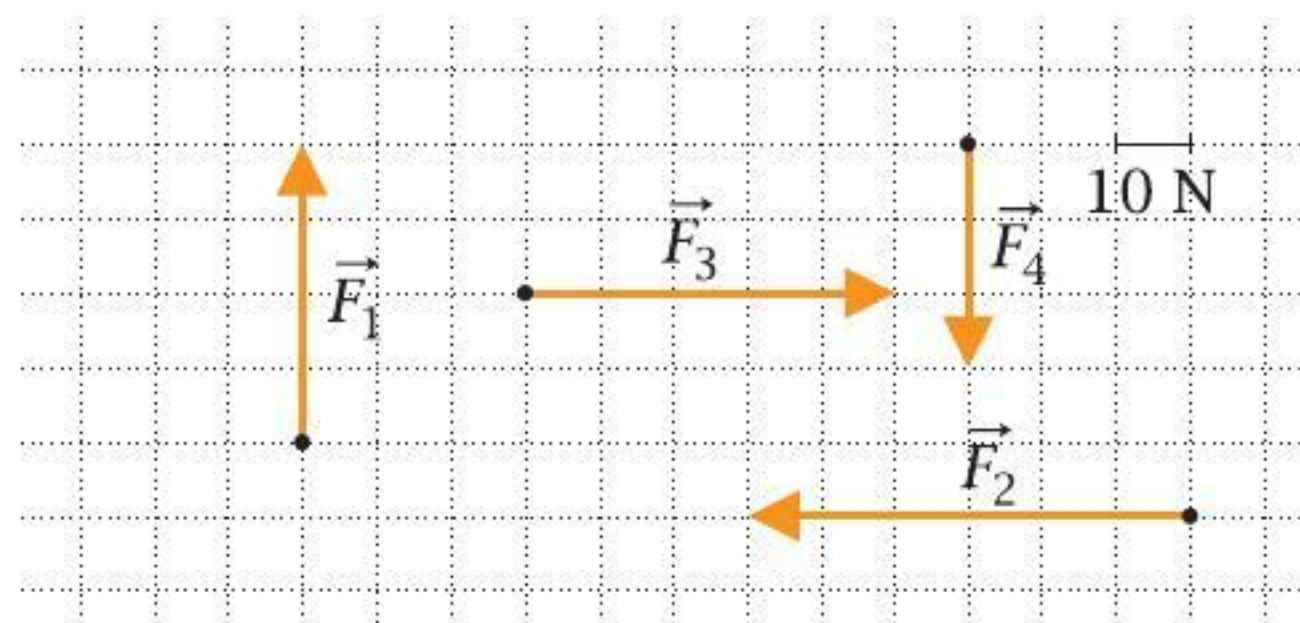
- a) kilogramy: 15 g, 250 g, 80 mg, 1200 mg
- b) gramy: 0,75 kg, 5,5 kg, 320 mg, 86 mg



**Zadanie 2.** Uzupełnij zdania brakującymi nazwami oddziaływań.

- Stalowy gwóźdź został przyciągnięty przez magnes dzięki oddziaływaniu ...
- Upuszczony zeszyt spadł na ziemię na skutek oddziaływania ...
- Oddziaływanie ... powoduje, że włosy podczas czesania są przyciągane przez plastikowy grzebień.
- Odpychanie się dwóch magnesów jest skutkiem oddziaływania ...
- Satelita krąży wokół Ziemi dzięki oddziaływaniu ...

**Zadanie 3.** Określ kierunek, zwrot oraz wartość każdej z sił przedstawionych na rysunku. Zwróć uwagę na podaną na rysunku jednostkę.

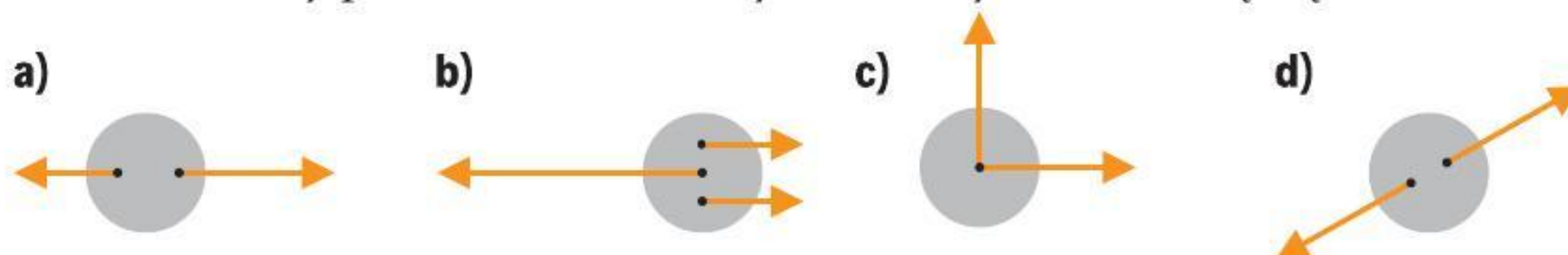


**Zadanie 4.** Oblicz wartość siły wypadkowej.



**i** Przyjmij, że siły działają wzdłuż tej samej prostej, czyli istotne jest tylko przesuwanie ciała, a nie jego obracanie. Na rysunku wektory sił rozsunięto, aby zachować czytelność.

**Zadanie 5.** Czy przedstawione na rysunku siły równoważą się?



**Zadanie 6.** Poniższy rysunek przedstawia oddziaływanie Słońca na Ziemię.



Uzupełnij zdanie, wybierając poprawne wyrażenia.

Słońce oddziałuje na Ziemię siłą grawitacji, więc Ziemia również oddziałuje na Słońce siłą o takiej samej/mniejszej/większej wartości, takim samym kierunku/zwrocie, ale przeciwnym kierunku/zwrocie.

**Zadanie 7.** Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- ① Masa i ciężar to różne nazwy tej samej wielkości fizycznej.
- ② Ciężar ciała podajemy w kilogramach.
- ③ Ciężar ciała na Księżycu jest mniejszy niż na Ziemi.
- ④ Na Ziemi ciężar ciała o masie 1 kg wynosi około 10 N.



**Zadanie 8.** Siła ciężkości działająca na Ziemi na jabłko o masie 180 g wynosi około:

- A. 180 N      B. 1800 N      C. 0,18 N      D. 1,8 N

**Zadanie 9.** Jeżeli ciężar książki na Ziemi ma wartość 6,8 N, to masa tej książki wynosi:

- A. 6,8 kg      B. 68 g      C. 680 g      D. 680 mg

**Zadanie 10.** Oceń, w którym stanie skupienia znajduje się opisana substancja.

- a) Nie posiada własnego kształtu, ale trudno zmienić jej objętość.
- b) Nie ma określonego kształtu i objętości.
- c) Jej cząsteczki wykonują drgania, ale się nie przemieszczają.
- d) Jej cząsteczki przemieszczają się niezależnie od siebie.

**Zadanie 11.** Gęstość wody wynosi  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oznacza to, że:

- A.  $10 \text{ m}^3$  wody ma masę 100 kg,
- B.  $1000 \text{ m}^3$  wody ma masę 1 kg,
- C.  $1 \text{ cm}^3$  wody ma masę 1000 kg,
- D.  $1 \text{ m}^3$  wody ma masę 1000 kg.

**Zadanie 12.** Wskaż zestaw przyrządów potrzebnych do wyznaczenia gęstości ciała o nieregularnym kształcie:

- A. cylinder miarowy i linijka      C. siłomierz i linijka
- B. cylinder miarowy i waga      D. siłomierz i waga

### CZĘŚĆ 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening

**Zadanie 1.** Poniższe ilustracje przedstawiają przykłady pomiarów. Podaj nazwy pokazanych przyrządów. Co one mierzą? Zapisz wyniki tych pomiarów wraz z niepewnością.

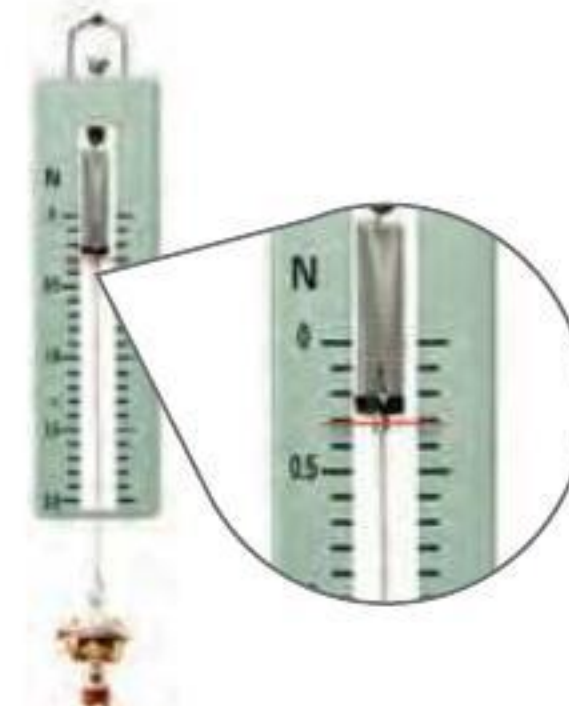
a)



b)



c)



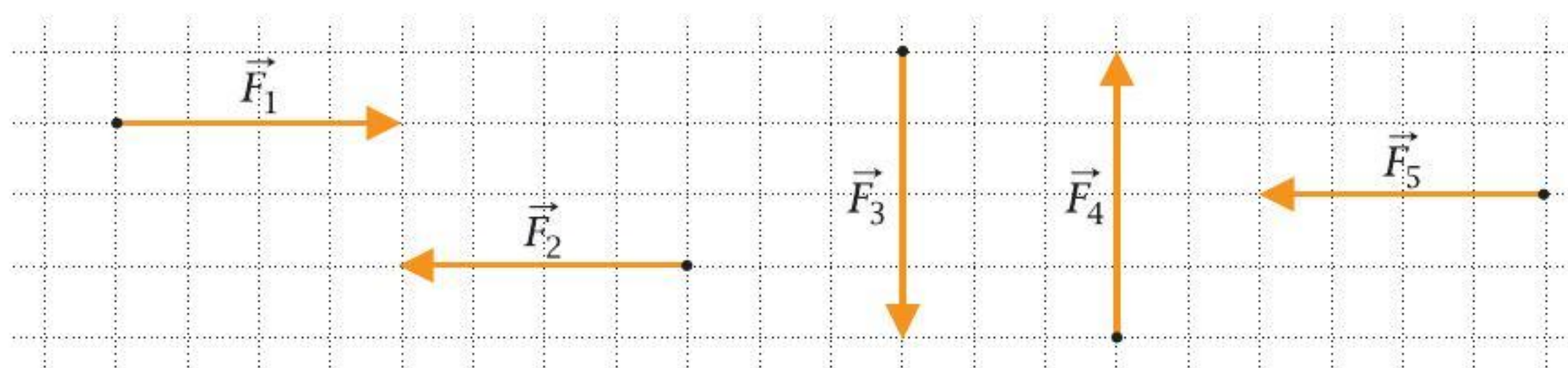
**Zadanie 2.** Podczas eksperymentu z magnesami Hasto zauważył, że magnes przyciągnął gwoździe. Na tej podstawie stwierdził, że gwoździe są magnesami. Zaproponuj doświadczenie pozwalające zbadać, czy chłopiec miał rację.



**Zadanie 3.** Wskaż stwierdzenie prawdziwe.

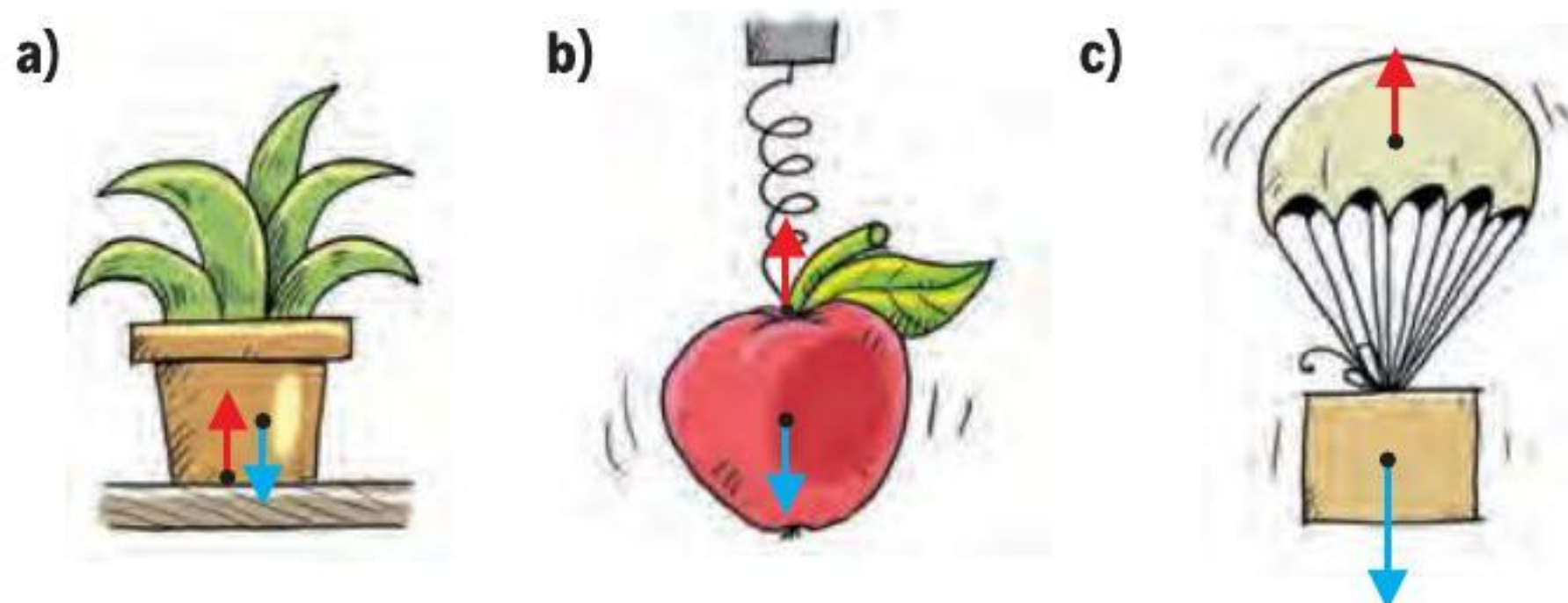
- ① Ziemia oddziałuje na jabłko, ale jabłko jest zbyt małe, aby oddziaływać na Ziemię.
- ② Planety krążą wokół Słońca dzięki oddziaływaniu grawitacyjnemu.
- ③ Skrawki papieru przyklejają się do linijki potartej o wełniany sweter na skutek oddziaływania magnetycznego.
- ④ Magnes przyciąga spinacz biurowy, ale spinacz nie przyciąga magnesu.

**Zadanie 4.** Na rysunku przedstawiono wektory sił.



- a) Wskaż dwa wektory, które mają takie same kierunki, zwroty i wartości.
- b) Wskaż dwie siły, które po przyłożeniu do tego samego ciała mogą się równoważyć.

**Zadanie 5.** Podaj nazwy sił przedstawionych na rysunku. Określ, co działa tymi siłami na przedstawione ciało.



**Zadanie 6.** Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- ① Siła ciężkości zależy od masy ciała.
- ② Siła ciężkości oddziałująca na dane ciało na Księżycu jest taka sama jak siła ciężkości oddziałująca na to ciało na Ziemi.
- ③ Siła sprężystości to siła, która „sprzeciwia się” odkształceniu ciała.
- ④ Siła sprężystości umożliwia strzelanie z łuku.
- ⑤ Na opadający w powietrzu spadochron działa siła oporu.
- ⑥ Na sanki ciągnięte po ubitym śniegu działa większa siła oporu niż na sanki ciągnięte po asfalcie.

**Zadanie 7.** Przyspieszenie grawitacyjne na Marsie wynosi około  $3,7 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ . Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.

Gdyby tabliczka czekolady o masie 100 g znalazła się na Marsie, to jej masa byłaby tam...

|    |                         |          |    |                                                   |
|----|-------------------------|----------|----|---------------------------------------------------|
| A. | mniejsza niż na Ziemi,  | ponieważ | 1. | masa nie zależy od przyspieszenia grawitacyjnego. |
| B. | taka sama jak na Ziemi, |          | 2. | masa zależy od przyspieszenia grawitacyjnego.     |



**Zadanie 8.** Hasto postanowił zbadać oddziaływanie magnetyczne między magnesem i stalową nakrętką (zob. rysunek). Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.



W przedstawionej sytuacji Hasto zaobserwował, że...

|    |                                             |          |    |                                                                 |
|----|---------------------------------------------|----------|----|-----------------------------------------------------------------|
| A. | przemieściła się tylko łódeczka z nakrętką, | ponieważ | 1. | magnes oddziałuje na nakrętkę, a nakrętka oddziałuje na magnes. |
| B. | przesunęła się tylko łódeczka z magnesem,   |          | 2. | tylko magnes oddziałuje na nakrętkę.                            |
| C. | przesunęły się obie łódeczki,               |          | 3. | tylko nakrętka oddziałuje na magnes.                            |

**Zadanie 9.** Wskaż wszystkie możliwe stany skupienia, w których może się znajdować opisana substancja.

- a) Substancja nie zachowuje ani kształtu, ani objętości.
- b) Cząsteczki substancji znajdują się daleko od siebie.
- c) Substancja zachowuje swój kształt.
- d) Substancja zachowuje swoją objętość.
- e) Cząsteczki substancji przemieszczają się.

**Zadanie 10.** Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- ① Woda tworzy krople dzięki siłom spójności.
- ② Krople wody utrzymują się na pionowej szybie dzięki siłom przylegania.
- ③ Dodanie mydła do wody zwiększa napięcie powierzchniowe.
- ④ Impregnowanie płachty namiotu, czyli nasączenie jej na przykład woskiem, ma na celu zmniejszenie sił przylegania między płachtą i wodą.

**Zadanie 11.** Oblicz masę  $500 \text{ cm}^3$  glikolu o gęstości  $1,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

**Zadanie 12.** Drewniana kostka w kształcie sześcianu o krawędzi  $1 \text{ cm}$  ma masę  $0,8 \text{ g}$ . Oblicz masę sześciennej kostki o krawędzi  $0,1 \text{ m}$  wykonanej z identycznego drewna.

**Zadanie 13.** Gęstość betonu to około  $2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , więc  $1 \text{ g}$  tego materiału ma objętość:

- A.  $20 \text{ cm}^3$       B.  $2 \text{ cm}^3$       C.  $5 \text{ cm}^3$       D.  $0,5 \text{ cm}^3$

**Zadanie 14.** Wiedząc, że  $1 \text{ dm}^3$  benzyny ma masę  $0,7 \text{ kg}$ , oblicz, jaką objętość zajmuje  $31,5 \text{ kg}$  benzyny.



## 2 Ciśnienie i siła wyporu



### **W jaki sposób ryba zmienia głębokość, na której się znajduje?**

Najprostszy sposób to płynięcie w górę lub w dół dzięki ruchom płetw i ogona. Dodatkowo wiele ryb potrafi regulować swoją objętość przez zmianę ilości gazu w pęcherzu pławnym. Wzrost objętości ryby zwiększa wartość siły, którą woda działa na rybę w górę. A im głębiej, tym woda bardziej ściska rybę. Wszystko to pozwala nieruchomej rybie unosić się na dowolnej głębokości.



# 13 Ciśnienie



Rycina przedstawia doświadczenie z XVII wieku. Dwie metalowe półkule, spośród których wypompowano powietrze, złożono w kulę. Półkule połączono za pomocą uszczelki, bez użycia kleju. Następnie próbowano je rozdzielić – każdą z nich w przeciwnych kierunkach ciągnęło kilka koni. Rozdzielenie półkul okazało się bardzo trudne. Co dociskało je do siebie? Co by się zmieniło, gdyby pomiędzy półkule wpuszczono powietrze?



## Cel lekcji

Dowiesz się, czym jest ciśnienie oraz od czego zależy. Poznasz jednostki ciśnienia.

## Co to jest ciśnienie?

Łatwo jest przekłuć igłą tkaninę, na przykład bawełnianą koszulkę. Okazuje się to jednak niemożliwe, jeśli z tą samą siłą będziesz wbijać w koszulkę palec. Gdy, stojąc na śniegu, zapadasz się po kolana, wystarczy założyć narty lub rakiety śnieżne. Twój ciężar jest wtedy rozłożony na większej powierzchni, dzięki czemu przestajesz się zapadać. Zatem istotna jest nie tylko siła, ale także wielkość powierzchni, którą ciała oddziałują ze sobą.



Wystarczy założyć narty, żeby nie zapadać się w śniegu. Narty zwiększają powierzchnię oddziaływania.



Można leżeć na wielu gwoździach, nie doznając urazu. Działanie całym ciężarem na jeden gwóźdź nie jest już takie bezpieczne.



Aby to uwzględnić, zdefiniowano **ciśnienie** — wielkość zależną od siły i od pola powierzchni, na którą działa ta siła. Ciśnienie oznaczamy literą  $p$  od angielskiego słowa *pressure* (czyt. preszer). Jest ono równe ilorazowi wartości siły nacisku  $F$  działającej na powierzchnię i pola  $S$  tej powierzchni. Występująca w definicji ciśnienia siła jest zawsze prostopadła do powierzchni, na którą działa.

Gdy siła o wartości 1 N działa na powierzchnię 1 m<sup>2</sup>, to wywierane ciśnienie wynosi  $\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ . Jednostkę „niuton na metr kwadratowy” nazywamy **paskalem** i oznaczamy Pa.

$$\text{ciśnienie} \rightarrow p = \frac{F}{S}$$

wartość siły nacisku

pole powierzchni, na którą działa siła nacisku

#### Warto wiedzieć

Siła nacisku  $F$  jest także nazywana **siłą parcia**.

#### Warto wiedzieć

Nazwa *paskal* pochodzi od nazwiska francuskiego uczonego Blaise’a Pascala (czyt. bleza paskala).

$$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

**i** Pamiętaj, że obliczając ciśnienie, pole powierzchni należy wyrażać w m<sup>2</sup>.

#### PRZYKŁAD 1.

Koparka o ciężarze 30 000 N stoi na poziomym podłożu. Ciężar pojazdu jest równy wartości siły, którą pojazd działa na podłoże. Gąsienice koparki stykają się z podłożem na powierzchni 5 m<sup>2</sup>. Oblicz ciśnienie, jakie koparka wywiera na podłoże.

#### Dane:

$F = 30\,000 \text{ N}$  — siła nacisku

$S = 5 \text{ m}^2$  — powierzchnia,  
na którą działa siła

#### Szukane:

$p = ?$  — ciśnienie  
wywierane  
na podłoże

**Rozwiązanie:**  $p = \frac{F}{S} \quad p = \frac{30\,000 \text{ N}}{5 \text{ m}^2} = \frac{30\,000}{5} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 6000 \text{ Pa}$

**Odp.** Koparka wywiera na podłoże ciśnienie o wartości 6000 Pa.



**ĆWICZENIE 1.** Podróżnik o ciężarze 600 N przeprawiał się przez zamrożnięte jezioro. Nagle lód zaczął pękać. Wtedy mężczyzna położył się na brzuchu i powoli się wycofał.

- Oblicz ciśnienie wywierane na lód przez podróżnika, gdy stał, a jego buty stykały się z lodem powierzchnią 0,05 m<sup>2</sup>.
- Oblicz ciśnienie, które wywierał na lód, gdy leżał, a jego ciało stykało się z lodem powierzchnią 0,6 m<sup>2</sup>.
- Dlaczego położenie się na lodzie było korzystne, mimo że ciężar podróżnika cały czas był taki sam?





## Ciśnienie gazu

Jak wiesz, cząsteczki gazu są w ciągłym ruchu. Bezustannie odbijają się od siebie oraz od wszystkiego, z czym mają kontakt, również od ścianek naczynia, w którym gaz się znajduje. Gaz działa więc siłą na ścianki naczynia. Efekt tego można zaobserwować, pompując plastikową torebkę lub balon. Powłoka balonu jest wówczas napięta, bo od wewnątrz uderzają w nią cząsteczki powietrza. Jeśli przedziurawimy balon, przez dziurę wypłynie porcja powietrza i ciśnienie się zmniejszy. Ciśnienie gazu w oponach roweru lub samochodu osobowego to około 300 000 Pa, a w oponach samolotu pasażerskiego — około 1 600 000 Pa.

## Ciśnienie atmosferyczne

Ciągle uderzają w nas cząsteczki otaczającego nas powietrza. Ciśnienie wywołane tymi zderzeniami nazywamy **ciśnieniem atmosferycznym**. To dzięki niemu możesz wykonać wdech — to ono „wpycha” powietrze do dróg oddechowych. Przyjrzyjmy się temu ciśnieniu bliżej.

### Doświadczenie

### Woda w słomce

- ① Przygotuj słomkę do napojów i wodę.
- ② Napełnij słomkę wodą i zatknij jeden z jej końców palcem. Odwróć słomkę energicznie nad zlewem lub miską otwartym końcem do dołu. Czy woda wylewa się ze słomki?
- ③ Po chwili odsuń palec od górnego końca słomki. Co się teraz dzieje?
- ④ Dlaczego woda nie wypływa przez dolny otwór, gdy górny jest zatkany?



Gdy słomka jest zatkana z góry, to ciśnienie atmosferyczne dociska wodę w słomce tylko od spodu. Siła wywierana przez powietrze atmosferyczne ma większą wartość niż siła grawitacji działająca na wodę. Dlatego woda nie wypływa.

### Warto wiedzieć

Na poziomie morza średnie ciśnienie atmosferyczne to 1013 hPa. Ciśnienie w danym miejscu może się różnić nawet o kilkadziesiąt hektopaskali od tej wartości.

Ciśnienie atmosferyczne zmniejsza się wraz z wysokością, ale do 500 m nad poziomem morza wynosi około 100 000 Pa. Oznaczamy je symbolem  $p_{\text{atm}}$  i często określamy z wykorzystaniem przedrostka *hekto* (h), oznaczającego 100. **Hektopaskal** to 100 paskali. Taka jednostka jest stosowana na przykład w prognozach pogody.



$$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{atm}} \approx 100\,000 \text{ Pa} = 100 \cdot 1000 \text{ Pa} = 1000 \text{ hPa}$$

Ciśnienie atmosferyczne ściska nas ciągle, ze wszystkich stron. Jesteśmy więc bardzo odporni na ściskanie.

Ciśnienie atmosferyczne jest około 4 razy większe niż ciśnienie, które wywierałaby dorosła osoba stojąca w kapciach na twoich plecach.



Dlaczego czulibyśmy się niekomfortowo, gdyby ktoś na nas stanął, mimo że wywierałby mniejsze ciśnienie niż ściskające nas powietrze? Bo, oprócz ciśnienia atmosferycznego, ściskałyby nas stopy i podłoga.

## Znane ciśnienie i pole, szukana siła

Znając ciśnienie  $p$  wywierane na powierzchnię o polu  $S$ , możemy obliczyć wartość siły, która na tę powierzchnię działa prostopadle. Wystarczy skorzystać ze wzoru  $p = \frac{F}{S}$ .

### PRZYKŁAD 2.

Oblicz wartość siły nacisku (parcia), którą powietrze o ciśnieniu  $100\,000 \text{ Pa}$  działa na ekran tabletu o polu powierzchni  $500 \text{ cm}^2$ .

**Dane:**

$p = 100\,000 \text{ Pa}$  — ciśnienie wywierane na ekran tabletu

$S = 500 \text{ cm}^2 = 500 \cdot 0,0001 \text{ m}^2 = 0,05 \text{ m}^2$  — pole powierzchni ekranu tabletu

**Szukane:**

$F = ?$  — siła nacisku, która działa na ekran tabletu

**Rozwiązanie:**

I sposób:

$$p = \frac{F}{S}$$

$$100\,000 \text{ Pa} = \frac{F}{0,05 \text{ m}^2}$$

$$100\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{F}{0,05 \text{ m}^2} \quad | \cdot 0,05 \text{ m}^2$$

$$100\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0,05 \text{ m}^2 = \frac{F}{0,05 \text{ m}^2} \cdot 0,05 \text{ m}^2$$

$$F = 5000 \text{ N}$$

$$\text{II sposób:} \quad p = \frac{F}{S} \quad | \cdot S$$

$$p \cdot S = \frac{F}{S} \cdot S$$

$$p \cdot S = F$$

$$F = p \cdot S$$

$$F = 100\,000 \text{ Pa} \cdot 0,05 \text{ m}^2 =$$

$$= 100\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0,05 \text{ m}^2 = 5000 \text{ N}$$

**Odp.** Na ekran tabletu działa siła nacisku o wartości  $5000 \text{ N}$ .

**i** Pamiętaj, że  $\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^2 = \text{N}$ , podobnie jak  $\frac{3}{2^2} \cdot 2^2 = 3$ .



**ĆWICZENIE 2.** Opony kół samolotu często są wypełnione azotem. Oblicz wartość siły parcia, którą azot o ciśnieniu 16 000 hPa działa na mały, płaski fragment wewnętrznej powierzchni opony o polu 0,001 m<sup>2</sup>.



## Czas na zadania!

### Zadanie 1. Punktowy ucisk

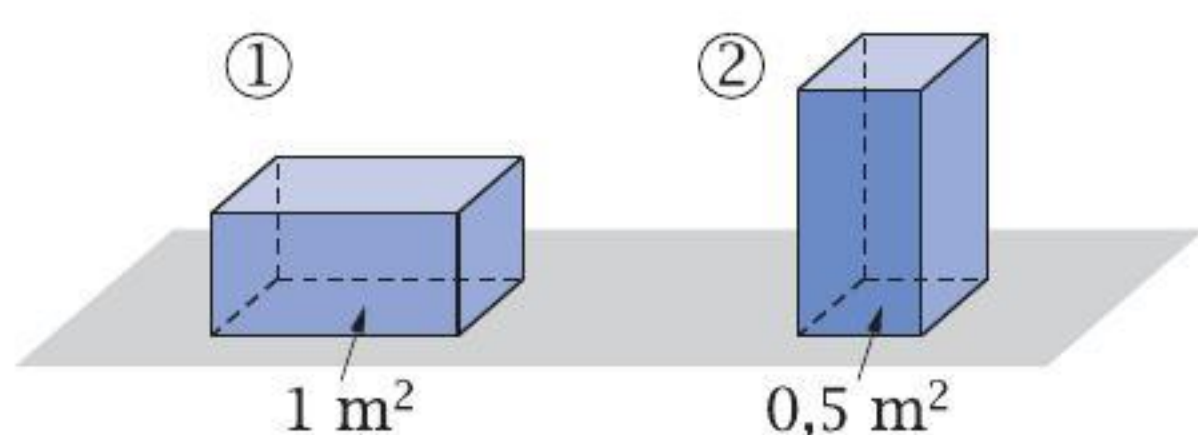
Mocno naciśnij swoje przedramię płaską dłoń, a następnie czubkiem palca. Wyjaśnij, dlaczego nacisk palcem odczuwasz boleśnie, a całą dłoń — nie.

### Zadanie 2. Beczka

Beczka o ciężarze 300 N stoi na poziomej podłodze. Beczka dotyka podłogi dnem o polu powierzchni 0,5 m<sup>2</sup>. Oblicz ciśnienie, które beczka wywiera na podłogę.

### Zadanie 3. Prostopadłościan

Oblicz ciśnienie, które prostopadłościan o masie 40 kg (zob. rysunki) wywiera na poziomą podłogę w zależności od sposobu jego ustawienia.



### Zadanie 4. Młotek

Podczas uderzenia młotek działa siłą 500 N na 1 mm<sup>2</sup> powierzchni szyby.

a) Oblicz ciśnienie wywierane przez młotek na szybę.

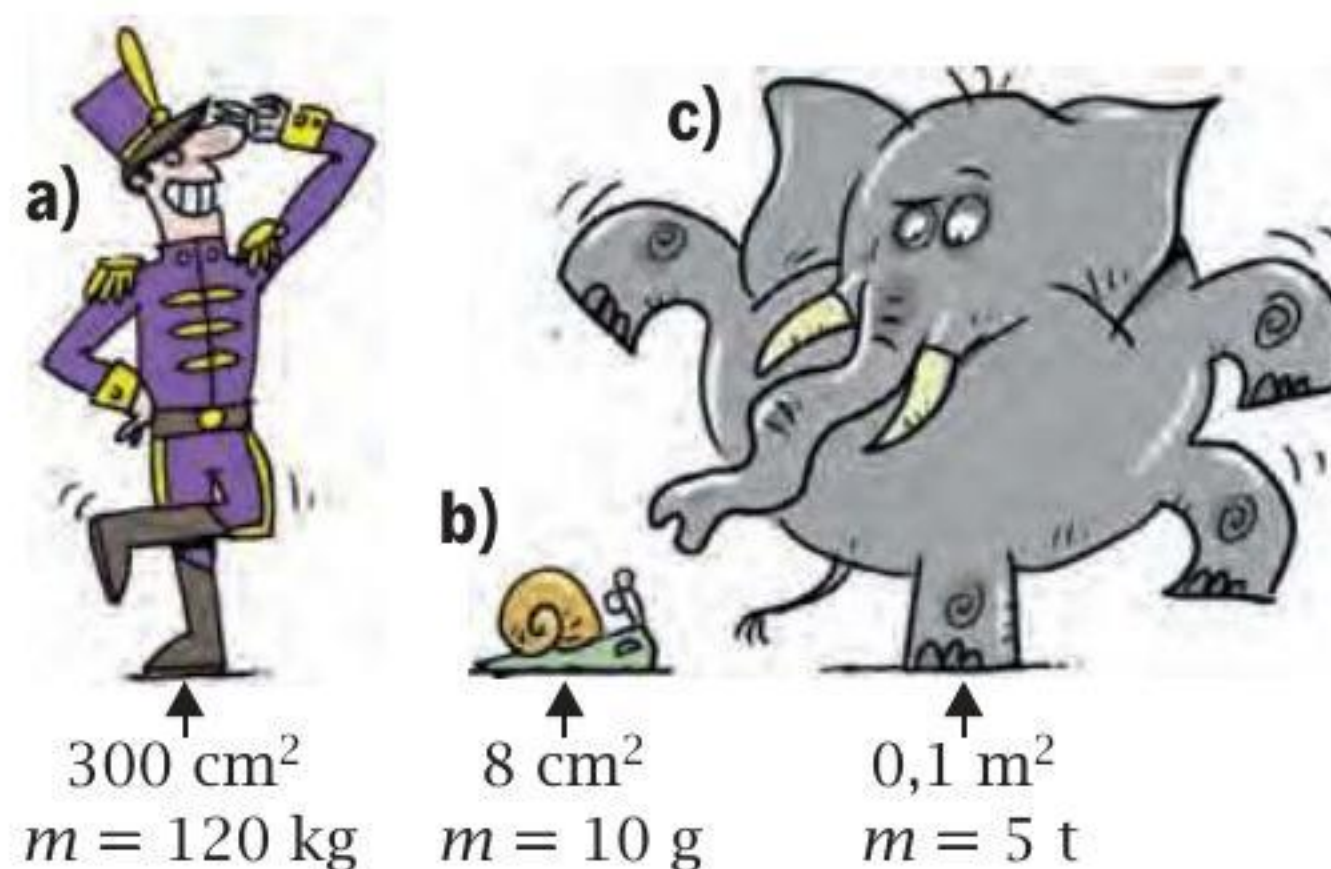
b) Wyjaśnij, dlaczego obuch młotka jest ostro zakończony?

**i** Obuch to górna część młotka, umieszczona na trzonku.



### Zadanie 5. Wesoły wartownik

Na rysunku podano pole powierzchni, jaką obiekt styka się z podłożem, oraz masę obiektu. Oblicz ciśnienie wywierane na podłogę.



a) 300 cm<sup>2</sup>  
m = 120 kg  
b) 8 cm<sup>2</sup>  
m = 10 g  
c) 0,1 m<sup>2</sup>  
m = 5 t

### Zadanie 6. Implozja

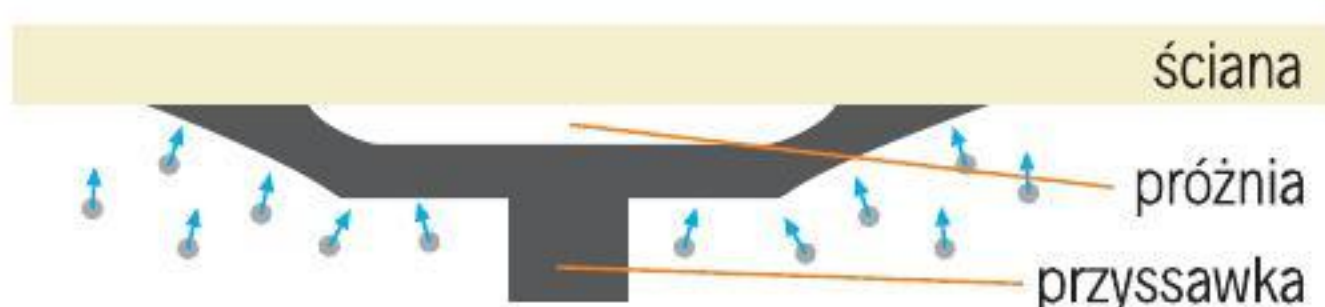
Jeśli ze szczelnie zamkniętej cysterny zostanie odpompowana zawartość lub w inny sposób obniżymy ciśnienie wewnątrz cysterny, to może dojść do implozji, czyli zgniecenia cysterny. Co powoduje implozję? Oszacuj wartość siły działającej na 0,1 m<sup>2</sup> płaskiej powierzchni implodującej cysterny.





### Zadanie 7. Przyssawka i siła dociskająca

Do gładkiego kafelka na ścianie docisnięto płaską przyssawkę. Pomiedzy nią a ścianą nie ma powietrza (jest tam próżnia).



Oblicz wartość siły parcia, którą powietrze atmosferyczne o ciśnieniu 1000 hPa przyciska do ściany płaską powierzchnię przyssawki o polu:

- a)  $0,01 \text{ m}^2$       b)  $50 \text{ cm}^2$       c)  $900 \text{ mm}^2$

### Zadanie 8. Obcas

Pole powierzchni spodu obcasa w pewnej damskiej szpilce jest równe  $0,3 \text{ cm}^2$ .

- a) Oblicz ciśnienie wywierane na podłogę przez osobę o ciężarze 600 N, stojącą tylko na jednym takim obcasie.  
b) Dlaczego w niektórych salach muzealnych zabrania się chodzenia w szpilkach? Zaproponuj uzasadnienie tego zakazu.



Jak myślisz?

- Dlaczego opony samolotów wypełnia się raczej azotem, a nie powietrzem?
- Jakie ciśnienie panuje w przestrzeni kosmicznej, a jakie — w środku Ziemi?
- Jak zwiększyć ciśnienie w gazie?



Fizyka na wesoło...

Newton, Pascal i Fermat grają w chowanego. Fermat kończy odliczanie. Pascal ukrył się za wieżą ciśnień. Newton nie dobiegł do kryjówki, ale na środku placu rysuje kredą kwadrat o wymiarach  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  i staje w środku.

— Widzę cię, Newton! — krzyczy Fermat.

— Przegrałeś! Jestem Pascalem, bo stoję na jednym metrze kwadratowym — krzyczy zadowolony Newton.



### Zadanie 9. Fakir

Fakir o masie 70 kg leży na 2000 gwoździ. Gwoździe są wbite blisko siebie i ciało mężczyzny równomiernie obciąża każdy z nich. Każdy gwoździe dotyka ciała fakira powierzchnią o polu  $4 \text{ mm}^2$ . Oblicz ciśnienie, jakie na fakira wywiera każdy gwoździe. Porównaj otrzymane ciśnienie z ciśnieniem atmosferycznym wywieranym na ciało fakira.

### Zadanie 10. Arkusz papieru

Prostokątny arkusz papieru o wymiarach  $0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  jest trzymany nieruchomo za róg w powietrzu. Oblicz wartość siły, którą powietrze o ciśnieniu 1000 hPa działa na jedną stronę arkusza, oraz zapisz, przez jaką siłę jest ona równoważona.



# 14 Prawo Pascala



Za pomocą podnośnika hydraulicznego niewielką siłą można podnieść samochód o masie ponad jednej tony. Jak jest zbudowany taki podnośnik? W jaki sposób zwielokrotnia siłę mięśni?

## Cel lekcji 8

Poznasz prawo Pascala oraz jego praktyczne zastosowania.

### Jak rozchodzi się ciśnienie?

Jeśli ściśniemy balon, to wybrzuszy się tam, gdzie go nie naciskamy. Ścianki plastikowej butelki z gazowanym napojem, szczególnie po wstrząśnięciu, stają się bardzo twarde, napięte. Przypatrzmy się temu zjawisku.

#### Doświadczenie

#### Siły parcia w różnych miejscach

- ① Przygotuj foliową torebkę, igłę oraz wodę.
- ② Napompuj lekko torebkę. Po zamknięciu jej otworu naciskaj ją palcem i patrz, jak zachowuje się pozostała część torebki. Czy napinanie się torebki zależy od miejsca nacisku? Jak zależy od siły nacisku?
- ③ Przekłuj torebkę w sześciu różnych miejscach. Wlej do niej wodę nad umywalką lub miską. Zamknij otwór torebki i lekko ją ściskaj. Jak zmieniają się strumienie wody wylewającej się przez dziurki przy ściskaniu torebki?



Dzięki dokładniejszym pomiarom wiemy, że naciskanie pojemnika z cieczą lub z gazem zwiększa ciśnienie o tyle samo w każdym miejscu cieczy lub gazu.



W XVII wieku prawo to sformułował francuski fizyk i matematyk, **Blaise Pascal** (czyt. blez paskal).

### Prawo Pascala

Zmiana ciśnienia zewnętrznego powoduje **jednakową zmianę ciśnienia** w całej objętości **cieczy** lub **gazu** (czyli w każdym punkcie, miejscu w płynie).

### Warto wiedzieć

Płyn to gaz lub ciecz.

Podczas doświadczenia dłoń naciskająca torebkę działała siłą na pewnej powierzchni torebki, więc wywierała na torebkę zewnętrzne ciśnienie. To powodowało taki sam przyrost ciśnienia w każdym miejscu w płynie znajdującym się w torebce. Podobnie, gdy z torebki wypuścimy trochę powietrza, zwiotczeje cała.

### PRZYKŁAD 1.

W szczelnej butli znajdował się gaz pod ciśnieniem 9000 hPa. Część gazu została zużyta. Zmniejszyło to ciśnienie przy zaworze o 100 hPa. Oblicz ciśnienie gazu przy dnie butli.

### Rozwiązanie:

$$p = 9000 \text{ hPa} - 100 \text{ hPa} = 8900 \text{ hPa}$$

**Odp.** Ciśnienie gazu przy dnie butli wynosi 8900 hPa.



**ĆWICZENIE 1.** Strzykawkę napełniono wodą, a następnie trwale zatkało wylot strzykawki. Przy zatkanym wylocie ciśnienie wody było równe 1000 hPa. Tłok naciśnięto tak, że ciśnienie wody przy tłoku zwiększyło się o 1500 hPa. Oblicz ciśnienie wody w strzykawce tuż przy zatkanym wylocie.

Prawo Pascala nie mówi, że w całej objętości naczynia ciśnienie jest takie samo. Mówi jedynie o **równej zmianie ciśnienia**. Podczas doświadczenia nie wszystkie strumienie wody wypływały z worka pod takim samym ciśnieniem. Jednak po naciśnięciu worka ciśnienie każdego strumienia wzrosło o taką samą wartość.

W ciałach stałych cząsteczki też silniej ze sobą oddziałują, gdy ciało jest ściskane, ale ciśnienie nie wzrasta wtedy równomiernie we wszystkich miejscach, ponieważ cząsteczki w ciele stałym nie mogą się względem siebie przemieszczać. Dlatego **prawo Pascala nie dotyczy ciał stałych**.



## Jak zmienić ciśnienie w pojemniku?

Na różne sposoby możemy zwiększyć ciśnienie gazu zamkniętego w pojemniku. Można zmniejszyć objętość pojemnika (np. wcisnąć tłok w strzykawce), ogrzać gaz lub wprowadzić do pojemnika więcej gazu.

W przypadku cieczy najczęściej zwiększa się ciśnienie przez zmniejszanie objętości pojemnika lub wprowadzanie dodatkowej ilości cieczy.

Sposoby zwiększenia ciśnienia w materacu:



1. Wprowadzenie do wnętrza materaca większej ilości powietrza.



2. Zmniejszenie objętości materaca.



3. Podgrzewanie powietrza znajdującego się w materacu.

Zastanów się, jak można zmniejszyć ciśnienie gazu zamkniętego w pojemniku.

## Jak wykorzystać prawo Pascala?

Sprytnym urządzeniem wykorzystującym prawo Pascala jest **prasa hydrauliczna**, która zwielokrotnia siłę nacisku. Za jej pomocą można zgniatać przedmioty z dużą siłą.

Mechanizm ten można też wykorzystać, by podnosić ciężkie przedmioty, działając siłą o niewielkiej wartości — takie urządzenie nazywamy **podnośnikiem hydraulicznym**.

Sposób działania podnośnika hydraulicznego jest taki sam, jak konstrukcji przedstawionej obok na fotografii. Naciśnięcie tłoka małej strzykawki powoduje wysunięcie tłoka dużej strzykawki i odwrotnie. Okazuje się jednak, że tłok małej strzykawki łatwiej jest przesunąć niż tłok dużej. Jeżeli pole powierzchni tłoka dużej strzykawki jest 5 razy większe niż pole powierzchni tłoka małej strzykawki, to na duży tłok działa siła o wartości 5 razy większej niż wartość siły, którą mały tłok działa na ciecz.



Schemat podnośnika.

Dwie strzykawki różnych rozmiarów połączone wężykiem. W wężyku oraz części strzykawkę znajduje się woda. Tłok małej strzykawki łatwiej jest przesunąć niż tłok dużej strzykawki.



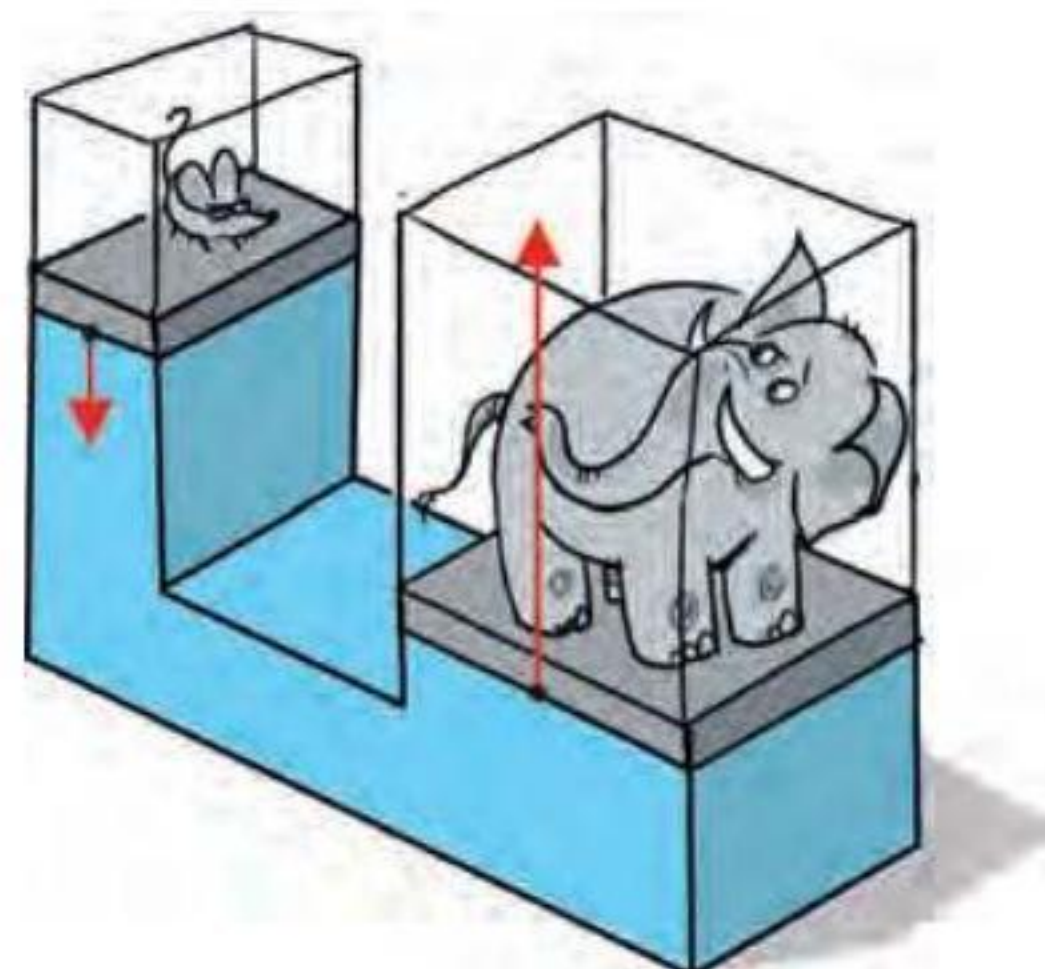
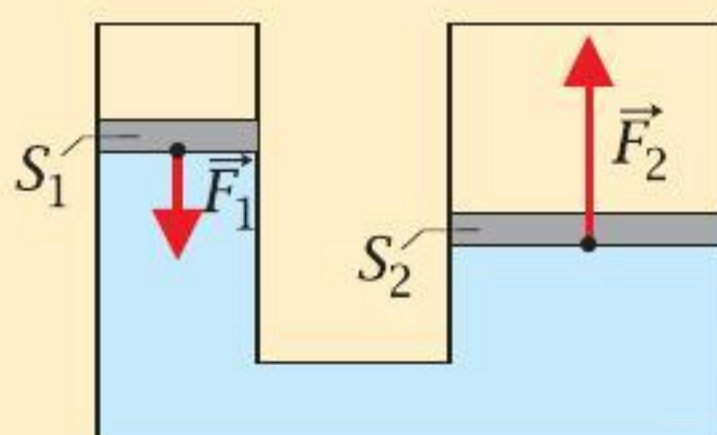
Z prawa Pascala wynika, że niezależnie od tego, który tłok zostanie naciśnięty, ciśnienie pod jednym i drugim tłokiem zmieni się o tyle samo.

Zasada działania podnośnika hydraulicznego:

zmiana ciśnienia pod pierwszym tłokiem  $\rightarrow p_1 = p_2 \leftarrow$  zmiana ciśnienia pod drugim tłokiem

wartość siły wywieranej przez pierwszy tłok  $\rightarrow \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \leftarrow$  wartość siły wywieranej na drugi tłok

pole powierzchni pierwszego tłoka  $\rightarrow$  pole powierzchni drugiego tłoka  $\leftarrow$



Na tej samej zasadzie działa wiele układów hamulcowych w samochodach: naciskanie małego tłoka (pedału hamulca) siłą o niewielkiej wartości skutkuje dociśnięciem przez duży tłok klocków hamulcowych siłą o dużej wartości.

### PRZYKŁAD 2.

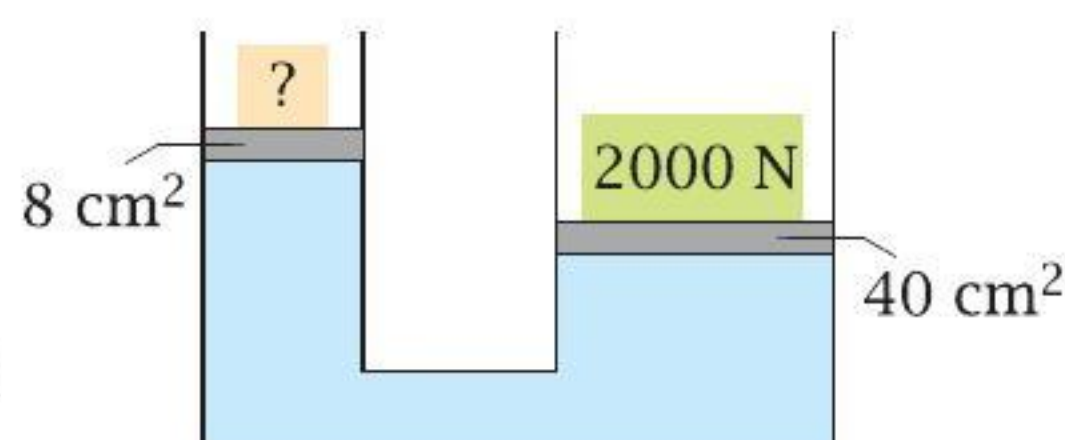
W pewnym warsztacie wykorzystywany jest podnośnik hydrauliczny. Mały tłok podnośnika ma pole powierzchni  $8 \text{ cm}^2$ , a duży tłok —  $40 \text{ cm}^2$ . Duży tłok podtrzymuje sztabę o ciężarze  $2000 \text{ N}$ . Na małym tłoku położono odważnik. Tłoki nie poruszają się. Oblicz ciężar odważnika.

**Dane:**

$S_1 = 8 \text{ cm}^2$  — pole powierzchni małego tłoka

$S_2 = 40 \text{ cm}^2$  — pole powierzchni dużego tłoka

$F_2 = 2000 \text{ N}$  — wartość siły wywieranej na duży tłok



**Szukane:**

$F_1 = ?$  — ciężar odważnika (wartość siły wywieranej na mały tłok)

**Rozwiązanie:** Korzystamy z zależności  $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ .

$$\frac{F_1}{8 \text{ cm}^2} = \frac{2000 \text{ N}}{40 \text{ cm}^2} \quad | \cdot 8 \text{ cm}^2$$

$$\frac{F_1}{8 \text{ cm}^2} \cdot 8 \text{ cm}^2 = \frac{2000 \text{ N}}{40 \text{ cm}^2} \cdot 8 \text{ cm}^2$$

$$F_1 = \frac{2000 \cdot 8}{40} \text{ N} = 400 \text{ N}$$

**i** Zauważ, że nie musieliśmy zmieniać  $\text{cm}^2$  na  $\text{m}^2$ . W przypadku prasy hydraulicznej i podnośnika hydraulicznego wystarczy, że pola obu powierzchni są wyrażone w tych samych jednostkach.

**Odp.** Ciężar odważnika to  $400 \text{ N}$ .



**ĆWICZENIE 2.** W pewnej prasie hydraulicznej zadaniem dużego tłoka jest ściśnięcie klejonych desek. Tłoki tej prasy mają pola powierzchni  $0,6 \text{ m}^2$  oraz  $0,03 \text{ m}^2$ . Oblicz wartość siły, którą należy działać na mały tłok, aby duży tłok ścisnął deski siłą o wartości:

- a) 4000 N                      b) 40 000 N                      c) 80 000 N

### Czas na zadania!

**i** Przyjmujemy, że tłoki pozostają nieruchome, gdy żaden z nich nie jest naciskany. Pomijamy też opory ruchu.

#### Zadanie 1. *Czego dotyczy?*

Prawo Pascala dotyczy:

- A. gazów i ciał stałych
- B. gazów i cieczy
- C. gazów, cieczy i ciał stałych
- D. cieczy i ciał stałych

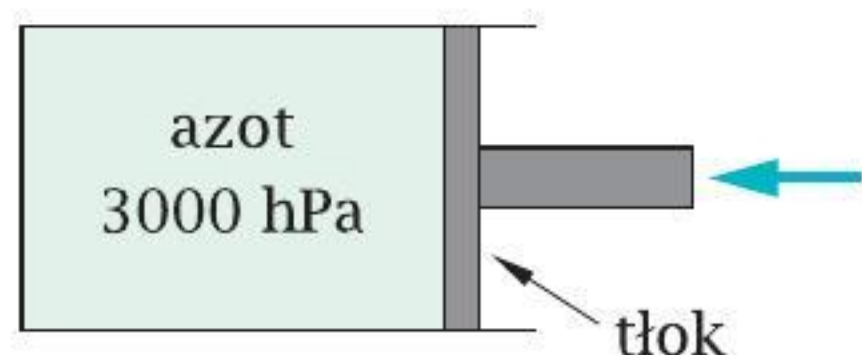
#### Zadanie 2. *Co jest ważne?*

Jednakowy przyrost ciśnienia w całej objętości substancji zamkniętej w pojemniku ściskanym tylko z dwóch stron następuje dzięki temu, że cząsteczki tej substancji:

- A. są znacznie od siebie oddalone,
- B. nie oddziałują ze sobą,
- C. tworzą sztywną strukturę,
- D. mogą się łatwo przemieszczać.

#### Zadanie 3. *Ciśnienie przy prawej ścianie*

W szczelnym pojemniku znajduje się gazowy azot pod ciśnieniem  $3000 \text{ hPa}$ . Naciskając tłok znajdujący się przy prawej ścianie pojemnika, zwiększono tam ciśnienie azotu o  $1000 \text{ Pa}$ . Jakie jest ciśnienie azotu przy lewej ścianie?



#### Zadanie 4. *Dziurawa butelka*

Hasto napełnił plastikową butelkę wodą i zakręcił. Zrobił w ścianie butelki igłą otwór, przez który wypływa woda.

— *Strumień wody zwiększa się, gdy ścisną butelkę* — zauważył Hasto. — *Jak to wytłumaczyć?*

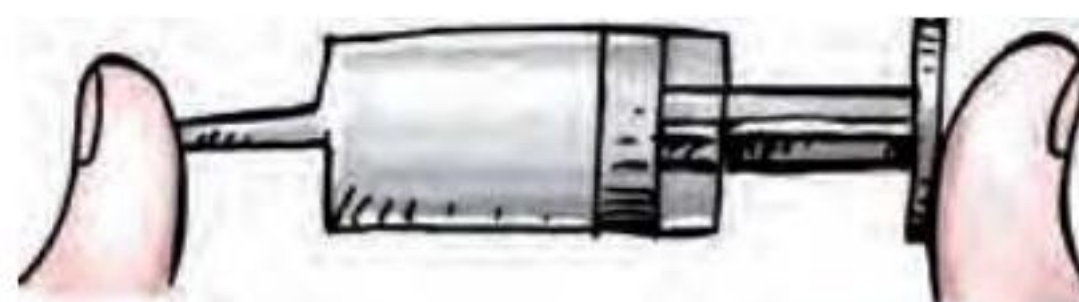
— *To proste! Wtedy na porcję wypływającej wody działa większa siła* — wyjaśniła Weritka.

- a) Jak powiązać siłę działającą na wypływającą porcję wody z ciśnieniem panującym w butelce?
- b) Dlaczego ciśnienie przy otworze zwiększa się, choć Hasto ścisnął butelkę w innym miejscu?

#### Zadanie 5. *Zatkana strzykawka*

Strzykawkę napełniono wodą i zatkano wylot strzykawki. Na początku wciskano tłok strzykawki siłą  $20 \text{ N}$ . Potem wartość tę zwiększono do  $50 \text{ N}$ . Pole powierzchni tłoka strzykawki wynosiło  $2,5 \text{ cm}^2$ .

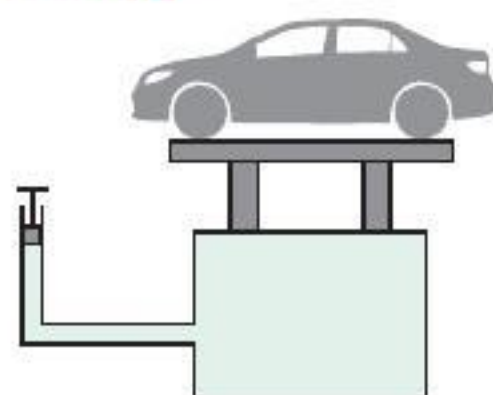
- a) Oblicz zmianę ciśnienia wody w strzykawce w trakcie doświadczenia.
- b) Czy ciśnienie zmieniło się o tyle samo tuż przy zatkany wylocie, co tuż przy tłoku?





### Zadanie 6. Podnośnik hydrauliczny

Spójrz na schemat przedstawiony obok i wybierz właściwe uzupełnienia zdań.



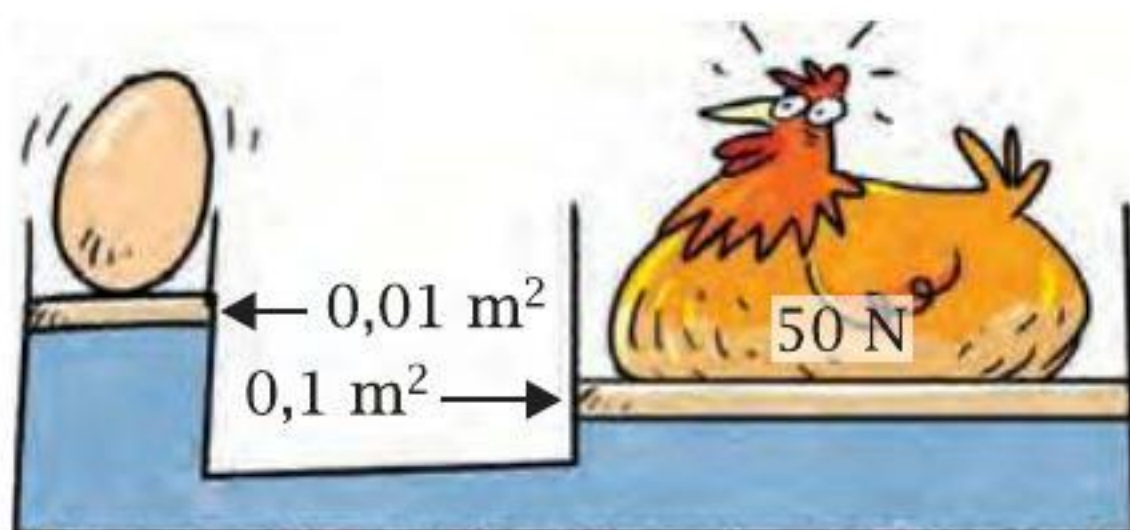
Ciśnienie pod dużym tłokiem jest *większe niż / mniejsze niż / takie samo, jak* pod małym tłokiem. Siła, którą należy działać na mały tłok, żeby podnieść auto, jest *większa / mniejsza* niż jego ciężar.

### Zadanie 7. Prasa hydrauliczna

W prasie hydraulicznej mały tłok ma pole powierzchni  $0,05 \text{ m}^2$ , a duży tłok  $1 \text{ m}^2$ . Zadaniem dużego tłoka jest dociśnięcie formy kształtującej blachę. Oblicz wartość siły, którą należy działać na mały tłok, by duży tłok naciskał na formę siłą o wartości  $70\,000 \text{ N}$ .

### Zadanie 8. Podnośnik i nieznany ciężar

Tłoki przedstawione na rysunku nie poruszają się. Oblicz ciężar jajka.



### Zadanie 9. Podnośnik i nieznana masa

W podnośniku hydraulicznym mały tłok ma pole powierzchni  $400 \text{ cm}^2$ , a duży tłok  $2 \text{ m}^2$ . Gdy na dużym tłoku położono odważnik, to na mały tłok należało działać siłą o wartości  $100 \text{ N}$ , aby odważnik się nie poruszał. Oblicz masę odważnika.

### Zadanie 10. Co zmienia tłok?

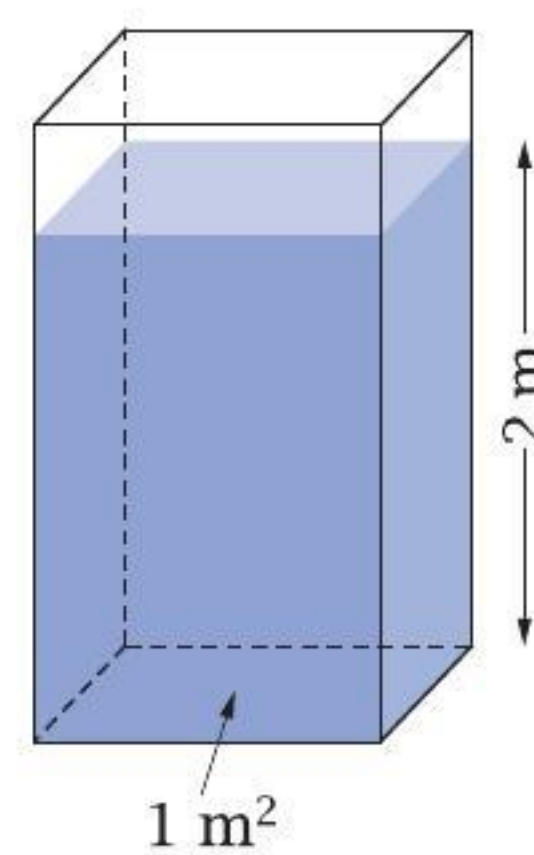
Na rysunku przedstawiono prostopadłościenny zbiornik wypełniony wodą. Gęstość wody to  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Pomiń wpływ ciśnienia atmosferycznego.

a) Oblicz masę wody w zbiorniku.

b) Oblicz wartość siły, którą woda działa na dno zbiornika, czyli ciężar wody.

c) Oblicz ciśnienie, które woda wywiera na dno zbiornika.

d) Powierzchnię wody przykryto tłokiem, który następnie uszczelniono. Tłok obciążono tak, że działa on na wodę siłą o wartości  $3000 \text{ N}$ . Oblicz, o ile zwiększyło się ciśnienie tuż przy dnie pojemnika.



### Jak myślisz?

- Co jeszcze odkrył i wynalazł Blaise Pascal?
- Czy organizmy wykorzystują prawo Pascala?
- Jak szybko wyrównuje się ciśnienie w całym pojemniku z powietrzem? A jak — w pojemniku z wodą?
- Jakie są rekordowe naciski pras hydraulicznych?



### Fizyka na wesoło...

Na wycieczce rowerowej.

— Czekaj, jest gorzej, niż myśleliśmy!

— A co?

— Powietrze zeszło jednak z całego koła, a nie tylko przy dziurze!



# 15 Ciśnienie hydrostatyczne



Bez skafandra głębinowego nie udało się do tej pory zanurkować na głębokość 400 m, mimo butli z tlenem. Na czym polega trudność? Przed czym chroni skafander głębinowy? Jak głęboko udało się dotrzeć człowiekowi w statku podwodnym?

## Cel lekcji

Dowiesz się, czym jest ciśnienie hydrostatyczne, a także od czego zależy.

## Zmiana ciśnienia wraz z głębokością

Ciśnienie w nieruchomej cieczy nazywamy **ciśnieniem hydrostatycznym** (*hydro* — dotyczący cieczy, *statyczny* — nieruchomy, będący w równowadze). Jak zmienia się ciśnienie podczas zanurzania? Czy zwiększa się wraz z głębokością, czy zmniejsza? A może się nie zmienia?

### Doświadczenie

### Zmiana ciśnienia hydrostatycznego wraz z wysokością słupa wody

- ① Przygotuj: litrowy przezroczysty plastikowy pojemnik, gwóźdź, wodę i miskę.
- ② W ścianie pojemnika blisko dna zrób otwór.
- ③ Napełnij pojemnik wodą i ustaw tak, by strumień wypływającej wody trafiał do miski. Pojemnik powinien być otwarty.
- ④ Jak zmienia się zasięg strumienia wraz z obniżaniem się poziomu wody w pojemniku?
- ⑤ Wykonaj dodatkowe otwory powyżej pierwszego. Ponownie napełnij pojemnik i obserwuj zmiany strumieni, gdy poziom wody się obniża.



W trakcie doświadczenia obserwujemy, że zasięg strumienia wody zmniejsza się wraz z obniżaniem się słupa wody w pojemniku. Można z tego wywnioskować, że siła



działająca na wypychaną z pojemnika wodę jest coraz mniejsza. Faktycznie siła parcia maleje wraz ze zmniejszaniem się ciśnienia. Stąd wynika, że przy otworze wylotowym **ciśnienie maleje, gdy poziom wody się obniża**.

## Od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne?

Ciśnienie hydrostatyczne **rośnie wraz głębokością**. Im głębiej zanurkujesz, tym bardziej ściśnie cię woda.

Obok przedstawiono trzy identyczne szklanki. W każdej wysokość słupa cieczy jest taka sama. W pierwszej jest woda, w drugiej — olej, w trzeciej — syrop. Największe ciśnienie panuje przy dnie szklanki z syropem, a najmniejsze przy dnie szklanki z olejem. Na ustalonej głębokości **ciśnienie hydrostatyczne jest większe w cieczy o większej gęstości**.



Największe ciśnienie panuje przy dnie szklanki z syropem, ponieważ ma on największą gęstość.

$$p_h = d \cdot g \cdot h$$

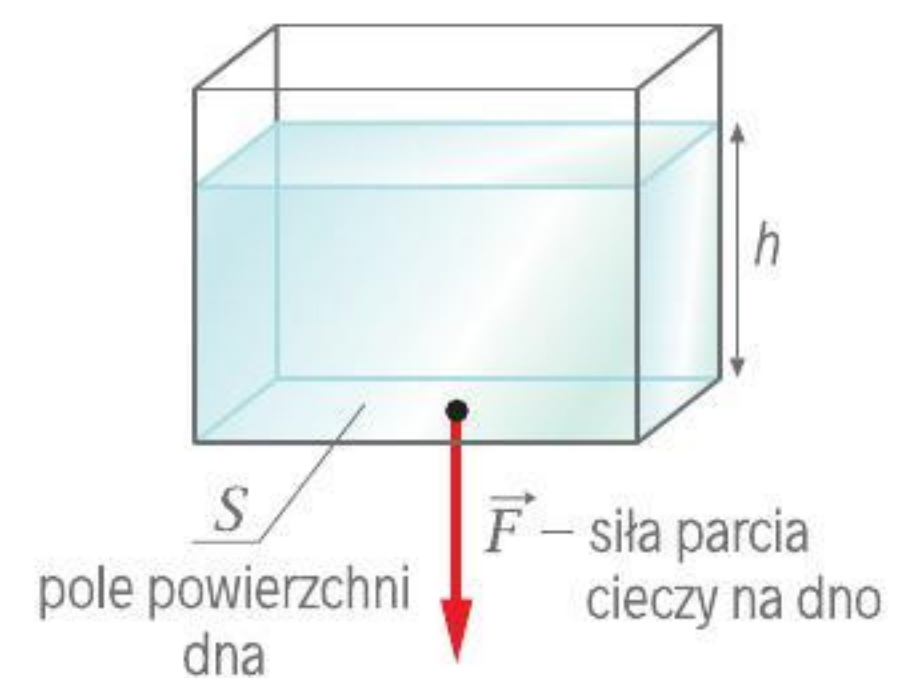
ciśnienie hydrostatyczne na głębokości  $h$       gęstość cieczy      przyspieszenie grawitacyjne      głębokość

### **i** Dla dociekliwych

Wyznamy wartość ciśnienia panującego przy dnie prostokątnego akwarium. Zgodnie z oznaczeniami na rysunku:

$$p_h = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{\overbrace{d \cdot V}^m \cdot g}{S} = \frac{d \cdot \overbrace{S \cdot h}^V \cdot g}{S} = d \cdot g \cdot h$$

Zauważ, że ciśnienie hydrostatyczne w żaden sposób nie zależy od pola powierzchni dna naczynia.



W jeziorze na głębokości  $h$  ciśnienie hydrostatyczne  $p_h$  będzie takie samo, jak przy dnie prostokątnego akwarium wypełnionego wodą do wysokości  $h$ .



Ciśnienie wywierane na rybę na głębokości 30 cm jest takie samo w jeziorze i w akwarium.



**PRZYKŁAD 1.**

Oblicz ciśnienie hydrostatyczne na głębokości 5 m w nieruchomej, oceanicznej wodzie o gęstości  $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**Dane:**

$h = 5 \text{ m}$  — głębokość

$d = 1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  — gęstość oceanicznej wody

**Szukane:**

$p_h = ?$  — ciśnienie hydrostatyczne

**Rozwiązanie:**  $p_h = d \cdot g \cdot h$

$$p_h = 1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 5 \text{ m} = 51\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 51\,000 \text{ Pa}$$

**Odp.** Ciśnienie hydrostatyczne na głębokości 5 m wynosi 51 000 Pa.

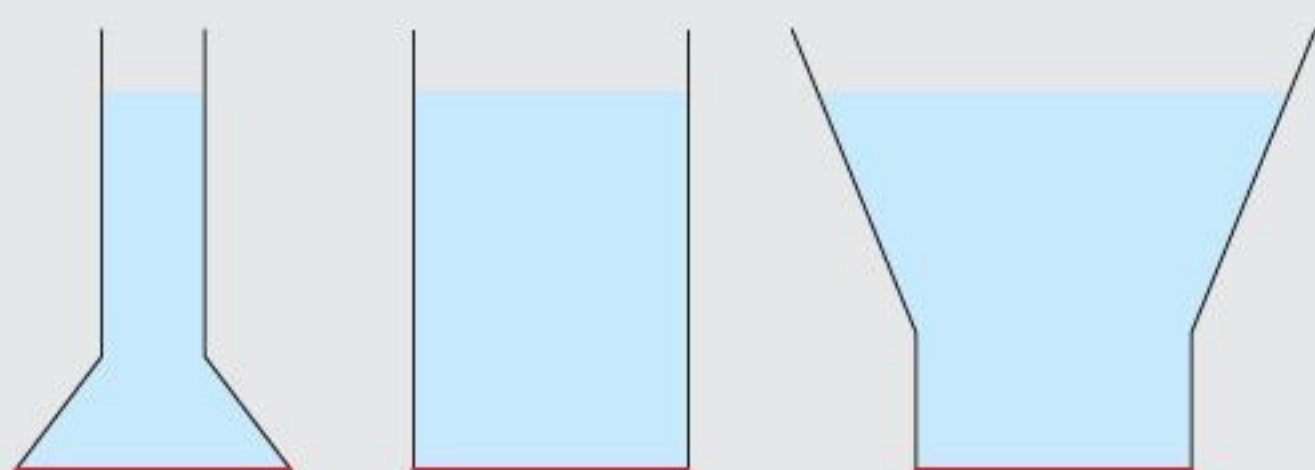
**i**  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \text{m} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ , podobnie jak  $\frac{\cancel{\text{g}}}{\cancel{\text{m}}^3} \cdot \frac{\cancel{\text{N}}}{\cancel{\text{kg}}} \cdot \cancel{\text{m}} = \frac{\cancel{\text{N}}}{\cancel{\text{m}}^2}$ .

**ĆWICZENIE 1.** Oblicz ciśnienie hydrostatyczne na głębokości 20 m w nieruchomej, jeziornej wodzie o gęstości  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

### Dowiedz się więcej o ciśnieniu hydrostatycznym

Fakt, że ciśnienie przyrasta wprost proporcjonalnie do głębokości, prowadzi do zaskakujących wniosków. W każdym z naczyń pokazanych na poniższym rysunku ciśnienie przy dnie naczynia będzie takie samo, bo w każdym naczyniu poziom wody znajduje się na takiej samej wysokości nad dnem.

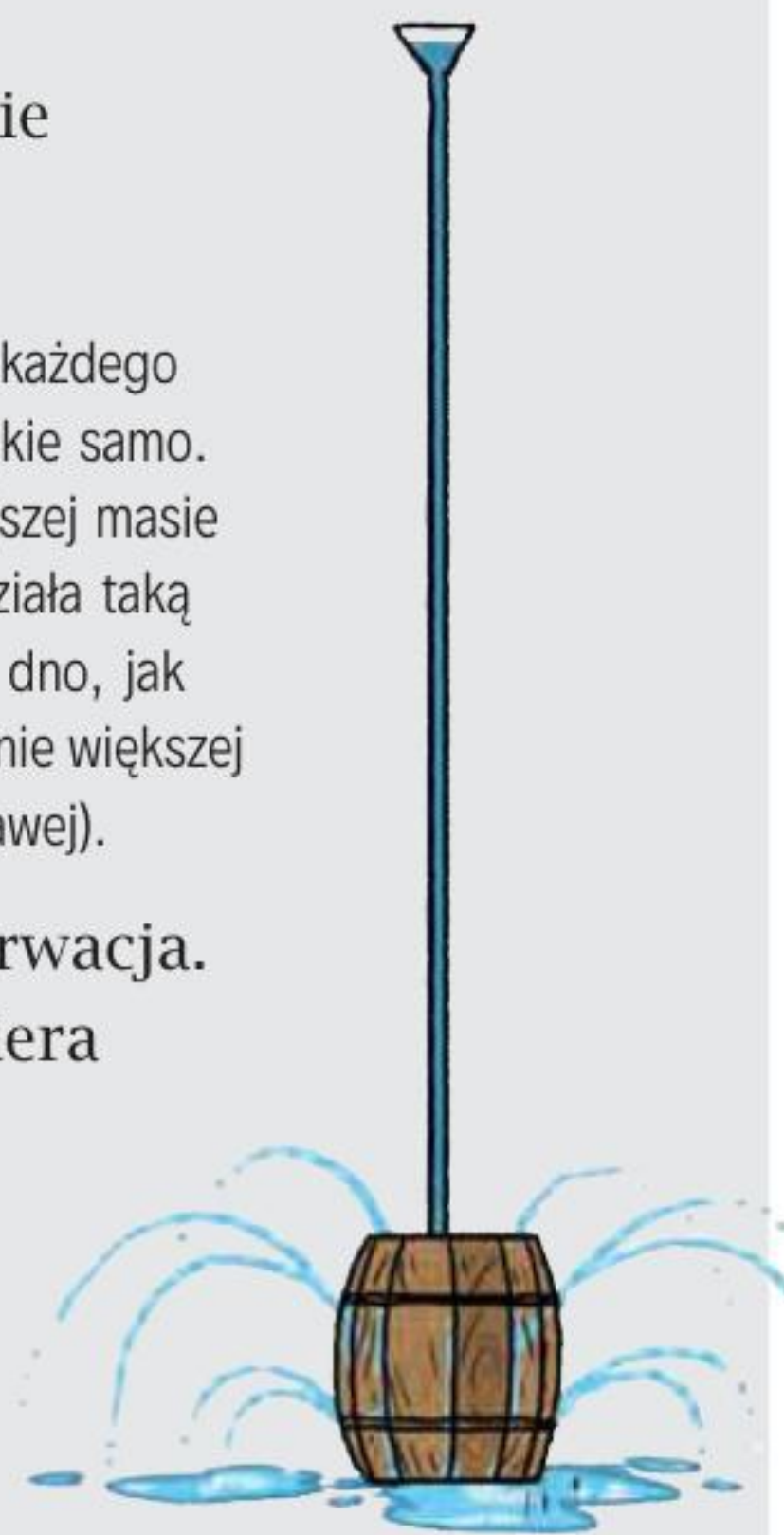
To, że mała porcja wody może wywierać takie samo ciśnienie jak duża porcja wody, jest tak zadziwiające, że nazwano to **paradoksem hydrostatycznym**.



Ciśnienie przy dnie każdego z tych naczyń jest takie samo. Porcja wody o mniejszej masie (naczynie z lewej) działa taką samą siłą parcia na dno, jak porcja wody o znacznie większej masie (naczynie z prawej).

Paradoks hydrostatyczny dobrze ilustruje następująca obserwacja. Zwykła drewniana beczka wytrzymuje ciśnienie, które wywiera woda znajdująca się w jej wnętrzu. Nawet wtedy, gdy woda wypełnia beczkę po brzegi. Wystarczy jednak do beczki włożyć długą rurkę (np. 15 m) i wypełnić ją wodą. Wysoki słup wody spowoduje tak duży wzrost ciśnienia, że beczka zacznie przeciekać.

Zauważ, że siła parcia cieczy na dno naczynia zależy od pola powierzchni dna naczynia, a także od wysokości słupa cieczy w naczyniu oraz gęstości cieczy.





## Ciśnienie zewnętrzne

Jeśli na ciecz poza ciśnieniem hydrostatycznym działa dodatkowo ciśnienie zewnętrzne, np. atmosferyczne, to zgodnie z prawem Pascala należy je dodać. Całkowite ciśnienie na głębokości  $h$  to zatem suma ciśnienia hydrostatycznego  $p_h$  oraz ciśnienia zewnętrznego:

$$p = p_h + p_{\text{zewnętrzne}}$$

Zamknięta butelka pływa po powierzchni.  
Jednak wciągnięta pod wodę zostanie przez nią ściśnięta.



### PRZYKŁAD 2.

Oblicz ciśnienie na głębokości 5 m w oceanicznej wodzie o gęstości  $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Uwzględnij wpływ ciśnienia atmosferycznego. Możesz skorzystać z wyników uzyskanych w przykładzie 1 (str. 102).

**Dane:**

$p_h = 51\,000 \text{ Pa}$  — ciśnienie hydrostatyczne (wynik uzyskany w przykładzie 1)

$p_{\text{atm}} = 100\,000 \text{ Pa}$  — ciśnienie atmosferyczne (zob. str. 91)

**Szukane:**

$p = ?$  — całkowite ciśnienie na głębokości 5 m

**Rozwiązanie:**  $p = p_h + p_{\text{atm}}$

$$p = 51\,000 \text{ Pa} + 100\,000 \text{ Pa} = 151\,000 \text{ Pa}$$

**Odp.** Ciśnienie na głębokości 5 m wynosi 151 000 Pa.

**ĆWICZENIE 2.** Oblicz ciśnienie na głębokości 20 m w nieruchomej, jeziornej wodzie o gęstości  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Uwzględnij wpływ ciśnienia atmosferycznego. Możesz skorzystać z wyników uzyskanych w ćwiczeniu 1 (str. 102).

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. *Beczka*

Oblicz ciśnienie hydrostatyczne przy dnie beczki wypełnionej do wysokości 1 m:

- a) olejem o gęstości  $900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,
- b) syropem o gęstości  $1310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,
- c) benzyną o gęstości  $750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

### Zadanie 2. *Jezioro*

Oblicz ciśnienie panujące w nieruchomej, jeziornej wodzie o gęstości  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  na głębokości:

- a) 10 m                      b) 50 m                      c) 105 m

Uwzględnij ciśnienie atmosferyczne równe 1010 hPa.



### Zadanie 3. *Takie samo ciśnienie*

Na zdjęciu pokazano naczynia zawierające tę samą ciecz.



Ciśnienie tuż przy dnie w każdym naczyniu jest takie samo. Wynika to z faktu, że:

- A. naczynia mają taką samą objętość,
- B. w każdym naczyniu słup cieczy ma taką samą wysokość,
- C. dna naczyń mają takie samo pole powierzchni,
- D. porcja cieczy w każdym naczyniu ma taką samą masę.

### Zadanie 4. *Rów Mariański*

Najgłębsze miejsce na Ziemi — Głębia Challenger w Rowie Mariańskim znajduje się około 10,9 km poniżej poziomu morza. Ludzie docierali tam kilkakrotnie. Przyjmij, że gęstość oceanicznej wody wynosi  $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

- a) Oblicz ciśnienie działające na batyskaf na dnie Rowu Mariańskiego. Pomiń wpływ ciśnienia atmosferycznego.
- b) Ile razy ciśnienie otrzymane w podpunkcie a) jest większe od ciśnienia atmosferycznego o wartości 100 000 Pa?
- c) Uzasadnij, dlaczego w podpunkcie a) można było pominąć wpływ ciśnienia atmosferycznego.



### Zadanie 5. *Bez pancerza i z pancerzem*

Nurkowie z butlą z tlenem, ale bez ochrony ciała przed ciśnieniem wody, mogą zanurzyć się na głębokość około 300 m. W specjalnych skafandrach głębinowych nurkowie pracują na głębokościach do 700 m. Oblicz, ile razy ciśnienie na głębokości 700 m jest większe od ciśnienia na głębokości 300 m. Przyjmij, że gęstość wody to  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Pomiń wpływ ciśnienia atmosferycznego.



Skafander głębinowy

### Zadanie 6. *Freediving*

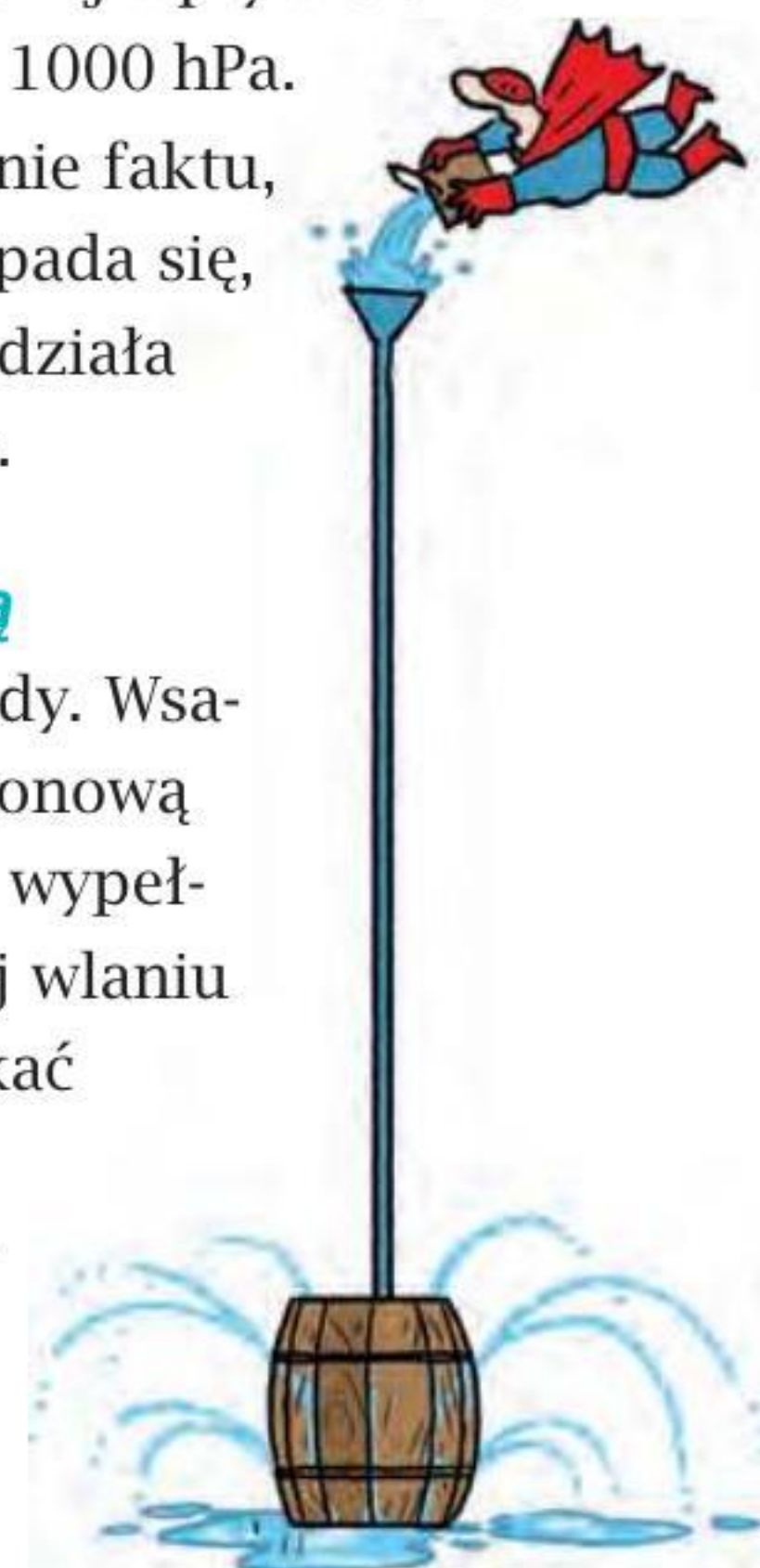
Rekordziści uprawiający freediving (czyt. fridajwing), czyli nurkowanie na wstrzymanym oddechu, bez butli z tlenem, potrafią zanurkować na głębokość ponad 100 m.

- a) Oblicz wartość siły parcia działającej na kwadratowy fragment pleców nurka o wymiarach  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  na głębokości 100 m, w wodzie o gęstości  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Uwzględnij wpływ ciśnienia atmosferycznego 1000 hPa.
-  b) Zaproponuj wyjaśnienie faktu, że ciało nurka nie zapada się, mimo że z zewnątrz działa na nie duże ciśnienie.



### Zadanie 7. *Beczka z rurką*

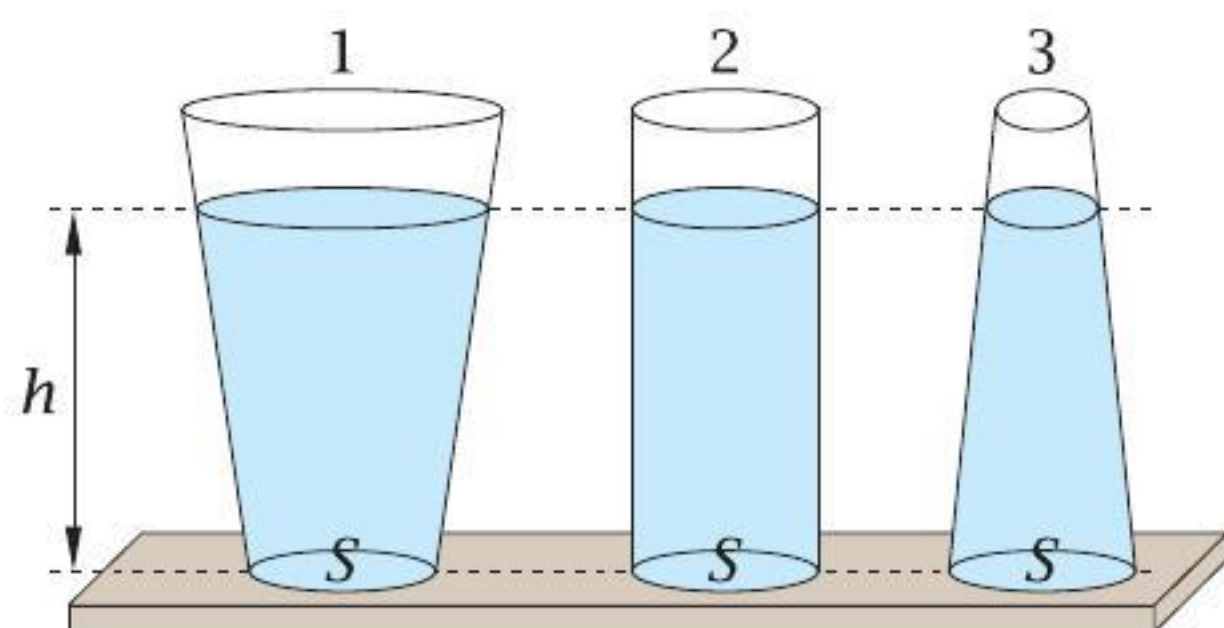
W beczce było 100 l wody. Wsadzono do niej cieką pionową rurkę o długości 15 m i wypełniono ją 2 l wody. Po jej wlaniu beczka zaczęła przeciekać i pękać. Oblicz zmianę ciśnienia w beczce, którą spowodował słup wody w rurce. Gęstość wody to  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .





### Zadanie 8. Naczynia o różnym kształcie

Naczynia pokazane na rysunku mają taką samą masę oraz dna o takim samym polu powierzchni  $S$ . Słup wody w każdym naczyniu ma tę samą wysokość.



W miejscu ? wstaw znak:  $<$ ,  $>$  lub  $=$ .

- a) Oznaczmy przez  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  masy porcji wody w naczyniach 1, 2, 3. Wtedy:

$$m_1 \dots m_2 \quad m_2 \dots m_3 \quad m_1 \dots m_3$$

- b) Oznaczmy przez  $F_{n1}$ ,  $F_{n2}$ ,  $F_{n3}$  wartości sił nacisku naczyń 1, 2, 3 (wraz z zawartą w nich wodą) na blat. Wtedy:

$$F_{n1} \dots F_{n2} \quad F_{n2} \dots F_{n3} \quad F_{n1} \dots F_{n3}$$

- c) Oznaczmy przez  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  ciśnienia tuż przy dnach w naczyniach 1, 2, 3. Wtedy:

$$p_1 \dots p_2 \quad p_2 \dots p_3 \quad p_1 \dots p_3$$

- d) Niech  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  oznaczają wartości sił parcia wody na dna naczyń 1, 2, 3. Wtedy:

$$F_1 \dots F_2 \quad F_2 \dots F_3 \quad F_1 \dots F_3$$

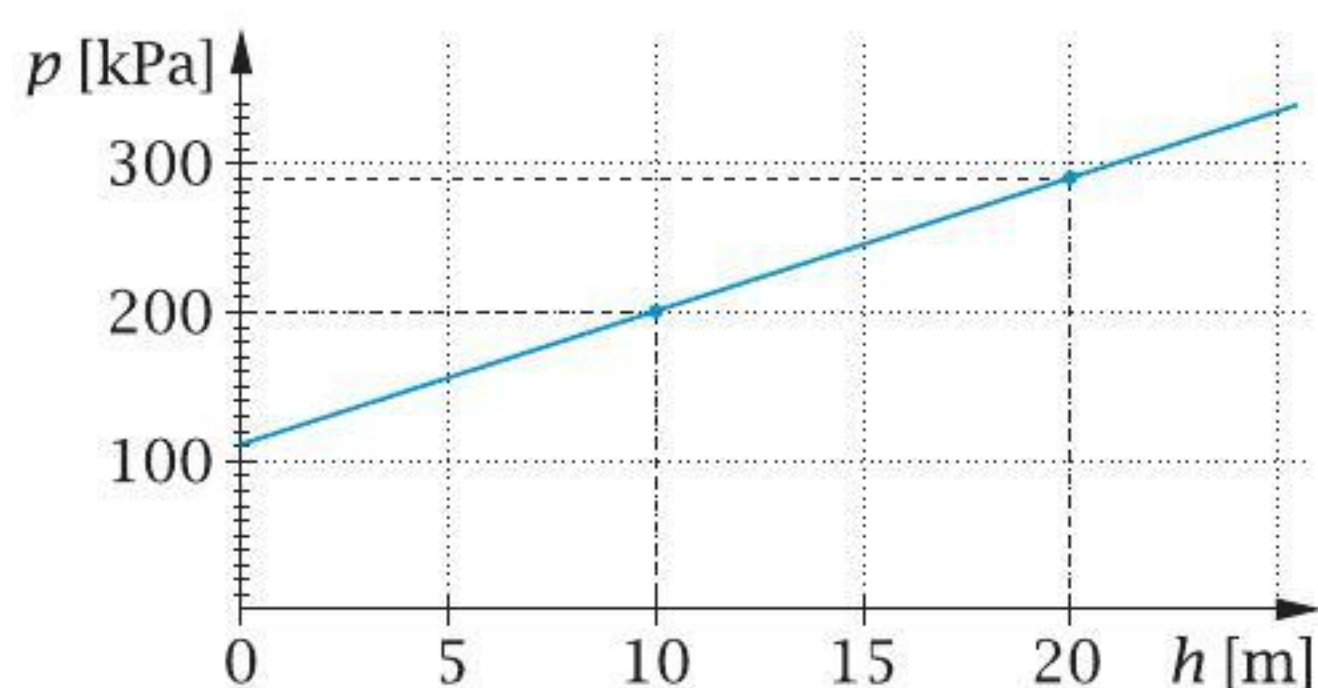
### Zadanie 9. Wzrost ciśnienia

Nurek powoli opada w wodzie o gęstości  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

- a) O ile wzrasta ciśnienie działające na nurka, gdy zanurza się on o 1 m głębiej?
- b) Czy niezbędna jest znajomość aktualnej głębokości nurka, aby udzielić odpowiedzi na pytanie w podpunkcie a)?
- c) Czy niezbędna jest znajomość ciśnienia atmosferycznego, aby udzielić odpowiedzi na pytanie w podpunkcie a)?

### Zadanie 10. Zbiornik z ropą naftową

W głębokim zbiorniku znajduje się ropa naftowa. Wykres przedstawia zależność ciśnienia  $p$  od głębokości  $h$  w zbiorniku.



- a) Określ wartość ciśnienia powietrza, które znajduje się nad ropą.
- b) Oblicz, o ile zwiększa się ciśnienie, gdy głębokość wzrasta o 10 m.
- c) Oblicz gęstość ropy.

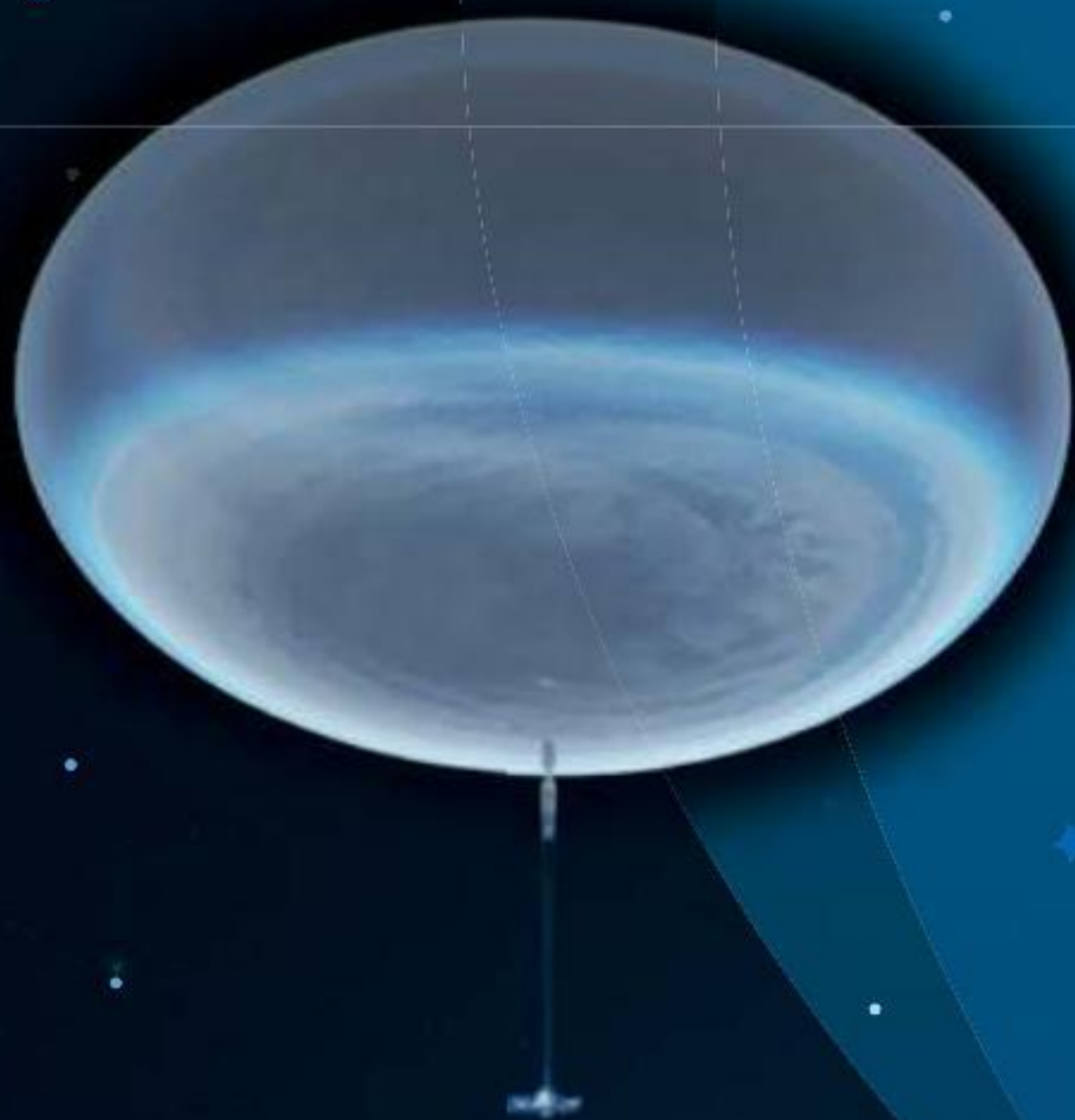
**i** 1 kPa (1 kilopaskal) to 1000 Pa.



### Jak myślisz?

- Dlaczego gęstość powietrza w atmosferze zmniejsza się wraz z wysokością?
- Pod jakim ciśnieniem akwalung dostarcza nurkowi gaz?
- Dlaczego nurkowie używający akwalungów powinni bardzo powoli wynurzać się po przebywaniu na dużej głębokości, a nurkujący na wstrzymanym oddechu mogą wypływać bardzo szybko?
- Dlaczego woda wypływa z kranu?
- Czy można zmierzyć ciśnienie atmosferyczne za pomocą wody?





**Balon stratosferyczny** umożliwia loty na wysokości około 20–40 km nad ziemią. Balony takie są przeważnie wykorzystywane do badań pogody, promieniowania kosmicznego lub zapewniania dostępu do internetu. Na ziemi balon jest napełniany niewielką porcją gazu (wodoru lub helu) i na początku lotu wygląda na prawie pusty. Wraz ze wzrostem wysokości spada ciśnienie atmosferyczne działające od zewnątrz na powłokę balonu. Na przykład na wysokości 20 km ciśnienie atmosferyczne wynosi tylko około 50 hPa. Ciśnienie gazu zawartego w powłoce balonu jest wtedy wystarczające, by nadać balon w pełni.



W 2012 r. **batyskaf** pilotowany przez reżysera Jamesa Camerona (czyt. dżejmsa kamerona) zszedł na głębokość 10,9 km poniżej poziomu morza w Głębi Challenger w Rowie Mariańskim. Skulony pilot siedział we wnętrzu stalowej kuli o średnicy 1,1 m. Kabina pilota była obudowana wytrzymałym korpusem wykonanym z tworzywa sztucznego o gęstości mniejszej niż gęstość wody. Konstrukcja została specjalnie zaprojektowana, by nie zapadać się pod wpływem ciśnienia. Jednak korpus o wysokości 7,3 m i tak skurczył się o około 6 cm. Aby rozpocząć wynurzenie, pilot odrzucił balast. Zastanów się, dlaczego poszukiwano materiału o małej gęstości, który trudno ścisnąć.





# Lekcja dodatkowa. Naczynia połączone



Przedstawiona na zdjęciu konstrukcja, ustawiona powyżej okolicznych zabudowań, to wieża ciśnień. Do takiej wieży wpompuywano wodę i podłączano ją do sieci wodociągowej. W ten sposób, gdy ktoś odkręcał kurek, woda leciała z jego kranu. Jak dokładnie działała taka wieża?

## Jak ciśnienie wpływa na poziom cieczy?

Dlaczego w dole wykopanym na plaży gromadzi się woda? W jakim celu budowano wieże ciśnień? Jak zbudować przyrząd do pomiaru ciśnienia atmosferycznego (barometr hydrostatyczny)? Wszystkie te pytania wiążą się z ustalaniem się poziomu cieczy w **naczyniach połączonych**, czyli takich, między którymi ciecz może swobodnie przepływać.

### Cel lekcji

Dowiesz się, jak ciśnienie wpływa na zachowanie się cieczy w połączonych naczyniach oraz jakie mają one zastosowania.

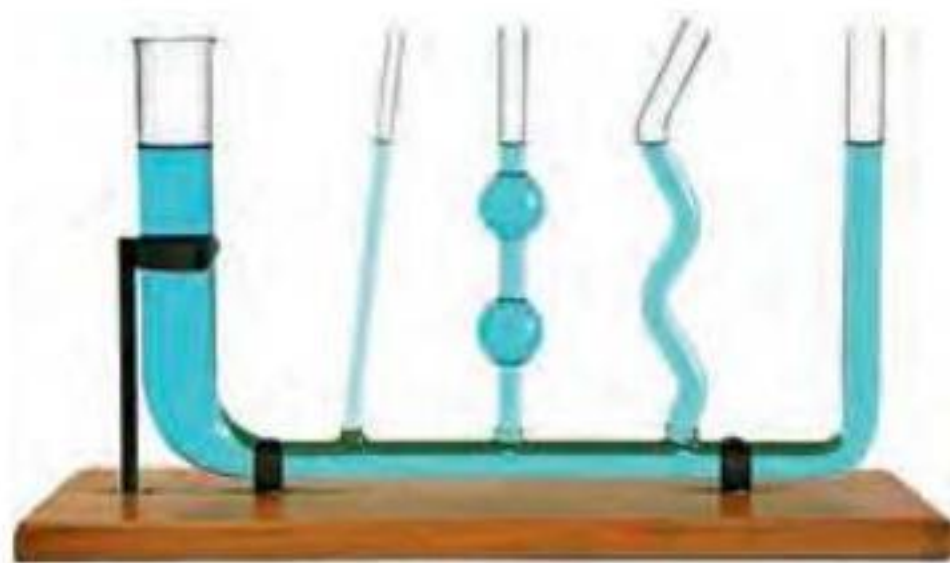
### Doświadczenie

### Wygięty wąż, czyli naczynia połączone

- ① Przygotuj wodę oraz przezroczysty wąż o długości 1 m i średnicy wewnętrznej co najmniej 1 cm.
- ② Nalej wody do węża tak, żeby wypełniony był mniej więcej w połowie.
- ③ Wygnij wąż w kształt litery *U*. Powoli podnoś i opuszczaj każdy z końców.
- ④ Wygnij wąż w kształt fali (litery *W* bez załamania). Podnoś i opuszczaj końce i środkowy fragment tak, by do środkowego fragmentu nie dostało się powietrze.
- ⑤ Jak zachowują się poziomy wody? Czy któryś jest wyżej?

Wygięty wąż jest najprostszym przykładem naczyń połączonych. Gdy końce węża nie są zatkane, to woda w każdym z nich znajduje się zawsze na tej samej wysokości.



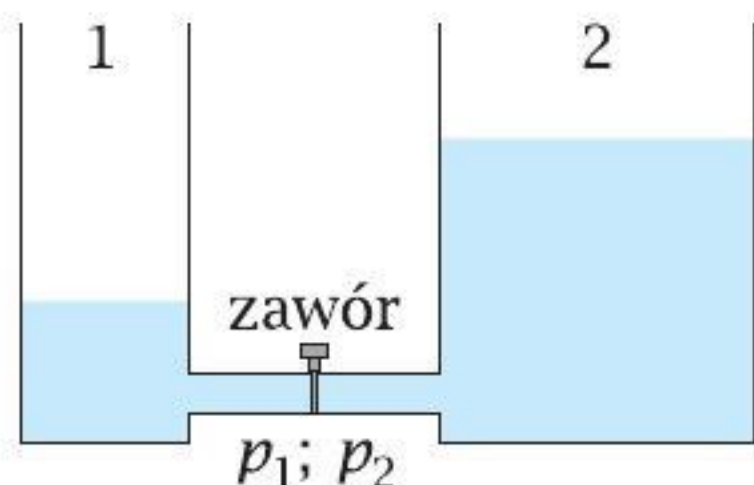


Przykład naczyń połączonych.

**W otwartych naczyniach połączonych** ciecz przepływa w taki sposób, że jej **poziom ustala się na takiej samej wysokości** w każdym z naczyń.

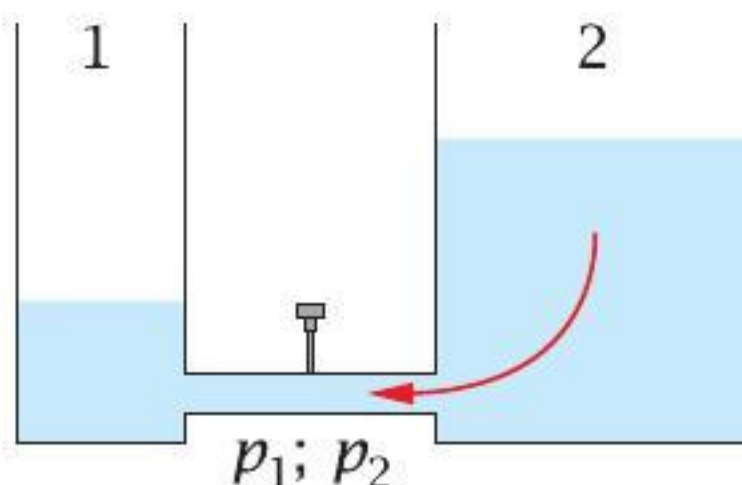
Aby zrozumieć dlaczego tak się dzieje, przyjrzyjmy się dwóm naczyniom połączonym rurką z zaworem (zob. poniższe rysunki). Na początku zawór jest zamknięty (Rys. A) i w prawym naczyniu poziom wody znajduje się wyżej niż w lewym naczyniu.

Ciśnienie z prawej strony zaworu jest większe niż ciśnienie z lewej strony. Wynika to z faktu, że w prawym naczyniu jest wyższy słup wody niż w lewym. Po otwarciu zaworu ciecz dąży do wyrównania ciśnień. Woda będzie przepływać rurką z prawego naczynia do lewego (Rys. B).

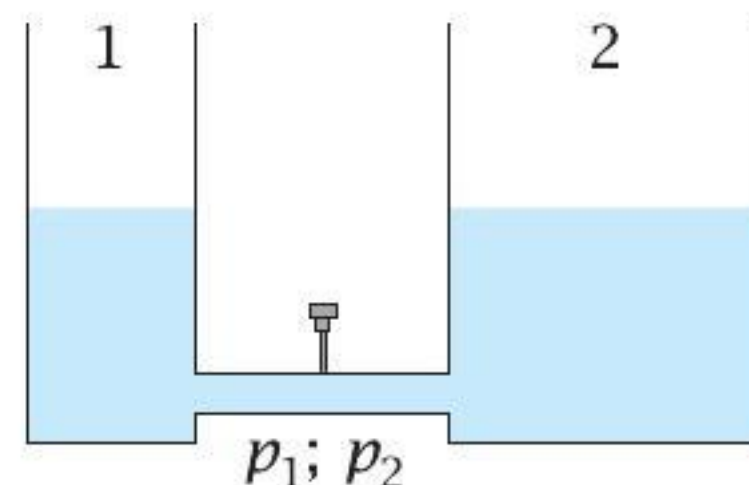


Rys. A. Zawór zamknięty.

$$p_1 < p_2$$



Rys. B. Po otwarciu zaworu woda przepływa do lewego naczynia.



Rys. C. Po ustaniu przepływu.

$$p_1 = p_2$$

Przepływ ustanie, gdy poziom wody w naczyniach będzie taki sam (Rys. C). Gdyby teraz zamknąć zawór, to ciśnienie po obu jego stronach byłoby takie samo. W stanie równowagi, gdy nie następuje przepływ, w dowolnych punktach prawego i lewego naczynia, na tych samych wysokościach ciśnienie jest takie samo.

### PRZYKŁAD 1.

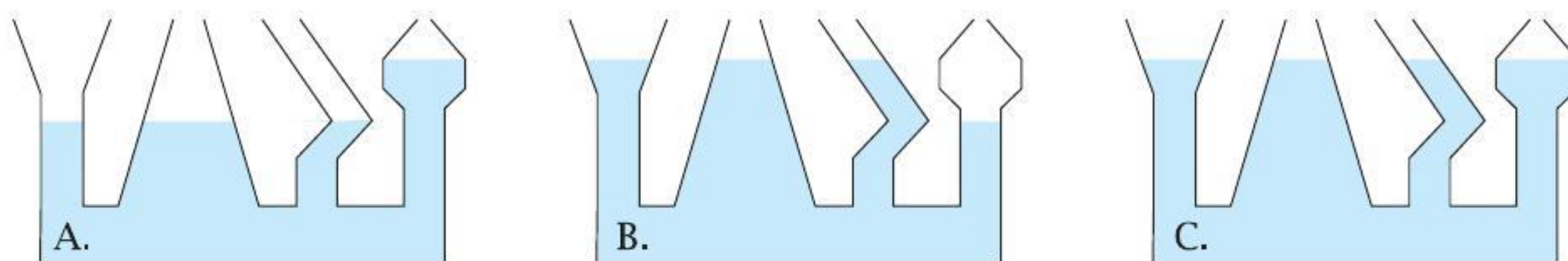
Które ze zdjęć czajniczka jest prawdziwe, a które są fotomontażem. Dlaczego? Przyjmij, że pokrywka czajniczka nie jest szczelna, a prawdziwe zdjęcie wykonano po ustaniu przepływu herbaty.



**Odp.** Prawdziwe jest środkowe zdjęcie. Tylko na nim poziom herbaty jest taki sam w głównej części czajniczka i w dzióbku.



**ĆWICZENIE 1.** Na którym rysunku poprawnie zaznaczono poziom wody w naczyniach połączonych po ustaniu przepływu?



Kartonik z sokiem i słomka to też przykład naczyń połączonych. Gdy ściśniesz kartonik, poziom soku w słomce będzie wyższy niż w pozostałej części kartonika. Z kolei, gdy wdmuchniesz powietrze do słomki, poziom soku w słomce będzie niższy niż w kartoniku.

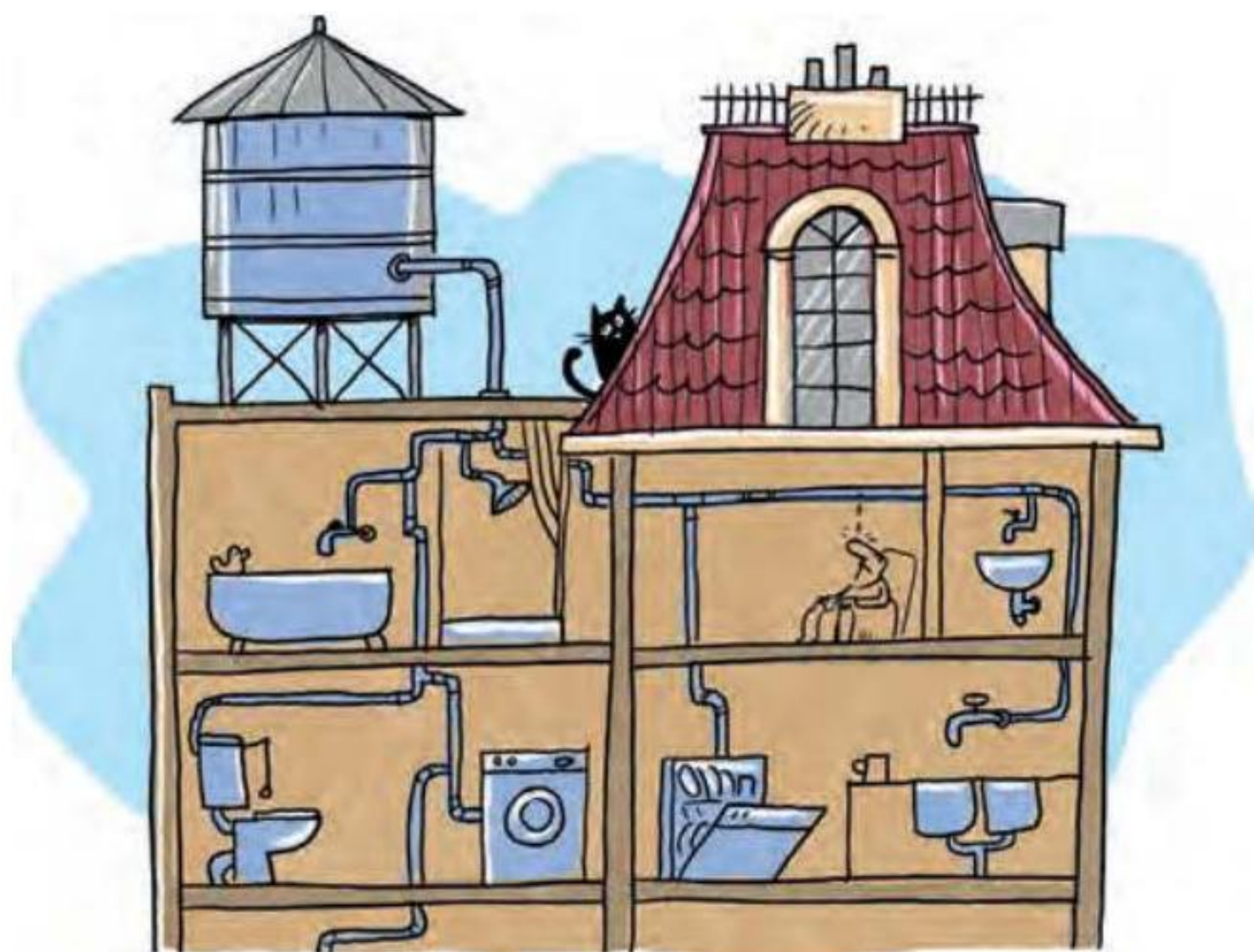
Poziom cieczy w naczyniach połączonych jest na tej samej wysokości, jeśli ciśnienie zewnętrzne, np. ciśnienie atmosferyczne działające na ciecz, jest takie samo. Jeśli w którymś z naczyń zmienimy ciśnienie powietrza nad cieczą, to poziom cieczy w tym naczyniu będzie inny.

## Zastosowania naczyń połączonych

Na poniższym rysunku z prawej strony są przedstawione dwa kubki. Ten znajdujący się wyżej jest wypełniony cieczą. Czy wiesz, jak zachowa się ciecz, gdy zawór zostanie otwarty? Na dokładnie takiej samej zasadzie działały dawne wieże ciśnień. Wpompowywano wodę do umieszczonego wysoko zbiornika i gdy tylko któryś z odbiorców sieci wodociągowej odkręcał kurek, woda płynęła z kranu.

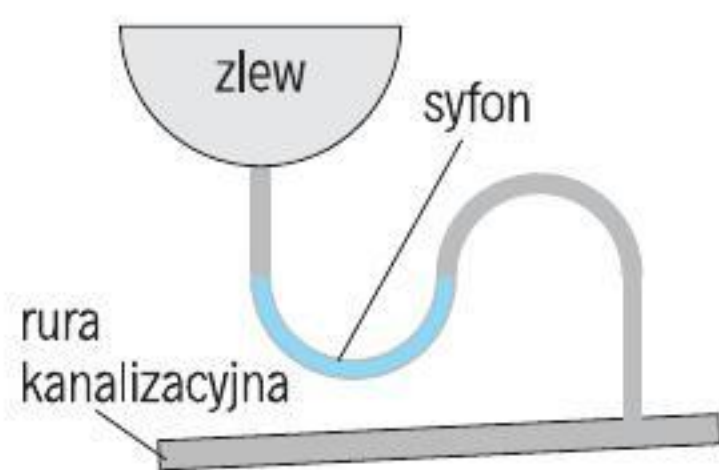


Ciśnienie zewnętrzne może zmienić poziom cieczy w części naczyń połączonych.



Sieć wodociągowa działała dawniej na tej samej zasadzie, jak układ złożony z kubków i wężyka.



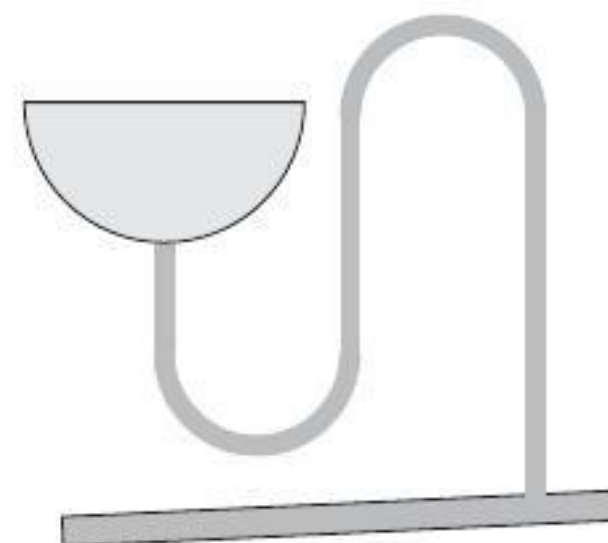


Innym przykładem zastosowania naczyń połączonych jest syfon. Odpływy zlewów są podłączone do kanalizacji za pomocą syfonów. Ich zadaniem jest zapobieganie przedostawaniu się gazów z kanalizacji do pomieszczenia.

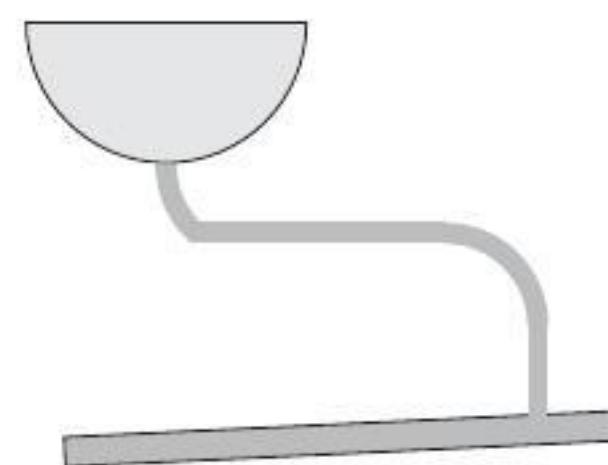
### PRZYKŁAD 2.

Co się stanie, gdy w instalacji przedstawionej na schemacie obok zlew w całości zostanie napełniony wodą? Czy odpływ będzie działać poprawnie? Uzasadnij swoją odpowiedź.

**Odp.** W tej instalacji woda w ogóle nie będzie spływać rurami. Gdy zlew zostanie wypełniony, woda zacznie przelewać się jego brzegami na podłogę.

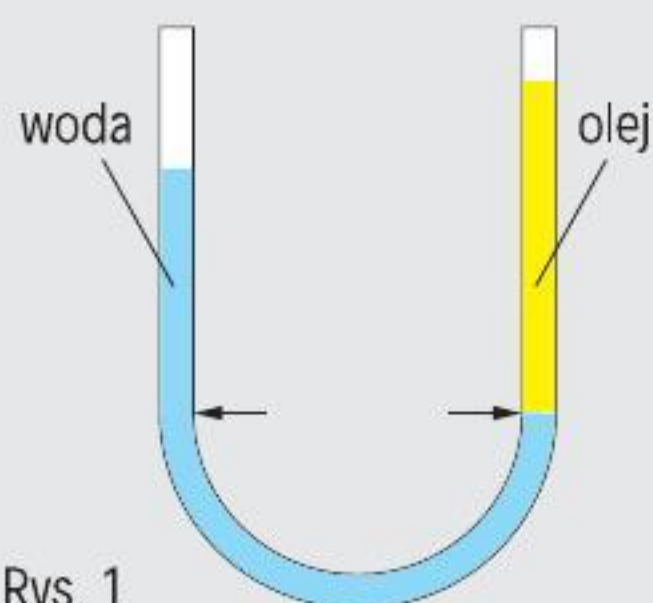


**ĆWICZENIE 2.** Czy instalacja przedstawiona obok na schemacie będzie zapobiegać przedostawaniu się gazów z kanalizacji do pomieszczenia? Uzasadnij swoją odpowiedź.



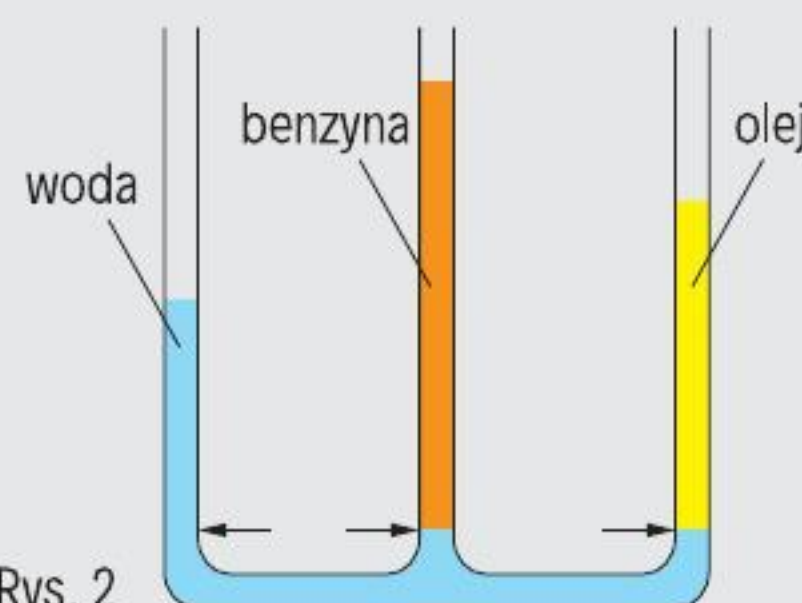
### Dowiedz się więcej o naczyniach połączonych

Gdy do naczyń połączonych wlejemy olej oraz wodę, sytuacja będzie wyglądać tak, jak na poniższym Rys. 1. Poziom oleju będzie powyżej poziomu wody. Poziomy różnych, niemieszających się cieczy ustalają się w naczyniach połączonych tak, by na granicy między cieczami ciśnienie wywierane przez ciecz z jednego naczynia było równe ciśnieniu wywieranemu przez ciecz z każdego z pozostałych naczyń. Gęstość oleju jest mniejsza od gęstości wody, dlatego słup oleju musi być wyższy od słupa wody wywierającego takie samo ciśnienie.



Rys. 1

Słup oleju i słup wody, mimo że różnych wysokości, wywierają takie samo ciśnienie na punkty oznaczone strzałkami.



Rys. 2

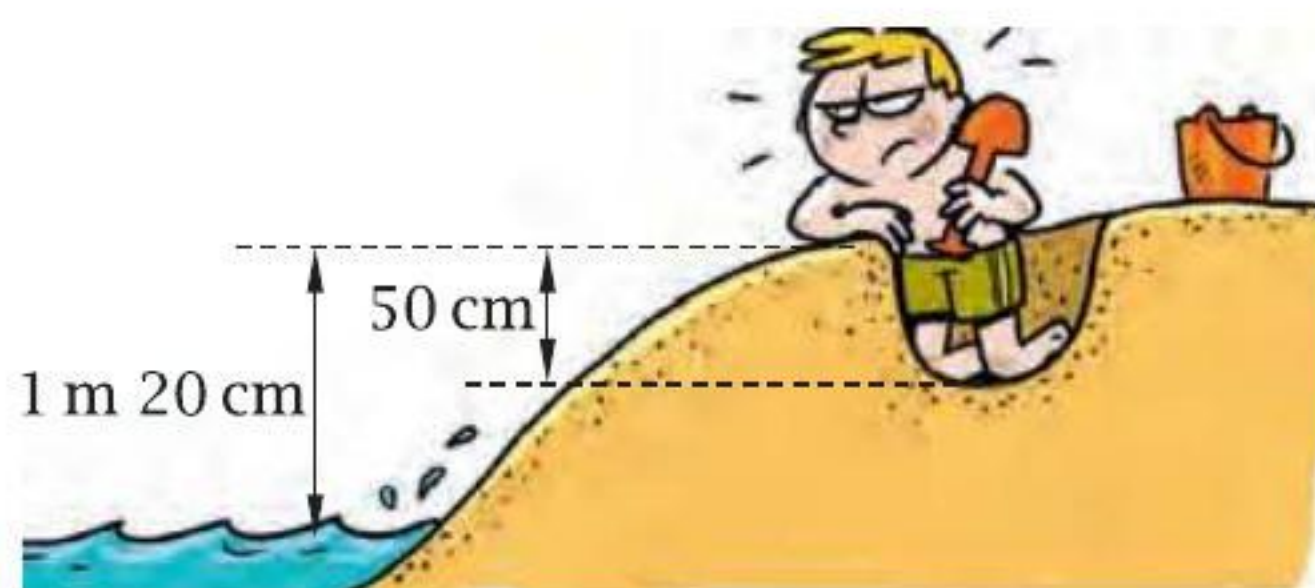
Jaką gęstość ma znajdująca się pośrodku benzyna w porównaniu z gęstością wody i oleju?

Na rysunkach różnice poziomów są powiększone. W rzeczywistości słup oleju jest o około 10%, a benzyny — o około 30% wyższy niż słup wody wywierający takie samo ciśnienie.



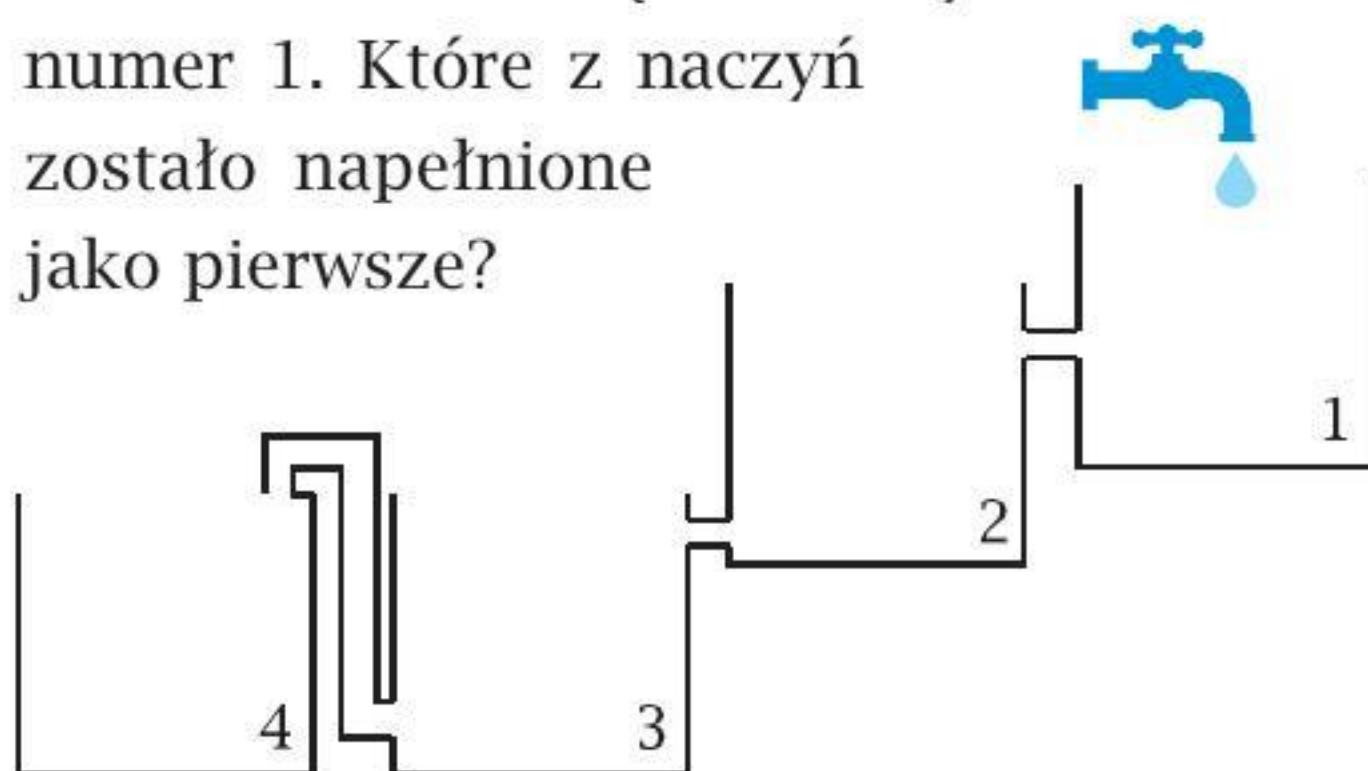
### Zadanie 1. Dół

Chłopiec kopie dół na plaży. Postanowił, że będzie kopać tak długo, aż w dole pojawi się woda. Korzystając z informacji na rysunku, oblicz, o ile centymetrów musi pogłębić swój dół, żeby osiągnąć cel.



### Zadanie 2. Labirynt naczyń połączonych

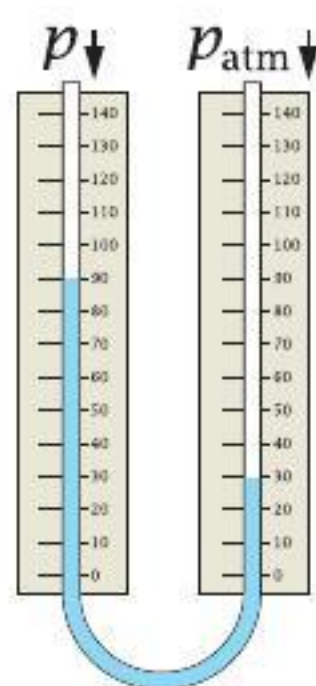
Przyjrzyj się poniższemu schematowi naczyń połączonych. Powolnym strumieniem woda lała się do naczynia numer 1. Które z naczyń zostało napełnione jako pierwsze?



**i** Woda z kranu płynie dużo wolniej, niż wycieka z rurki naczynia nr 1 i pozostałych rurek.

### Zadanie 3. U-rurka

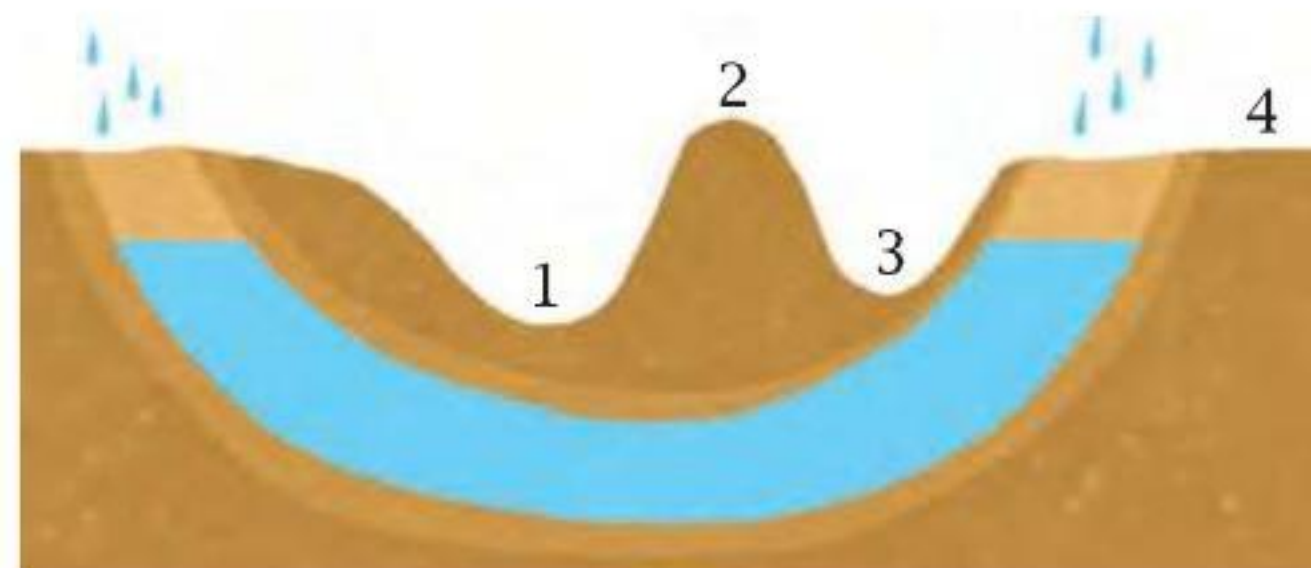
W rurce przedstawionej na rysunku znajduje się woda. W lewym ramieniu na powierzchnię wody działa ciśnienie  $p$ , a w prawym — ciśnienie atmosferyczne  $p_{\text{atm}}$ . Skoro woda nie porusza się, to:



- A.  $p > p_{\text{atm}}$       B.  $p = p_{\text{atm}}$       C.  $p < p_{\text{atm}}$

### Zadanie 4. Studnia artezyjska

Poniższy schemat przedstawia wody artezyjskie znajdujące się pomiędzy nieprzepuszczalnymi warstwami skał. Po wykonaniu pionowego odwiertu w odpowiednim miejscu, woda będzie samoczynnie wypływać na powierzchnię (jak fontanna).

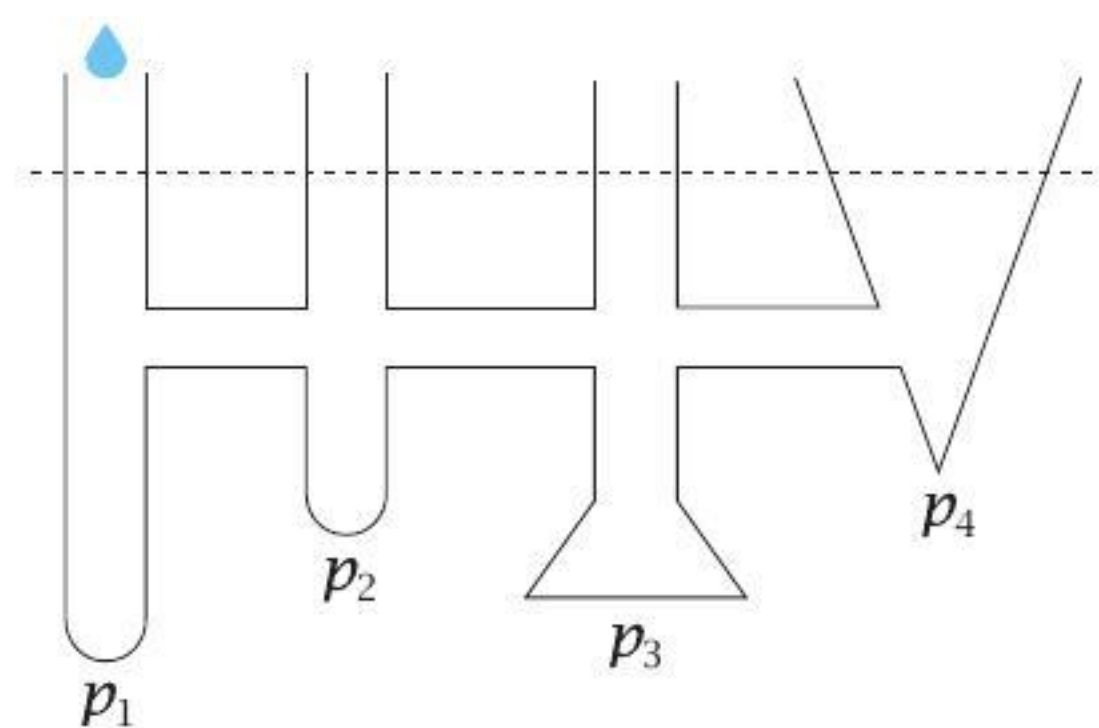


**i** Na wody podziemne działa ciśnienie atmosferyczne — powietrze ma dostęp do przestrzeni między warstwami, tak jak deszcz.

- a) Wskaż, w których z miejsc oznaczonych liczbami warto zrobić pionowy odwiert.  
b) Wskaż, w którym z tych miejsc pionowy odwiert może być najkrótszy.

### Zadanie 5. Ciśnienie w naczyniach

Oto schemat naczyń połączonych:



Do lewego naczynia lano wodę do czasu, gdy poziom wody w naczyniach ustalił się na wysokości przerywanej linii. Za pomocą symboli  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$  oznaczono ciśnienie panujące przy dnie każdego z naczyń. Uporządkuj ciśnienia panujące przy dnie naczyń w kolejności od najniższego na najwyższego.



### Zadanie 6. Poidło dla ptaków

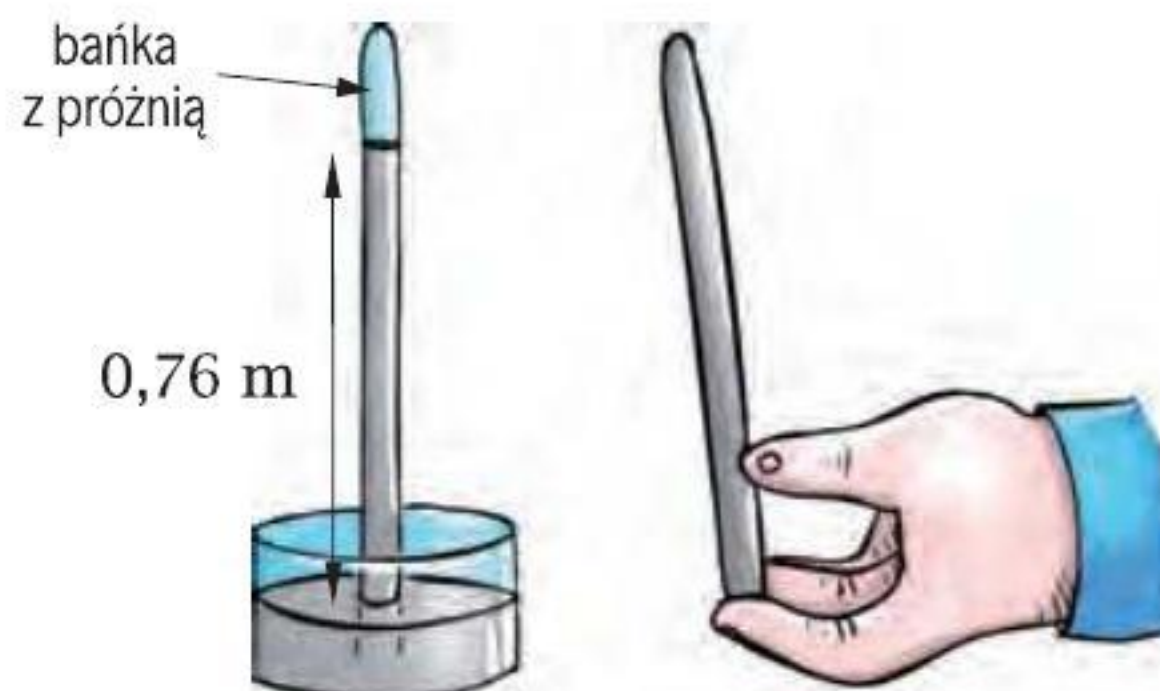
Proste poidło można skonstruować z odwróconej butelki o sztywnych ściankach i miseczki. Gdy poziom wody w miseczce obniży się poniżej otworu butelki, wtedy do butelki dostanie się pęcherzyk powietrza i wypłynie z niej porcja wody. Woda wypływa do miseczki, ponieważ ciśnienie w butelce chwilowo:

- A. się zwiększa
- B. się zmniejsza



### Zadanie 8. Słup rtęci i Torricelli

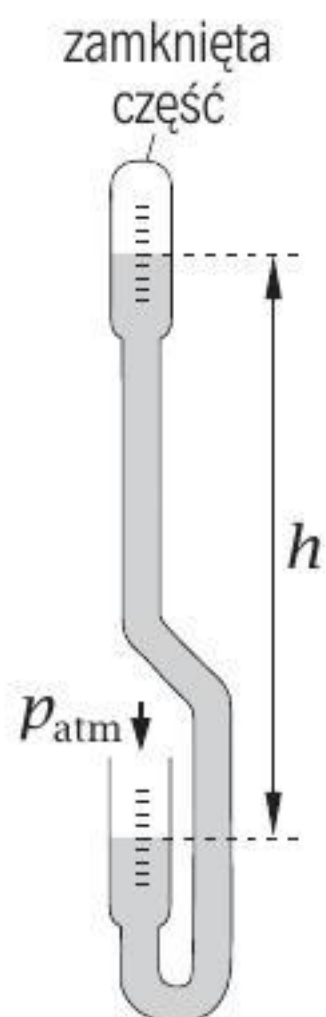
W XVII wieku Evangelista Torricelli (czyt. ewangelista toricelli) wpadł na ciekawy pomysł. Napełnił rtęcią długą rurkę zamkniętą z jednej strony, zatkał palcem wylot, a potem zanurzył ją w otwartym naczyniu także z rtęcią. Słup rtęci w rurce opadł, ale tylko do poziomu około 0,76 m ponad lustro rtęci w naczyniu.



W górnej części rurki powstała bańka z próżnią. Próżnia nie wywiera ciśnienia (nie ma co go wywierać). Zgodnie z prawem naczyń połączonych wysokość słupa rtęci musiała być taka, by zrównoważyć ciśnienie atmosferyczne wypychające rtęć do rurki. Gęstość rtęci to  $13\,500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

- a) Oblicz ciśnienie atmosferyczne w miejscu eksperymentu Torricellego.
- b) Co by się stało, gdyby zamknąć doświadczenie Torricellego szczelnie korkiem i wypompować z niego całe powietrze?

### Zadanie 7. Barometr hydrostatyczny



Barometr hydrostatyczny służy do pomiaru ciśnienia atmosferycznego. W górnej, zamkniętej części powstaje próżnia. Lewe ramię rurki jest otwarte. Rurkę wypełniono rtęcią o gęstości  $13\,500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz różnicę  $h$  poziomów rtęci. Przyjmij  $p_{\text{atm}} = 1013 \text{ hPa}$ .



- Co to znaczy „poziom morza”?
- Czym zastąpiono wieże ciśnień? W jaki sposób obecnie woda jest „pompowana” do naszych kranów?
- Jak spuścić paliwo z baku samochodu tylko za pomocą wężyka?



### Fizyka na wesoło...

Stary wędkarz opowiada młodszym kolegom o swoich legendarnych dokonaniach.  
— A z tego tam jeziora to kiedyś wyciągnąłem takiego suma, że woda w okolicznych studniach obniżyła się o pół metra!



# 16 Prawo Archimiedesa



Czy gumowa kaczka zanurzy się głębiej w słodkiej czy w słonej wodzie?  
Czy zanurzenie kaczki zmieniłoby się na Księżycu? Jaką siłą trzeba działać na kaczkę, by całkowicie ją zanurzyć?

## Eksperymentujemy z pływaniem

Łatwiej jest podnieść kamień, gdy jest zanurzony w wodzie, niż gdy leży na brzegu. Ale przecież masa kamienia nie zmienia się. Co sprawia, że w wodzie wydaje się lżejszy?

### Cel lekcji 8

Poznasz prawo Archimiedesa. Nauczysz się wyznaczać wartość siły wyporu za pomocą siłomierza i na podstawie wzoru.

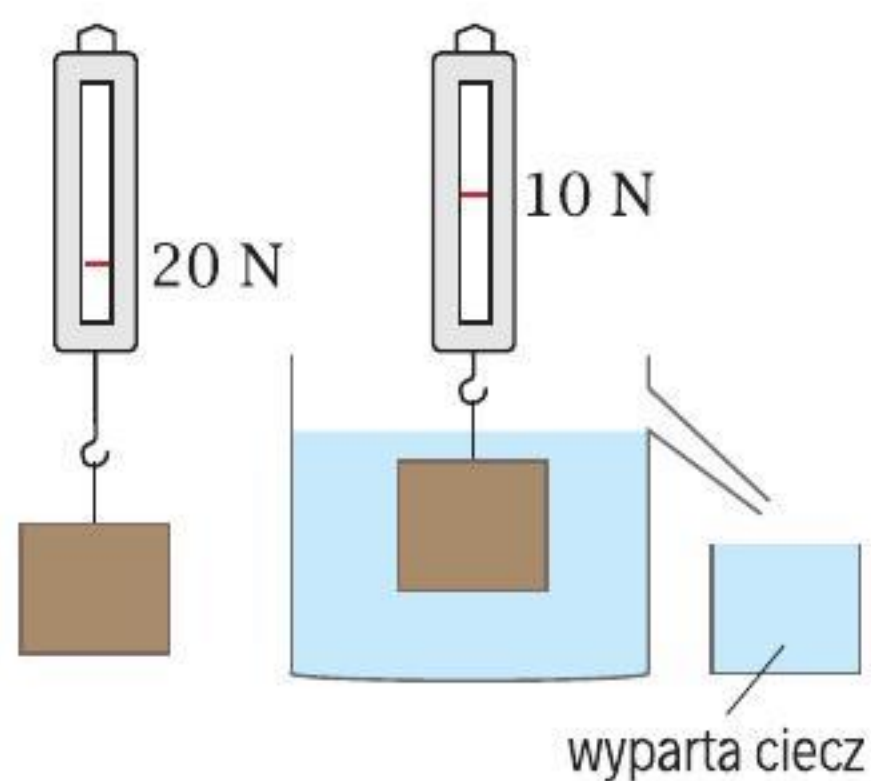
#### Doświadczenie

#### Siła działająca na zanurzone ciała

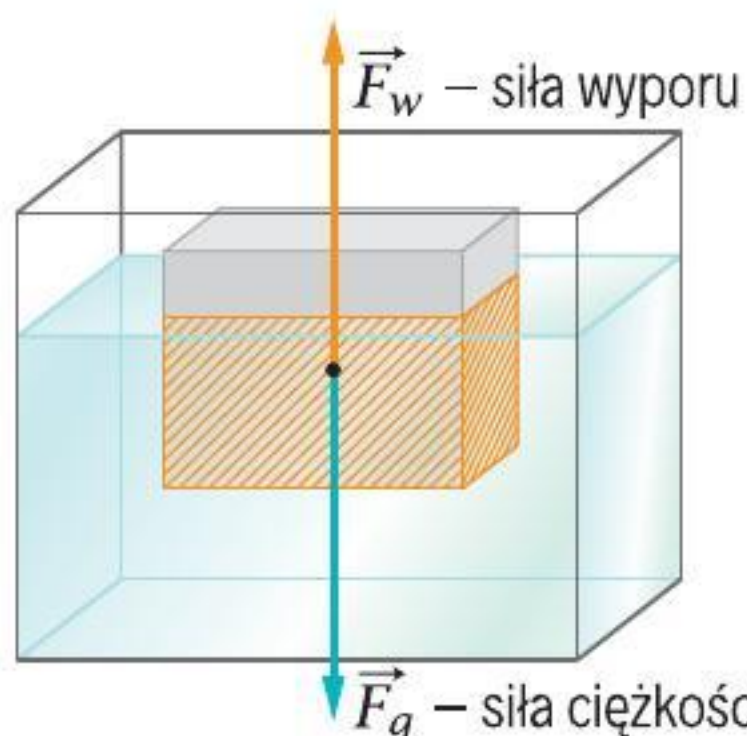
- ① Przygotuj: siłomierz (zakres do 5 N), naczynie z wodą oraz dwa prostopadłościany o takich samych wymiarach, wykonane z różnych metali, np. miedzi i mosiądzu.
- ② Zawieś na siłomierzu najpierw jeden, a potem drugi prostopadłościan i odczytaj wskazania siłomierza.
- ③ Odczytaj wskazania siłomierza, gdy zawieszone na nim prostopadłościany zostaną całkowicie zanurzone w wodzie.
- ④ O jaką wartość zmieniło się wskazanie siłomierza dla pierwszego prostopadłościanu, a o jaką — dla drugiego?

Na ciało zanurzone w cieczy działa ta sama siła ciężkości, co na lądzie. Jednak w cieczy dodatkowa siła, zwana **siłą wyporu** i oznaczana  $\vec{F}_w$ , działa na ciało w górę. Jej wartość jest równa tyle, o ile zmniejszyło się wskazanie siłomierza — siła wyporu działa przeciwnie do siły ciężkości.





Całkowicie zanurzony klocek wypiera tyle wody, ile wynosi jego objętość.



Klocek spoczywa. Siła wyporu i siła ciężkości równoważą się. Objętość zanurzonej części klocka jest taka sama jak objętość wypartego płynu.

Dlaczego w doświadczeniu w wypadku obu prostopadłościaków wskazania siłomierza zmieniły się o tyle samo, gdy prostopadłościaki zostały zanurzone w wodzie? Przyczyną jest ich objętość. To właśnie objętość ciała, która znajduje się pod powierzchnią cieczy wpływa na to, o ile to ciało wydaje się lżejsze. Objętość zanurzonej części ciała jest taka sama jak objętość wypartej cieczy (zob. rys. obok).

Spójrz na kolejny rysunek. Skoro pływający klocek spoczywa, to wypadkowa działających na niego sił wynosi 0 N. Siła wyporu równoważy siłę ciężkości. Siła wyporu musi też równoważyć ciężar wypartej wody, bo gdybyśmy „zagłębienie” w wodzie, które zajmuje klocek, wypełnili wodą, to otrzymalibyśmy poziome lustro wody. Zatem otaczająca „zagłębienie” woda musiałaby równoważyć siłę ciężkości wody wlanej do „zagłębienia”. Otaczająca „zagłębienie” woda działa na to, co w nim jest, taką samą siłą, bez względu na to, czy jest to porcja wody, czy klocek. Wynika z tego prawo, które odkrył **Archimedes** w III wieku p.n.e.

### Prawo Archimedesesa

**Wartość siły wyporu** działającej na zanurzone w płynie (cieczy lub gazie) nieruchome ciało **jest równa ciężarowi płynu** wypieranego przez to ciało. Siła wyporu jest zwrócona przeciwnie do siły ciężkości.

### PRZYKŁAD 1.

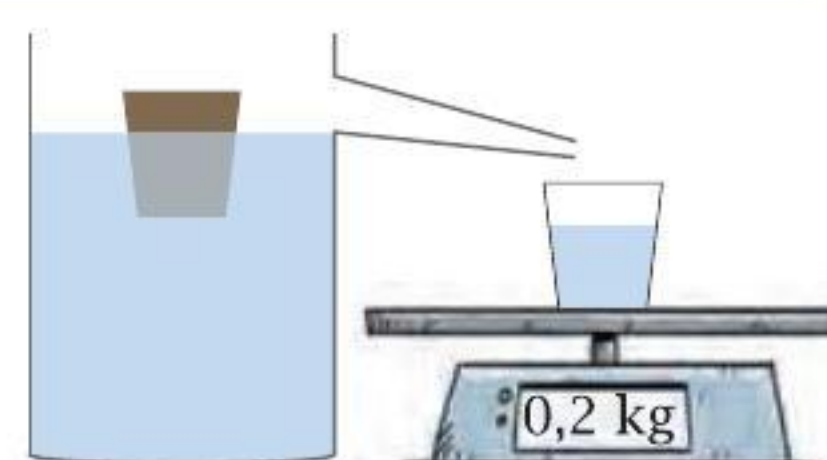
Korzystając z informacji przedstawionych na rysunku, oblicz wartość siły wyporu działającej na pływający klocek. Przyjmij, że przed wrzuceniem klocka woda w naczyniu sięgała do tej samej wysokości.

**Rozwiązanie:** Wyparta woda ma masę 0,2 kg.

Jej ciężar, czyli wartość siły wyporu, to:

$$F_w = F_g = 0,2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 2 \text{ N} \quad \text{■} \quad F_g = m \cdot g, \quad g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \text{ (zob. str. 48)}$$

**Odp.** Siła wyporu działająca na pływający klocek ma wartość 2 N.



**ĆWICZENIE 1.** Akwarium było po brzegi wypełnione wodą o gęstości  $1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ . W akwarium całkowicie zanurzono zawieszony na sznurku kamień o objętości  $3 \text{ dm}^3$ . Oblicz:

- masę wody, która się rozlała,
- wartość siły wyporu działającej na kamień.



## Wartość siły wyporu

Zgodnie z prawem Archimedeasa wartość siły wyporu można obliczyć ze wzoru:

$$\text{siła wyporu} \longrightarrow F_w = V_w \cdot d \cdot g \longleftarrow \text{przyśpieszenie grawitacyjne, na Ziemi ok. } 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

objętość wypartego płynu      gęstość płynu

Objętość wypartego płynu  $V_w$  jest równa objętości zanurzonej części ciała. Prawo Archimedeasa wynika z działania sił parcia wody i dotyczy ciał całkowicie lub częściowo zanurzonych, które nie przylegają do dna lub ścian zbiornika.

### i Dla dociekliwych

$$F_w = F_g$$

$$F_g = m \cdot g$$

$m$  — masa wypartego płynu

$g$  — przyśpieszenie grawitacyjne

$$m = V_w \cdot d$$

$V_w$  — objętość wypartego płynu

$d$  — gęstość płynu

Zatem:

$$F_w = F_g = m \cdot g = \overbrace{V_w \cdot d}^m \cdot g$$

### PRZYKŁAD 2.

Wypełniony sprzętem kajak unosi się na wodzie i wypiera  $0,1 \text{ m}^3$  wody o gęstości  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz wartość siły wyporu działającej na kajak.

**Dane:**

$V_w = 0,1 \text{ m}^3$  — objętość wypartej wody

$d = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  — gęstość wody

**Szukane:**

$F_w = ?$  — siła wyporu działająca na kajak

**Rozwiązanie:**  $F_w = V_w \cdot d \cdot g$        $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

$$F_w = 0,1 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1000 \text{ N}$$

**Odp.** Na kajak działa siła wyporu o wartości 1000 N.

**ĆWICZENIE 2.** Ponton wraz z załogą unosi się w morzu i wypiera  $0,3 \text{ m}^3$  słonej wody o gęstości  $1010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz wartość siły wyporu działającej na ponton.

## Siła wyporu a gęstość cieczy

Sprawdźmy, jaki związek ma gęstość cieczy z siłą wyporu.

### Doświadczenie

### Wskazania siłomierza a gęstość cieczy

- ① Przygotuj: plastelinę, lekki sznurek, siłomierz (zakres do 5 N), naczynia z wodą oraz olejem lub inną cieczą o gęstości różnej od gęstości wody.
- ② Z plasteliny zrób kulę o średnicy około 7 cm. Wciśnij w kulę koniec sznurka.
- ③ Zamocuj kulę na sznurku na siłomierzu. Odczytaj jego wskazania, gdy kula wisi całkowicie zanurzona w wodzie, a potem — w oleju.
- ④ Dla której cieczy wskazanie siłomierza było większe? Jak sądzisz, dlaczego?





Wskazanie siłomierza jest większe, gdy kula jest zanurzona w oleju, a mniejsze — gdy znajduje się w wodzie. Oznacza to, że na kulę zanurzoną w wodzie działa większa siła wyporu.

Przyczyna jest prosta: ciężar wypartej cieczy jest większy, gdy ta ciecz ma większą gęstość. Tym samym siła wyporu działająca na zanurzone ciało ma większą wartość w gęstszej cieczy. Pokazują to zdjęcia przedstawione obok.

Wskazanie siłomierza jest większe, gdy kula jest zanurzona w oleju.  
Siła wyporu działająca na kulę jest wtedy mniejsza.

### PRZYKŁAD 3.

Oblicz siłę wyporu działającą na cegłę o objętości  $2 \text{ dm}^3$  zanurzoną całkowicie:

- a) w wodzie o gęstości  $1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$
- b) w oleju o gęstości  $0,9 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

**Dane:**

$V_w = 2 \text{ dm}^3$  — objętość cegły

$d_w = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$  — gęstość wody

$d_o = 0,9 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$  — gęstość oleju

**Szukane:**

$F_{\text{woda}} = ?$  — siła wyporu działająca na cegłę w wodzie

$F_{\text{olej}} = ?$  — siła wyporu działająca na cegłę w oleju

a) **Rozwiązanie:**  $F_{\text{woda}} = V_w \cdot d_w \cdot g \quad g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

$$F_{\text{woda}} = 2 \text{ dm}^3 \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 20 \text{ N}$$

**Odp.** Siła wyporu działająca na cegłę w wodzie ma wartość 20 N.

b) **Rozwiązanie:**  $F_{\text{olej}} = V_w \cdot d_o \cdot g \quad g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

$$F_{\text{olej}} = 2 \text{ dm}^3 \cdot 0,9 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 18 \text{ N}$$

**Odp.** Siła wyporu działająca na cegłę w oleju ma wartość 18 N.

Przykład potwierdza, że **na ciało zanurzone w gęstszej cieczy działa większa siła wyporu**. Wykonaj ćwiczenie, a dowiesz się, jaka siła wyporu będzie działać na cegłę w jeszcze gęstszej cieczy.

**ĆWICZENIE 3.** Oblicz siłę wyporu działającą na cegłę o objętości  $2 \text{ dm}^3$  zanurzoną całkowicie w glicerynie o gęstości  $1,26 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ .



## Siła wyporu w gazach

Siła wyporu działa w płynach, a więc również w gazach, w szczególności w powietrzu. Balon wypełniony helem lub ciepłym powietrzem unosi się, pływa w powietrzu, bo otaczające powietrze działa na niego siłą wyporu. Zasada i obliczenia są takie same, jakby balon pływał w cieczy. Gęstość wypełnionego gazem balonu jest bliska gęstości powietrza lub od niej mniejsza, więc nie można pominąć wpływu siły wyporu na zachowanie tego ciała w powietrzu. Natomiast w wypadku ciał znacznie gęstszych od powietrza — na przykład ciebie, kota, kamieni, kul z plasteliny — możemy zwykle pominąć siłę wyporu w powietrzu.



### Czas na zadania!

**i** Jeśli nie napisano inaczej, to przyjmij, że woda ma gęstość  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

#### Zadanie 1. Kamienie

W morskiej wodzie zanurzono dwa kamienie. Gdy je puszczono, oba opadły na dno. Spośród poniższych zdań wybierz te, które na pewno są prawdziwe.

- ① Kamienie miały takie same masy.
- ② Kamienie miały takie same objętości.
- ③ Siły wyporu działające na te kamienie miały taką samą wartość.
- ④ Siły wyporu działające na te kamienie były zwrócone w górę.
- ⑤ W słodkiej wodzie na te kamienie działałaby siła wyporu o mniejszej wartości.

#### Zadanie 2. Dwie kulki

W wodzie zanurzono całkowicie dwie kulki o takim samym rozmiarze. Obie opadły na dno. Jedna była wykonana z ołowiu, druga — ze stali. Na którą z tych kulek działała siła wyporu o większej wartości?

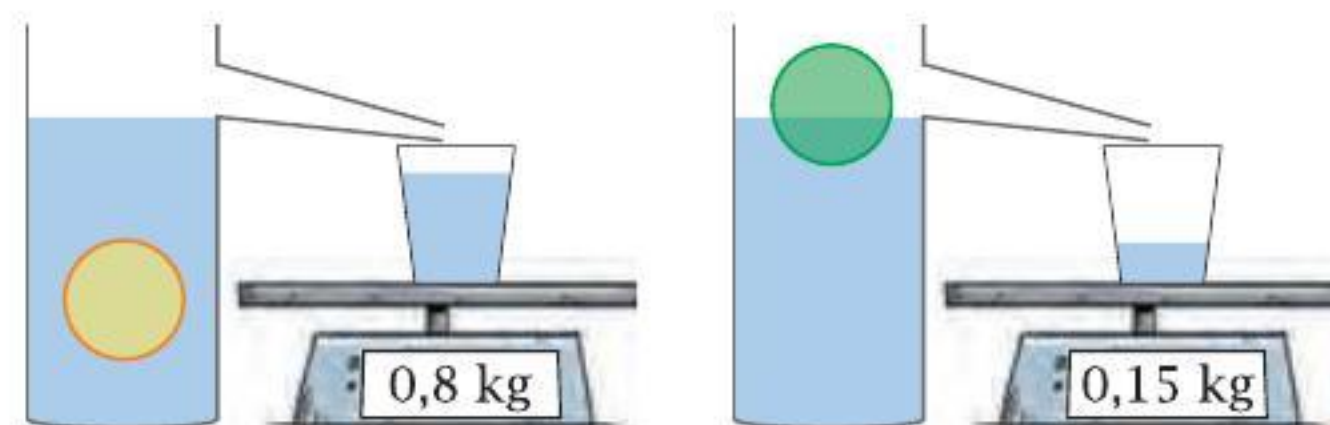
#### Zadanie 3. Dwie figurki

W wodzie zanurzono całkowicie i przytrzymano figurki o identycznym kształcie i rozmiarze, jedną ze stali, a drugą — z drewna.

- a) Która z tych figurek wyparła więcej wody? Odpowiedź uzasadnij.
- b) Na którą z figurek działała siła wyporu o większej wartości? Dlaczego?

#### Zadanie 4. Pływa i tonie

Korzystając z informacji podanych na rysunkach, oblicz wartości sił wyporu działających na ciała. Przyjmij, że przed włożeniem kulek poziom wody w naczyniu był taki sam.



#### Zadanie 5. Kulka

Nieruchoma plastikowa kulka unosi się na wodzie i wypiera 20 ml wody. Oblicz wartość siły wyporu działającej na kulkę.



### Zadanie 6. Piłka

Nieruchoma piłka o ciężarze 10 N unosi się na wodzie.

- Skorzystaj z warunku równowagi sił i wyznacz wartość siły wyporu działającej na piłkę.
- Oblicz masę piłki.
- Skorzystaj z prawa Archimidesa i oblicz masę wody wypartej przez piłkę.

### Zadanie 7. Prom

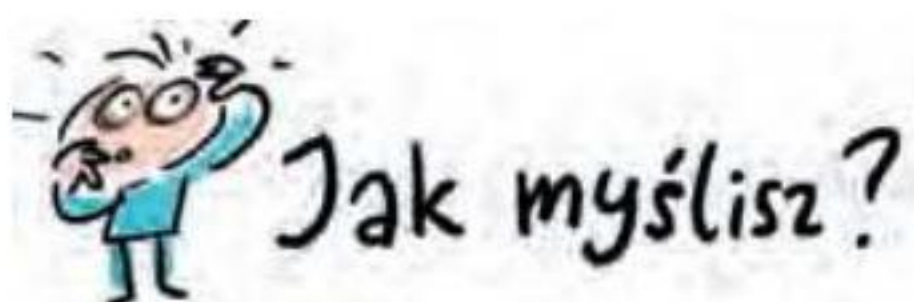
Nieruchomy prom unosi się na wodzie. Masa promu wraz z ładunkiem to 12 000 kg. Masa wypartej przez prom wody jest:

- większa od 12 000 kg
- równa 12 000 kg
- mniejsza od 12 000 kg

### Zadanie 8. Pływająca świeczka

Nieruchoma, pływająca w cylindrze miarowym świeczka wypiera  $0,3 \text{ dm}^3$  wody.

- Oblicz masę wody wypartej przez świeczkę.
- Jaka jest masa świeczki? Odpowiedź uzasadnij.



- Co się stanie ze statkiem, pod którym z oceanicznego dna wydobędzie się dużo pęcherzyków gazu?
- Skoro siła wyporu występuje tylko, gdy jest ciążenie, to jak pływałoby się w wodzie bez ciążenia?
- Dlaczego plastikowa przyssawka nie wypływa po przyciśnięciu jej do ściany lub dna akwarium?
- W jakich urządzeniach domowych wykorzystywana jest siła wyporu?

### Zadanie 9. Waga szalkowa

Na wadze z dwóch stron zawieszono identyczne kule. Jedna z nich wisiała w powietrzu, druga była zanurzona w cieczy. Jedno z ramion wagi znalazło się wyżej, drugie — niżej (zob. rysunek). Wyjaśnij zachowanie wagi.



### Zadanie 10. Cztery ciecze

Kulkę zawieszono za pomocą cienkiej nitki na siłomierzu, a następnie całkowicie ją zanurzano kolejno w: mleku o gęstości  $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , oleju słonecznikowym o gęstości  $920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , etanolu o gęstości  $790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , glicerynie o gęstości  $1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Po zanurzeniu w której z tych cieczy wskazanie siłomierza było największe, a w której — najmniejsze?

### Zadanie 11. Batyskaf

W oceanie, w wodzie o gęstości  $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , na głębokości około 2 km unosi się batyskaf o całkowitej objętości  $30 \text{ m}^3$ . Oblicz wartość działającej na niego siły wyporu.

Batyskaf to podwodny statek do badań głębinowych.





# 17 Pływanie a siła wyporu



Jaką maksymalną masę może mieć przewożony żaglowcem ładunek? Czy może to być masa większa niż masa samego żaglowca?

## Dlaczego niektóre ciała toną?

Kawałek drewna o masie 10 kg unosi się na wodzie. Kamień o tej samej masie tonie. Co powoduje, że te ciała zachowują się różnie? Wykonajmy eksperyment z łódkami, aby się tego dowiedzieć.

### Cel lekcji 8

Dowiesz się, jaki jest związek siły wyporu z pływaniem ciał.

#### Doświadczenie

#### Ciężar i objętość łódki

- ① Przygotuj: folię aluminiową, plastelinę oraz miskę z wodą.
- ② Wykonaj z folii aluminiowej kilka łódek.
- ③ Umieść łódki w wypełnionej wodą misce. Łódki powinny pływać. Jeśli któreś toną, napraw je.
- ④ Do niektórych łódek wkładaj delikatnie małe plastelinowe kulki, aż jedna z łódek zatonie.
- ⑤ Pływające łódki (razem z ładunkiem) po kolei zgnieć i sprawdź, czy nadal pływają.
- ⑥ Podyskutuj o wynikach eksperymentu.
  - Jak zachowują się łódki, gdy obciążamy je ładunkiem? Co z ich zanurzeniem?
  - Dlaczego ten sam kawałek materii w formie łódki pływa, a zgnieciony tonie?
  - Dlaczego łódki bez ładunku, gdy je tylko lekko zgnieść, czasami nadal pływają? Co trzeba zrobić, by zatoneły?

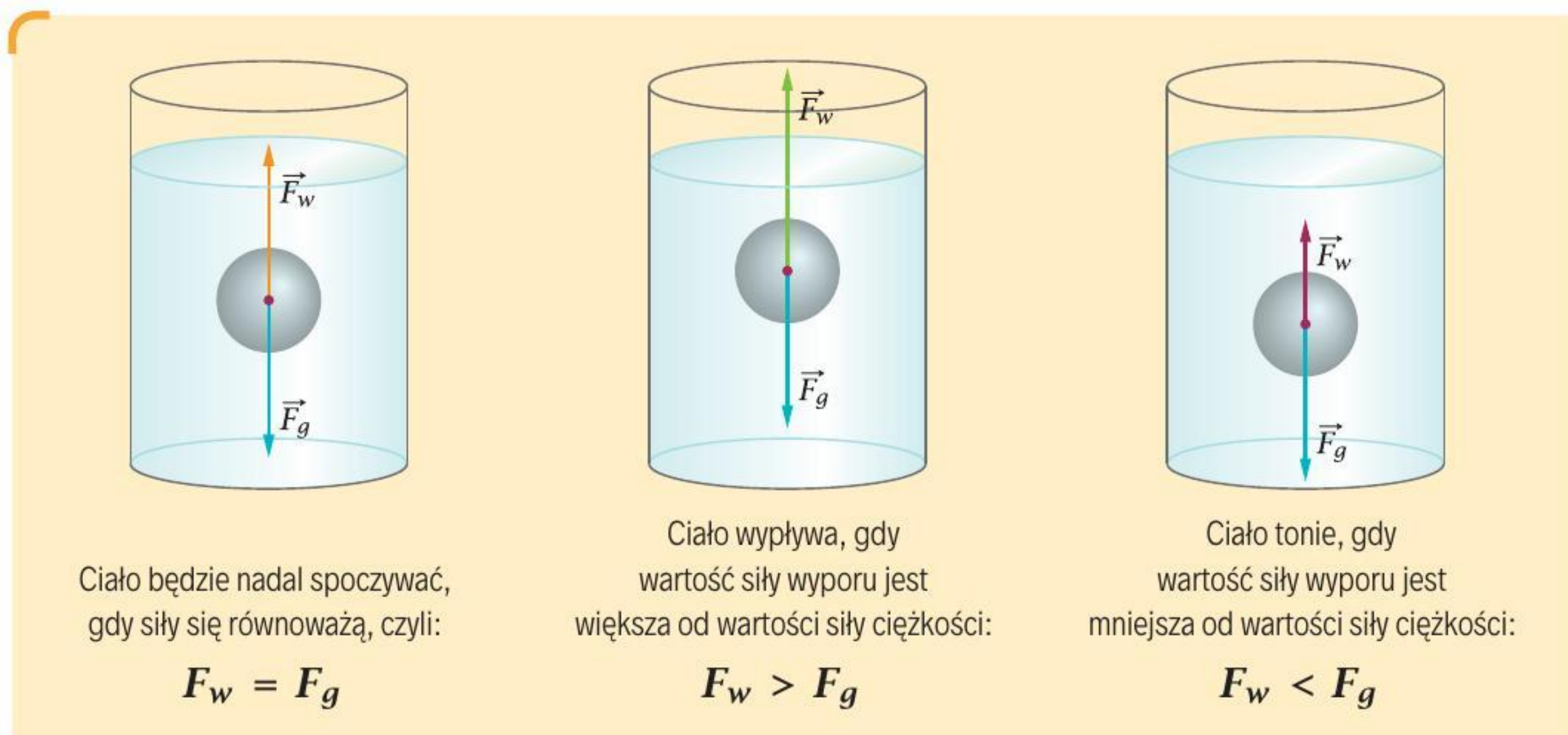
Przykładowa łódka





Dlaczego kawałek folii w formie łódki pływa, a zgnieciony tonie? Masa kawałka folii się nie zmieniła, czyli nie zmieniła się również siła ciężkości, która działa na folię. Co więc uległo zmianie? To siła wyporu. Na łódkę działała większa siła wyporu, niż na zgnieciony kawałek folii. Łódka miała większą objętość, wyparła więcej wody, stąd większa wartość siły wyporu.

Od czego zależy, jak zachowa się początkowo nieruchome ciało zanurzone w cieczy? Wyjaśnią to poniższe schematy.



Na lewym rysunku siła wyporu równoważy siłę ciężkości. Skoro wypadkowa sił wynosi zero, ciało pozostaje w spoczynku. Siła ciężkości i siła wyporu równoważą się również wtedy, gdy ciało pływa tylko częściowo zanurzone w cieczy. Gdy siła wypadkowa działająca na ciało jest zwrócona w górę, wtedy ciało zacznie poruszać się w górę, czyli wypływać (środkowy rysunek). Gdy siła wypadkowa jest zwrócona w dół, ciało zacznie tonąć (ostatni rysunek).

#### PRZYKŁAD 1.

Ustal, która z sił działających na ciało (wyporu czy ciężkości) ma większą wartość w przypadku:

- a) kamienia, który opadł na dno szklanki,
- b) plastikowej nakrętki pływającej na powierzchni wody.

**Odp.** a) Podczas opadania kamienia siła wypadkowa działająca na kamień była zwrócona w dół. Siła ciężkości ma więc większą wartość niż siła wyporu.

b) Siły wyporu i ciężkości równoważą się. Mają takie same wartości.





**ĆWICZENIE 1.** Jabłko całkowicie zanurzone w wodzie i trzymano nieruchomo. Gdy je puszczono, zaczęło poruszać się w górę. Czy wartość siły wyporu była większa od wartości siły ciężkości? Odpowiedź uzasadnij.

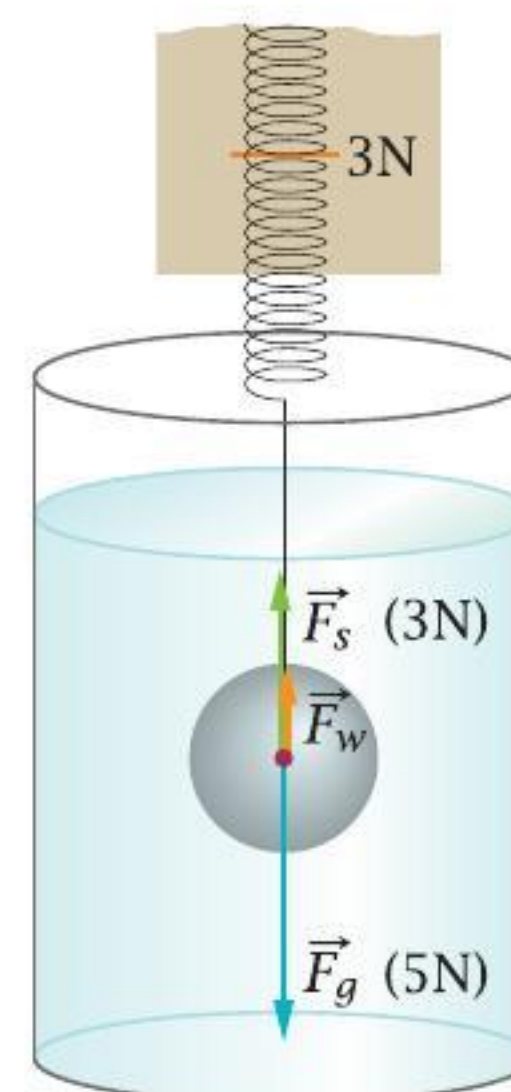
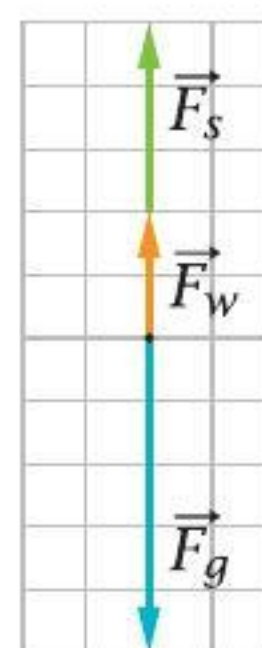
## Równowaga sił

Spójrz na rysunek obok. Siłomierz wskazuje wartość siły  $\vec{F}_s$ , jaką działa on na kulę pionowo w górę (3 N). Na kulę działają ponadto siła ciężkości  $\vec{F}_g$  zwrócona w dół (5 N) oraz siła wyporu  $\vec{F}_w$  zwrócona w górę. Kula nie porusza się, więc działające na nią siły muszą się równoważyć.

Siła  $\vec{F}_w$  musi mieć wartość 2 N i być zwrócona w górę. Zatem wartości sił spełniają równanie:

$$F_g = F_s + F_w$$

Jeśli narysujemy  $\vec{F}_w$  i  $\vec{F}_s$  jako strzałki (wektory) ustawione jedna nad drugą, to ich łączna długość musi być równa długości  $\vec{F}_g$ .



Kula zawieszona na siłomierzu w powietrzu działa na niego siłą 5 N. Ta sama kula zawieszona w wodzie działa na siłomierz siłą 3 N.

## Pomiar ciężaru w powietrzu

Powietrze to płyn, zatem i tu na ciało działa siła wyporu. Jeśli gęstość ciała jest znacznie większa od gęstości powietrza, to wartość siły wyporu  $F_w$  jest znacznie mniejsza od ciężaru ciała  $F_g$ . Wtedy siłomierz z dobrym przybliżeniem wskazuje ciężar ciała  $F_g = F_s$ .

### PRZYKŁAD 2.

Siłomierz wskazywał 2 N, gdy zawieszona na nim kula znajdowała się w powietrzu. Po zanurzeniu całej kuli w wodzie wskazanie siłomierza zmniejszyło się do 1 N. Oblicz wartość siły wyporu działającej na kulę w wodzie.

**Dane:**

$F_g = 2 \text{ N}$  — ciężar kuli

$F_s = 1 \text{ N}$  — wskazanie siłomierza w wodzie

**Szukane:**

$F_w = ?$  — wartość siły wyporu

**Rozwiązanie:**  $F_g = F_s + F_w$        $F_w = F_g - F_s$        $F_w = 2 \text{ N} - 1 \text{ N} = 1 \text{ N}$

**Odp.** Siła wyporu działająca na kulę w wodzie ma wartość 1 N.

**ĆWICZENIE 2.** Szklana kula ma ciężar 25 N. Po zawieszeniu kuli na siłomierzu i zanurzeniu jej całkowicie w oleju siłomierz pokazuje 16 N. Oblicz wartość siły wyporu działającej na kulę w oleju.



**i** Jeśli należy uwzględnić siłę wyporu w powietrzu, będzie to wyraźnie napisane.

### Zadanie 1. Butelka

Nieruchoma, zakręcona butelka unosi się w wodzie. Wartość siły ciężkości działającej na butelkę to 10 N. Wartość siły wyporu działającej na butelkę jest:

- A. większa niż 10 N
- B. równa 10 N
- C. mniejsza niż 10 N

### Zadanie 2. Pudełko

Szczelne pudełko zanurzone całkowicie w wodzie i trzymano nieruchomo. Pudełko ma masę 1 kg i w wodzie działa na nie siła wyporu o wartości 20 N. Jak zachowa się pudełko, gdy zostanie puszczane? Odpowiedź uzasadnij.

### Zadanie 3. Piłka

Nieruchoma piłka do siatkówki o masie 250 g pływa w jeziorze częściowo wynurzona. Oblicz wartość siły wyporu działającej na piłkę.

### Zadanie 4. Kostka

Sześcienną kostkę zawieszono za pomocą cienkiej nitki na siłomierzu. Siłomierz wskazywał 2,0 N, gdy kostka wisiała w powietrzu, a 1,5 N — gdy zanurzono ją w wodzie. Oblicz wartość siły wyporu działającej na kostkę w wodzie.

### Zadanie 5. Barka

Barka o masie 10 000 kg unosi się w jeziorniej wodzie o gęstości  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz objętość wody, którą wypiera barka.

### Zadanie 6. Stalowy sześcián

Stalowy sześcián o krawędzi długości 0,1 m zawieszono na siłomierzu za pomocą cienkiej żyłki. Gęstość sześciánu to  $7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz wskazanie siłomierza:

- a) gdy sześcián wisiał w powietrzu,
- b) gdy sześcián zanurzono całkowicie w glikolu o gęstości  $1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

### Zadanie 7. Balonik

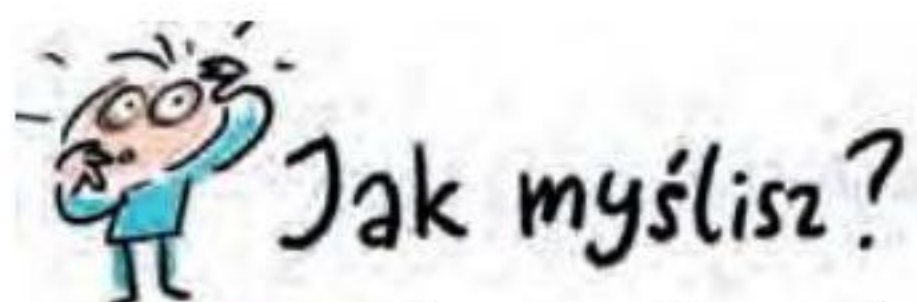
Pod sufitem unosi się balonik wypełniony helem. Balonik ma objętość równą 2 l. Oblicz wartość siły wyporu działającej na balonik w powietrzu o gęstości  $1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

### Zadanie 8. Plastelinowa kula

Plastelinowa kula ma gęstość  $2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz, ile razy jej ciężar jest większy od wartości siły wyporu działającej na nią w powietrzu o gęstości  $1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

### Zadanie 9. Podwodna boja

Kulista boja o masie 2 kg i objętości 10 l pływa całkowicie zanurzona w wodzie. Boja nie porusza się, jest przyczepiona do dna jeziora lekką linką. Oblicz wartość siły, jaką działa na boję linka.



- W jaki sposób statki i okręty (w tym podwodne) mogą regulować swoje zanurzenie?
- Czym jest wyporność, a czym — nośność statku?
- Jak zmierzyć siłę wyporu działającą na statek, skoro nie da się użyć siłomierza?
- Czy stalowa kula tonie w rtęci?



# 18 Pływanie a gęstość



Łódź podwodna potrafi unosić się na powierzchni oceanu, jak i leżeć na jego dnie. W jaki sposób łódź reguluje swoje zanurzenie? Czy zmienia swój ciężar?

## Co pływa, a co tonie?

Przyjrzyjmy się bliżej gęstościom cieczy i zachowaniu zanurzonych w nich ciał. Przeprowadź doświadczenie z jajkiem i wodą.

### Cel lekcji 8

Dowiesz się, od czego zależy, czy ciało tonie, czy pływa oraz poznasz kolejny sposób wyznaczania gęstości cieczy.

#### Doświadczenie

#### Gęstość cieczy a zachowanie jajka

- ① Przygotuj: surowe jajko, wysoką szklankę, wodę oraz 3 łyżeczki soli.
- ② Do szklanki nalej wody i umieść w niej jajko. Czy jajko tonie, czy pływa?
- ③ Nie wyjmując jajka z wody, dosyp do niej soli i rozpuść ją. Jak zachowuje się jajko?
- ④ Spróbuj wyjaśnić zachowanie jajka. Czy gęstość jajka zmieniła się w trakcie doświadczenia? Czy zmieniła się gęstość cieczy?



W trakcie doświadczenia zmieniła się gęstość cieczy (na skutek dosypania soli). Gęstość jajka jest większa niż gęstość czystej wody, ale mniejsza niż gęstość słonej wody. Porównując gęstość ciała z gęstością cieczy, możemy przewidzieć zachowanie tego ciała po zanurzeniu w cieczy. Jeżeli ciało całkowicie zanurzone w płynie pozostaje



### **i** Dla dociekliwych

Siły działające na nieruchome ciało równoważą się:  $F_w = F_g$ .

$V_w$  — objętość wypartego płynu

$V_o$  — objętość ciała

$m_o$  — masa ciała

$$V_w \cdot d \cdot g = m_o \cdot g \quad | : g$$

$$V_w \cdot d = m_o$$

$$V_w \cdot d = V_o \cdot d_o$$

Gdy ciało jest całkowicie zanurzone, to  $V_w = V_o$ .

Stąd:

$$V_o \cdot d = V_o \cdot d_o \quad | : V_o$$

$$d = d_o$$

### **i** Dla dociekliwych

$$V_w \cdot d = V_o \cdot d_o \quad | : V_o$$

$$\frac{V_w}{V_o} \cdot d = d_o \quad | : d$$

$$\frac{V_w}{V_o} = \frac{d_o}{d}$$

nieruchome, to siła ciężkości i siła wyporu równoważą się. Z tego wynika, że gęstości płynu i ciała są takie same.

Nieruchome ciało o gęstości  $d_o$  zanurzone całkowicie w płynie o gęstości  $d$ :

- pozostanie w spoczynku, gdy  $d_o = d$
- zacznie wypływać, gdy  $d_o < d$
- zacznie tonąć, gdy  $d_o > d$

Już wiesz, dlaczego „toniesz” w oceanie powietrza, czyli ziemskiej atmosferze, ale możesz unosić się w wodzie. Obserwacja zachowania ciała zanurzonego w płynie pozwala porównać gęstość ciała z gęstością płynu.

## Częściowo zanurzone nieruchome ciało

Rozpatrzmy sytuację, w której pływające ciało jest częściowo zanurzone w cieczy. Znając gęstość  $d_o$  tego ciała oraz gęstość  $d$  cieczy, można obliczyć, jaka część ciała jest zanurzona, a jaka — wystaje ponad powierzchnię cieczy.

Jeśli ciało się nie porusza, to siły działające na nie równoważą się:  $F_w = F_g$ , czyli  $V_w \cdot d = V_o \cdot d_o$ . Stąd:

$$\frac{V_w}{V_o} = \frac{d_o}{d}$$

Z tej równości wynika, że aby ustalić, jaka część ciała jest zanurzona w cieczy, wystarczy obliczyć iloraz gęstości tego ciała przez gęstość cieczy.

### PRZYKŁAD 1.

Korek pływa w naczyniu z wodą o gęstości  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Gęstość korka to  $350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz, jaka część korka znajduje się poniżej poziomu wody. Wynik wyraż w procentach.

**Dane:**

$d_o = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  — gęstość korka

$d = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  — gęstość wody

**Szukane:**

$\frac{d_o}{d} = ?$  — zanurzona część korka



**Rozwiązanie:** 
$$\frac{d_o}{d} = \frac{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \frac{35}{100} = 0,35 = 35\%$$

**Odp.** Poniżej poziomu wody znajduje się 35% korka.



**ĆWICZENIE 1.** Kawałek styropianu o gęstości  $30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  pływa w wodzie o gęstości  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz, jaka część tego kawałka znajduje się poniżej poziomu wody.

## Wyznaczanie gęstości cieczy

Skoro siła wyporu zależy od gęstości cieczy  $d$ , w której jest zanurzone ciało, to można wykorzystać ten fakt do wyznaczania gęstości cieczy. Po przekształceniu wzoru opisującego wartość siły wyporu:

$$F_w = V_w \cdot d \cdot g$$

można otrzymać wzór na gęstość cieczy:

$$d = \frac{F_w}{V_w \cdot g}$$

Wartość siły wyporu  $F_w$  można wyznaczyć na pomocą siłomierza. Znamy wartość przyspieszenia grawitacyjnego  $g$ . Należy jeszcze zmierzyć objętość wypartej cieczy  $V_w$ . Jeśli ciało jest całkowicie zanurzone, to  $V_w$  jest równe objętości tego ciała. A tę objętość można zmierzyć za pomocą cylindra miarowego.

**i Dla dociekliwych**

$$F_w = V_w \cdot d \cdot g \quad | : V_w$$

$$\frac{F_w}{V_w} = d \cdot g$$

$$d \cdot g = \frac{F_w}{V_w} \quad | : g$$

$$d = \frac{F_w}{V_w \cdot g}$$

### PRZYKŁAD 2.

Siłomierz wskazywał 2,0 N, gdy zawieszona na nim kulka wisiała w powietrzu. Po zanurzeniu całej kulki w cieczy wskazanie siłomierza wynosiło 1,1 N. Objętość kulki zmierzona w cylindrze miarowym to 100 ml. Oblicz gęstość cieczy.

**Dane:**  $F_g = 2,0 \text{ N}$  — ciężar kulki

$F_s = 1,1 \text{ N}$  — wskazanie siłomierza, gdy kulka jest w cieczy

$V_o = 100 \text{ ml}$  — objętość kulki

**Szukane:**  $d = ?$  — gęstość cieczy

**Rozwiązanie:**

Wartość siły wyporu działającej na kulkę w cieczy:  $F_w = 2,0 \text{ N} - 1,1 \text{ N} = 0,9 \text{ N}$

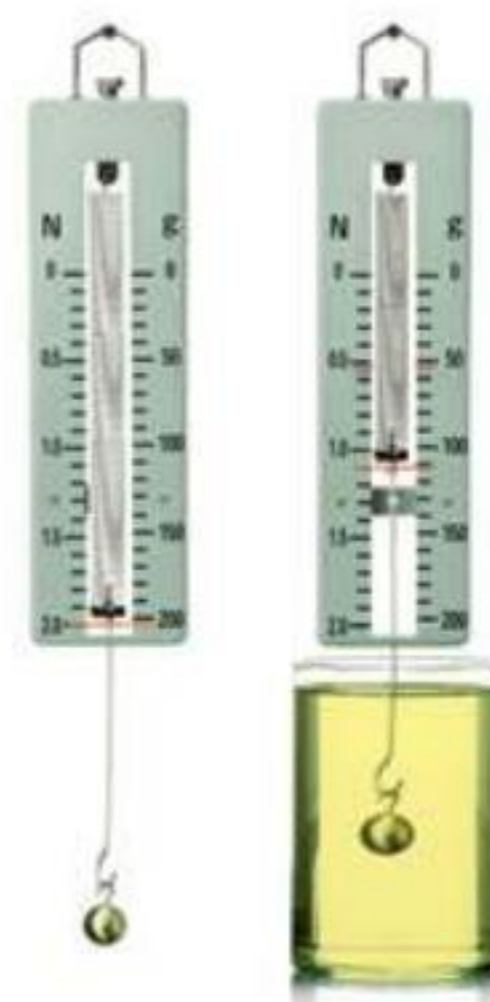
Objętość kulki:  $V_o = 100 \text{ ml} = 100 \text{ cm}^3 = \frac{1}{10\,000} \text{ m}^3$

Jest to jednocześnie objętość wypartej przez kulkę cieczy, czyli:  $V_w = \frac{1}{10\,000} \text{ m}^3$

Gęstość cieczy:

$$d = \frac{F_w}{V_w \cdot g} \quad d = \frac{0,9 \text{ N}}{\frac{1}{10\,000} \text{ m}^3 \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = \frac{0,9 \cdot 10\,000}{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 900 \cdot \frac{\cancel{\text{N}} \cdot \text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \cancel{\text{N}}} = 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Odp.** Ciecz ma gęstość  $900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .





**ĆWICZENIE 2.** Siłomierz wskazywał 25,0 N, gdy zawieszona na nim szklana kula o objętości  $\frac{1}{1000} \text{ m}^3$  wisiała w powietrzu. Po zanurzeniu całej kuli w benzynie wskazanie siłomierza wynosiło 17,5 N. Oblicz gęstość benzyny.

### Doświadczenie

### Wyznaczanie gęstości cieczy

- ① Przygotuj: cylinder miarowy, ciecz, siłomierz oraz dowolny przedmiot, który da się zanurzyć w cylindrze, np. plastelinową kulę. Przerysuj tabelę do zeszytu.
- ② Wykonaj pomiary i obliczenia według poniższego planu. Zapisz wyniki w tabeli.
- ③ Do cylindra miarowego nalej ciecz i zmierz objętość  $V_o$  przedmiotu.
- ④ Ustal wskazania siłomierza dla ciała w powietrzu i w cieczy oraz oblicz wartość siły wyporu.
- ⑤ Oblicz gęstość cieczy.

| Wielkość                                        | Jednostka                      | Wynik pomiaru / obliczeń |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| $V_o$ , objętość ciała                          | ml                             |                          |
| $V_w = V_o$ , przeliczenie z ml na $\text{m}^3$ | $\text{m}^3$                   |                          |
| $F_g$ , wskazanie siłomierza; ciało w powietrzu | N                              |                          |
| $F_s$ , wskazanie siłomierza; ciało w cieczy    | N                              |                          |
| $F_w = F_g - F_s$ , siła wyporu                 | N                              |                          |
| $d = \frac{F_w}{V_w \cdot g}$ , gęstość cieczy  | $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ |                          |



### Czas na zadania!

#### Zadanie 1. Pieniek

Częściowo wynurzony pieniek unosi się w słonej wodzie o gęstości  $1010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , nie porusza się. Wybierz prawdziwą informację dotyczącą gęstości  $d_o$  pienka:

- A.  $d_o > 1010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- B.  $d_o < 1010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- C.  $d_o = 1010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- D. Nie można stwierdzić, jaka jest gęstość pienka w porównaniu do gęstości wody.

#### Zadanie 2. Piłeczka

Pełna, gumowa piłeczka tonie w słonej wodzie ( $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) oraz w oleju ( $920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ). Piłeczka unosi się częściowo wynurzona w mleku ( $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) oraz w cukrowym syropie ( $1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ). Uzupełnij zdanie, wstawiając wielkości tak, by jak najprecyzyjniej określić gęstość gumy.

Gęstość gumy, z której wykonano piłeczkę, jest większa od ... i mniejsza od ...



### Zadanie 3. *Czubek góry lodowej*

Istnieje powiedzenie: *To tylko czubek góry lodowej!* Przeważnie znaczy to, że zauważono tylko małą część jakiegoś problemu. Na przykład: *Nie mogłem znaleźć długopisu, ale to był tylko czubek góry lodowej, bo później okazało się, że zgubiłem cały plecak.*

Przyjmij, że gęstość oceanicznej wody, w której pływa góra lodowa, to  $1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  oraz że gęstość lodu to  $917 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz, jaka część objętości góry lodowej znajduje się poniżej poziomu wody.

### Zadanie 4. *Bal*

Drewniany bal unosi się w oceanie. Nad poziomem wody znajduje się  $\frac{1}{3}$  objętości całego bala. Oblicz, ile razy gęstość wody w oceanie jest większa od gęstości bala.

### Zadanie 5. *Słone jezioro*

Jeden kilogram wody z Morza Martwego zawiera około 300 g soli. Gęstość tak słonej wody to około  $1,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Oblicz, jaka część unoszącego się w tym morzu człowieka o średniej gęstości  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  wystawałaby ponad poziom wody.

### Zadanie 6. *Lipowa kula*

W cieczy unosi się kula wykonana z drewna lipowego. Kula jest do połowy zanurzona. Gęstość kuli to  $450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Oblicz gęstość cieczy.

### Zadanie 7. *Nieznana gęstość*

Na podstawie pomiarów siłomierzem stwierdzono, że na kulkę o objętości  $100 \text{ cm}^3$  całkowicie zanurzoną w nieznanej cieczy działa siła wyporu o wartości 1,1 N. Oblicz gęstość tej cieczy.

### Zadanie 8. *Zmiany po zanurzeniu*

Na siłomierzu zawieszono owalny kamień, a do cylindra miarowego nalano ciecz. Zanotowano wskazania siłomierza oraz cylindra miarowego. Po całkowitym zanurzeniu kamienia w cieczy okazało się, że wskazanie siłomierza zmniejszyło się o 0,6 N, a poziom cieczy wskazywał o 60 ml więcej. Oblicz gęstość cieczy.



## Jak myślisz?

- Do pomiaru gęstości cieczy używa się areometru. Co to jest i jak działa?
- Czy pieniek unosi się na wodzie bardziej dzięki sile wyporu czy napięciu powierzchniowemu? Jak to sprawdzić eksperymentalnie?
- Czy ptaki unoszą się w powietrzu dzięki sile wyporu?
- Bazyliszek płatkogłowy potrafi biec po wodzie, ale tonie, gdy się zatrzymuje. Jak to wytłumaczyć?



## Fizyka na wesoło...

- Jakim stylem potrafisz pływać?
- Na razie bardzo prostym. Trener nazywa go „kamień w wodę”.



## CZĘŚĆ 1. Zestawienie wiadomości

1

**Ciśnienie** ( $p$ ) jest równe ilorazowi wartości siły nacisku (siły parcia)  $F$  i pola powierzchni  $S$ , na którą ten nacisk (parcie) jest wywierany, czyli  $p = \frac{F}{S}$ . Jednostką ciśnienia jest **paskal** (Pa),  $1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$ .

2

Powietrze otaczające Ziemię wywiera **ciśnienie atmosferyczne** ( $p_{\text{atm}}$ ) na wszystkie ciała w nim „zanurzone”. Ciśnienie atmosferyczne zmniejsza się wraz z wysokością, ale do 500 m nad poziomem morza wynosi około **100 000 Pa**, czyli 1000 hPa.

5

### Parcie cieczy na dno naczynia

Siła parcia cieczy na dno naczynia zależy od wysokości słupa cieczy, pola powierzchni dna naczynia i gęstości cieczy.



W przedstawionych naczyniach parcie wody na dno ma taką samą wartość, pomimo różnego ciężaru i objętości porcji wody.

4

### Ciśnienie hydrostatyczne ( $p_h$ )

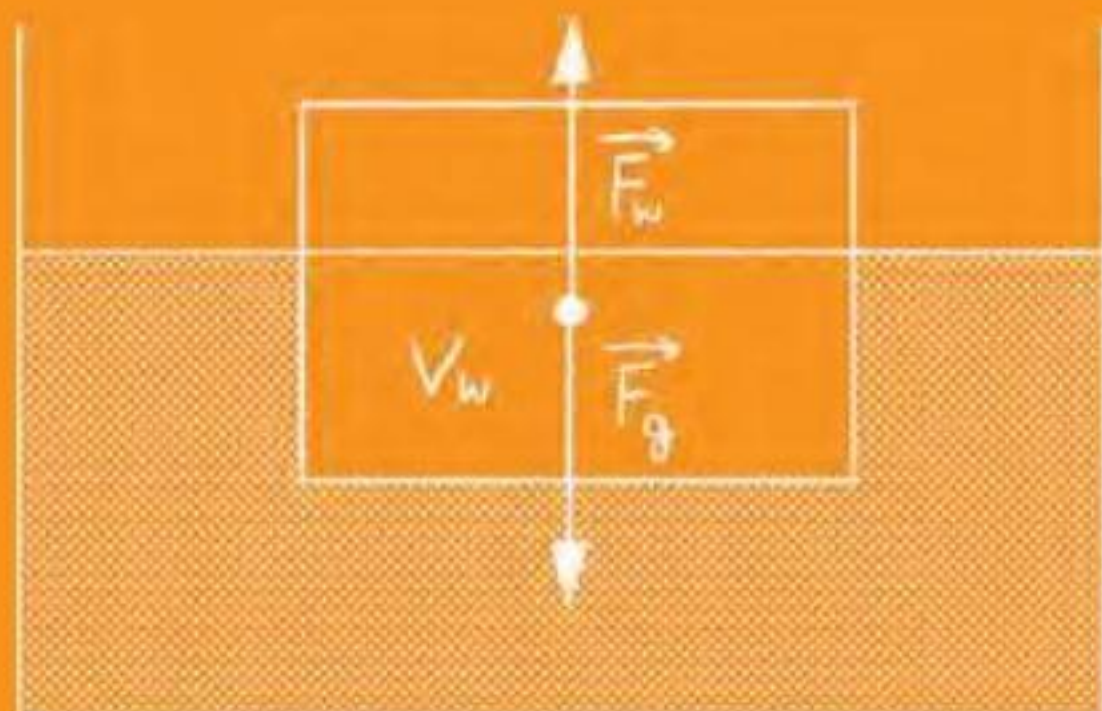
na głębokości  $h$  w cieczy o gęstości  $d$  obliczamy ze wzoru:  $p_h = d \cdot g \cdot h$ , gdzie  $g$  to przyspieszenie grawitacyjne.

7

### Prawo Archimedesesa

Wartość siły wyporu działającej na zanurzone w płynie (cieczy lub gazie) nieruchome ciało jest równa ciężarowi płynu wypieranego przez ciało. Siła wyporu jest zwrócona przeciwnie do siły ciężkości.

Wartość siły wyporu obliczamy ze wzoru:  $F_w = V_w \cdot d \cdot g$ , gdzie  $V_w$  to objętość wypartego płynu,  $d$  – gęstość płynu,  $g$  – przyspieszenie grawitacyjne.

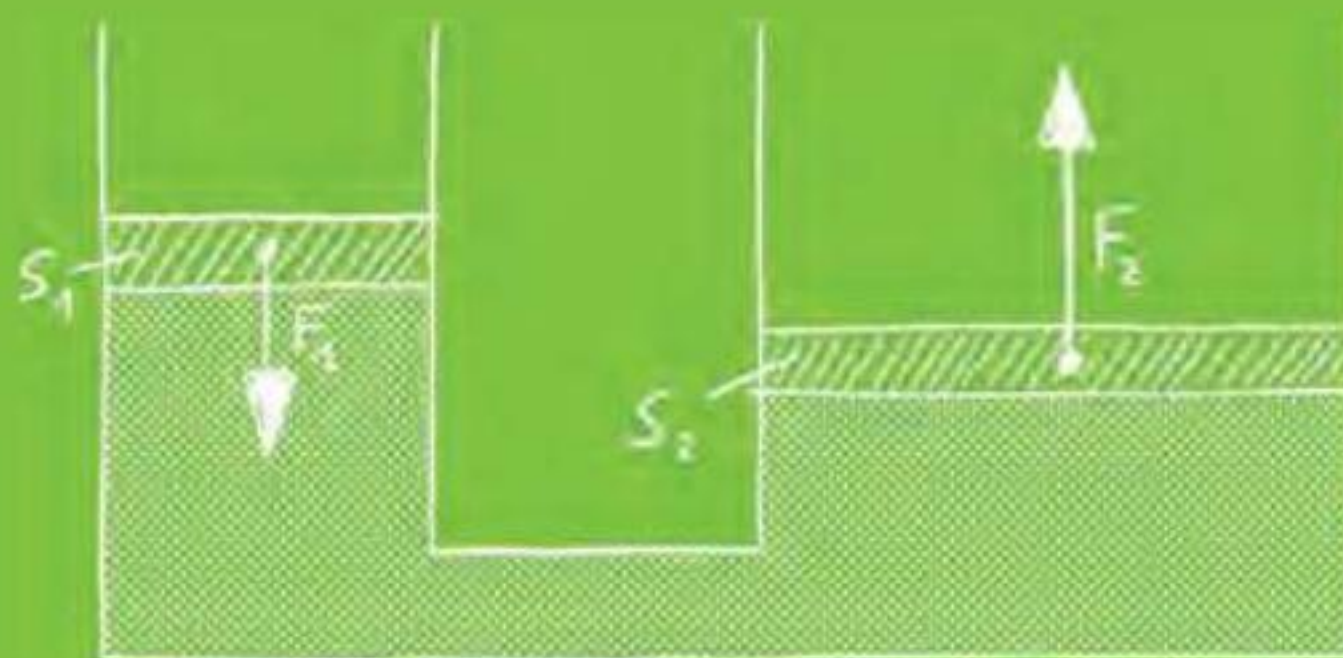




## Prawo Pascala

Zmiana ciśnienia zewnętrznego powoduje jednakową zmianę ciśnienia w całej objętości płynu (cieczy lub gazu).

Urządzeniami wykorzystującymi prawo Pascala są prasa hydrauliczna i podnośnik hydrauliczny.



$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

3

6\*

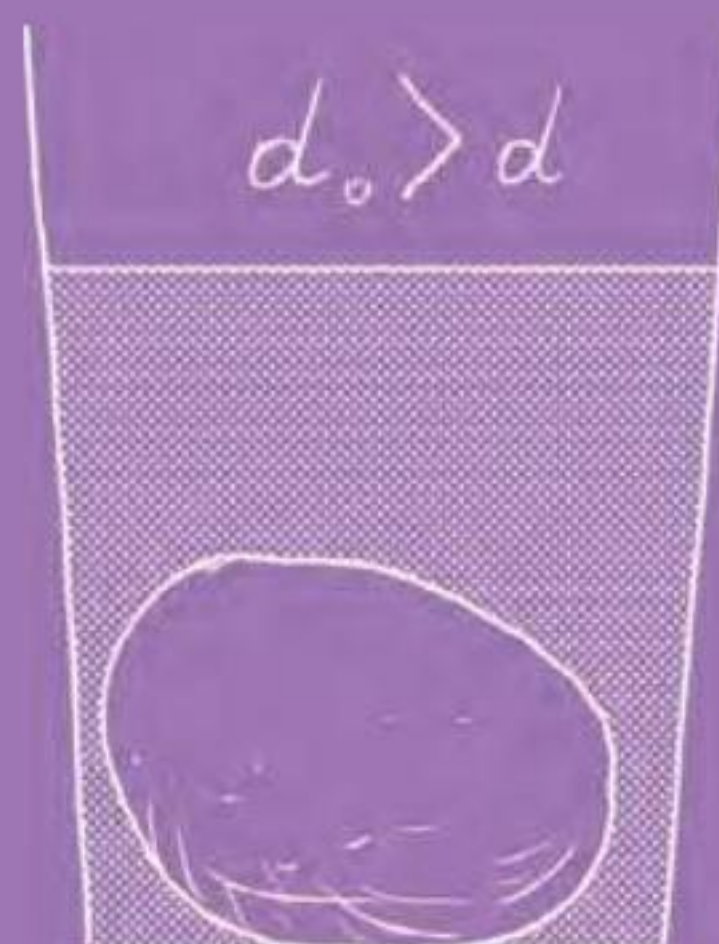


W otwartych **naczyniach połączonych** ciecz przepływa w taki sposób, że jej poziom ustala się na takiej samej wysokości w każdym z naczyń.

8

Nieruchome ciało o gęstości  $d_0$  po całkowitym zanurzeniu w płynie o gęstości  $d$ :

- pozostanie w spoczynku, jeśli  $d_0 = d$  (gęstość ciała jest taka sama, jak gęstość płynu),
- wypływa, jeśli  $d_0 < d$  (gęstość ciała jest mniejsza od gęstości płynu),
- tonie, jeśli  $d_0 > d$  (gęstość ciała jest większa od gęstości płynu).





## CZĘŚĆ 2. Sprawdź, czy wiesz

1. Podaj definicję ciśnienia.
2. W jakich jednostkach podajemy wartość ciśnienia?
3. Jaka jest przybliżona wartość ciśnienia atmosferycznego przy powierzchni Ziemi?
4. Wyjaśnij, jak zmienia się wartość ciśnienia atmosferycznego wraz z wysokością.
5. Czego dotyczy prawo Pascala? Podaj jego treść.
6. W jakim urządzeniu wykorzystuje się prawo Pascala? Opisz budowę i zasadę działania tego urządzenia.
7. Od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne? Podaj odpowiedni wzór.
8. Od czego zależy wartość siły parcia cieczy na dno naczynia?
- \*9. Wyjaśnij, na czym polega paradoks hydrostatyczny.
- \*10. Podaj trzy przykłady zastosowania naczyń połączonych.
11. Czego dotyczy prawo Archimedesesa? Podaj jego treść.
12. Od czego zależy wartość siły wyporu? Podaj i objaśnij odpowiedni wzór.
13. Opisz, w jaki sposób można zmierzyć wartość siły wyporu działającej na ciało zanurzone w cieczy.
14. W jaki sposób można wyznaczyć gęstość cieczy, znając wartość siły wyporu?
15. Wyjaśnij, kiedy ciało całkowicie zanurzone w cieczy pozostaje w spoczynku.
16. Opisz, jak się zachowa ciało zanurzone w cieczy, jeśli jego gęstość będzie większa od gęstości cieczy.
17. Wyjaśnij, dlaczego ciało, którego gęstość jest mniejsza od gęstości cieczy, wypływa na powierzchnię.
18. Przedstaw na rysunku siły działające na ciało, które pływa całkowicie zanurzone w cieczy.



## CZĘŚĆ 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka

**i** Przyjmij, że: przyspieszenie grawitacyjne przy powierzchni Ziemi  $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ , gęstość wody  $d = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , ciśnienie atmosferyczne  $p_{\text{atm}} = 100\,000 \text{ Pa}$ . W razie potrzeby skorzystaj z tablic znajdujących się na końcu podręcznika.

**Zadanie 1.** Uzupełnij zdanie.

*Jeżeli ciśnienie ma wartość 1000 Pa, to znaczy, że na 1 m<sup>2</sup> powierzchni działa siła nacisku o wartości ...*

**Zadanie 2.** Stół o masie 40 kg stoi na czterech nogach. Spód każdej z nóg stołu jest kwadratem o boku długości 5 cm i dotyka całą powierzchnią podłogi.

**a)** Uzupełnij zdania.

*Stół naciska na podłogę siłą o wartości ... Ciśnienie wywierane przez stół na podłogę wynosi ...*

**b)** Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

*Po odwróceniu stołu do góry nogami i położeniu go blatem na podłodze siła nacisku zmaleje/wzrośnie/nie zmieni się, a ciśnienie zmaleje/wzrośnie/nie zmieni się.*

\* Gwiazdką oznaczono polecenia i treści spoza podstawy programowej.



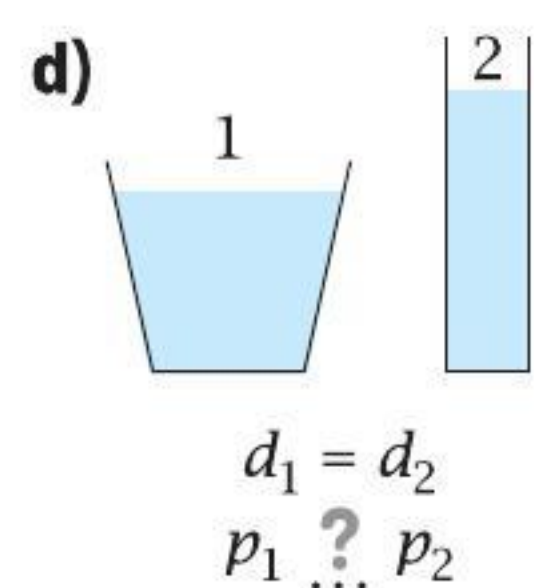
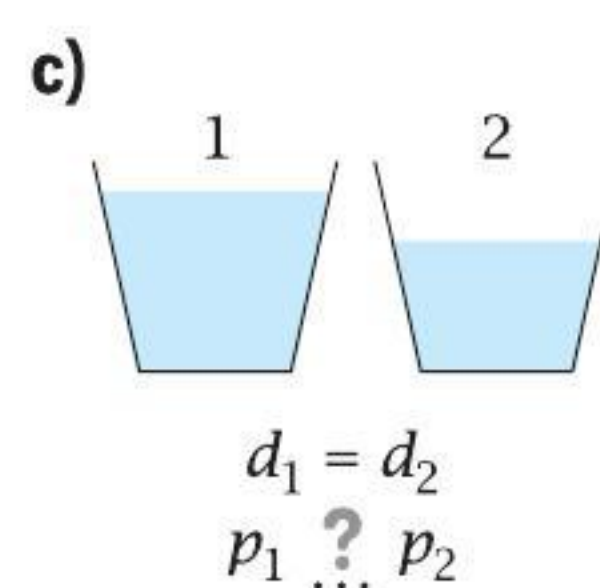
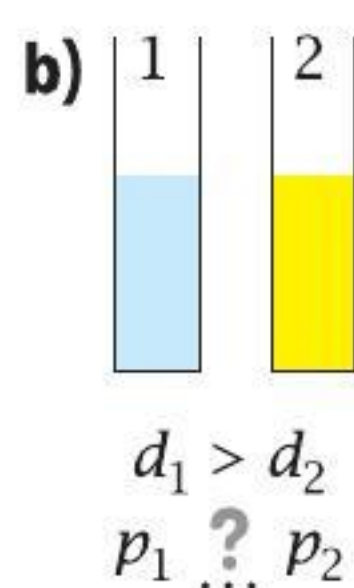
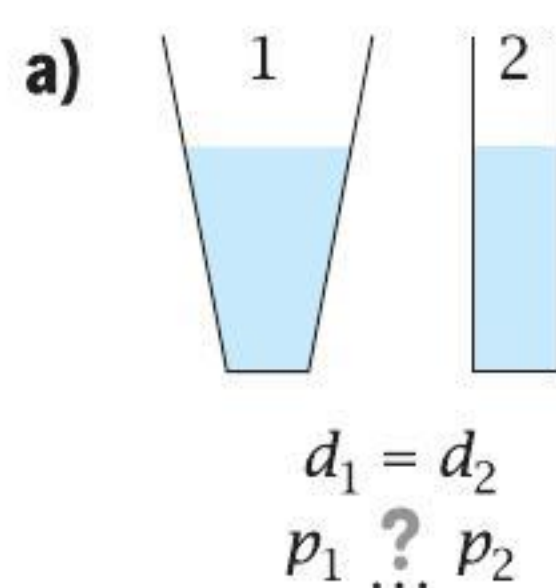
**Zadanie 3.** Siła nacisku o wartości 100 N działa na powierzchnię o polu 0,01 m<sup>2</sup>. Ile wynosi ciśnienie wywołane działaniem tej siły?

- A. 1 Pa      B. 100 Pa      C. 100 hPa      D. 100 kPa

**Zadanie 4.** Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- ① Prawo Pascala dotyczy tylko cieczy.
- ② Prawo Pascala jest wykorzystywane podczas pompowania piłki.
- ③ Naciskanie napompowanego balonika powoduje wzrost ciśnienia tylko w miejscu naciśnięcia.
- ④ Wciśnięcie tłoka w strzykawce napełnionej wodą powoduje wzrost ciśnienia w całej objętości wody w strzykawce.

**Zadanie 5.** Gęstości cieczy w naczyniach oznaczono przez  $d_1$  i  $d_2$ , a ciśnienie przy dnie w tych naczyniach — przez  $p_1$  i  $p_2$ . Porównaj ciśnienie przy dnie w obu naczyniach. W miejsce ? wstaw znak: >, < lub =.

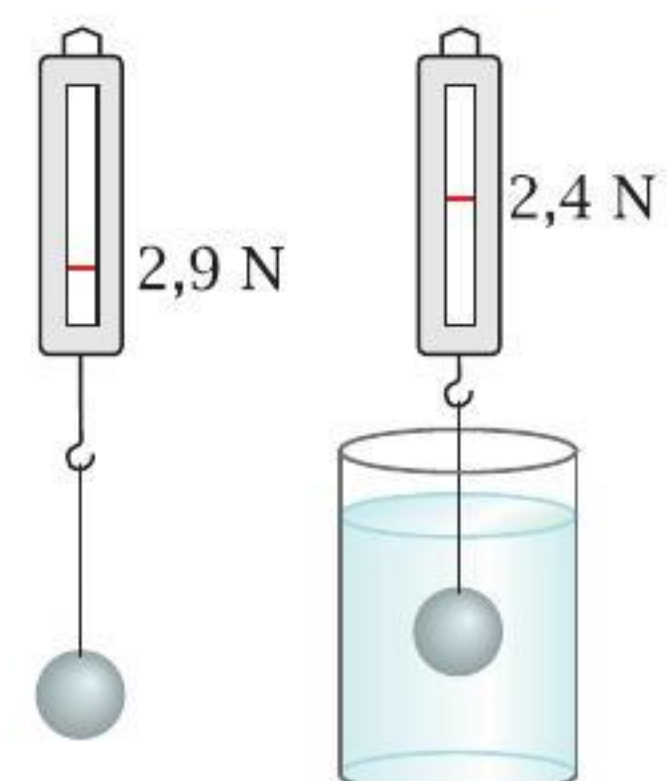


**\*Zadanie 6. Konewka**

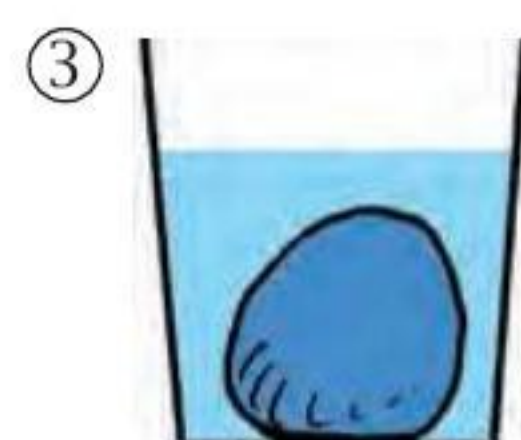
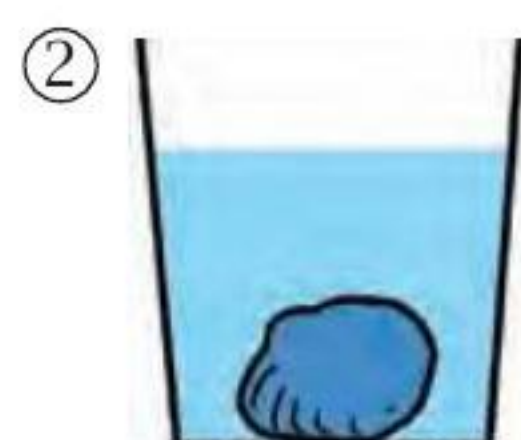
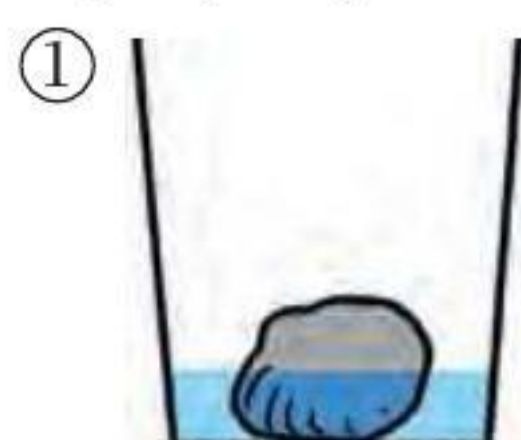
Wskaż konewkę, w której poprawnie zaznaczono poziom wody. Konewka się nie porusza.



**Zadanie 7.** Na siłomierzu zawieszono metalową kulę. Po odczytaniu wskazania siłomierza kulę zanurzano w glicerynie i ponownie odczytano jego wskazanie. Na schemacie obok przedstawiono wyniki obu pomiarów. Oblicz wartość siły wyporu działającej na kulę zanurzoną w glicerynie.



**Zadanie 8.** Kamienie umieszczono w naczyniach z wodą. W której z przedstawionych sytuacji siła wyporu ma największą wartość?





**Zadanie 9.** Do oleju wrzucono dwie kulki o jednakowej objętości. Pierwsza kulka była wykonana ze stali, druga — z aluminium. Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.

*Siła wyporu działająca na stalową kulkę jest...*

|    |                                                           |          |    |                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------|----------|----|---------------------------------------------------|
| A. | większa niż siła wyporu działająca na aluminiową kulkę,   | ponieważ | 1. | gęstość stali jest większa od gęstości aluminium. |
| B. | taka sama jak siła wyporu działająca na aluminiową kulkę, |          | 2. | objętości kulek są jednakowe.                     |

**Zadanie 10.** Nieruchomy patyk unosi się w jeziornej wodzie. Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

*Wartość siły wyporu działającej na patyk jest taka sama jak /większa niż /mniejsza niż ciężar patyka.*

**Zadanie 11.** Upuszczony w wodzie kamień opada na dno zbiornika, ponieważ:

- A. gęstość kamienia jest większa od gęstości wody,
- B. gęstość kamienia jest mniejsza od gęstości wody,
- C. ciężar kamienia jest mniejszy od ciężaru wody wypartej przez kamień,
- D. wartość siły wyporu działającej na kamień jest większa od jego ciężaru.

### CZĘŚĆ 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening

**Zadanie 1.** Kostka Rubika jest sześcianem, którego krawędź ma długość 6 cm. Oblicz wartość siły parcia wywieranego przez powietrze na jedną ze ścianek kostki. Przyjmij, że ciśnienie atmosferyczne wynosi 1000 hPa.



**Zadanie 2.** W 2012 roku Felix Baumgartner wykonał skok ze stratosfery z wysokości 38 969,4 m. Pobił wówczas trzy rekordy — najwyższy lot załogowy balonem, największa prędkość lotu swobodnego i najwyższy skok spadochronowy. Na ilustracji widać zmianę wyglądu balonu w czasie lotu. Podczas wznoszenia balon nie był dopompowywany, a gaz w balonie nie był ogrzewany. Wyjaśnij, dlaczego w miarę wznoszenia objętość balonu się zwiększała.



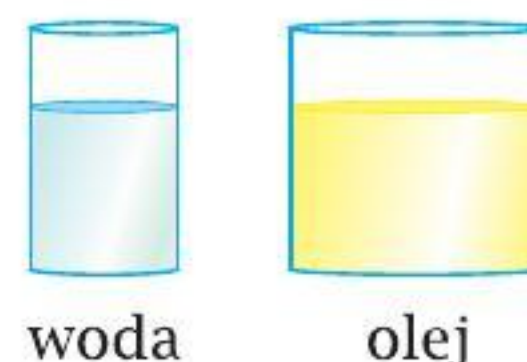


**Zadanie 3.** Dwie strzykawki o różnych średnicach połączono wężykiem, tworząc model podnośnika hydraulicznego (zob. rysunek). Pole powierzchni mniejszego tłoka wynosi  $1,5 \text{ cm}^2$ , a większego —  $6 \text{ cm}^2$ . Oblicz wartość siły parcia wody na większy tłok, jeśli na mniejszy naciskamy siłą o wartości  $5 \text{ N}$ .



**Zadanie 4.** Oblicz, jaką wysokość powinien mieć słupek rtęci, aby ciśnienie, które wywiera na dno naczynia, było równe ciśnieniu atmosferycznemu. Wynik podaj w milimetrach. Przyjmij, że gęstość rtęci wynosi  $13\,500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**Zadanie 5.** Do dwóch naczyń w kształcie walca wlało się ciecz, do jednego — wodę, a do drugiego — olej (zob. rysunek). Słupy cieczy w obu naczyniach mają jednakową wysokość. Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.

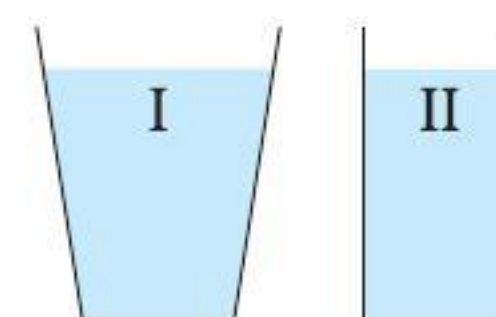


*Ciśnienie wody wywierane na dno naczynia w porównaniu z ciśnieniem oleju na dnie jest...*

|    |                    |                 |    |                                                          |
|----|--------------------|-----------------|----|----------------------------------------------------------|
| A. | <i>takie samo,</i> | <i>ponieważ</i> | 1. | <i>objętość wody jest mniejsza od objętości oleju.</i>   |
| B. | <i>mniejsze,</i>   |                 | 2. | <i>naczynie z wodą ma mniejsze pole powierzchni dna.</i> |
| C. | <i>większe,</i>    |                 | 3. | <i>gęstość wody jest większa od gęstości oleju.</i>      |

**Zadanie 6.** Oblicz, na jakiej głębokości zbiornika z wodą całkowite ciśnienie jest dwa razy większe od ciśnienia na powierzchni wody.

**Zadanie 7.** Do dwóch naczyń o różnych kształtach, ale jednakowych polach powierzchni dna, nalano wody do tego samego poziomu. Oznaczmy przez  $p_I$  i  $p_{II}$  wartości ciśnienia tuż przy dnach naczyń, a przez  $F_I$  i  $F_{II}$  wartości siły parcia wody na dna naczyń. Wskaż stwierdzenie prawdziwe.



- ①  $p_I = p_{II}$  i  $F_I < F_{II}$       ②  $p_I = p_{II}$  i  $F_I = F_{II}$       ③  $p_I < p_{II}$  i  $F_I = F_{II}$

 **Zadanie 8.** Opisz kształt naczynia, w którym wartość siły parcia cieczy na dno będzie:

- a) taka sama jak ciężar cieczy,
- b) większa od ciężaru cieczy,
- c) mniejsza od ciężaru cieczy.

**Zadanie 9.** Szklaną kulę o objętości  $5 \text{ cm}^3$  zanurzano całkowicie w wodzie. Gęstość szkła wynosi  $2,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Oblicz ciężar kuli i wartość działającej na nią siły wyporu.

**Zadanie 10.** Wskaż, które dokończenie zdania jest nieprawdziwe.

Siła wyporu działająca na całkowicie zanurzoną łódź podwodną ma wartość:

- A. równą ciężarowi wypartej wody,
- B. tym większą, im większą objętość ma łódź,
- C. tym większą, im głębiej znajduje się łódź.



**Zadanie 11.** Weritka i Hasto wyznacжали gęstość gliceryny na podstawie prawa Archimedes'a. W doświadczeniu wykorzystali cylinder miarowy z gliceryną, siłomierz i miedzianą kulkę. Wyniki pomiarów zapisali w tabeli.

| Mierzona wielkość                                       | Symbol mierzonej wielkości | Wynik pomiaru      |
|---------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| Wskazanie siłomierza po zawieszeniu kulki (w powietrzu) | $F_g$                      | 2,7 N              |
| Wskazanie siłomierza po zanurzeniu kulki w glicerynie   | $F_s$                      | 2,3 N              |
| Objętość kulki                                          | $V$                        | 30 cm <sup>3</sup> |

- Na podstawie danych z powyższej tabeli oblicz gęstość gliceryny.
- Wynik otrzymany w podpunkcie a) porównaj z wartością podaną w tabeli gęstości na str. 271.
- Dlaczego Weritce i Hasto nie udało się dokładnie zmierzyć gęstości cieczy?

**Zadanie 12.** Oblicz, jaka część góry lodowej jest zanurzona w wodzie o gęstości  $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , skoro gęstość lodu wynosi  $920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Wynik wyraż w procentach.





# Pierwszy Festiwal Fizyki

Czas na podsumowanie dotychczasowej pracy, czyli Pierwszy Festiwal Fizyki. Najpierw zaplanujcie i przygotujcie doświadczenia przedstawione na kolejnych stronach, a potem je zaprezentujcie. Przygotowanie każdego doświadczenia to spore wyzwanie. Będzie wymagało współpracy z nauczycielem, koleżankami i kolegami. Stwórzcie więc przyjazną atmosferę, pomagajcie sobie nawzajem, ale też dbajcie o porządek i bezpieczeństwo. Pamiętajcie, że nie wszystko udaje się od razu. Fizyka jest nauką doświadczalną i nie każdy eksperyment „wychodzi”. Czasami trzeba zrobić coś jeszcze raz albo inaczej, aby osiągnąć cel.

## Doświadczenia:

1. Niespadająca woda
2. To jaki jest w końcu ciężar butelki?
3. Wylewanie, czyli picie w drugą stronę
4. Podwieszony ładunek, czyli przymytniczy trik
5. Sucho pod wodą
6. Płomień
7. Niemieszające się ciecze i pogranicznik
8. Motorówka na płyn do mycia naczyń



# 1 Niespadająca woda

## DOŚWIADCZENIE



szklanka



woda



płaska plastikowa  
płytką



piłeczka  
pingpongowa



miska



- Wypełnijcie szklankę wodą po sam brzeg.
- Przykryjcie szklankę plastikową płytką i odwróćcie szklankę z płytką do góry dnem nad miską. Podczas odwracania przytrzymujcie płytkę.
- Trzymając nadal szklankę, puśćcie płytkę. Płytką powinna nadal przylegać do brzegu szklanki, a woda pozostawać w szklance.

- Powtórzcie doświadczenie, ale przed nałożeniem płytki wciśnijcie do szklanki piłeczkę pingpongową.



*Dlaczego woda nie wylewa się z odwróconej do góry dnem szklanki? Co należy zrobić, by się wylała? Dlaczego doświadczenie rzadziej się udaje z kartką papieru zamiast plastikowej płytki? Jak się zachowuje w wodzie piłeczka? Czy pozostawienie porcji powietrza w szklance coś zmienia?*



## 2 To jaki jest w końcu ciężar butelki?

### DOŚWIADCZENIE



plastikowa  
butelka  
z wodą



nożyczki  
ze szpiczastym  
końcem



sznurek



2 siłomierze  
o zakresie 10 N

- W górnej części butelki zróbcie nożyczkami otwory i przewleczone przez nie kawałki sznurka.
- Butelkę zawieście na dwóch siłomierzach.
- Zostawcie w butelce tyle wody, aby cały jej ciężar był równy 10 N (suma wskazań siłomierzy trzymany pionowo ma być równa 10 N).
- Powoli oddalajcie od siebie siłomierze, cały czas utrzymując na nich butelkę.



*Jak utrzymywać butelkę na siłomierzach, aby ich wskazania były równe? Jak się zmieniają wskazania siłomierzy podczas ich oddalania? Kiedy siła działająca na siłomierze przekracza ich zakres?*



### 3 Wylewanie, czyli picie w drugą stronę

#### DOŚWIADCZENIE



przeźroczysty  
pojemnik



przeźroczysty  
wężyk



strzykawka



szklanka



woda



- Nalejcie wody do pojemnika.
- Zanurzcie jeden koniec wężyka w pojemniku z wodą.
- Zaczniście ustami lub strzykawką „wciągać” wodę przez drugi koniec wężyka.
- Gdy woda będzie blisko wylotu, włóżcie końcówkę wężyka do szklanki ustawionej niżej niż poziom wody w pojemniku.
- Regulujcie tempo i kierunek przepływu wody w wężyku poprzez podnoszenie i opuszczanie szklanki.

*Dlaczego woda płynie przez wężyk, mimo że już jej „nie wciągacie”? Jak prędkość i kierunek przepływu wody zależą od położenia szklanki względem poziomu wody w pojemniku? Co się dzieje, gdy w pojemniku koniec wężyka zostanie na krótko wynurzony? Czy woda wypływałaby z pojemnika, gdyby był zamknięty szczelnym wieczkiem z otworem tylko na wężyk? Dlaczego tą metodą nie można pozbyć się wody z tonącej łodzi?*



## 4 Podwieszony ładunek, czyli przemysłowy trik

### DOŚWIADCZENIE



plastelina



plastikowy kubek  
(dający się ciąć  
nożyczkami)



wysoki  
przezroczysty  
pojemnik  
z wodą



nożyczki



sznurek



taśma klejąca

Uwaga. Sznurek powinien być na tyle długi, aby bryłę plasteliny można było włożyć do kubka, ale na tyle krótki, by nie dotykała dna, gdy pływa podwieszona pod kubkiem (zob. ostatnia fotografia).



- Z plasteliny uformujecie bryłę wypełniającą wewnątrz kubka.
- Kubek z plasteliną zanurzajcie w wodzie i odcinajcie wąskimi fragmentami górę kubka, aż zacznie tonąć.
- Wyjmijcie bryłę z kubka. Zamocujcie w niej jeden koniec sznurka, a drugi jego koniec przyklejcie do dna kubka od zewnątrz.
- Kubek z podwieszoną plasteliną powoli zanurzajcie w wodzie. Teraz zestaw powinien pływać.

*Co zrobić, gdy za bardzo przytniemy górę kubka i tonie on nawet z podwieszoną plasteliną? Dlaczego kubek tonie, gdy plastelina jest w nim, a pływa, gdy plastelina jest w wodzie? Masa układu jest przecież taka sama. Co się zmienia? Jeśli w plastelinie uwięzimy pęcherz powietrza, to w której sytuacji nastąpi zmiana?*



## 5 Sucho pod wodą

### DOŚWIADCZENIE



pasek  
bibuły



szklanka



nożyczki



taśma  
klejąca



przezroczysty  
pojemnik z wodą

- Przyklejcie pasek bibuły do dna szklanki od wewnątrz. Po odwróceniu szklanki i postawieniu na stole dnem do góry pasek powinien wisieć około 1 cm nad stołem.
- Szklankę otworem w dół zanurzajcie powoli w wodzie.



*Dlaczego woda nie dotyka bibuły? Co jest w szklance oprócz bibuły? Co powstrzymuje wodę przed wpłynięciem do szklanki? Czy można na tyle głęboko zanurzyć szklankę, by woda jednak zamoczyła bibułę?*

## 6 Płomień

### DOŚWIADCZENIE



świeca



rękawice  
ochronne



zapałki lub  
zapalniczka



podstawa

- Zapalcie świecę, trzymając ją w rękawicach ochronnych nad podstawką.
- Przechylajcie powoli świecę i obserwujcie zachowanie płomienia.



*Co to jest płomień? Jak jest skierowany płomień? Dlaczego zawsze tak? Dlaczego nie należy się pochylać nad płomieniem? Gdzie jest najcieplej w okolicy płomienia?*



## 7 Niemieszające się ciecze i pogranicznik

### DOŚWIADCZENIE



woda



słoik  
o poj. 1,5 l



1 l oleju  
roślinnego



kilka niewielkich przedmiotów  
(np. nakrętka, kawałek  
styropianu, niewielki owoc)



plastelina



- Do słoika wlejcie wodę, a potem powoli olej. Wysokość słupa wody powinna być taka sama jak wysokość słupa oleju. Poczekajcie, aż powstanie wyraźna granica między cieciami.
- Wrzucajcie do słoika pojedynczo różne przedmioty. Jeśli nie traficie na przedmiot, który będzie zanurzony częściowo w wodzie, a częściowo w oleju, spróbujcie taki wykonać, np. dociażając któryś z przedmiotów plasteliną.
- Zakręćcie mocno słoik. Możecie zabezpieczyć go przed przeciekaniem, oklejając taśmą lub plasteliną. Odwróćcie go do góry dnem. Obserwujcie zachowanie cieczy i zanurzonych w nich przedmiotów.
- Wykonajcie tę operację kilka razy.

*Co się dzieje z cieczami? Dlaczego tak się układają? Dlaczego niektóre ciała zatrzymują się na granicy cieczy? Co się dzieje z cieczami i ciałami po odwróceniu słoika?*



## 8 Motorówka na płyn do mycia naczyń

### DOŚWIADCZENIE



płat kolorowego  
plastiku lub  
grubego kartonu



nożyczki



miska z wodą



zmielony pieprz



strzykawka



roztwór płynu  
do mycia  
naczyń

- Przygotujcie roztwór płynu do mycia naczyń – połączcie łyżeczkę płynu z 6 łyżeczkami wody.
- Wytnijcie z płatu plastiku motorówkę podobną do pokazanej na powyższej fotografii.
- Nalejcie do miski wody i posypcie jej powierzchnię zmielonym pieprzem.
- Połóżcie na wodzie motorówkę.
- Za pomocą strzykawki umieśćcie w otworze motorówki kroplę roztworu płynu do mycia naczyń.
- Obserwujcie zachowanie się motorówki i pieprzu.

*Dlaczego motorówka się porusza? Jakie siły na nią działają?  
Czy można wielokrotnie wprawiać motorówkę w ruch w tej samej  
wodzie? Dlaczego nie jest to ekonomiczny i ekologiczny sposób  
poruszania się po wodzie?*



### 3 Ruch i siły



#### **Na których fragmentach toru gokart osiąga największą prędkość?**

Na długich, prostych odcinkach. Gokart ma wtedy miejsce, by przyspieszyć, a potem zahamować. Poruszanie się z dużą prędkością na zakręcie jest niebezpieczne – gdy opony zaczną się ślizgać po nawierzchni, gokart może wypaść z trasy.



# 19 Ruch i jego opis



Na zdjęciu widać fragment rzeki Pisy. Jak zmierzyć długość rzeki? Co jest większe: długość rzeki czy odległość od jej początku do końca w linii prostej? Czy woda w rzece porusza się zawsze tak samo szybko?

## Cel lekcji

Dowiesz się, na czym polega względność ruchu. Poznasz pojęcia opisujące ruch: tor i drogę. Nauczysz się zaokrąślać wyniki i przeliczać jednostki drogi i czasu.



## Względność ruchu

Ruch jest zjawiskiem powszechnym. Rozglądając się wokół, zauważysz wiele przykładów ciał w ruchu: ulicą jedzie samochód, poruszają się liście na drzewie, przelatuje ptak. Z kolei o książce leżącej na biurku czy o obrazie wiszącym na ścianie powiesz, że są w spoczynku. Wydaje się, że z łatwością można rozróżnić ruch i spoczynek. Czy rzeczywiście jest to oczywiste? Wyobraź sobie, że pasażer z plecakiem siedzi w przedziale jadącego pociągu. Pasażer i plecak przemieszczają się wraz z pociągiem **względem powierzchni Ziemi**. Natomiast **względem ścian** przedziału czy **względem siebie** pozostają w spoczynku.

Ruch ciała jest **względny**, należy go opisywać tylko **względem** innego ciała.

Na co dzień łatwo rozstrzygamy, co jest w ruchu, a co nie. Intuicyjnie przyjmujemy, że powierzchnia Ziemi spoczywa. Dlatego mówimy, że ciało się porusza, gdy przemieszcza się względem powierzchni Ziemi, choć ona sama się porusza względem Słońca i w ciągu 1 s pokonuje aż 30 km.



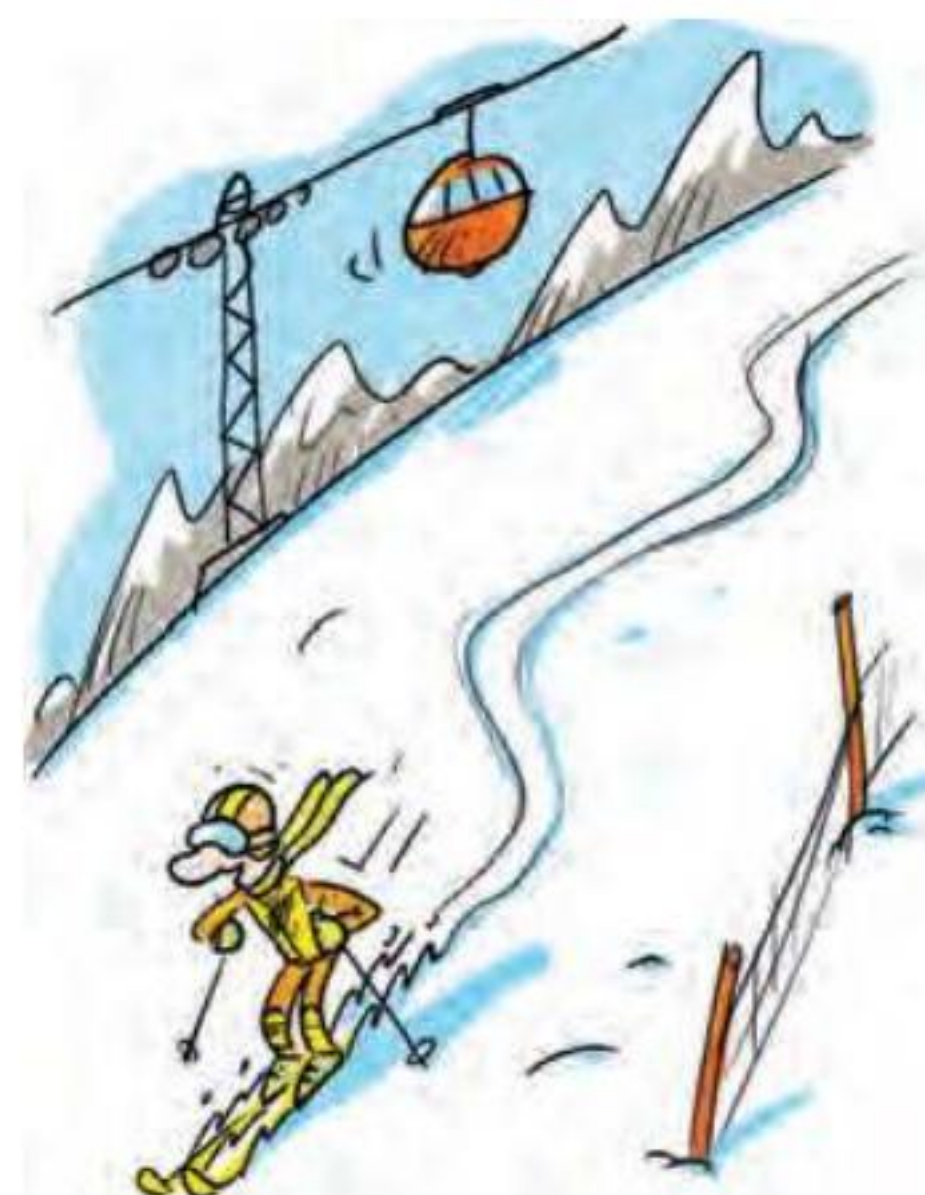
## Czym jest tor?

Zjeżdżający z góry narciarz pozostawił za sobą ślad na śniegu (zob. rysunek). Na jego podstawie można narysować **tor ruchu**, czyli linię wzdłuż której poruszał się narciarz.

**Tor** to linia, po której porusza się ciało.

Widzimy, że zakresłony przez narciarza tor jest krzywoliniowy. Z kolei przemieszczająca się nad narciarzem gondola porusza się torem prostoliniowym.

Ruch wzdłuż prostej to **ruch prostoliniowy**.



Narciarz porusza się po torze krzywoliniowym, a gondola – po prostoliniowym.

## Czym jest droga?

Długość toru nazywamy **drogą** i oznaczamy literą *s* od niemieckiego słowa *Strecke* (czyt. sztreke) lub z łaciny *spatium*.

**Droga** (oznaczana literą *s*) to długość toru, czyli długość linii, po której porusza się ciało.

Podstawową jednostką długości, a więc i drogi, w układzie SI jest **1 metr (1 m)**. Inne jednostki długości to: 1 kilometr (1 km), 1 decymetr (1 dm), 1 centymetr (1 cm) oraz 1 milimetr (1 mm).

Pokonaną drogę możemy zmierzyć, na przykład za pomocą taśmy mierniczej. Jeśli któryś fragment toru został przebyty kilka razy, to tyle razy należy dodać długość tego fragmentu przy obliczaniu drogi.

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ dm} = 0,1 \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 0,001 \text{ km} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$

## Czas trwania ruchu

Badanie ruchu polega między innymi na mierzeniu drogi przebytej przez ciało oraz czasu, w którym ta droga została pokonana. **Czas** oznaczamy literą *t* od angielskiego słowa *time* (czyt. tajm). Podstawową jednostką czasu w układzie SI jest **1 sekunda (1 s)**. Na lekcjach fizyki zazwyczaj posługujemy się tą jednostką. Na co dzień częściej wyrażamy czas w godzinach (h) i minutach (min).

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 60 \cdot 60 \text{ s} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ s} = \frac{1}{60} \text{ min} = \frac{1}{3600} \text{ h}$$



## Cyfry znaczące i zaokrąglanie wyników

Hasto i Weritka w czasie wakacji zwiedzali Europę. Po wakacjach stwierdzili: *Pokonaliśmy 3000 km. Plus minus kilkaset kilometrów.* W tym wypadku najważniejsza jest informacja o tysiącach kilometrów, a nie o setkach, czy dziesiątkach. Być może faktyczna droga wynosiła 2900 km lub 3300 km, w przybliżeniu 3000 km. Podana liczba 3000 ma jedną cyfrę znaczącą, czyli 3.

Liczba 0,012 ma dwie cyfry znaczące, 1 i 2. Początkowe zera pomijamy. Liczba 0,505 ma trzy cyfry znaczące, 5, 0 i 5. Przyjmujemy, że **cyfry znaczące** to cyfry, które zostają po odrzuceniu początkowych zer liczby oraz tych zer końcowych, które wynikają z zaokrąglenia.

### Warto wiedzieć

Jeżeli w obliczeniach wykorzystujemy wartości o dwóch (trzech) cyfrach znaczących, to wyniki końcowe powinny mieć tyle samo cyfr znaczących.

Liczba 123 po zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących to 120, a po zaokrągleniu do jednej cyfry znaczącej to 100. Liczba 185 po zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących to 190, a po zaokrągleniu do jednej cyfry znaczącej to 200. Należy przy tym pamiętać, że zgodnie z zasadami zaokrąglania cyfry 5, 6, 7, 8 i 9 stojące za cyfrą, do której zaokrąglamy liczbę, powodują zwiększenie tej cyfry o jeden przy zaokrągleniu. Oto przykłady:

|       | zaokrąglenie do dwóch<br>cyfr znaczących | zaokrąglenie do jednej<br>cyfry znaczącej |
|-------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 145   | 150 (po 4 jest 5)                        | 100 (po 1 jest 4)                         |
| 339   | 340 (po 3 jest 9)                        | 300 (po 3 jest 3)                         |
| 0,971 | 0,97 (po 7 jest 1)                       | 1 (po 9 jest 7)                           |

### PRZYKŁAD 1.

Odległość Księżyca od Ziemi w pewnej chwili była równa 384 470 km. Zaokrąglij tę wielkość:

**a)** do 1 cyfry znaczącej,      **b)** do 2 cyfr znaczących,      **c)** do 3 cyfr znaczących.

**Odp.** a) 400 000 km, b) 380 000 km, c) 384 000 km.

**ĆWICZENIE 1.** Pewien tunel ma długość 1325 m. Zaokrąglij tę wielkość:

**a)** do 1 cyfry znaczącej,      **b)** do 2 cyfr znaczących,      **c)** do 3 cyfr znaczących.

Zwykle będziemy zaokrąglać wyniki obliczeń do dwóch cyfr znaczących. W niektórych zadaniach wyraźnie zaznaczono, gdy wymagane jest zaokrąglenie do określonej liczby cyfr znaczących.



### Zadanie 1. *Pojęcia i symbole*

Do poniższych opisów dopasuj odpowiednie pojęcia lub symbole z ramki.

długość toru  
symbol oznaczający czas  
linia, po której porusza się ciało  
symbol oznaczający drogę  
podstawowa jednostka czasu  
podstawowa jednostka drogi

droga, metr, sekunda,  $s$ ,  $t$ ,  $d$   
tor, godzina, kilometr

### Zadanie 2. *Metr*

Podane odległości wyraż w metrach.

- 1,2 km • 0,63 km • 320 cm • 41 cm •
- 20 mm • 90 cm • 2 mm •

### Zadanie 3. *Sekunda*

Podane czasy wyraż w sekundach.

- 12 min • 0,5 min • 0,75 h •
- 0,2 h • 2 h 7 min • 3 min 12 s •

### Zadanie 4. *Robot*

Robot poruszał się po obwodzie kwadratu o boku 100 m. Wykonał trzy pełne okrążenia. Oblicz drogę przebytą przez robota. Wyraż ją w kilometrach.

### Zadanie 5. *Leśny przewodnik*

Odległość w linii prostej między sklepem a leśniczówką wynosi 5 km. Hasto twierdzi, że zna ścieżkę o długości 4 km między tymi miejscami. Czy to możliwe? Odpowiedź uzasadnij.

### Zadanie 6. *Lotniskowiec*

W którą stronę powinien przy bezwietrznej pogodzie startować samolot z płynącego lotniskowca, aby poruszać się jak najszybciej względem powietrza? W którą stronę powinien lądować?

### Zadanie 7. *Cyfry znaczące*

Zaokrąglaj liczby: 121, 175, 2847, 3902, 12 005, 0,164, 0,072, 0,0068, 452 706 do:

- a) jednej cyfry znaczącej,
- b) dwóch cyfr znaczących.



## Jak myślisz?

- Jakie są tory gwiazd na nocnym niebie obserwowanym z Ziemi?
- Jaką drogę przebywa Ziemia w ciągu roku?
- Jak mierniki w samochodzie lub rowerze mierzą przebytą drogę?
- Jak działają zegary mechaniczne, a jak — zegary elektroniczne?



## Fizyka na wesoło...

— Czy pamiętasz, o której będziemy w Gdańsku? — pyta Weritka.  
— Nie, ale zastanawiam się nad czymś ważniejszym — odpowiada Hasto. — Czy to pociąg stanie w Gdańsku, czy Gdańsk zatrzyma się przy pociągu?



# 20 Prędkość. Jednostki prędkości



Zdjęcie pokazuje tor gwiazd na nocnym niebie. Które gwiazdy poruszały się najszybciej względem obserwatora na Ziemi? A które najwolniej?

## Cel lekcji 8

Zapoznasz się z pojęciem prędkości. Nauczysz się obliczać prędkość i przeliczać jej jednostki.



Wektor prędkości.

## Jak opisać ruch?

Prędkość opisuje, jak szybko porusza się ciało. Gdy rowerzysta pokonuje drogę 5 m w czasie każdej sekundy, to znaczy, że jedzie z prędkością  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a na przebycie 50 m potrzebuje 10 s.

**Prędkość** oznaczamy literą  $v$  od angielskiego słowa *velocity* (czyt. welosyti) i obliczamy ze wzoru:

$$\text{prędkość} \rightarrow v = \frac{s}{t}$$

$\leftarrow$  droga  
 $\leftarrow$  czas

W sytuacji opisanej powyżej nie wiemy, w którą stronę porusza się rowerzysta. Wiemy jedynie, jak szybko jedzie. Gdy jednak istotny jest kierunek i zwrot ruchu, wtedy prędkość opisujemy za pomocą wektora — podobnie jak w wypadku siły.

### Warto wiedzieć

Stosunek drogi do czasu potrzebnego do jej przebycia bywa często nazywany szybkością.

Wektor prędkości zaznaczamy strzałką. Analogicznie do wektora siły, jego cechy to: kierunek, zwrot, wartość i punkt przyłożenia. Literą  $v$  jest oznaczana wartość prędkości, np.  $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Wektor prędkości jest oznaczany przez  $\vec{v}$  (litera  $v$  ze strzałką u góry).



- ① Przygotuj: taśmę mierniczą (o długości co najmniej 3 m) oraz stoper (np. w telefonie).
- ② Ustal trasę. Taśmą mierniczą zmierz jej długość, czyli drogę  $s$ , która będzie pokonana — nie mniejszą niż 6 m.
- ③ Przerysuj poniższą tabelę do zeszytu i odpowiednio przedłuż dla trzech osób.

Droga  $s = \dots\dots\dots$  m

| Imię osoby           | Czas $t$ [s] | Prędkość $v = \frac{s}{t} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ |
|----------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|
| imię pierwszej osoby | ...          | ...                                                                 |
|                      | ...          | ...                                                                 |
| imię drugiej osoby   | ...          | ...                                                                 |
|                      | ...          | ...                                                                 |

- ④ Zmierz i zapisz czas potrzebny danej osobie, by przejść ustaloną trasę rytmicznym marszem. Wykonaj dwa pomiary czasu dla każdej osoby.
- ⑤ Oblicz prędkość dla każdego pomiaru. Wynik zaokrąglij do 2 cyfr znaczących.

**PRZYKŁAD 1.**

Pociąg w czasie 20 s pokonał 800 m. Oblicz prędkość pociągu.

**Dane:** $s = 800 \text{ m}$  — droga $t = 20 \text{ s}$  — czas**Szukane:** $v = ?$  — prędkość**Rozwiązanie:**  $v = \frac{s}{t}$        $v = \frac{800 \text{ m}}{20 \text{ s}} = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ **Odp.** Prędkość pociągu to  $40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .**ĆWICZENIE 1.** W czasie 20 s wagon metra pokonuje drogę 300 m. Oblicz jego prędkość.**Jednostki prędkości**

Do tej pory wyrażaliśmy prędkość w **metrach na sekundę** ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ). Tej jednostki będziemy używać najczęściej. Prędkość może być jednak wyrażana także w innych jednostkach, np. kilometrach na godzinę ( $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ ).



Ograniczenia prędkości na znakach drogowych w Polsce, a także prawie całej Europie, podawane są w  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ .



Szybkościomierze w samochodach zwykle wskazują wartości w  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ .



Aby zamienić  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  na  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ , postępujemy następująco:

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{10}{36} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Aby zamienić  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  na  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ , postępujemy podobnie:

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = \frac{\frac{1}{1000} \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = \frac{1}{1000} \cdot \frac{3600}{1} \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{36}{10} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

#### Warto wiedzieć

Przy zamianie z  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  na  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  dzielimy wartość prędkości przez 3,6, a przy zamianie z  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  na  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  — mnożymy przez 3,6.

#### PRZYKŁAD 2.

a) Wyraż prędkość  $5,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

b) Wyraż prędkość  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  w  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

Rozwiązanie:

$$\text{a) } 5,4 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 5,4 \cdot \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ h}} = 5,4 \cdot \frac{1000}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{54}{36} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{b) } 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10 \cdot \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 10 \cdot \frac{\frac{1}{1000} \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = 10 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{3600}{1} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

ĆWICZENIE 2. a) Wyraż w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ :  $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$   $144 \frac{\text{km}}{\text{h}}$   $1,44 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

b) Wyraż w  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ :  $100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$   $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$   $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

### Czas na zadania!

#### Zadanie 1. Motorówka

Oblicz prędkość motorówki, która w czasie 2 h przepłynęła 60 km.

#### Zadanie 2. Ruchome schody

Oblicz prędkość względem budynku człowieka stojącego na ruchomych schodach, który w czasie 10 s przemieścił się o 5 m.

#### Zadanie 3. Kilometry na godzinę

Wyraż podane prędkości w  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

a)  $1000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$       b)  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$       c)  $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

#### Zadanie 4. Metry na sekundę

Wyraż podane prędkości w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

a)  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$       b)  $108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$       c)  $16,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

#### Zadanie 5. Szybciej niż dźwięk?

Pasażerski samolot odrzutowy porusza się z prędkością  $1000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Wyraż tę prędkość w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Wynik zaokrąglij do 3 cyfr znaczących. Czy samolot porusza się szybciej niż dźwięk w powietrzu? Przyjmij, że prędkość dźwięku w powietrzu to  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

#### Zadanie 6. Motocykl czy samochód?

Rekordowa prędkość motocykla na lądzie to  $168 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a samochodu to  $1228 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Która z tych prędkości jest większa?

#### Zadanie 7. Rowerzysta

Oblicz prędkość rowerzysty, który w czasie 5 min przejeżdża 1,8 km. Wynik wyraż w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



### **Zadanie 8. Kosmiczny trening**

Na zdjęciu przedstawiono astronautę ćwiczącego na bieżni w Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Astronauta jest przytrzymywany elastycznymi pasami, prostopadłymi do podłogi — bez nich, po odepchnięciu się stopą od bieżni, odleciałby od niej.



Prędkość astronauty względem przesuwanej się taśmy bieżni to  $7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Stacja leci z prędkością około  $8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  względem środka Ziemi, około 400 km nad powierzchnią Ziemi, a okrąża Ziemię w około 90 minut. Promień Ziemi to około 6400 km. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- ① Torem astronauty względem Ziemi jest w przybliżeniu okrąg o promieniu około 6800 km.
- ② Astronauta porusza się względem ściany stacji z prędkością  $7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .
- ③ Astronauta w czasie 30 minut przebywa około 3,5 km względem środka Ziemi.
- ④ Prędkość środka Ziemi względem stacji to około  $8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ .

### **Zadanie 9. Ruchomy chodnik**

Ruchomy chodnik porusza się po prostej, ukośnie w górę, z prędkością  $0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  względem budynku. W którą stronę i z jaką prędkością względem chodnika należy się poruszać, by spoczywać względem budynku?



### **Zadanie 10. Podróż ze Słońcem**

— Mówimy, że Słońce wschodzi albo zachodzi. Czy to oznacza, że Słońce się porusza? — zastanawia się Hasto.

— Jeśli widzisz, że coś się przemieszcza, to możesz powiedzieć, że względem ciebie to się porusza — odpowiada Weritka.

— Ciekawe, jak szybko względem powierzchni Ziemi musiałbym lecieć, na przykład nad równikiem, by Słońce względem mnie spoczywało.

- a) W którą stronę — na wschód, czy na zachód — musiałby poruszać się Hasto, by względem niego Słońce spoczywało?
- b) Z jaką prędkością musiałby się poruszać Hasto dookoła Ziemi tak, żeby Słońce względem niego spoczywało? Przyjmij, że leciałby blisko powierzchni Ziemi (po obwodzie 40 000 km), a obrót Ziemi trwa 24 h.
- c) Czy istnieje samolot pasażerski, który porusza się z taką prędkością?

**i** Ruch Słońca widzimy dlatego, że znajdujemy się na Ziemi wirującej wokół własnej osi.



## Jak myślisz?

- Z jaką prędkością poruszają się cząsteczki powietrza? Od czego to zależy?
- Czy gwiazdy znajdują się tam, gdzie je w danej chwili widzimy?
- Czy istnieje maksymalna prędkość, czyli taka, że nic nie może poruszać się szybciej?



# 21 Ruch jednostajny prostoliniowy



Najdłuższe schody ruchome w Polsce są w Warszawie, na stacji metra Centrum Nauki Kopernik. Mają 36 m długości i przejazd nimi trwa 72 s. Dlaczego poruszają się tak wolno? Jak szybko trzeba po nich iść, aby skrócić czas przejazdu o połowę?

## Cel lekcji 8

Dowiesz się, co to jest ruch jednostajny prostoliniowy. Nauczysz się analizować i rysować wykresy zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym.

### PRZYKŁAD 1.

Samochód porusza się po prostym odcinku drogi ruchem jednostajnym z prędkością  $35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Jaką drogę pokonuje w pierwszej, a jaką w dziesiątej sekundzie ruchu?

**Odp.** Zarówno w pierwszej, jak i w dziesiątej sekundzie pokonuje taką samą drogę 35 m.

## Prędkość bez zmian

Najprostszy rodzaj ruchu to taki, w którym **prędkość ciała się nie zmienia**, jest stała i ruch odbywa się po prostym torze. Gdy taśma bagażowa porusza się z prędkością  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , to w czasie pierwszej i każdej następnej sekundy pokonuje drogę 1 m. Taki ruch nazywamy jednostajnym prostoliniowym.



**Ruch jednostajny** to ruch, w którym wartość prędkości ciała się nie zmienia. Wtedy droga przebyta w jednakowych przedziałach czasu jest stała. Ruch jednostajny po prostej to **ruch jednostajny prostoliniowy**.

**ĆWICZENIE 1.** Turysta w czasie pierwszej minuty marszu przebył 80 m. Jaką drogę przebędzie w piątej minucie, jeśli porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym?



## Obliczanie drogi w ruchu jednostajnym

Gdy ciało porusza się ruchem jednostajnym, przebyta droga jest tym większa, im dłużej trwa ruch ciała. Znając prędkość, z jaką porusza się ciało, oraz czas trwania tego ruchu, można obliczyć przebytą drogę. Po przekształceniu wzoru  $v = \frac{s}{t}$  otrzymamy:

$$s = v \cdot t$$

**i** Dla dociekliwych

$$\begin{aligned} v &= \frac{s}{t} \quad | \cdot t \\ v \cdot t &= \frac{s}{\cancel{t}} \cdot \cancel{t} \\ v \cdot t &= s \\ s &= v \cdot t \end{aligned}$$

### PRZYKŁAD 2.

Samolot leciał ze stałą prędkością  $800 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  przez 2 h. Oblicz drogę, którą przebył.

**Dane:**

$v = 800 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  — prędkość  
 $t = 2 \text{ h}$  — czas

**Szukane:**

$s = ?$  — droga

**Rozwiązanie:**  $s = v \cdot t \quad s = 800 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 2 \text{ h} = 1600 \text{ km}$

**Odp.** Samolot przebył 1600 km.

**i** Pamiętaj, że  $\frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \text{h} = \text{km}$ , podobnie jak  $\frac{5}{\cancel{\text{h}}} \cdot \cancel{\text{h}} = 5$ .

**ĆWICZENIE 2.** Helikopter leciał ze stałą prędkością  $260 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Oblicz drogę, którą przebył w czasie:

- a)** 1 h      **b)** 2 h      **c)** 30 min

## Tworzenie wykresu

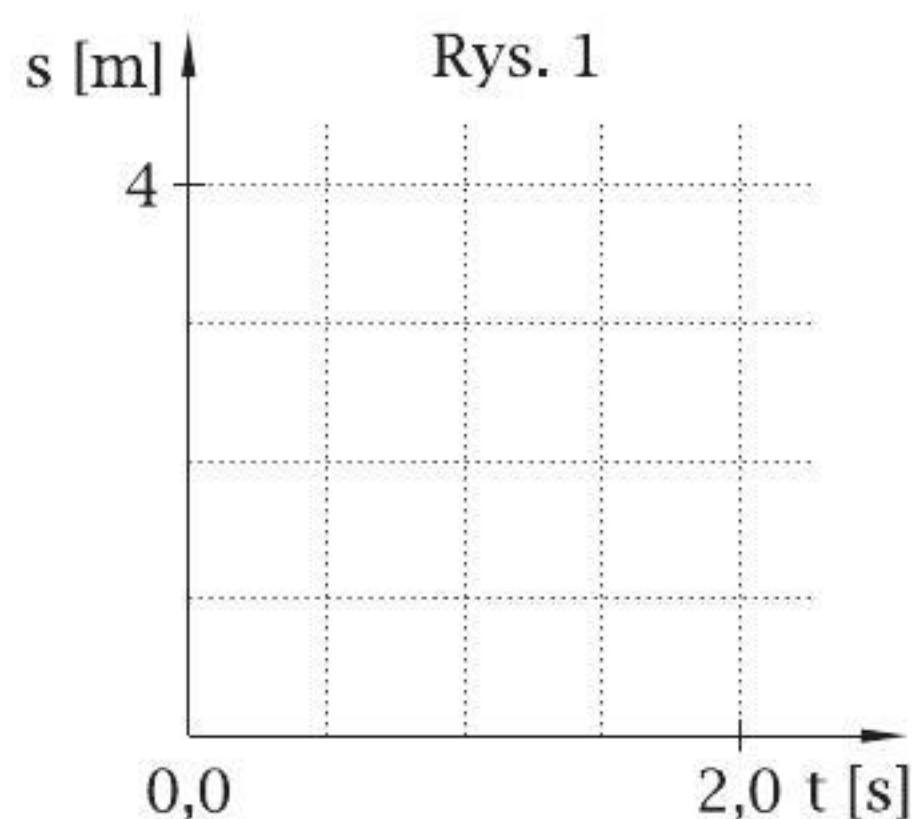
Założmy, że Weritka biegnie powoli, ze stałą prędkością, po bieżni, na której zaznaczono odcinki o długości 1 m. W pewnym momencie włączono stoper i rejestrowano chwile, w których mijała kolejne metry. Informacje o przebytej drodze można przedstawić w tabeli.

|                      |                         |     |     |     |     |
|----------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Chwila czasu $t$ [s] | 0,0 (włączenie stopera) | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| Droga $s$ [m]        | 0                       | 1   | 2   | 3   | 4   |

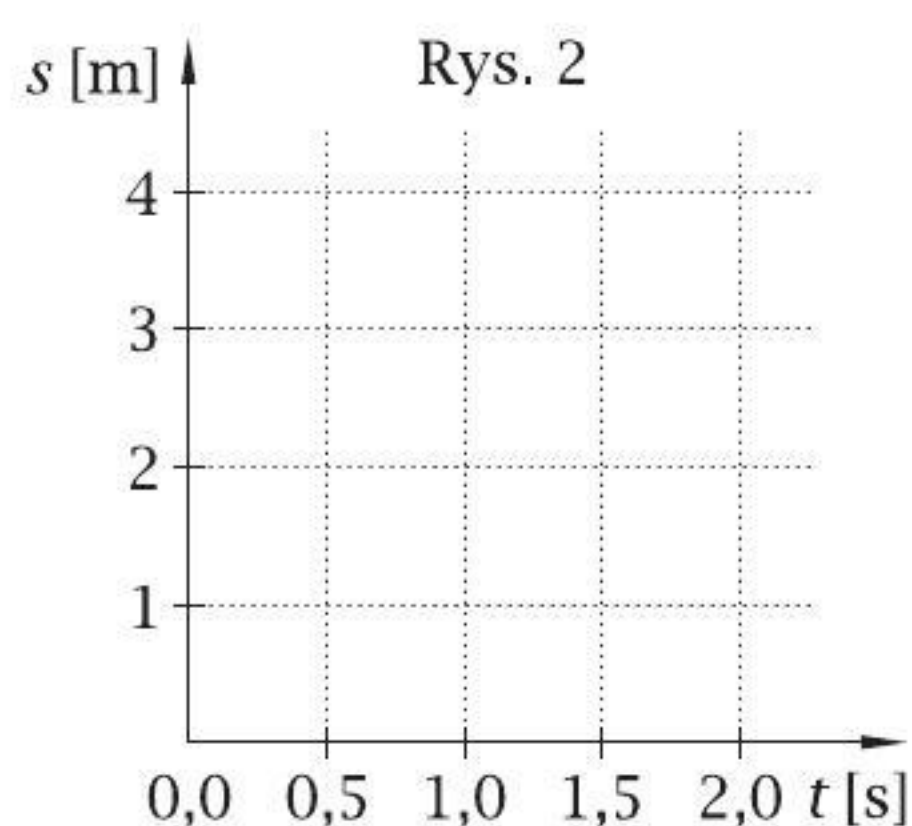


Te informacje można również przedstawić na wykresie. W tym celu należy wykonać czynności opisane na następnej stronie.

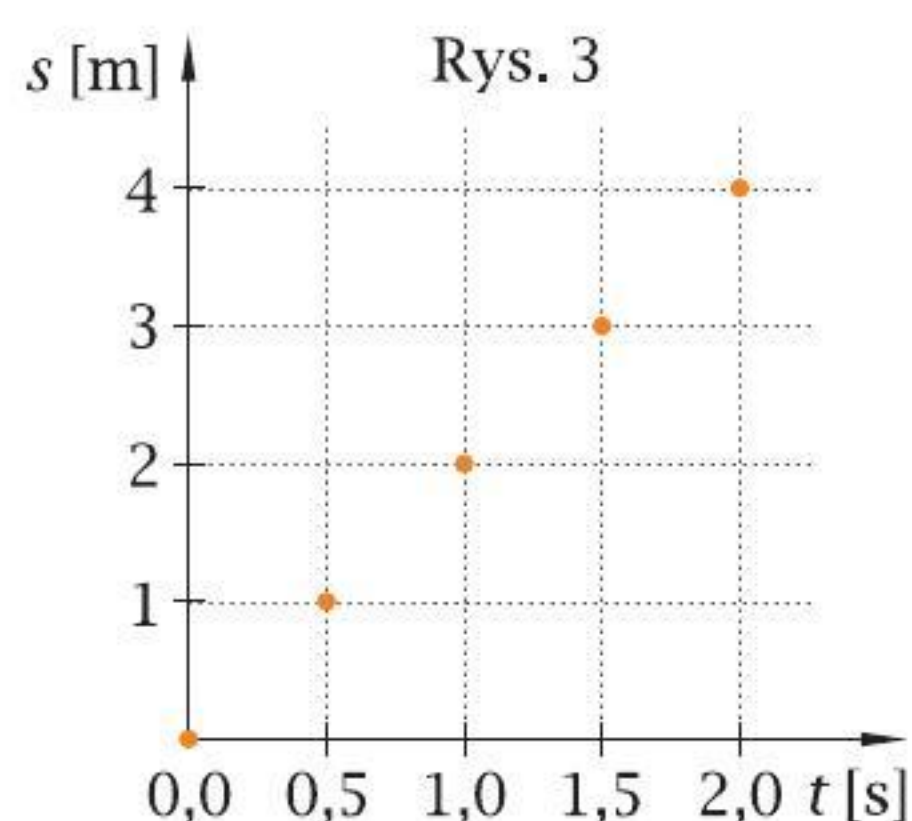




- ① Rysujemy dwie prostopadłe **osie** (układ współrzędnych). Końce osi oznaczono **symbolami** mierzonych wielkości (symbol czasu umieszczamy przy osi poziomej), a obok nich odpowiednie **jednostki**. Blisko końców obu osi zaznaczamy **największe wartości** zmierzonych wielkości (Rys. 1).

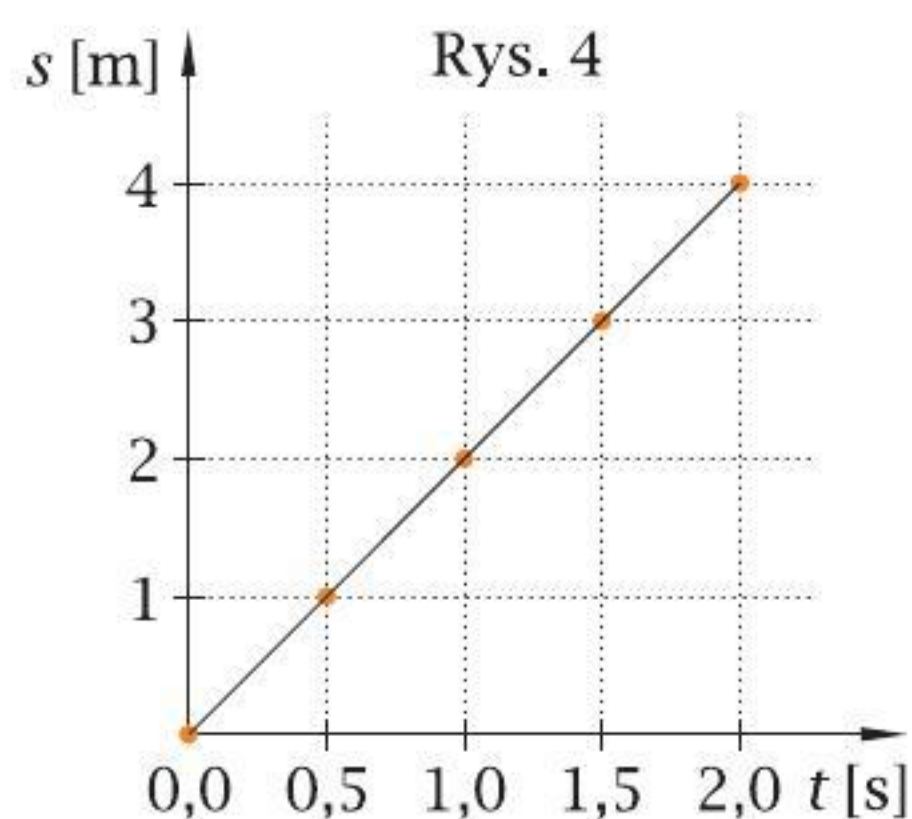


- ② Oba zaznaczone na osiach odcinki dzielimy na **równe części** i wpisujemy odpowiednie wartości liczbowe (Rys. 2).



- ③ Zaznaczamy **punkty** odpowiadające danym z tabeli. W chwili 0,5 s droga była równa 1 m, w chwili 1,0 s droga była równa 2 m, itd. (Rys. 3).

**i** Poszczególne pary wartości  $t$  i  $s$  nazywamy współrzędnymi punktu.



- ④ Zaznaczone punkty łączymy linią (Rys. 4), a następnie podpisujemy otrzymany wykres.

Zależność drogi pokonanej przez Weritę od czasu.

### Warto wiedzieć

Powyższy rysunek przedstawia wykres **zależności drogi  $s$  od czasu  $t$** . Tam, gdzie nie będzie to prowadzić do nieporozumień, będziemy mówić krótko: „wykres  $s$  od  $t$ ” lub „zależność  $s$  od  $t$ ”.

Wykres otrzymany powyżej przedstawia zależność drogi, przebytej przez Weritkę, od czasu. Okazało się, że linia poprowadzona przez wyznaczone punkty jest linią prostą. Wykresy drogi od czasu dla ruchu jednostajnego, czyli gdy prędkość się nie zmienia, zawsze są liniami prostymi.

Jak widać, zależność drogi  $s$  od czasu  $t$  można opisać słownie, ale także za pomocą tabeli lub wykresu.

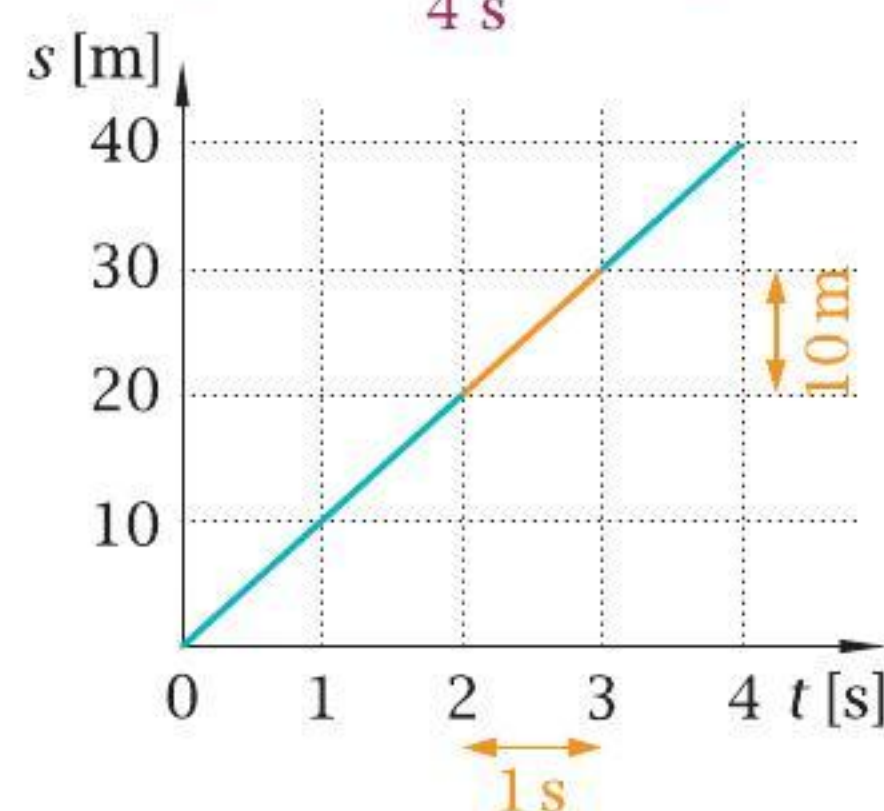
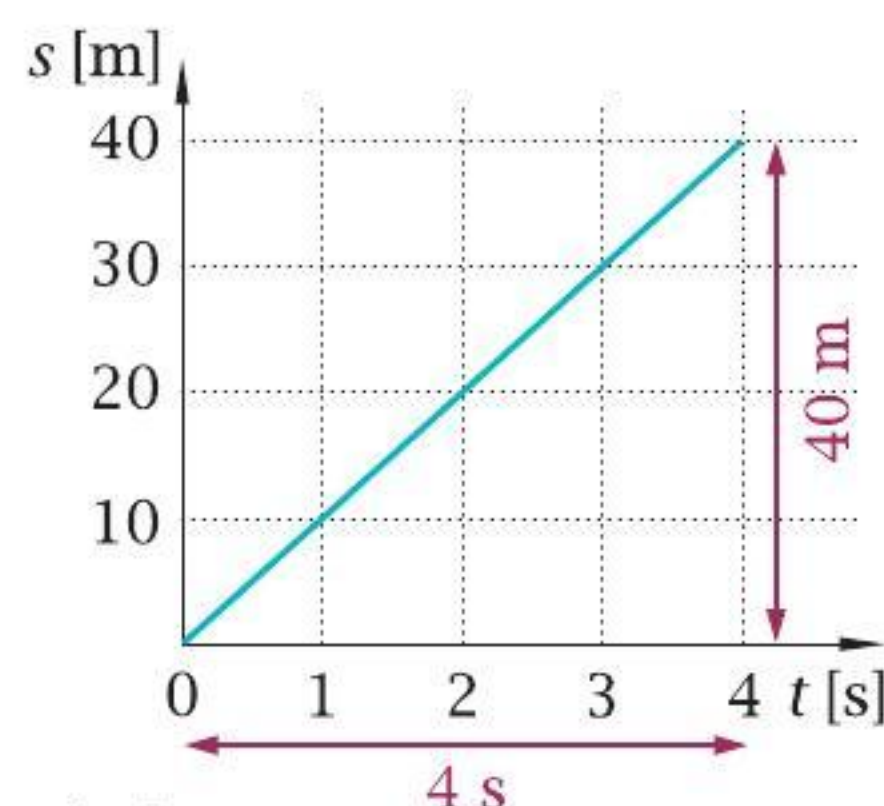


## Odczytywanie informacji z wykresu

Obliczmy prędkość tramwaju, dla którego zależność  $s$  od  $t$  przedstawiono na wykresie obok. Najpierw zrobimy to dla całego ruchu przedstawionego na wykresie. Od chwili 0 s do chwili 4 s, czyli w czasie  $t = 4$  s, tramwaj przebył drogę  $s = 40$  m. Jego prędkość to  $v = \frac{s}{t} = \frac{40 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

A jaka była prędkość tramwaju w trzeciej sekundzie ruchu, czyli od chwili 2 s do chwili 3 s (zob. drugi wykres obok)? Tramwaj wtedy przebył drogę  $s = 10$  m w czasie  $t = 1$  s. Jego prędkość była równa  $v = \frac{s}{t} = \frac{10 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Zwróć uwagę, że otrzymaliśmy taką samą prędkość jak w dłuższym przedziale czasu. Będzie tak zawsze dla ruchu jednostajnego, niezależnie od wybranego przedziału czasu. **Prędkość w ruchu jednostajnym się nie zmienia i jest taka sama dla każdego przedziału czasu.**



### PRZYKŁAD 3.

Zależność drogi przebytej przez narciarza od czasu przedstawiono na wykresie obok. Oblicz prędkość narciarza od chwili 1 s do chwili 4 s.

**Dane:**

$t = 4 \text{ s} - 1 \text{ s} = 3 \text{ s}$  — czas ruchu

$s = 28 \text{ m} - 7 \text{ m} = 21 \text{ m}$  — pokonana droga

**Szukane:**

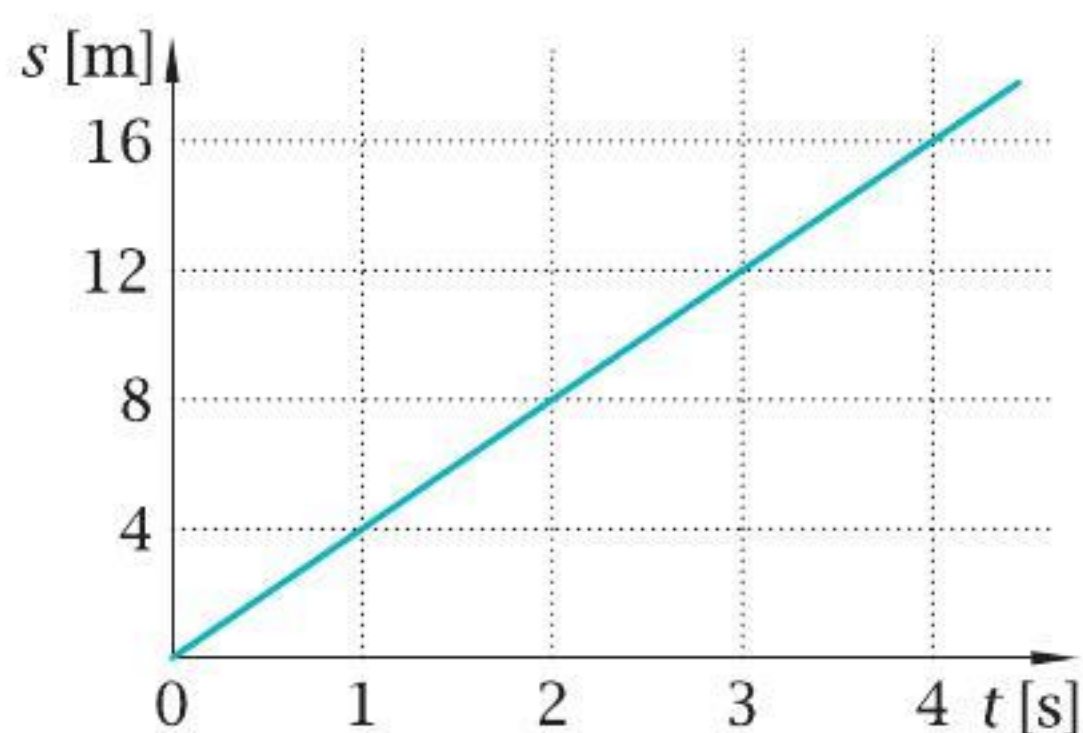
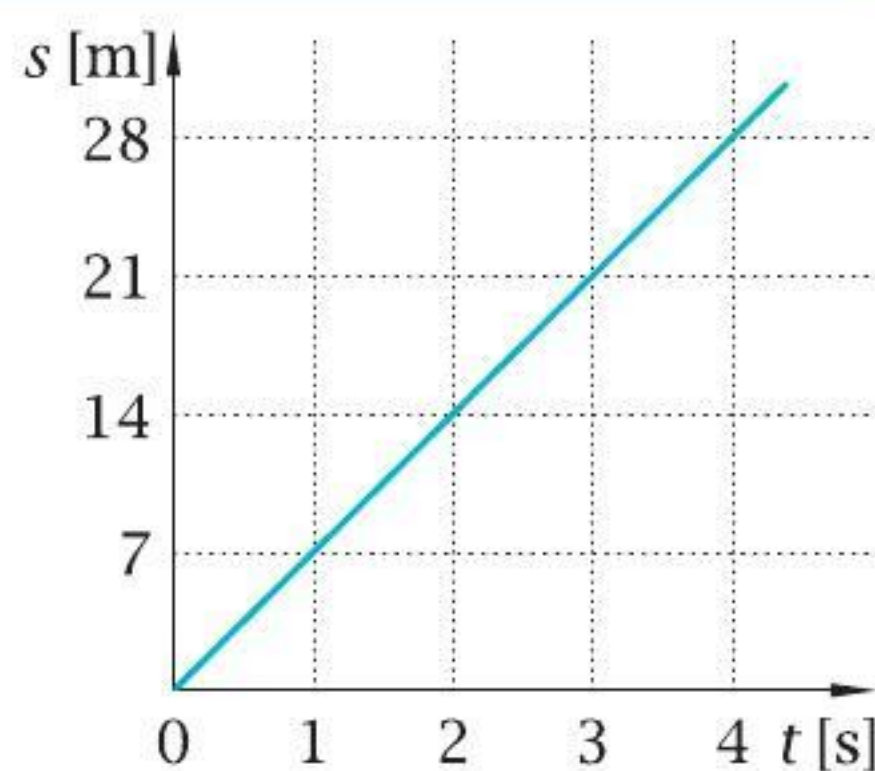
$v = ?$  — prędkość narciarza

**Rozwiązanie:**

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

$$v = \frac{21 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**Odp.** Od chwili 1 s do chwili 4 s prędkość narciarza wynosiła  $7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



**ĆWICZENIE 3.** Zależność drogi przebytej przez sanki od czasu przedstawiono na wykresie obok. Oblicz prędkość sanek:

- a) od chwili 0 s do chwili 2 s,
- b) od chwili 1 s do chwili 3 s,
- c) od chwili 2 s do chwili 4 s.



**Zadanie 1. Spadochroniarz**

Skoczek z otwartym spadochronem spadał ze stałą prędkością  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz drogę, którą przebył w ciągu:

- a) 5 s      b) 7 s      c) 1 min

**Zadanie 2. Taśma produkcyjna**

Taśma produkcyjna przesuwa się ze stałą prędkością  $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz drogę, którą przebędzie przez 0,5 s leżące na taśmie pudło.

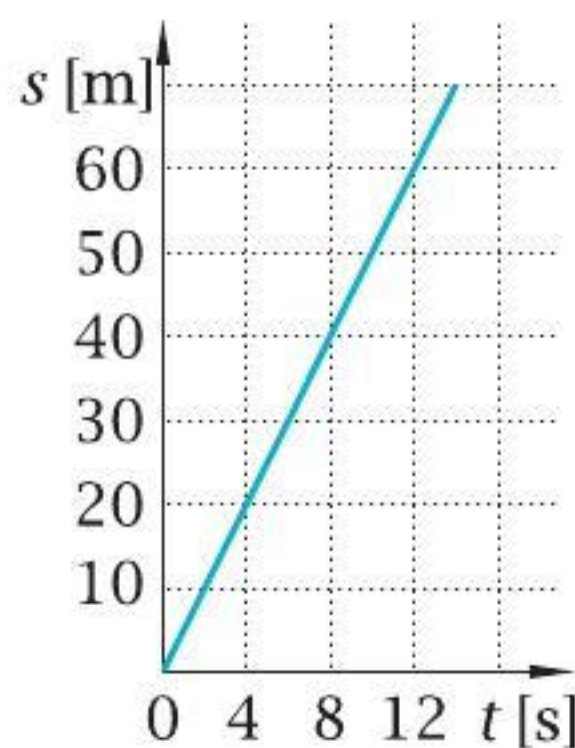
**Zadanie 3. Rekordziści z Apollo**

Rekord prędkości człowieka względem Ziemi jest równy prawie  $40\,000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  i należy do astronautów misji Apollo 10. Oblicz drogę, jaką przebyli oni względem Ziemi w czasie 1 s. Wynik zaokrąglaj do 3 cyfr znaczących.

**Zadanie 4. Walizka**

Walizka przemieszczała się na taśmie bagażowej. Wykres opisuje jej ruch.

- a) Jaką drogę pokonała walizka w ciągu początkowych 4 s ruchu?
- b) Jaką drogę pokonała w ciągu początkowych 12 s ruchu?
- c) Oblicz, z jaką prędkością poruszała się walizka w ciągu początkowych 12 s tego ruchu.

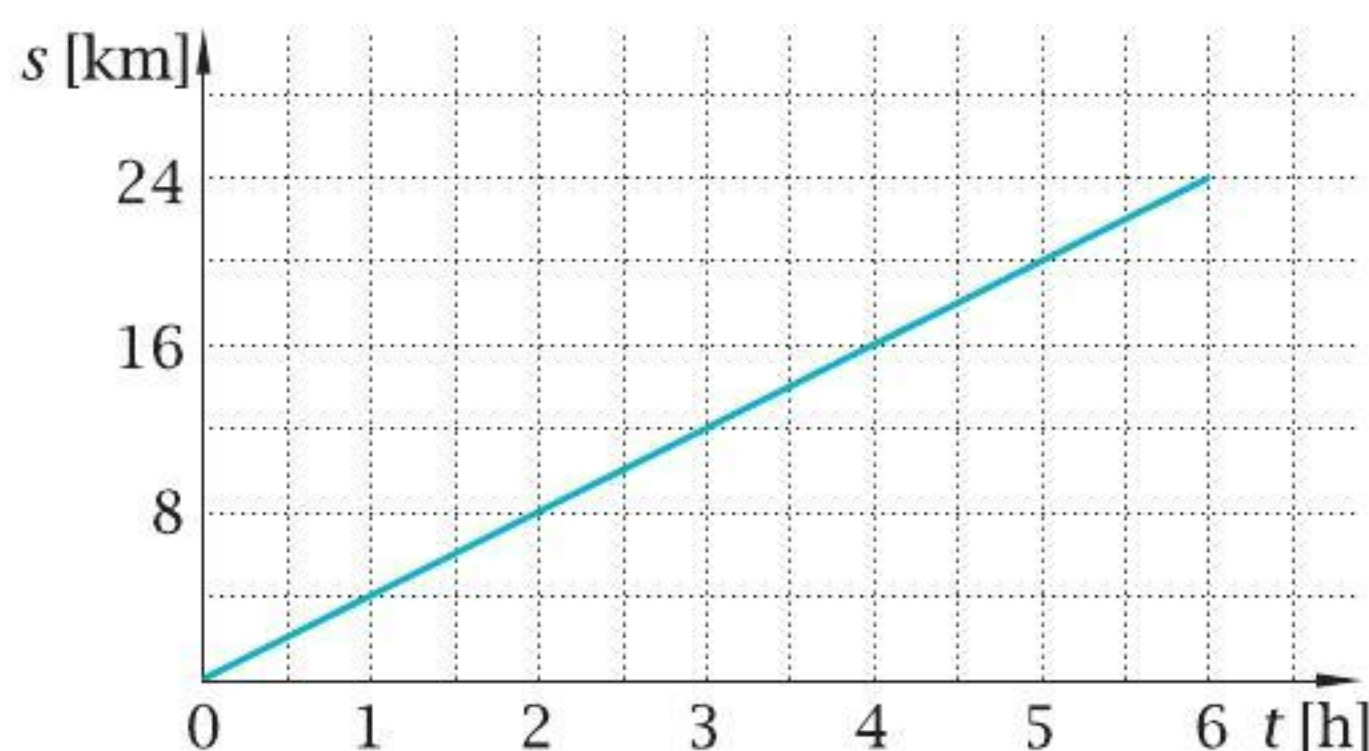


**Zadanie 5. Pociągi**

Dwa pociągi jadą sąsiednimi torami w tę samą stronę, każdy ze stałą prędkością. Jeden przemieszcza się z prędkością  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , a drugi — z prędkością  $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Który z nich w ciągu 1 s pokonuje dłuższą drogę? O ile dłuższą?

**Zadanie 6. Jacht**

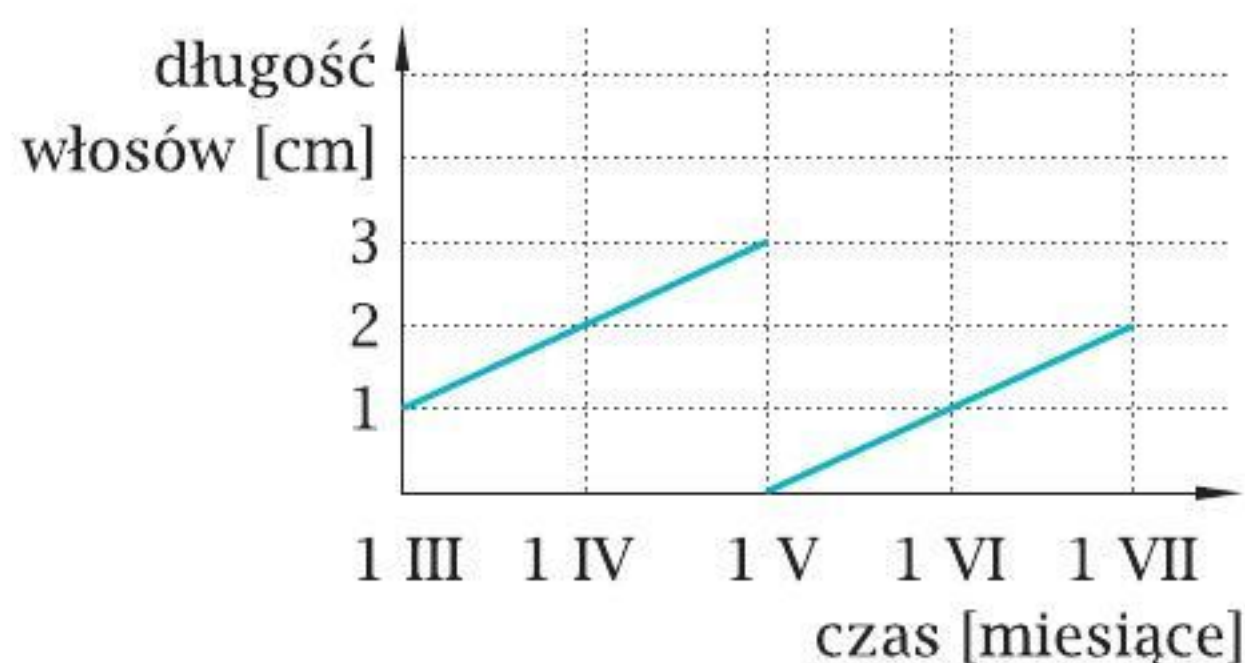
Jacht powoli płynął przez Atlantykt. Na wykresie przedstawiono zależność przebytej przez niego drogi od czasu.



- a) Oblicz, jaką drogę pokonał jacht od chwili 2 h do chwili 4 h.
- b) Oblicz, jaką drogę pokonał jacht w trzeciej godzinie ruchu.
- c) Oblicz prędkość, z jaką poruszał się jacht w ciągu 6 godzin ruchu?
- d) Wyraż prędkość jachtu w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Wynik zaokrąglaj do jednej cyfry znaczącej.

**Zadanie 7. Włosy**

Wykres przedstawia długość włosów Hasto pomiędzy 1 marca a 1 lipca.



- a) Jakiej długości włosy miał Hasto 1 marca, a jakiej — 1 kwietnia?
- b) Kiedy włosy Hasto były najdłuższe między 1 marca a 1 lipca?
- c) Co prawdopodobnie się stało 1 maja?
- d) Jak szybko rosną włosy chłopca, czyli o ile zwiększa się ich długość w ciągu miesiąca?



### Zadanie 8. *Mrówczy spacer*

Mrówki często poruszają się określonym torem. Na takim torze można zaznaczyć odcinki co 10 cm i, obserwując jedną z mrówek, zbadać jej ruch. W tabeli zanotowano czasy, w których mrówka pokonywała kolejne odcinki.

|                |   |    |    |    |    |
|----------------|---|----|----|----|----|
| Czas $t$ [s]   | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 |
| Droga $s$ [cm] | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |

Sporządź wykres zależności  $s$  od  $t$ . Wyznacz prędkość mrówki. Wyraż ją w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



### Zadanie 9. *Maglev*

Weritka z Hasto, będąc w Szanghaju, jechali najszybszym pociągiem na świecie. Gdy pociąg się rozpędził, co minutę

Pociąg typu maglev (magnetic levitation, czyt. magnetik lewitejszn) w Szanghaju. Pojazd porusza się bez stykania się z torem, dzięki unoszeniu elektromagnetycznemu.



## Jak myślisz?

- Czy wokół siebie często obserwujesz ruch jednostajny prostoliniowy?
- Czy kamień wyrzucony z wieży będzie poruszać się ruchem jednostajnym?
- Czy ruch jednostajny prostoliniowy może trwać nieskończenie długo?



## Fizyka na wesoło...

Nauczyciel rozmawia z uczniem.

— Załóżmy, że po wyjściu ze szkoły przeszedłeś sto metrów w osiemdziesiąt sekund. Ile czasu potrzebujesz na przejście kolejnych stu metrów?

— Z dziesięć minut, bo w cukierni na skrzyżowaniu jest zawsze kolejka.

sprawdzali za pomocą GPS, jaką drogę pokonał od początku pomiaru czasu. Dane notowali w tabeli.

|                |   |   |    |    |
|----------------|---|---|----|----|
| Czas $t$ [min] | 0 | 1 | 2  | 3  |
| Droga $s$ [km] | 0 | 6 | 12 | 18 |

Sporządź wykres zależności drogi pokonanej przez pociąg od czasu. Wyznacz prędkość pociągu. Wyraż ją w  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

### Zadanie 10. *Piechur i rowerzysta*

Piechur porusza się truchtem z prędkością  $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a rowerzysta jedzie z prędkością  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Przerysuj tabelę do zeszytu i ją uzupełnij.

|                            |   |   |   |   |   |
|----------------------------|---|---|---|---|---|
| Czas $t$ [s]               | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Droga piechura $s_p$ [m]   | 0 |   |   |   |   |
| Droga rowerzysty $s_r$ [m] | 0 |   |   |   |   |

Sporządź wykresy zależności  $s$  od  $t$  dla piechura i rowerzysty w jednym układzie współrzędnych.





# 22 Wykresy prędkości



Felix Baumgartner, skacząc z wysokości 39 km, osiągnął rekordową prędkość spadania  $1357,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Czy osiągnięta przez niego prędkość była większa od prędkości dźwięku w powietrzu? Jak zmieniały się w czasie droga i prędkość skoczka?

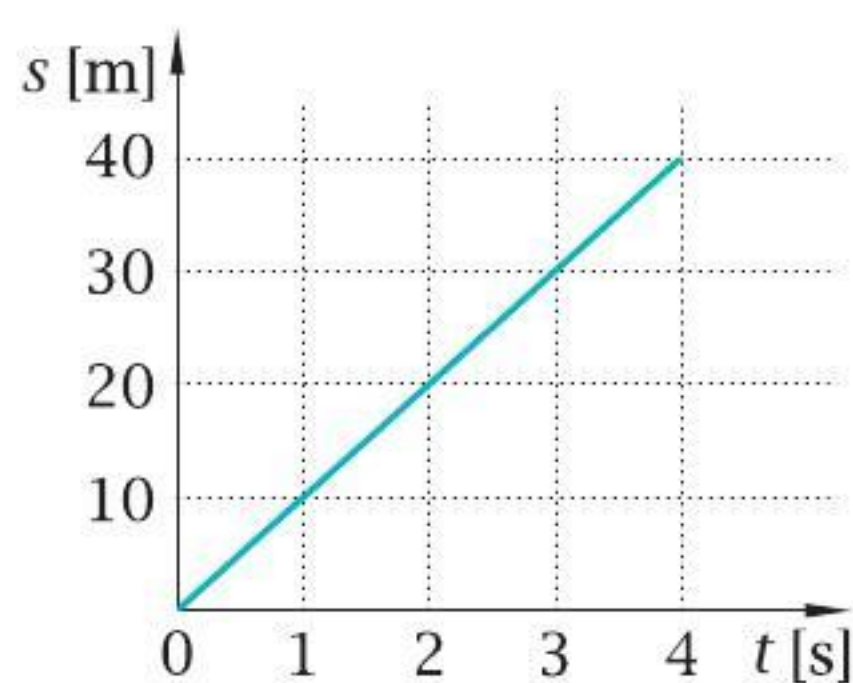
## Cel lekcji 8

Nauczysz się tworzyć i analizować wykresy zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnym.

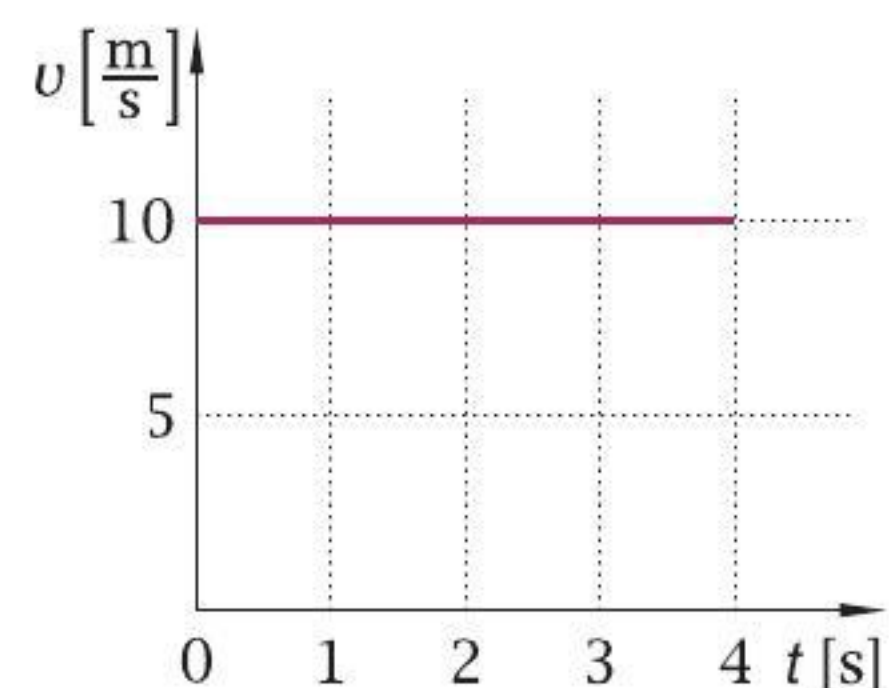
## Wykres zależności prędkości od czasu

Do tej pory opisywaliśmy ruch za pomocą wykresów zależności drogi  $s$  od czasu  $t$ . Ruch można opisać także za pomocą wykresu zależności prędkości  $v$  od czasu  $t$ .

Tak jak dotychczas analizować będziemy tylko ruch jednostajny prostoliniowy. Niebieski wykres przedstawia ruch, w którym w ciągu każdej sekundy ciało przemieszcza się o 10 m. Prędkość tego ciała jest więc stała i wynosi  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Zatem zależność prędkości  $v$  tego ciała od czasu  $t$  jest bardzo prosta, bo dla każdej chwili wynosi  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Tę zależność przedstawiono na wykresie z prawej strony. Zauważ, że zmienił się opis osi pionowej na „ $v \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ ”.



Wykres zależności  $s$  od  $t$  dla ciała poruszającego się z prędkością  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



Wykres zależności  $v$  od  $t$  dla ciała poruszającego się z prędkością  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



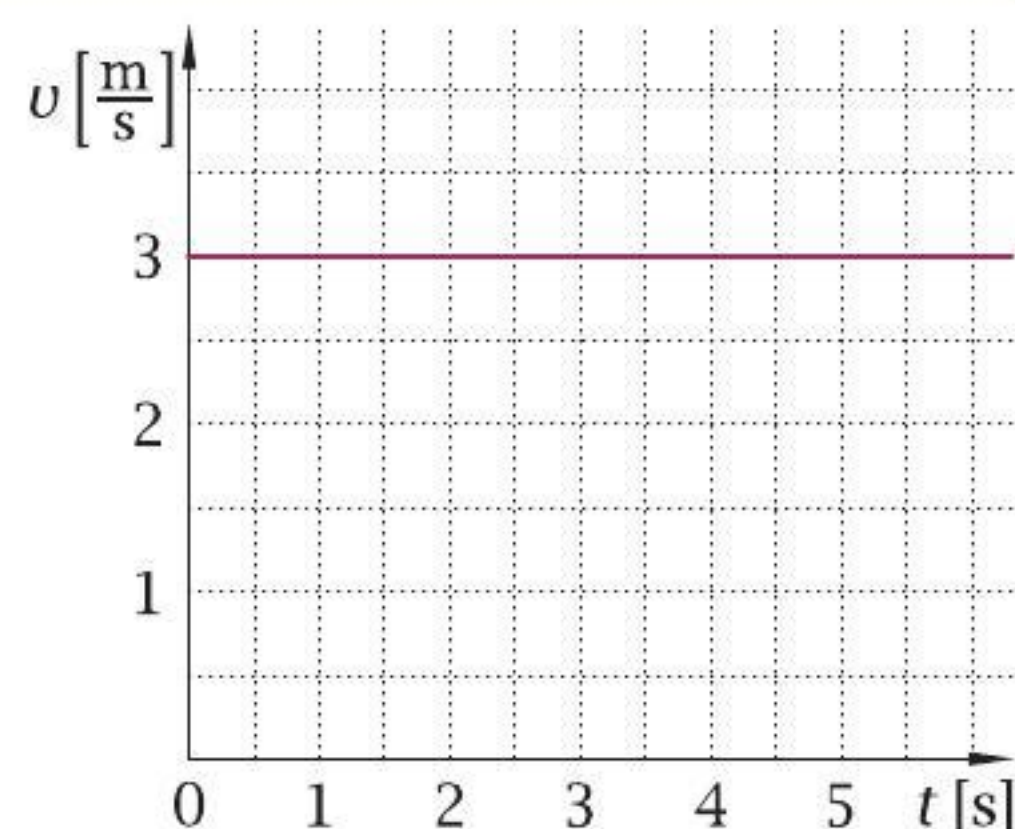
## Obliczanie drogi z zależności prędkości od czasu

Do tej pory obliczaliśmy prędkość na podstawie wykresu zależności drogi od czasu. A czy można zrobić to w drugą stronę: z wykresu zależności prędkości od czasu obliczyć drogę? Jeśli prędkość  $v$  jest stała, to w czasie  $t$  ciało przebędzie drogę  $s = v \cdot t$  (zob. str. 153). Wybierając coraz dłuższe przedziały czasu, możemy nawet wyznaczyć zależność drogi  $s$  od czasu  $t$ . Dla ruchu jednostajnego jest to łatwe. Dodatkową „niespodziankę geometryczną” odkryjesz podczas analizy przykładu.

### PRZYKŁAD 1.

Na wykresie pokazano zależność prędkości  $v$  łyżwiarza od czasu  $t$ .

- a) Oblicz drogę przebytą przez łyżwiarza od chwili 0 s do chwili 6 s.
- b) Oblicz pole figury pod wykresem dla przedziału czasu od 0 s do 6 s. Jaki jest związek tego pola z drogą przebytą przez łyżwiarza?
- c) Narysuj wykres zależności drogi  $s$  przebytej przez łyżwiarza od czasu  $t$ .



a) **Dane:**

$$v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ — prędkość}$$

$$t = 6 \text{ s — czas ruchu}$$

**Szukane:**

$$s = ? \text{ — droga}$$

**Rozwiązanie:**  $s = v \cdot t \quad s = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6 \text{ s} = 18 \text{ m}$

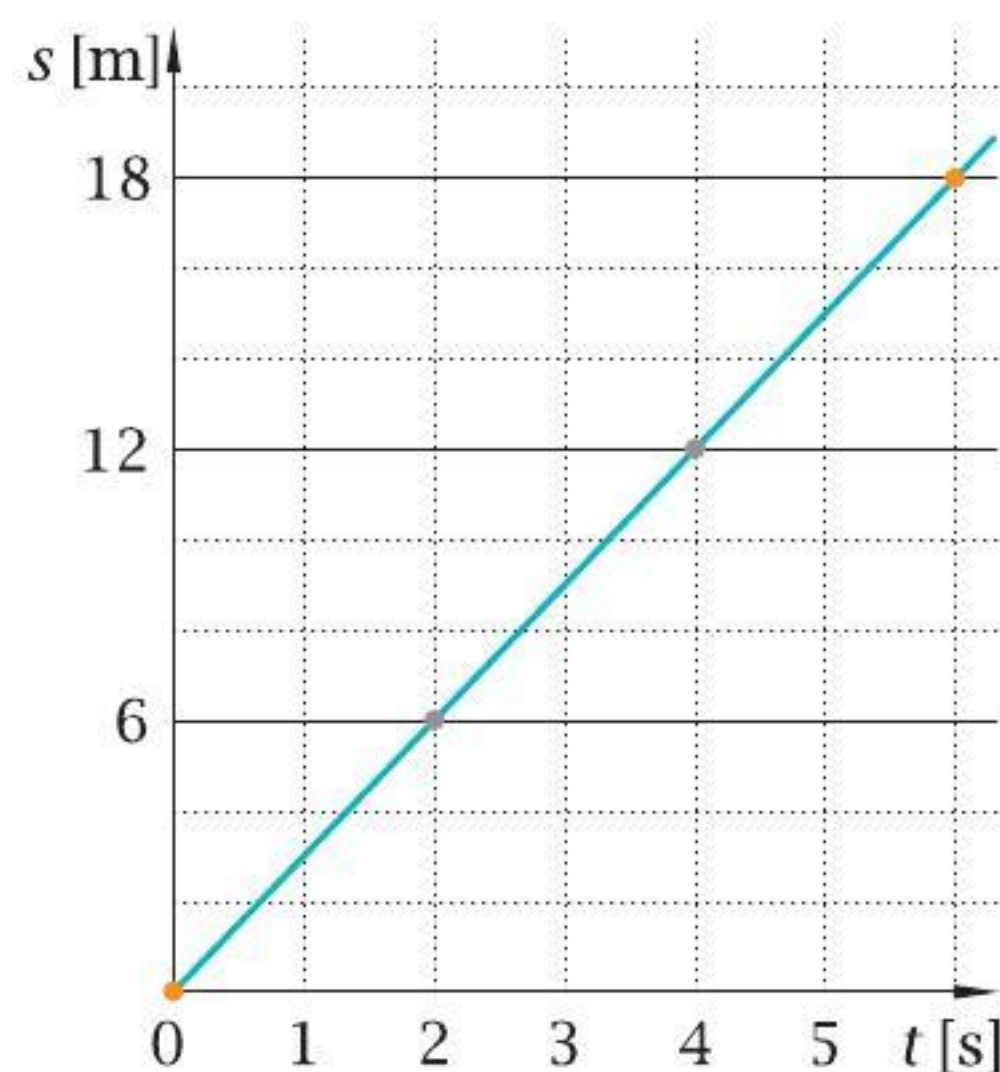
**Odp.** Od chwili 0 s do chwili 6 s łyżwiarz przebył 18 m.

- b) **Rozwiązanie:** Należy obliczyć pole prostokąta o pionowym boku  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  oraz poziomym boku 6 s.

$$P = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6 \text{ s} = 18 \text{ m}$$

**Odp.** Pole pod wykresem jest równe drodze przebytej przez łyżwiarza, czyli 18 m.

- c) **Rozwiązanie:** Aby uzyskać zależność  $s$  od  $t$ , wystarczy zaznaczyć w układzie współrzędnych dwa punkty. Na przykład: chwila 0 s i droga 0 m — początek pomiaru drogi i czasu oraz chwila 6 s i droga 18 m — wynik uzyskany w podpunkcie a). Ruch jest jednostajny, więc prowadzimy prostą przez te dwa punkty.

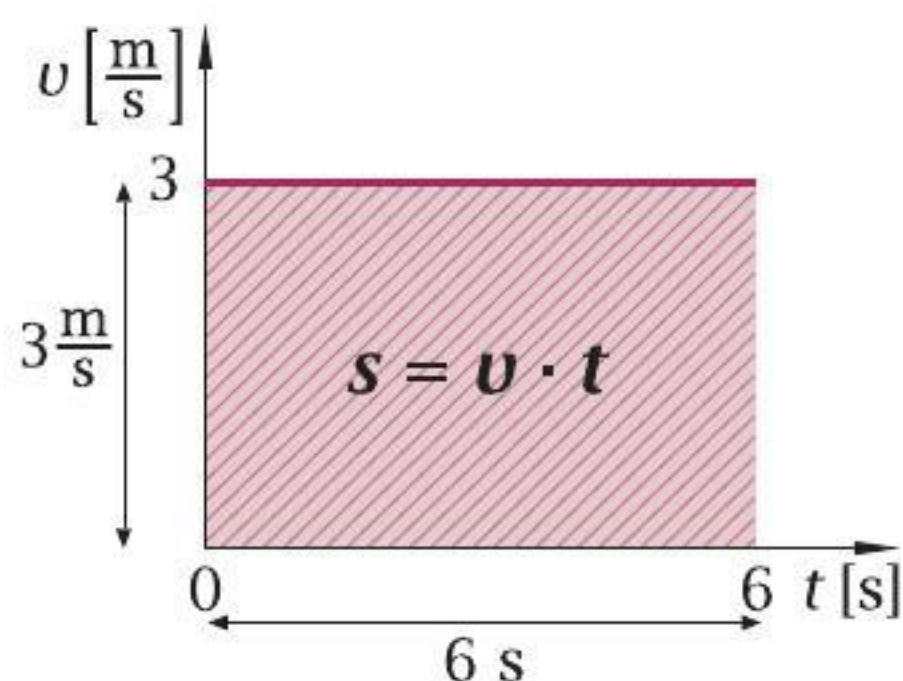


**i** Dodatkowe punkty:

$$t = 2 \text{ s}, s = 6 \text{ m}$$

$$t = 4 \text{ s}, s = 12 \text{ m}$$



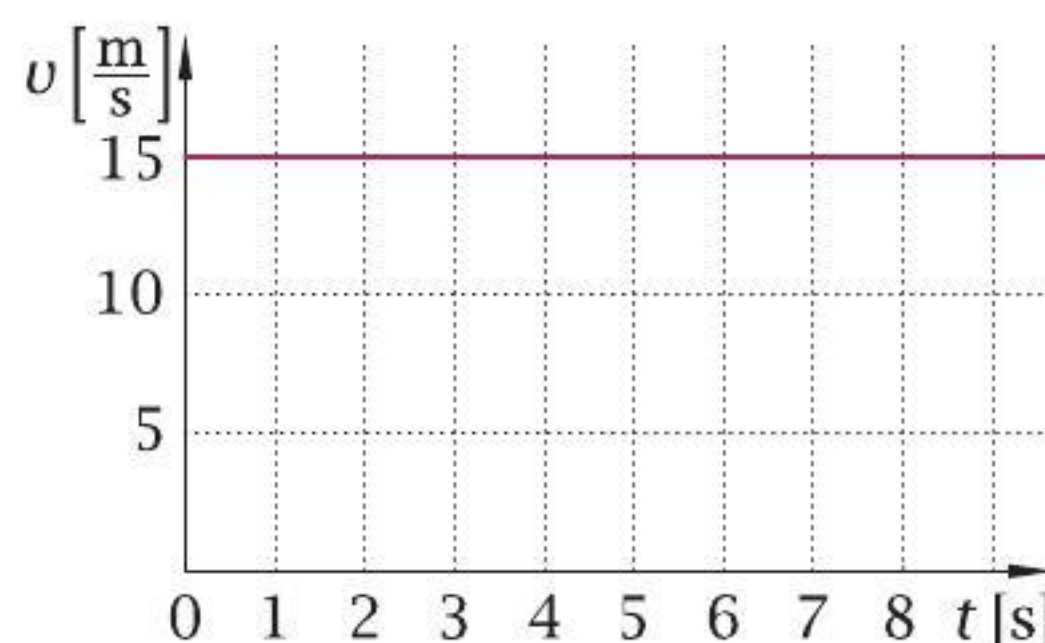


Figurą pod wykresem w przykładzie 1 b) jest prostokąt, ale warto zauważyć, że nie jest to zwykły prostokąt znany z geometrii. „Długości” boków tego prostokąta są wyrażone w innych, na dodatek różnych, jednostkach: poziomy bok ma „długość”  $6 s$ , a pionowy ma „długość”  $3 \frac{m}{s}$ .

Odkryliśmy następującą własność:

Pole figury pod wykresem zależności  $v$  od  $t$  w wybranym przedziale czasu jest równe drodze przebytej w tym przedziale czasu.

**ĆWICZENIE 1.** Na wykresie pokazano zależność prędkości motorówki od czasu. Narysuj zależność drogi  $s$  od czasu  $t$  dla ruchu tej motorówki, w przedziale od chwili  $0 s$  do chwili  $8 s$ . Jaki kształt będzie mieć wykres zależności  $s$  od  $t$ ? Ilu punktów, opisujących położenie ciała potrzebujesz, aby narysować ten wykres?



## Czas w ruchu jednostajnym

**i Dla dociekliwych**

$$\begin{aligned} v &= \frac{s}{t} & | \cdot t \\ v \cdot t &= s & | : v \\ t &= \frac{s}{v} \end{aligned}$$

Znając prędkość  $v$ , z jaką poruszało się ciało, oraz wiedząc, jaką drogę  $s$  pokonało, można obliczyć czas trwania tego ruchu. Po przekształceniu wzoru  $v = \frac{s}{t}$  otrzymamy:

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

### PRZYKŁAD 2.

Oblicz, ile czasu zajęło Hasto przejechanie  $100 m$  z górki z prędkością  $5 \frac{m}{s}$ .

**Dane:**

$s = 100 m$  — droga

$v = 5 \frac{m}{s}$  — prędkość

**Szukane:**

$t = ?$  — czas zjazdu

**Rozwiązanie:**  $t = \frac{s}{v}$

$$t = \frac{100 m}{5 \frac{m}{s}} = \frac{100}{5} \frac{m}{\frac{m}{s}} = 20 m \cdot \frac{s}{m} = 20 s$$

**Odp.** Zjazd trwał  $20 s$ .

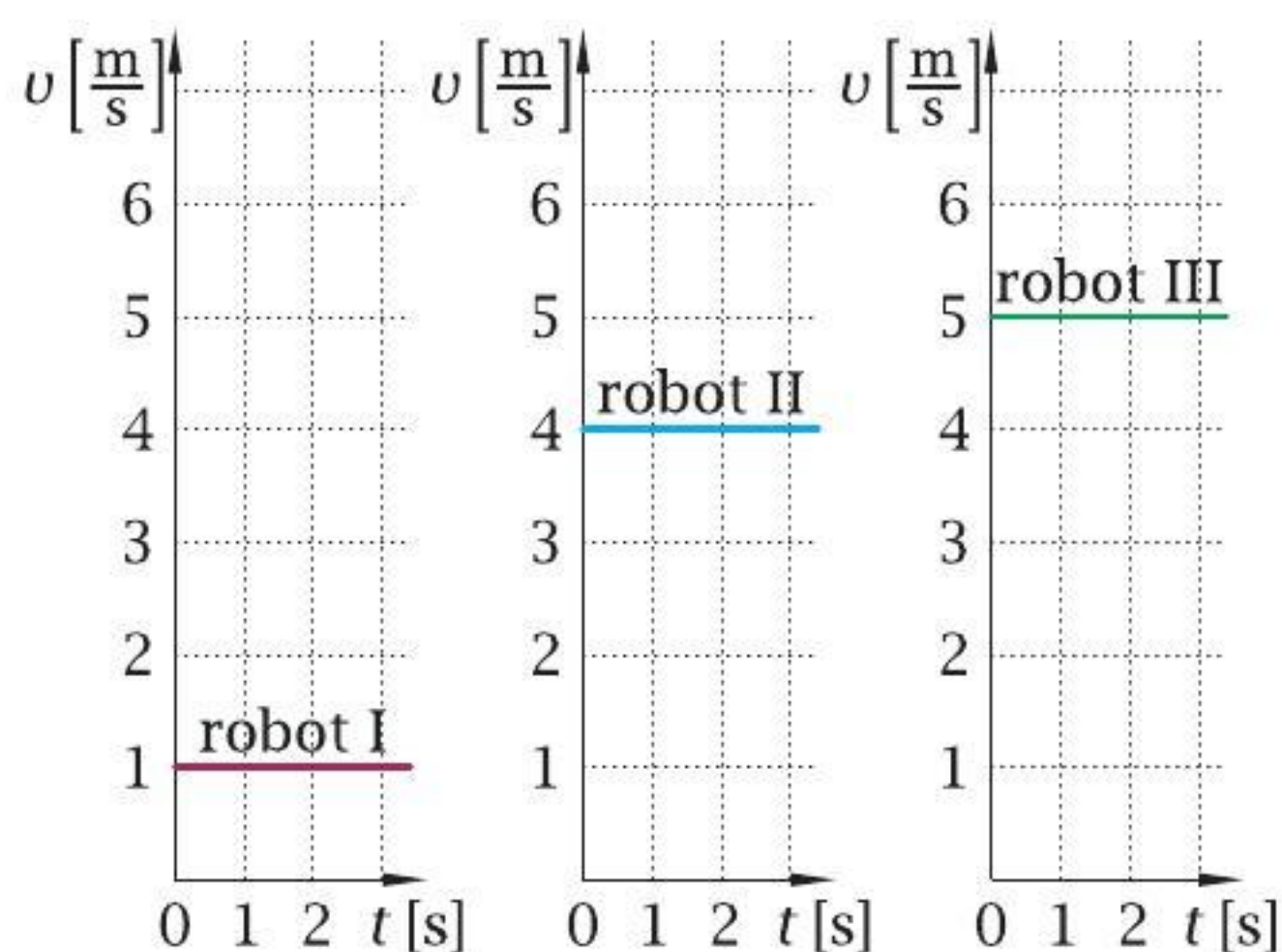


**ĆWICZENIE 2.** Jacht przepłynął  $20 km$  z prędkością  $50 \frac{km}{h}$ . Oblicz czas tej podróży.



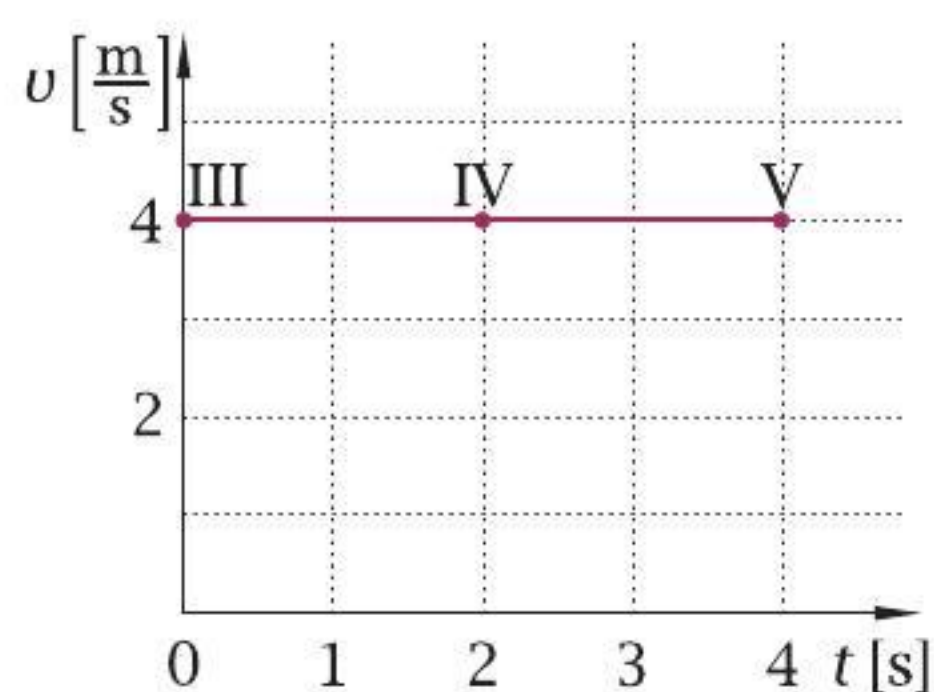
### Zadanie 1. Roboty

Wykresy przedstawiają zależności prędkości trzech robotów od czasu. Podaj prędkość każdego robota w chwili rozpoczęcia pomiaru ruchu oraz drogę pokonaną przez robota w ciągu 3 sekund ruchu.



### Zadanie 2. Windy

Poniższy wykres przedstawia zależność prędkości szybkiej windy od czasu. Cyframi rzymskimi oznaczono piętra, a punkty wskazują chwile, w których podłoga windy znajdowała się na poziomie podłogi danego piętra.



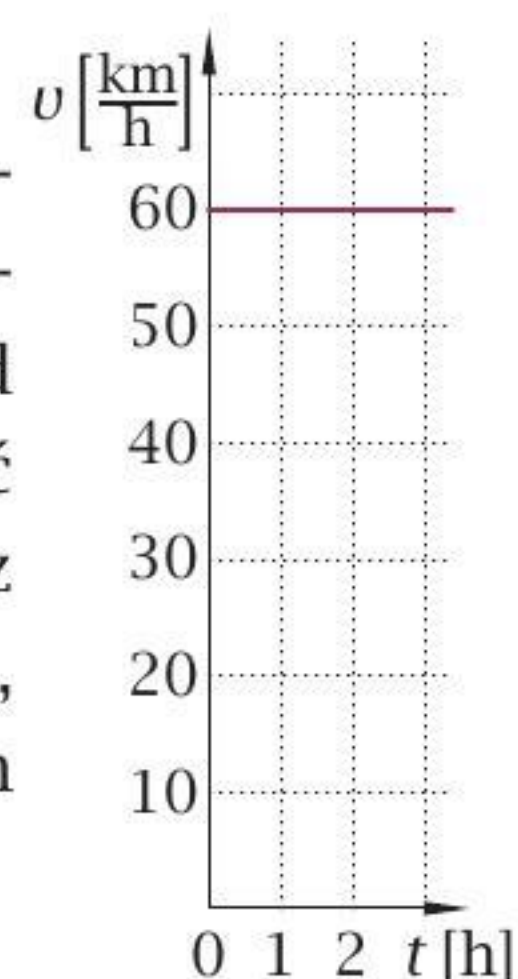
a) Uzupełnij tekst.

W momencie, gdy rozpoczęto pomiar, winda poruszała się z prędkością ... Winda przejeżdżała przez IV piętro z prędkością ... Przejazd pomiędzy III a V piętrem zajął jej ... s.

b) Oblicz, ile jest metrów pomiędzy IV a V piętrem.

### Zadanie 3. Okręt

Na wykresie obok pokazano zależność prędkości  $v$  pewnego okrętu od czasu  $t$ . Narysuj zależność drogi  $s$  przebytej przez ten okręt od czasu  $t$ , w przedziale od chwili 0 h do chwili 3 h.



### Zadanie 4. Dźwięk dzwonu

Oblicz, po jakim czasie od uderzenia w dzwon usłyszymy dźwięk, jeśli stoimy w odległości 680 m od dzwonu, a prędkość dźwięku w powietrzu wynosi około  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

### Zadanie 5. Prędkość światła

Światło odbite od Księżyca podróżuje w kierunku Ziemi z prędkością około  $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ . Odległość od powierzchni Księżyca do powierzchni Ziemi zmienia się, ale w pewnym momencie jest równa około 390 000 km. Oblicz czas, po którym światło z Księżyca dotrze na Ziemię.

### Zadanie 6. Spotkanie w trasie

Równocześnie z wioski Miła wyjechała Weritka, a z wioski Drusy wyruszył Hasto. Na początku Weritka i Hasto byli oddaleni od siebie o 3,5 km. Oboje jechali po prostej ścieżce łączącej obie wioski. Weritka poruszała się z prędkością  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a Hasto jechał z prędkością  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

a) Oblicz czas od wyjazdu Weritki i Hasto z wiosek do chwili spotkania.

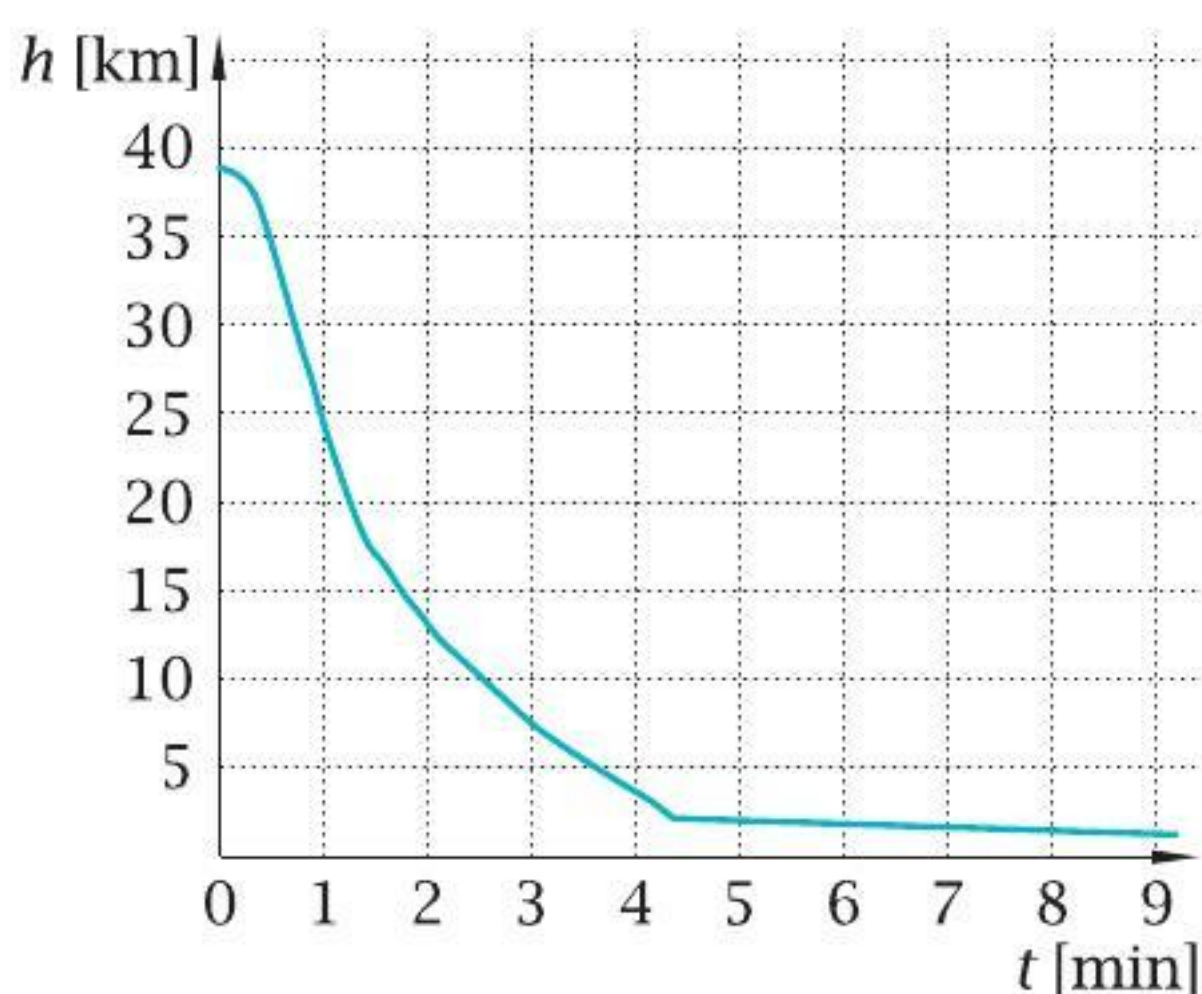
b) Oblicz odległość od wioski Miła do miejsca spotkania.



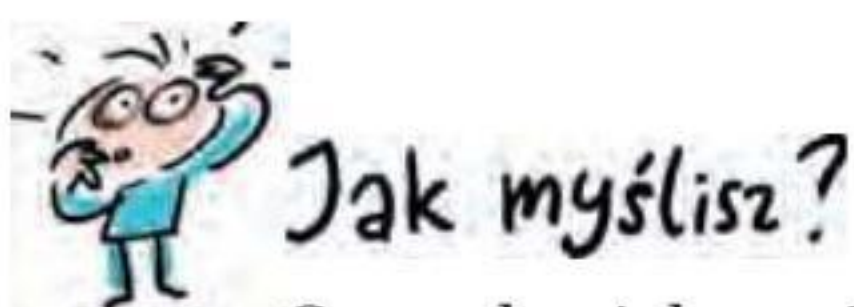
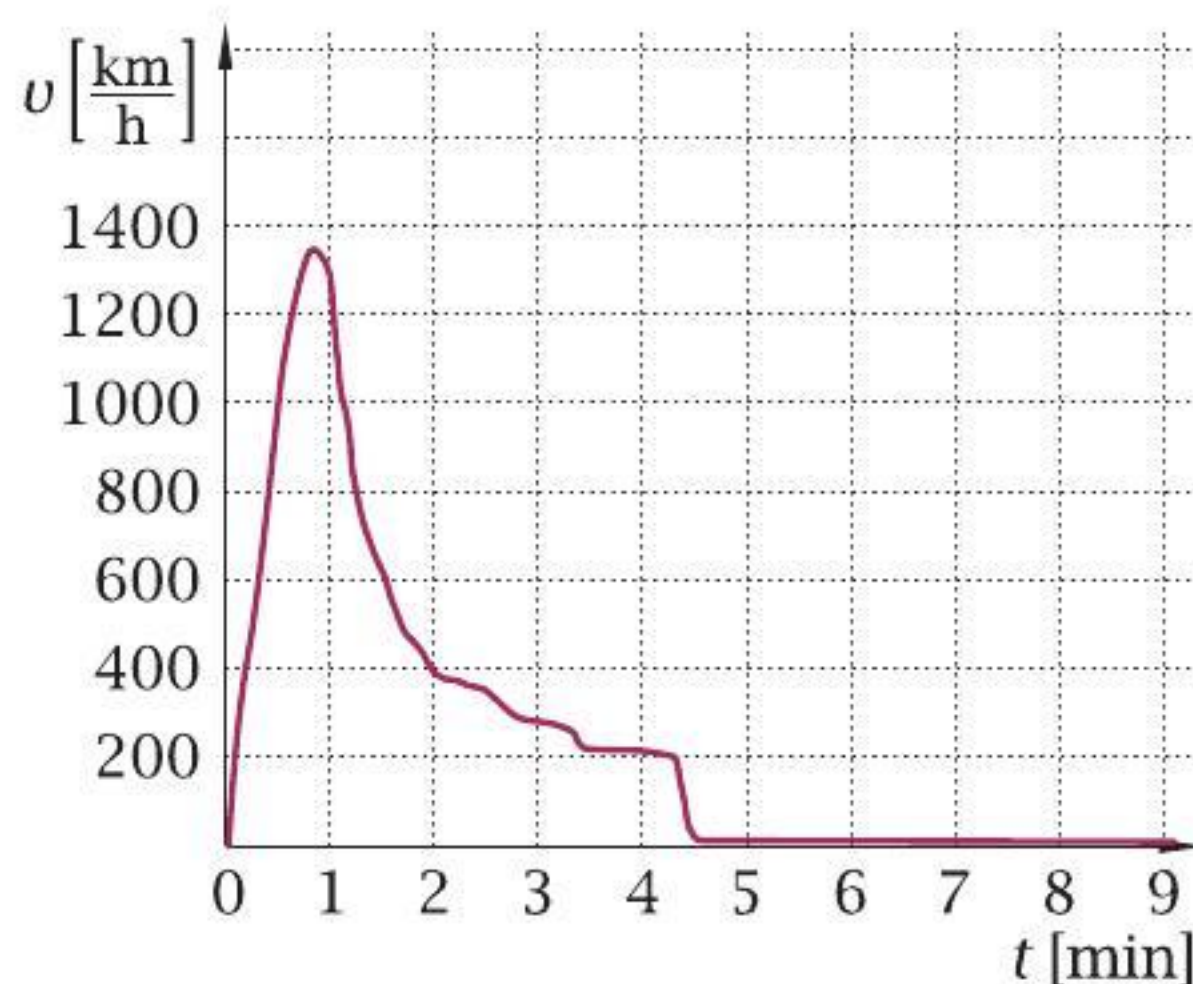
### Zadanie 7. Skok ze stratosfery

Poniższe wykresy opisują spadanie Felixa Baumgartnera podczas rekordowego skoku ze spadochronem w 2012 roku (zob. str. 158). Niebieska linia przedstawia zależność wysokości  $h$  nad poziomem morza od czasu  $t$ . Linia bordowa pokazuje zależność prędkości  $v$  skoczka od czasu  $t$ .

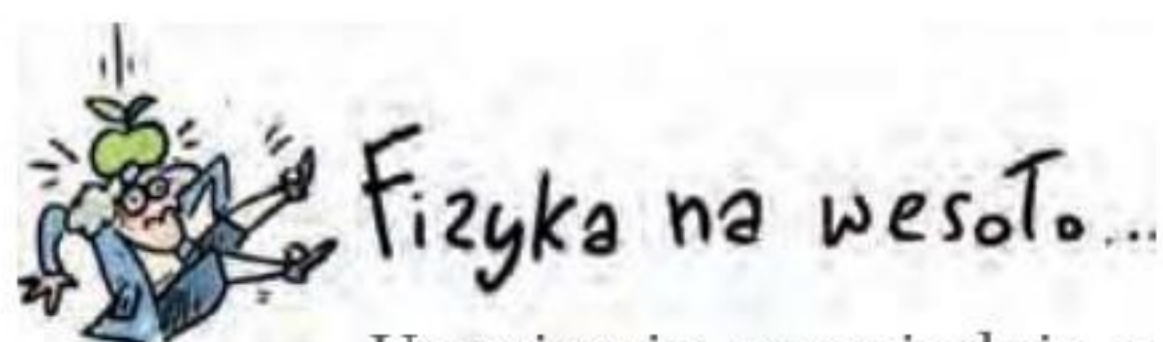
- a) Podaj przybliżoną drogę przebytą przez skoczka.
- b) Na jakiej wysokości był skoczek po 1 minucie spadania?



- c) Ustal, ile razy skoczek osiągnął prędkość  $1000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .
- d) Zapisz przybliżony czas liczony od początku spadania, po którym skoczek osiągnął maksymalną prędkość.
- e) Czy skoczek przekroczył prędkość dźwięku? Przyjmij, że prędkość dźwięku wynosi  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
- f) Na podstawie wykresów spróbuj zweryfikować informację, że spadochron zaczął się otwierać po około 4 minutach i 20 sekundach spadania.



- Czy człowiek czuje prędkość?
- Jak zmienia się prędkość spadającej kulki? Jak zmienia się prędkość kulki rzuconej pionowo w górę?
- Co hamuje spadającego w powietrzu skoczka i utrudnia pobicie rekordu prędkości?

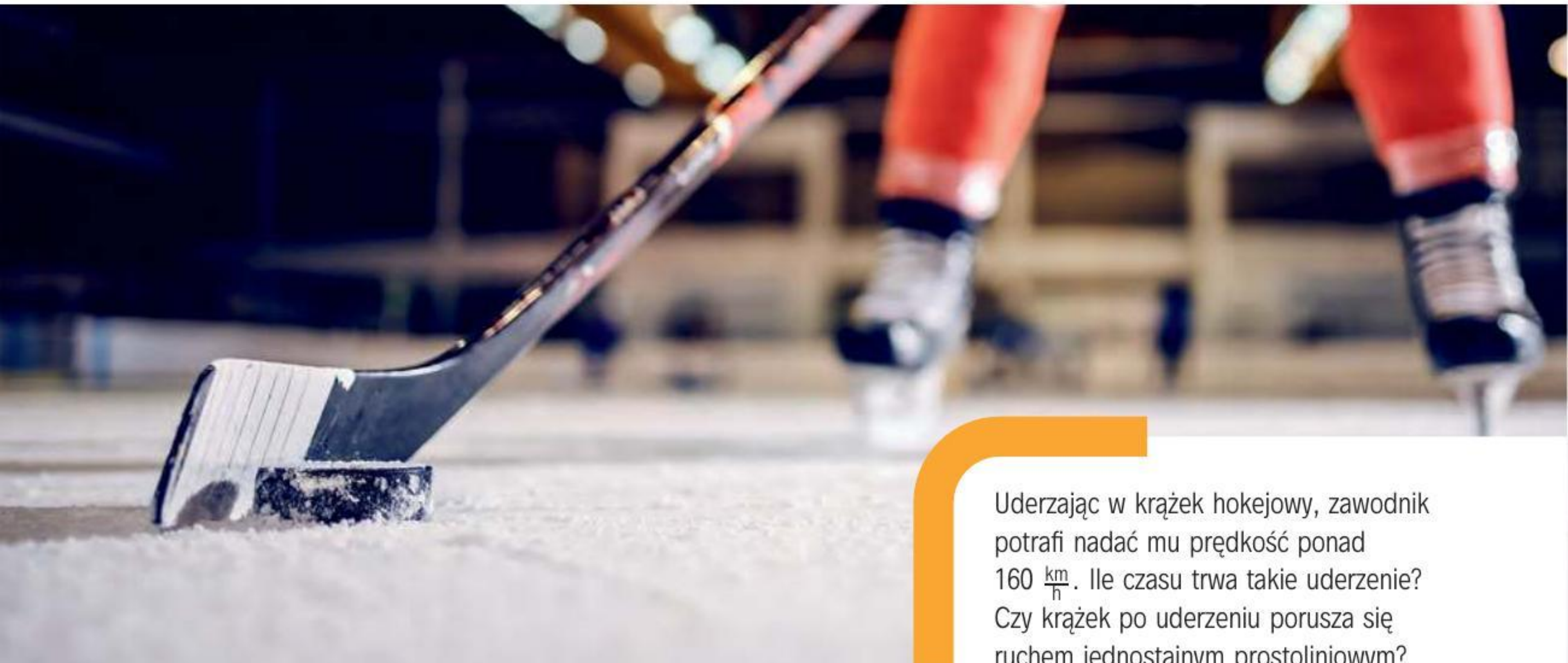


Uczniowie opowiadają o swoich rekordach w zbieganiu po schodach.

- Z drugiego piętra to jestem szybsza niż mój starszy brat.
- A ja wyrzucam jabłko na trzecim i łapię je na dole, zanim upadnie.
- Nieźle, ale ja jestem lepszy... Gdy wybiegam na chodnik, to widzę siebie jeszcze w oknie na czwartym!



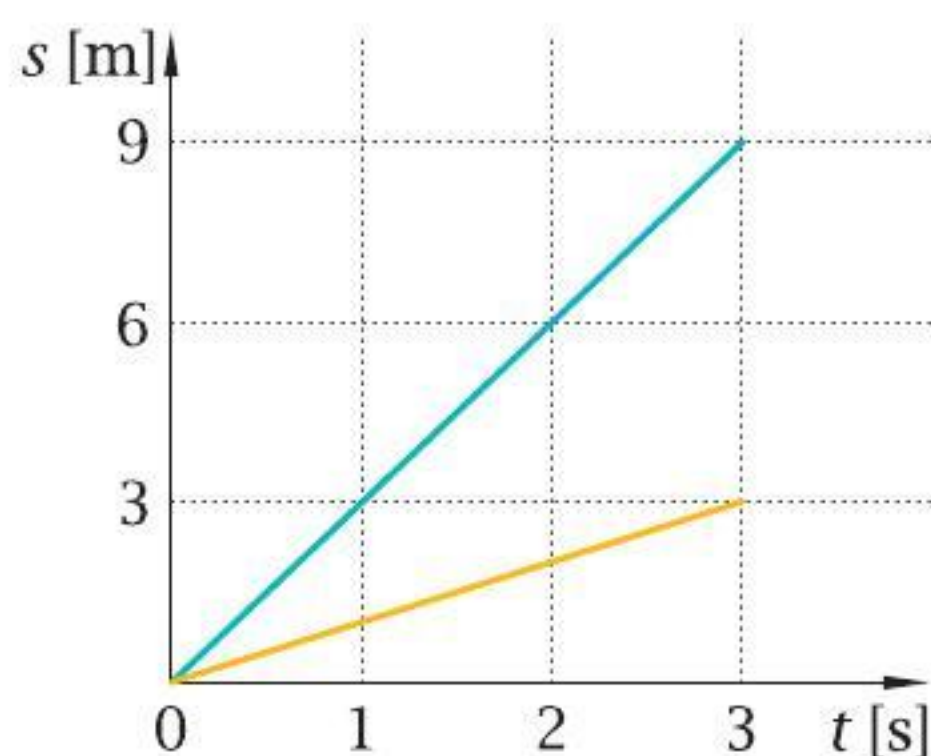
# 23 Ruch odcinkami jednostajny



Uderzając w krążek hokejowy, zawodnik potrafi nadać mu prędkość ponad  $160 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Ile czasu trwa takie uderzenie? Czy krążek po uderzeniu porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym?

## Nachylenie wykresu $s$ od $t$

Poniższe wykresy opisują ruch dwóch krążków hokejowych, niebieskiego i żółtego. Który z tych krążków poruszał się szybciej?



Wykresy zależności drogi  $s$  od czasu  $t$  dla krążków niebieskiego i żółtego.

Krążek **niebieski** w czasie 3 sekund pokonał 9 metrów. Oznacza to, że jego prędkość to  $v = \frac{9 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Natomiast **żółty** krążek w ciągu 3 sekund pokonał 3 metry. Jego prędkość to  $v = \frac{3 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Z tego wynika, że krążek niebieski poruszał się z większą prędkością.

Można to stwierdzić bez obliczeń, tylko na podstawie wyglądu wykresu. Im bardziej stromy jest wykres zależności drogi  $s$  od czasu  $t$ , tym większa jest prędkość.

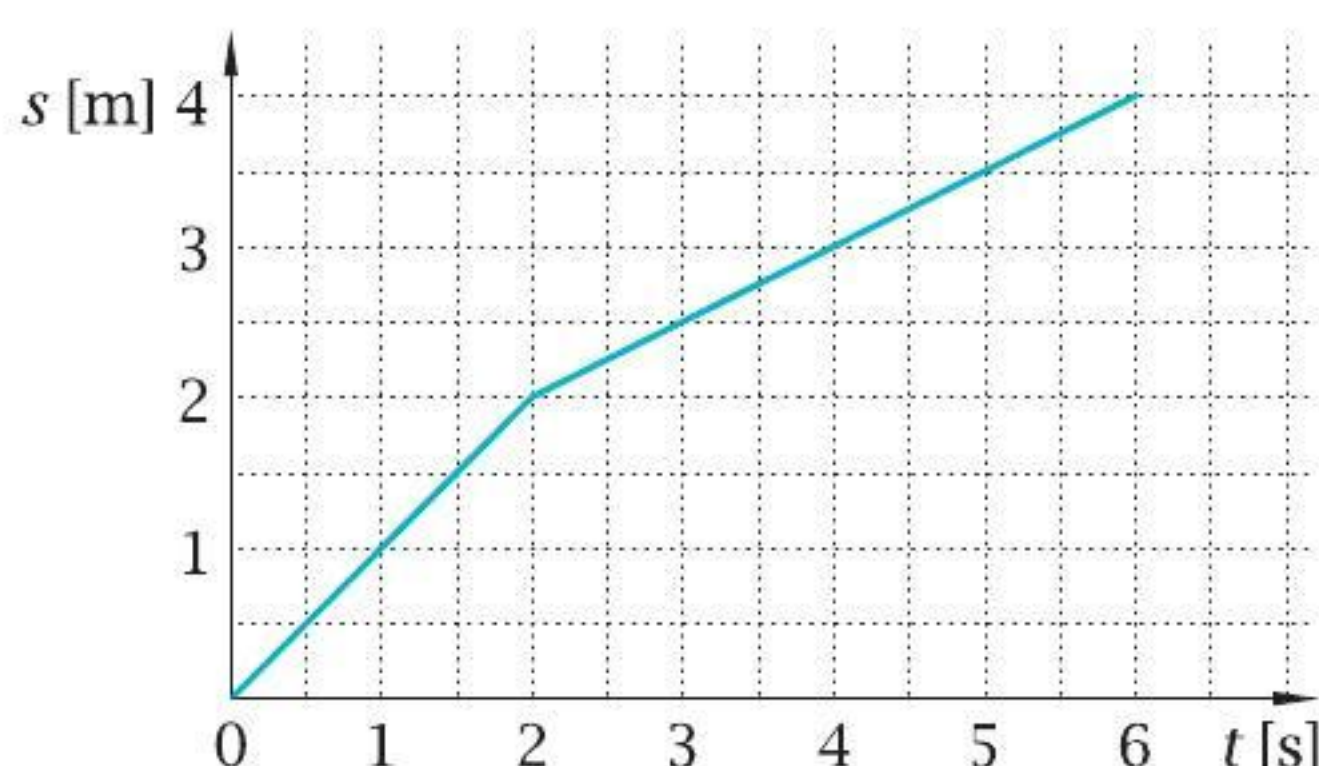
### Cel lekcji 8

Nauczysz się opisywać ruch odcinkami jednostajny oraz analizować wykresy takiego ruchu.

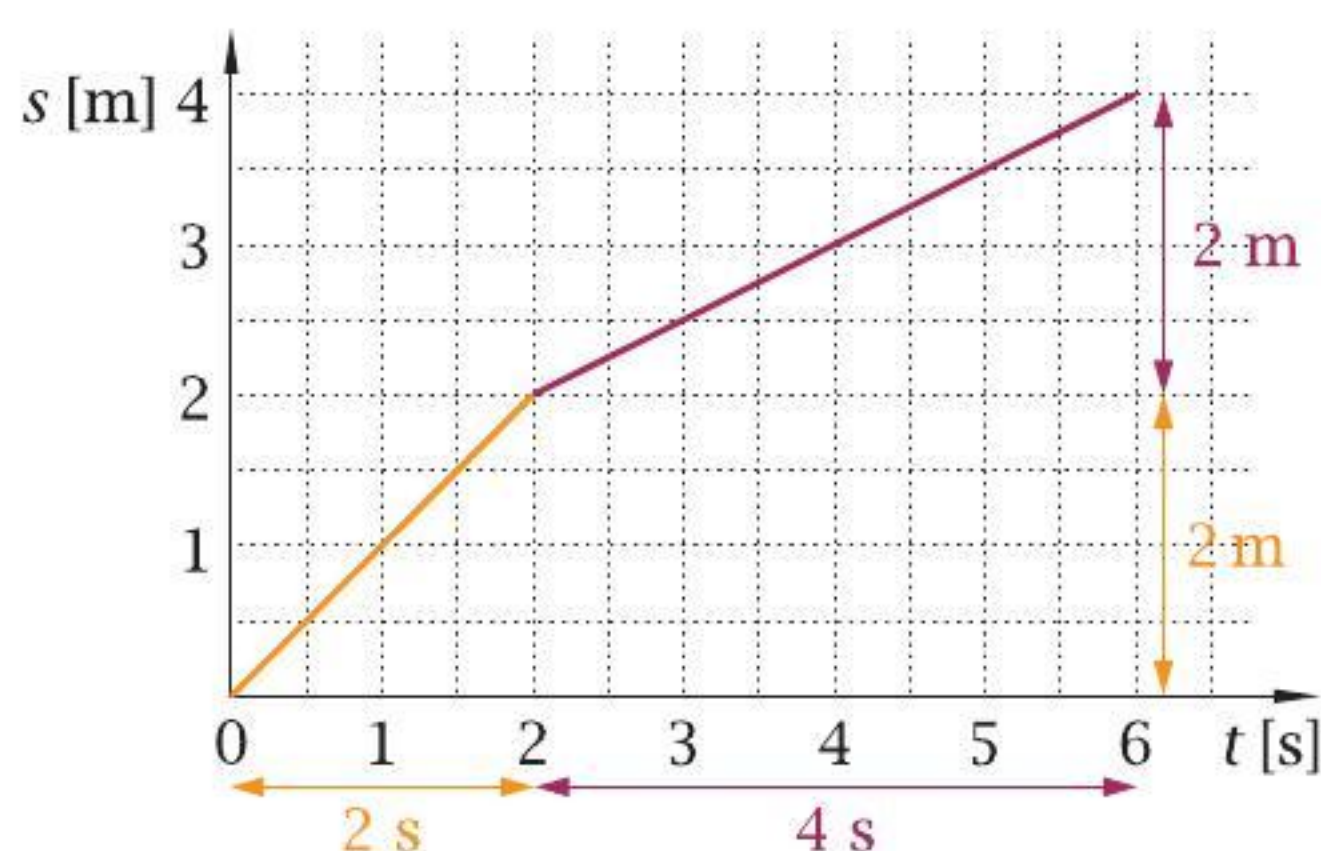


## Wykres $v$ od $t$

Pewien turysta wszedł do jeziora, a następnie zaczął płynąć. Poniższy wykres przedstawia zależność przebytej przez niego drogi  $s$  od czasu  $t$ .



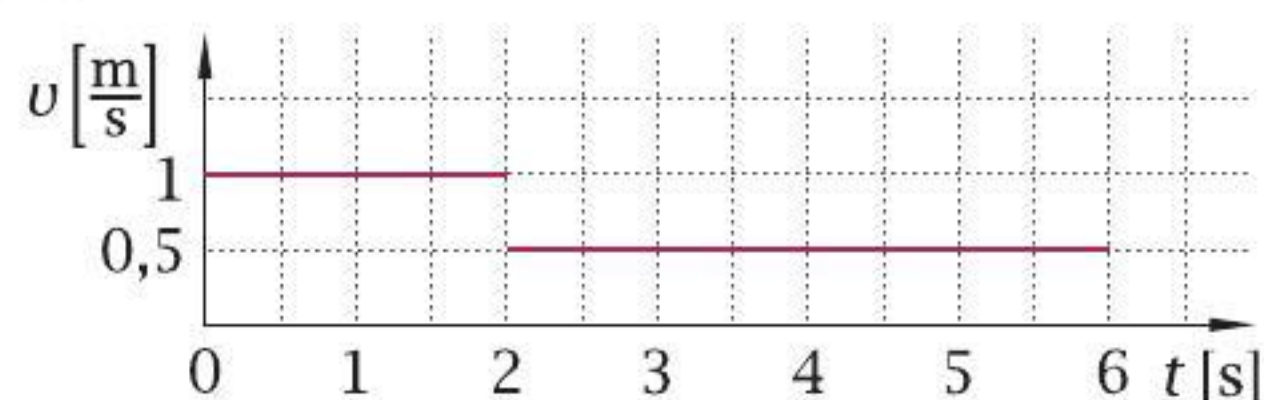
Wykres składa się z dwóch fragmentów prostej, z których każdy jest inaczej nachylony do osi czasu  $t$ . Obliczmy prędkości w dwóch przedziałach czasu: podczas początkowych **dwóch sekund** oraz w kolejnych **czterech sekundach** ruchu.



W pierwszym etapie ruchu  $s = 2 \text{ m}$  oraz  $t = 2 \text{ s}$ , zatem prędkość to  $v = \frac{2 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Z taką prędkością turysta poruszał się od chwili 0 s do chwili 2 s, wchodząc do wody. Wynika to z tego, że w tym przedziale czasu wykres  $s$  od  $t$  jest fragmentem prostej (a więc prędkość nie zmienia się).

W drugim etapie ruchu  $s = 2 \text{ m}$  oraz  $t = 4 \text{ s}$ , zatem prędkość  $v = \frac{2 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Z taką prędkością poruszał się turysta, płynąc od chwili 2 s do chwili 6 s. Również w tym przedziale czasu wykres  $s$  od  $t$  jest fragmentem prostej.

Prędkość turysty w zależności od czasu można przedstawić na wykresie:





Od chwili 0 s do chwili 2 s prędkość się nie zmieniała i wynosiła  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (ruch był jednostajny). Od chwili 2 s do chwili 6 s ruch był również jednostajny, ale z prędkością  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Ruch od chwili 0 s do chwili 6 s nie był więc cały czas jednostajny — w chwili 2 s nastąpiła gwałtowna zmiana prędkości. Taki ruch nazywamy **ruchem odcinkami jednostajnym**.

### Warto wiedzieć

**Ruch odcinkami jednostajny** to ruch, który można podzielić na etapy tak, że w każdym z nich osobno ruch jest jednostajny.



Na każdym odcinku trasy prędkość sportowców jest inna.

### PRZYKŁAD 1.

Na wykresie przedstawiono zależność drogi  $s$ , pokonanej przez odrzutowiec, od czasu  $t$ . Narysuj wykres zależności prędkości  $v$  odrzutowca od czasu  $t$  w ciągu 4 godzin tego lotu.

**Rozwiązanie:** Odrzutowiec porusza się ruchem odcinkami jednostajnym. Pierwszy etap trwa od chwili 0 h do chwili 2 h, drugi — od chwili 2 h do chwili 4 h.

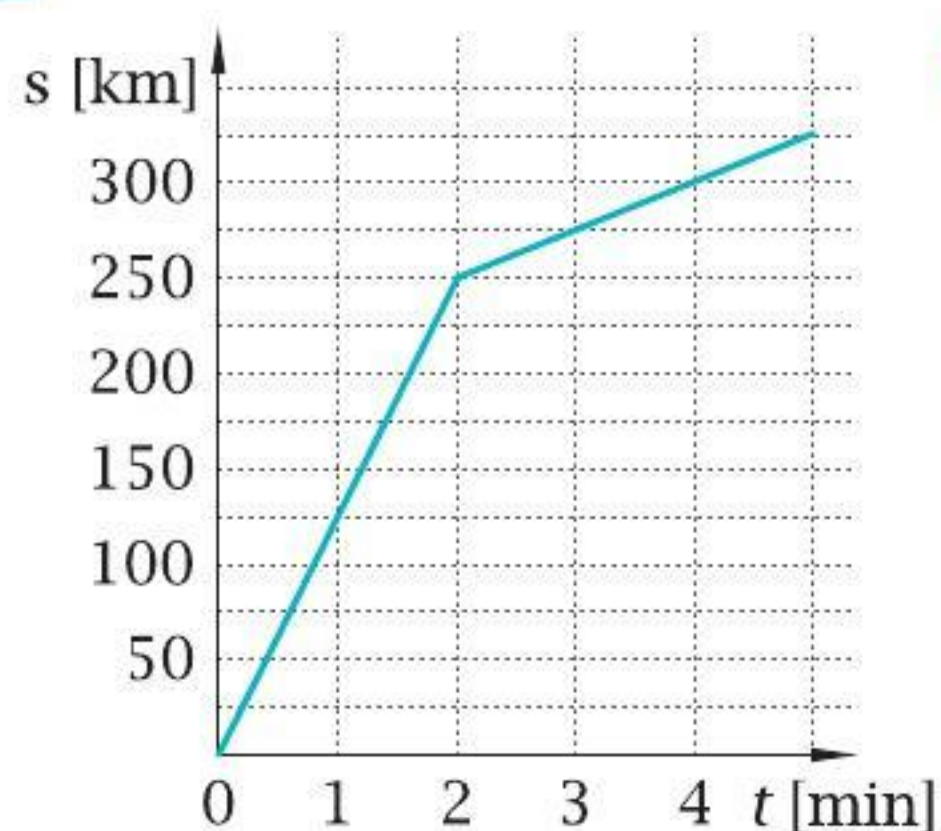
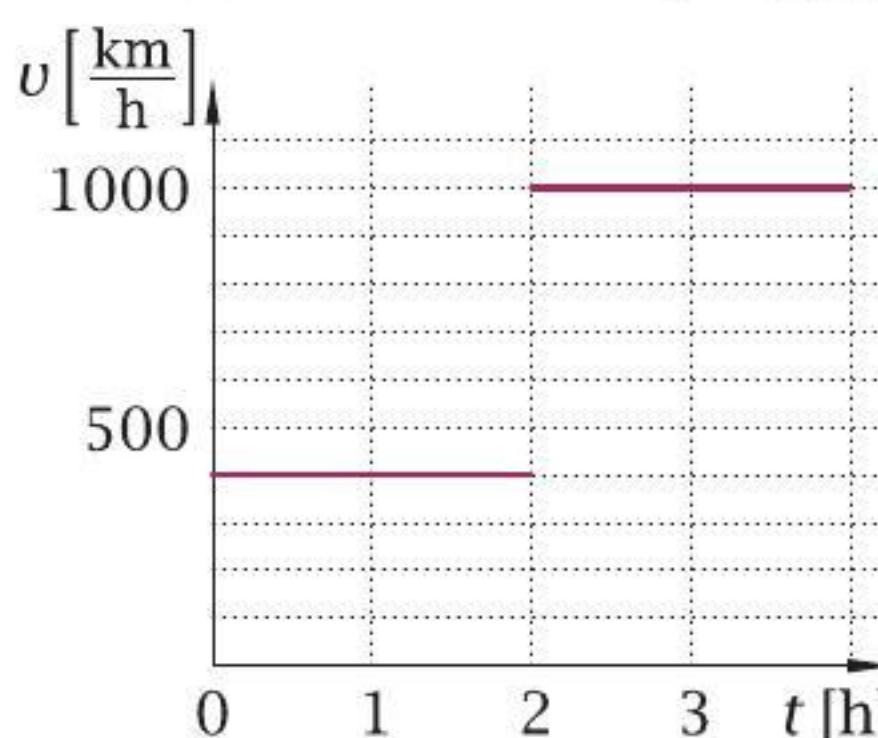
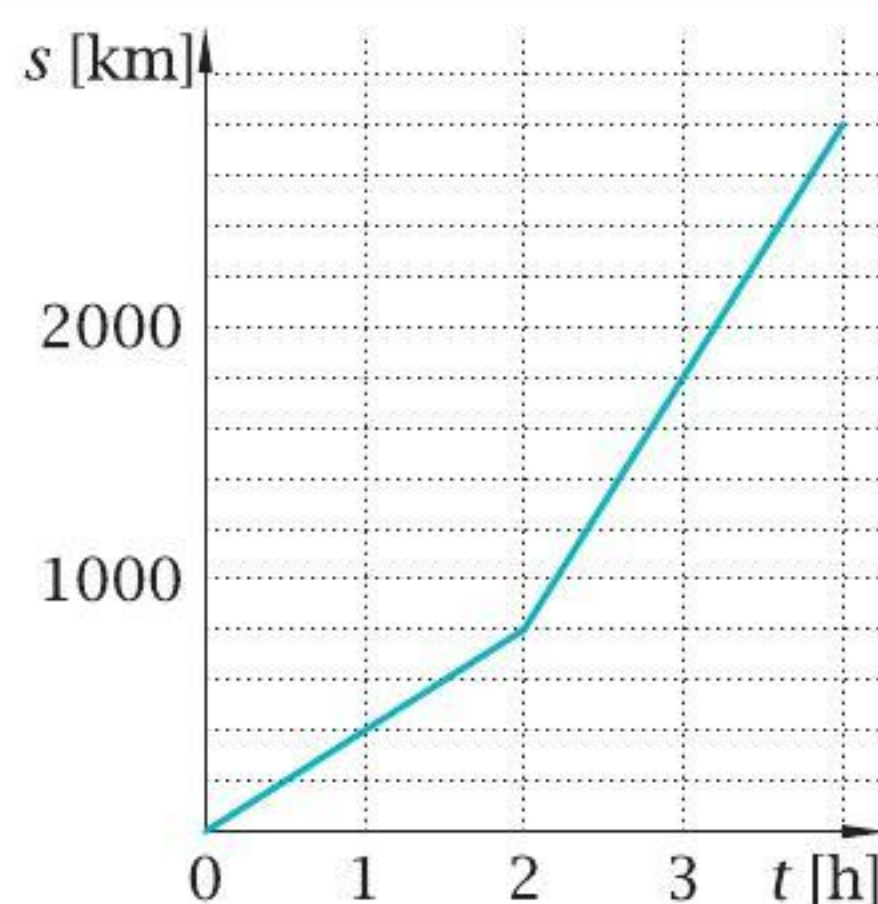
Od chwili 0 h do chwili 2 h prędkość jest równa:

$$v = \frac{800 \text{ km}}{2 \text{ h}} = 400 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

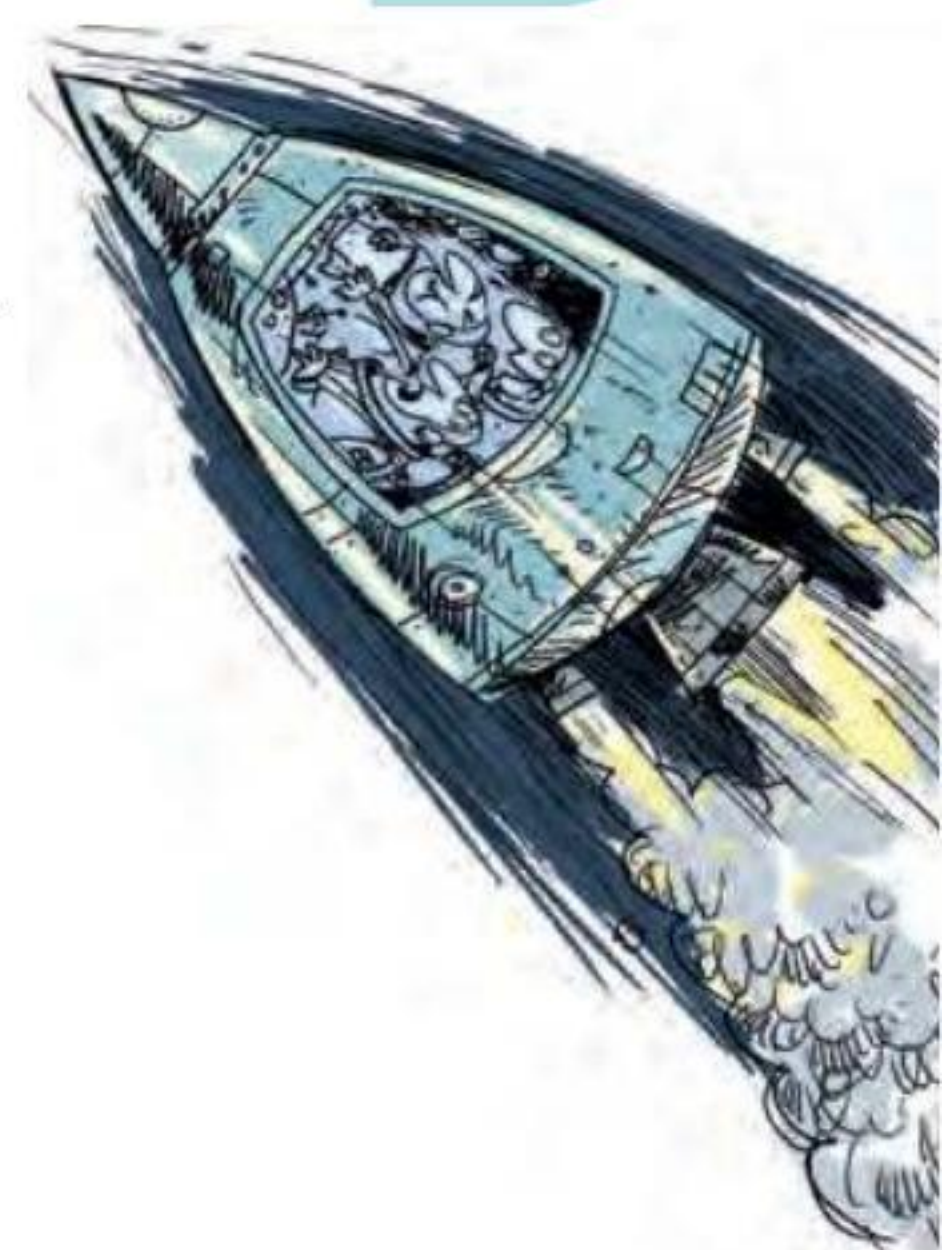
Od chwili 2 h do chwili 4 h prędkość jest równa:

$$v = \frac{(2800 - 800) \text{ km}}{(4 - 2) \text{ h}} = \frac{2000 \text{ km}}{2 \text{ h}} = 1000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Wykres  $v$  od  $t$  przedstawiono na rysunku obok.



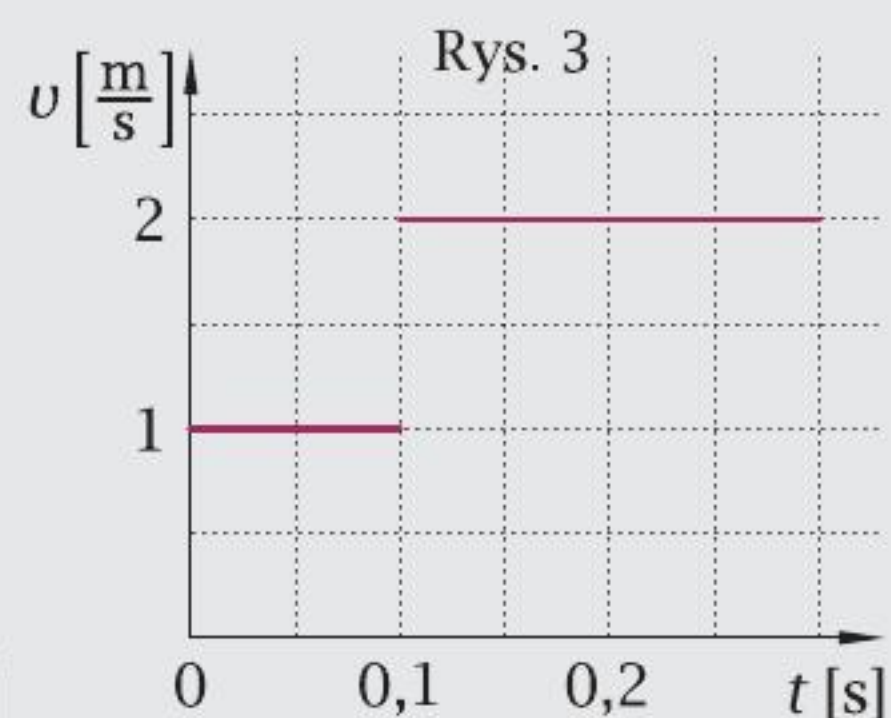
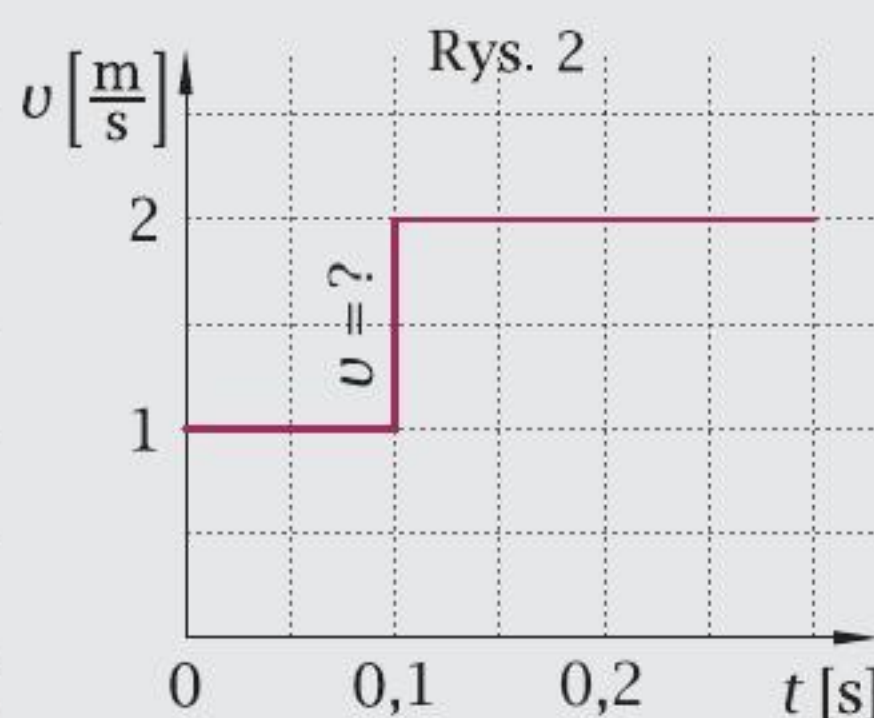
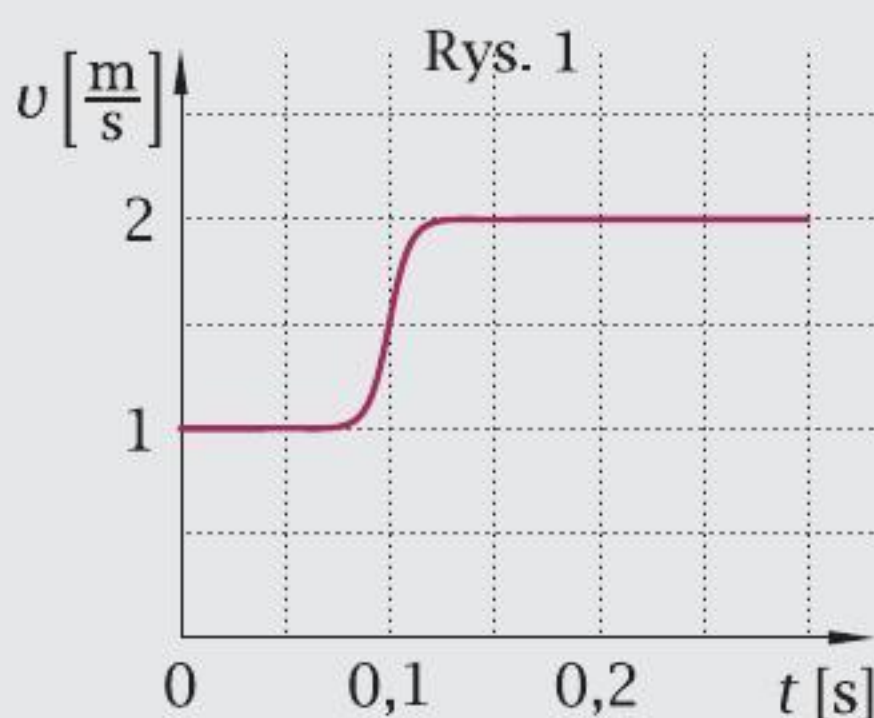
**ĆWICZENIE 1.** Na wykresie obok przedstawiono zależność drogi  $s$ , pokonanej przez rakietę, od czasu  $t$ . Narysuj wykres zależności prędkości  $v$  rakiety od czasu  $t$  w ciągu 5 minut lotu.





Czasami ciało bardzo gwałtownie zmienia swoją prędkość. Na przykład krążek odbity przez hokeistę. Każde ciało (nieważne jak twarde) choć trochę się ugina i obserwując takie odbicie w zwolnionym tempie, można zauważyć, że prędkość krążka zmienia się płynnie, choć bardzo szybko. Na rys. 1 widać, że prędkość ciała gwałtownie rośnie w okolicy chwili  $t = 0,1$  s.

Przy gwałtownej zmianie bez dokładnych pomiarów i tak nie uda się ustalić wartości prędkości w chwili  $0,1$  s (Rys. 2). Gdy duża dokładność nie jest aż tak istotna, można posługiwać się przybliżonymi wykresami prędkości i nie łączyć „schodków” (Rys. 3). W takim wypadku można powiedzieć, że tuż przed chwilą  $0,1$  s prędkość była równa  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a tuż po chwili  $0,1$  s była równa  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Pamiętaj jednak, że taki wykres jak na Rys. 3 to tylko przybliżenie, **zmiana prędkości zawsze jest płynna**.



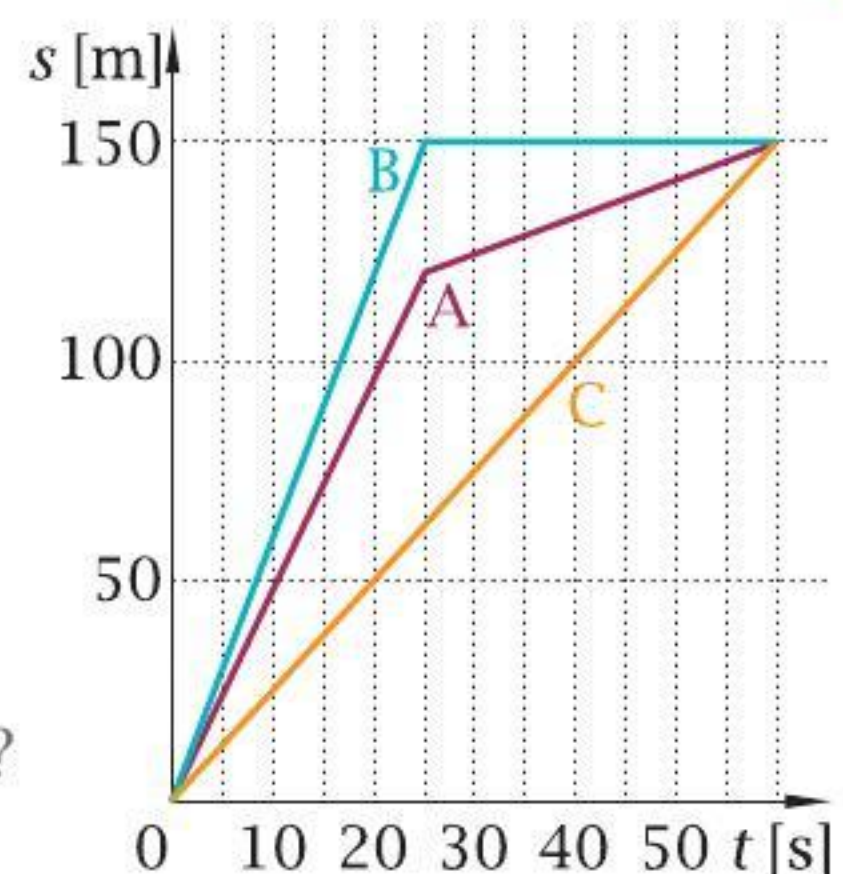
## Analiza wykresu s od t

Przyjrzyjmy się wykresom ruchu odcinkami jednostajnego.

### PRZYKŁAD 2.

Na wykresie obok przedstawiono drogę przebytą przez trzy roboty A, B i C w czasie 60 s.

- Który robot pierwszy i w jakim czasie przebył 150 m?
- Który robot ostatni przebył początkowe 100 m?  
Ile czasu mu to zajęło?
- Który robot poruszał się — choć na krótkim odcinku — z największą prędkością?
- Jaką drogę pokonał robot B od chwili 25 s do chwili 50 s?



**Odp.** a) Robot B pierwszy przejechał 150 m. Zajęło mu to 25 s.

b) Robot C ostatni pokonał 100 m. Zajęło mu to 40 s.

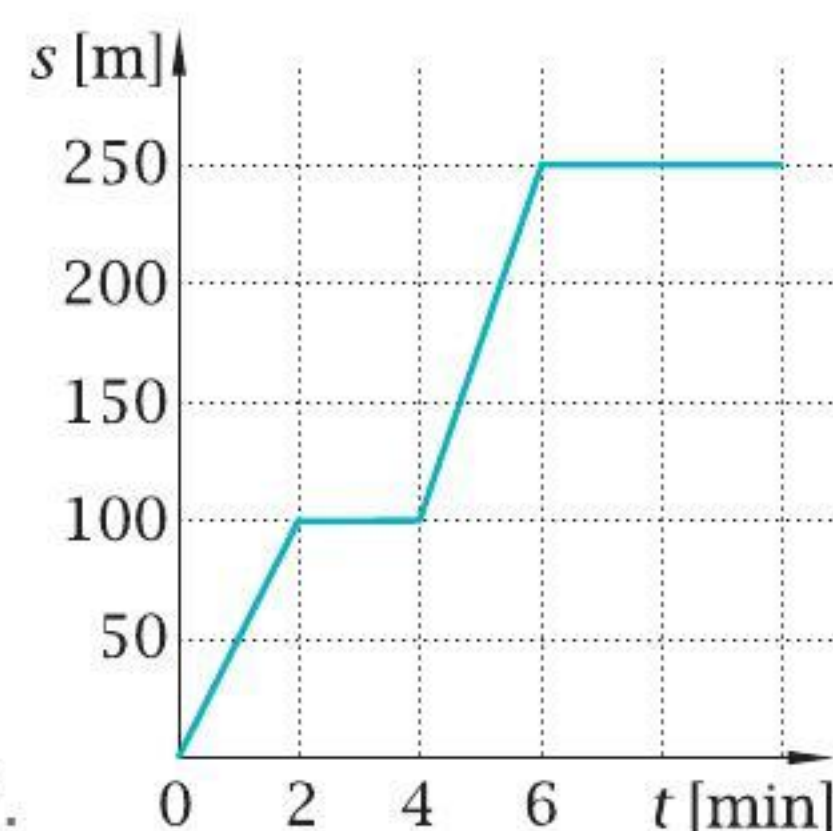
c) Najbardziej stromy jest fragment wykresu opisującego ruch robota B od chwili 0 s do chwili 25 s. W tym czasie poruszał się z największą prędkością.

d) Od chwili 25 s do chwili 50 s robot B nie przemieszczał się (pokonał 0 m).



**ĆWICZENIE 2.** Wykres przedstawia zależność drogi  $s$ , pokonanej przez spacerowicza, od czasu  $t$ . Ustal:

- drogę przebytą przez spacerowicza od chwili 0 min do chwili 10 min,
- drogę przebytą przez spacerowicza od chwili 4 min do chwili 6 min,
- kiedy spacerowicz nie przemieszczał się,
- w którym przedziale czasu przemieszczał się najszybciej.



Kolejny przykład pokazuje, jak narysować wykres zależności drogi  $s$  od czasu  $t$  dla ruchu odcinkami jednostajnego.

### PRZYKŁAD 3.

Obserwowano ruch robota sprząającego. Przez początkowe 4 s przebył on równym tempem 1 m. Następnie przez 2 s nie poruszał się, po czym przebył równym tempem 1 m w ciągu kolejnych 4 s. Narysuj wykres zależności drogi  $s$ , przebytej przez robota, od czasu  $t$ .

**Rozwiązanie:**

- Wykonaj tabelę opisującą kolejne etapy ruchu robota.

|                    | Etap I | Etap II | Etap III |
|--------------------|--------|---------|----------|
| Czas trwania etapu | 4 s    | 2 s     | 4 s      |
| Pokonana droga     | 1 m    | 0 m     | 1 m      |

- Określ całkowity czas trwania ruchu robota oraz przebytą drogę.

czas:  $4\text{ s} + 2\text{ s} + 4\text{ s} = 10\text{ s}$

droga:  $1\text{ m} + 0\text{ m} + 1\text{ m} = 2\text{ m}$

- Narysuj układ współrzędnych. Zakresy osi dobierz tak, aby wykres był czytelny. Możesz przyjąć np. że oś pozioma (czas) będzie mieć długość 10 kratek, a oś pionowa (droga) — 2 kratki.

- Zaznacz w układzie współrzędnych odpowiednie punkty:

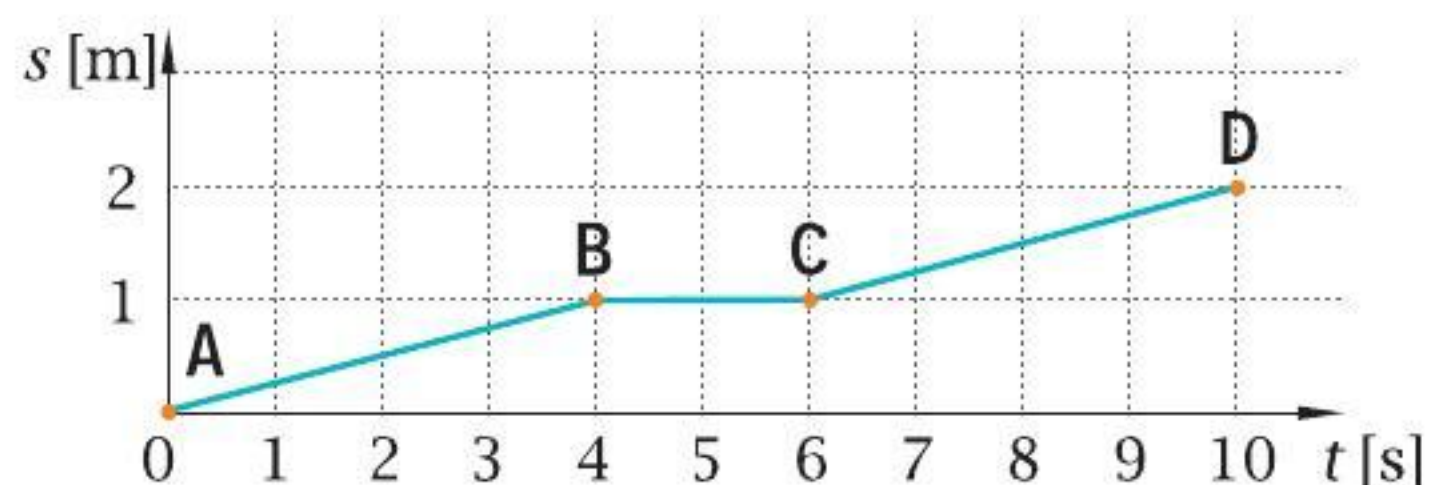
A. W chwili 0 s droga jest równa 0 m, bo dopiero zaczynamy pomiary. Jest to pierwszy punkt na wykresie.

B. Kolejny punkt to chwila 4 s i droga 1 m.

C. Od chwili 4 s do chwili 6 s robot spoczywał, więc nie zwiększała się przebyta przez niego droga — zaznacz punkt: chwila 6 s, droga 1 m.

D. Ostatni punkt to chwila 10 s i droga 2 m (bo w ostatnich 4 sekundach droga zwiększyła się o 1 m).

- Połącz punkty odcinkami. Każdy etap ruchu robota odbywał się równym tempem (ruch jednostajny), dlatego między punktami są fragmenty prostych.



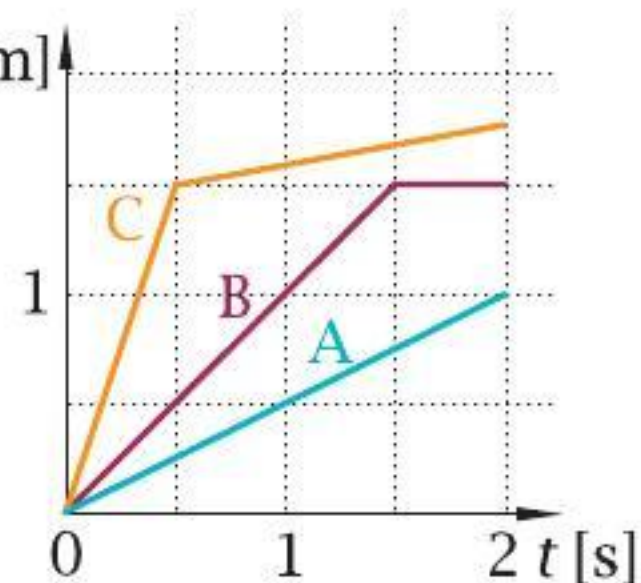


**ĆWICZENIE 3.** Łazik przez 4 s od początku pomiaru czasu przebył równym tempem 2 m. Następnie przez 3 s nie poruszał się, po czym przebył równym tempem 1 m w ciągu kolejnych 2 s. Narysuj wykres zależności drogi  $s$ , przebytej przez łazik, od czasu  $t$ .

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. Krążki

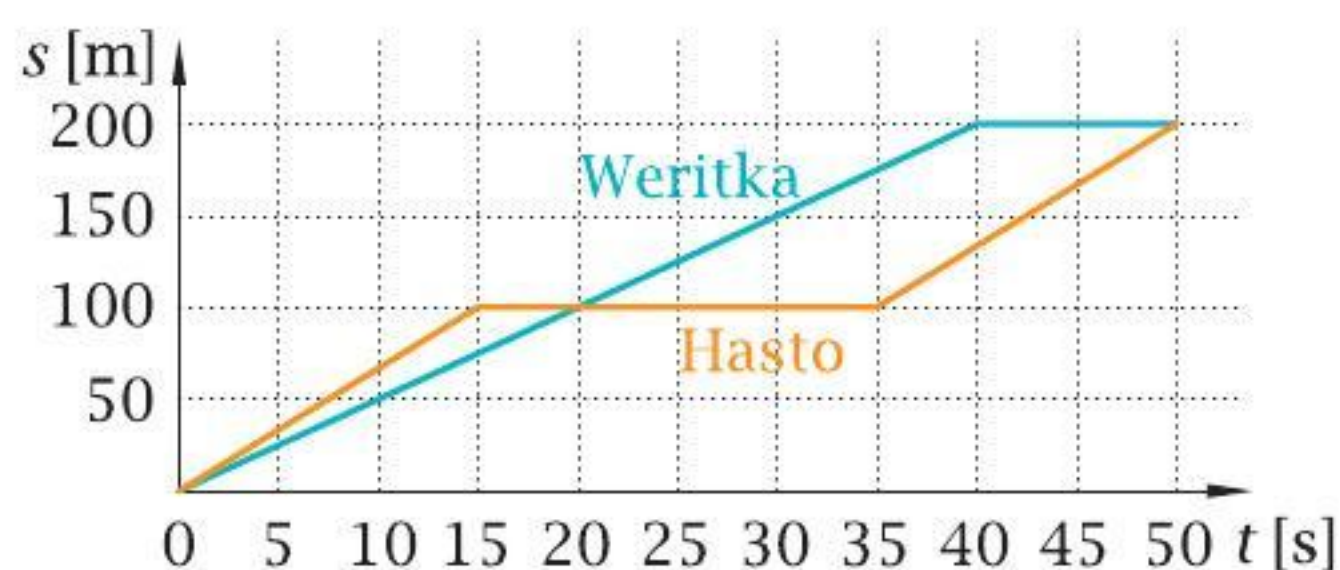
Na wykresie przedstawiono zależności drogi  $s$  od czasu  $t$  krążków poruszających się po stole.



- Który krążek poruszał się ruchem jednostajnym w pokazanym przedziale czasu?
- Czy krążek C poruszał się ruchem odcinkami jednostajnym?
- Który z krążków na pewno zatrzymał się w pokazanym przedziale czasu?

### Zadanie 2. Biegacze

Wykresy przedstawiają zależność drogi  $s$ , pokonanej przez Weritkę i Hasto, od czasu  $t$ .

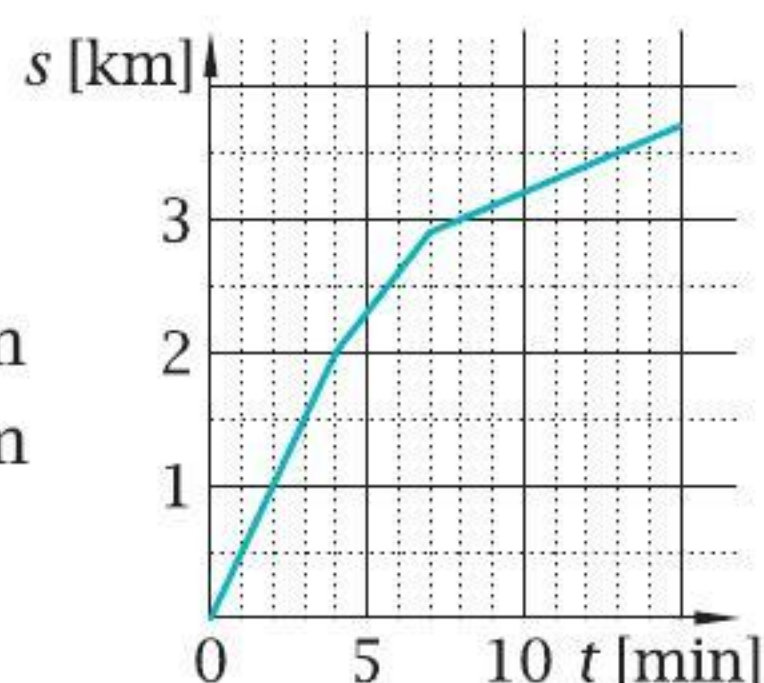


Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- Hasto przebiegł 200 m w dłuższym czasie niż Weritka.
- Weritka przebiegła początkowe 100 m w krótszym czasie niż Hasto.
- Hasto nie poruszał się od 20 do 30 sekundy.
- Weritka nie przemieszczała się od 30 do 40 sekundy.

### Zadanie 3. Żaglówka

Wykres opisuje zależność drogi  $s$ , przebytej przez żaglówkę, od czasu  $t$ . Od chwili 3 min do chwili 13 min żaglówka przebyła:

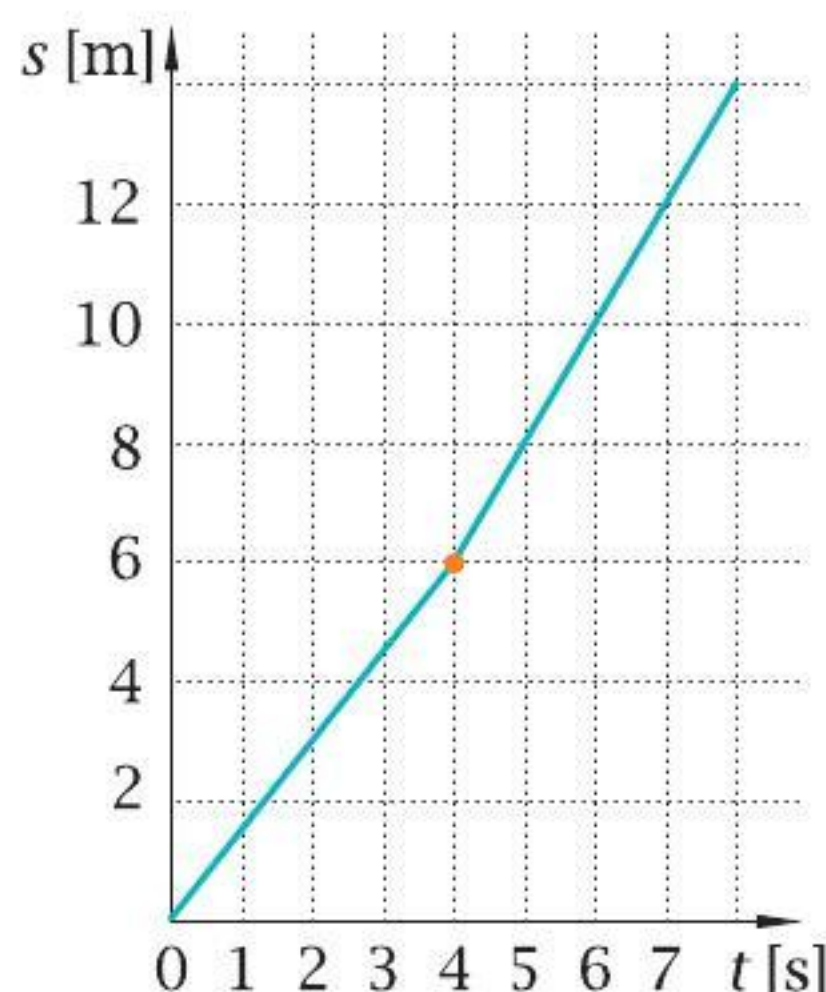


- 1 km
- 2 km
- 3 km
- 4 km

### Zadanie 4. Żaglowóz

Na poniższym wykresie pokazano zależność drogi  $s$ , przebytej przez żaglowóz, od czasu  $t$ .

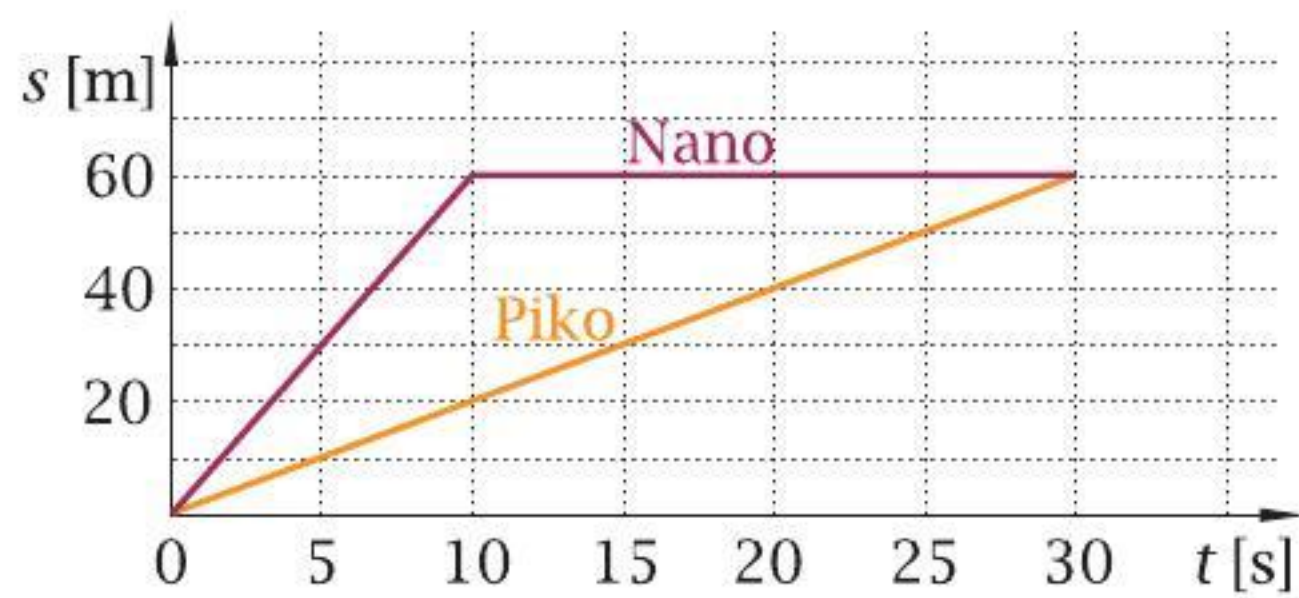
- Jaką drogę pokonał żaglowóz w ciągu początkowych 4 sekund ruchu, a jaką — w ciągu kolejnych 4 sekund?
- Oblicz prędkość żaglowożu od chwili 0 s do chwili 4 s.
- Oblicz prędkość pojazdu od chwili 4 s do chwili 8 s.





### Zadanie 5. Piko i Nano

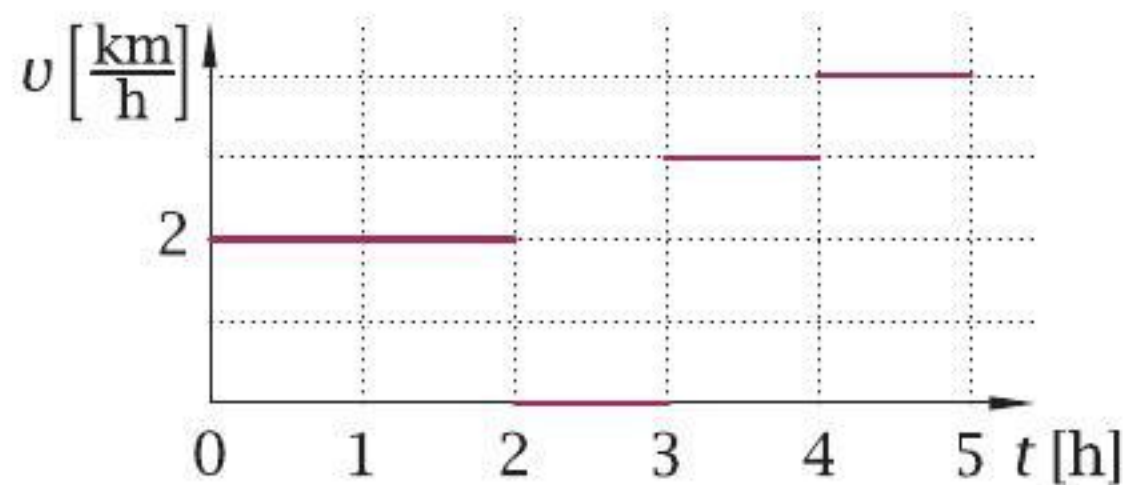
Wykresy opisują zależność  $s$  od  $t$  dla dwóch biegaczy: Piko i Nano. W chwili 0 s zawodnicy znajdowali się obok siebie.



- Który biegacz pierwszy pokonał dystans 60 m?
- Narysuj wykresy zależności  $v$  od  $t$  dla obu biegaczy od chwili 0 s do chwili 30 s.

### Zadanie 6. Wycieczka

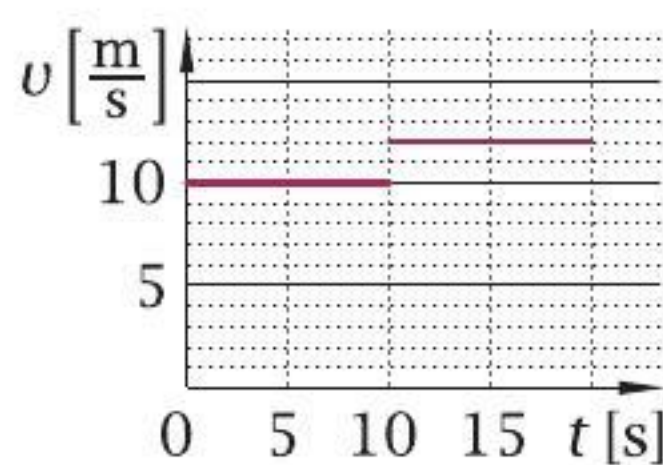
Wykres przedstawia zależność prędkości Weritki i Hasto od czasu wędrówki.



- Z jaką prędkością poruszali się podczas początkowych dwóch godzin?
- Jaka była ich największa prędkość?
- Podczas której godziny wędrówki ich prędkość była najmniejsza?

### Zadanie 7. Samochód elektryczny

Na wykresie przedstawiono zależność prędkości  $v$  samochodu elektrycznego od czasu  $t$ . Narysuj wykres  $s$  od  $t$  opisujący ruch tego samochodu od chwili 0 s do chwili 20 s.



**i** Drogę można obliczyć jako pole pod wykresem  $v$  od  $t$ . Zauważ, że ruch jest odcinkami jednostajny, więc drogę musisz obliczać etapami.

### Zadanie 8. Bieg

Dorota minęła punkt kontrolny z prędkością  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  i z tą prędkością biegła przez 150 s. Następnie z prędkością  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  poruszała się przez kolejnych 50 s. Przyjmij, że punkt kontrolny mijała w chwili 0 s. Narysuj wykres  $v$  od  $t$  dla tego ruchu.

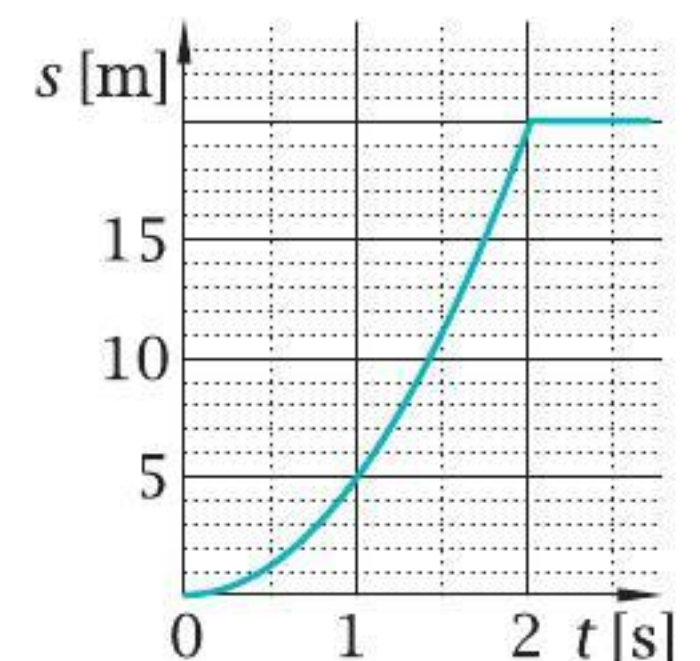
### Zadanie 9. Samochód

Samochód przebył 100 km w czasie 2 h. Następnie przez 1 h stał na parkingu, po czym przejechał 100 km w ciągu 1 h.

- Narysuj wykres  $s$  od  $t$  dla opisanej sytuacji. Załóż, że gdy samochód jechał, jego ruch był jednostajny.
- Kiedy poruszał się wolniej: przez początkowe 2 h czy od chwili 3 h do chwili 4 h?

### Zadanie 10. Spadająca kula

Ołowianą kulę upuszczono pionowo z okna wieży. Po uderzeniu w ziemię kula nie poruszała się. Wykres przedstawia zależność drogi  $s$ , przebytej przez kulę, od czasu  $t$ . Kulę upuszczono w chwili 0 s. Ustal:



- drogę przebytą przez kulę w pierwszej sekundzie ruchu,
- drogę przebytą przez kulę w drugiej sekundzie ruchu,
- wysokość, z jakiej upuszczono kulę,
- czas spadania kuli.



Jak myślisz?

- Jak wyglądają wykresy  $v$  od  $t$ , gdy prędkość nie jest stała?
- Czy gwałtowna zmiana prędkości jest bezpieczna dla człowieka?



# Lekcja dodatkowa. Prędkość średnia



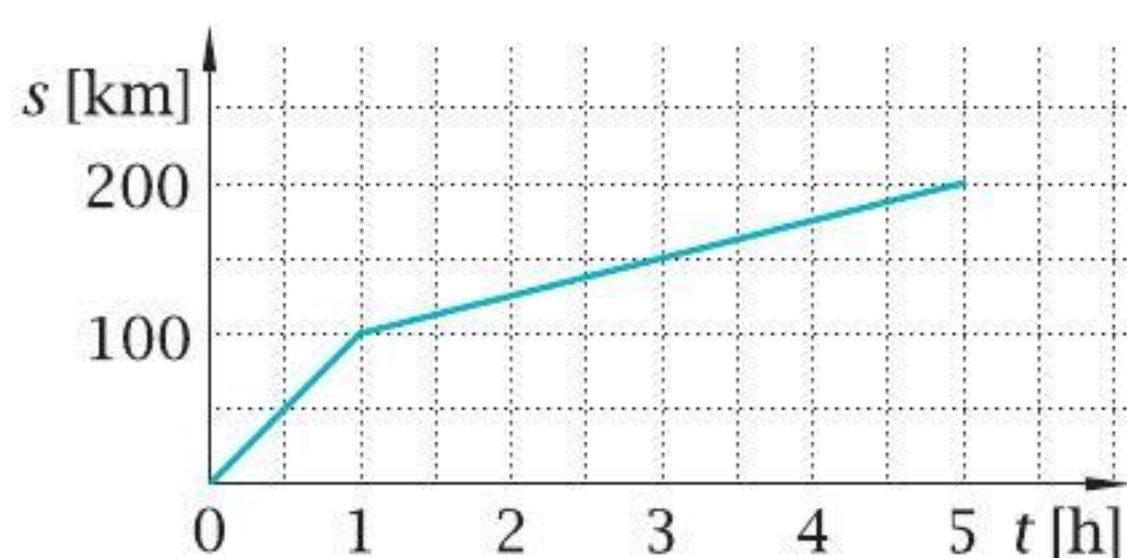
Na pewnym odcinku drogi ograniczenie prędkości wynosi  $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  i jest tam kontrolowana prędkość średnia. Czy pojazd, który osiągnął prędkość  $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  zostanie wykryty przez system?

## Cel lekcji

Dowiesz się, co to jest prędkość średnia oraz jak ją obliczyć. Nauczysz się rozróżniać prędkość średnią i chwilową.

## Jak oszacować czas podróży?

Prędkościomierz samochodu wskazał  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Czy na podstawie takiej informacji można wywnioskować, w jakim czasie ten samochód przejechał 200 km? Nie, ponieważ nie wiadomo, ile czasu jechał z taką prędkością. Prędkościomierz pokazuje **prędkość chwilową**, która nie pozwala na oszacowanie czasu podróży.



Podczas pierwszej godziny samochód poruszał się z prędkością  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Podczas kolejnych 4 godzin pokonał tylko 100 km, stąd jego prędkość na drugim etapie podróży to  $25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

Wykres obok przedstawia zależność drogi  $s$ , przebytej przez samochód, od czasu  $t$ . Podczas pierwszej godziny samochód poruszał się jednostajnie z prędkością  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , podczas kolejnych 4 godzin — jednostajnie z prędkością  $25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Obliczmy prędkość pojazdu, nie przejmując się zmianą tempa ruchu:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{200 \text{ km}}{5 \text{ h}} = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Taką prędkość nazywamy **prędkością średnią**, by podkreślić, że zmiany tempa ruchu zostały uśrednione. To bardzo praktyczna wielkość. W trakcie podróży poruszamy się z różnymi prędkościami: przyśpieszamy, zwalniamy, zatrzymujemy się. Co z tego, że przez chwilę jechaliśmy  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , jeśli przez większość czasu staliśmy w korku?



Prędkość średnia pozwala oszacować czas podróży.

$$\text{prędkość średnia} \rightarrow v_{\text{sr}} = \frac{s}{t}$$

droga  
czas, w którym droga została pokonana

#### Warto wiedzieć

Zauważ, że **prędkość średnia nie jest średnią arytmetyczną** prędkości z poszczególnych etapów.

#### PRZYKŁAD 1.

Rowerzysta przejechał 60 km w 2 godziny. Pozostałe 90 km przejechał w 4 godziny. Oblicz średnią prędkość rowerzysty podczas tej podróży.

**Dane:**

$$s_1 = 60 \text{ km} \quad s_2 = 90 \text{ km}$$
$$t_1 = 2 \text{ h} \quad t_2 = 4 \text{ h}$$

**Szukane:**

$$v_{\text{sr}} = ? \text{ — prędkość średnia}$$

**Rozwiązanie:**  $v_{\text{sr}} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} \quad v_{\text{sr}} = \frac{60 \text{ km} + 90 \text{ km}}{2 \text{ h} + 4 \text{ h}} = \frac{150 \text{ km}}{6 \text{ h}} = 25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

**Odp.** Średnia prędkość rowerzysty wynosiła  $25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

**ĆWICZENIE 1.** Weritka wyszła z domu na autobus. Początkowe 100 m pokonała w 50 s, kolejnych 40 m — w 30 s, a następnych 10 m — w 20 s. Oblicz, z jaką prędkością średnią się przemieszczała.

#### Doświadczenie

#### Średnia prędkość podróży

Wyznacz średnią prędkość swojej podróży na drodze większej niż 2 km. Możesz to zrobić w trakcie spaceru, przejażdżki rowerowej, przejazdu autobusem itp. Drogę odczytaj z mapy lub nawigacji.



### Czas na zadania!

**i** Wyniki obliczeń zaokrąglaj do trzech cyfr znaczących.

#### Zadanie 1. Droga do szkoły

O 7:42 Hasto wyszedł z domu do szkoły. O 7:57 znalazł się w szkole, oddalonej od domu o 1 km. Z jaką średnią prędkością się poruszał? Wyraż ją w  $\frac{\text{km}}{\text{min}}$ .

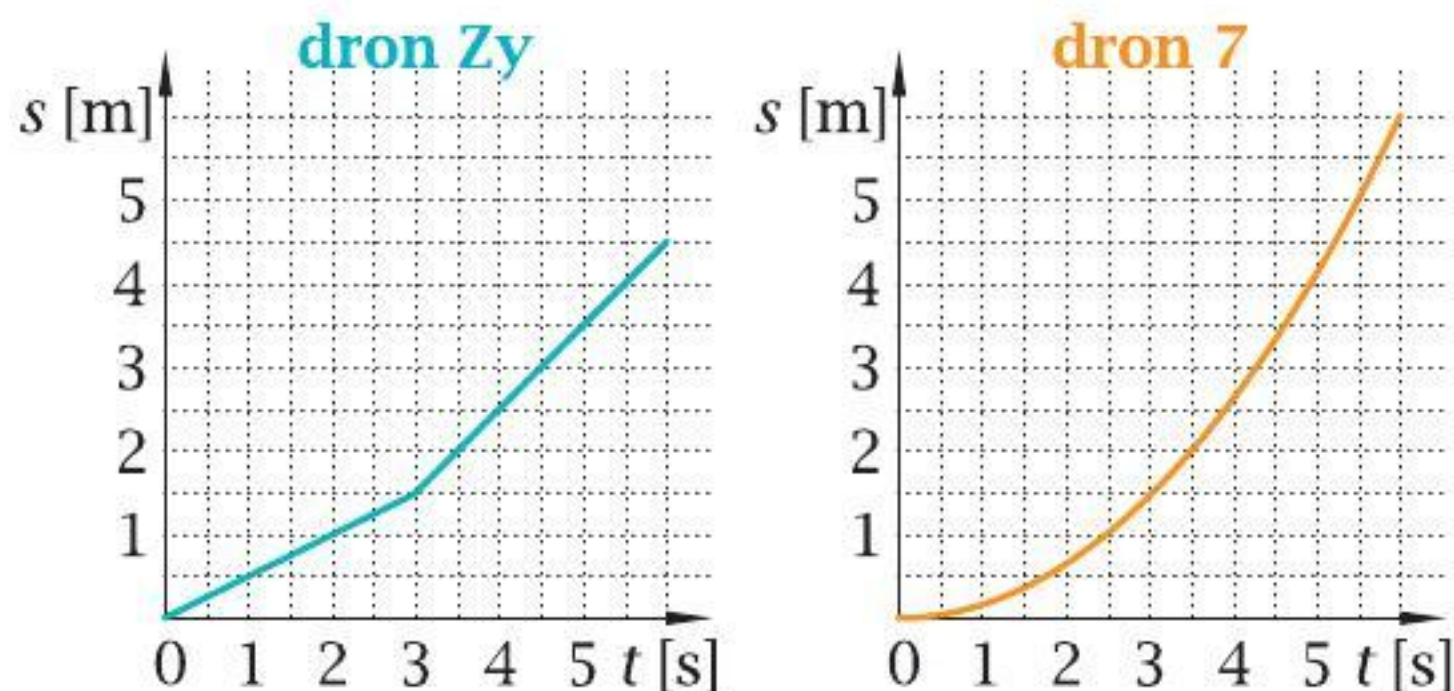
#### Zadanie 2. Latająca deska

Francuski wynalazca Franky Zapata przeleciał na swojej „latającej desce” kanał La Manche w 22 minuty. W trakcie przelotu raz musiał się zatrzymać i zatankować paliwo. Przebył 22 mile. Jedna mila to około 1,6 km. Oblicz średnią prędkość wynalazcy w czasie tego pokazu. Wyraż ją w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



### Zadanie 3. Drony

Na wykresach pokazano zależność drogi  $s$ , przebytej przez drony, od czasu  $t$ . Oblicz średnią prędkość dronów w ciągu tych 6 s.



### Zadanie 4. Z Zosina do Osinowa

Najdalej wysunięta na wschód miejscowość w Polsce to Zosin, a najdalej na zachód to Osinów Dolny. Nawigacja przewiduje następujące sposoby podróży z Zosina do Osinowa Dolnego:

- 780 km, 158 h, pieszo
- 844 km, 42 h, rowerem
- 874 km, 9 h, samochodem

Oblicz średnią prędkość podróżnego w każdym z tych przypadków. Czy w prognozie dla piechura uwzględniono przerwy na sen? Odpowiedź uzasadnij.

### Zadanie 5. Średnia prędkość

Jeśli po prostej ścieżce przez 10 s jedziesz z prędkością  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a następnie przez 30 s — z prędkością  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , to jaka jest twoja średnia prędkość w czasie tych 40 s?

**i** Najpierw oblicz drogę pokonaną w każdym przedziale czasu.

### Zadanie 6. Pociąg

Pociąg ekspresowy przebył drogę 30 km, poruszając się z prędkością  $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Następnie przez 50 km jechał z prędkością  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Oblicz średnią prędkość pociągu na całej trasie.

**i** Najpierw oblicz czas ruchu na każdym odcinku.

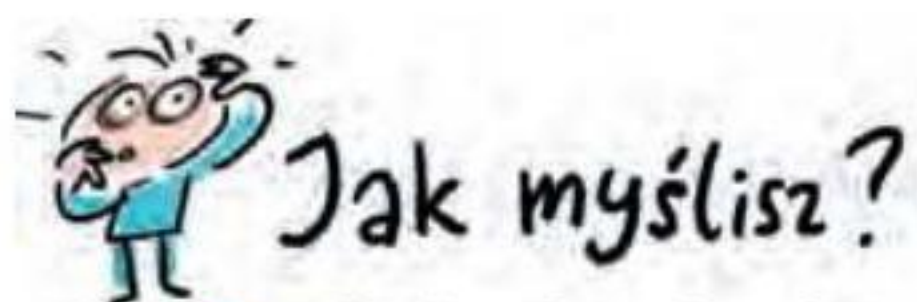
### Zadanie 7. Przechwałki

Pewien kierowca chwalił się, że najpierw przejechał 20 km z prędkością  $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , ale kolejne 30 km przebył tak szybko, że jego średnia prędkość na całej drodze 50 km była równa  $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Oceń, czy to możliwe. Odpowiedź uzasadnij.

### Zadanie 8. Ruchomy chodnik

Na lotnisku z ruchomego chodnika skorzystał niezdecydowany turysta. Taśma chodnika poruszała się cały czas w jedną stronę z prędkością  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  względem budynku. Najpierw, po wejściu na ruchomy chodnik, turysta przebył 30 m względem budynku, biegnąc zgodnie z ruchem taśmy. Następnie zawrócił i biegł po taśmie, aż dotarł z powrotem do wejścia na chodnik. Turysta cały czas poruszał się z prędkością  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  względem taśmy.

- Oblicz czas biegu turysty po ruchomym chodniku.
- Ile czasu potrzebowalby turysta, aby przebiec 60 m z prędkością  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  po nieruchomym chodniku?



- Jak działa odcinkowy pomiar prędkości?
- Czy rekord prędkości Usaina Bolta w biegu na 100 m dotyczył prędkości średniej czy chwilowej?
- Z jaką dokładnością działa prędkościomierz w samochodzie? Z czego wynika niepewność tego pomiaru?



# 24 Ruch jednostajnie przyspieszony



Najszybszym biegaczem świata jest Usain Bolt, który w 2008 roku pobił rekord świata w biegu na 100 m. Jak sądzisz, kiedy zawodnik najszybciej przyspieszał? Kiedy poruszał się ruchem jednostajnym? Czy zwalniał w trakcie biegu?

## Zmiana prędkości

W życiu codziennym rzadko obserwujesz ruch ze stałą prędkością. Tramwaj ruszający z przystanku, kot atakujący mysz — w tych sytuacjach prędkość ciała się zmienia i dlatego taki ruch nazywamy ruchem zmiennym. Gdy biegacze stoją na linii startu, ich prędkość to  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Następnie rozpędzają się i po kilku sekundach to już  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a potem nawet  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Przyjrzyjmy się bliżej takiemu ruchowi.

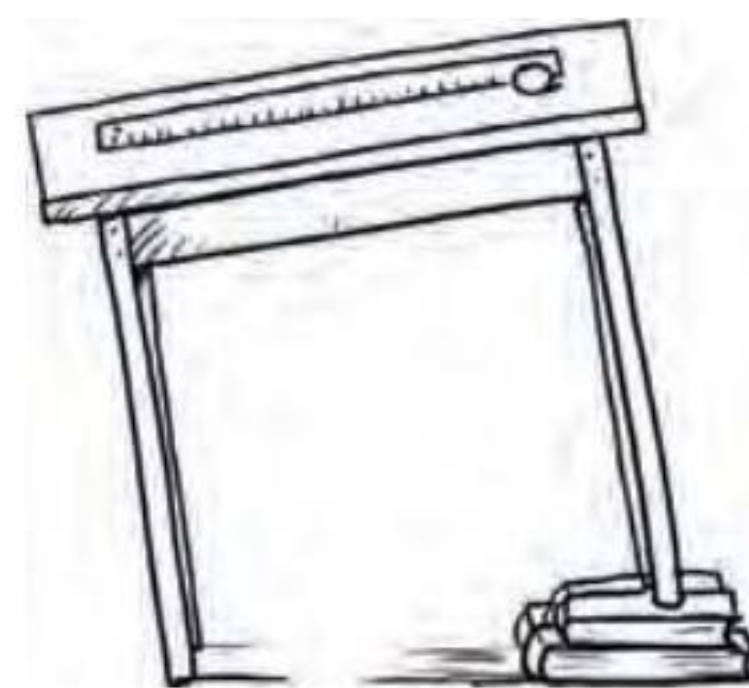
### Cel lekcji 8

Dowiesz się, co to jest przyspieszenie, oraz poznasz ruch jednostajnie przyspieszony. Nauczysz się analizować wykresy opisujące taki ruch.

#### Doświadczenie

#### Tocząca się kulka

- ① Przygotuj: metalową kulkę, metrową miarkę, stoper (np. w telefonie).
- ② Pod nogi ławki podłóż książki tak, aby blat był lekko pochylony. Na pochylonym blacie umieść miarkę.
- ③ Ustaw kulkę na blacie. Kulka powinna staczać się po ławce obok miarki lub po niej.
- ④ Zmierz stoperem czas, w którym kulka pokonuje pierwsze 50 cm, a następnie kolejne 50 cm.
- ⑤ Ustal, który fragment toru kulka pokonuje w krótszym czasie. O ile krótszym? O ile w przybliżeniu zmieniła się prędkość kulki? Wzrosła czy zmalała?

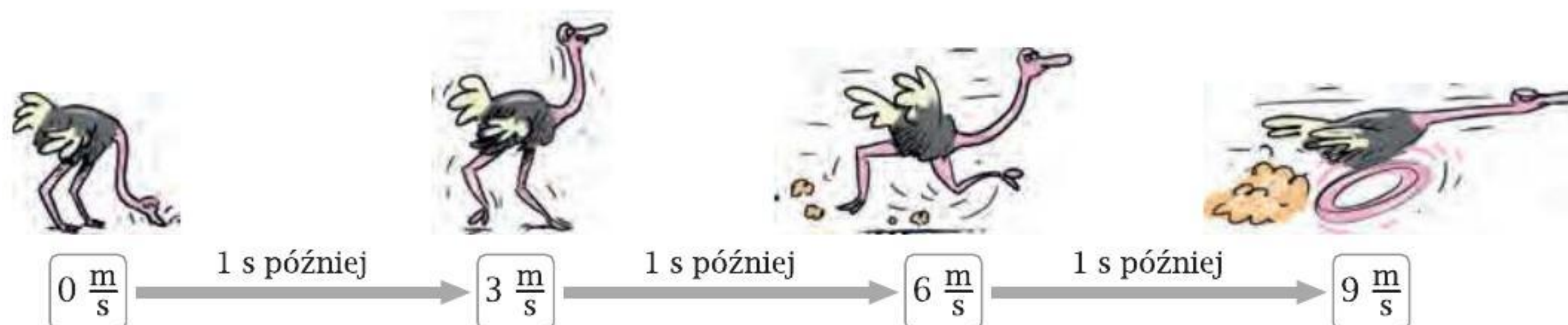




Nawet bez dokładnych pomiarów można stwierdzić, że prędkość kulki wzrosła tj. że kulka **przyśpieszyła**.

## Co to znaczy przyśpieszać jednostajnie?

Struś biegnie wprost przed siebie. Poniższy schemat pokazuje, jak szybko się przemieszcza.



W każdej sekundzie prędkość strusia zwiększa się o  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Informację, że struś przyśpiesza o  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  w każdej sekundzie ruchu zapisujemy tak:

$$\frac{3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

i nazywamy przyśpieszeniem. **Przyśpieszenie** to iloraz zmiany prędkości do czasu, w którym ta zmiana nastąpiła. Oznaczamy je literą  $a$  od angielskiego słowa *acceleration* (czyt. akselerejszn) i obliczamy następująco:

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

Diagram explaining the formula for acceleration. Arrows point from labels to parts of the formula: 'prędkość końcowa' (final velocity) points to  $v_k$ , 'prędkość początkowa' (initial velocity) points to  $v_p$ , 'zmiana prędkości ciała' (change in velocity) points to  $\Delta v$ , and 'czas, w którym nastąpiła zmiana prędkości' (time in which the change in velocity occurred) points to  $t$ .

Zmianę prędkości oznaczamy symbolem  $\Delta v$  ( $\Delta$  to grecka wielka litera *delta*). W wypadku strusia  $\Delta v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  w każdej sekundzie ruchu. Jednostką przyśpieszenia jest **metr na sekundę kwadrat** ( $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ).

Struś z analizowanego przykładu przyśpiesza jednostajnie, czyli w ciągu każdej sekundy jego prędkość zwiększa się o tyle samo ( $\Delta v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ), a jego przyśpieszenie jest stałe, cały czas równe  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Ruch **jednostajnie przyśpieszony** to taki, w którym wartość prędkości ciała rośnie o tyle samo w jednostkowych przedziałach czasu, czyli przyśpieszenie ciała jest stałe i ma wartość dodatnią.



**PRZYKŁAD 1.**

Tramwaj jechał po prostych torach z prędkością  $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Następnie przez 10 s równomiernie przyspieszał i osiągnął prędkość  $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz jego przyspieszenie.

**Dane:**

$v_p = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — prędkość początkowa

$v_k = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — prędkość końcowa

$t = 10 \text{ s}$  — czas, w którym nastąpiła zmiana prędkości

**Szukane:**

$a = ?$  — przyspieszenie

**Rozwiązanie:**  $a = \frac{v_k - v_p}{t} \quad a = \frac{15 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ s}} = \frac{3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ s}} = 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} = 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

**Odp.** Przyspieszenie tramwaju wynosiło  $0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

**ĆWICZENIE 1.** Samochód jechał po prostej drodze ze stałą prędkością  $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Następnie przez 5 s równomiernie przyspieszał, aż osiągnął prędkość  $22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz przyspieszenie samochodu.

## Wykres $v$ od $t$

Wykresy obok przedstawiają zależności prędkości dwóch biegaczy od czasu podczas wyścigu po prostym torze. Na podstawie wykresów obliczymy przyspieszenia biegaczy.

Na początku obaj mieli prędkość  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Po 3 sekundach jeden biegacz osiągnął prędkość  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a drugi  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Ich przyspieszenia od chwili 0 s do chwili 3 s wynosiły:

$$a_1 = \frac{6 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \text{ s}} = \frac{6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

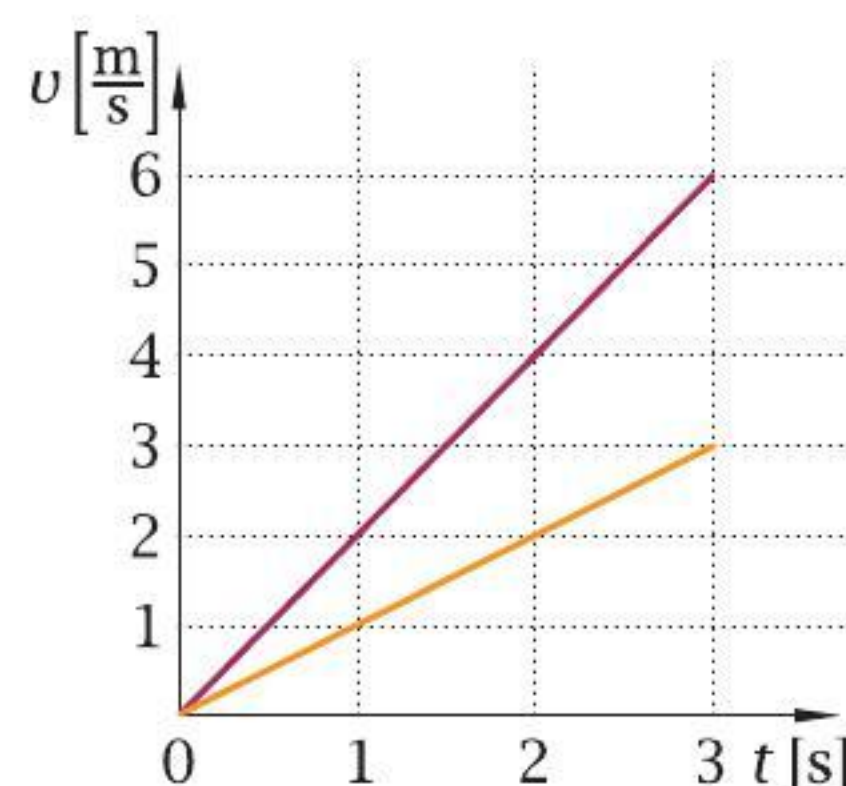
$$a_2 = \frac{3 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \text{ s}} = \frac{3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Sprawdźmy, ile wynosiły przyspieszenia biegaczy w drugiej sekundzie ruchu (od chwili 1 s do chwili 2 s):

$$a_1 = \frac{4 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ s} - 1 \text{ s}} = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_2 = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ s} - 1 \text{ s}} = \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Okazuje się, że dla obu biegaczy przyspieszenie w drugiej sekundzie jest takie samo jak dla 3 sekund ruchu. Z wykresów można odczytać, że w każdej sekundzie prędkość każdego biegacza zwiększała się o tyle samo, więc poruszał się on ruchem jednostajnie przyspieszonym.



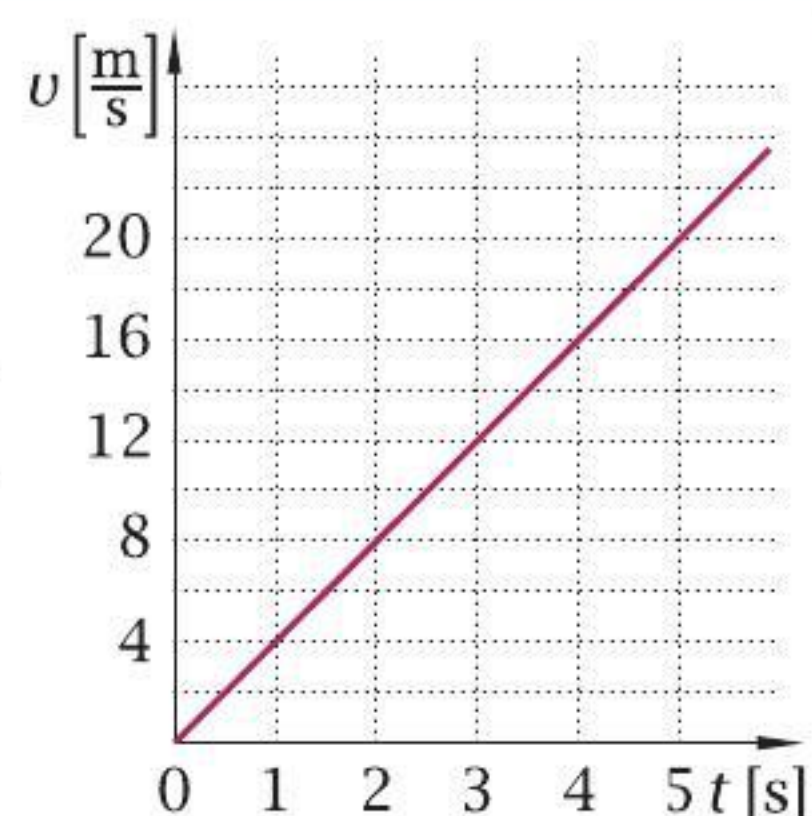
### Warto wiedzieć

Wykres  $v$  od  $t$  jest bardziej stromy wtedy, gdy przyspieszenie ciała jest większe. Gdy przyspieszenie jest stałe, wykres  $v$  od  $t$  jest linią prostą.



**PRZYKŁAD 2.**

Motocykl jechał prostym odcinkiem autostrady. Na wykresie przedstawiono zależność prędkości  $v$  motocykla od czasu  $t$ .



- Oblicz przyspieszenie pojazdu od chwili 0 s do chwili 5 s.
- Oblicz przyspieszenie pojazdu od chwili 2 s do chwili 4 s.
- Jakim ruchem poruszał się motocykl?

**Rozwiązanie:**

$$a) \ a = \frac{\Delta v}{t} \quad a = \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Odp.** Od chwili 0 s do chwili 5 s motocykl poruszał się z przyspieszeniem  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

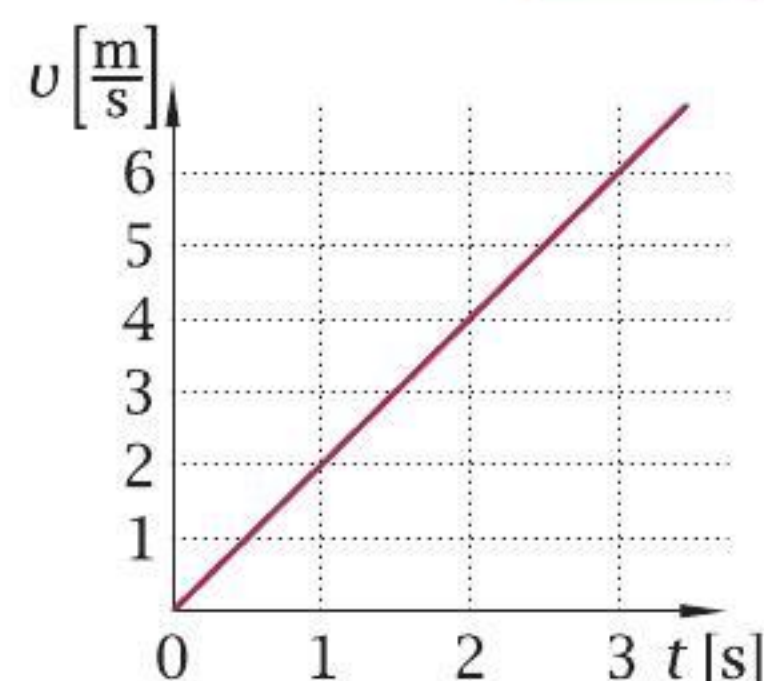
$$b) \ a = \frac{\Delta v}{t} \quad a = \frac{16 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \text{ s} - 2 \text{ s}} = \frac{8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ s}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Odp.** Od chwili 2 s do chwili 4 s motocykl poruszał się z przyspieszeniem  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

- Odp.** Motocykl poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym (prostoliniowym).

**ĆWICZENIE 2.** Metro poruszało się po prostych torach.

Na wykresie przedstawiono zależność prędkości  $v$  metra od czasu  $t$ .



- Oblicz przyspieszenie metra od chwili 0 s do chwili 1 s.
- Oblicz przyspieszenie metra od chwili 1 s do chwili 3 s.
- Jakim ruchem poruszało się metro?

## Czas na zadania!

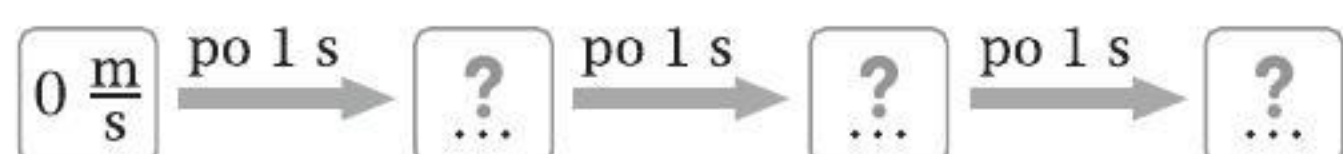
**i** Przyjmujemy, że ruch jest prostoliniowy.

### Zadanie 1. Wyniki pomiarów

Która z wartości:  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , 3 m jest wynikiem pomiaru drogi, która — prędkości, a która — przyspieszenia?

### Zadanie 2. Tygrys

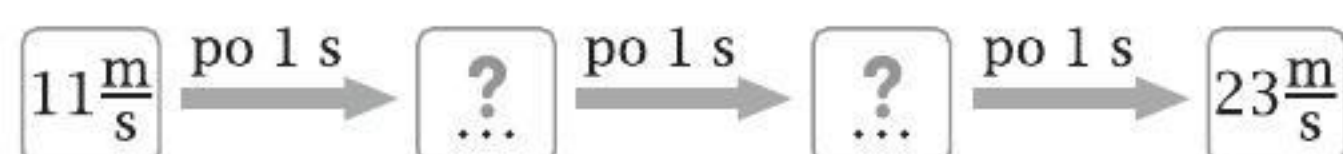
Początkowo nieruchomy tygrys ruszył do ataku za antylopą ze stałym przyspieszeniem  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Uzupełnij schemat, wstawiając odpowiednie wartości prędkości.



### Zadanie 3. Antylopa

Antylopa biegła ze stałą prędkością  $11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Gdy dostrzegła tygrysa, zaczęła jednostajnie przyspieszać i po 3 sekundach osiągnęła prędkość  $23 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

- Oblicz zmianę prędkości antylopy podczas początkowych 3 sekund po dostrzeżeniu tygrysa.
- Oblicz przyspieszenie antylopy.
- Uzupełnij schemat, wstawiając odpowiednie wartości prędkości.





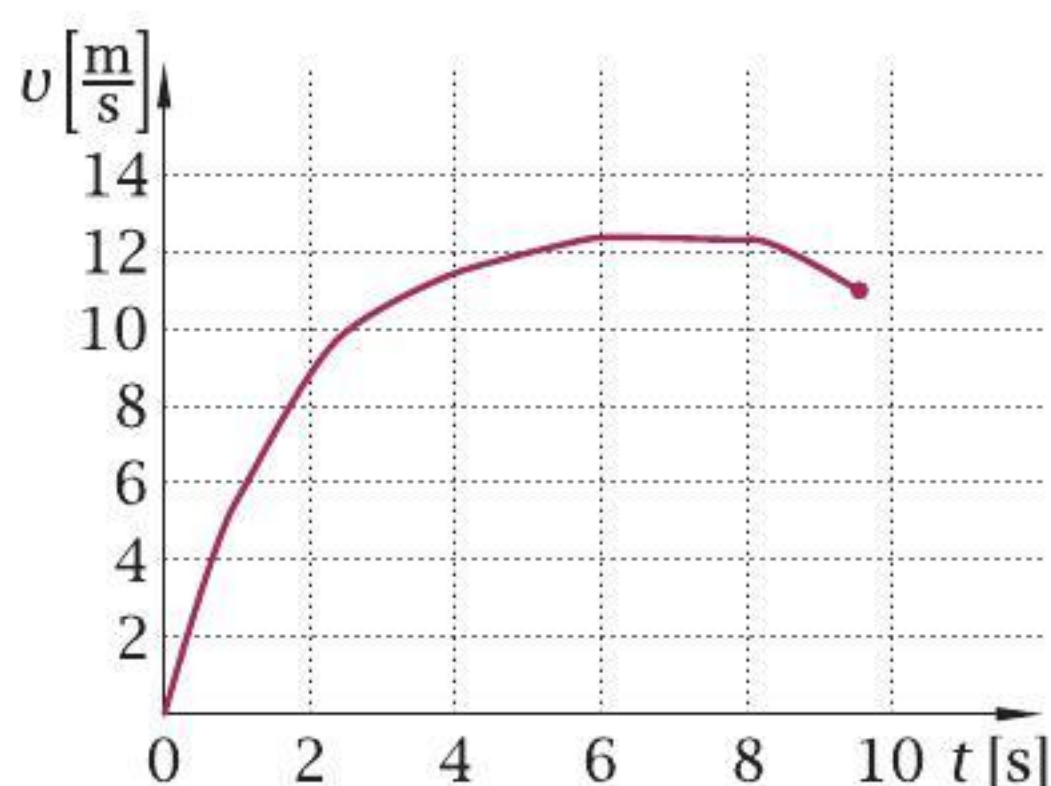
#### Zadanie 4. Pojazdy

Oblicz przyspieszenie pojazdu, jeśli wiadomo, że:

- jego prędkość rosła równomiernie od  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  do  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  w ciągu 4 sekund,
- jego prędkość przez 3 sekundy zmieniała się równomiernie od  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  do  $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,
- poruszał się z prędkością  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  przez 10 sekund.

#### Zadanie 5. Rekord prędkości

Wykres przedstawia zależność prędkości od czasu dla Usaina Bolta podczas bicia rekordu świata w biegu na 100 m w 2008 r. Wykres nie jest fragmentem prostej. Oznacza to, że prędkość biegacza nie zmieniała się w sposób jednostajny.



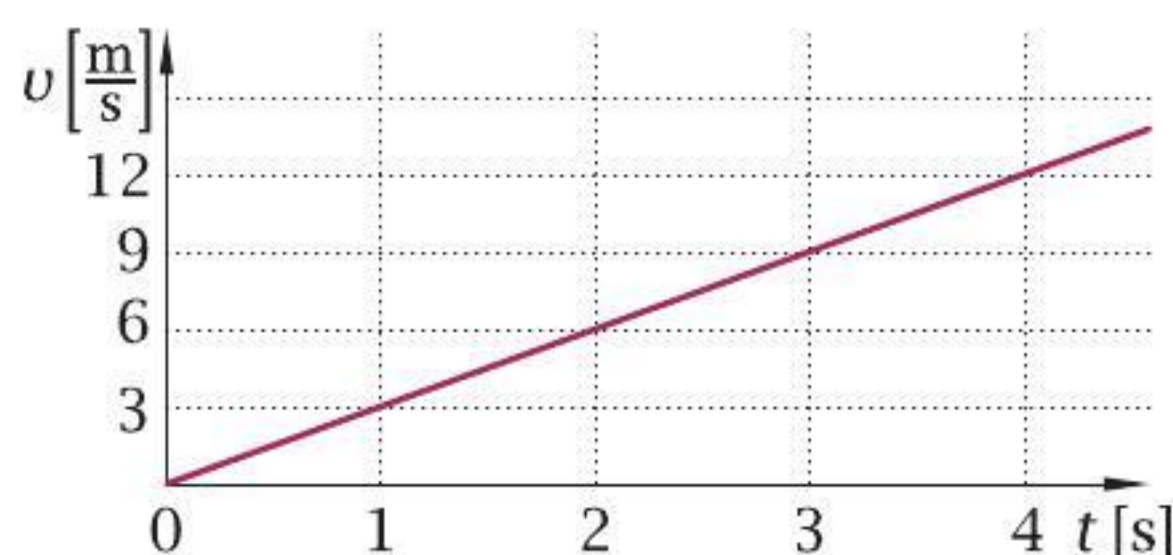
Odpowiedz na pytania.

- Kiedy zawodnik miał największą prędkość podczas biegu?
- Kiedy miał największe przyspieszenie?
- Czy zwalniał w trakcie biegu?

#### Zadanie 6. Robot

Wykres przedstawia prędkość wyścigowego robota podczas treningu w zależności od czasu.

- Podaj prędkość robota w momencie rozpoczęcia pomiaru.
- Podaj prędkość robota w chwili 1 s.
- Oblicz przyspieszenie robota.



#### Zadanie 7. Grimsel

— *Interesuje mnie, ile czasu potrzebuje samochód, by przyspieszyć od  $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  do  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  — oświadczył Hasto.*

— *Poszukajmy... O, są samochody osobowe, które potrzebują na to tylko 3 sekundy — odpowiedziała Weritka.*

— *A ja znalazłem informację, że studenci z Zurychu skonstruowali elektryczny samochód o nazwie Grimsel, który przyspiesza do setki w 1,5 sekundy!*

— *Ile to razy więcej od przyspieszenia Bolta z pierwszej sekundy biegu na 100 m, czyli od około  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ? — zapytała Weritka.*

- Wyraź prędkość  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
- Wyraź przyspieszenie Grimsela w  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .
- Odpowiedz na pytanie Weritki.



Jak myślisz?

- Czy przyspieszenie o wartości  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  to dla człowieka dużo, czy mało?
- Co wyraźniej odczuwamy, jadąc pociągiem: jego prędkość czy jego przyspieszenie?
- Jakie są największe przyspieszenia?
- Czy akcelerator ma coś wspólnego z akceleracją, czyli przyspieszaniem?



# 25 Ruch jednostajnie zmienny



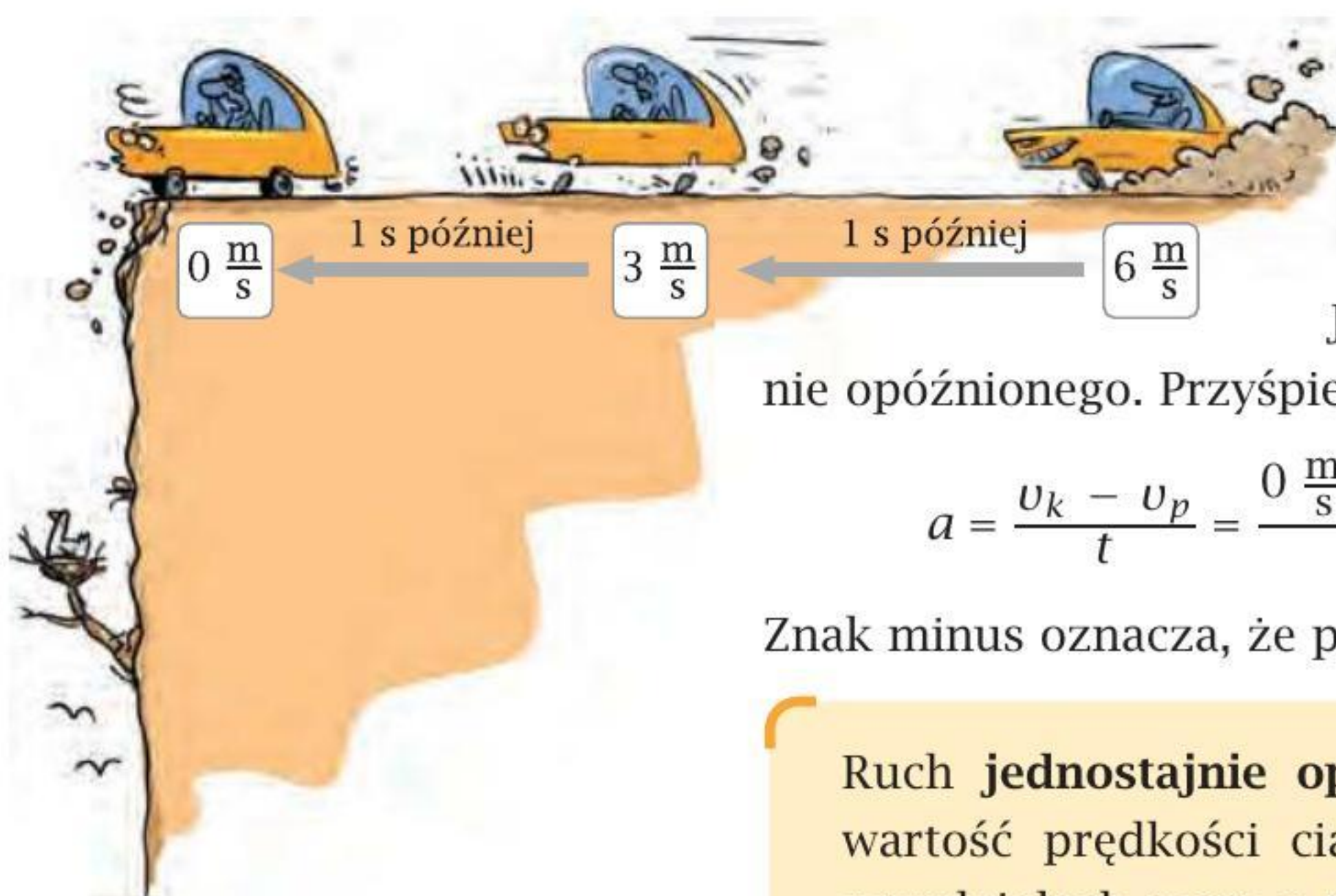
Jakie zmiany prędkości są dla człowieka komfortowe? Jadąc pociągiem, poruszającym się po prostych torach, którą zmianę prędkości odczujesz bardziej: od  $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  do  $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , czy od  $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  do  $150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  w tym samym czasie?

## Cel lekcji

Poznasz ruch jednostajnie opóźniony. Utrwalisz umiejętność analizowania wykresów opisujących ruch.

## Malejąca prędkość

Często obserwujemy ruch, w którym prędkość ciała maleje, na przykład hamujący rower. Jeśli prędkość ciała zmniejsza się w równym tempie, to mówimy o ruchu jednostajnie opóźnionym. Oba rodzaje ruchów — jednostajnie przyspieszony i jednostajnie opóźniony — nazywamy ruchem jednostajnie zmiennym. Nadal będziemy zajmować się tylko ruchem prostoliniowym.



Prędkość samochodu przedstawionego na rysunku zmniejsza się równomiernie z każdą sekundą o  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Jest to przykład ruchu jednostajnie opóźnionego. Przyspieszenie samochodu wynosi:

$$a = \frac{v_k - v_p}{t} = \frac{0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ s}} = \frac{-6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ s}} = -3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Znak minus oznacza, że prędkość maleje.

Ruch **jednostajnie opóźniony** to taki, w którym wartość prędkości ciała maleje w jednostkowych przedziałach czasu o tę samą wartość.



Zauważ, że określenie *przyśpieszenie* używane jest do opisu zarówno rosnącej jak i malejącej prędkości. Dodatnie przyśpieszenie oznacza, że prędkość rośnie, a ujemne — że prędkość maleje.

### Warto wiedzieć

W ruchach jednostajnie przyśpieszonym i opóźnionym przyśpieszenie jest stałe.

#### PRZYKŁAD 1.

Winda jedzie z prędkością  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Przed właściwym piętrze równomiernie zwalnia i w ciągu 4 sekund zatrzymuje się. Oblicz przyśpieszenie windy.

**Dane:**

$v_p = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — prędkość początkowa

$v_k = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — prędkość końcowa

$t = 4 \text{ s}$  — czas, w którym nastąpiła zmiana prędkości

**Szukane:**

$a = ?$  — przyśpieszenie

**Rozwiązanie:**  $a = \frac{v_k - v_p}{t} \quad a = \frac{0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \text{ s}} = \frac{-6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \text{ s}} = -1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

**Odp.** Przyśpieszenie tej windy to  $-1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

**i** Odpowiedź można również zapisać bez znaku minus tak: Opóźnienie tej windy to  $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

**ĆWICZENIE 1.** Piłka toczyła się po płaskim boisku. W ciągu 20 sekund jej prędkość zmniejszała się równomiernie od  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  do  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz przyśpieszenie piłki.

## 0 ile zmieniła się prędkość?

Zastanów się, o ile zmieni się prędkość rakiety podczas 3 sekund ruchu z przyśpieszeniem  $25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . W pierwszej sekundzie prędkość rośnie o  $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , w drugiej — o  $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , w trzeciej — o  $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Podczas 3 sekund prędkość zwiększy się zatem o  $\Delta v = 75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Do obliczenia  $\Delta v$  można również posłużyć się wzorem:

$$\Delta v = a \cdot t$$

$$\Delta v = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ s} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} \cdot 3 \text{ s} = 75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**i** Dla dociekliwych

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

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

$$a \cdot t = \Delta v$$

$$\Delta v = a \cdot t$$

#### PRZYKŁAD 2.

Kolejka górską poruszała się ze stałym przyśpieszeniem równym  $-3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Oblicz, o ile zmniejszyła się jej prędkość w ciągu 4 sekund takiej jazdy.

**Dane:**

$a = -3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  — przyśpieszenie kolejki

$t = 4 \text{ s}$  — czas

**Szukane:**

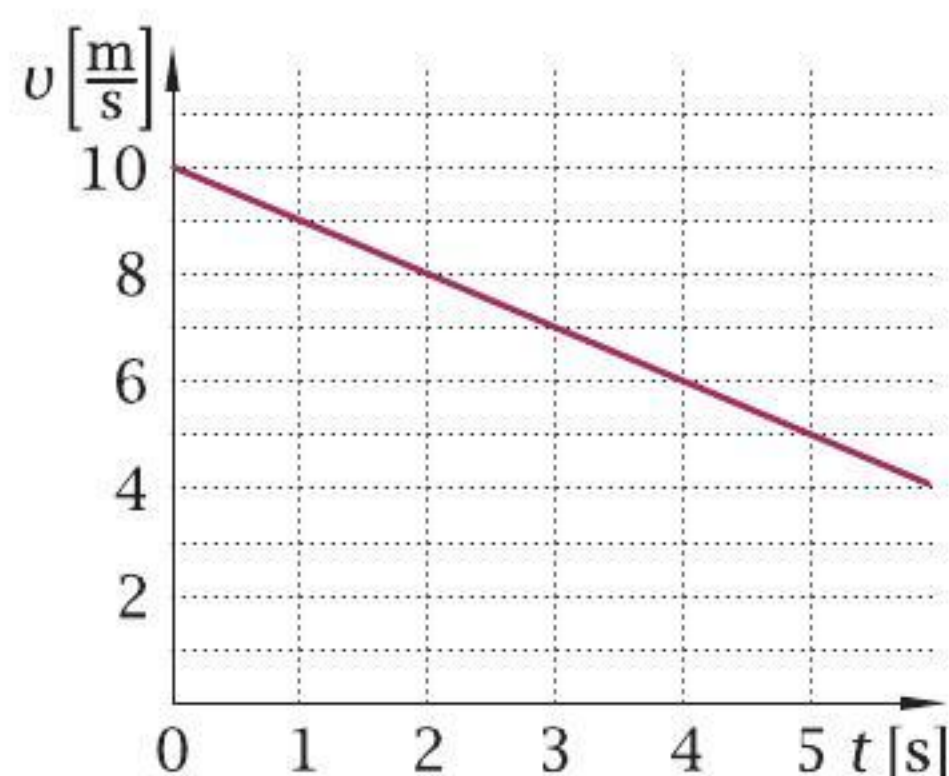
$\Delta v = ?$  — zmiana prędkości

**Rozwiązanie:**  $\Delta v = a \cdot t \quad \Delta v = -3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 \text{ s} = -12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

**Odp.** W podanym czasie prędkość kolejki zmniejszyła się o  $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



**ĆWICZENIE 2.** Na jednej z najwyższych zjeżdżalni wodnych na świecie można zjechać z przyspieszeniem równym  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . O ile zmienia się prędkość podczas 5 sekund takiego zjazdu?



### Wykres v od t

Rowerzysta rozpędził się do  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a następnie, już nie pedałując, jechał wprost przed siebie, tracąc prędkość. Wykres obok przedstawia zmianę jego prędkości w czasie.



#### Warto wiedzieć

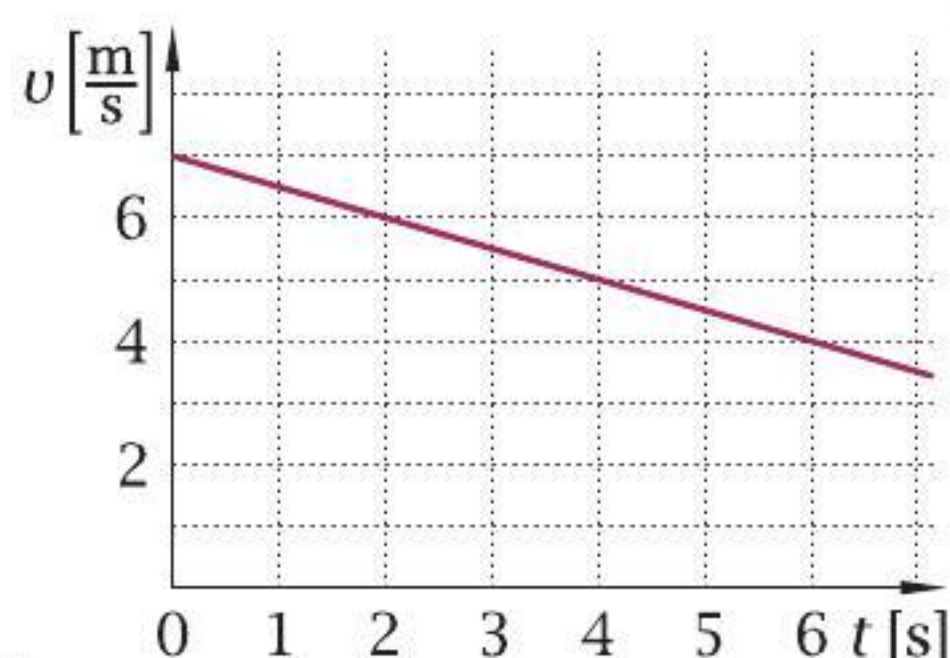
Ruch **jednostajnie przyspieszony** oraz **jednostajnie opóźniony** można rozpoznać po kształcie wykresu prędkości od czasu. Taki wykres jest fragmentem **prostej** o różnym nachyleniu.

Korzystając z informacji na wykresie, można ustalić, jakie było przyspieszenie rowerzysty w trakcie wytracania prędkości. W ciągu pierwszej sekundy prędkość rowerzysty zmalała o  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 9 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . O tyle samo zmniejszyła się w ciągu drugiej, trzeciej i każdej kolejnej sekundy. Oznacza to, że rowerzysta poruszał się ruchem jednostajnie opóźnionym z przyspieszeniem  $a = -1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

### PRZYKŁAD 3.

Krążek hokejowy ślizga się w linii prostej po tafli lodowiska, tracąc równomiernie swoją prędkość. Wykres obok przedstawia zależność jego prędkości od czasu.

- Odczytaj z wykresu prędkość krążka w chwili 0 s oraz w chwili 6 s.
- Oblicz przyspieszenie krążka podczas 6 sekund ruchu.



a) **Odp.** W chwili 0 s prędkość krążka to  $7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a w chwili 6 s to  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

b) **Dane:**

$\Delta v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 7 \frac{\text{m}}{\text{s}} = -3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — zmiana prędkości  
 $t = 6 \text{ s}$  — czas, w którym nastąpiła zmiana prędkości

**Szukane:**

$a = ?$  — przyspieszenie

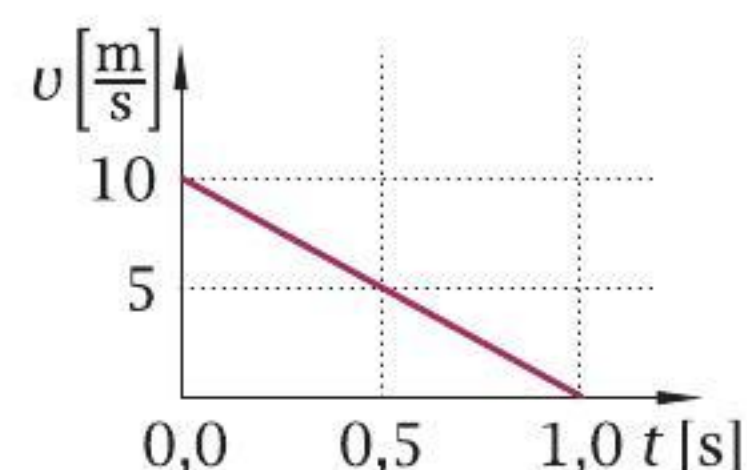
**Rozwiązanie:**  $a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{-3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6 \text{ s}} = -0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

**Odp.** Krążek poruszał się z przyspieszeniem równym  $-0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .



**ĆWICZENIE 3.** Wykres obok przedstawia zmianę prędkości podrzuconego pionowo w górę jabłka w czasie. Podczas lotu w górę jabłko wytraca swoją prędkość.

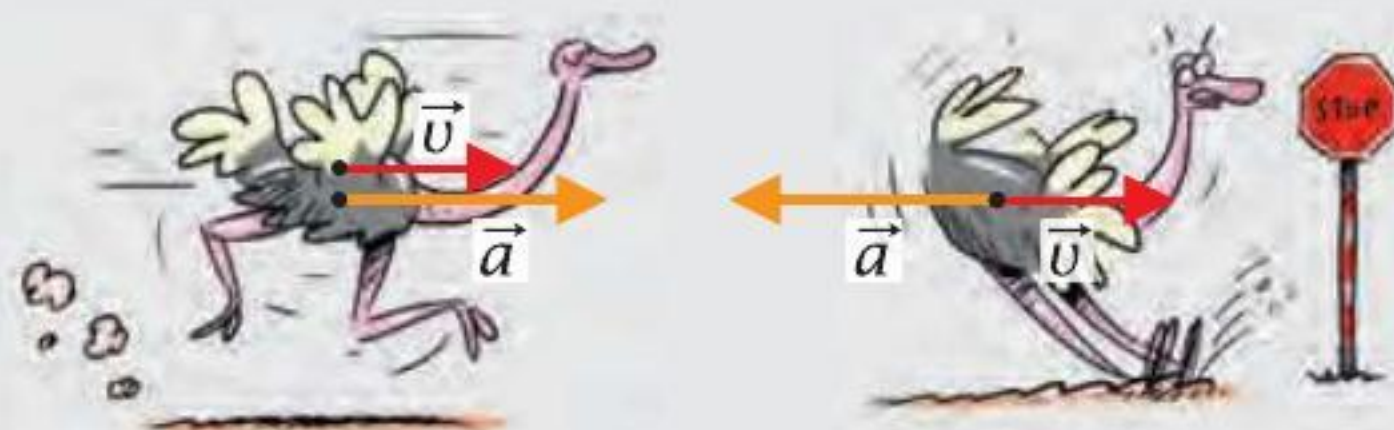
- a) Odczytaj prędkość jabłka w chwili 0 s oraz w chwili 1 s.  
b) Oblicz przyśpieszenie jabłka.



### Dowiedz się więcej o wektorze przyśpieszenia

Przyśpieszenie jest wektorem — podobnie jak siła oraz prędkość. W ruchu po prostym torze kierunek przyśpieszenia jest zawsze taki sam jak kierunek prędkości. Ale zwrot przyśpieszenia może być inny. Wektor przyśpieszenia jest zwrócony:

- w tę samą stronę, co wektor prędkości, gdy prędkość ciała rośnie,
- w przeciwną stronę, niż wektor prędkości, gdy prędkość ciała maleje.



### Czas na zadania!

**i** W zadaniach przyjmujemy, że ruch jest prostoliniowy.

#### Zadanie 1. Przyśpieszenie

Uzupełnij zdania.

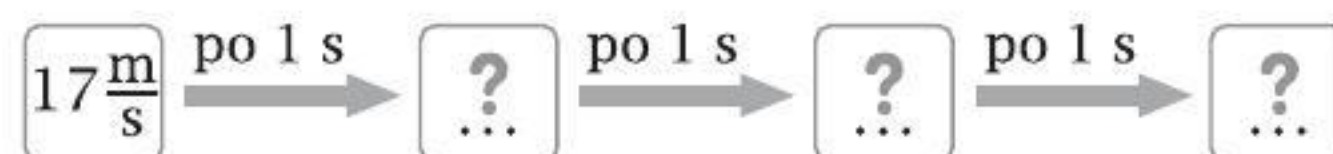
- a) Pociąg przez 5 s jedzie ze stałą prędkością  $20 \frac{m}{s}$ . Jego przyśpieszenie to ?..  
b) Hulajnoga porusza się ze stałym przyśpieszeniem  $-0,5 \frac{m}{s^2}$ . W ciągu 1 s tego ruchu prędkość hulajnogi maleje o ?..

#### Zadanie 2. Kolejka górską

Kolejka górską poruszała się z prędkością początkową  $18 \frac{m}{s}$ . Następnie przez 3 sekundy równomiernie hamowała, aż osiągnęła prędkość  $6 \frac{m}{s}$ . Oblicz przyśpieszenie kolejki górskiej podczas tych 3 sekund ruchu.

#### Zadanie 3. Struś

Schemat opisuje ruch hamującego strusia poruszającego się ze stałym przyśpieszeniem  $-4 \frac{m}{s^2}$ . Uzupełnij schemat, wstawiając odpowiednie wartości prędkości.



#### Zadanie 4. Dron

Dron leciał z przyśpieszeniem  $-3 \frac{m}{s^2}$ . Oblicz, o ile zmieniła się jego prędkość podczas 5 sekund tego ruchu. Czy prędkość drona wzrosła, czy zmalała?

#### Zadanie 5. Skoczek

W ciągu 3 sekund prędkość skoczka spadochronowego zmalała z  $30 \frac{m}{s}$  do  $24 \frac{m}{s}$ . Oblicz przyśpieszenie skoczka.



### Zadanie 6. *Narciarz*

Prędkość początkowa narciarza wynosiła  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Następnie przez 3 sekundy poruszał się on ze stałym przyspieszeniem  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

- Oblicz, o ile zwiększyła się jego prędkość po 3 sekundach przyspieszania.
- Oblicz prędkość końcową narciarza.

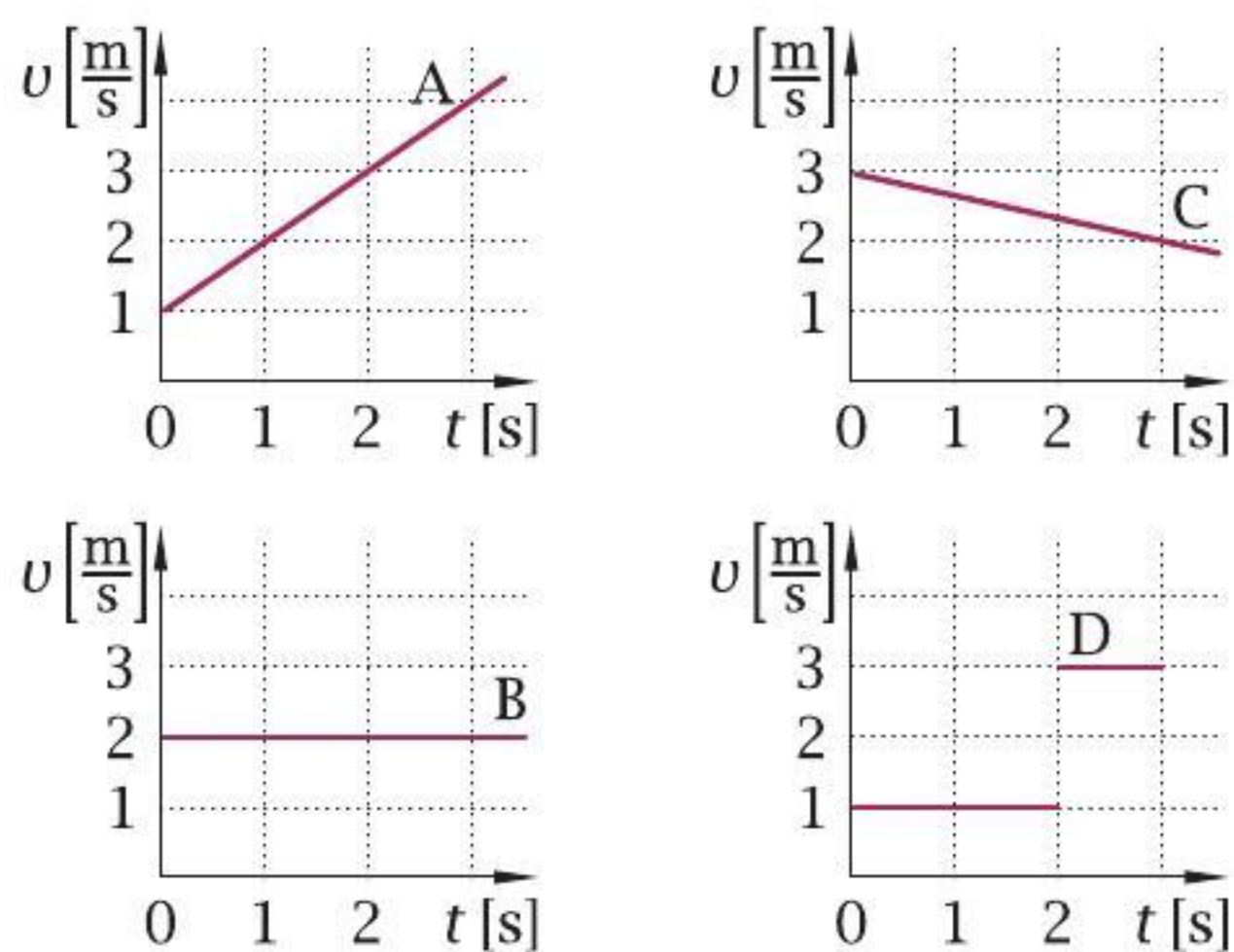
### Zadanie 7. *Rakieta*

Oblicz, o ile zwiększyła się prędkość rakiety poruszającej się z przyspieszeniem  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ :

- w pierwszej sekundzie ruchu,
- w drugiej sekundzie ruchu,
- podczas 4 sekund takiego ruchu.

### Zadanie 8. *Jaki to ruch?*

Przyjrzyj się poniższym wykresom.



- Dopasuj do wykresów określenia: jednostajnie opóźniony, jednostajnie przyspieszony oraz jednostajny.
- Na którym wykresie prędkość początkowa ciała jest największa? Ile wynosi?

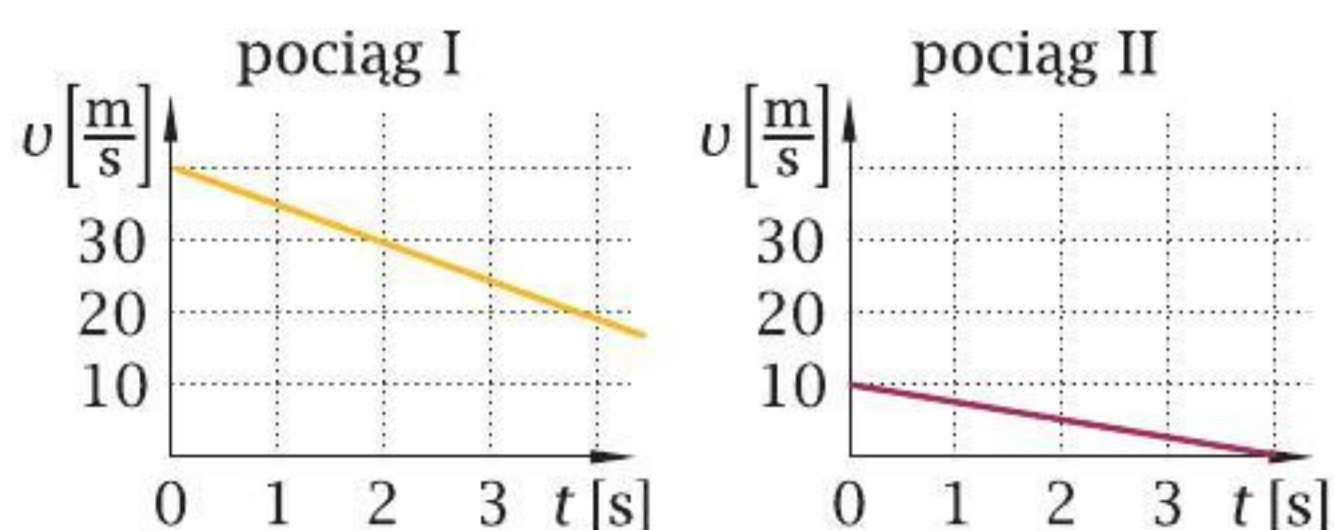


- Jakie przyspieszenie jesteś w stanie osiągnąć, jadąc rowerem? A jakie — gdyby na bagażniku twojego roweru usiadł dodatkowy pasażer? Z czego wynika różnica?
- Z jakim przyspieszeniem porusza się samochód, gdy, jadąc z prędkością  $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , zderzy się z drzewem? Po jakim czasie pojazd całkowicie się zatrzyma?

### Zadanie 9. *Hamowanie*

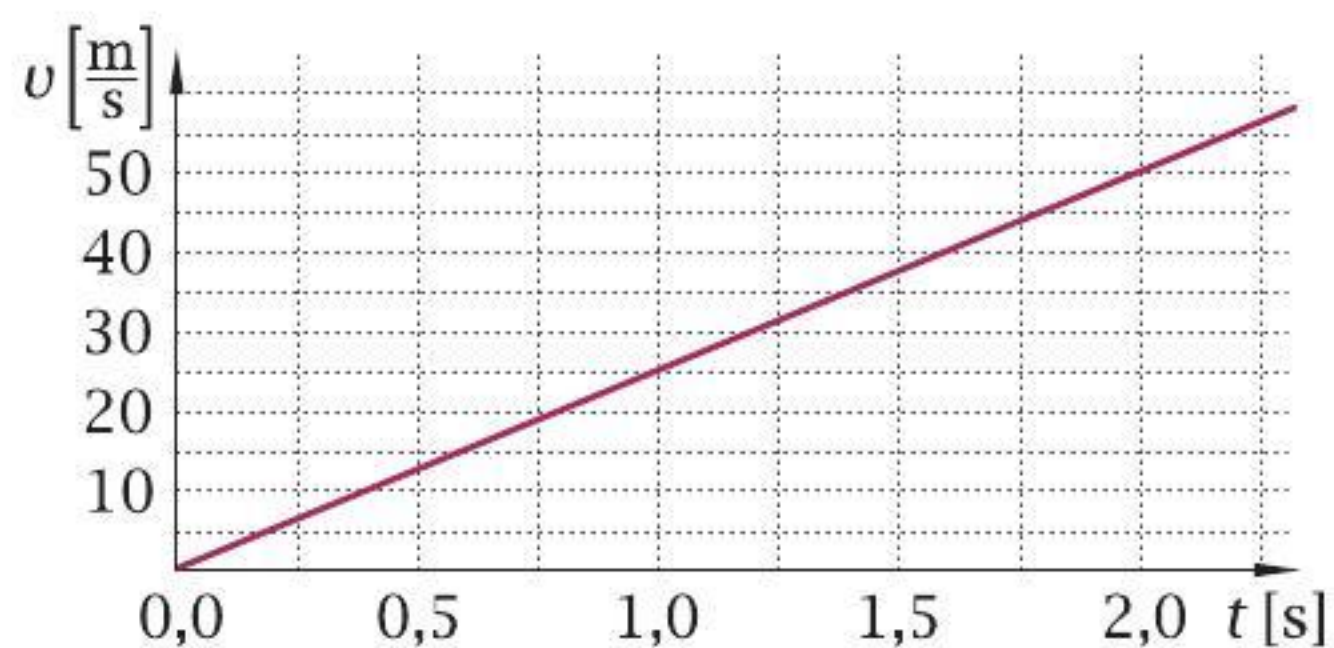
Na poniższych wykresach przedstawiono zależność prędkości  $v$  od czasu  $t$  dla dwóch hamujących pociągów.

- Oblicz, o ile zmieniła się prędkość każdego z tych pociągów od chwili 0 s do chwili 4 s.
- Oblicz przyspieszenia pociągów.



### Zadanie 10. *Samochód raketowy*

Na poniższym wykresie przedstawiono zależność prędkości  $v$  samochodu raketowego od czasu  $t$ .



- Korzystając z wykresu, wykonaj odpowiednie obliczenia i ustal czas, po którym samochód raketowy osiągnął prędkość  $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .
- Oblicz przyspieszenie samochodu.





# Lekcja dodatkowa. Ruch i wykresy



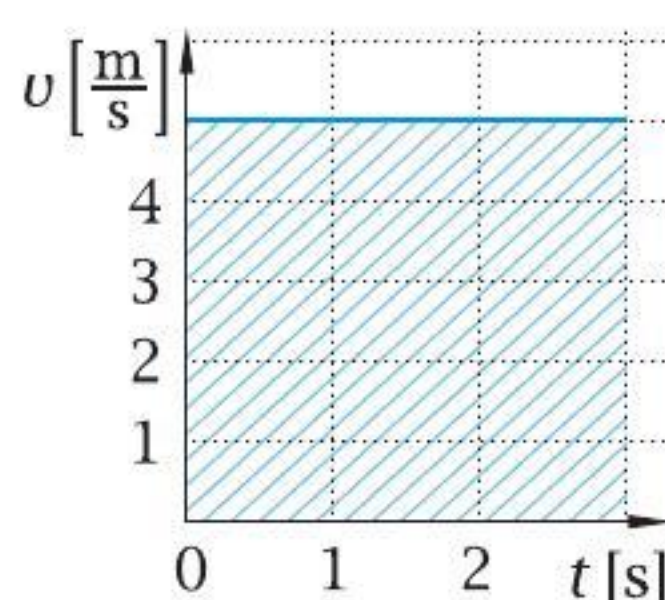
Szlamnik zwyczajny pobił rekord w długości lotu bez międzylądowań: 12000 km z Alaski do Nowej Zelandii w 11 dni. Ptak ten czasami przyspieszał, a czasami zwalniał. Jaką największą prędkość osiągnął? W jaki sposób za pomocą wykresu opisać jego ruch?

## Jak obliczyć drogę?

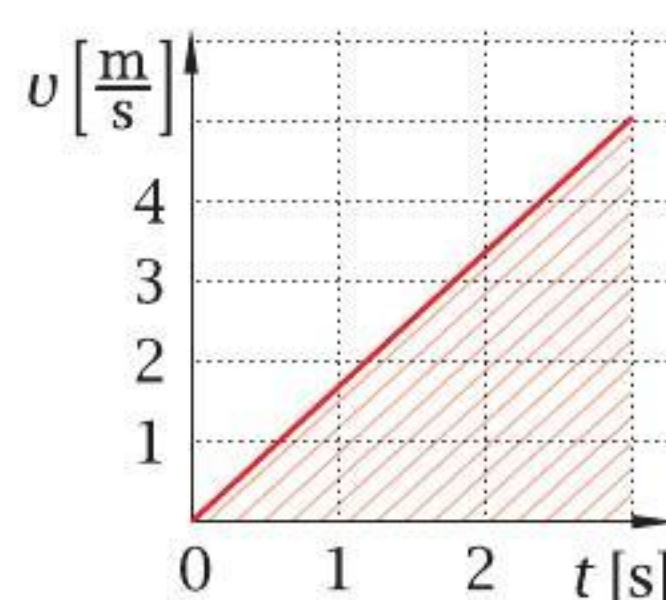
Wykresy zależności prędkości od czasu są bardzo wygodnym narzędziem do opisu ruchu. Na ich podstawie można nie tylko rozpoznać rodzaj ruchu, wyznaczyć przyspieszenie, ale także obliczyć przebytą drogę.

Poniższe wykresy przedstawiają zależność prędkości od czasu dla przejazdów: rowerem, hulajnogą i na rolkach.

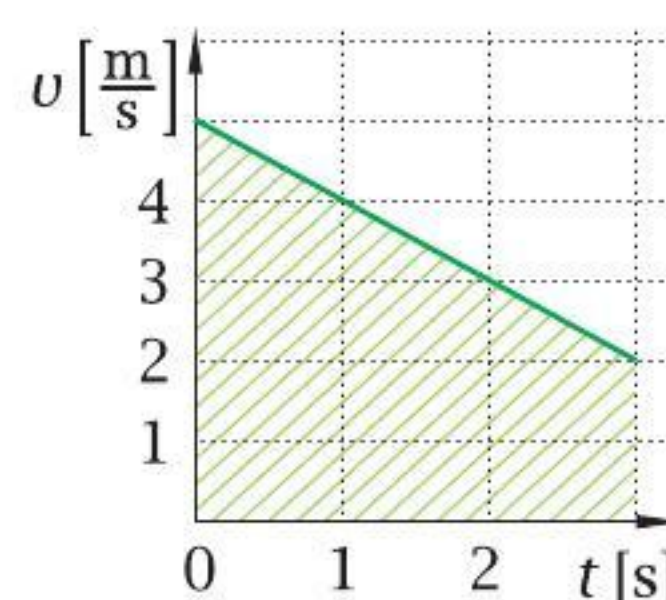
Z wykresu ① wiemy, że droga, jaką pokonał rower, to iloczyn jego prędkości i czasu jazdy, czyli  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3 \text{ s} = 15 \text{ m}$ . Odpowiada ona polu niebieskiego prostokąta.



① rower



② hulajnoga



③ rolki

Podobnie pole czerwonego trójkąta to droga pokonana przez hulajnogę:  $\frac{1}{2} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3 \text{ s} = 7,5 \text{ m}$ . Ta metoda obliczania drogi zadziała dla dowolnego wykresu  $v$  od  $t$ .

Pole pod wykresem zależności prędkości  $v$  od czasu  $t$  jest równe przebytej drodze.

### Cel lekcji 8

Nauczysz się analizować bardziej skomplikowane wykresy zależności prędkości od czasu oraz obliczać na ich podstawie pokonaną drogę.

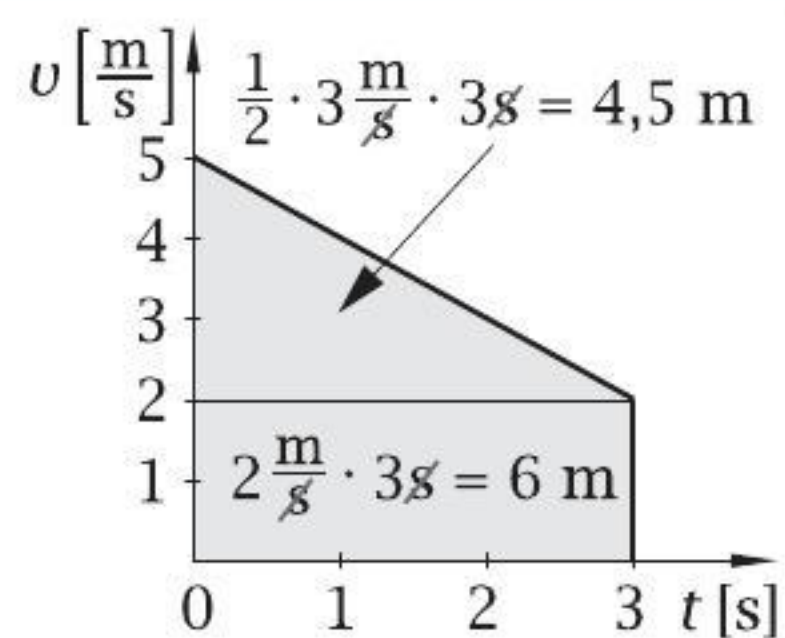


**PRZYKŁAD 1.**

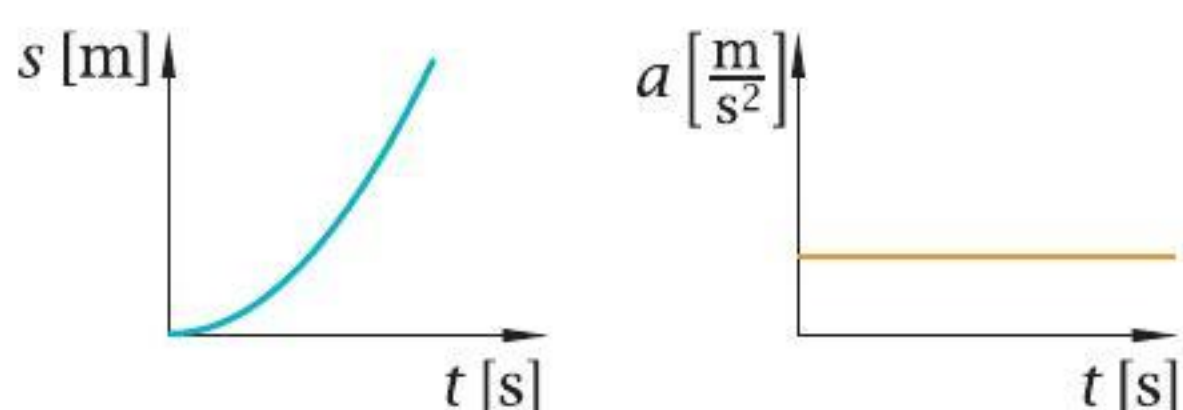
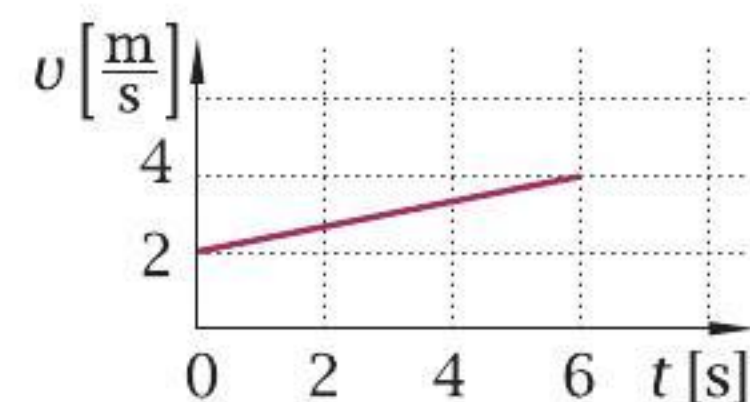
Na podstawie wykresu  $v$  od  $t$  (zob. poprzednia strona) oblicz drogę pokonaną na rolkach.

**Rozwiązanie:** Figurę pod wykresem można podzielić na: trójkąt prostokątny i prostokąt (zob. rys. obok). Suma pól tych figur to pokonana droga:  $6\text{ m} + 4,5\text{ m} = 10,5\text{ m}$

**Odp.** Na rolkach pokonano 10,5 m.



**ĆWICZENIE 1.** Na podstawie wykresu przedstawionego obok oblicz drogę pokonaną w ciągu 6 s ruchu.

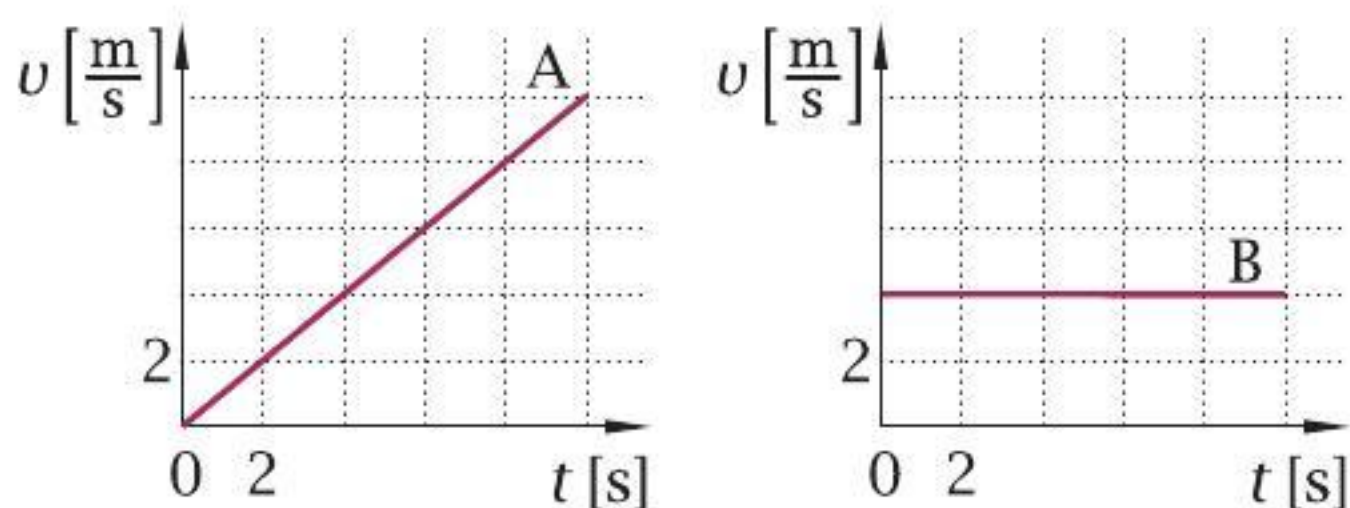


W ruchu jednostajnie przyspieszonym w każdej sekundzie prędkość rośnie o tyle samo, a pokonywana jest coraz dłuższa droga. Wykresy obok opisują zależności drogi oraz przyspieszenia od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym.

## Czas na zadania!

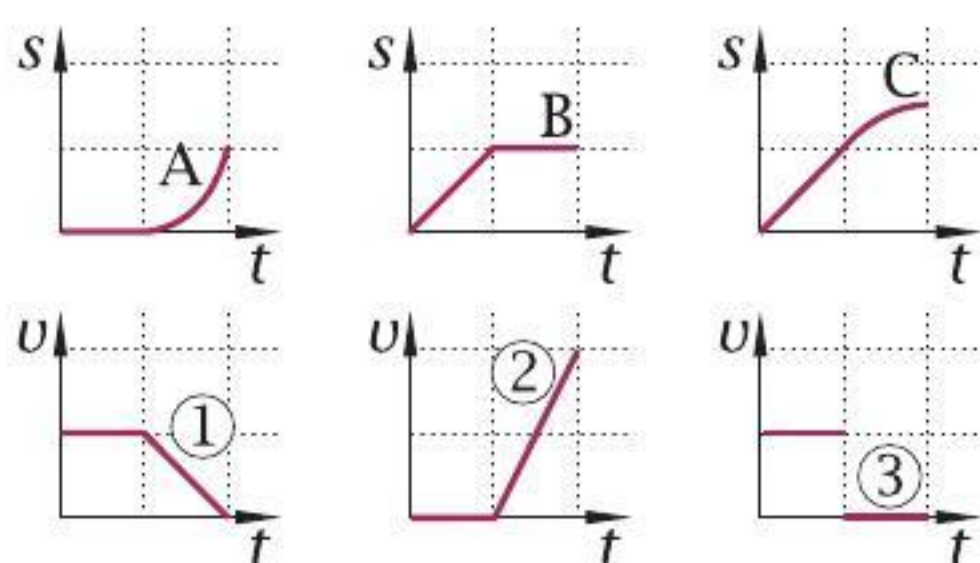
### Zadanie 1. Najdłuższa i najkrótsza droga

Poniższe wykresy opisują ruch dwóch pojazdów. Który pokonał dłuższą drogę? O ile dłuższą?



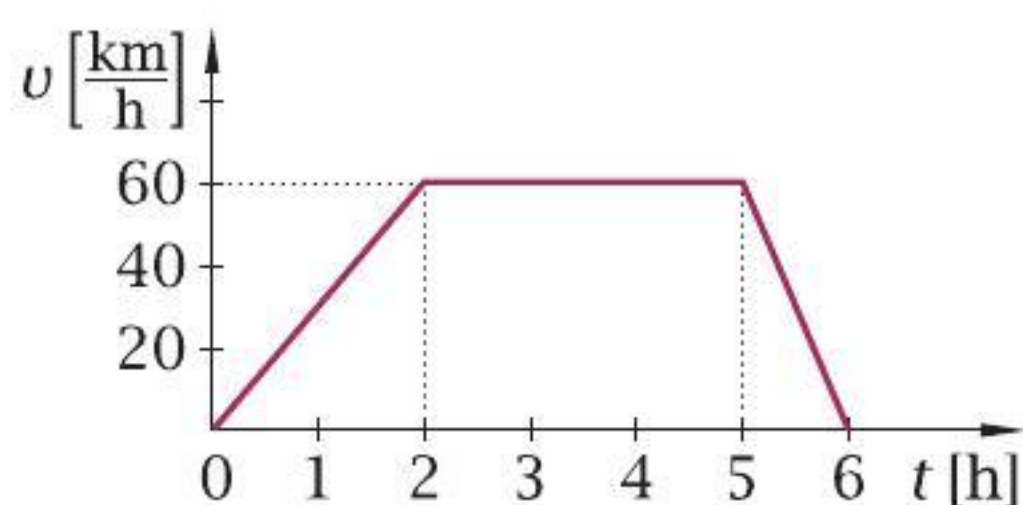
### Zadanie 2. Pary wykresów

Dopasuj wykresy  $s$  od  $t$  do wykresów  $v$  od  $t$  tak, aby opisywały ten sam ruch.



### Zadanie 3. Pociąg

Wykres opisuje ruch pociągu towarowego.



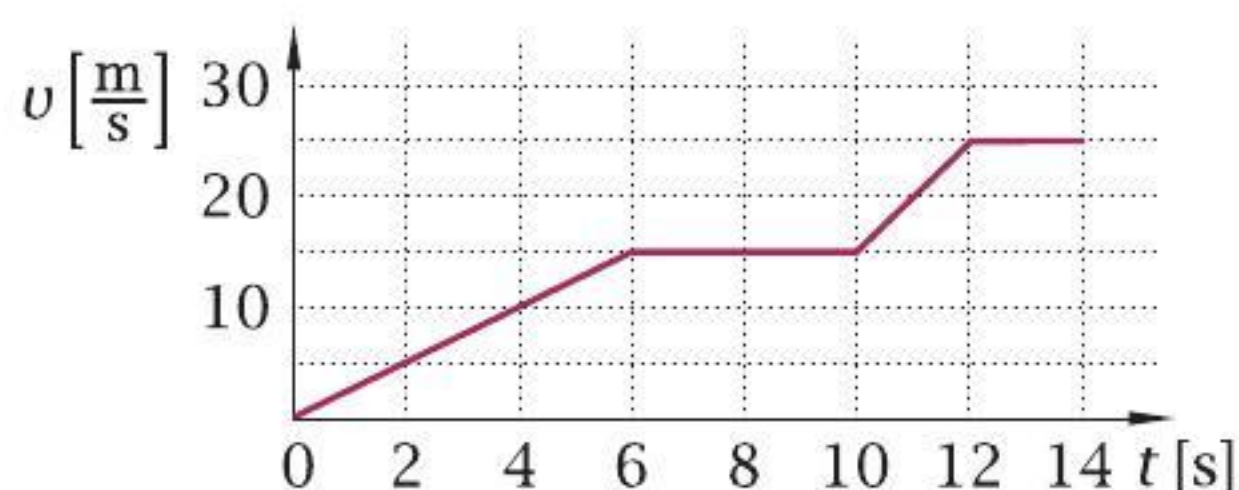
Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- ① Podczas pierwszej godziny ruchu pociąg pokonał taką samą drogę, jak podczas drugiej godziny ruchu.
- ② Podczas szóstej godziny ruchu pociąg pokonał krótszą drogę niż podczas piątej godziny ruchu.
- ③ Podczas drugiej i szóstej godziny ruchu pociąg pokonał taką samą drogę.
- ④ Podczas sześciu godzin ruchu pociąg pokonał mniej niż 180 km.



#### Zadanie 4. *Motocykl*

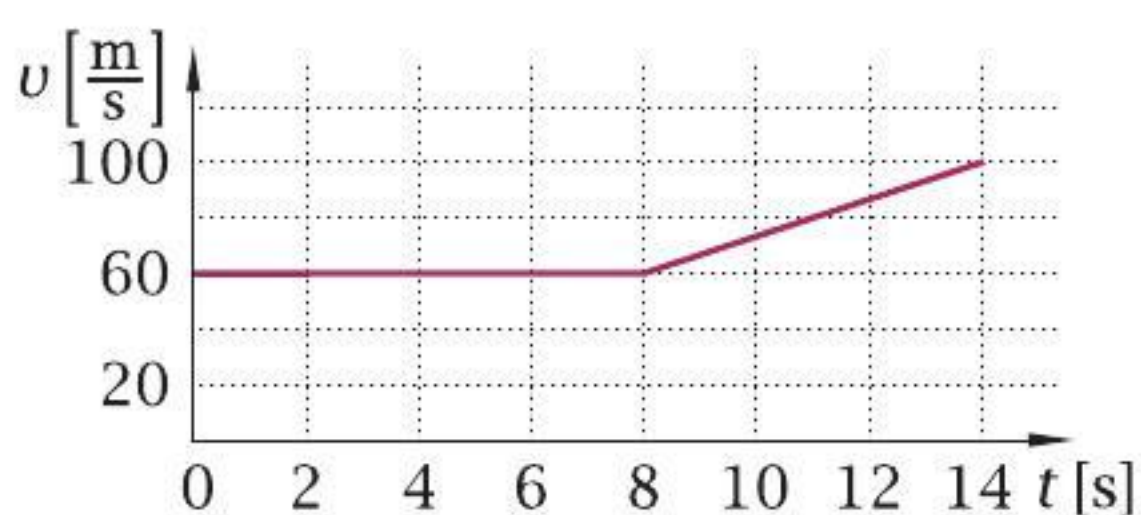
Poniższy wykres opisuje ruch motocykla.



- Podaj największą wartość prędkości, z jaką poruszał się motocykl.
- Wskaż przedziały czasu, w których ruch motocykla był jednostajny.
- Wskaż przedział czasu, w którym motocykl miał największe przyspieszenie.
- Oblicz drogę pokonaną przez ten motocykl w ciągu początkowych 10 s ruchu.
- Oblicz przyspieszenie motocykla od chwili 10 s do chwili 12 s.

#### Zadanie 5. *Helikopter*

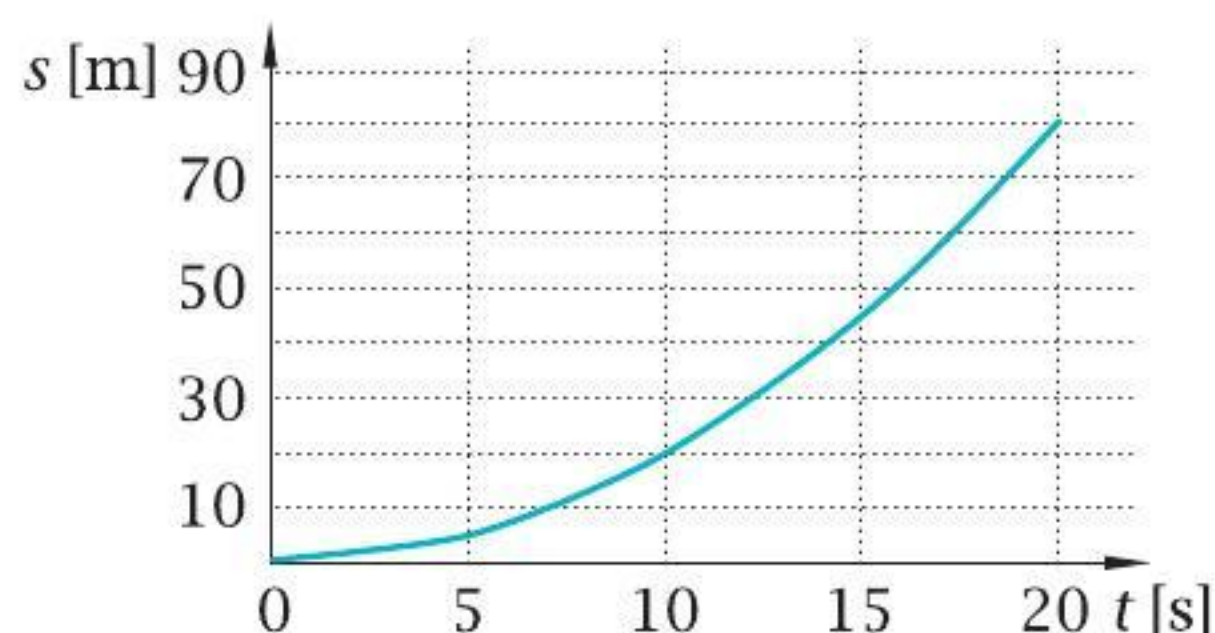
Helikopter przez początkowych 8 s poruszał się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Następnie, od chwili 8 s aż do chwili 14 s, zwiększał równomiernie prędkość. Wykres pokazuje zależność  $v$  od  $t$  podczas opisanych 14 s ruchu.



- Oblicz drogę pokonaną w ciągu 14 s.
- Narysuj wykres zależności przyspieszenia od czasu w ciągu tych 14 s.

#### Zadanie 6. *Spod świateł*

Wykres przedstawia zależność drogi, pokonanej przez samochód ruszający spod świateł w godzinach szczytu, od czasu.

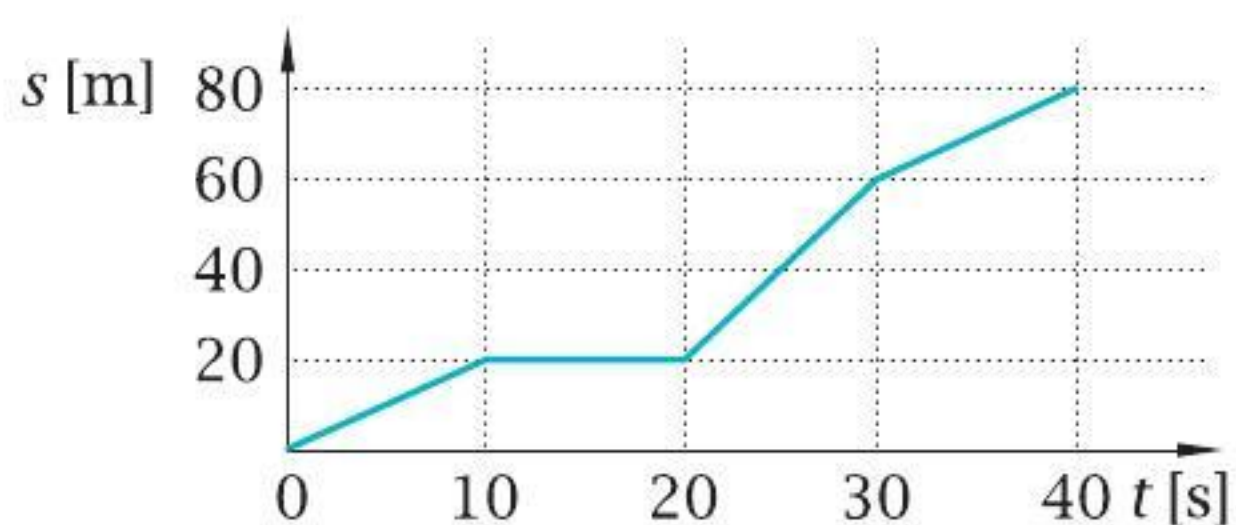


Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- Ruch samochodu był jednostajny.
- Prędkość pojazdu zwiększała się z upływem czasu.
- Pierwszych 30 m samochód przejechał w ciągu 10 s.
- Pewien odcinek o długości 30 m auto pokonało w czasie krótszym niż 5 s.
- Podczas początkowych 5 s ruchu pojazd pokonał więcej niż 10 m.

#### Zadanie 7. *Ciężarówka*

Wykres przedstawia zależność drogi, pokonanej przez ciężarówkę, od czasu.



- Narysuj wykres zależności prędkości  $v$  od czasu  $t$  dla tego ruchu.
- Oblicz prędkość średnią ciężarówki.



Jak myślisz?

- Czy na podstawie wykresu zależności przyspieszenia od czasu można obliczyć drogę?
- Jak porusza się ciało, na które nie działają żadne siły?
- Dlaczego ciała poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym lub jednostajnie opóźnionym? Co jest tego przyczyną?



# 26 Pierwsza zasada dynamiki Newtona



Na zdjęciu pokazano pozycje trzech manekinów po wjechaniu samochodem w ścianę z prędkością  $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Który z manekinów najbardziej oddalił się od swojego oparcia i dlaczego?

## Cel lekcji

Dowiesz się, co to znaczy, że ciało jest bezwładne i jakie to ma znaczenie. Nauczysz się stosować pierwszą zasadę dynamiki do wyjaśniania zachowania ciał.



## Co zatrzymuje trwający ruch?

Potrafisz już opisać ruch ciała, posługując się pojęciami: tor, droga, czas, prędkość i przyspieszenie. A co zatrzymuje trwający ruch? Jeśli pchniesz krążek hokejowy po podłodze, to on za chwilę się zatrzyma. Jednak jeśli pchniesz go po lodowisku, będzie poruszać się dłużej. Opory ruchu na lodowisku są mniejsze niż na podłodze. **Ruch zanika właśnie przez opory ruchu.** Gdyby nie te opory, krążek przebyłby całe lodowisko ze stałą prędkością. Przez ponad 2000 lat sądzono, że ruch zanika, gdy nie jest podtrzymywany. Ten pogląd okazał się jednak błędny.

## Dowiedz się więcej o zasadach dynamiki

W XVII wieku Isaac Newton (czyt. ajzaak niuton) sformułował trzy zasady, które jego zdaniem rządziły wszelkim ruchem. Często nazywa się je zasadami dynamiki Newtona, choć na ich trop natrafiali też inni badacze. **Dynamika** (z greckiego *dynamis* — siła, władza) to dział fizyki zajmujący się ruchem ciał, na które działają siły. Podczas najbliższych lekcji lepiej poznasz te zasady.



Wyobraź sobie przestrzeń kosmiczną, a w niej kulę umieszczoną tak daleko od innych ciał, że nie działają na nią żadne siły. Co będzie się z nią dziać? Jeśli kula spoczywa nieruchomo, to czemu miałaby ruszyć z miejsca bez żadnej przyczyny? Jaką miałaby uzyskać prędkość? Poprawna jest najprostsza odpowiedź: jeśli kula spoczywa, to nadal będzie spoczywać. A jeśli kula porusza się z prędkością  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ? Czy zatrzyma się lub przynajmniej zwolni, na przykład po godzinie? Nie, bo nie ma żadnej przyczyny, by zmieniła się prędkość kuli. Przyczyną mogłoby być oddziaływanie, na przykład przyciąganie grawitacyjne jakiejś planety lub opory ruchu w spotkaniu z kosmicznym pyłem. Brak zmiany dotyczy także kierunku i zwrotu prędkości: kula będzie się poruszać po prostej. Gdyby miała skrócić, musiałaby zadziałać jakaś siła.



Siła ciężkości doniczki jest równoważona przez siłę nacisku parapetu. Doniczka pozostaje w spoczynku.

### Pierwsza zasada dynamiki

Gdy na ciało nie działa żadna siła lub działające siły równoważą się, wtedy spoczywające ciało nadal spoczywa, a poruszające się ciało nadal się porusza ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Na rysunkach siły działające na każde z ciał równoważą się, czyli ich siła wypadkowa jest równa 0 N. Te ciała zachowują się tak, jakby nie działały na nie żadne siły (wpływ sił „kasuje się”). Ich ruch wynika z pierwszej zasady dynamiki.



Gdy siła ciężkości zostaje zrównoważona przez opory ruchu, spadochroniarz porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

### Doświadczenie

### Wskazania siłomierza a równowaga sił

- ① Przygotuj siłomierz o zakresie 10 N oraz odważnik o masie 0,5 kg (np. półlitrową butelkę wody).
- ② Zawieś odważnik na siłomierzu i trzymaj nieruchomo.
- ③ Powoli, ruchem jednostajnym podnoś w górę siłomierz z odważnikiem. Obserwuj wskazania siłomierza.
- ④ Następnie ruchem jednostajnym opuszczaj siłomierz z odważnikiem w dół i obserwuj wskazania siłomierza.
- ⑤ Teraz trzymaj siłomierz nieruchomo. Następnie gwałtownie podnieś go w górę lub opuść w dół. Obserwuj wskazania siłomierza.
- ⑥ W których przypadkach wskazanie siłomierza nie zmieniało się?
- ⑦ Czy potrafisz tak opuszczać siłomierz, by wskazał mniej niż 3 N?



Gdy zawieszony na siłomierzu odważnik spoczywa, to siła ciężkości odważnika jest równoważona przez siłę, którą hak siłomierza działa na odważnik. Okazuje się, że dokładnie tak samo będzie, gdy odważnik porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Siły w spoczynku i w ruchu jednostajnym prostoliniowym są takie same i nie zależy to od wartości prędkości. Wskazanie siłomierza zmienia się tylko wtedy, gdy odważnik porusza się z przyspieszeniem, czyli zmienia swoją prędkość.

### PRZYKŁAD 1.

Wskaż stwierdzenia zgodne z pierwszą zasadą dynamiki.

- ① Aby ciało się poruszało, musi na nie działać siła.
- ② Ciało może poruszać się nawet wtedy, gdy nie działa na nie żadna siła.
- ③ Spoczywające ciało nadal spoczywa, dopóki na to ciało nie zadziała nie zrównoważona siła.

Odp. ② i ③.

**ĆWICZENIE 1.** Wskaż stwierdzenia zgodne z pierwszą zasadą dynamiki.

- ① Ciało, na które działa siła, zawsze spoczywa.
- ② Ciało może spoczywać, gdy działające na nie siły równoważą się.
- ③ Poruszające się ciało nadal się porusza ruchem jednostajnym prostoliniowym, dopóki na to ciało nie zadziała nie zrównoważona siła.



Rower gwałtownie zahamował, a ciało rowerzysty kontynuuje ruch do przodu.

## Bezwładność

Gdy pędzisz rowerem i nagle zahamujesz, czujesz jak twoje ciało dalej chce jechać do przodu. A może nawet udało ci się kiedyś doświadczyć lotu przez kierownicę. To dlatego, że ciało jest niechętnie hamowaniu, niechętnie zmianie prędkości, jest **bezwładne**. Dotyczy to zarówno kierunku, jak i wartości prędkości. Pierwsza zasada dynamiki nazywana jest **zasadą bezwładności**, bo ciało samo z siebie nie może zmienić swojej prędkości (ciało jest „bez władzy” nad swoim ruchem). Bez ingerencji z zewnątrz ciało porusza się „bezwładnie”.

**Bezwładność** to cecha ciał, która oznacza niechęć do zmiany ruchu. Spoczywające ciało „chce” nadal spoczywać, a ciało poruszające się ruchem jednostajnym prostoliniowym „chce” go kontynuować.





Tramwaj gwałtownie rusza, a pasażerom wydaje się, że są ciągnięci w przeciwną stronę. Ich ciała „chcą” pozostać w miejscu.



Gdy kartonik przesunie się z dużym przyspieszeniem, moneta wpadnie do szklanki. Moneta „chce” pozostać w spoczynku.

Dość łatwo można zatrzymać lecącego komara, a bardzo trudno zatrzymać poruszający się z taką samą prędkością wagon kolejowy. Wynika to z faktu, że im ciało ma większą masę, tym trudniej zmienić jego prędkość.

**Masa** jest miarą bezwładności ciała.

### PRZYKŁAD 2.

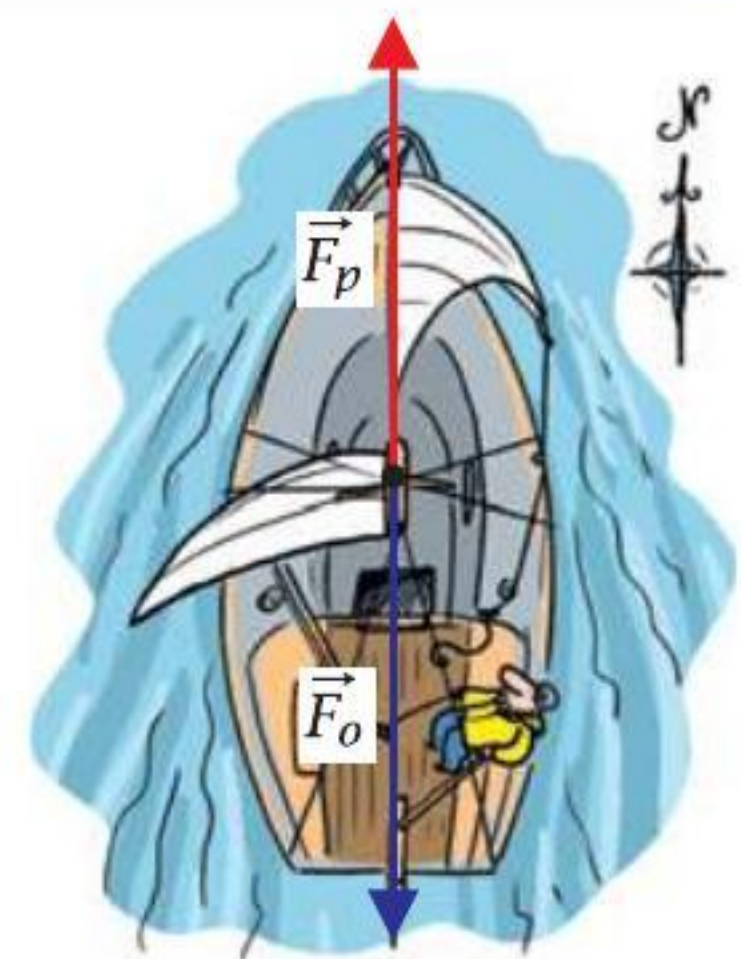
Żaglówka płynie po jeziorze prosto ze stałą prędkością  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , ponieważ wiatr pcha ją siłą o wartości 400 N zwróconą na północ. Wyznacz wartość oraz zwrot siły oporu działającej na żaglówkę. Przyjmij, że poza siłą wiatru i siłą oporu na żaglówkę nie działają żadne inne siły.

**Dane:**

$F_p = 400 \text{ N}$  — wartość siły, z jaką wiatr pcha żaglówkę

**Szukane:**

$F_o = ?$  — wartość siły oporu działającej na żaglówkę



**Rozwiązanie:** Żaglówka porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, więc zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki działające na nią siły **równoważą się**. Siłę, którą wiatr działa na żaglówkę, równoważy przeciwnie do niej zwrócona siła oporu.

Wartość prędkości nie jest potrzebna w rozwiązaniu — istotne jest tylko to, że prędkość się nie zmienia.

**Odp.** Siła oporu jest zwrócona na południe i ma wartość 400 N.

**ĆWICZENIE 2.** Lokomotywa ciągnie wagon siłą o wartości 10 kN zwróconą na zachód. Wagon porusza się po prostych, poziomych szynach ze stałą prędkością  $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Wyznacz wartość oraz zwrot siły oporu działającej na wagon. Przyjmij, że poza wymienionymi siłami na wagon nie działają żadne inne siły.



**Zadanie 1. Sonda**

W przestrzeni kosmicznej wystrzelono sondę z prędkością  $10 \frac{m}{s}$ . Sonda nie ma własnego napędu, a jej oddziaływanie z innymi ciałami możemy pominąć. Sonda ta będzie poruszać się ruchem:

- A. jednostajnie opóźnionym,
- B. jednostajnym prostoliniowym,
- C. jednostajnie przyspieszonym.

**Zadanie 2. Ładunek**

Na zdjęciu przedstawiono ciężarówkę, której szoferkę zniszczył przewożony ładunek. Do wypadku doszło na poziomej szosie i tylko na skutek niewłaściwego ruchu pojazdu.



- a) Wyjaśnij, jak poruszał się pojazd.
- b) Jak można uniknąć takich wypadków?

**Zadanie 3. Pasy bezpieczeństwa**

Przy gwałtownym hamowaniu samochodu pasażerowie pochylają się do przodu, a pasy bezpieczeństwa napinają się. A co by się stało, gdyby pasy nie były zapięte?



**Zadanie 4. Spadająca maskotka**

Maskotka spadająca pionowo w powietrzu po pewnym czasie przestaje przyspieszać. Co równoważy wtedy siłę ciężkości?

**Zadanie 5. Asteroidy**

Trzy asteroidy zmierzają w stronę Ziemi, każda z prędkością  $300 \frac{m}{s}$ . Asteroidy mają masy:

- ① 100 kg    ② 80 000 kg    ③ 1000 ton
- i nie działają na nie na razie żadne siły. Na którą z nich trzeba zadziałać siłą o największej wartości, aby ją zatrzymać?

**Zadanie 6. Młotek**

Gdy z trzonka młota zsuwa się obuch, to można go osadzić głębiej na trzonku, uderzając młotkiem w podłogę (zob. rysunek). Uzupełnij tekst słowami wybranymi z ramki.



grawitacją • bezwładnością  
zerową • pierwszą • trzecią

Obuch osadza się głębiej na trzonku, ponieważ wykazuje cechę zwaną ... Zgodnie z ... zasadą dynamiki obuch porusza się z nadaną prędkością w dół, dopóki nie zatrzymają go siły, którymi działa na niego trzonek.

**Zadanie 7. Samochód**

Samochód jedzie prosto z przyspieszeniem  $0 \frac{m}{s^2}$ . Ile wynosi wartość działającej na niego siły wypadkowej?

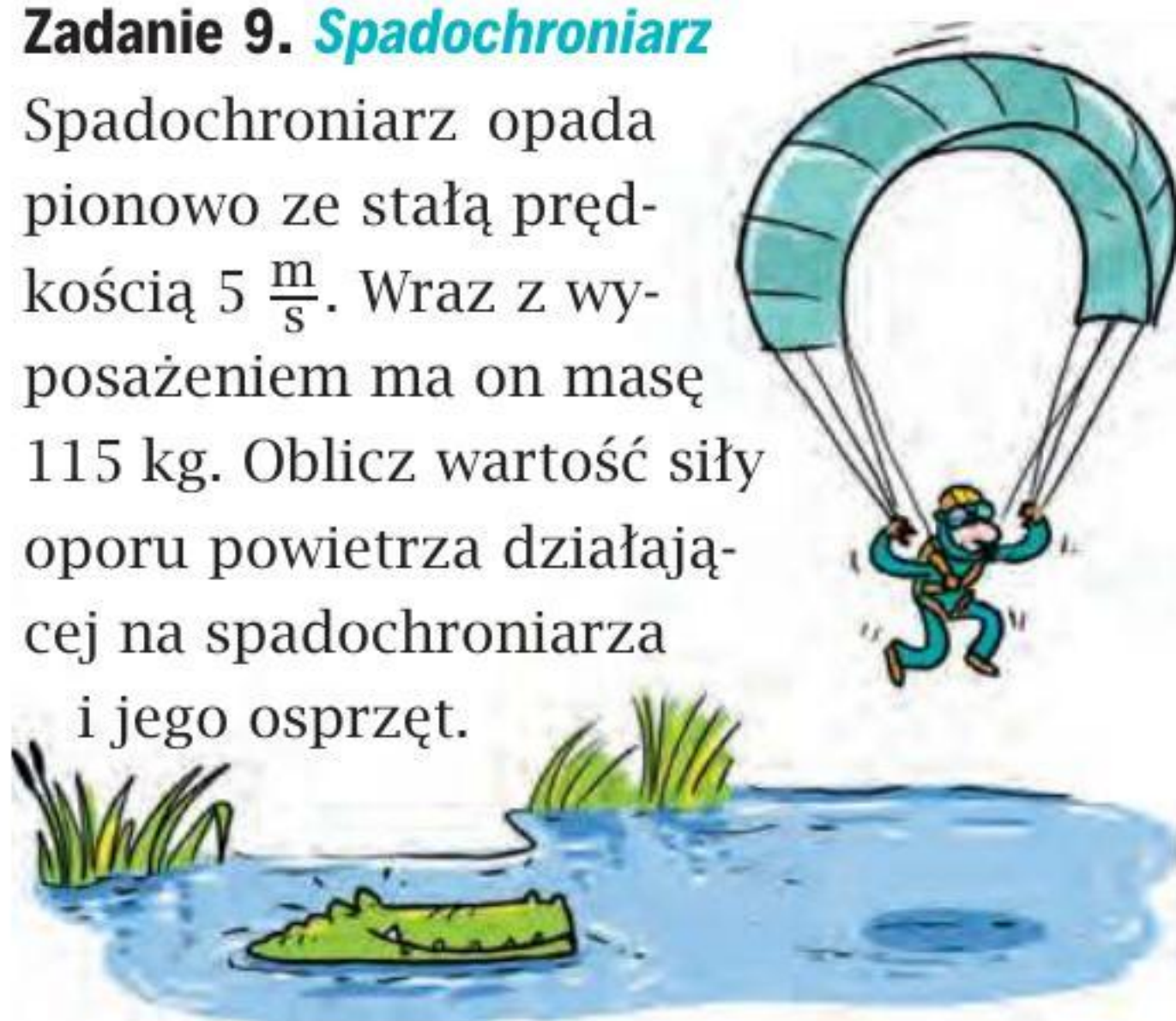
**Zadanie 8. Latająca wiewiórka**

Na spadającą pionowo latającą wiewiórkę działa siła ciężkości o wartości 3 N. Wiewiórka porusza się ze stałą prędkością. Wyznacz wartość oraz zwrot siły oporu powietrza działającej na wiewiórkę.



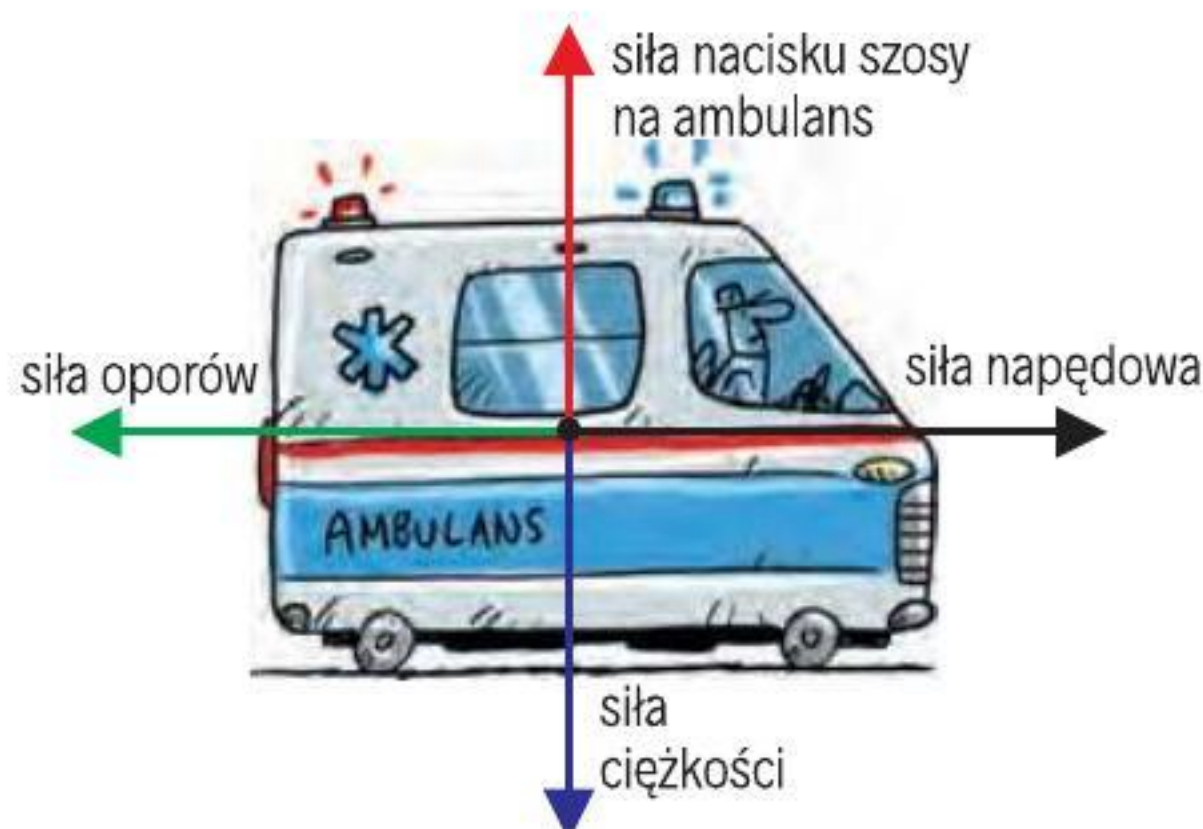
### Zadanie 9. *Spadochroniarz*

Spadochroniarz opada pionowo ze stałą prędkością  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Wraz z wyposażeniem ma on masę 115 kg. Oblicz wartość siły oporu powietrza działającej na spadochroniarza i jego osprzęt.



### Zadanie 10. *Ambulans*

Ambulans o masie 3500 kg jedzie prostą poziomą szosą ze stałą prędkością  $95 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  (zob. rysunek). Zwrócona na wschód siła napędowa ma wartość 1000 N.



- Podaj wartość zwróconej na zachód siły oporu powietrza działającej na ambulans.
- Oblicz wartość zwróconej w górę siły nacisku, którą szosa działa na ambulans, równoważąc siłę ciężkości.

### Zadanie 11. *Zupa mleczna*

Wyobraź sobie, że talerz z zupą mleczną stoi na poziomym blacie stołu kuchennego. Wyjaśnij, co stanie się z zupą w opisanych poniżej sytuacjach.

- Gwałtownie przesuwasz talerz w lewo.
- Najpierw powoli przesuwasz talerz w lewo, równomiernie przyspieszając, a następnie gwałtownie go zatrzymujesz.

### Zadanie 12. *Kaskader z przypadku*

— Miałem kaskaderską przygodę. Jechałem dosyć szybko na rowerze i jadłem jabłko... — opowiada Hasto.

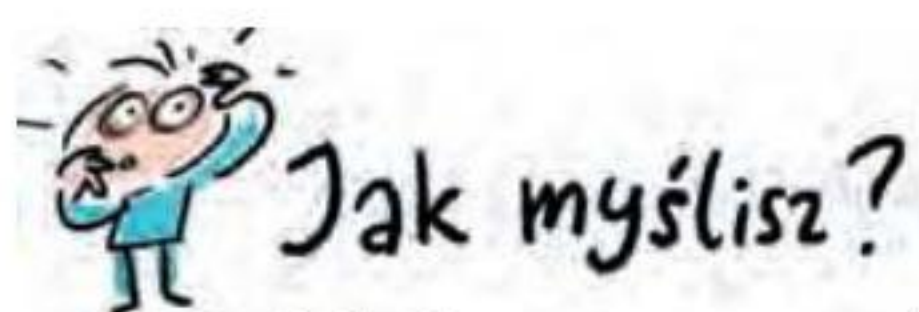
— No, rzeczywiście, niesamowita przygoda... — kpiarsko wtrąca Weritka.

— Nie przerywaj. Nagle kierownica obróciła się o 90 stopni, bo przednie koło wjechało w piasek. A ja poleciałem do przodu. Na szczęście w locie przekoziołkowałem, spadłem w ten piasek na plecy i nic mi się nie stało.

— Gdybyś dwiema rękami trzymał kierownicę, to pewnie nie doszłoby do wywrotki.

— Może... Ciekawi mnie jednak, dlaczego poleciałem dalej, skoro przednie koło się zatrzymało. Jaka siła pchała mnie do przodu?

- Wyjaśnij, dlaczego Hasto poruszał się do przodu, mimo że przednie koło roweru się zatrzymało.
- Czy rzeczywiście chłopca popchnęła do przodu jakaś siła?



- Jak tłumaczono ruch przed sformułowaniem pierwszej zasady dynamiki?
- Jeśli rakieta w kosmosie, z dala od innych ciał, wyrzuca za siebie spaliny, to przyspiesza. Do czego w tym wypadku stosuje się pierwsza zasada dynamiki?
- Po jakim torze poruszałaby się planeta, gdyby przestała na nią działać siła grawitacji?



# 27 Druga zasada dynamiki Newtona



Na zdjęciu widać zawodniczkę podczas rywalizacji w podnoszeniu ciężarów. Kiedy zawodniczka działa na sztangę siłą o największej wartości — gdy podrywa sztangę z pomostu do góry, czy gdy trzyma ją nieruchomo nad głową? A może gdy upuszcza sztangę?

## Cel lekcji 8

Poznasz związek między siłą działającą na ciało, jego przyspieszeniem i masą.



Prędkość i siła są zwrócone tak samo — ciało przyspiesza.



Prędkość i siła są zwrócone przeciwnie — ciało zwalnia.

## Co i jak wprawia ciało w ruch?

Z poprzedniej lekcji o pierwszej zasadzie dynamiki wiesz już, co się dzieje, gdy na ciało nie działa żadna siła albo działające siły równoważą się. Ciało będzie wtedy spoczywać lub poruszać się ruchem jednostajnym prostoliniowym. A co się stanie, jeżeli na ciało będzie działać siła, której nic nie równoważy?

Jeśli taka siła będzie działać „do przodu” (w tę samą stronę, w którą porusza się ciało), to ciało będzie przyspieszać. Jeśli siła będzie działać „do tyłu” (w przeciwną stronę niż porusza się ciało), to ciało będzie zwalniać.

Aby zmieniła się prędkość ciała, na ciało musi zadziałać siła. Siła może zmienić wartość prędkości ciała i kierunek jego ruchu.

Gdy siły działające na ciało nie równoważą się, to zmienia się prędkość ciała, a więc porusza się ono z przyspieszeniem.



## Co wpływa na przyspieszenie?

Sprawdźmy, jak powiązane są ze sobą przyspieszenie ciała, jego masa oraz wartość działającej na nie siły wypadkowej.

### Doświadczenie

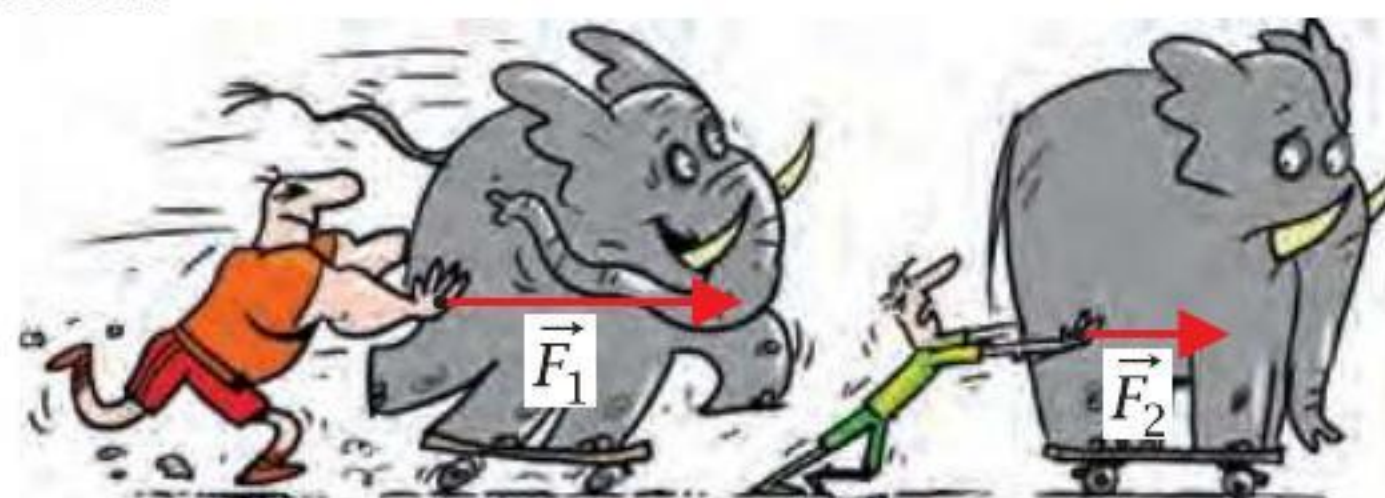
### Siła, masa, przyspieszenie

- ① Przygotuj siłomierz o zakresie 10 N, torebkę oraz trzy odważniki, każdy o masie 1 kg (np. torebki cukru).
- ② Włóż do torebki jeden odważnik.
- ③ Torebkę połóż na poziomym, śliskim blacie i zaczeep o nią haczyk siłomierza.
- ④ Łagodnie pociągnij poziomo trzymany siłomierz, by torebka z zawartością przesuwała się po blacie.
- ⑤ Zatrzymaj torebkę i, tym razem gwałtownie pociągając za siłomierz, wpraw torebkę w ruch po blacie.
- ⑥ Dołóż do torebki dwa odważniki. Powtórz etapy 3–5.
- ⑦ Jak wskazanie siłomierza zależy od gwałtowności rozpędzania (przyspieszenia) torebki? A jak od rozpędzanej masy?

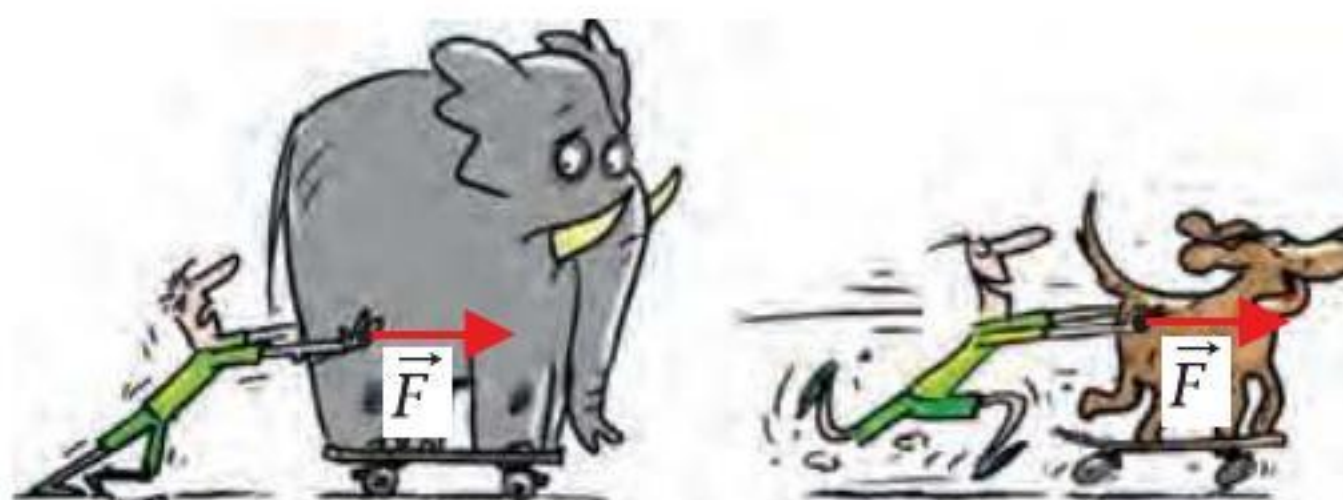
Pierwszy rysunek pokazuje dwie sytuacje, w których na to samo ciało działają siły o różnych wartościach.

Wartość siły ma wpływ na uzyskane przez to ciało przyspieszenie. **Większa wartość siły powoduje większe przyspieszenie.** Ale nie tylko to wpływa na wartość przyspieszenia.

Spójrz na drugi rysunek. Tym razem siła działająca na ciała jest w obu wypadkach taka sama. Okazuje się, że prędkość ciała o większej masie zmienia się wolniej. **Im większa masa ciała, tym mniejsze uzyskuje ono przyspieszenie.**



Dwa razy większa siła powoduje dwa razy większe przyspieszenie.



Ta sama siła działająca na ciało o 15 razy mniejszej masie powoduje 15 razy większe przyspieszenie.

### Druga zasada dynamiki

Gdy wartość siły wypadkowej działającej na ciało jest różna od zera, to ciało przyspiesza. Przyspieszenie ciała opisuje wzór:

$$\text{przyspieszenie} \longrightarrow a = \frac{F}{m}$$

← wartość siły wypadkowej  
← masa ciała

### Warto wiedzieć

Przyspieszenie ciała jest zwrócone tak, jak działająca na ciało siła wypadkowa.



**i Dla dociekliwych**

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

## Jednostka siły

Dzięki drugiej zasadzie dynamiki można wyrazić jednostkę siły — niuton (N) za pomocą innych jednostek. Z równania  $a = \frac{F}{m}$  wyznaczamy wartość siły  $F = a \cdot m$ .

Dla  $a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ,  $m = 1 \text{ kg}$  oraz  $F = 1 \text{ N}$  możemy zapisać równość  $1 \text{ N} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{kg}$ .

**Jeden niuton** (1 N) to wartość siły, która ciała o masie 1 kg nadaje przyspieszenie  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

### PRZYKŁAD 1.

Oblicz wartość przyspieszenia, z jakim porusza się arbuz o masie 4 kg, jeśli działająca na niego siła wypadkowa ma wartość 20 N.

**Dane:**

$m = 4 \text{ kg}$  — masa arbuza

$F = 20 \text{ N}$  — siła wypadkowa działająca na arbuza

**Szukane:**

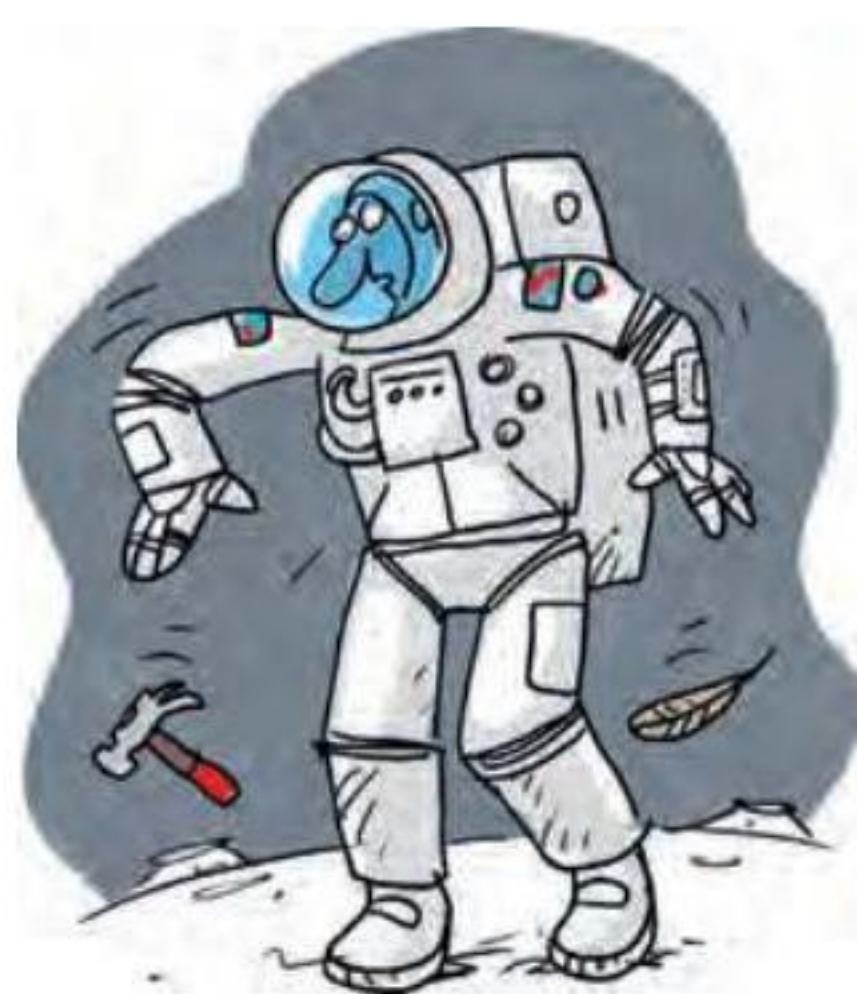
$a = ?$  — przyspieszenie arbuza

**Rozwiązanie:**  $a = \frac{F}{m}$

$$a = \frac{20 \text{ N}}{4 \text{ kg}} = \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cancel{\text{kg}}}{4 \cancel{\text{kg}}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Odp.** Arbuz porusza się z przyspieszeniem  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

**ĆWICZENIE 1.** Oblicz wartość przyspieszenia, z jakim porusza się wózek o masie 20 kg, jeśli działająca na niego siła wypadkowa ma wartość 50 N.



W 1971 roku na Księżycu astronauta upuścił jednocześnie młotek (1,3 kg) i sokole pióro (ok. 3 g). Oba przedmioty upadły jednocześnie, choć spadały znacznie wolniej niż przy powierzchni Ziemi.

## Spadek swobodny

Spadająca pionowo w dół piłka przyspiesza, ponieważ Ziemia przyciąga ją, działając na nią stałą siłą ciężkości.

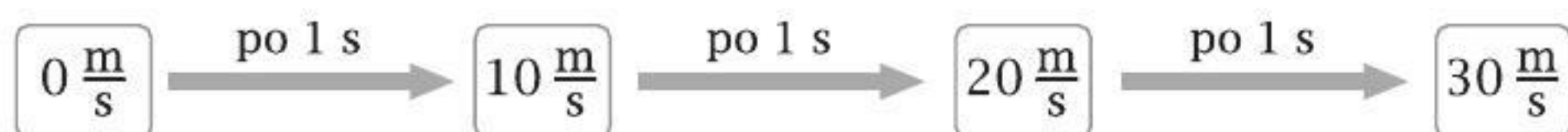
Jeśli upuścisz jednocześnie z tej samej wysokości piłkę do koszykówki oraz chusteczkę higieniczną, to pierwsza upadnie na podłogę piłka. Jednak jeśli chusteczkę i piłkę upuścimy w próżni, gdzie nie ma oporów ruchu, to spadną jednocześnie. Chusteczka przy powierzchni Ziemi opada dłużej tylko dlatego, że hamuje ją **siła oporu** powietrza.

Doświadczenia potwierdzają, że ciała o różnych masach i kształtach spadają z takim samym przyspieszeniem, jeżeli działa na nie tylko siła ciężkości i nie występują opory ruchu.

Spadanie wywołane tylko działaniem siły ciężkości nazywamy **spadaniem swobodnym**.



Na poniższym schemacie przedstawiono przybliżone wyniki pomiarów prędkości ciał spadających w próżni przy powierzchni Ziemi.



Słowo „swobodnie” oznacza, że należy pominąć inne siły, między innymi siły oporów, wyporu, nacisku. Przy powierzchni Ziemi wszystkie ciała spadają swobodnie z takim samym przyśpieszeniem. Przyśpieszenie to nazywamy **przyśpieszeniem ziemskim** i oznaczamy literą  $g$  (od określenia „grawitacyjne”). Przyśpieszenie ziemskie to krótsza nazwa przyśpieszenia grawitacyjnego na powierzchni Ziemi.

**Przyśpieszenie ziemskie** to przyśpieszenie, z którym **spadają swobodnie**, czyli tylko pod wpływem działania siły ciężkości, ciała przy powierzchni Ziemi.

Wartość przyśpieszenia ziemskiego to:

$$g \approx 10 \frac{m}{s^2}$$

### Warto wiedzieć

Dokładne pomiary wskazują, że przyśpieszenie ziemskie  $g \approx 9,8 \frac{m}{s^2}$ . Dla uproszczenia będziemy jednak przyjmować, że  $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$ .

Przyśpieszenie w spadku swobodnym to nic innego niż wielkość  $g$ , przez którą mnożyliśmy masę podczas lekcji 7, aby otrzymać ciężar ciała (zob. str. 48). Używaliśmy wtedy wygodniejszych jednostek  $\frac{N}{kg}$  (zamiast  $\frac{m}{s^2}$ ).

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

### PRZYKŁAD 2.

Na zdjęciu pokazano położenia spadającej swobodnie piłki. Ujęcia robiono co 0,05 s. Piłka początkowo spoczywała. Kiedy prędkość piłki była najmniejsza, a kiedy największa? Określ wartość przyśpieszenia piłki.

**Odp.** Prędkość była najmniejsza na początku, gdy piłka spoczywała, a największa w najniższym położeniu. Przyśpieszenie piłki jest równe przyśpieszeniu ziemskiemu, więc ma wartość około  $10 \frac{m}{s^2}$ .

**i** Zauważ, że im niżej znajduje się piłka, tym pokonuje ona większą drogę w tym samym czasie. Zatem jej prędkość jest coraz większa.



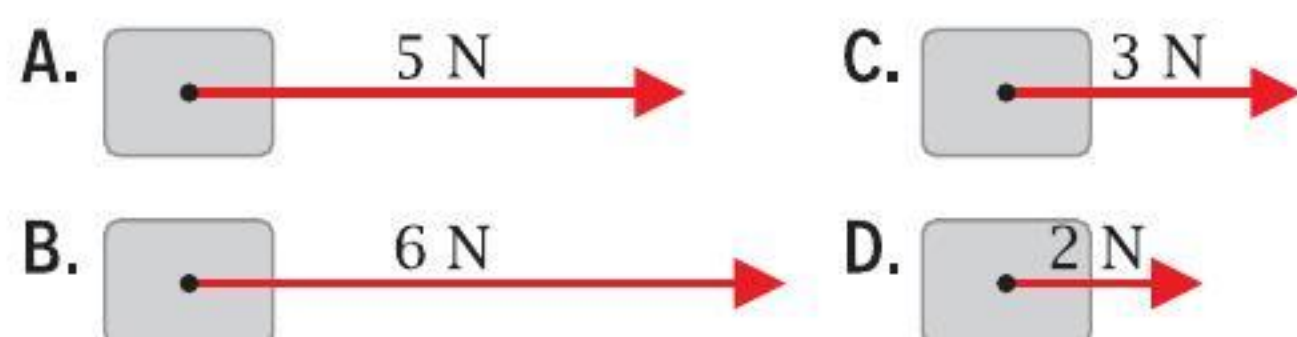
### ĆWICZENIE 2. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- ① W próżni przy powierzchni Ziemi metalowa moneta spada z większym przyśpieszeniem niż foliowa torebka.
- ② Określenie „spadek swobodny” oznacza, że na spadające ciało działa tylko siła ciężkości.
- ③ Podczas swobodnego spadku przy powierzchni Ziemi prędkość ciała zwiększa się co sekundę o około  $10 \frac{m}{s}$ .
- ④ Przyśpieszenie ciała spadającego swobodnie na Księżycu jest takie jak na Ziemi.



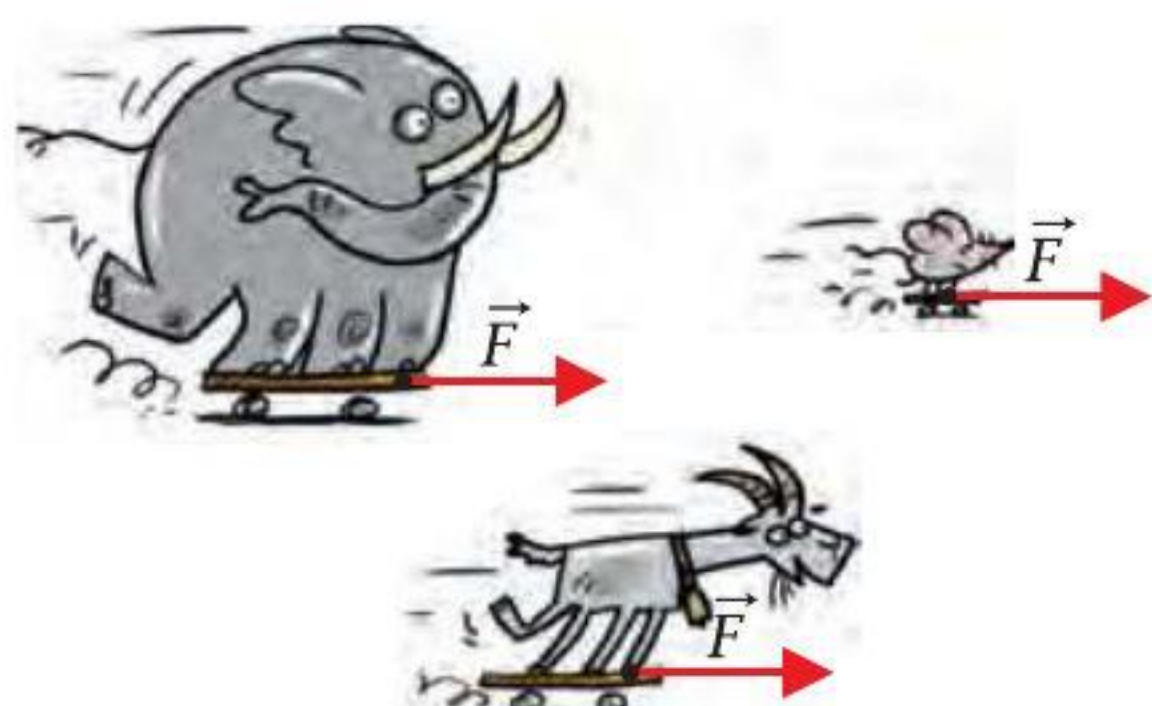
**Zadanie 1. Różne siły**

Które ciało porusza się z największym przyspieszeniem? Przyjmij, że wszystkie ciała mają taką samą masę.



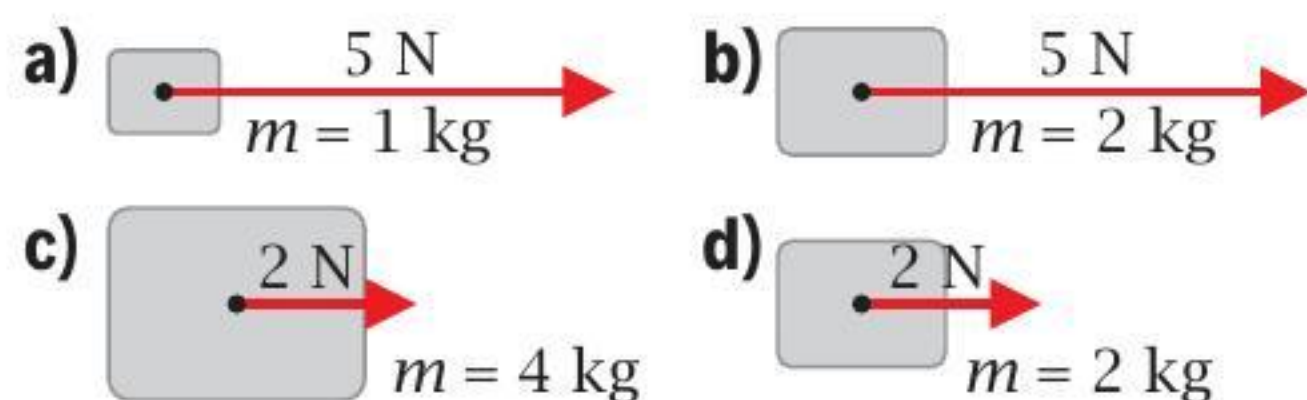
**Zadanie 2. Różne masy**

Na każde ciało działa siła wypadkowa o takiej samej wartości. Które ciało porusza się z największym przyspieszeniem?



**Zadanie 3. Jakie przyspieszenie?**

Oblicz przyspieszenie, z którym porusza się ciało. Przyjmij, że pokazana siła jest jedyną siłą, działającą na to ciało.



**Zadanie 4. Wagon**

Lokomotywa ciągnie 20-tonowy wagon siłą o wartości 25 kN. Przeciwnie zwrócona siła oporów ma wartość 1 kN. Wagon porusza się po poziomych szynach. Oblicz jego przyspieszenie.

**i** Najpierw oblicz wartość siły wypadkowej. Zwróć uwagę na jednostki.

**Zadanie 5. Samochód**

Na samochód o masie 1500 kg działa siła wypadkowa o wartości 9 kN. Oblicz przyspieszenie, z jakim porusza się samochód.

**Zadanie 6. Zmiana prędkości a siła**

Uzupełnij zdania określeniami z ramki, wiedząc, że dotyczą one ruchu prostoliniowego.

Jeśli prędkość ciała rośnie, to siła wypadkowa działająca na ciało ...

Jeśli prędkość ciała maleje, to siła wypadkowa działająca na ciało ...

Jeśli prędkość ciała nie zmienia się, to siła wypadkowa działająca na ciało ...

- jest zwrócona przeciwnie do prędkości
- jest zwrócona w tę samą stronę co prędkość
- jest równa 0 N

**Zadanie 7. Siła wypadkowa**

Samochód o masie 1,5 t porusza się z przyspieszeniem  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Oblicz siłę wypadkową działającą na samochód.

**i** Skorzystaj ze wzoru  $F = a \cdot m$ .

**Zadanie 8. Jaka masa?**

Na ciało działa siła wypadkowa przedstawiona na rysunku. Przyspieszenie ciała to  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Oblicz masę ciała.



**i** Z II zasady dynamiki:  $m = \frac{F}{a}$ .

**Zadanie 9. Masa pocisku**

Na pocisk wystrzeliwany z karabinu działa siła wypadkowa o wartości 1000 N. Pocisk porusza się z przyspieszeniem  $500\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Oblicz masę pocisku.



**Zadanie 10. Spadanie**

Czas spadania liścia w powietrzu wyniósł 0,8 s. Czas spadania tego liścia w próżni będzie:

A. większy      B. mniejszy      C. taki sam

**Zadanie 11. Jabłko**

Jabłko wypadło Hasto z ręki i spadało 0,5 s. Oblicz prędkość końcową jabłka, które początkowo spoczywało. Pomiń opór powietrza.

**Zadanie 12. Dodatkowa siła**

Ciało w spadku swobodnym porusza się z przyspieszeniem  $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Jak musi być zwrócona dodatkowa siła, by ciało spadało nadal pionowo, ale z większym przyspieszeniem?

**Zadanie 13. Na Księżycu**

Ciężar odważnika o masie 1 kg na powierzchni Księżycy to 1,6 N. Oblicz przyspieszenie w spadku swobodnym na powierzchni Księżycy.

**Zadanie 14. Spadanie na brzuchu**

Weritka czyta o spadochroniarstwie.

— Z jaką prędkością spada się przed otwarciem spadochronu? — zagaduje Hasto.

— W pozycji „na brzuchu” jeden ze skoczków osiągnął prędkość  $56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  po 12 sekundach od wyskoczenia z samolotu.

— Jeśli coś spada z przyspieszeniem  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , to po 12 sekundach powinno mieć znacznie większą prędkość!

— To prawda. Ale może przyspieszenie skoczka nie jest równe przyspieszeniu ziemskiemu?

a) Oblicz prędkość ciała spadającego swobodnie po 12 s od jego upuszczenia.

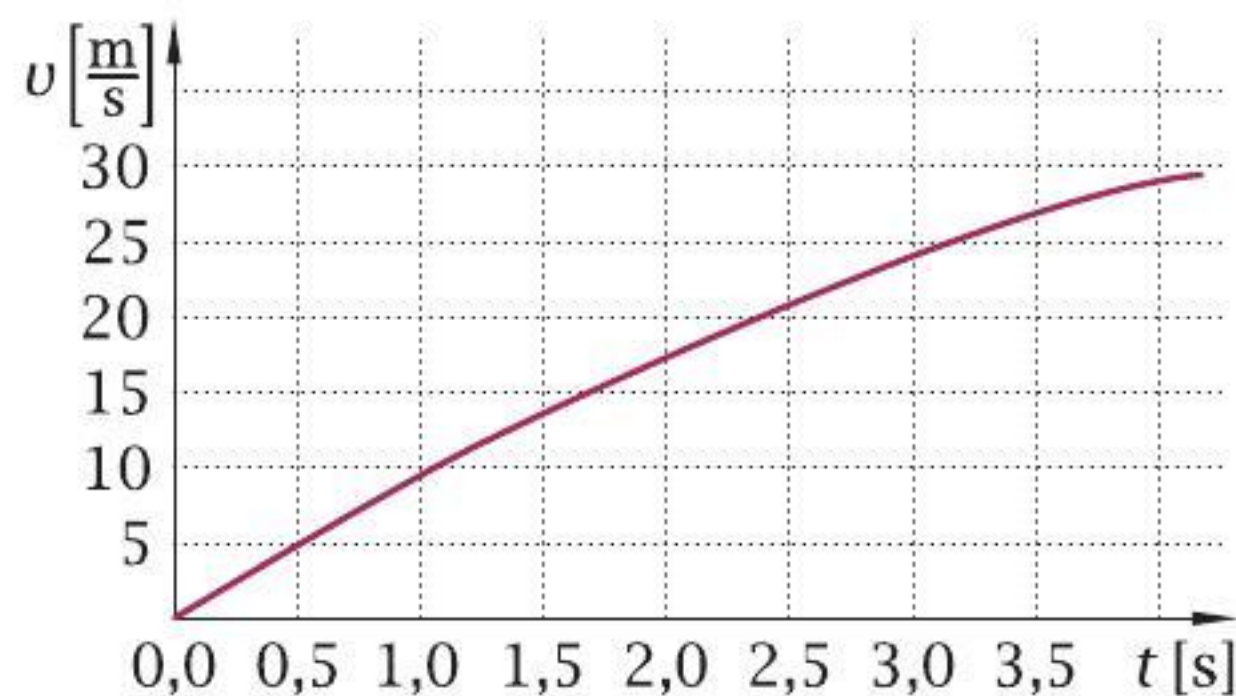
b) Czy skoczek spadochronowy spada swobodnie? Jakie inne siły, oprócz siły ciężkości, działają na skoczka?

**Zadanie 15. Żyrandol**

Gdy w sali balowej pękł hak utrzymujący żyrandol, ten zaczął spadać i uderzył w podłogę z prędkością  $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Przyjmij, że spadek był swobodny. Oblicz czas spadania żyrandola.

**Zadanie 16. Kula**

Na wykresie przedstawiono zależność prędkości kuli od czasu. Kula spadała w powietrzu z wysokości 80 m.



a) Czy kula przez cały czas poruszała się ruchem jednostajnie przyspieszonym? Odpowiedź uzasadnij.

b) W której sekundzie ruchu przyspieszenie kuli było najbliższe przyspieszeniu ziemskiemu?

c) Jakie siły działały na kulę?



**Jak myślisz?**

- Jak uzyskać sztuczną grawitację w statku kosmicznym?
- Jakie jest maksymalne przyspieszenie bezpieczne dla człowieka?
- Jakie jest maksymalne przyspieszenie młota kowalskiego odbijającego się od kowadła?



# 28 Trzy zasady dynamiki Newtona



Na zdjęciu pokazano start statku kosmicznego. Jakie siły działają na statek? Dzięki jakiej sile statek przyspiesza w górę? W której fazie lotu porusza się z największym przyspieszeniem?

## Cel lekcji 8

Nauczysz się wnioskować o ruchu ciał i działających na nie siłach na podstawie trzech zasad dynamiki.

## Jak siły wpływają na ruch?

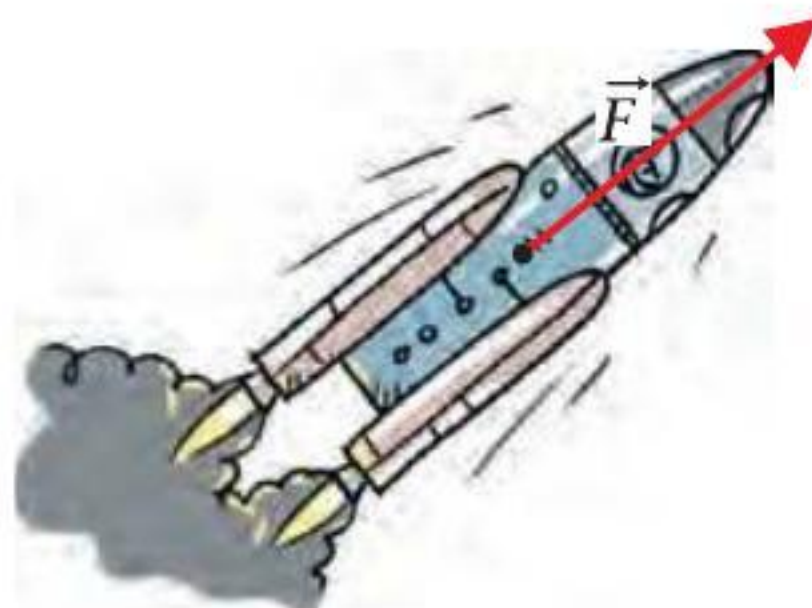
Ruch rzuconej piłki jest zgodny z zasadami dynamiki. Według tych zasad poruszają się również samochody, pociągi, statki, samoloty i rakiety. Znajomość zasad dynamiki jest ważna, bo dzięki nim jesteśmy w stanie przewidywać zachowanie ciał. Podsumujmy wiadomości dotyczące trzech zasad dynamiki, pierwszej i drugiej — poznanych na poprzednich lekcjach i trzeciej — omówionej w czasie lekcji 6 *Zasada akcji i reakcji*.



### I zasada dynamiki

Gdy na ciało nie działa żadna siła lub działające siły równoważą się, wtedy spoczywające ciało nadal spoczywa, a poruszające się ciało nadal się porusza ruchem jednostajnym prostoliniowym.

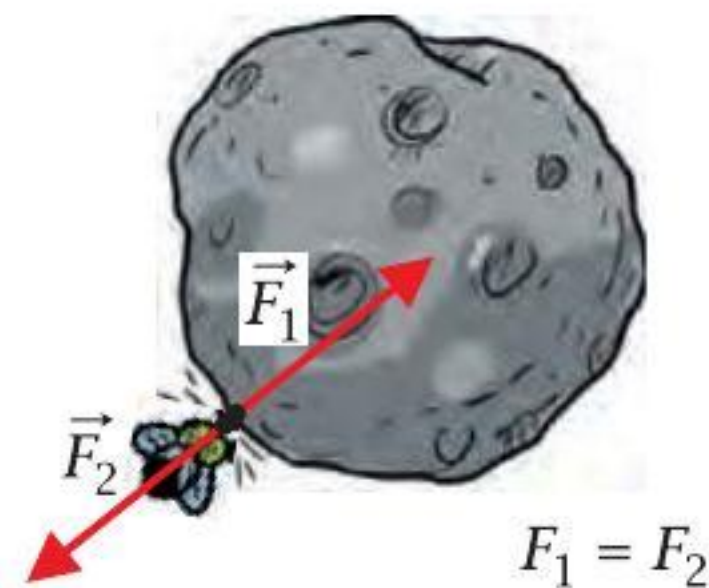
Gdy  $F = 0$ , to  $a = 0$ .



### II zasada dynamiki

Gdy wartość siły wypadkowej działającej na ciało jest różna od zera, to ciało przyspiesza. Przyspieszenie zależy od siły wypadkowej  $F$  oraz masy ciała  $m$ :

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



### III zasada dynamiki

Jeśli jedno ciało działa na drugie ciało siłą, to drugie ciało działa jednocześnie na pierwsze ciało siłą o takiej samej wartości i tym samym kierunku, ale zwróconą przeciwnie.



**PRZYKŁAD 1.**

Astronautka ze skrzynką z narzędziami pozostawała nieruchomo w przestrzeni kosmicznej. W pewnej chwili odepchnęła skrzynkę, działając na nią przez 0,5 s siłą o wartości 20 N. Na skutek tego oddziaływania skrzynka i astronautka zaczęły się od siebie oddalać. Astronautka w kombinezonie ma masę 100 kg, a skrzynka z narzędziami ma masę 10 kg. Pomiń wpływ innych oddziaływań.



- a) Jakim ruchem poruszała się skrzynka w czasie, gdy astronautka ją odpychała, a jakim — gdy przestała ją odpychać?
- b) Dlaczego astronautka zaczęła się poruszać?
- c) Podaj wartość siły, jaką skrzynka działała na astronautkę podczas odpychania.
- d) Oblicz przyśpieszenia skrzynki i astronautki w czasie odpychania.
- e) Oblicz prędkości, do jakich rozpędziły się skrzynka oraz astronautka.

**Dane:**

$t = 0,5 \text{ s}$  — czas działania na skrzynkę

$m_{\text{skrzynki}} = 10 \text{ kg}$  — masa skrzynki

$F = 20 \text{ N}$  — siła, z jaką działano na skrzynkę

$m_{\text{astro}} = 100 \text{ kg}$  — masa astronautki

- a) **Odp.** Najpierw poruszała się ruchem jednostajnie przyśpieszonym (II zasada dynamiki), a potem ruchem jednostajnym prostoliniowym (I zasada dynamiki).
- b) **Odp.** Odpychała ją skrzynka (III zasada dynamiki).
- c) **Odp.** Podczas odpychania skrzynka działała na astronautkę siłą o takiej samej wartości, jak astronautka na skrzynkę, czyli 20 N (III zasada dynamiki).

**d) Szukane:**

$a_{\text{skrzynki}} = ?$  — przyśpieszenie skrzynki

$a_{\text{astro}} = ?$  — przyśpieszenie astronautki

**Rozwiązanie:**

$$a = \frac{F}{m} \quad (\text{II zasada dynamiki})$$

$$a_{\text{skrzynki}} = \frac{20 \text{ N}}{10 \text{ kg}} = \frac{20 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{10 \text{ kg}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{\text{astro}} = \frac{20 \text{ N}}{100 \text{ kg}} = \frac{20 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{100 \text{ kg}} = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Odp.** Przyśpieszenie skrzynki to  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , a astronautki to  $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

**e) Szukane:**

$v_{\text{skrzynki}} = ?$  — prędkość skrzynki

$v_{\text{astro}} = ?$  — prędkość astronautki

**Rozwiązanie:**

$$\Delta v = a \cdot t$$

$$v_{\text{skrzynki}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ s} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{\text{astro}} = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ s} = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**Odp.** Skrzynka osiągnęła prędkość  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a astronautka  $0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .





Na zdjęciu pokazano start rakiety kosmicznej **Saturn V** podczas misji Apollo 11 w 1969 roku. Rakieta składała się z trzech członów, które po zużyciu były odrzucane. W zbiornikach w najniższym członie znajdował się ciekły tlen i nafta. Spaliny powstające podczas spalania nafty, czyli jej reakcji z tlenem, wylatywały z dyszy silnika w dół. Skoro spaliny były odrzucane przez raketę w dół, to działały na nią siłą zwróconą w górę – zgodnie z III zasadą dynamiki. Wartość tej siły, zwanej siłą ciągu, w przypadku rakiety Saturn V to ponad 30 000 kN podczas startu. Zgodnie z II zasadą dynamiki siła ta powodowała przyspieszenie rakiety i jej wznoszenie. Zauważ, że wraz ze zużywaniem paliwa masa rakiety malała, więc taka sama siła ciągu skutkowała większym przyspieszeniem. W kolejnych członach rakiety znajdował się ciekły tlen i ciekły wodór. Zastanów się, dlaczego przed startem zatankowano tlen, zamiast pobierać go z atmosfery.



Zauważ, że w przykładzie na str. 199 przyśpieszenie i prędkość astronautki były znacznie mniejsze od przyśpieszenia i prędkości skrzynki.

Astronautka wykorzystała **zjawisko odrzutu**. Odrzucając od siebie skrzynkę, rozpędziła się w przeciwną stronę. Na tej samej zasadzie rakieta odrzuca spaliny („odpycha” je), by przyśpieszać w przeciwną stronę.



Rakieta odpycha gaz,  
a gaz odpycha raketę.

**ĆWICZENIE 1.** Kajak i ponton wraz z pasażerami były unoszone nieruchomo na tafli jeziora. W pewnym momencie osoba z kajaka odepchnęła ponton, działając na niego siłą o wartości 250 N przez 0,4 s. Kajak z pasażerami ma masę 250 kg, a ponton ma masę 100 kg. Pomiń wpływ innych oddziaływań, w szczególności oporów ruchu.

- Jakim ruchem poruszał się ponton w czasie, gdy był odpychany, a jakim — po odepchnięciu?
- Podaj wartość siły, jaką ponton działał na odpychającego go człowieka.
- Oblicz przyśpieszenia pontonu i kajaka w czasie odpychania.
- Oblicz prędkości, do jakich rozpędziły się ponton i kajak.
- Czy wyniki byłyby inne, gdyby zamiast osoby z kajaka to osoba z pontonu odepchnęła kajak (działając na niego siłą o takiej samej wartości, przez tyle samo czasu)?

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. *Trzy zasady dynamiki*

Wskaż zdania prawdziwe. Jeżeli zdanie jest nieprawdziwe, wytłumacz dlaczego.

- Gdy na ciało nie działa żadna siła, to takie ciało na pewno się nie porusza.
- Bezwładność oznacza, że niezbędna jest siła, by zmienić prędkość ciała.
- Gdy na ciało działa siła wypadkowa o wartości różnej od 0 N, to jego prędkość zawsze rośnie.
- Na spadające swobodnie ciało działa siła ciężkości oraz siła oporów.
- Gdy jedno ciało działa siłą na inne ciało, wtedy drugie ciało działa na to pierwsze siłą przeciwnie zwróconą.

### Zadanie 2. *Kometa*

Uzupełnij zdania określeniami wybranymi z ramki.

Jeżeli na kometę lecącą w przestrzeni kosmicznej nie działa żadna siła, to porusza się ona ruchem ... prostoliniowym.

Gdy kometa zbliży się do planety i zacznie na nią działać siła grawitacji zwrócona tak samo jak prędkość komety, to wartość tej prędkości będzie ...

- |                |            |
|----------------|------------|
| • jednostajnym | • zmiennym |
| • rosnąć       | • maleć    |



### Zadanie 3. Piłka i ciężarówka

Wyobraź sobie, że pędząca ciężarówka zderza się z lecącą piłką do siatkówki.

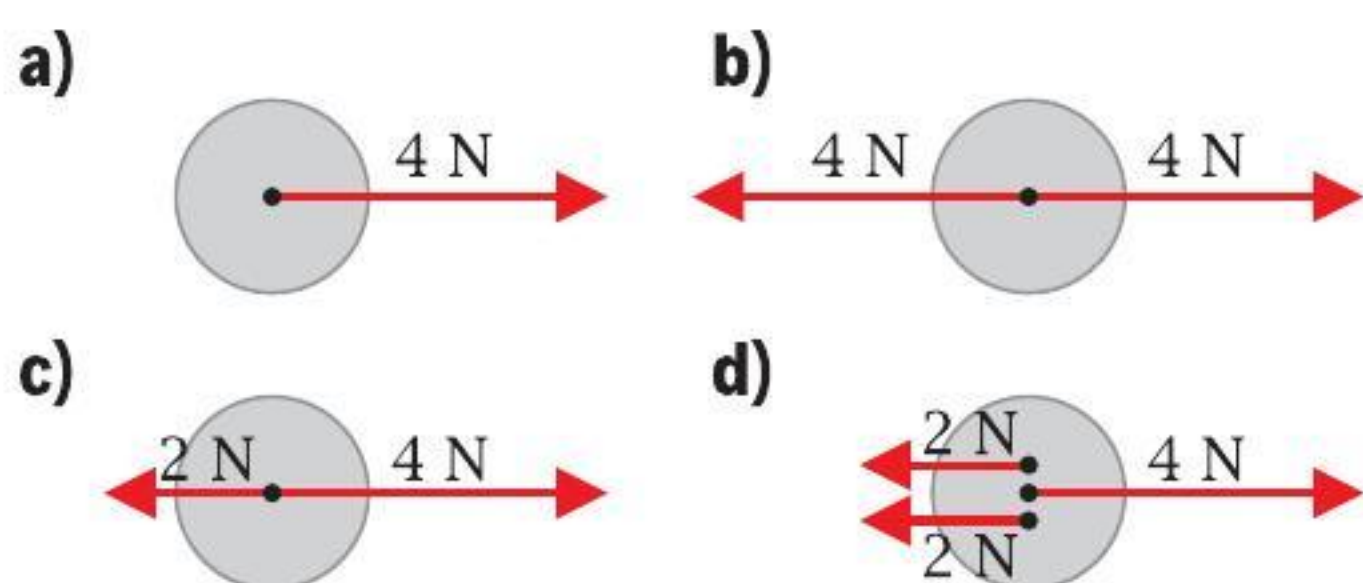
- Co ma większą wartość: siła, z jaką ciężarówka działa na piłkę, czy siła, z jaką piłka działa na ciężarówkę?
- Prędkość którego z ciał zmieniła się bardziej w wyniku tego zderzenia?

### Zadanie 4. Wystrzał

Przy wystrzale pocisku z karabinu siła działająca na pocisk ma taką samą wartość, jak siła działająca na karabin. Dlaczego przyspieszenia tych ciał są różne?

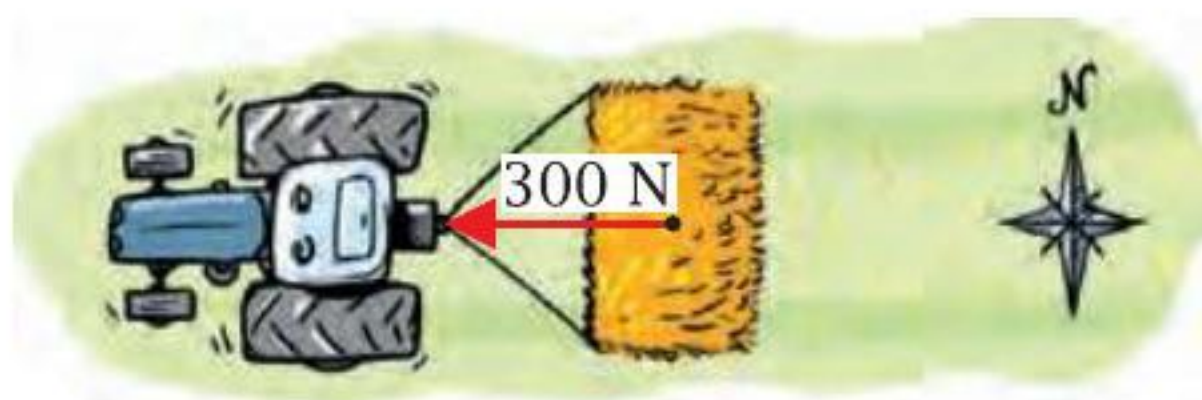
### Zadanie 5. Przyspieszenie

Oblicz przyspieszenie kuli o masie 2 kg, na którą działają siły przedstawione na schemacie.



### Zadanie 6. Na farmie

Ciągnik ciągnie belę słomy o ciężarze 2000 N siłą o wartości 300 N. Bela porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.



- Podaj wartość przyspieszenia beli.
- Podaj wartość siły wypadkowej działającej na belę.
- Określ wartość zwróconej w górę siły nacisku, którą podłoże działa na belę.
- Określ wartość zwróconej na wschód siły tarcia działającej na belę.

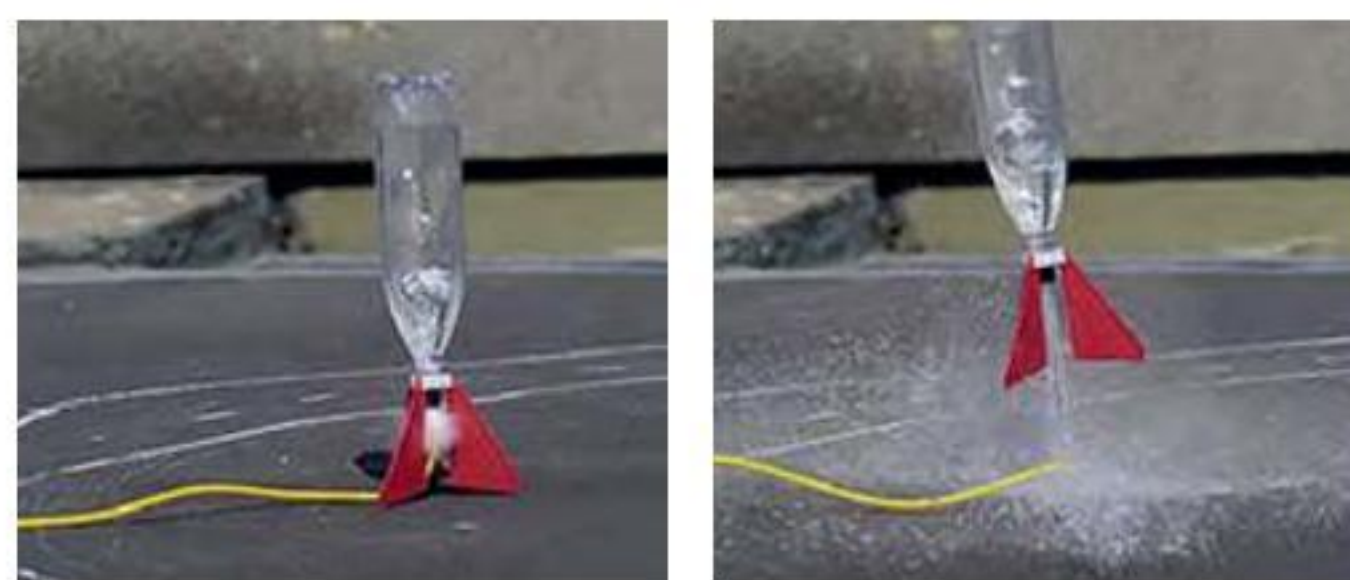
### Zadanie 7. Przyspieszający samochód

Samochód o masie 800 kg porusza się po poziomej szosie z przyspieszeniem  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  zwróconym na wschód. Pomiń opór powietrza.

- Oblicz wartość siły wypadkowej działającej na samochód.
- Co działa na samochód poziomą siłą zwróconą na wschód?
- Jaka jest wartość poziomej, zwróconej na zachód siły, którą samochód działa na szosę?

### Zadanie 8. Rakieta wodna

— Zamierzam skonstruować taką raketę wodną. — Hasto pokazuje Weritce zdjęcia rakiety wykonanej z plastikowej butelki wypełnionej częściowo wodą.



— Tym węzłem do wnętrza butelki jest doprowadzane powietrze? — Weritka przygląda się fotografiom.

— Tak. A w pewnym momencie ciśnienie wewnątrz butelki jest na tyle duże, że wypycha korek.

— I wtedy butelka wyrzuca z siebie wodę.

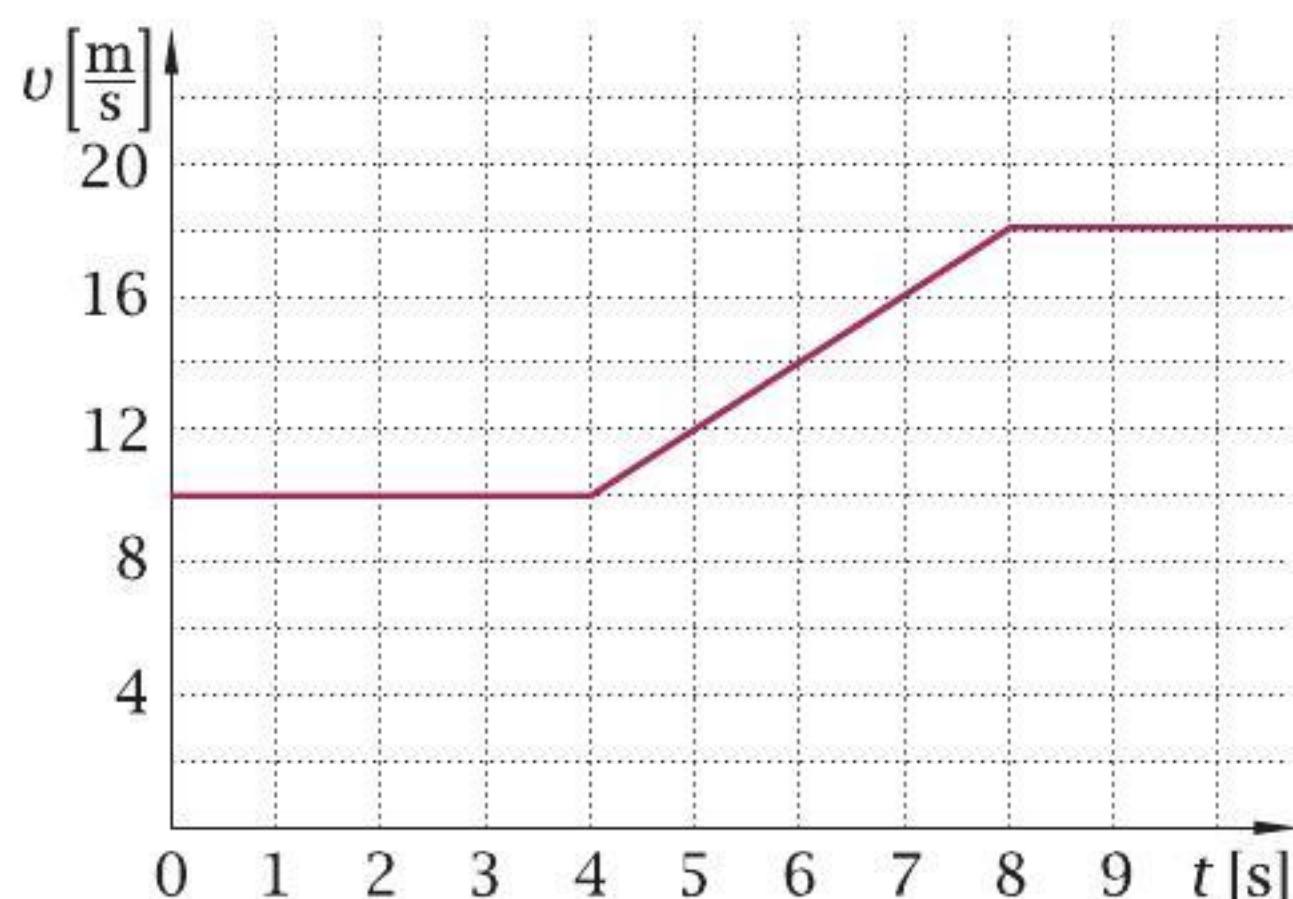
— Dzięki temu leci do góry, jak prawdziwa rakietka.

- Powołując się na odpowiednie zasady dynamiki, wyjaśnij, dlaczego opisana rakietka przyspiesza do góry.
- Po wyrzuceniu części wody rakietka wraz z zawartością ma ciężar 10 N oraz leci w górę, przyspieszając. Co wiadomo o wartości siły, którą rakietka działała na porcję wyrzucanej wody?



### Zadanie 9. Zmiana prędkości

Zależność prędkości  $v$  motorówki od czasu  $t$  przedstawiono na wykresie. Torem motorówki była prosta. Masa motorówki wynosiła 400 kg.



- Podaj przyspieszenie motorówki od chwili 0 s do chwili 4 s.
- Oblicz, jakie przyspieszenie miała motorówka od chwili 4 s do chwili 8 s.
- Oblicz wartość siły wypadkowej działającej na motorówkę w chwili 7 s.

### Zadanie 10. Flyboard

Flyboard to urządzenie, które umożliwia unoszenie się na desce w powietrzu dzięki zjawisku odrzutu. Na desce można ustawić się w taki sposób, żeby człowiek i deska pozostawali w spoczynku. Oblicz wartość pionowej, zwróconej w górę siły, którą w takiej sytuacji na deskę działa wyrzucana woda, jeśli masa człowieka to 90 kg, a masa deski to 20 kg. Pomiń oddziaływanie między deską a wężem doprowadzającym wodę.



### Jak myślisz?

- Czy trzy zasady dynamiki Newtona opisują wszystkie zjawiska?
- Jaką masę musiałby mieć człowiek, by — podskakując z przyspieszeniem  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  — spowodować przyspieszenie Ziemi o takiej samej wartości?
- Dlaczego wchodząc pod górę, męczymy się bardziej, niż idąc po równinie, chociaż działająca na nas siła ciężkości jest w obu przypadkach taka sama?



### Fizyka na wesoło...

- Powiedz mi, jak brzmi pierwsza zasada dynamiki — prosi nauczyciel.
- Ciała... ciała pozostają... poruszają się... — zaczyna niepewnie uczeń.
- Taaak... Pozostają w ruchu... A spoczywające? — pomaga nauczyciel.
- Yyy...
- No, wyobraź sobie, że leżysz w łóżku.
- A! Spoczywające nadal spoczywają, chyba, że mama każe już wstawać!



## CZĘŚĆ 1. Zestawienie wiadomości

1

**Ruch ciała jest względny**, zawsze opisujemy go względem innego ciała.

**Tor** to linia, po której porusza się ciało. **Droga** ( $s$ ) to długość toru. Podstawowa jednostka drogi to 1 m.

2

5

**Ruch jednostajny prostoliniowy** to ruch po linii prostej, w którym wartość prędkości się nie zmienia. Wtedy droga przebyta w jednostkowych przedziałach czasu jest stała. **Ruch jednostajnie przyspieszony** to ruch, w którym wartość prędkości rośnie w jednostkowych przedziałach czasu o tę samą wartość. **Ruch jednostajnie opóźniony** to taki, w którym wartość prędkości maleje w jednostkowych przedziałach czasu o tę samą wartość.

6

Gdy na ciało działa stała siła wypadkowa, to porusza się ono:  
– ruchem jednostajnie **przyspieszonym**, gdy siła jest zwrócona tak, jak prędkość ciała,  
– ruchem jednostajnie **opóźnionym**, gdy siła jest zwrócona przeciwnie do prędkości ciała.

10

### II zasada dynamiki

Gdy wartość siły wypadkowej działającej na ciało o masie  $m$  jest różna od zera ( $F \neq 0$ ), to ciało przyspiesza. Przyspieszenie ciała opisuje wzór:  $a = \frac{F}{m}$ . Im większa wartość siły wypadkowej, tym większe przyspieszenie.

1 N (niuton) to wartość siły, która ciało o masie 1 kg nadaje przyspieszenie  $1 \frac{m}{s^2}$ .

9

**Spadanie swobodne** to ruch ciała upuszczonego z pewnej wysokości, odbywający się wyłącznie pod wpływem siły ciężkości. W pobliżu powierzchni Ziemi spadające swobodnie ciała poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Przyspieszenie ( $g$ ) w tym ruchu wynosi około  $10 \frac{m}{s^2}$  i jest nazywane przyspieszeniem ziemskim.



**Prędkość** ( $v$ ) obliczamy, dzieląc przebytą drogę  $s$  przez czas  $t$ , w którym ta droga została przebyta:  $v = \frac{s}{t}$ . Najczęściej używane jednostki prędkości to:  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  i  $1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

3

**Przyśpieszenie** ( $a$ ) obliczamy, dzieląc zmianę prędkości  $\Delta v$  przez czas  $t$ , w którym ta zmiana prędkości nastąpiła:  $a = \frac{\Delta v}{t}$ . Jednostką przyśpieszenia jest  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

4

### **I zasada dynamiki**

Gdy na ciało nie działa żadna siła lub działające siły równoważą się, wtedy spoczywające ciało nadal spoczywa, a poruszające się ciało nadal się porusza ruchem jednostajnym prostoliniowym.

7

8

### **Bezwładność**

to cecha ciał, która oznacza niechęć do zmiany ruchu. Spoczywające ciało będzie nadal spoczywać, a ciało poruszające się ruchem jednostajnym prostoliniowym będzie ten ruch kontynuować, dopóki na ciało nie zadziała siła. Ciało o większej masie ma większą bezwładność.

11

### **III zasada dynamiki**

Jeżeli jedno ciało oddziałuje na drugie siłą, to również drugie ciało oddziałuje na pierwsze siłą o tym samym kierunku i takiej samej wartości, ale zwróconą przeciwnie.



## CZĘŚĆ 2. Sprawdź, czy wiesz

1. Omów na wybranym przez siebie przykładzie, na czym polega względność ruchu.
2. Wyjaśnij, czym różni się tor od drogi.
3. Wyjaśnij, na czym polega zaokrąglenie wyników do trzech cyfr znaczących.
4. Wyjaśnij, co oznacza określenie *ruch prostoliniowy*.
5. Podaj i objaśnij wzór definiujący prędkość.
6. Wyjaśnij, co to znaczy, że prędkość ciała wynosi  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
7. Podaj i objaśnij wzór definiujący przyspieszenie.
8. Wyjaśnij, co to znaczy, że przyspieszenie ciała wynosi  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .
9. Omów cechy ruchu jednostajnego prostoliniowego.
10. Przedstaw na wykresie zależność drogi  $s$  od czasu  $t$  w ruchu jednostajnym.
11. Przedstaw na wykresie zależność prędkości  $v$  od czasu  $t$  w ruchu jednostajnym.
12. Wyjaśnij, w jaki sposób obliczamy drogę z wykresu zależności prędkości  $v$  od czasu  $t$ .
13. Wyjaśnij, jaki warunek musi spełniać siła wypadkowa, aby ciało poruszało się ruchem jednostajnym prostoliniowym.
14. Wyjaśnij, na czym polega bezwładność ciała. Podaj przykłady zjawisk, które tłumaczymy, stosując zasadę bezwładności.
15. Przedstaw cechy ruchu jednostajnie przyspieszonego prostoliniowego oraz jednostajnie opóźnionego prostoliniowego.
16. Przedstaw na wykresie zależność prędkości  $v$  od czasu  $t$  w ruchu jednostajnie przyspieszonym oraz jednostajnie opóźnionym.
17. Opisz, jak obliczyć zmianę prędkości ciała w ruchu jednostajnie przyspieszonym oraz jednostajnie opóźnionym.
18. Opisz siłę wypadkową działającą na ciało, gdy porusza się ono ruchem jednostajnie przyspieszonym prostoliniowym.
19. Wyjaśnij, czy w ruchu jednostajnie przyspieszonym lub opóźnionym zwrot siły wypadkowej jest zawsze zgodny ze zwrotem wektora prędkości ciała.
20. Określ, jak zachowa się nieruchome ciało, jeśli zacznie działać na nie stała siła wypadkowa.
21. Od czego zależy przyspieszenie ciała?
22. Określ, jak zachowa się ciało poruszające się ze stałą prędkością, jeśli zacznie na nie działać stała siła wypadkowa, zwrócona przeciwnie do prędkości.
23. Co to znaczy, że ciało spada swobodnie? Jakim ruchem porusza się takie ciało?
24. Podaj trzy zasady dynamiki Newtona.

## CZĘŚĆ 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka

**Zadanie 1.** Dwa samochody jadą jeden za drugim z taką samą prędkością, po prostym odcinku autostrady. Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

*Samochody są:*

*względem siebie w spoczynku / w ruchu,*

*względem ziemi w spoczynku / w ruchu,*

*względem znaków drogowych przy autostradzie w spoczynku / w ruchu.*



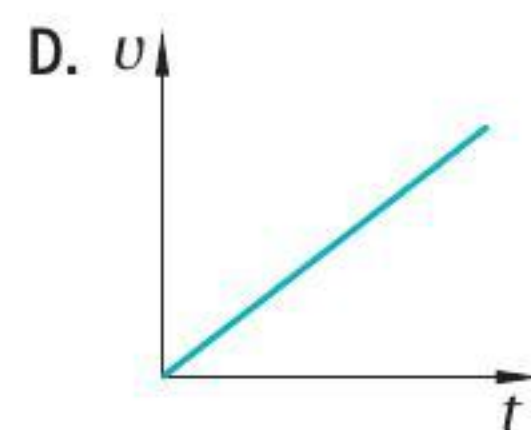
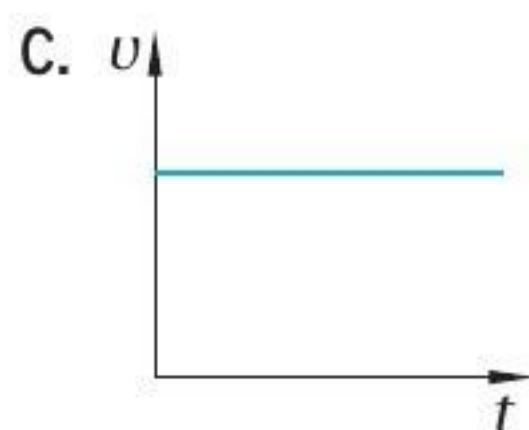
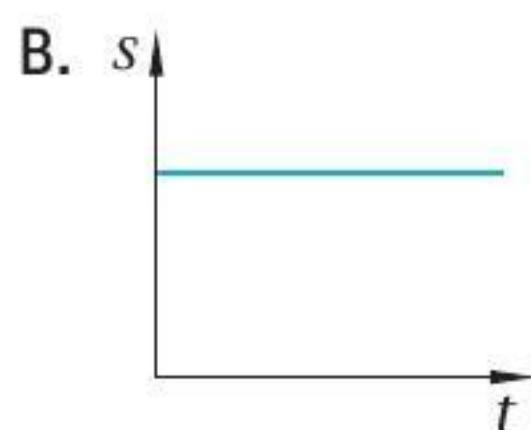
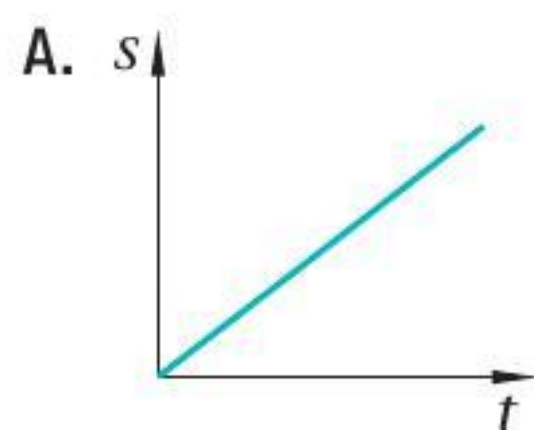
**Zadanie 2.** Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

W ruchu prostoliniowym *tor/droga* jest linią prostą. Litera *s* używana do oznaczania czasu/drogi. Podstawową jednostką drogi jest 1 metr/1 kilometr.

**Zadanie 3.** Samochód porusza się z prędkością  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oznacza to, że:

- A. w czasie 20 s przebywa drogę 20 m,      C. w czasie 10 s przebywa drogę 2 m,  
B. w czasie 20 s przebywa drogę 1 m,      D. w czasie 10 s przebywa drogę 200 m.

**Zadanie 4.** Przeanalizuj wykresy i wybierz poprawne uzupełnienia zdania.



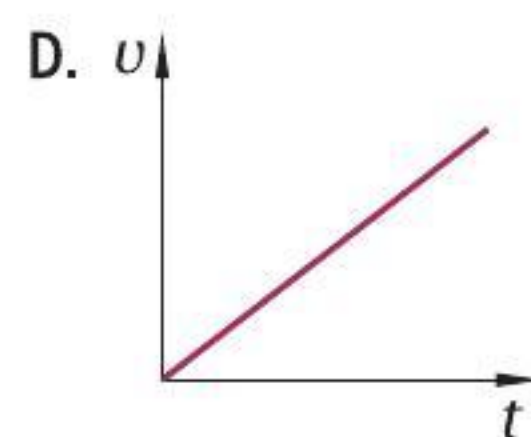
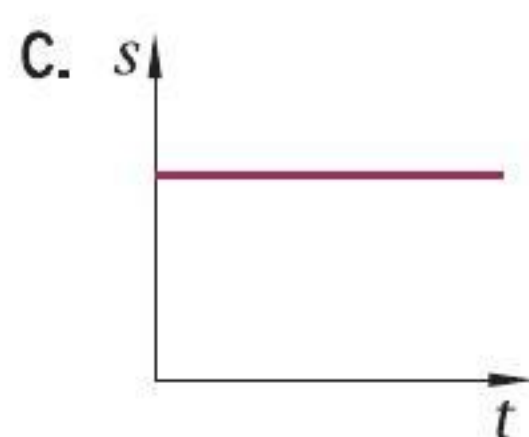
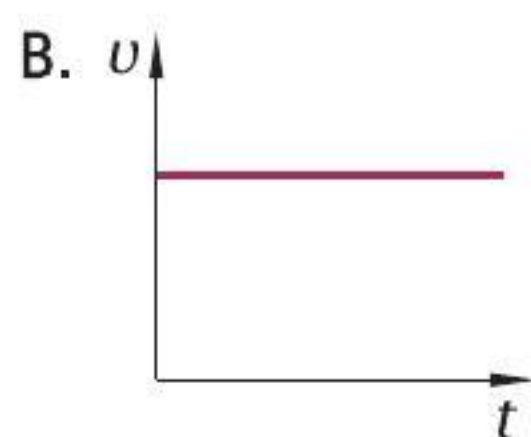
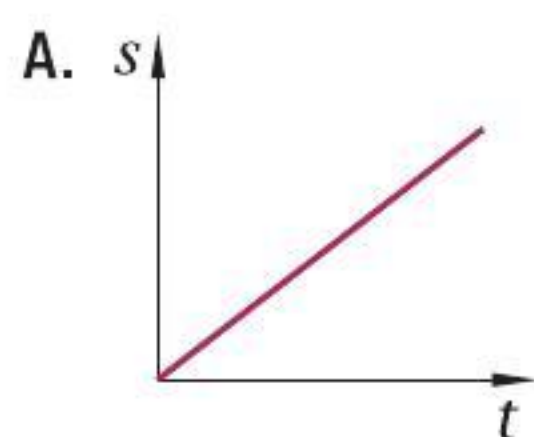
Zależność drogi od czasu w ruchu jednostajnym przedstawiono na wykresie A/B, a zależność prędkości od czasu w tym ruchu na wykresie C/D.

**i** Spoczynku nie nazywamy ruchem.

**Zadanie 5.** Tramwaj porusza się ze stałym przyspieszeniem  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Oznacza to, że prędkość tramwaju:

- A. w czasie 0,5 s wzrasta o  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,      C. w czasie 1 s wzrasta o  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,  
B. w czasie 2 s wzrasta o  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,      D. w czasie 0,5 s wzrasta o  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

**Zadanie 6.** Wskaż wykres przedstawiający zależność prędkości od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym.



**Zadanie 7.** Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- ① Ruch, w którym prędkość jest stała, nazywamy ruchem jednostajnie przyspieszonym.
- ② Przyspieszenie w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest równe  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .
- ③ Ruch, w którym prędkość wzrasta w każdej kolejnej sekundzie o tę samą wartość, nazywamy ruchem jednostajnie przyspieszonym.
- ④ W ruchu jednostajnie opóźnionym w każdej kolejnej sekundzie prędkość maleje o coraz większą wartość.

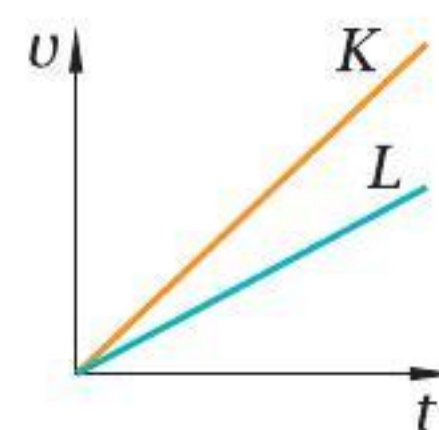
**Zadanie 8.** Pewne spoczywające ciało zaczęło się poruszać z przyspieszeniem  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Uzupełnij zdanie.

Po 6 sekundach ruchu jednostajnie przyspieszonego ciało to uzyskało prędkość ?...



**Zadanie 9.** Wykresy przedstawione obok opisują ruch prostoliniowy dwóch pojazdów: K i L. Który pojazd ma większe przyspieszenie?

- A. Pojazd L.      C. Przyspieszenia pojazdów są takie same.  
B. Pojazd K.      D. Nie można tego stwierdzić.



**Zadanie 10.** Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

- a) *Książka leży nieruchomo na biurku. Oznacza to, że działające na nią siły równoważą się/nie działają na nią żadne siły.*  
b) *Samochód porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, więc działająca na niego siła wypadkowa jest różna od zera/równa zeru.*  
c) *Stojący na przystanku autobus zaczął się poruszać ruchem jednostajnie przyspieszonym. Oznacza to, że zaczęła na niego działać siła wypadkowa o stałej wartości/o rosnącej wartości.*

**Zadanie 11.** Jeżeli na ciało nie działają żadne siły, to ciało:

- A. nie może się poruszać,  
B. może się poruszać ruchem jednostajnym po okręgu,  
C. może się poruszać ruchem jednostajnie opóźnionym prostoliniowym,  
D. może się poruszać ruchem jednostajnym prostoliniowym.

**Zadanie 12.** Na spoczywające ciało o masie 20 kg zaczęła działać stała siła wypadkowa o wartości 5 N. Przyspieszenie ciała jest równe:

- A.  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       B.  $0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       C.  $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       D.  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

**Zadanie 13.** W próżni przy powierzchni Ziemi z tej samej wysokości upuszczono jednocześnie ciężką, metalową kulkę i lekkie piórko. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

- ① Kulka i piórko spadają swobodnie.  
② Kulka porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, a piórko — jednostajnym.  
③ Jako pierwsza na podłoże spadnie kulka.  
④ Kulka i piórko poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym, z takim samym przyspieszeniem.

**Zadanie 14.** Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

*Jeżeli ciało o masie 60 kg oddziałuje na ciało o masie 0,6 kg siłą o wartości 20 N, to lżejsze z tych ciał oddziałuje na cięższe siłą o wartości 0,2 N/20 N. Siły te mają takie same/przeciwnie zwroty.*

**Zadanie 15.** W czasie 5 sekund ruchu prędkość ciała zmniejszała się równomiernie z  $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  do  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Przyspieszenie ciała wynosiło:

- A.  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       B.  $-2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       C.  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       D.  $-4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

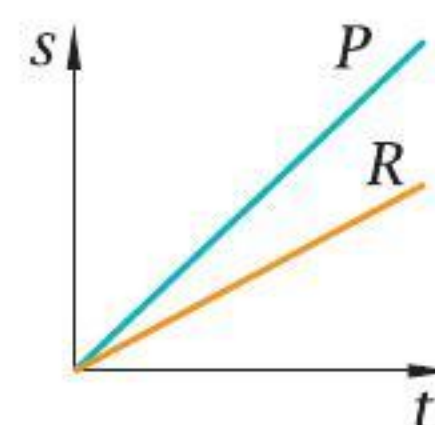


## CZĘŚĆ 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening

**Zadanie 1.** W czasie jednej sekundy motorowerzysta przebywa 12 m. Jaką odległość przejedzie w czasie 5 sekund, a jaką — w czasie 20 sekund, jeśli porusza się ruchem jednostajnym?

**Zadanie 2.** Samochód poruszał się ruchem jednostajnym z prędkością  $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Jaką drogę pokonał w czasie 1 s? Wynik zaokrąglij do 3 cyfr znaczących.

**Zadanie 3.** Na wykresach przedstawiono zależność drogi  $s$  od czasu  $t$  dla dwóch pojazdów P i R poruszających się ruchem jednostajnym. Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.



Pojazd P poruszał się...

|    |                                      |          |    |                                             |
|----|--------------------------------------|----------|----|---------------------------------------------|
| A. | szybciej niż pojazd R,               | ponieważ | 1. | w tym samym czasie przebył taką samą drogę. |
| B. | wolniej niż pojazd R,                |          | 2. | taką samą drogę przebył w krótszym czasie.  |
| C. | z taką samą prędkością jak pojazd R, |          | 3. | w tym samym czasie przebył krótszą drogę.   |

**Zadanie 4.** Najkrótszy czas, w jakim samochód elektryczny Tesla S Plaid rozpędził się do  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  wyniósł 2,1 s.

- Oblicz przyspieszenie tesli. Przyjmij, że podczas rozpędzania samochód poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym.
- Oblicz, po jakim czasie tesla rozpędziłaby się do maksymalnej prędkości wynoszącej  $322 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  (według danych producenta), gdyby poruszała się ruchem jednostajnie przyspieszonym z obliczonym w podpunkcie a) przyspieszeniem.
- Oblicz wartość siły wypadkowej nadającej tesli przyspieszenie obliczone w podpunkcie a). Przyjmij, że masa pojazdu to 2200 kg.

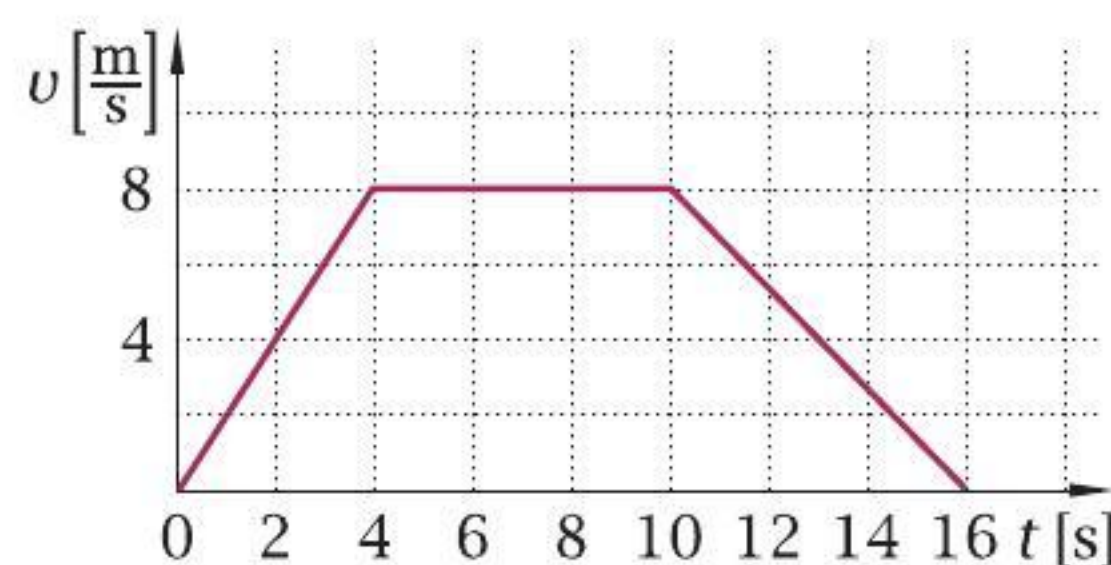
**Zadanie 5.** Na wykresie przedstawiono zależność  $v$  od  $t$  dla ciała poruszającego się po prostej.

a) Uzupełnij zdania.

W ciągu początkowych 4 sekund ciało poruszało się ruchem ..., jego prędkość zmieniła się o ..., a przyspieszenie wynosiło ...

Od chwili 4 s do chwili 10 s ciało poruszało się ruchem ..., jego prędkość zmieniła się o ..., a przyspieszenie wynosiło ...

Od chwili 10 s do chwili 16 s ciało poruszało się ruchem ..., jego prędkość zmieniła się o ..., a przyspieszenie wynosiło ...



-  b) Oblicz drogę przebytą przez ciało podczas 16 sekund ruchu.

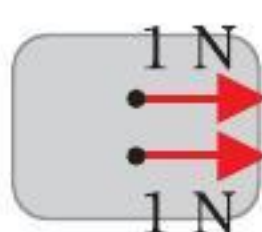


**Zadanie 6.** Oblicz masę ciała pokazanego na rysunku, wiedząc, że porusza się ono z przyspieszeniem  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

a)



b)



**Zadanie 7.** Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

- Jeżeli na poruszające się ciało działa siła wypadkowa o zwrocie **przeciwnym niż / takim samym jak** zwrot prędkości, to ciało porusza się ruchem **przyspieszonym**.
- Jeżeli siła wypadkowa ma zwrot przeciwny do zwrotu prędkości, to ciało porusza się ruchem **przyspieszonym / opóźnionym**.
- Na ciała o jednakowych masach działają siły wypadkowe o różnych wartościach. Większe jest przyspieszenie tego ciała, na które działa **mniejsza / większa** siła.
- Na ciała o różnych masach działają siły wypadkowe o jednakowych wartościach. Ciało o **mniejszej** masie porusza się z **mniejszym / większym** przyspieszeniem.

**Zadanie 8.** Samochód o masie 1600 kg porusza się po prostej ze stałą prędkością  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , dzięki sile napędzającej o wartości 800 N. Ile wynosi przyspieszenie tego samochodu?

- A.  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       B.  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       C.  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$       D.  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

**Zadanie 9.** Krążek hokejowy o masie 160 g po uderzeniu kijem uzyskał prędkość  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

- Oblicz, po jakim czasie krążek zatrzyma się, jeśli w każdej sekundzie jego prędkość maleje o  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
- Ile wynosi wartość siły wypadkowej hamującej krążek?

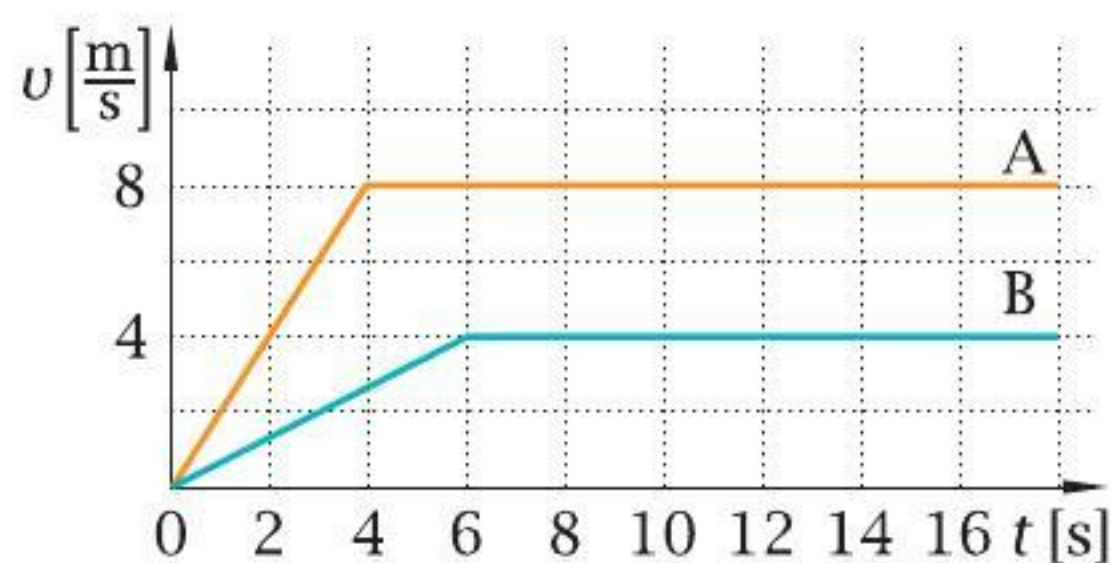
**Zadanie 10.** Upuszczona piłka tenisowa spadała swobodnie. Jej prędkość początkowa wynosiła  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz, jaką prędkość uzyskała po 2 sekundach od upuszczenia, jeśli:

- spadała na powierzchni Ziemi,
- spadała na Marsie. Przyjmij, że przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni Marsa stanowi 0,4 przyspieszenia ziemskiego.

**Zadanie 11.** Oblicz wartość siły wypadkowej działającej na samochód o masie 1,6 t, który rusza z przyspieszeniem  $2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

**Zadanie 12.** Na wykresie przedstawiono zależność prędkości  $v$  od czasu  $t$  dla dwóch ciał: A i B. Ciała poruszały się po prostym torze. Masa ciała A wynosi 40 kg, a masa ciała B to 60 kg.

- Uzupełnij zdania: W chwili 5 s ciało B poruszało się ruchem  $?$ . Wartość siły wypadkowej działającej na ciało A od chwili 0 s do chwili 4 s wynosiła  $?$ .



- Oblicz, jaka będzie odległość między ciałami w chwili 12 s. Przyjmij, że początkowo ciała spoczywały obok siebie, a następnie poruszały się w tę samą stronę.



# 4 Praca, energia, moc



## **Dlaczego strzała wystrzelona z łuku leci szybciej niż rzucona ręką?**

Energia zmagazynowana w napiętym łuku zamienia się w energię kinetyczną (ruchu) strzały, dzięki czemu może ona pędzić nawet  $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Przy rzucie strzały ręką znaczna część energii pochodzącej z mięśni zamienia się w energię ręki (cięższej od strzały). Ponadto nie potrafimy tak szybko poruszyć ręką, jak prostowana jest przez łączysko ściągająca łuku.



# 29 Praca



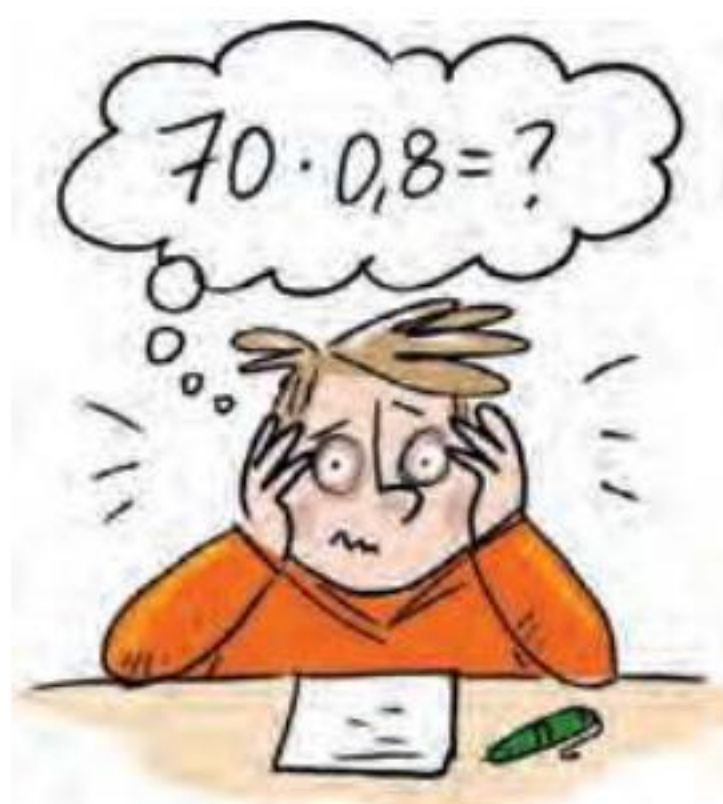
Na zdjęciu pokazano psi zaprzęg ciągnący sanie. Jak powinna być zwrócona siła, którą zaprzęg działa na sanie, by najłatwiej było je rozpędzić? Jak ocenić wysiłek psów?

## Cel lekcji 8

Poznasz pojęcie pracy mechanicznej oraz jej związek z siłą i drogą.

## Praca w ujęciu fizycznym

Zapewne znasz powiedzenia: *Ciężka praca popłaca* lub *Bez pracy nie ma kołaczy*. W tych zdaniach słowa *praca* użyto w sensie potocznym. Opisuje ono wysiłek, czynności, które należy podjąć, by osiągnąć cel. W fizyce *praca* oznacza wielkość związaną z siłą działającą na ciało oraz drogą, którą to ciało przebyło.



Kiedy Hasto myśli o zadaniu, nie wykonuje widocznej na zewnątrz pracy w sensie fizycznym.



Weritka działa pewną siłą na doniczkę, powodując jej przemieszczenie – wykonywana jest praca w sensie fizycznym.

Zastanów się, co wymaga większego wysiłku: przesunięcie ciężkiego pudła o 1 m czy o 5 m. Czy bardziej napracujesz się, pchając pudło z większą czy z mniejszą siłą?

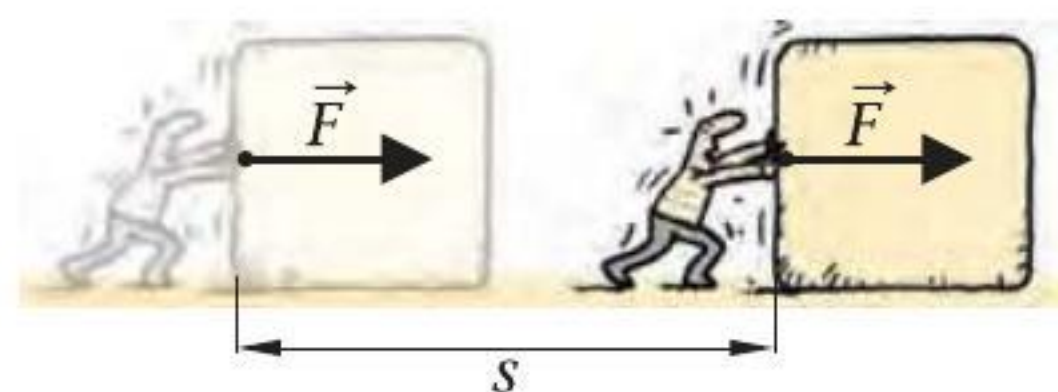


Praca w ujęciu fizycznym jest tym większa, im większa jest wartość siły oraz droga, na której ta siła działa. Praca zależy też od tego, jak zwrócona jest siła względem kierunku ruchu ciała.

W szkole podstawowej omówimy najprostszy przypadek: gdy **siła działa w tę samą stronę**, w którą przemieszcza się ciało. Wówczas **pracę mechaniczną** obliczamy ze wzoru:

$$\text{praca mechaniczna} \rightarrow W = F \cdot s \leftarrow \text{droga (przemieszczenie)}$$

siła



Pracę oznaczamy literą  $W$  od angielskiego słowa *work* (czyt. łerk). W układzie SI jednostką pracy jest **dżul (J)** na cześć Jamesa Prescottta Joule'a (czyt. dżejmsa preskota dżula), który w XIX wieku badał przemianę pracy w ciepło.

Siła o wartości 1 niutona (1 N) powodująca przesunięcie ciała o 1 metr (1 m) równoległe do kierunku swojego działania wykonuje pracę 1 dżula (1 J).

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

### PRZYKŁAD 1.

Psi zaprzęg ciągnął sanie przez 2 km siłą o wartości 900 N. Oblicz pracę tej siły.

**Dane:**

$F = 900 \text{ N}$  — siła działająca na sanie  
 $s = 2 \text{ km} = 2000 \text{ m}$  — przebyta droga

**Szukane:**

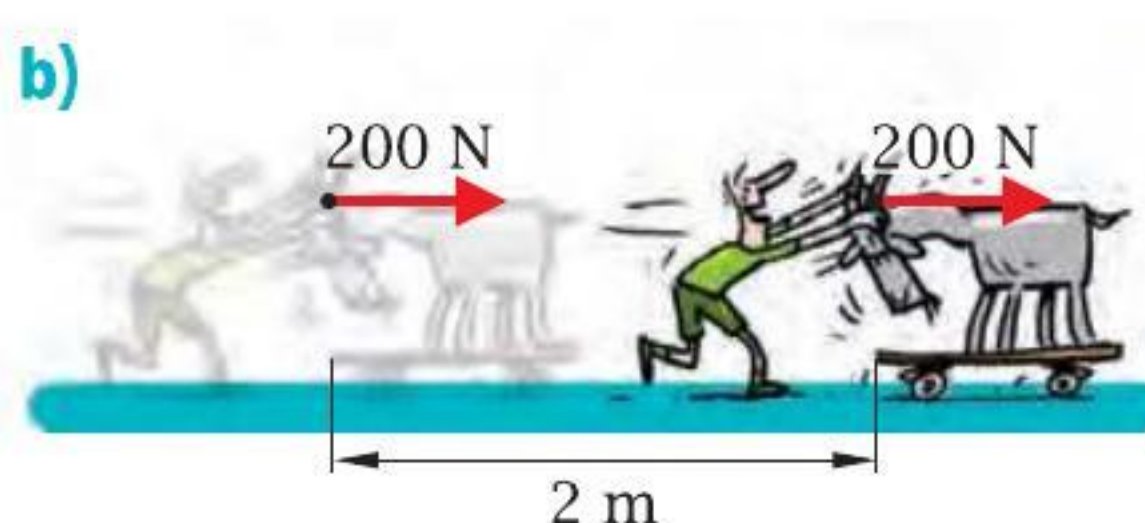
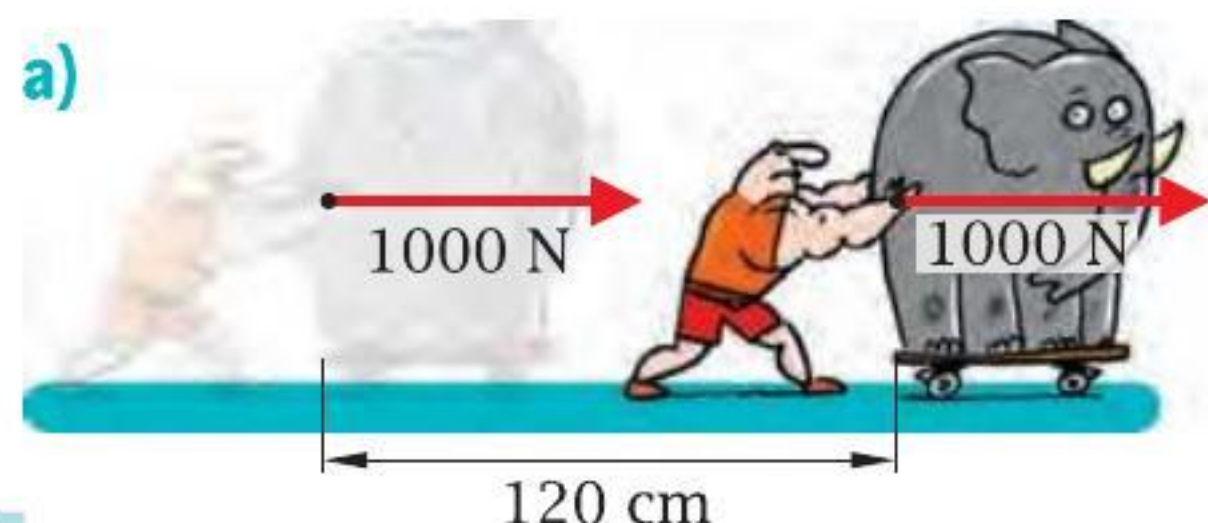
$W = ?$  — praca wykonana przez siłę

**Rozwiązanie:**  $W = F \cdot s$        $W = 900 \text{ N} \cdot 2000 \text{ m} = 1800\,000 \text{ J} = 1800 \text{ kJ}$

**i**  $1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$

**Odp.** Siła, którą zaprzęg działał na sanie, wykonała pracę 1800 kJ.

**ĆWICZENIE 1.** Oblicz pracę siły przedstawionej na rysunku.

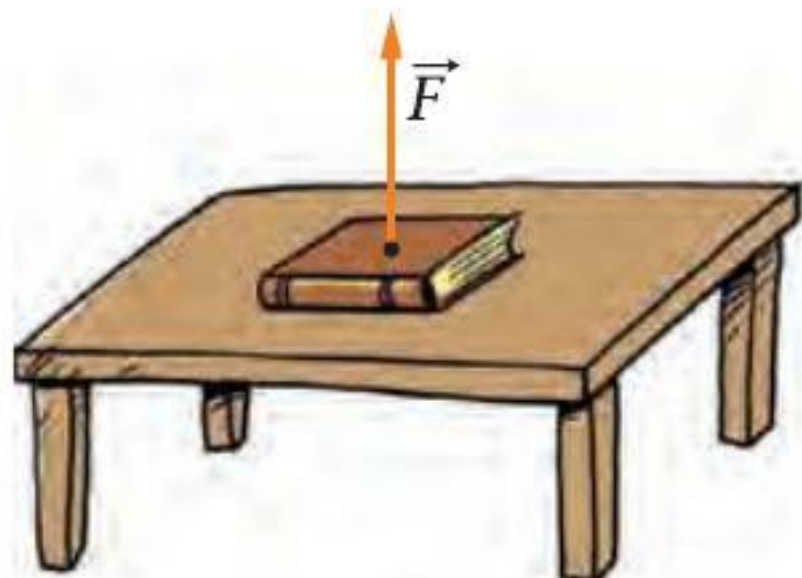




## Kiedy praca mechaniczna jest równa 0 J?

$$W = F \cdot s = 0 \text{ J}$$

Gdy ciało jest nieruchome,  
czyli  $s = 0 \text{ m}$ .



Stół działa na leżącą na nim książkę siłą nacisku zwróconą w górę, ale siła ta nie wykonuje pracy mechanicznej, bo książka spoczywa.

Gdy nie działa siła,  
czyli  $F = 0 \text{ N}$ .



Jeśli kamień pędzi przez kosmos, ale nie działa na niego żadna siła, to nie jest wykonywana praca nad tym kamieniem.

Gdy siła jest prostopadła  
do toru ruchu ciała.



Człowiek niosący walizkę działa na nią siłą  $\vec{F}$  zwróconą pionowo w górę, a walizka porusza się tylko w poziomie. Praca siły  $\vec{F}$  jest wtedy równa 0 J.

### PRZYKŁAD 2.

Wagon o masie 20 t przejechał po poziomych szynach 20 m. Jaką pracę wykonała siła ciężkości działająca na ten wagon?

**Odp.** Siła ciężkości jest zwrócona pionowo w dół, a wagon poruszał się po poziomych szynach. Siła działała prostopadłe do toru, więc praca była równa 0 J.

**ĆWICZENIE 2.** Samochód o masie 1200 kg przejechał po poziomej szosie dystans 2 km. Jaką pracę wykonała siła ciężkości działająca na ten samochód?

**Praca mechaniczna** jest wykonywana wtedy, gdy na ciało działa siła, powodując jego odkształcenie lub przemieszczenie w kierunku innym niż prostopadły do działającej siły.

### Dowiedz się więcej o pracy mięśni

Łatwo zaakceptować, że praca nie jest wykonywana, gdy stół działa na leżącą na nim książkę — po stole nie widać, by się wysilał. Trudniej uwierzyć, że nie wykonujesz pracy, gdy trzymasz nieruchomo książki na wyciągniętych rękach. Po chwili zaczynasz się męczyć. Chociaż ręce są nieruchome, to włókna w mięśniach poruszają się — kurczą i rozciągają. Zatem, by utrzymać w poziomie wyprostowane ręce, wykonywana jest praca związana z napinaniem i rozluźnianiem włókien mięśniowych.





**i** Jeśli nie napisano inaczej, przyjmij, że siła działa w tę samą stronę, w którą przesuwa się ciało.

### Zadanie 1. Praca

Wskaż poprawne dokończenia zdania. Praca została wykonana przez siłę, którą...

- ① Weritka napierała przez 10 s na wielki nieruchomy głaz.
- ② Hasto działał na kamyk, podnosząc go.
- ③ nieruchomy robot działał na książkę.
- ④ kot działał na maskotkę, zgniatając ją.
- ⑤ pies działał na piłkę, przesuwał ją.
- ⑥ Ziemia przyciągała spadający wazon.

### Zadanie 2. Pasażer

Uzupełnij poniższy tekst.

*Pasażer niósł walizkę przez 500 m. Działał na bagaż siłą o wartości 50 N zwróconą pionowo w górę, a walizka przesuwała się tylko poziomo. Praca wykonana przez tę siłę była równa ..., ponieważ ... W pociągu pasażer podniósł walizkę na wysokość 2 m ruchem jednostajnym prostoliniowym. Podczas podnoszenia walizki pasażer działał na nią siłą o wartości ... Siła ta wykonała pracę równą ...*

### Zadanie 3. Kolejka

Zabawkowa lokomotywa działała na wagony siłą o wartości 3 N. Wagony poruszały się w tę samą stronę, w którą działała na nie siła. Oblicz pracę tej siły, jeśli wagony przebyły drogę:

- a) 1 m      b) 2 m      c) 50 cm



### Zadanie 4. Ciężarówka

Ciężarówka o masie 12,5 t przejechała po poziomej szosie dystans 1,5 km. Jaką pracę wykonała siła ciężkości działająca na ten pojazd?

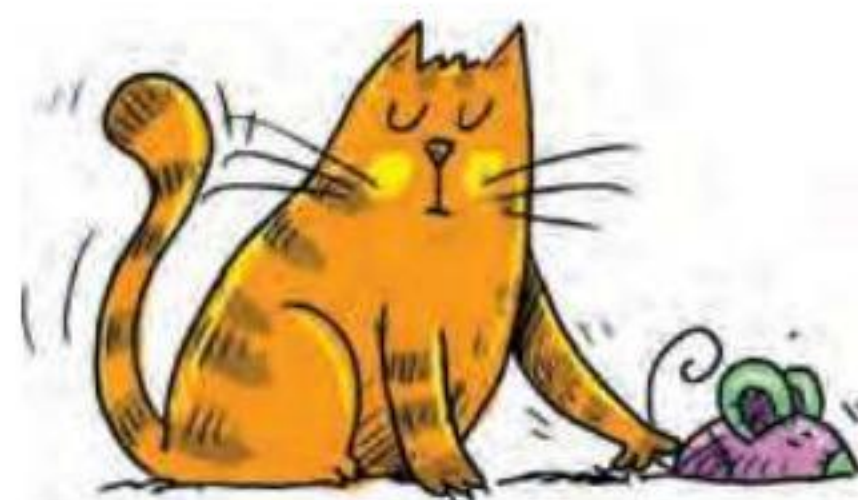
### Zadanie 5. Holownik

Holownik ciągnął statek siłą o wartości 10 kN. Statek, płynąc za holownikiem, przebył dystans 2 km. Oblicz pracę siły, którą holownik działał na statek.

**i** 1 kN = 1000 N

### Zadanie 6. Kot

Kot przesunął po podłodze pluszową mysz, działając na nią siłą o wartości 0,5 N. Praca tej siły wyniosła 0,1 J. Oblicz drogę, którą przebyła zabawka. Wynik wyraż w centymetrach.



### Zadanie 7. Ciągnik

Ciągnik działał na przyczepę siłą o wartości 1,8 kN. Praca tej siły wyniosła 3 600 kJ. Oblicz drogę, którą przebyła przyczepa.

### Zadanie 8. Zeszyty

Weritka podniosła pionowo 10 zeszytów, każdy o masie 90 g. Podczas podnoszenia siła, jaką Weritka działała na zeszyty, wykonała pracę 10,8 J. Przyjmij, że ruch zeszytów był jednostajny.

- a) Oblicz wartość siły, jaką Weritka działała na zeszyty.
- b) Oblicz, na jaką wysokość Weritka podniosła zeszyty.



### Zadanie 9. Podnoszenie

Robotnik podnosił skrzynię o masie 20 kg. Skrzynia poruszała się pionowo w górę i przebyła 75 cm. Przyjmij, że ruch skrzyni był jednostajny.

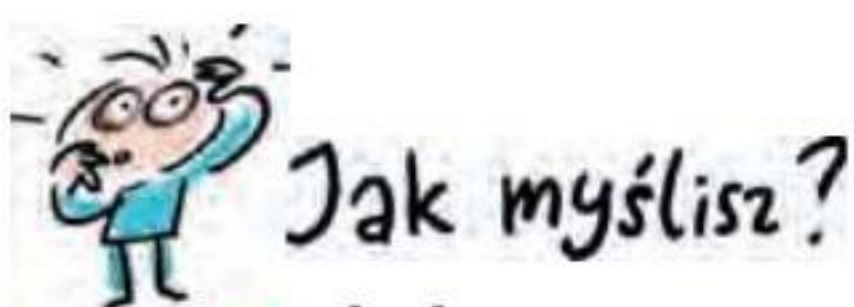
- Oblicz wartość siły, którą robotnik działał na skrzynię.
- Oblicz pracę tej siły.



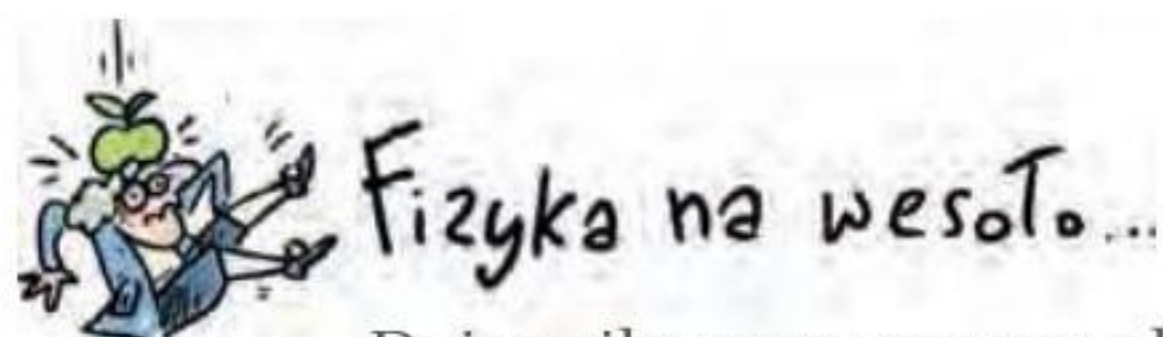
### Zadanie 10. Skoczek

Skoczek spadochronowy o masie 120 kg opadał przez 200 m pionowo ze stałą prędkością.

- Podaj wartość siły wypadkowej działającej na skoczka.
- Oblicz pracę siły wypadkowej działającej na skoczka.
- Oblicz pracę siły ciężkości działającej na skoczka.



- Jak dużo pracy może wykonać człowiek w czasie godziny?
- Czy pracę można magazynować?
- Jaką pracę wykonuje siła ciężkości, którą Ziemia działa na swojego satelitę, poruszającego się po okręgu?
- Czy praca może być ujemna?



Dziennikarz przeprowadza wywiad z dziekanem wydziału fizyki.

— Czy absolwenci mają problemy ze znalezieniem pracy?

— Nie. Od początku studiów uczą się, jak ją znaleźć w każdej sytuacji.

### Zadanie 11. Dźwig

Dźwig budowlany podnosił pionowo w górę płytę o masie 400 kg. Płyta przebyła 2 m, poruszając się z przyspieszeniem  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  zwróconym w górę.

- Oblicz wartość siły wypadkowej działającej na płytę.
- Oblicz pracę siły wypadkowej działającej na płytę.
- Oblicz wartość siły, którą dźwig działał na płytę.
- Oblicz pracę siły, którą dźwig działał na płytę.

### Zadanie 12. Krążek

Po poziomej tafli lodowiska przesunięto krążek o 1 m, z przyspieszeniem  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  zwróconym zgodnie z działającą siłą. Masa krążka to 170 g.

- Podaj kierunek siły ciężkości działającej na krążek.
- Oblicz pracę siły ciężkości działającej na krążek.
- Oblicz wartość siły wypadkowej działającej na krążek.
- Oblicz pracę siły wypadkowej działającej na krążek.



# 30 Energia i zasada jej zachowania



Na zdjęciu pokazano turbiny wiatrowe. Co to jest „energia wiatru”? Jakie siły wykonują pracę przy obracaniu łopat turbin? Czy wiatr zwalnia za turbiną?

## Energia a praca

Gdy powiesz: *Mam dużo energii!*, to znaczy, że jesteś w stanie dużo zrobić. Również w fizyce słowo *energia* związane jest z możliwością wykonania pracy.

Jeśli ciało (układ ciał) może wykonać pracę, to mówimy, że posiada **energię**.

Jednostką energii, tak jak jednostką pracy, jest **dżul (J)**.

Podczas pchnięcia piłki lekarskiej przekazujesz jej energię. Jeżeli, działając siłą wypadkową o wartości 20 N, przesuwasz piłkę o 1 m (w tę samą stronę, w którą działasz siłą), to wykonujesz pracę  $20 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 20 \text{ J}$ . W ten sposób przekazujesz piłce 20 J energii. Piłka może teraz uderzyć w plecak i popchnąć go — wykona pracę i odda część swojej energii. Gdy siła, jaką działa ciało, wykonuje pracę, to traci ono energię równą tej pracy. Gdy siły zewnętrzne wykonują nad ciałem pracę, to ciało zyskuje energię równą tej pracy.

$$\begin{array}{c} \text{wykonana} \\ \text{praca} \end{array} \longrightarrow W = \text{zmiana } E \longleftarrow \begin{array}{c} \text{zmiana} \\ \text{energii} \end{array}$$

### Cel lekcji 8

Poznasz pojęcie energii, jej różne formy, zasadę zachowania energii oraz związek energii z pracą. Nauczysz się stosować zasadę zachowania energii do opisu zjawisk.



### Warto wiedzieć

*Siły zewnętrzne* to siły, jakimi na ciało lub układ ciał działają inne ciała (nie należące do rozważanego układu).





### **Energia kinetyczna**

związana z ruchem ciała; jest tym większa, im większa jest prędkość, z jaką porusza się ciało



### **Energia potencjalna grawitacji**

związana z położeniem ciała; jest tym większa, im większa jest wysokość, na jakiej znajduje się ciało



### **Energia potencjalna sprężystości**

związana ze zmianą kształtu ciała, np. ściśnięciem lub rozciągnięciem sprężyny

### **Energia chemiczna**

wyzwalana w reakcjach chemicznych, np. podczas spalania (utleniania) paliw czy składników odżywczych z pożywienia w organizmie człowieka



### **Energia promieniowania**

związana z wysyłaniem energii na odległość, np. Słońce, żarówka, ekran telewizora wysyłają promieniowanie między innymi w postaci światła

### **Energia wewnętrzna**

energia cząsteczek ciała; wpływa na stan skupienia ciała i jego temperaturę; energię wewnętrzną ciała możemy zwiększyć poprzez jego ogrzewanie, pocieranie lub uderzanie



### **Energia jądrowa**

wyzwalana dzięki procesom zachodzącym między składnikami jąder atomowych, np. energia Słońca bierze się z takich przemian zachodzących w jego wnętrzu



### **Energia elektryczna**

związana z oddziaływaniem i ruchem ładunków elektrycznych





## Zasada zachowania energii

Energia może być przekazywana pomiędzy ciałami (od jednego ciała do drugiego). Może też ulegać przekształceniu z jednej formy w inną. Najczęściej spotykane **formy energii** zaprezentowano na poprzedniej stronie.

Słońce to najistotniejsze źródło energii dla życia na Ziemi. Energia jest wyzwalana we wnętrzu Słońca w trakcie oddziaływań między jądrami atomowymi (głównie wodoru i helu). Dlatego nazywamy ją energią jądrową.

Część tej energii dociera na Ziemię w postaci energii promieniowania. Rośliny pochłaniają światło słoneczne. Dzięki temu są w stanie rosnąć i magazynować w sobie energię chemiczną.

Gdy obserwujemy płonącą gałązkę, widzimy światło i odczuwamy ciepło, bo zmagazynowana w gałązce energia chemiczna zmieniła formę w energię promieniowania.

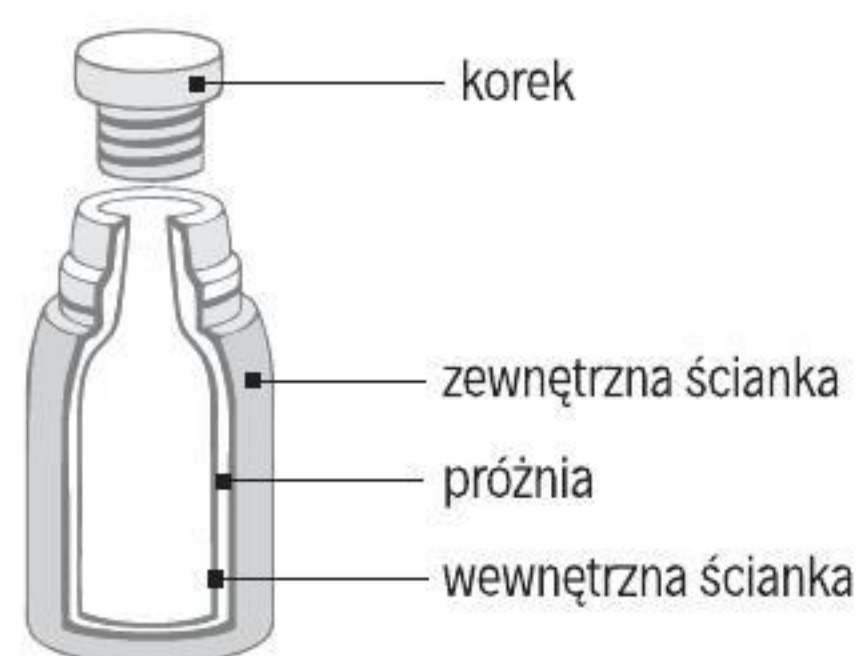
Energia w zjawiskach zawsze ma swoje źródło, nie bierze się znikąd ani nie znika. Często zmienia formę, ale zawsze możemy prześledzić jej losy. Prowadzi to do jednej z najważniejszych zasad fizyki.

### Zasada zachowania energii

Suma wszystkich energii w izolowanym układzie jest stała. Energia nie powstaje z niczego, ani nie znika, może natomiast zmieniać formę.

### Warto wiedzieć

*Układ izolowany* jest to taki układ ciał, do którego nie dostarczamy energii z zewnątrz ani nie zabieramy jej na zewnątrz.



Gorąca herbata w termosie długo zachowuje swoją temperaturę, nawet gdy temperatura otoczenia jest niska. Jest to układ zbliżony do izolowanego.

### PRZYKŁAD 1.

Zawodnik trzyma nieruchomo strzałę w napiętym łuku.

Po zwolnieniu cięciwy, rozpędza ona strzałę.

- a) Jaka siła działa bezpośrednio na strzałę, rozpędzając ją?
- b) Kosztem jakiej energii jest wykonywana praca?
- c) Jaka forma energii związana ze strzałą wzrosła w trakcie jej wystrzeliwania?

Odp.

- a) Na strzałę działa siła nacisku cięciwy.
- b) Praca jest wykonywana kosztem energii potencjalnej sprężystości (głównie łączyśka).
- c) W trakcie wystrzeliwania strzały wzrosła jej energia kinetyczna, a jeśli strzelano w górę, to również jej energia potencjalna grawitacji. Trochę wzrosnąć mogła również energia wewnętrzna na skutek tarcia strzały o łączyśko.



**ĆWICZENIE 1.** W zabawkowym pistolecie nieruchomy pocisk styka się z tłokiem zakończonym ściśniętą sprężyną, która jest blokowana przez spust. Po naciśnięciu spustu sprężyna rozpędza pocisk.



- Jaka siła działa bezpośrednio na pocisk, wykonując pracę i go rozpędzając?
- Koszttem jakiej energii jest wykonywana praca?
- Jaka forma energii związana z pociskiem wzrosła w trakcie jego wystrzeliwania?

### Dowiedz się więcej o oporach i energii wewnętrznej

Jeśli przesuniesz książkę po poziomym blacie, to siła, którą działasz na książkę, wykona pracę. Jednak na początku i na końcu książka spoczywa, więc nie wzrosła jej energia kinetyczna. Książka znajduje się cały czas na tej samej wysokości, więc nie wzrosła również jej energia potencjalna grawitacji.

Co się stało z pracą wykonaną nad książką? Zamieniła się w energię wewnętrzną książki i blatu — oba te ciała trochę się rozgrzały. Wynika to z występowania sił oporów (tarcia), które działają na styku między książką i blatem. Wykorzystujesz to, gdy energicznie pocierasz dłonie o siebie, by je rozgrzać.

W celu zminimalizowania strat energii na energię wewnętrzną ciał (ich rozgrzewanie), należy zmniejszać siły tarcia. Dlatego łożyska i łańcuch w rowerze są smarowane. W konsekwencji, więcej pracy mięśni rowerzysty zamienia się w energię kinetyczną roweru, a mniej — w energię wewnętrzną rowerowych części.



## Czas na zadania!

### Zadanie 1. *Przejażdżka lokomotywą*

Uzupełnij opis przepływu energii. Wybierz z ramki właściwe nazwy form energii.

W Słońcu wyzwala się energia *...*, której część dociera do Ziemi w formie energii *...*. Rośliny wykorzystują ją do magazynowania energii chemicznej. Węgiel powstał ze szczątków roślin i podczas jego spalania wydzielana jest energia. Można ją wykorzystać do podgrzewania wody w kotle lokomotywy parowej. Wtedy

wzrasta energia *...* wody i przechodzi ona do gazowego stanu skupienia. Para, działając siłą parcia na tłoki w silniku lokomotywy, wprawia je w ruch. Ruch tłoków powoduje obrót kół lokomotywy, dzięki czemu lokomotywa przyspiesza, czyli zwiększa się jej energia *...*.

- wewnętrzna
- kinetyczna
- jądrowa
- promieniowania



### Zadanie 2. *Lawina*

Wyjaśnij, skąd czerpie energię kinetyczną rozpędzająca się lawina.

### Zadanie 3. *Solarny tramwaj wodny*

W Bydgoszczy kursuje tramwaj wodny „Słonecznik”. Jego dach jest pokryty ogniwami słonecznymi (fotowoltaicznymi). W ogniwach energia pochodząca ze Słońca jest przekształcana w energię elektryczną, wykorzystywaną do zasilania silników obracających śruby napędowe.

a) Uzupełnij poniższe zdania. Wybierz z ramki właściwe nazwy form energii.

*Ogniwo słoneczne służy do zamiany energii ... na energię ...*

*Silnik elektryczny służy do zamiany energii ... na energię ...*

- promieniowania
- kinetyczna    • elektryczna

b) Tylko niewielka część energii pochłanianej przez ogniwa jest zamieniana na energię kinetyczną statku. Na jakie formy energii jest zamieniana pozostała część energii?

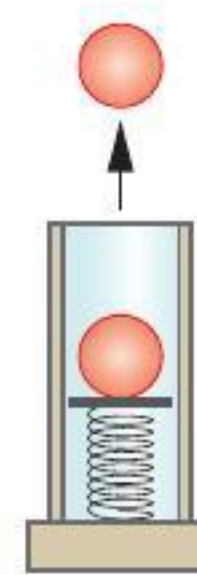
### Zadanie 4. *Popychany kamień*

Na tafli lodowiska spoczywał kamień do curlingu (czyt. kerlingu) o masie 20 kg. Działając na niego kijem siłą o wartości 10 N, przesunięto go o 2 m w tę samą stronę, w którą działała siła. Pomiń opory ruchu.

- a) Oblicz pracę siły, którą kij działał na kamień.
- b) Czy zmieniła się energia potencjalna grawitacji kamienia? Odpowiedź uzasadnij.
- c) Oblicz przyspieszenie kamienia.
- d) Ustal, o ile wzrosła energia kinetyczna kamienia.

### Zadanie 5. *Pionowy strzał*

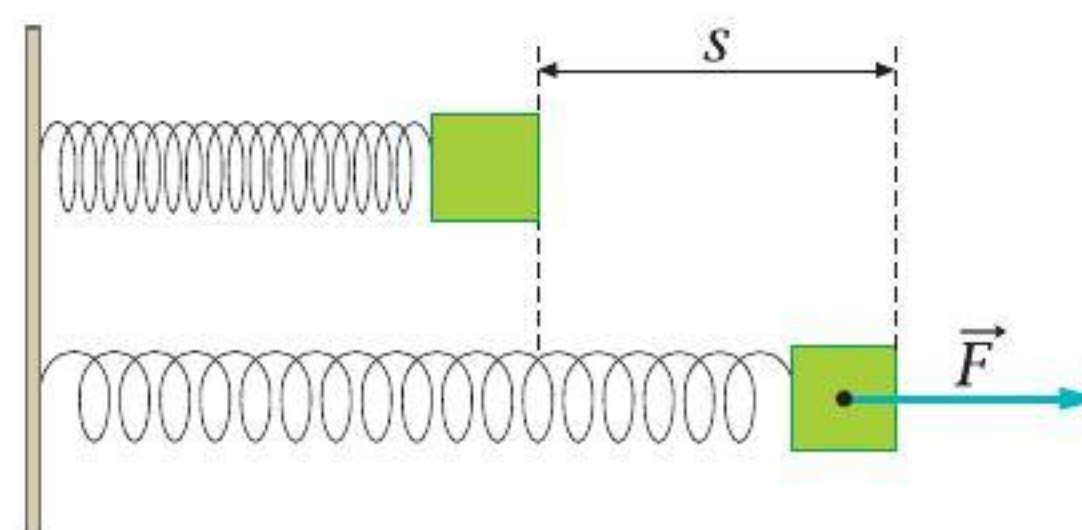
W przedstawionej na schemacie wyrzutni sprężynowej kulka początkowo spoczywała na ściśniętej sprężynie. Po zwolnieniu sprężyny kulka przyspieszała, wznosząc się w górę. Gdy nie popychała jej już sprężyna, nadal wznosząc się w górę, zwalniała.



- a) Opisz zmiany energii od momentu zwolnienia sprężyny do osiągnięcia przez kulkę maksymalnej wysokości.
- b) Opisz, jak poruszała się kulka po osiągnięciu maksymalnej wysokości.
- c) Co działo się z energią podczas ruchu kulki w dół?

### Zadanie 6. *Energia i sprężyna*

Wiele zegarków oraz zabawek wykorzystuje energię potencjalną sprężystości. Magazynowanie energii w tej formie można wyjaśnić na przykładzie rozciągania w poziomie sprężyny z przymocowanym do niej odważnikiem, przy użyciu siły zwróconej zgodnie z ruchem odważnika.



- a) Uzasadnij, że podczas opisanego rozciągania nie zmieniła się energia potencjalna grawitacji odważnika.
- b) Uzasadnij, że napięta sprężyna wykona pracę, przesuając do początkowego położenia odważnik, gdy go puścimy. Jaka forma energii wtedy wzrośnie?



### Zadanie 7. *Wciąganie skrzyni*

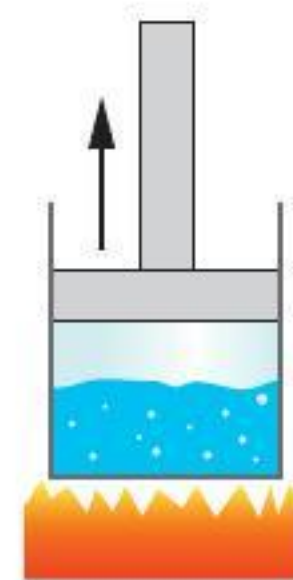
Robotnik wciągał na linie skrzynię o masie 10 kg. Skrzynia poruszała się pionowo w górę i przebyła 5 m. Przyjmij, że ruch skrzyni był jednostajny.



- Oblicz wartość siły, którą lina działała na skrzynię.
- Oblicz pracę tej siły.
- Czy energia kinetyczna skrzyni wzrosła? Odpowiedź uzasadnij.
- O ile wzrosła energia potencjalna grawitacji skrzyni? Załóż, że cała wykonana nad skrzynią praca zamieniła się w tę formę energii.

### Zadanie 8. *Praca z ciepła*

Na rysunku przedstawiono pojemnik z wodą zamknięty ruchomym tłokiem o polu powierzchni podstawy  $0,5 \text{ m}^2$ . Pod pojemnikiem pali się węgiel. Na skutek ogrzewania część wody zmienia stan skupienia w gazowy. Para wodna ma ciśnienie 2000 hPa i powoduje przesunięcie tłoka o 0,2 m w górę. W ten sposób ciepło może zostać wykorzystane do wykonania pracy.



- Oblicz wartość siły parcia, którą para wodna działa na tłok.
- Oblicz pracę tej siły.
- Oblicz energię wewnętrzną wydzieloną podczas spalania węgla, wiedząc, że tylko 10% tej energii zostało zamienione na pracę.



### Jak myślisz?

- Dlaczego wiertła do betonu są schładzane w trakcie pracy?
- Tylko około 20% energii wytwarzanej w ludzkim organizmie jest zużywane na pracę mięśni szkieletowych. Co się dzieje z 80% tej energii?
- Dlaczego trzeba potrzebować zapałkę o draszkę, by ją zapalić i wyzwolić energię?
- Skąd się wzięła energia, która pojawia się w procesach jądrowych w Słońcu?



### Fizyka na wesoło...

Dziennikarz pyta przedsiębiorcę:

- Dzięki jakim zasadom zdobył pan taki imponujący majątek?
- Właściwie dzięki jednej zasadzie: najważniejsza jest ciężka praca!
- A pieniądze?
- Pieniądze są drugorzędne.
- I to wystarczy?
- Tak, jeśli przekona pan o tym swoich pracowników.



# 31 Energia potencjalna grawitacji



Ilustracje przedstawiają kafar, urządzenie do wbijania pali za pomocą upuszczanego ciężarka. Na którym etapie pracę wykonuje siła, jaką działa robotnik, a na którym – siła ciężkości? W co się zamienia energia potencjalna grawitacji ciężarka?

## Energia drzemiąca w spoczywających ciałach

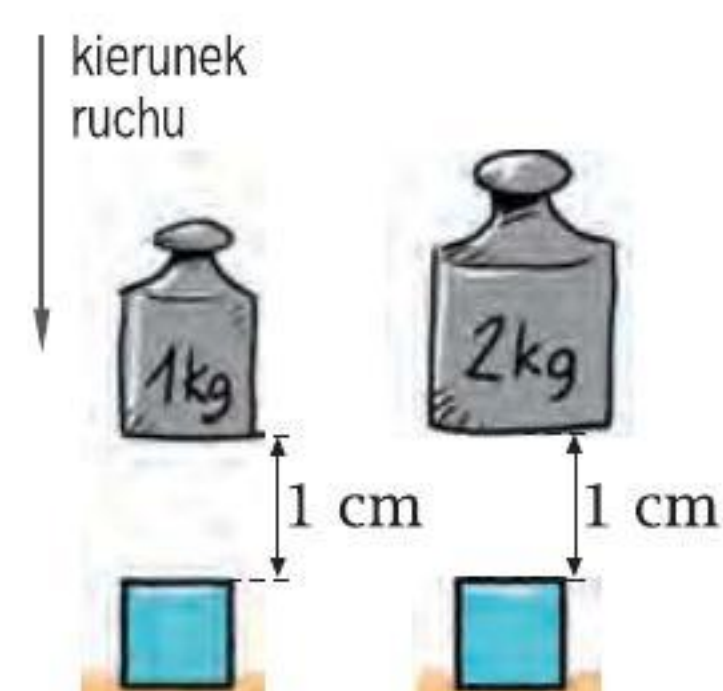
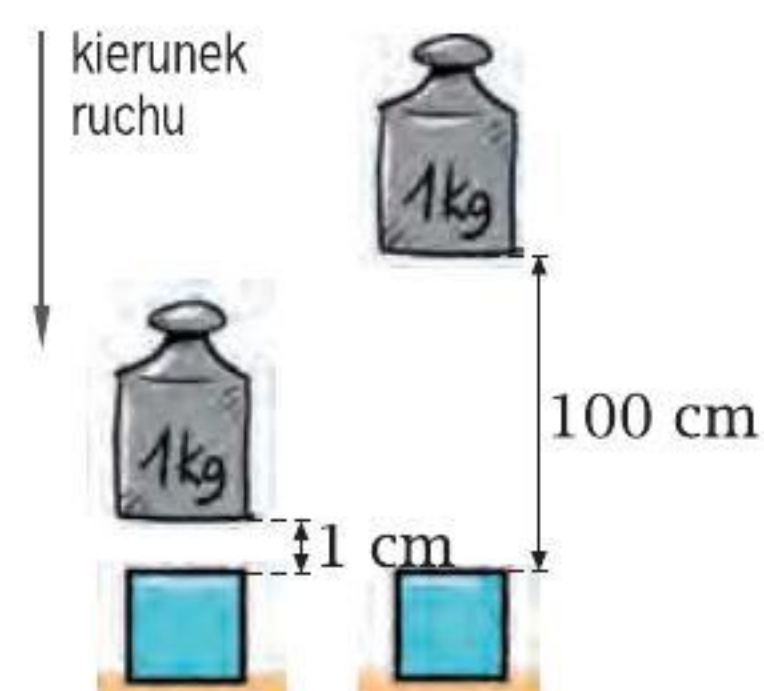
Odważnik upuszczony na sześcian z plasteliny odkształci go. Zastanów się, czy bardziej rozpląszczy plastelinę ciężarek upuszczony z 1 cm czy z 1 m. A jeśli z tej samej wysokości upuścimy dwa odważniki o różnych masach?

Praca potrzebna do zdeformowania plasteliny początkowo jest zmagazynowana w spoczywającym ciężarku w postaci **energii potencjalnej grawitacji**. Energia potencjalna jest „ukryta” — odważnik się nie porusza, nie promieniuje i nie ogrzewa otoczenia. Dopiero, gdy zostanie upuszczony, oddziaływanie grawitacyjne spowoduje jego ruch, czyli siła ciężkości zacznie wykonywać pracę.

Im większa energia potencjalna grawitacji ciężarka, tym bardziej rozpląszczy on plastelinę.

### Cel lekcji 8

Utrwalisz pojęcie energii potencjalnej grawitacji. Dowiesz się, w jaki sposób tę energię wykorzystać.



**Energia potencjalna grawitacji** ciała zależy od jego:

- **położenia** — jest tym większa, im wyżej znajduje się ciało,
- **masy** — jest tym większa, im większą masę ma ciało.





Energia potencjalna grawitacji podnoszonego kamienia rośnie.



Energia potencjalna grawitacji spadającego kamienia maleje.

## Zmiana energii potencjalnej grawitacji

Ile energii można zmagazynować w odważniku trzymanym nad ziemią? Aby na to odpowiedzieć, obliczmy, jaką pracę wykonasz, podnosząc ciężarek o masie  $m$  na wysokość  $h$  ruchem jednostajnym, pionowo w górę. Na odważnik działasz wtedy zewnętrzną siłą  $F_z$ , która równoważy siłę ciężkości  $F_g = m \cdot g$ . Oznacza to, że  $F_z = F_g = m \cdot g$ . W trakcie podnoszenia ciężarka na wysokość  $h$ , siła zewnętrzna wykonała pracę:

$$W_z = F_z \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

Gdy siły zewnętrzne wykonują pracę nad ciałem, to ciało zyskuje energię. Podnosząc ciężarek, zwiększasz jego energię. Jednak porusza się on ze stałą prędkością, więc nie zmienia się jego energia kinetyczna (ta wzrasta wraz z prędkością). Jedyną formą energii, która się zmienia, jest energia potencjalna grawitacji odważnika. Wzrosła ona o wartość wykonanej pracy  $W_z$ .

Natomiast, gdy ciężarek o masie  $m$  spadnie z wysokości  $h$ , to jego energia potencjalna grawitacji zmniejszy się o pracę wykonaną przez siłę ciężkości  $F_g$ :

$$W_g = F_g \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

zmiana energii  
potencjalnej  
grawitacji

$$\text{zmiana } E_p = m \cdot g \cdot h$$

masa

przyspieszenie  
grawitacyjne

zmiana  
wysokości

## Magazynowanie energii

Pracę wykonaną celem zwiększenia energii potencjalnej grawitacji łatwo odzyskać — wystarczy pozwolić spadać podniesionym ciałom. Jest to wykorzystywane do magazynowania energii w elektrowniach szczytowo-pompowych. W okresach niewielkiego zużycia energii elektrycznej (np. w nocy) woda jest pompowana z dolnego zbiornika do górnego. W razie potrzeby zasilenia sieci elektrycznej (np. w dzień) woda spuszczana z górnego zbiornika obraca turbiny, dzięki czemu jest uzyskiwana energia elektryczna. Elektrownie szczytowo-pompowe magazynują więc energię w formie energii potencjalnej grawitacji wody.

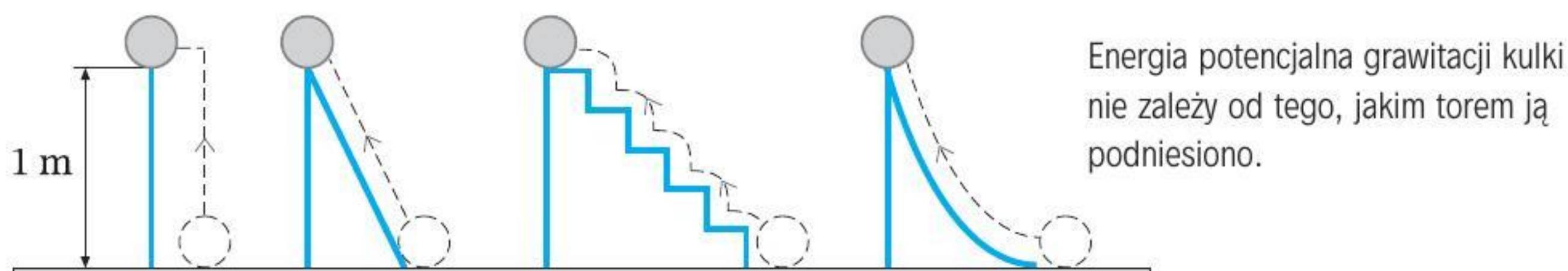


Zbiornik górny elektrowni szczytowo-pompowej Porąbka-Żar.



## Przemieszczenie w poziomie

Energia potencjalna grawitacji jest związana ze zmianą wysokości ciała względem powierzchni ziemi, a nie zależy od kształtu toru, po którym poruszało się ciało. Przemieszczenie w poziomie nie powoduje zmiany energii potencjalnej grawitacji, bo siła grawitacji nie wykonuje wtedy pracy.

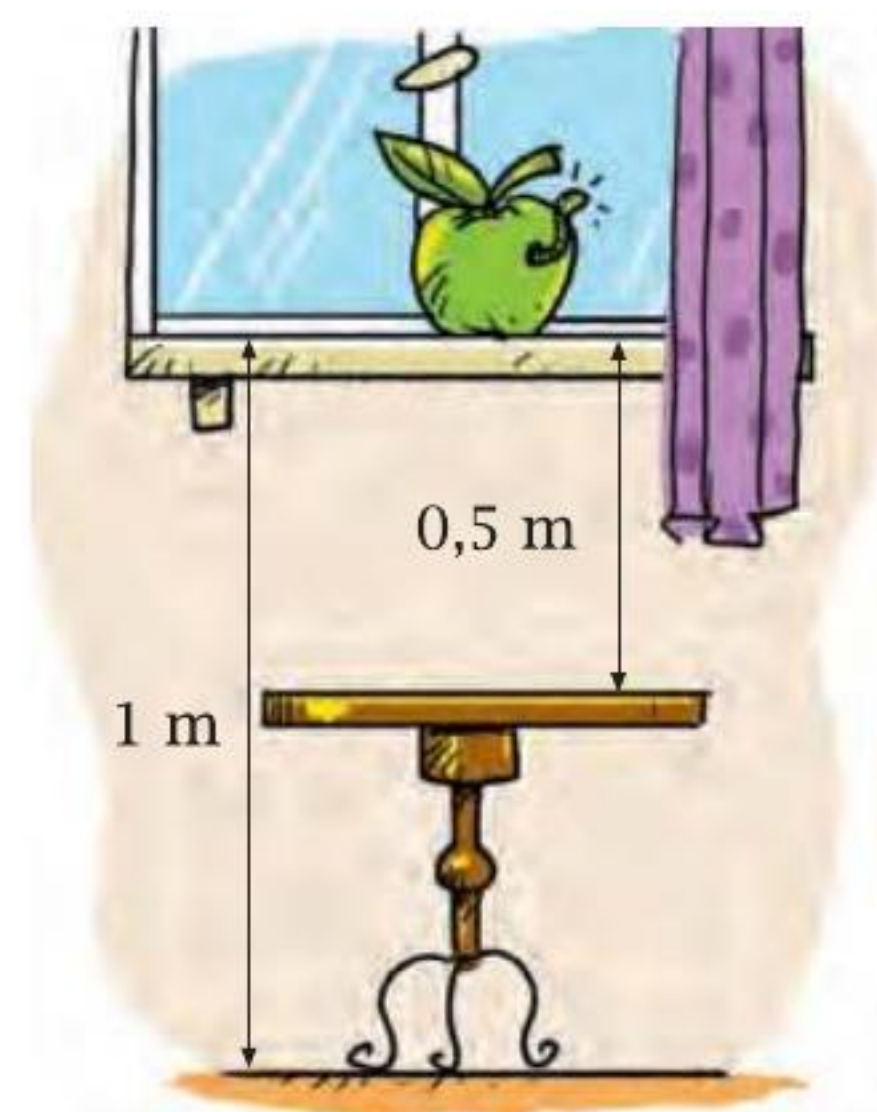


## Względność energii i poziom 0 J

To, jaką energię potencjalną grawitacji ma jabłko o masie 0,2 kg leżące na parapecie (zob. rysunek), zależy od tego, względem czego ją ustalamy. Energia potencjalna grawitacji jabłka względem podłogi ( $E_{p1}$ ) jest inna niż względem blatu ( $E_{p2}$ ) czy parapetu ( $E_{p3}$ ).

Energia potencjalna grawitacji

|          |                                                                          |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| $E_{p1}$ | $0,2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1 \text{ m}$   | 2 J |
| $E_{p2}$ | $0,2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,5 \text{ m}$ | 1 J |
| $E_{p3}$ | $0,2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0 \text{ m}$   | 0 J |



Energia potencjalna grawitacji jabłka zależy od wyboru poziomu odniesienia.

Wartość energii potencjalnej grawitacji zależy od wyboru poziomu 0 J, zwanego **poziomem odniesienia**.

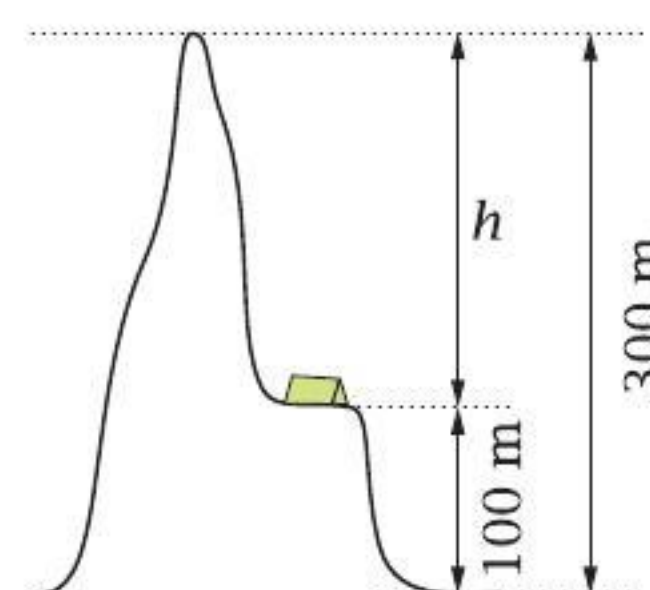
### PRZYKŁAD 1.

Turysta o masie 70 kg wszedł na górę, 300 m powyżej jej podnóża. Oblicz jego energię potencjalną grawitacji względem obozowiska znajdującego się 100 m powyżej podnóża góry.

**Dane:**

$m = 70 \text{ kg}$  — masa turysty

$h = 300 \text{ m} - 100 \text{ m} = 200 \text{ m}$  — położenie turysty względem obozowiska



**Szukane:**  $E_p = ?$  — energia potencjalna grawitacji względem obozowiska

**Rozwiązanie:**  $E_p = m \cdot g \cdot h$

$$E_p = 70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 200 \text{ m} = 140\,000 \text{ J} = 140 \text{ kJ}$$

**Odp.** Energia potencjalna grawitacji turysty względem obozowiska wynosi 140 kJ.



**ĆWICZENIE 1.** Szybowiec o masie 500 kg wzleciał na wysokość 2000 m nad poziom lotniska. Oblicz energię potencjalną grawitacji szybowca względem:

a) lotniska,

b) szczytu góry, który znajduje się 1000 m nad poziomem lotniska.

## Bardzo dużo energii – megadżule

W przypadku dużej ilości energii wygodniej stosuje się jednostkę **megadżul**. Przedrostek *mega* (M) oznacza 1 000 000. 1 megadżul, w skrócie 1 MJ, to 1 000 000 dżuli.

$$1 \text{ MJ} = 1\,000\,000 \text{ J}$$

### PRZYKŁAD 2.

Tona wody spłynęła 100 m w dół. Oblicz, o ile zmniejszyła się energia potencjalna grawitacji tej wody. Wynik wyraż w megadżulach.

**Dane:**

$m = 1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$  — masa wody

$h = 100 \text{ m}$  — zmiana wysokości

**Szukane:**

zmiana  $E_p = ?$  — zmiana energii potencjalnej grawitacji

**Rozwiązanie:** zmiana  $E_p = m \cdot g \cdot h$

$$\text{zmiana } E_p = 1000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 100 \text{ m} = 1\,000\,000 \text{ J} = 1 \text{ MJ}$$

**Odp.** Energia potencjalna grawitacji zmniejszyła się o 1 MJ.

**ĆWICZENIE 2.** Samolot pasażerski o masie 200 t wzniósł się 400 m w górę. Oblicz, o ile wzrosła jego energia potencjalna grawitacji. Wynik wyraż w megadżulach.

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. Jak zmienia się energia?

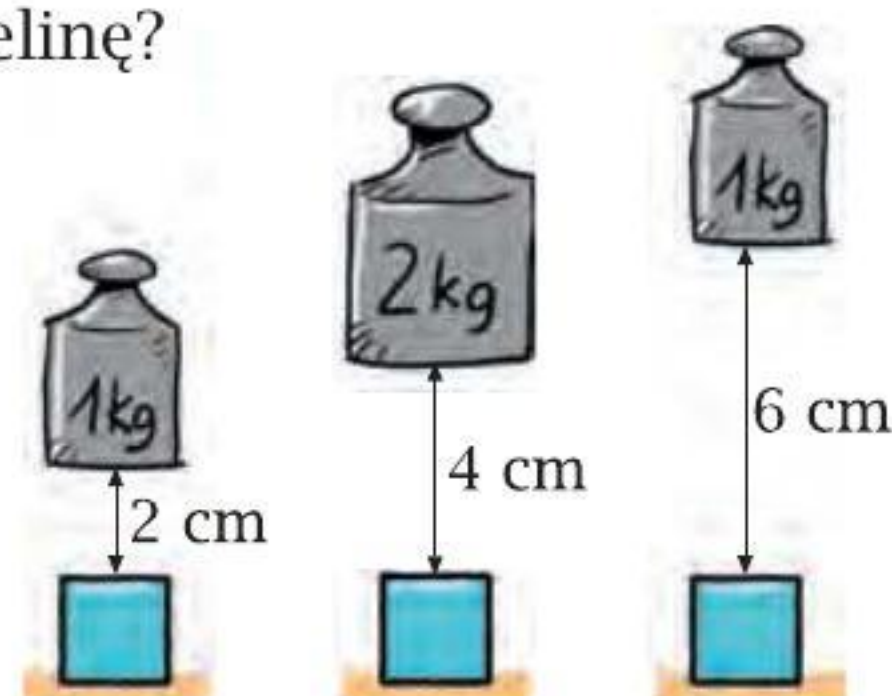
W których z poniższych sytuacji energia potencjalna grawitacji ciała (liścia, pociągu, alpinisty i kajaka) rośnie, w których — maleje, a w których — nie zmienia się?

- ① Liść opada z drzewa.
- ② Pociąg hamuje na poziomych szynach.
- ③ Alpinista idzie coraz wolniej pod górę.
- ④ Kajak przyśpiesza, płynąc po jeziorze.

### Zadanie 2. Zniszczenie

Który odważnik spadając, najbardziej odkształci plastelinę?

Wykonaj obliczenia.





### Zadanie 3. *Zmiana energii*

Oblicz, o ile zmieni się energia potencjalna grawitacji ciała o masie 1,5 kg, jeśli wzniesie się ono o:

- a) 1 m                      b) 50 cm                      c) 1 km

### Zadanie 4. *Nieznana wysokość*

Oblicz wysokość, na jakiej znajduje się ciało, wiedząc, że jego energia potencjalna względem ziemi wynosi 1000 J, a masa jest równa:

- a) 1 kg    b) 25 kg    c) 50 g    d) 40 dag

### Zadanie 5. *Nieznana masa*

Oblicz masę ciała, które znajduje się 2 m nad ziemią, a jego energia potencjalna względem ziemi wynosi:

- a) 1 J    b) 20 J    c) 500 J    d) 40 000 J

### Zadanie 6. *Dwie kule*

Dwie identyczne kule leżały na boisku. Następnie kule podniesiono — kulę A 5 razy wyżej niż kulę B. Ile razy większa jest energia potencjalna grawitacji kuli A? Przyjmij, że gdy kule leżały na boisku ich energia potencjalna była równa 0 J.



Elektrownia Wodna we Włocławku.

### Zadanie 7. *Kafar*

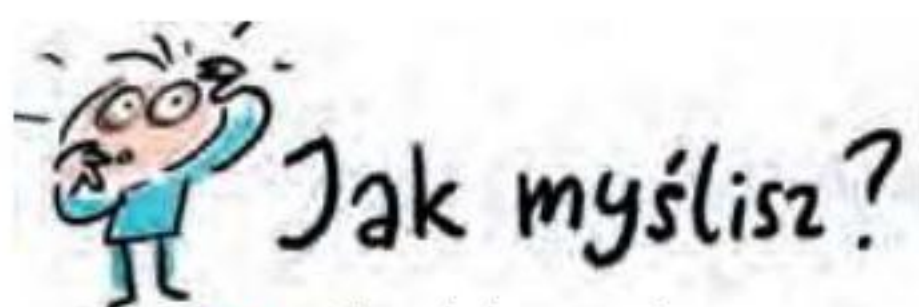
Kafar to urządzenie do wbijania pali w ziemię za pomocą upuszczanego ciężarka zwanego babą (zob. ilustracja na początku lekcji). Baba o masie 100 kg początkowo spoczywała na wysokości 10 m nad ziemią, a po upuszczeniu zatrzymała się 4 m nad ziemią na wierzchołku wbijanego pala.

- a) Oblicz, o ile zmniejszyła się energia potencjalna grawitacji baby.  
b) Oblicz pracę wykonaną przez siłę ciężkości działającą na babę.  
c) Jaka energia wzrastała podczas ruchu baby w dół?  
d) Na początku oraz po uderzeniu w pal baba spoczywała, a jej energia potencjalna grawitacji zmniejszyła się. Co się stało z tą energią?

### Zadanie 8. *Elektrownia we Włocławku*

Największą elektrownią przepływową w Polsce jest zbudowana na Wiśle Elektrownia Wodna we Włocławku. W ciągu sekundy 2 000 000 kg wody przepływa przez tę elektrownię, opadając w tym czasie o 8 m.

- a) Oblicz, o ile zmniejsza się energia potencjalna grawitacji takiej porcji wody. Wynik wyraż w MJ.  
b) W czasie sekundy elektrownia produkuje 120 MJ energii elektrycznej. Jaki procent energii potencjalnej wody jest zamieniany na energię elektryczną?



- Jak obliczyć energię potencjalną grawitacji, gdy ciało spadło poniżej poziomu 0 J?
- Czy wzór: zmiana  $E_p = m \cdot g \cdot h$  jest zawsze poprawny?
- Jaką energię potencjalną grawitacji ma ciało, gdy nie działa na nie siła ciężkości?
- Ile wynosi energia potencjalna grawitacji Ziemi dla oddziaływania ze Słońcem?



# 32 Energia kinetyczna



Na zdjęciu pokazano strzał z działa elektromagnetycznego. Pocisk o masie 3,2 kg poruszał się z prędkością wylotową  $2,5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ . Czy pocisk wystrzelony z taką prędkością mógłby wzlecieć na wysokość 10 km? Jaką energię kinetyczną ma taki pocisk? Jaką główną formą energii jest zasilane to działo?

## Cel lekcji

Dowiesz się, od czego zależy energia kinetyczna ciała, oraz nauczysz się ją obliczać.

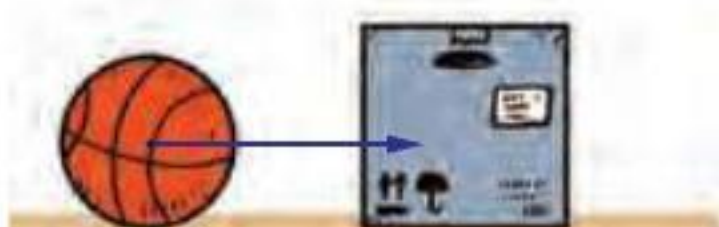
## Od czego zależy energia kinetyczna?

Rozpędzone ciało może wykonać pracę kosztem własnej energii kinetycznej. Która piłka dalej przesunie pudło: tocząca się wolno, czy szybko?

Niewielka prędkość piłki,  
niewielkie przesunięcie pudła.

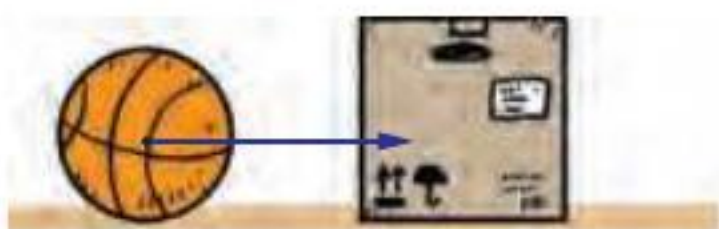


Duża prędkość piłki,  
duże przesunięcie pudła.

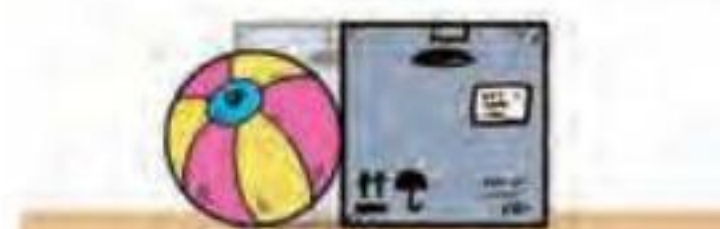


A czy dalej przepchnie pudło cięższa piłka do koszykówki, czy lekka piłka plażowa?

Duża masa piłki,  
duże przesunięcie pudła.



Mała masa piłki,  
małe przesunięcie pudła.



**Energia kinetyczna ciała zależy od jego prędkości oraz masy.**



Energię kinetyczną ciała obliczamy ze wzoru:

$$\text{energia kinetyczna} \rightarrow E_k = \frac{1}{2} \cdot \overset{\text{masa}}{m} \cdot \overset{\text{prędkość}}{v^2}$$

#### Warto wiedzieć

W obliczeniach masę należy wyrażać w kg, a prędkość w  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Zgodnie z powyższym wzorem ciało o masie 1 kg poruszające się z prędkością  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ma energię kinetyczną:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ kg} \cdot \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{1}{2} \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Otrzymaną jednostką jest  $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$ , czyli dżul.

$$1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

#### i Dla dociekliwych

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \underbrace{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}^{\text{N}} \cdot 1 \text{ m}$$

$$1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

#### PRZYKŁAD 1.

Oblicz energię kinetyczną biegacza o masie 60 kg poruszającego się z prędkością  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

**Dane:**  $m = 60 \text{ kg}$  — masa biegacza  
 $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — prędkość biegacza

**Szukane:**  $E_k = ?$  — energia kinetyczna biegacza

**Rozwiązanie:**  $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 60 \text{ kg} \cdot \left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 25 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 750 \text{ J}$$

**Odp.** Biegacz ma energię kinetyczną 750 J.

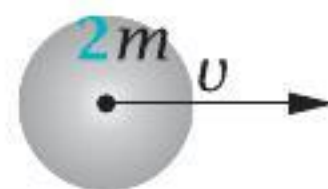
**ĆWICZENIE 1.** Oblicz energię kinetyczną arbuza o masie 4 kg poruszającego się z prędkością  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

### Zależność energii kinetycznej od masy

2 razy większa masa,  
 2 razy większa energia kinetyczna.

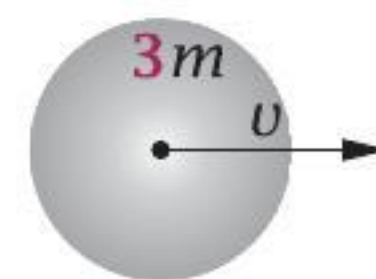


$$E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$



$$E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot 2m \cdot v^2$$

$$E_{k2} = 2E_{k1}$$



$$E_{k3} = \frac{1}{2} \cdot 3m \cdot v^2$$

$$E_{k3} = 3E_{k1}$$

3 razy większa masa,  
 3 razy większa energia kinetyczna.

Ciało 2 razy cięższe ma 2 razy większą energię kinetyczną, gdy oba poruszają się z taką samą prędkością. Ciało  $n$  razy cięższe, miałoby  $n$  razy większą energię kinetyczną. Mówimy, że energia kinetyczna ciała jest **wprost proporcjonalna** do jego masy.



**PRZYKŁAD 2.**

Na autostradzie jadą obok siebie, z prędkością  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , samochód oraz motocykl. Samochód ma masę 1500 kg, a motocykl 150 kg. Oblicz, ile razy energia kinetyczna samochodu jest większa od energii kinetycznej motocykla.

**Dane:**

$m_m = 150 \text{ kg}$  — masa motocykla

$m_s = 1500 \text{ kg}$  — masa samochodu

$v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — prędkość obu pojazdów

**Szukane:**

$\frac{E_{ks}}{E_{km}} = ?$  — iloraz energii kinetycznych samochodu i motocykla

**Rozwiązanie:**I sposób:

$$E_{km} = \frac{1}{2} \cdot m_m \cdot v^2$$

$$E_{km} = \frac{1}{2} \cdot 150 \text{ kg} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 30\,000 \text{ J}$$

$$E_{ks} = \frac{1}{2} \cdot m_s \cdot v^2$$

$$E_{ks} = \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 300\,000 \text{ J}$$

$$\frac{E_{ks}}{E_{km}} = \frac{300\,000 \text{ J}}{30\,000 \text{ J}} = 10$$

II sposób:

$$\frac{E_{ks}}{E_{km}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m_s \cdot v^2}{\frac{1}{2} \cdot m_m \cdot v^2} = \frac{m_s}{m_m}$$

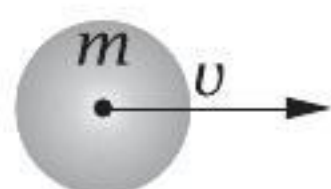
$$\frac{E_{ks}}{E_{km}} = \frac{1500 \text{ kg}}{150 \text{ kg}} = 10$$

**Odp.** Energia kinetyczna samochodu jest 10 razy większa od energii kinetycznej motocykla.

**ĆWICZENIE 2.** Królik i kangur biorą udział w wyścigu. Obydwaj zawodnicy poruszają się z prędkością  $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Masa królika to 1 kg, zaś kangura to 24 kg. Oblicz, ile razy energia kinetyczna kangura jest większa od energii kinetycznej królika.

**Zależność energii kinetycznej od prędkości**

2 razy większa prędkość,  
4 razy większa energia kinetyczna.



$$E_{k1} = \frac{1}{2} m v^2$$

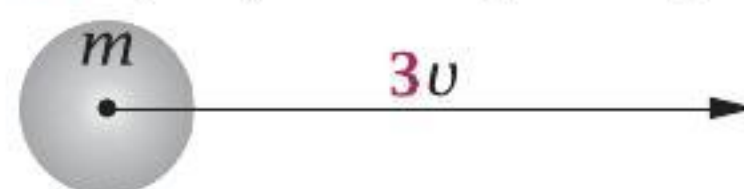


$$E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (2v)^2$$

$$E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot 4v^2$$

$$E_{k2} = 4E_{k1}$$

3 razy większa prędkość,  
9 razy większa energia kinetyczna.



$$E_{k3} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (3v)^2$$

$$E_{k3} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot 9v^2$$

$$E_{k3} = 9E_{k1}$$

Gdy dwa przemieszczające się ciała mają taką samą masę, to ciało poruszające się 2 razy szybciej, ma  $2^2 = 4$  razy większą energię kinetyczną. Gdyby poruszało się 3 razy szybciej, to miałoby  $3^2 = 9$  razy większą energię kinetyczną. Ciało poruszające się  $n$  razy szybciej, miałoby  $n^2$  razy większą energię kinetyczną.



**PRZYKŁAD 3.**

Dwóm bilom o identycznych masach nadano różne prędkości. Jedna porusza się z prędkością 4 razy większą niż druga. Oblicz, ile razy energia kinetyczna szybszej bili jest większa od energii kinetycznej wolniejszej bili.

**Dane:**

$m$  — masa bili

$v$  — prędkość wolniejszej bili

$4v$  — prędkość szybszej bili

**Szukane:**

$\frac{E_{ks}}{E_{kw}} = ?$  — iloraz energii kinetycznych bili szybszej i bili wolniejszej

**Rozwiązanie:**

$$E_{kw} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$E_{ks} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (4v)^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot 4^2 \cdot v^2$$

$$\frac{E_{ks}}{E_{kw}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot 4^2 \cdot v^2}{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2} = \frac{4^2}{1} = 16$$

**Odp.** Szybsza bila ma 16 razy większą energię kinetyczną niż bila wolniejsza.

**ĆWICZENIE 3.** Dwaj identyczni bliźniacy o takich samych masach jadą na takich samych hulajnogach elektrycznych. Jeden porusza się 5 razy szybciej niż drugi. Oblicz, ile razy energia kinetyczna szybszego z braci jest większa od energii kinetycznej drugiego z nich.

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. Więcej energii

Na podstawie podanych informacji wskaż to ciało, które ma większą energię kinetyczną.

a)  $m = 1 \text{ kg}$     $v = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



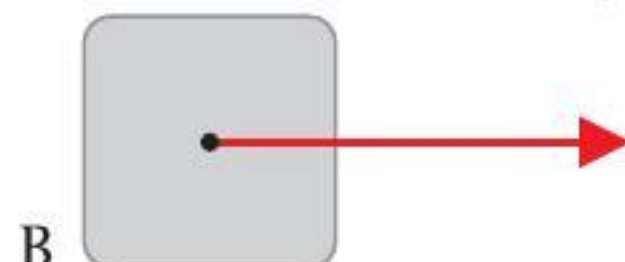
B  $m = 1 \text{ kg}$     $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



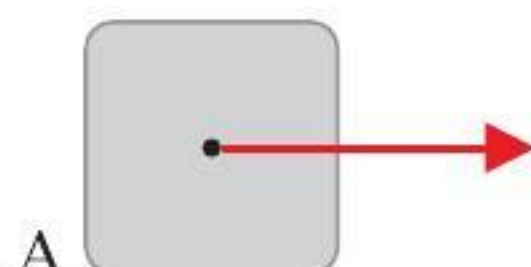
b)  $m = 1 \text{ kg}$     $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



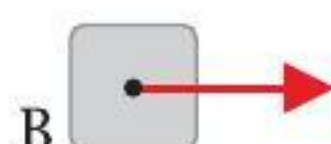
B  $m = 3 \text{ kg}$     $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



c)  $m = 3 \text{ kg}$     $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



B  $m = 1 \text{ kg}$     $v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



### Zadanie 2. Pędzące ciała

Oblicz energię kinetyczną ciała.

**i** Zwróć uwagę na jednostki.



$m = 100 \text{ kg}$ ,  $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



$m = 0,1 \text{ g}$ ,  $v = 7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



$m = 1 \text{ kg}$ ,  $v = 1 \frac{\text{km}}{\text{s}}$



$m = 10 \text{ t}$ ,  $v = 360 \frac{\text{km}}{\text{h}}$



### Zadanie 3. *Mniejsza masa, większa prędkość*

Dwa meteoroidy mkną przez przestrzeń kosmiczną. Jeden ma masę 5 razy mniejszą niż drugi, ale porusza się z prędkością 5 razy większą. Oblicz, ile razy energia kinetyczna szybszego meteoroidu jest większa od energii kinetycznej wolniejszego.



### Zadanie 4. *Większa masa, mniejsza prędkość*

Pierwsze ciało ma masę  $m$  i porusza się z prędkością  $v$ . Drugie ciało ma masę  $4m$ , ale porusza się z prędkością  $\frac{1}{4}v$ . Oblicz iloraz energii kinetycznej drugiego ciała i energii kinetycznej pierwszego ciała.

### Zadanie 5. *Tir*

Cieżarówka o masie 40 ton porusza się z prędkością  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Oblicz energię kinetyczną samochodu. Wynik wyraż w MJ.

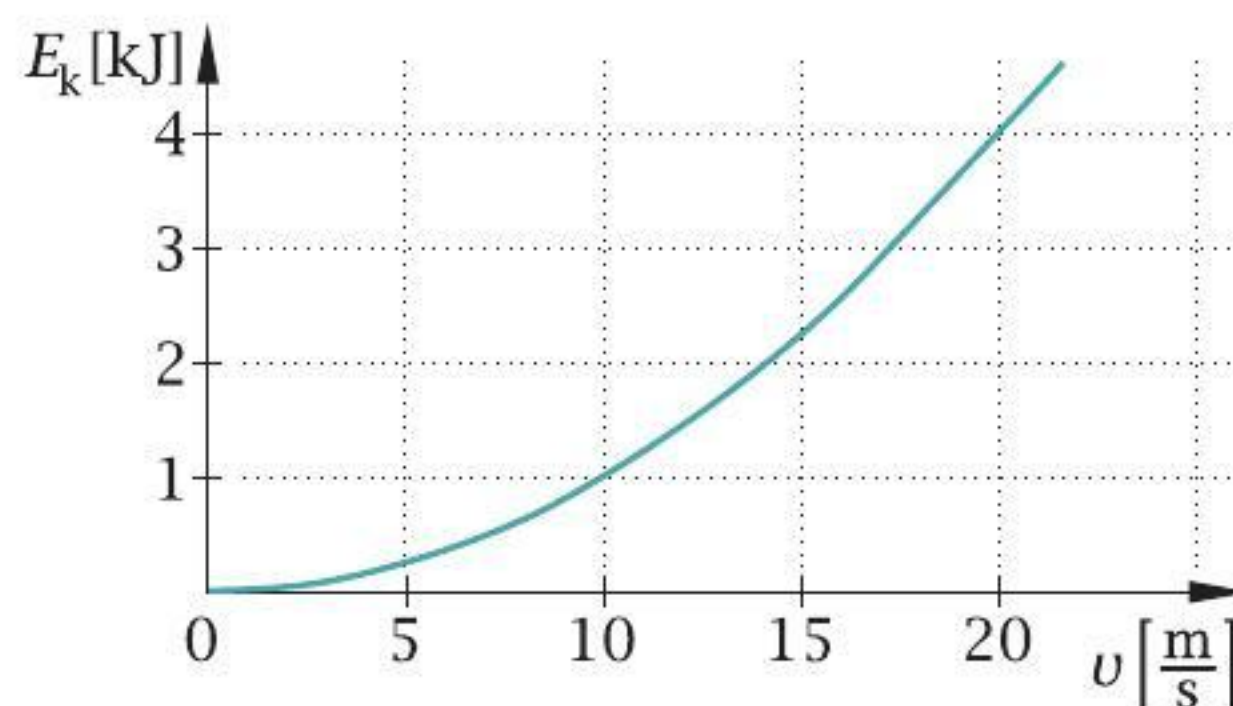
### Zadanie 6. *Kula*

Spadająca metalowa kula porusza się z prędkością  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Energia kinetyczna kuli to 1600 J. Oblicz masę kuli.

$$\begin{aligned} \text{i} \quad E_k &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 & | \cdot 2 \\ 2E_k &= m \cdot v^2 & E_k \text{ — energia kinetyczna} \\ \frac{2E_k}{v^2} &= m & m \text{ — masa} \\ & & v \text{ — prędkość} \end{aligned}$$

### Zadanie 7. *Dron*

Na wykresie przedstawiono zależność energii kinetycznej drona od jego prędkości. Oblicz masę drona.



### Zadanie 8. *Na lodowisku, cz. I*

Na lodowisku stał łyżwiarz. Trener pchał łyżwiarza siłą o wartości 30 N po prostej przez 4 m. Oblicz energię kinetyczną łyżwiarza po tym przemieszczeniu. Pomiń opory ruchu.

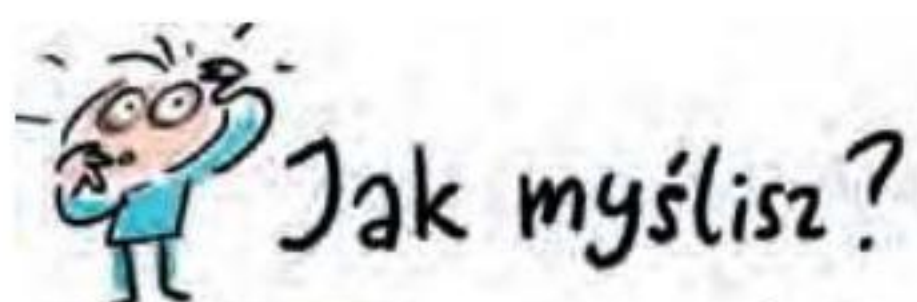
### 🎯 Zadanie 9. *Na lodowisku, cz. II*

Na lodowisku stał łyżwiarz o masie 60 kg. Trener rozpędzał go stałą siłą po prostej przez 3 m. Po tym przemieszczeniu prędkość łyżwiarza wynosiła  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz wartość siły, którą trener działał na łyżwiarza. Pomiń opory ruchu.

$$\begin{aligned} \text{i} \quad W &= E_k & W \text{ — praca} \\ F \cdot s &= E_k & | : s & F \text{ — siła} \\ F &= \frac{E_k}{s} & s \text{ — droga} \\ & & E_k \text{ — energia kinetyczna} \end{aligned}$$

### 🎯 Zadanie 10. *Start*

Tramwaj o masie 20 t ruszył z przystanku z przyspieszeniem  $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Oblicz energię kinetyczną tramwaju po 6 s takiego ruchu. Wynik wyraż w kJ.



- Czy istnieje coś, co nie ma masy, a ma energię kinetyczną?
- Jaka jest energia kinetyczna Ziemi?
- Jaką energię kinetyczną ma cząsteczka tlenu?
- Dlaczego energia kinetyczna jest równa  $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ ?



# 33 Energia mechaniczna



Wagoniki kolejki górskiej zyskują energię kinetyczną kosztem energii potencjalnej grawitacji. Z jakiej wysokości musi zjeżdżać wagonik, aby rozpędzić się do  $150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ? Czy bez zasilania wagoniki mogłyby krążyć bez końca po zapętłonym torze?

## Energia mechaniczna

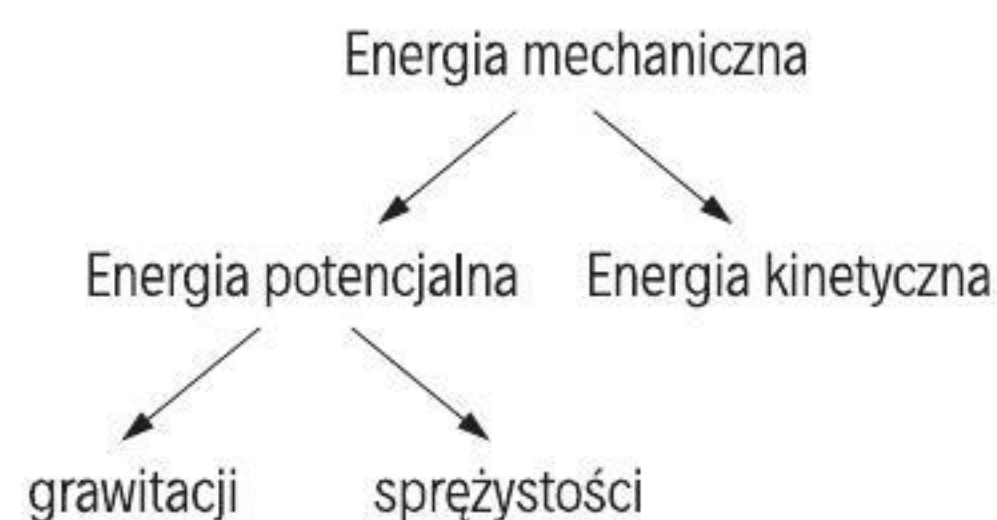
Będziemy się teraz zajmować formami energii związanymi z ruchem ciała lub z jego położeniem i siłą na nie działającą, czyli energią kinetyczną oraz energią potencjalną grawitacji i sprężystości. Sumę tych form energii nazywamy **energią mechaniczną**.

### Cel lekcji 8

Poznasz pojęcie energii mechanicznej i wykorzystasz zasadę jej zachowania do opisu zjawisk i rozwiązywania problemów.

$$E = E_k + E_p$$

energia mechaniczna →  $E$       energia potencjalna →  $E_p$       energia kinetyczna →  $E_k$



### PRZYKŁAD 1.

Kula o masie 2 kg porusza się na wysokości 3 m nad podłogą z prędkością  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz energię mechaniczną kuli względem poziomu podłogi.

**Dane:**  $m = 2 \text{ kg}$  — masa kuli  
 $v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — prędkość kuli  
 $h = 3 \text{ m}$  — wysokość kuli nad podłogą

**Szukane:**

$E = ?$  — energia mechaniczna kuli

**Rozwiązanie:**  $E = E_k + E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$

$$E = \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ kg} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ m} = 100 \text{ J} + 60 \text{ J} = 160 \text{ J}$$

**Odp.** Energia mechaniczna kuli wynosi 160 J.



**ĆWICZENIE 1.** Dron o masie 6 kg porusza się na wysokości 30 m nad ziemią z prędkością  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz energię mechaniczną drona względem poziomu ziemi.



$$E = E_k + E_p$$

$$E = 0 + E_{p1} = E_{p1}$$

$$E = E_{k2} + E_{p2}$$

$$E = E_{k3} + E_{p3}$$

$$E = E_{k4} + 0 = E_{k4}$$

$$E_{p1} = E_{k2} + E_{p2} = E_{k3} + E_{p3} = E_{k4}$$

Energia mechaniczna kuli w każdym momencie spadku swobodnego jest taka sama.

## Zasada zachowania energii mechanicznej

Przyjrzyjmy się przemianom energii ciała upuszczonego swobodnie (zob. rysunek). W chwili upuszczania ciało jest nieruchome, ma energię kinetyczną 0 J, a jego energia potencjalna grawitacji względem ziemi  $E_{p1} > 0$ .

Podczas spadania zmniejsza się wysokość ciała nad ziemią, zaś wzrasta jego prędkość. Dochodzi do przemiany energii potencjalnej  $E_p$  w energię kinetyczną  $E_k$ . Tuż przed uderzeniem w podłoże energia kinetyczna  $E_{k4}$  ciała jest maksymalna. Jednak suma energii kinetycznej i energii potencjalnej, czyli energia mechaniczna  $E$  jest ciągle taka sama.

Gdy nie występują opory ruchu, a więc nie zachodzi zamiana energii na energię wewnętrzną ciała, oraz nie jest pobierana ani dostarczana układowi energia z otoczenia, wtedy energia mechaniczna układu nie zmienia się.

### Zasada zachowania energii mechanicznej

Jeśli układ jest izolowany i nie występują opory ruchu, to energia mechaniczna układu jest stała.

### PRZYKŁAD 2.

W komorze próżniowej puszcza się odważnik o masie 1 kg z wysokości 4 m nad podłogą. Oblicz jego energię kinetyczną na wysokości 3 m nad podłogą.

**Dane:**  $m = 1 \text{ kg}$  — masa odważnika

$h_0 = 4 \text{ m}$  — wysokość, z jakiej upuszczono odważnik

$h_1 = 3 \text{ m}$  — wysokość odważnika nad podłogą

**Szukane:**  $E_{k1} = ?$  — energia kinetyczna odważnika 3 m nad podłogą

**Rozwiązanie:** Energia potencjalna i kinetyczna odważnika w chwili upuszczenia:

$$E_{p0} = m \cdot g \cdot h_0 \quad E_{p0} = 1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 \text{ m} = 40 \text{ J} \quad E_{k0} = 0 \text{ J}$$

Energia potencjalna odważnika na wysokości 3 m nad podłogą:

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot h_1 \quad E_{p1} = 1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ m} = 30 \text{ J}$$

Energia mechaniczna na początku i na końcu jest taka sama:  $E_{k0} + E_{p0} = E_{k1} + E_{p1}$ , czyli  $0 \text{ J} + 40 \text{ J} = E_{k1} + 30 \text{ J}$ , zatem:  $E_{k1} = 40 \text{ J} - 30 \text{ J} = 10 \text{ J}$

**Odp.** Energia kinetyczna odważnika na wysokości 3 m nad podłogą wynosiła 10 J.



**ĆWICZENIE 2.** W komorze próżniowej upuszczono odważnik o masie 2 kg z wysokości 3 m nad podłogą. Oblicz energię kinetyczną odważnika na wysokości:

- a) 2 m nad podłogą,                      b) tuż przed uderzeniem w podłogę.

## Odbijanie się piłki od podłogi

Jakie przemiany energii zachodzą podczas odbijania się piłki od podłogi? Przyjmijmy, że w najniższym położeniu piłka ma energię potencjalną grawitacji równą zeru.



Energia:

|                          |            |            |            |            |            |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| kinetyczna               | 0 J        | maksymalna | 0 J        | maksymalna | 0 J        |
| potencjalna grawitacji   | maksymalna | około 0 J  | 0 J        | około 0 J  | maksymalna |
| potencjalna sprężystości | 0 J        | 0 J        | maksymalna | 0 J        | 0 J        |

Jeśli energia mechaniczna byłaby zachowana, to po odbiciu piłka znów doleciałaby na wysokość 1 m. Cały proces mógłby powtarzać się bez końca.

W rzeczywistości piłka po każdym odbiciu osiąga coraz mniejszą wysokość, a w końcu przestaje się odbijać. Powodem są straty energii mechanicznej — zamiana jej części na energię wewnętrzną piłki, podłogi i powietrza.

## Czas na zadania!

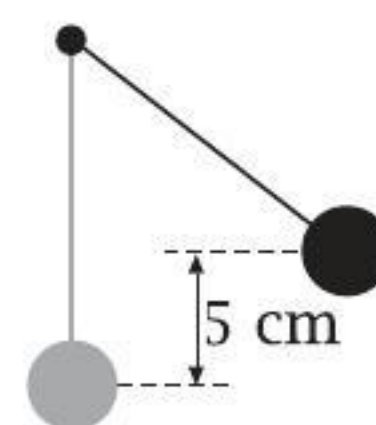
**i** W zadaniach pominiemy opory ruchu.

### Zadanie 1. *Jabłko*

Jabłko o masie 0,3 kg wisiało nieruchomo 4 m nad ziemią. W pewnej chwili zaczęło spadać i uderzyło w ziemię. Jaka była początkowa energia kinetyczna jabłka? Kiedy jabłko miało maksymalną energię kinetyczną? Oblicz jej wartość.

### Zadanie 2. *Wahadło*

Wahadło wykonane z nici i nakrętki o masie 100 g odchylono od pionu tak, że nakrętka znalazła się o 5 cm wyżej. Następnie nakrętkę puszczało. Kiedy miała ona maksymalną energię kinetyczną? Oblicz jej wartość.





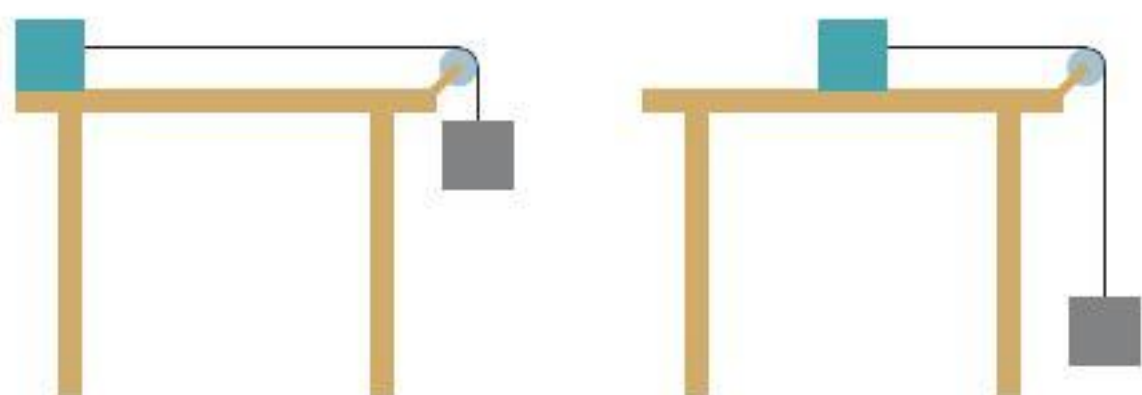
### Zadanie 3. Spadek swobodny

Uzupełnij tekst.

Podczas spadku swobodnego dochodzi do zamiany energii ... na energię ... . Początkowo energia ... jest równa 0 J, natomiast energia ... przyjmuje wartość maksymalną. Tuż przed zetknięciem z podłożem energia ... ma wartość minimalną, natomiast energia ... przyjmuje wartość największą. W każdym momencie spadku swobodnego wartość energii ..., czyli suma energii ... i energii ..., jest taka sama.

### Zadanie 4. Napęd grawitacyjny

Kostka znajdująca się na stole (zob. rysunek) ma masę 1 kg i jest połączona lekką, nierozciągliwą linką (przewieszoną przez krążek) ze zwisającym ciężarkiem o masie 2 kg. Początkowo kostkę trzymano, więc układ był nieruchomy. Następnie puszczono ją. Oblicz energię kinetyczną układu w chwili, gdy wysokość ciężarka nad podłogą zmniejszyła się o 1 m.



### Zadanie 5. Podrzut

Kulę podrzucono pionowo w górę w komorze próżniowej i zmierzono maksymalną wysokość kuli nad poziomem, z którego ją wyrzuciono. Ile razy zwiększy się ta wysokość, gdy początkowa prędkość kuli zostanie zwiększona 4 razy?

### Zadanie 6. Rzut pionowy w górę

Zawodnik podrzucił pionowo w górę piłkę o masie 0,4 kg. W chwili wyrzutu piłka miała prędkość  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

**i** Lot piłki w górę rozpoczyna się po wypuszczeniu jej z rąk przez zawodnika. Przyjmij, że na poziomie, z którego wyrzucono piłkę, energia potencjalna grawitacji jest równa 0 J.

- Jakim ruchem poruszała się piłka podczas lotu w górę?
- Jaką energię kinetyczną miała piłka w najwyższym punkcie lotu?
- Oblicz początkową energię kinetyczną piłki.
- Oblicz maksymalną wysokość, na jaką wzniosła się piłka, względem poziomu, z którego ją wyrzucono.

### Zadanie 7. Spadek

Kulę upuszczono w komorze próżniowej i zmierzono prędkość kuli tuż przed uderzeniem w podłogę. Ustal, ile razy zwiększy się prędkość kuli, gdy zostanie ona upuszczona z cztery razy większej wysokości.

### Zadanie 8. Czas spadku

Zegar wisiał nieruchomo na wysokości 5 m nad ziemią. W pewnej chwili zaczął spadać i uderzył w ziemię.

- Oblicz prędkość zegara tuż przed uderzeniem w ziemię.
- Skorzystaj z definicji przyspieszenia i oblicz czas spadku zegara.



- Czy Ziemia traci energię mechaniczną w ruchu dookoła Słońca?
- W jakim wypadku nie musimy znać masy ciała, by opisać jego ruch pod wpływem sił?
- Ile energii mechanicznej traci piłka w zderzeniu z podłogą? Czy za to też są odpowiedzialne siły oporów?



# 34 Straty energii mechanicznej



Zdjęcia przedstawiają projekty urządzeń, które według autorów miały działać bez końca i dostarczać energię, nie pobierając jej. Nazwano je *perpetuum mobile* – po łacinie *wiecznie poruszające się*. Dlaczego woda nie będzie docierać do wylotu rurki na zdjęciu po lewej stronie? Dlaczego nikomu nie udało się zbudować *perpetuum mobile*?

## Wykorzystanie zasady zachowania energii

Urządzeniom do działania jest potrzebna energia. Lampy, komputery, lodówki i pralki są podłączone do sieci elektrycznej. Samochody spalinowe trzeba tankować, elektryczne — ładować. Wahadło w sprężynowym zegarze ściennym przestanie się wychylać, gdy zapomnimy nakręcić sprężynę. W każdym z tych wypadków zasada zachowania energii mechanicznej nie jest spełniona. Obowiązuje jednak ogólna zasada zachowania energii. Znając energię mechaniczną układu i korzystając z zasady zachowania energii, można wyznaczyć energię dostarczoną do układu lub oddaną przez układ do otoczenia.

### Cel lekcji 8

Wykorzystasz zasadę zachowania energii oraz energię mechaniczną do opisu zjawisk i rozwiązywania problemów.

#### Doświadczenie

#### Odbijająca się piłeczka

- ① Przygotuj gumową piłeczkę oraz taśmę mierniczą.
- ② Zamocuj pionowo taśmę tak, aby 0 cm było na poziomie podłogi.
- ③ Upuść piłeczkę z wysokości 1 m i zapisz przybliżone wysokości, na które się ona wznosi po dwóch kolejnych odbiciach.
- ④ O ile zmniejsza się wysokość, na którą wznosi się piłeczka po pierwszym odbiciu, a o ile — po drugim? Ile odbić wykonuje piłeczka, zanim przestanie się poruszać?

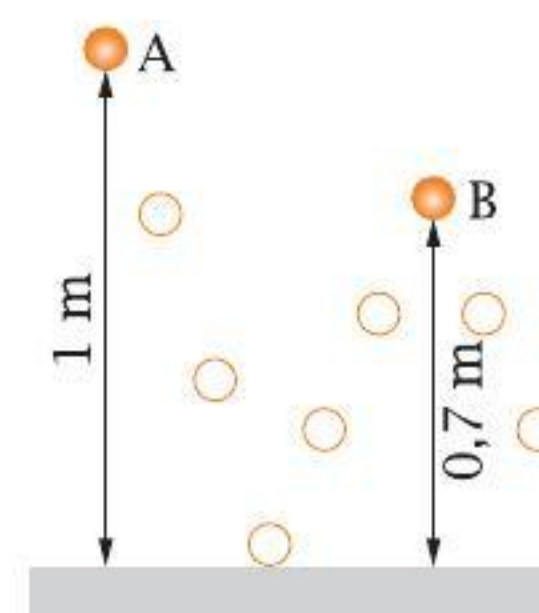


## Straty energii mechanicznej

Piłka odbijająca się od podłogi w końcu się zatrzyma. Przyjmując za punkt odniesienia poziom podłogi, można powiedzieć, że piłka straci całą energię mechaniczną. Zamieni się ona w energię wewnętrzną piłki, podłogi i powietrza.

### PRZYKŁAD 1.

Piłkę o masie 0,2 kg upuszczono z wysokości 1 m nad podłogą. Na rysunku pokazano wysokość, na jaką wzniosła się ona po odbiciu. Przyjmij, że na poziomie podłogi energia potencjalna grawitacji jest równa 0 J.



- a) Oblicz energię mechaniczną piłki w położeniach A i B.
- b) Oblicz procentową stratę energii mechanicznej po odbiciu.

**Dane:**  $m = 0,2 \text{ kg}$  — masa piłki

$h_A = 1 \text{ m}$  — wysokość, z jakiej upuszczono piłkę

$h_B = 0,7 \text{ m}$  — wysokość po odbiciu

- a) **Szukane:**  $E_A$  — energia mechaniczna piłki w położeniu A  
 $E_B$  — energia mechaniczna piłki w położeniu B

**Rozwiązanie:**  $E_A = m \cdot g \cdot h_A$        $E_A = 0,2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 2 \text{ J}$

$E_B = m \cdot g \cdot h_B$        $E_B = 0,2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,7 \text{ m} = 1,4 \text{ J}$

**Odp.** Energia mechaniczna piłki wynosiła 2 J w położeniu A oraz 1,4 J w położeniu B.

- b) **Szukane:**  $\frac{E_A - E_B}{E_A} \cdot 100\% = ?$  — procentowa strata energii mechanicznej po odbiciu

**Rozwiązanie:**  $\frac{E_A - E_B}{E_A} \cdot 100\% = \frac{2 \text{ J} - 1,4 \text{ J}}{2 \text{ J}} \cdot 100\% = \frac{0,6 \text{ J}}{2 \text{ J}} \cdot 100\% = 30\%$

**Odp.** Po odbiciu piłka straciła 30% energii mechanicznej.

**i** Zauważ, że  $\frac{E_A - E_B}{E_A} \cdot 100\% = \frac{m \cdot g \cdot h_A - m \cdot g \cdot h_B}{m \cdot g \cdot h_A} \cdot 100\% = \frac{m \cdot g \cdot (h_A - h_B)}{m \cdot g \cdot h_A} \cdot 100\% = \frac{h_A - h_B}{h_A} \cdot 100\%$ .  
Zatem procentowe straty energii piłki po odbiciu możesz obliczyć, wiedząc jedynie, jak wysoko się ona odbijała.

**ĆWICZENIE 1.** Piłkę o masie 1 kg upuszczono z wysokości 4 m nad podłogą.

Po pierwszym odbiciu wzniosła się ona na 2 m nad podłogę, a po drugim odbiciu — na 1 m. Przyjmij, że na poziomie podłogi energia potencjalna grawitacji jest równa 0 J.

- a) Oblicz, o ile zmniejszyła się energia mechaniczna piłki od chwili, gdy ją upuszczono, do chwili, gdy wzniosła się na 2 m.
- b) Oblicz, ile procent energii mechanicznej traci piłka po pierwszym odbiciu, a ile — po drugim.



Czasami zakłada się, że piłka traci podczas każdego kolejnego odbicia taki sam procent energii mechanicznej. Możesz wykorzystać wyniki uzyskane w doświadczeniu i sprawdzić, czy są zgodne z tym przybliżeniem.

## Kiedy straty energii mechanicznej są dobre?

Jadąc rowerem, odczuwasz opór powietrza. Zastanów się, jaką pozycję przyjmujesz, gdy chcesz jechać szybko. Kolarze, by osiągnąć duże prędkości, pochylają się do przodu. Zmniejszają w ten sposób wpływ oporu powietrza. Podobnie auta o bardziej aerodynamicznych kształtach są szybsze, zużywają też mniej paliwa. Czy można powiedzieć, że opory ruchu i wywołane przez nie straty energii mechanicznej zawsze są niekorzystne?

Skoczek przed otwarciem spadochronu może poruszać się z prędkością większą niż  $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Aby bezpiecznie wylądować, otwiera czaszę spadochronu i wykorzystuje opór powietrza. Gdy musimy wyhamować, zależy nam na wytraceniu energii mechanicznej.

### *Dowiedz się więcej o drodze hamowania*

Rozpędzony pociąg ze względu na swoją masę ma bardzo dużą energię kinetyczną. Podczas hamowania pojazd musi ją wytracić. Duża energia oznacza długą drogę hamowania. Droga awaryjnego hamowania pociągu, jadącego z prędkością  $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , wynosi ponad kilometr. Większość samochodów osobowych potrzebuje do tego około 60 m.



## Czas na zadania!

### Zadanie 1. Ciężarówka

Ciężarówka o masie 10 t jechała po poziomym odcinku autostrady ze stałą prędkością równą  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . W pewnym momencie pojazd zaczął hamować i zatrzymał się po przejechaniu 20 m. Oblicz, o ile zmniejszyła się energia mechaniczna ciężarówki.

### Zadanie 2. Strzała

Łucznik trzymał nieruchomo strzałę o masie 200 g w napiętym łuku. Gdy puścił cięciwę, strzała wyleciała poziomo z prędkością początkową  $90 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz energię potencjalną sprężystości napiętego łuku, wiedząc, że jej 90% zamieniło się w energię mechaniczną strzały.

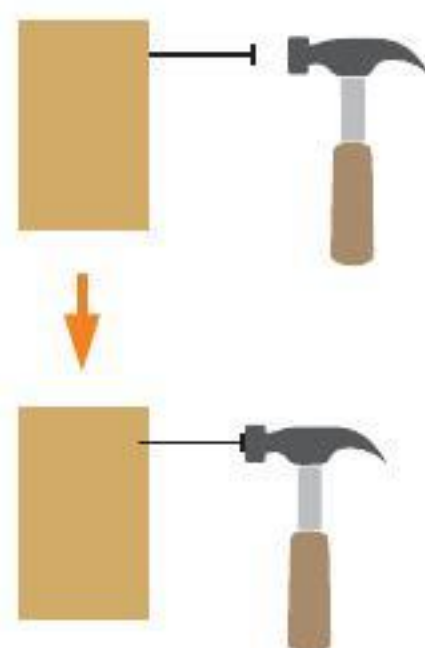


**Zadanie 3.** Wagonik kolejki górskiej o masie  $200\text{ kg}$  uzyskuje prędkość  $40\frac{\text{m}}{\text{s}}$ , gdy znajduje się  $100\text{ m}$  poniżej punktu startu. W chwili startu prędkość wagonika jest równa  $0\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Przyjmij, że energia potencjalna grawitacji jest równa  $0\text{ J}$  na poziomie  $100\text{ m}$  poniżej punktu startu wagonika.

- Oblicz, ile energii mechanicznej wagonika zamieniło się w inne formy energii.
- Jakie siły spowodowały zmniejszenie się energii mechanicznej wagonika?

#### Zadanie 4. **Gwóźdź**

Młotek uderza w poziomo ustawiony gwóźdź. Gwóźdź wbija się w drewno i zatrzymuje się (zob. rysunek). Młotek odbija się z mniejszą prędkością niż przed uderzeniem. Wybierz właściwe uzupełnienia zdań.



*Energia mechaniczna młotka po uderzeniu jest **mniejsza/większa** niż przed uderzeniem. Gwóźdź dzięki uderzeniu **traci/zyskuje** energię **kinetyczną/potencjalną grawitacji**. W końcu cała energia mechaniczna gwoździa zostaje zamieniona na energię **potencjalną grawitacji/wewnętrzną gwoździa i drewna**, a także na energię potencjalną sprężystości włókien drzewnych.*

**Zadanie 5.** Sportowiec o masie  $80\text{ kg}$  wbiegał po schodach ze stałą prędkością  $2,5\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Jego wysokość nad ziemią wzrosła o  $30\text{ m}$ .

- Oblicz wzrost energii mechanicznej sportowca.
- Ile energii zostało wydzielone w organizmie sportowca, jeśli tylko  $20\%$  zostało zamienione na energię mechaniczną?



#### Zadanie 6. **Skok z krawędzi kosmosu**

Felix Baumgartner w czasie skoku ze stratosfery w 2012 r., gdy znajdował się na wysokości  $20\text{ km}$  nad Ziemią, spadał z prędkością  $200\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Na wysokości  $5\text{ km}$  spadał z prędkością  $60\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Przyjmij, że w całym zakresie wysokości  $g = 10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Masa skoczka w kombinezonie to  $120\text{ kg}$ .

- Oblicz, o ile zmniejszyła się energia mechaniczna skoczka między pierwszym a drugim pomiarem wysokości. Wynik wyraż w MJ.
- Co się stało z energią mechaniczną straconą przez skoczka?

#### Zadanie 7. **Lód**

Weritka próbuje dowiedzieć się, ile energii potrzeba, by stopić krę lodową.

— Znalazłam informację, że do stopienia kilograma lodu w temperaturze  $0^\circ\text{C}$  potrzeba około  $330\text{ kJ}$ . To sporo pracy.

— A gdyby tak upuścić ten lód? — proponuje Hasto. — Moglibyśmy założyć, że energia mechaniczna zamieni się w energię potrzebną do stopienia lodu.

— Przynajmniej uświadomimy sobie, jak duża to porcja energii.

Oblicz, z jakiej wysokości należałoby upuścić kilogram lodu, by się stopił. Przyjmij, że cała energia mechaniczna bryły lodu zostanie zużyta na jego topnienie oraz w całym zakresie wysokości przyspieszenie ziemskie  $g = 10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .



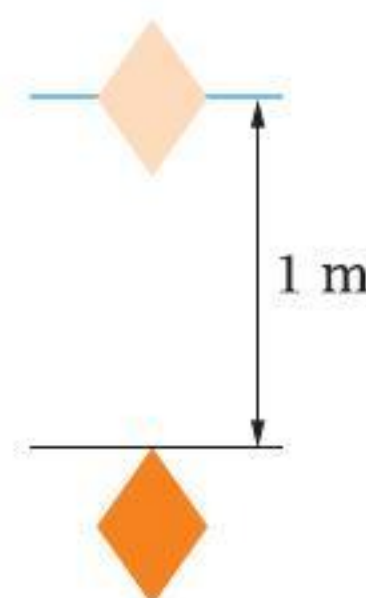
### Zadanie 8. Astronautka i skrzynka

Astronautka oraz skrzynka z narzędziami początkowo spoczywały w przestrzeni kosmicznej. Następnie astronautka odepchnęła od siebie skrzynkę. Po odepchnięciu astronautka porusza się z prędkością  $0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a skrzynka z prędkością  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Pomiń wpływ oddziaływań innych niż siły nacisku między dłońmi astronautki a skrzynką podczas odpychania. Masa astronautki w skafandrze to 100 kg, a masa skrzynki z narzędziami to 10 kg.

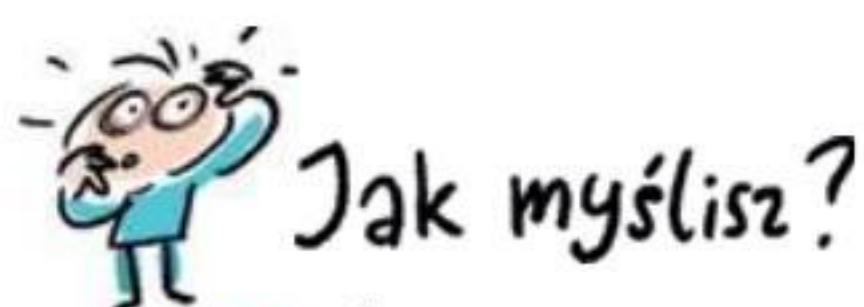
- Oblicz, o ile zmieniła się energia mechaniczna całego układu składającego się z astronautki i skrzynki.
- Ile razy większa jest energia kinetyczna skrzynki od energii kinetycznej astronautki?
- Jaka siła wykonała pracę, rozpędzając skrzynkę?
- Jaka siła działa na astronautkę, rozpędzając ją?
- Skąd pochodziła energia, która zamieniła się w energię mechaniczną układu? W jakiej formie była zmagazynowana?

### Zadanie 9. Boja

Boję o masie 5 kg i objętości 14 litrów zanurzano na głębokość 1 m poniżej lustra wody. Kiedy boję puszczono, zaczęła wypływać.



- Oblicz siłę wyporu działającą na całkowicie zanurzoną boję.
- Oblicz pracę siły wyporu, która działała na boję podczas jej zbliżania się do lustra wody.
- Oblicz prędkość boi tuż pod powierzchnią wody, przy założeniu, że praca siły wyporu jest równa wzrostowi energii mechanicznej boi.
- W rzeczywistości prędkość boi jest znacznie mniejsza, niż wynika z obliczeń w podpunkcie c). Dlaczego?



- Jak straty energii samochodu zależą od jego prędkości?
- Dlaczego trzeba dostarczać energię, aby stopić lód?
- Czy woda na dole wodospadu jest cieplejsza niż na górze?
- Jak opisać tempo przekazywania energii albo wykonywania pracy?



Fizyka na wesoło...

Przed maratonem:

— Czemu jesz kanapki na stojąco?

— To proste. Zwiększam ich energię potencjalną, by potem mieć większą energię kinetyczną.



# Lekcja dodatkowa. Maszyny proste



Gdzie złapać uchwyty taczki, aby podniesienie ładunku było najłatwiejsze?  
Czy można zmodyfikować taczkę tak, aby jeszcze bardziej to ułatwić?

## Cel lekcji

Poznasz maszyny, które pozwalają zmniejszać wartość siły potrzebnej do wykonania danej pracy i zmieniać kierunek lub zwrot tej siły.

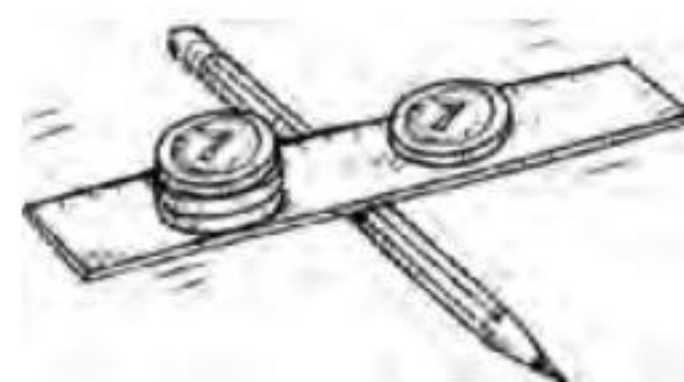
## Jak łatwiej wykonać pracę?

Od wieków człowiek ułatwiał sobie pracę, konstruując narzędzia i urządzenia, na przykład takie, które umożliwiały podnoszenie ciężkich przedmiotów przy użyciu niewielkiej siły. Urządzenia mechaniczne mające taką własność to **maszyny proste**. Poeksperymentuj z huśtawką, a poznasz zasadę działania takiej maszyny.

### Doświadczenie

### Huśtawka wagowa

- ① Przygotuj ołówek, linijkę oraz cztery monety 1-złotowe. Linijkę ułóż na ołówku tak, jak na rysunku.
- ② Na linijce połóż trzy monety (jedna na drugiej) tak, aby ich środki znajdowały się w odległości 2 cm od ołówka.
- ③ W jakiej odległości od ołówka należy umieścić pozostałą monetę, by podniosła ona trzy monety?

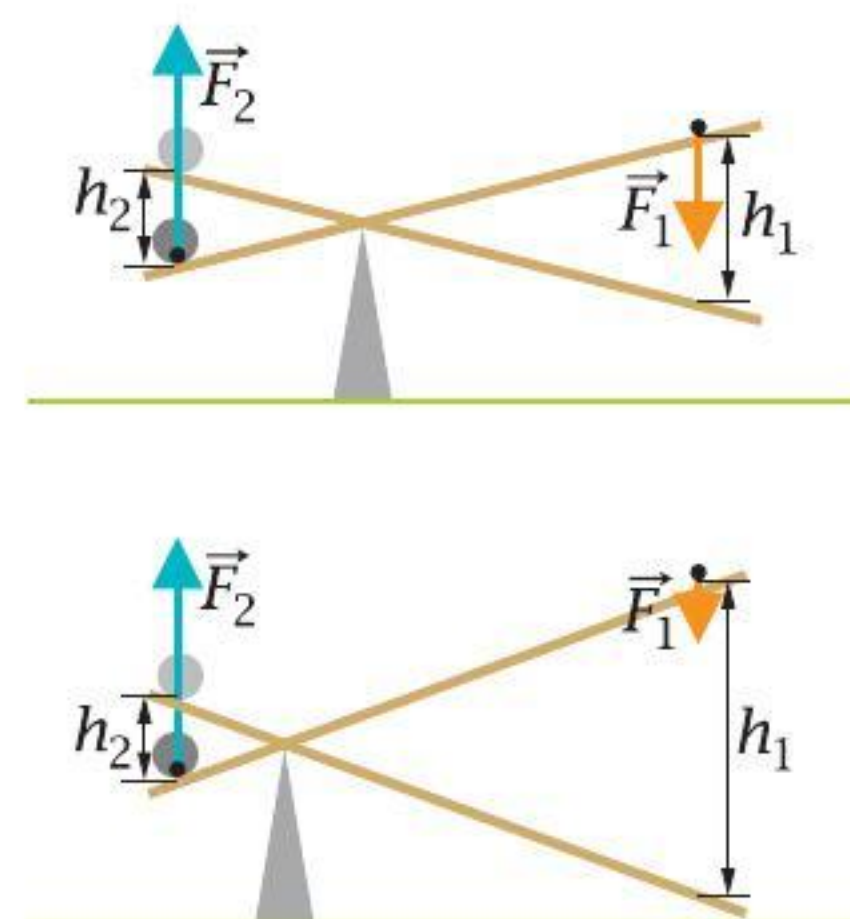


Mniejszy ciężar musiał być bardziej oddalony od środka linijki, by podnieść większy ciężar. Podobnie można pokazać, że lżejsza osoba siedząca na siedzisku huśtawki wagowej podniesie cięższą osobę, jeśli ta przesunie się po belce bliżej osi huśtawki.



## Dźwignie

**Dźwignia dwustronna** (na przykład huśtawka wagowa) to urządzenie zbudowane ze sztywnej belki, która może się obracać wokół osi (podparcie belki), a siły działają po obu stronach punktu podparcia. Dzięki takiej dźwigni możemy zmienić zwrot i zmniejszyć wartość siły. Zgodnie z zasadą zachowania energii nie możemy jednak zmniejszyć wartości pracy. Aby podnieść osobę o ciężarze 1200 N, krótsze ramie dźwigni musi działać w górę co najmniej siłą o wartości  $F_2 = 1200$  N. Jeśli podnosimy osobę o  $h_2 = 0,5$  m, to musimy wykonać pracę  $W_2 = F_2 \cdot h_2 = 600$  J. Gdy naciskamy w dół na dłuższe ramie i wykonujemy tę pracę na dłuższej drodze  $h_1 = 1$  m, wtedy wystarczająca wartość siły, którą działamy, to tylko  $F_1 = 600$  N, ponieważ  $W_1 = F_1 \cdot h_1 = 600$  J =  $W_2$ . Zgodnie z zasadą zachowania energii praca wykonana po jednej stronie dźwigni jest równa pracy po drugiej stronie:  $F_1 \cdot h_1 = F_2 \cdot h_2$ . Lżejsza osoba może więc dzięki swojemu ciężarowi podnieść cięższą osobę, ale kosztem większej zmiany wysokości.

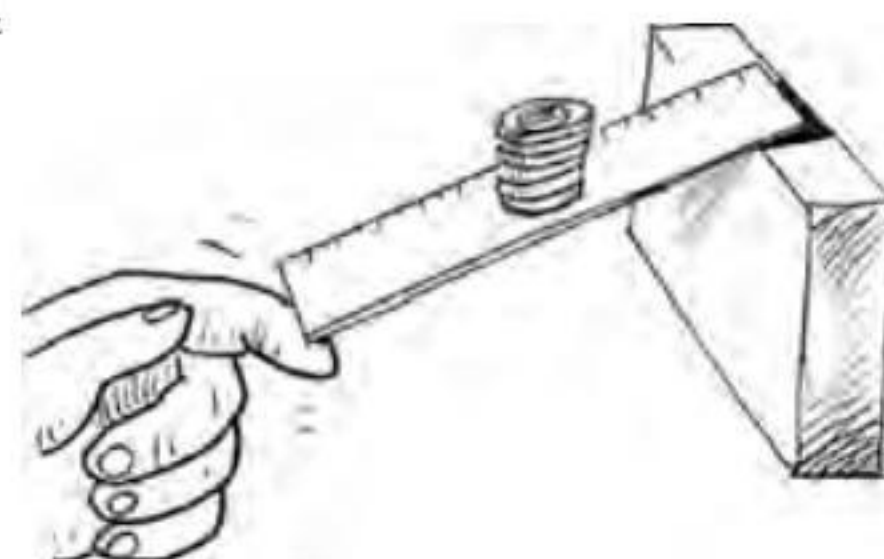


**i** Przyjmujemy, że masa samej belki dźwigni jest na tyle mała, że możemy ją pominąć.

### Doświadczenie

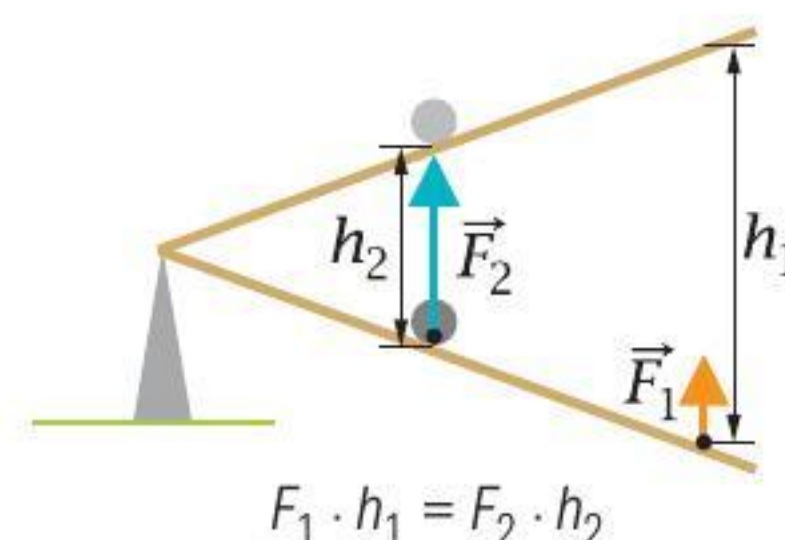
### Dźwignia jednostronna

- ① Przygotuj linijkę, stabilną podpórkę, taśmę klejącą oraz 6 monet 1-, 2- lub 5-złotowych.
- ② Jeden koniec linijki oprzyj o podpórkę, a drugi — podtrzymuj palcem.
- ③ Połóż monety sklejone taśmą (jedna na drugiej) na linijce: raz blisko punktu podparcia, a następnie tuż przy palcu. Za każdym razem podnoś palcem koniec linijki o około 4 cm.
- ④ W którym miejscu na linijce najlepiej umieścić monety, by zmniejszyć wartość siły koniecznej do ich podniesienia?



**Dźwignia jednostronna** jest też zbudowana ze sztywnej belki, ale siły działają tylko po jednej stronie punktu podparcia. Im bliżej niego umieścisz ciężar, tym mniejszej siły możesz użyć do jego podniesienia. Dźwignia taka pozwala wykonać daną pracę (podnieść lub podważyć ciężar) przy użyciu mniejszej siły, jednak nie zmienia zwrotu tej siły.

Taczka, huśtawka wagowa i łom to przykłady zastosowania dźwigni. Zastanów się, gdzie jeszcze się je wykorzystuje.



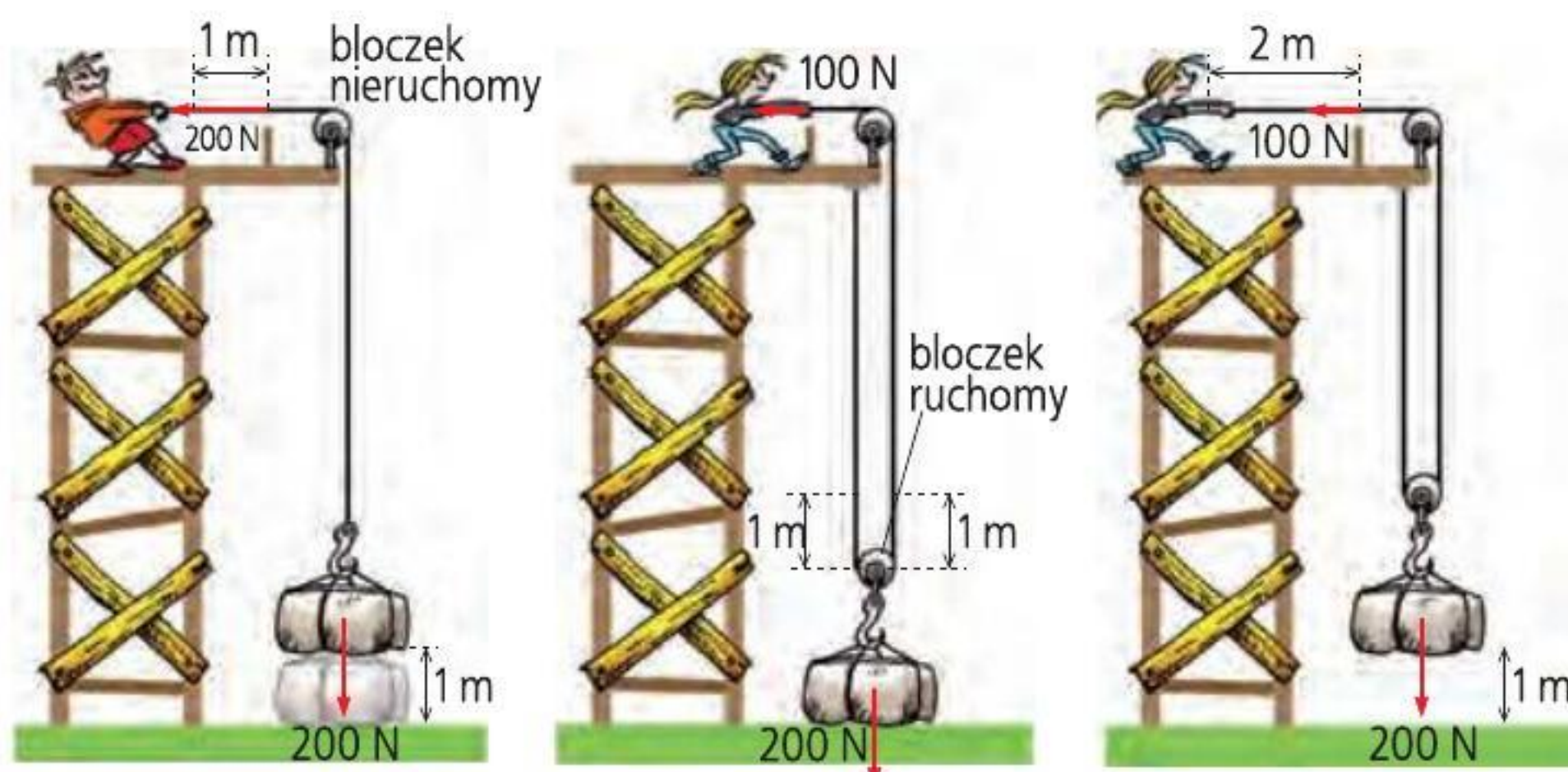


## Bloczki

**i** Przyjmujemy, że masy bloczków, liny i opory ruchu są pomijalnie małe.

Bloczki (krążki linowe) są używane do podnoszenia ciężkich ładunków. Jeżeli jest to bloczek nieruchomy, to zmienia on jedynie kierunek działania siły.

Spójrz na rysunek. Hasto do wciągania liny musi użyć siły o tej samej wartości, co do podnoszenia ładunku bez zastosowania bloczka. Jednak bloczek sprawia, że Hasto może działać siłą poziomą i do wciągania ładunku może wykorzystać także swój własny ciężar.



Jednak bloczek sprawia, że Hasto może działać siłą poziomą i do wciągania ładunku może wykorzystać także swój własny ciężar.

W konstrukcji, za pomocą której Weritka wciąga ładunek, dodatkowo zastosowano bloczek ruchomy.

Aby podnieść ciężar o metr, Weritka musi wciągnąć aż 2 m liny. Jednak dzięki temu, że działa siłą na dwa razy dłuższej drodze, siła ta może mieć dwa razy mniejszą wartość.

Hasto i Weritka wciągnęli takie same ładunki na taką samą wysokość. Dzięki zastosowaniu bloczka ruchomego, Weritka mogła działać dwa razy mniejszą siłą niż Hasto, ale musiała wciągnąć dwa razy więcej liny. Wykonana praca, czyli przekazana energia była w obu wypadkach taka sama.

Przy użyciu maszyn prostych nie można zmniejszyć pracy niezbędnej do przemieszczenia ciała. Można ją jednak wykonać, działając mniejszą siłą na dłuższej drodze.

## Wykorzystanie maszyn prostych

Dźwignie, bloczki, czy prasa hydrauliczna, której działanie omówiliśmy w lekcji *Prawo Pascala*, to tylko kilka przykładów maszyn prostych. Są nimi również turbiny wodne (wykorzystywane w elektrowniach wodnych), równie pochyłe (na przykład podjazdy dla wózków inwalidzkich) oraz koła zębate (stosowane w rowerach).

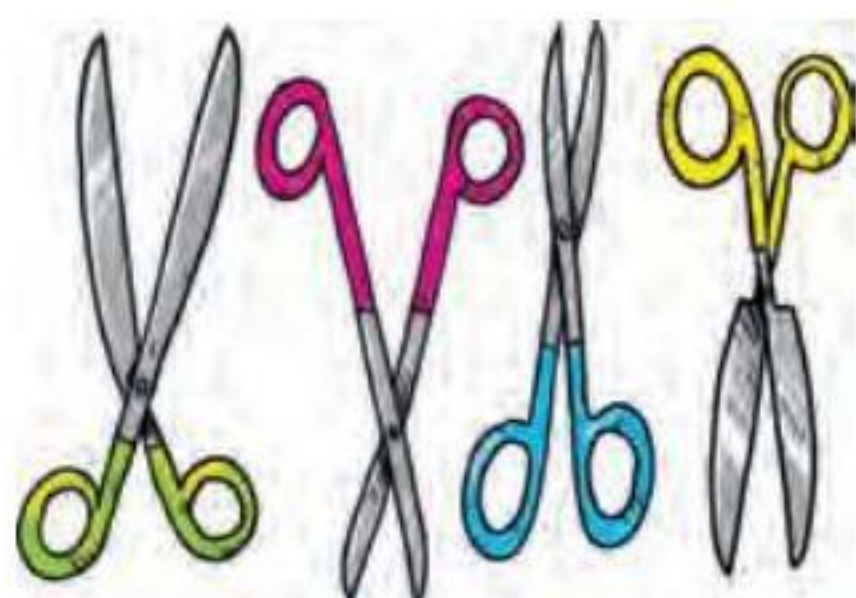
Z pewnością znasz jeszcze inne urządzenia, które są maszynami prostymi lub których elementami są maszyny proste.



## Czas na zadania!

### Zadanie 1. **Nożyce**

Zakładając, że nożyce pokazane na rysunkach są tak samo ostre, ustal, którymi najłatwiej przeciąć gruby sznurek.



### Zadanie 2. **Gwóźdź**

Która metoda wyciągnięcia gwoździa z deski wymaga użycia mniejszej siły: ciągnięcie gwoździa do siebie czy użycie dźwigni?



### Zadanie 3. **Taczka**

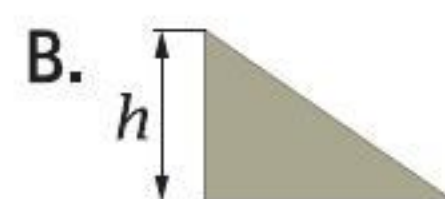
Konstrukcja poniższych taczek różni się tylko tym, że żółta ma dłuższe uchwyty niż pomarańczowa. Którą z nich łatwiej podnieść ładunek o masie 100 kg? Dlaczego?



- Archimedes miał powiedzieć: *Dajcie mi dostatecznie długą dźwignię i punkt podparcia, a poruszę Ziemię*. Czy taka dźwignia mogłaby istnieć?
- Czy za pomocą bloczków można czterokrotnie zmniejszyć wartość siły potrzebnej do wykonania pracy?

### Zadanie 4. **Podjazd**

Na schematach przedstawiono dwa podjazdy dla wózków. Oba umożliwiają wjechanie na tę samą wysokość. Który jest wygodniejszy, czyli podczas wjeżdżania nim można użyć mniejszej siły? Dlaczego?



### Zadanie 5. **Słoń**

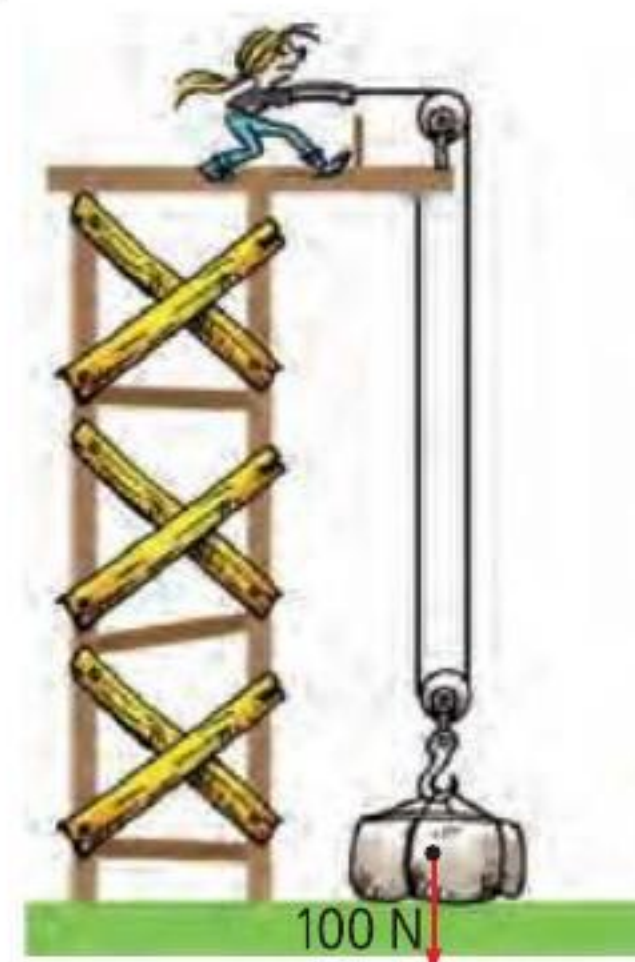
W którym miejscu można położyć odważnik o najmniejszej masie, aby podnieść słońce? Odpowiedź uzasadnij.



### Zadanie 6. **Bloczki**

Weritka wciąga ciężar 100 N za pomocą przedstawionej konstrukcji.

- Jaką długość liny musi wciągnąć, żeby ciężar znalazł się 20 cm wyżej?
- Z jaką siłą Weritka powinna ciągnąć linę, aby podnosić ciężar?





# 35 Moc



Lokomotywa elektryczna pokazana na zdjęciu ma moc 5600 kilowatów. Ile koni musiałoby ciągnąć wagony, by robić to z taką mocą jak lokomotywa? A ilu ludzi? Czy lokomotywa zawsze porusza się z taką mocą?

## Cel lekcji 8

Poznasz pojęcie mocy i nauczysz się wykorzystywać ją w obliczeniach.

## Moc, czyli szybkość wykonywania pracy

Wnosząc na drugie piętro ciężki plecak, zwiększasz jego energię potencjalną grawitacji. Siła, którą przy tym działasz na bagaż, wykonuje pracę równą zmianie tej energii. Praca ta nie zależy od czasu, w jakim zostanie wykonana. Jednak szybkie wniesienie plecaka jest trudniejsze.

Podobnie, wiele samochodów potrafi jechać z prędkością  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , ale niewiele może osiągnąć tę prędkość w czasie pierwszych 3 sekund jazdy.

Często nie tylko ilość wykonanej pracy lub przekazanej energii jest istotna, ale również czas, w którym te procesy zachodzą.

**Szybkość wykonywania pracy lub przekazywania energii nazywamy mocą.** Moc  $P$  (od angielskiego słowa *power*, czyt. pałer) obliczamy, dzieląc pracę (lub energię) przez czas, w którym została ona wykonana (przekazana).

$$\begin{array}{ccccc} & \text{praca} & & \text{energia} & \\ & \nearrow & & \nearrow & \\ \text{moc} \rightarrow & P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t} & & & \\ & \nwarrow & & \nwarrow & \\ & \text{czas} & & \text{czas} & \end{array}$$



Jednostką mocy jest **wat (W)**. Nazwa jednostki mocy pochodzi od nazwiska Jamesa Watta (czyt. dżejmsa łota), brytyjskiego wynalazcy, który w XVIII wieku opracował wydajny silnik parowy.

Jeśli urządzenie wykonało pracę o wartości 1 dżula (1 J) w czasie 1 sekundy (1 s), to pracowało z mocą 1 wata (1 W).

#### Warto wiedzieć

Symbol  $W$  oznacza jednostkę mocy (wat), zaś symbol  $W$  — pracę, której jednostką jest dżul (J).

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

Moc informuje nas, ile pracy zostało wykonane (ile energii zostało przekazane) w czasie 1 sekundy.

#### PRZYKŁAD 1.

Silnik wykonał pracę 500 J w czasie 20 s. Oblicz moc, z jaką pracował.

##### Dane:

$W = 500\text{ J}$  — wykonana praca

$t = 20\text{ s}$  — czas pracy silnika

##### Szukane:

$P = ?$  — moc silnika

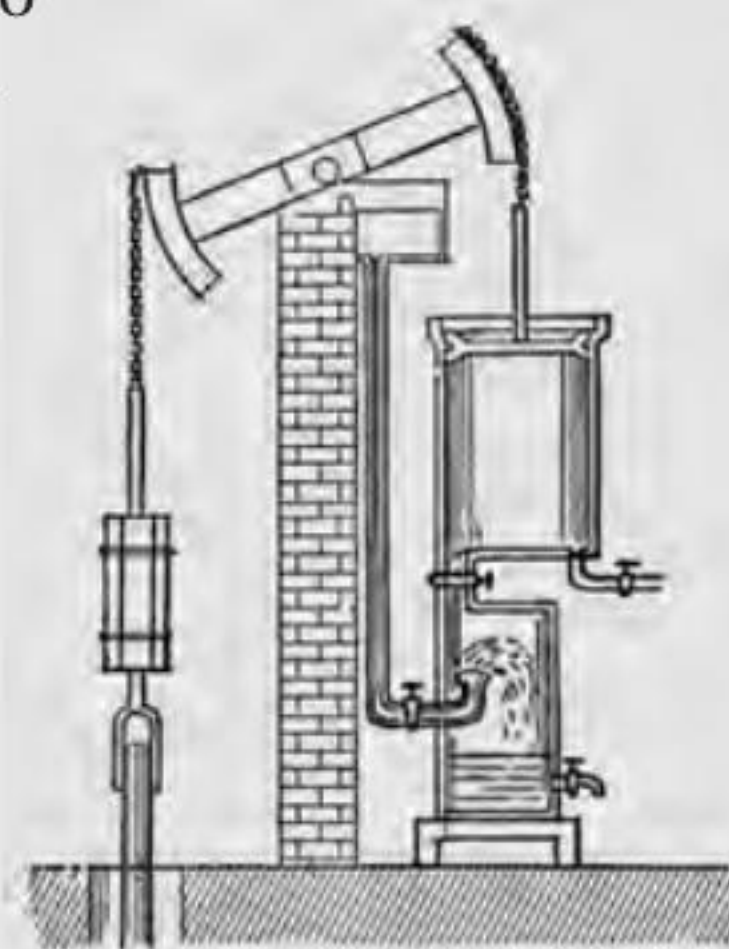
**Rozwiązanie:**  $P = \frac{W}{t} \quad P = \frac{500\text{ J}}{20\text{ s}} = 25\text{ W}$

**Odp.** Silnik pracował z mocą 25 W.

**ĆWICZENIE 1.** Taśmociąg wykonał pracę 24 kJ w czasie 4 minut. Oblicz moc, z jaką pracował. Zwróć uwagę na jednostki.

#### Dowiedz się więcej o maszynie parowej Jamesa Watta

James Watt nie wymyślił maszyny parowej, jednak znacząco ją ulepszył. Twórcą pierwszego silnika parowego opatentowanego w 1705 roku był Thomas Newcomen (czyt. tomas niukamen). Gdy w 1763 roku James Watt naprawiał silnik Newcomena, zauważył, że w urządzeniu bardzo dużo energii cieplnej nie jest zamieniane na pracę. Rozpoczął zwięzione sukcesem prace nad ulepszaniem konstrukcji. Mimo początkowego braku zainteresowania, wkrótce wiadomość o nowych, wydajnych i ekonomicznych silnikach parowych Watta się rozniosła. Zaczęto wykorzystywać je w kopalniach, fabrykach, statkach i pociągach. Rozpoczęła się rewolucja przemysłowa.



Silnik parowy Jamesa Watta.





## Czy 1 wat to dużo?

Jeśli podniesiesz tabliczkę czekolady o masie 0,1 kg na wysokość 1 m, wykonasz pracę równą wzrostowi energii potencjalnej grawitacji tabliczki czekolady (zakładamy, że na początku i na końcu spoczywa):

$$W = \text{wzrost } E_p = m \cdot g \cdot h \quad W = 0,1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$

Jeśli zrobisz to w czasie 1 s, to moc, z jaką podnosisz czekoladę, będzie równa:

$$P = \frac{W}{t} \quad P = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ W}$$

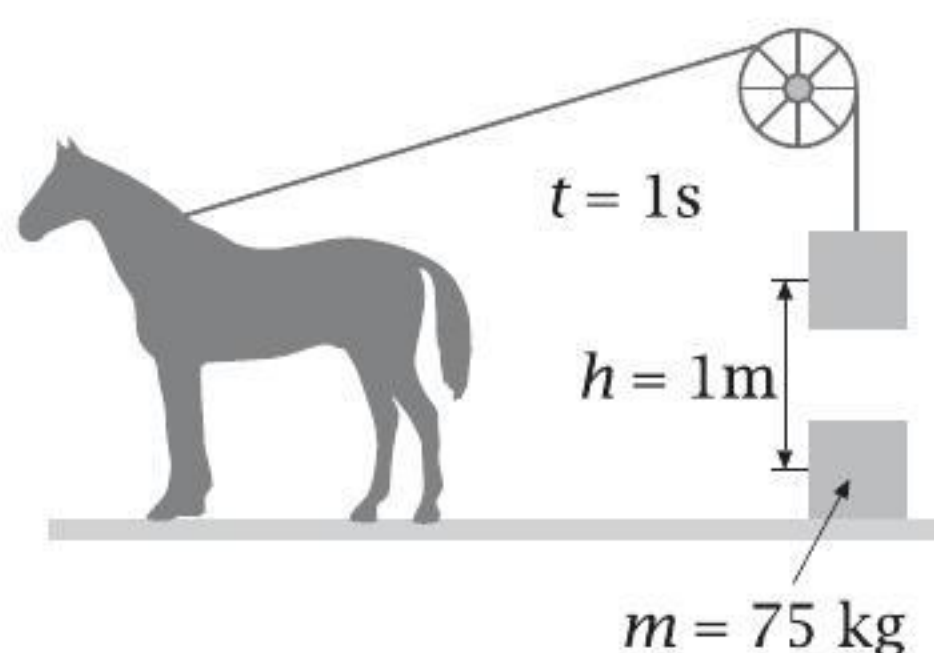
Dorosły, sprawny człowiek może przez godzinę wykonywać intensywną pracę, np. podnosząc przedmioty, z mocą około 150 W. Sportowcy są w stanie wykonywać przez godzinę pracę z mocą 400 W, choć na krótko potrafią osiągnąć moc znacznie większą. Na przykład Usain Bolt w sprincie osiągnął moc około 2,5 kW.

## Koń mechaniczny

### Warto wiedzieć

Podczas rewolucji przemysłowej w XVIII w. pojawiła się potrzeba określania mocy silników parowych. Ówcześni klienci byli zaznajomieni głównie z wydajnością koni, więc ustalono jednostkę mocy o nazwie koń mechaniczny.

Wat to najczęściej stosowana jednostka mocy. Jednak do określania mocy silników w pojazdach używa się innej jednostki, spoza układu SI, **konia mechanicznego (KM)**.



Koń mechaniczny jest równy mocy, jaka jest potrzebna, by wciągnąć 75 kg na wysokość 1 m w czasie 1 s. Z taką mocą zdrowy koń może pracować przez kilka godzin.

Wyrażmy moc konia mechanicznego (KM) w watach (W), używając dokładniejszej wartości przyspieszenia ziemskiego:

$$1 \text{ KM} = \frac{75 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 735 \text{ W}$$

## Znane moc i czas, szukana praca

W przypadku wielu urządzeń, takich jak silniki, grzałki, lampy, pralki, podawana jest moc, z którą pracują. Znając moc urządzenia i czas jego działania, możemy obliczyć pracę, jaką ono wykona lub ilość energii elektrycznej, jaką zużyje, korzystając ze wzoru:  $W = P \cdot t$ .

### **i** Dla dociekliwych

$$P = \frac{W}{t} \quad | \cdot t$$

$$P \cdot t = W$$

$$W = P \cdot t$$



**PRZYKŁAD 2.**

Silnik dźwigu podnosi płytę z mocą 10 kW. Ile pracy wykona silnik dźwigu w czasie 5 s?

**Dane:**

$P = 10 \text{ kW} = 10\,000 \text{ W}$  — moc silnika

$t = 5 \text{ s}$  — czas pracy

**Szukane:**

$W = ?$  — wykonana praca

**Rozwiązanie:**  $W = P \cdot t$

$$W = 10\,000 \text{ W} \cdot 5 \text{ s} = 50\,000 \text{ J} = 50 \text{ kJ}$$

**Odp.** W czasie 5 s silnik dźwigu wykona pracę równą 50 kJ.

**ĆWICZENIE 2.** Kolarz pracuje z mocą 300 W. Ile pracy wykona w czasie 10 minut?

## Czas na zadania!

### Zadanie 1. Porównanie mocy

W której z przedstawionych sytuacji moc jest największa? Wykonaj odpowiednie obliczenia.

- ① Zawodnik podnoszący ciężary wykonał pracę 2200 J w czasie 1 s.
- ② Ciągnik wykonał pracę 3000 kJ w czasie 1 min.
- ③ Lokomotywa wykonała pracę 1 MJ w czasie 0,25 s.
- ④ Wielbłąd wykonał pracę 0,9 MJ w czasie 30 min.

### Zadanie 2. Pudło

Robotnik w czasie 5 s przepchnął po podłodze pudło o 10 m. Robotnik działał na pudło siłą o wartości 150 N, zwróconą zgodnie z ruchem pudła.

- a) Oblicz moc, z jaką robotnik przesuwał pudło.
- b) Oblicz moc, z jaką organizm robotnika zużywał energię chemiczną, skoro na pchanie pudła zużywał tylko 25% tej energii.

### Zadanie 3. Wóz

Koń ciągnął wóz siłą o wartości 600 N, zwróconą zgodnie z ruchem wozu. W czasie godziny wóz przebył 4,2 km. Oblicz moc, z jaką koń ciągnął wóz.

### Zadanie 4. Silnik i koń mechaniczny

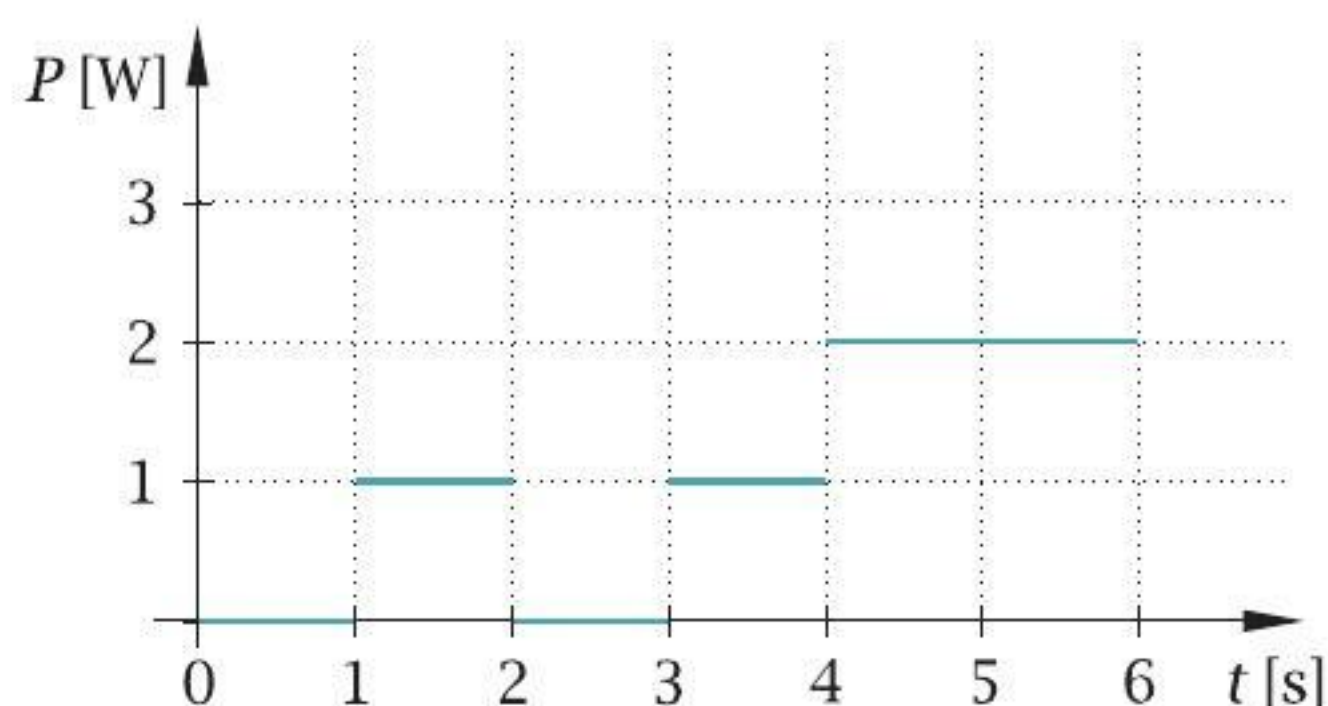
Oblicz pracę, jaką wykona silnik samochodu osobowego, który pracuje z mocą 60 KM przez 10 s. Wynik wyraż w kJ.

### Zadanie 5. Silniczek

Na wykresie przedstawiono zależność mocy, z jaką pracował silniczek, od czasu.

a) Oblicz pracę, jaką wykonał silniczek.

- 🕒 b) Polu jakiej figury na wykresie odpowiada praca wykonana od chwili 4 s do chwili 6 s?





### Zadanie 6. Świecenie

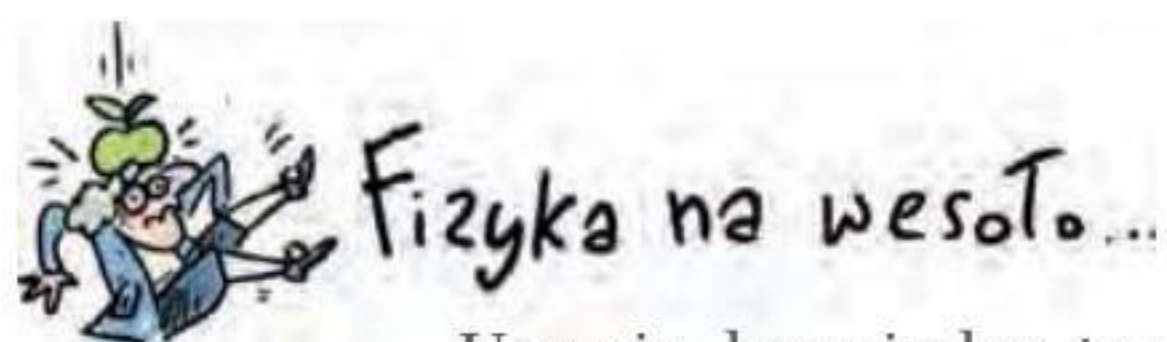
Żarówka „o mocy 60 W” pobiera energię elektryczną z mocą 60 W. Tylko około 5% tej energii jest zamieniane na energię światła. Lampa LED (z ang. *light-emitting diode*, czyt. lajt emitting dajod — dioda emitująca światło), która dostarcza światło z taką samą mocą, pobiera energię elektryczną z mocą 10 W.



- a) Oblicz, o ile energii więcej od lampy LED zużywa żarówka, jeśli obie pobierają energię elektryczną przez godzinę z wyżej wskazanymi mocami.
- b) Jaki procent energii elektrycznej jest zamieniane na energię światła w opisanej lampie LED?



- Dlaczego pieszy przeważnie startuje z większym przyspieszeniem niż rowerzysta?
- Ile mocy człowiek zużywa, gdy schodzi schodami?
- W jaki sposób mierzy się moc świecenia lampy?
- Jak powiązać moc z prędkością lub przyspieszeniem samochodu?



— Ucz się, bo wiedza to moc! — zachęca ojciec syna.  
— A więc wiedza się nie opłaca... — odpowiada syn.  
— Co ty pleciesz?  
— Wiedza to moc, czyli praca podzielona przez czas. Czas to pieniądz, więc wiedza to praca podzielona przez pieniądz. Z tego wynika, że im więcej chcesz mieć pieniędzy, tym mniej musisz mieć wiedzy.

### Zadanie 7. Wbieganie po schodach

Sportowiec o masie 80 kg wbiega po schodach, pokonując różnicę wysokości 1 m w czasie 1 s.

- a) Oblicz moc, z jaką sportowiec zwiększa swoją energię potencjalną grawitacji.
- b) Oblicz moc, z jaką organizm sportowca zużywa energię chemiczną, skoro na zwiększanie swojej energii potencjalnej grawitacji zużywał 32% wyzwolanej energii chemicznej.

**i** Skorzystaj ze wzoru  $P = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$ .

### Zadanie 8. Podskok

Zawodniczka o masie 70 kg podskoczyła bez rozbiegu na wysokość 1 m. Podczas wyskoku jej stopy odpychały się od podłoża przez 0,5 s. Oblicz moc, z jaką zawodniczka odpychała się od podłoża.

### Zadanie 9. Dźwig

Silnik dźwigu podnosi pionowo, jednostajnie płytę o masie 500 kg z mocą 10 kW. Oblicz, o ile zwiększy się wysokość płyty nad ziemią w czasie 1 s.

**i** Wyznacz  $h$  z równania  $P = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$ .



# 36 Moc, czas i prędkość



Na zdjęciu pokazano turbinę Archimede-  
desa zainstalowaną w elektrowni wodnej  
Goryń na rzece Radomka. Ile wody musi  
przepłynąć przez turbinę przy różnicy  
poziomów 2 m, by obracać turbinę  
z mocą 80 kW?

## Co daje duża moc?

Moc to szybkość wykonywania pracy. Samochody, które mają silniki o dużej mocy, mogą szybko przyspieszać, czyli zwiększać swoją energię kinetyczną. Jeśli znamy moc urządzenia i wiemy, ile pracy ma wykonać lub ile energii przekazać, możemy obliczyć potrzebny na to czas:

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

Z im większą mocą  $P$  pracuje urządzenie, tym krótszy czas jest potrzebny na wykonanie pracy lub przekazanie energii.

## Cel lekcji 8

Wykorzystasz pojęcie mocy do opisu zjawisk i rozwiązywania problemów.

### i Dla dociekliwych

$$\begin{aligned} P &= \frac{W}{t} & | \cdot t \\ P \cdot t &= W & | : P \\ t &= \frac{W}{P} \\ \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ W}} &= \frac{1 \text{ J}}{\frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}} = 1 \text{ s} \end{aligned}$$

### PRZYKŁAD 1.

Silnik pracował z mocą 50 kW. Wykonał pracę 1 MJ. Oblicz czas jego pracy.

**Dane:**  $P = 50 \text{ kW} = 50\,000 \text{ W}$  — moc silnika  
 $W = 1 \text{ MJ} = 1\,000\,000 \text{ J}$  — wykonana praca

**Szukane:**  
 $t = ?$  — czas pracy silnika

**Rozwiązanie:**  $t = \frac{W}{P} \quad t = \frac{1\,000\,000 \text{ J}}{50\,000 \text{ W}} = 20 \frac{\text{J}}{\text{W}} = 20 \text{ s}$

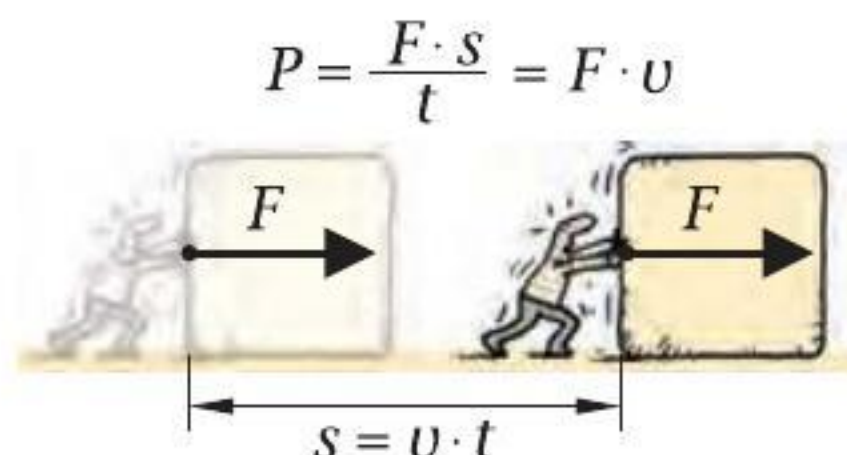
**Odp.** Silnik pracował 20 sekund.

**ĆWICZENIE 1.** Ciągnik pracował z mocą 70 kW i wykonał pracę 4,2 MJ. Oblicz czas pracy ciągnika. Wynik wyraż w minutach.



## Siła, prędkość i moc

Jeśli, pchając pudło siłą o wartości  $F$ , powodujesz, że porusza się ono ze stałą prędkością  $v$  w tę samą stronę, w którą działa siła  $F$ , to w czasie  $t$  pudło pokona drogę  $s = v \cdot t$ , a siła  $F$  wykona pracę  $W = F \cdot s = F \cdot v \cdot t$ . Praca ta jest wykonywana z mocą  $P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{F \cdot v \cdot t}{t} = F \cdot v$ . Zatem do ustalenia mocy wystarczy wartość siły oraz prędkość.



moc  $\rightarrow P = F \cdot v$  siła prędkość

### PRZYKŁAD 2.

Samochód ciągnie przyczepę po poziomej szosie siłą o wartości 400 N, zwróconą zgodnie z ruchem przyczepy. Przyczepa porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym z prędkością  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

- a) Jaka jest wartość oporów ruchu działających na przyczepę?
- b) Oblicz wykonywaną w czasie 1 s pracę siły, którą samochód działa na przyczepę.
- c) Oblicz moc, z jaką samochód ciągnie przyczepę.

**Dane:**  $F = 400 \text{ N}$  — siła  
 $v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — prędkość  
 $t = 1 \text{ s}$  — czas

- a) **Szukane:**  $F_o = ?$  — wartość oporów ruchu

**Odp.** Siły się równoważą, więc  $F_o = F = 400 \text{ N}$  (I zasada dynamiki).

- b) **Szukane:**  $W = ?$  — praca wykonana w czasie 1 s

**Rozwiązanie:**  $W = F \cdot s = F \cdot v \cdot t$      $W = 400 \text{ N} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1 \text{ s} = 8000 \text{ J} = 8 \text{ kJ}$

**Odp.** Siła wykonała pracę 8 kJ.

- c) **Szukane:**  $P = ?$  — moc

I sposób:  $P = \frac{W}{t}$

$$P = \frac{8000 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 8000 \text{ W} = 8 \text{ kW}$$

II sposób:  $P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{F \cdot v \cdot t}{t} = F \cdot v$

$$P = 400 \text{ N} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 8000 \text{ W} = 8 \text{ kW}$$

**Odp.** Samochód ciągnie przyczepę z mocą 8 kW.

**ĆWICZENIE 2.** Koń ciągnie wóz po poziomej szosie siłą o wartości 300 N, zwróconą zgodnie z ruchem wozu. Wóz porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym z prędkością  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

- a) Jaka jest wartość oporów ruchu działających na wóz?
- b) Oblicz wykonywaną w czasie 10 s pracę siły, którą koń działa na wóz.
- c) Oblicz moc, z jaką koń ciągnie wóz.



### Zadanie 1. Czas i moc

Oblicz czas potrzebny na wykonanie pracy 1000 J z mocami 50 W i 2000 W.

### Zadanie 2. Ile razy krócej?

Taśmociąg o mocy  $P$  wykonuje pracę  $W$  w czasie 10 minut. Oblicz czas potrzebny na wykonanie tej samej pracy taśmociągiem o mocy  $5P$ .

### Zadanie 3. Czajnik

Aby woda się zagotowała, czajnik elektryczny musi przekazać 360 kJ energii litrowi wody. Oblicz czas potrzebny na zagotowanie wody, jeśli czajnik przekazuje wodzie energię z mocą 2 kW. Wynik wyraż w minutach.

### Zadanie 4. Zalana kopalnia

Inżynier chce wypompować  $100 \text{ m}^3$  wody z zalanej kopalni. Woda musi zostać podniesiona o 20 m w pionie. Oblicz czas tej operacji, jeśli do dyspozycji jest pompa wykonująca tę pracę z mocą 50 kW.

### Zadanie 5. Samochód

Początkowo nieruchomy samochód o masie 1 t, zaczyna poruszać się z coraz większą prędkością po poziomej szosie. Silnik samochodu pracuje z mocą 50 kW. Przyjmij, że z taką mocą silnik zwiększa energię kinetyczną samochodu. Oblicz czas od startu do osiągnięcia przez samochód prędkości  $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (czyli  $108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ).

### Zadanie 6. Rowerzysta

Rowerzysta jedzie wzdłuż linii prostej, po poziomej szosie, ze stałą prędkością  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Szosa działa na niego poziomą siłą napędzającą o wartości 40 N, zwróconą zgodnie z jego ruchem.

- Jaka jest wartość oporów ruchu działających na rowerzystę?
- Oblicz moc, z jaką rowerzysta kręci pedałami. Pomiń straty energii w układzie napędowym.

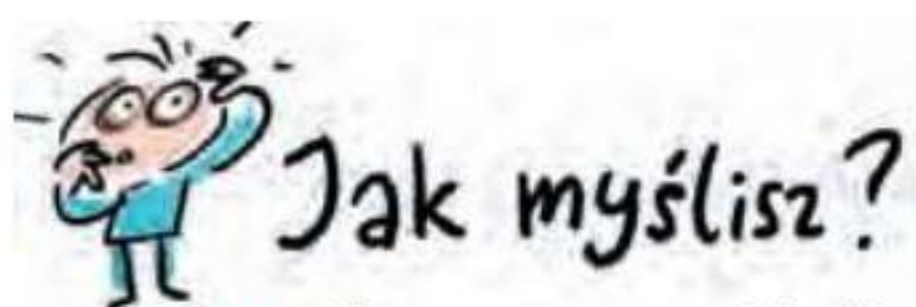
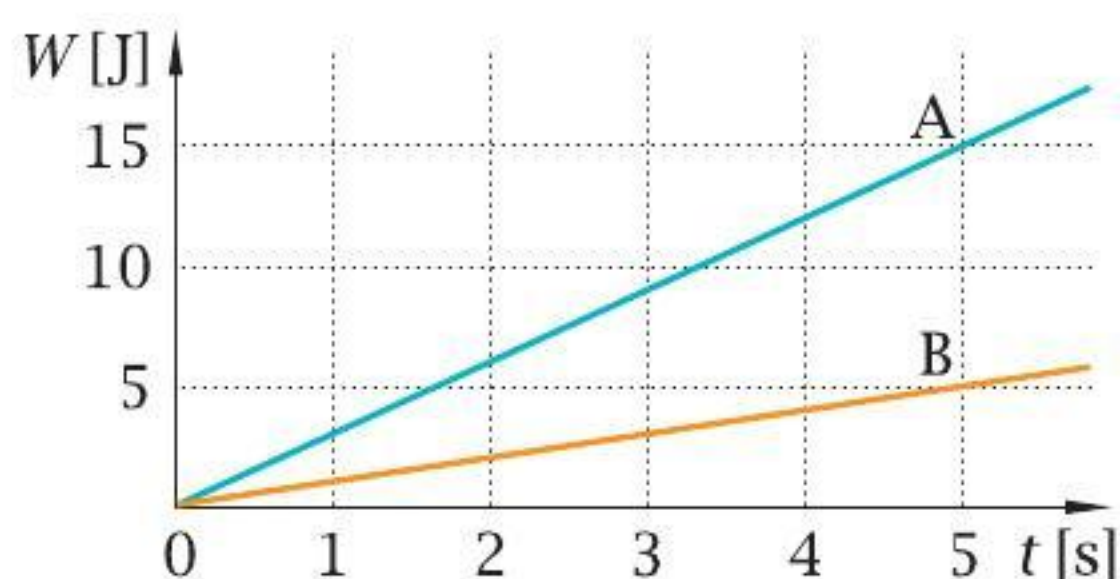
### Zadanie 7. Drezyna

Drezyna jedzie po prostych, poziomych szynach ze stałą prędkością  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Układ napędowy drezyny pracuje z mocą 400 W. Oblicz wartość oporów ruchu działających na drezynę.

### Zadanie 8. Dwa małe silniki

Wykres przedstawia zależności pracy  $W$ , wykonywanej przez silniki A i B, od czasu  $t$ .

- Oblicz moc każdego silnika.
- Jak nachylenie wykresu jest powiązane z mocą urządzenia?



- Jaka jest moc Słońca, a jaka silników rakiet kosmicznych?
- W jaki sposób prąd elektryczny przekazuje energię?
- Czy można samemu zmierzyć moc czajnika elektrycznego?
- Dlaczego trzeba ogrzewać wodę, by się zagotowała?



## CZĘŚĆ 1. Zestawienie wiadomości

### Praca mechaniczna

jest wykonywana, gdy na ciało działa siła, powodując jego odkształcenie lub przemieszczenie w kierunku innym niż prostopadły do działającej siły.

Gdy siła działa w tę samą stronę, w którą przemieszcza się ciało, to pracę obliczamy ze wzoru:  $W = F \cdot s$ , gdzie  $F$  – wartość siły,  $s$  – przebyta droga. Gdy siła działa prostopadle do toru ciała, to  $W = 0$  J. Jednostką pracy i energii jest **dżul (J)**,  $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$ .

1

5

### Energia potencjalna grawitacji

ciała zależy od jego:

- położenia – jest tym większa, im wyżej nad powierzchnią Ziemi znajduje się ciało,
- masy – jest tym większa, im jest większa masa ciała.

Zmianę energii potencjalnej grawitacji wyznaczamy ze wzoru:

**zmiana  $E_p = m \cdot g \cdot h$** , gdzie  $m$  – masa ciała,  $g$  – przyspieszenie grawitacyjne,  $h$  – zmiana wysokości. Wartość energii potencjalnej grawitacji zależy od wyboru poziomu 0 J, zwanego poziomem odniesienia.

4

### Energia mechaniczna

jest równa:  $E = E_k + E_p$ , gdzie  $E_k$  – energia kinetyczna,  $E_p$  – energia potencjalna (grawitacji oraz sprężystości).

8

### Zasada zachowania energii.

W izolowanym układzie ciał suma wszystkich form energii jest stała. Energia nie powstaje z niczego, ani nie znika. Może natomiast zmieniać formę.

9

### Zasada zachowania energii mechanicznej.

Jeśli układ jest izolowany i nie występują w nim opory ruchu, to energia mechaniczna układu jest stała.



## Formy energii:

- mechaniczna:  
potencjalna grawitacji,  
potencjalna sprężystości,  
kinetyczna
- chemiczna
- wewnętrzna
- promieniowania
- jądrowa
- elektryczna

3

Jeśli ciało może wykonać pracę, to mówimy, że posiada **energię**. Gdy siła, jaką działa ciało, wykonuje pracę, to traci ono energię równą tej pracy:  $W = \text{spadek } E$ , gdzie  $W$  – praca wykonana przez ciało,  $E$  – energia ciała. Gdy siły zewnętrzne wykonują nad ciałem pracę, to ciało zyskuje energię równą tej pracy.  $W_z = \text{wzrost } E$ , gdzie  $W_z$  – praca sił zewnętrznych,  $E$  – energia.

2

## Energia potencjalna sprężystości

jest zmagazynowana w odkształconych ciałach, na przykład w ściśniętej lub rozciągniętej sprężynie, czy napiętym łuku.

6

7

## Energia kinetyczna

to energia, którą posiadają poruszające się ciała. Obliczamy ją ze wzoru:  $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$ , gdzie  $m$  – masa,  $v$  – prędkość.

11

**Moc** to szybkość wykonywania pracy lub przekazywania energii. Obliczamy ją ze wzorów:  $P = \frac{W}{t}$  lub  $P = \frac{E}{t}$ , gdzie  $t$  – czas,  $W$  – wykonana praca,  $E$  – przekazana energia. Jednostką mocy jest wat (W),  $1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$ .

10\*

## Maszyny proste

to urządzenia mechaniczne umożliwiające wykonanie danej pracy przy użyciu siły o mniejszej wartości, innym kierunku lub zwrocie. Przykłady maszyn prostych to: dźwignie, kołowrót, bloczki, prasa hydrauliczna.



## CZĘŚĆ 2. Sprawdź, czy wiesz

1. Podaj trzy przykłady sytuacji, w których jest wykonywana praca mechaniczna.
2. Wyjaśnij, od czego zależy wartość wykonanej pracy. Podaj i objaśnij odpowiedni wzór.
3. Podaj nazwę jednostki pracy.
4. Podaj przykład wykonania pracy o wartości 1 dżula.
5. Wymień znane Ci formy energii.
6. Wyjaśnij, o czym mówi zasada zachowania energii.
7. Wymień rodzaje energii mechanicznej.
8. Podaj po dwa przykłady ciał, które posiadają:
  - energię kinetyczną,
  - energię potencjalną sprężystości,
  - energię potencjalną grawitacji.
9. Wyjaśnij, od czego zależy wartość energii kinetycznej ciała.
10. Podaj i objaśnij wzór pozwalający obliczyć zmianę energii potencjalnej grawitacji.
11. Podaj i objaśnij wzór pozwalający obliczyć energię kinetyczną.
12. Wyjaśnij, o czym mówi zasada zachowania energii mechanicznej.
13. Przedstaw przemiany energii zachodzące podczas ruchu upuszczonego ciała (podczas spadku swobodnego).
- \* 14. Jakie przemiany energii zachodzą podczas zjazdu sanek ze stoku? Uwzględnij siły tarcia.
15. Omów przemiany energii zachodzące podczas odbicia piłki od podłogi.
16. Przedstaw związek między zmianą energii mechanicznej ciała a pracą sił zewnętrznych.
17. Podaj definicję mocy.
18. Wyjaśnij, co to znaczy, że moc urządzenia jest równa 1 wat.

## CZĘŚĆ 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka

**Zadanie 1.** Aby utrzymać plecak, turysta cały czas działa na niego siłą o wartości 120 N, zwróconą pionowo w górę. W której sytuacji ta siła wykonuje pracę?

- A. Turysta wędruje szlakiem biegnącym poziomo.
- B. Turysta zatrzymał się, aby zrobić zdjęcie.
- C. Turysta wspina się w górę.
- D. Turysta stoi w pociągu jadącym po poziomym torze.

**Zadanie 2.** Jednostką energii jest:

- |         |                    |
|---------|--------------------|
| A. dżul | C. koń mechaniczny |
| B. wat  | D. niuton          |

**Zadanie 3.** Hasto przesunął biurko o 2,5 m, działając na nie siłą o wartości 120 N, zgodnie z ruchem biurka. Jaką pracę wykonała ta siła?

- |         |          |          |        |
|---------|----------|----------|--------|
| A. 3 kJ | B. 150 J | C. 300 J | D. 0 J |
|---------|----------|----------|--------|

\* Gwiazdką oznaczono polecenia i treści spoza podstawy programowej.



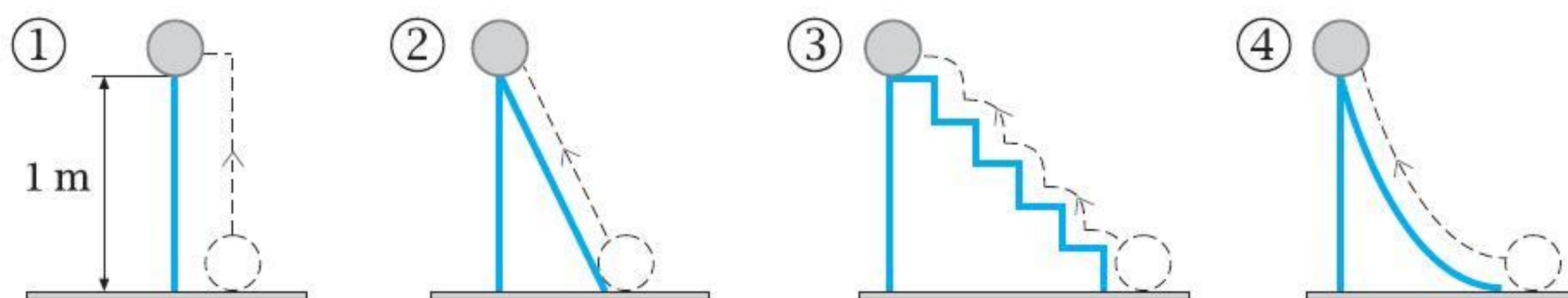
**Zadanie 4.** Uczeń szedł po poziomym odcinku chodnika i niósł plecak o masie 6 kg. Jaka pracę wykonała pionowa, zwrócona w górę siła, którą oddziaływał on na plecak, jeśli przebyta odległość wynosiła 350 m?

- A. 0 J      B. 2,1 kJ      C. 21 kJ      D. 21 J

**Zadanie 5.** Dopasuj rodzaje energii do opisanych sytuacji (możliwe są powtórzenia).

- |                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| A. Spalanie węgla.           | I. Energia potencjalna grawitacji    |
| B. Tocząca się piłka.        | II. Energia potencjalna sprężystości |
| C. Obraz wiszący na ścianie. | III. Energia kinetyczna              |
| D. Rozciągnięta sprężyna.    | IV. Energia wewnętrzna               |
| E. Świecąca żarówka.         | V. Energia chemiczna                 |
| F. Rozgrzane żelazko.        | VI. Energia promieniowania           |

**Zadanie 6.** Piłkę podnoszono ruchem jednostajnym na wysokość 1 m po czterech różnych torach.



Wskaż właściwe dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.

*Zmiana energii potencjalnej grawitacji piłki była...*

|    |                              |          |    |                                          |
|----|------------------------------|----------|----|------------------------------------------|
| A. | największa w sytuacji ①,     | ponieważ | 1. | piłkę podniesiono na taką samą wysokość. |
| B. | największa w sytuacji ③,     |          | 2. | piłka przebyła wtedy najdłuższą drogę.   |
| C. | w każdej sytuacji taka sama, |          | 3. | piłka przebyła wtedy najkrótszą drogę.   |

**Zadanie 7.** Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

- a) Rowerzysta jedzie pod górkę ze stałą prędkością. Energia potencjalna grawitacji rowerzysty **rośnie/maleje/nie zmienia się**, a jego energia kinetyczna **maleje/rośnie/nie zmienia się**.
- b) Samochód przyśpiesza na poziomym odcinku autostrady. Energia potencjalna grawitacji samochodu **rośnie/maleje/nie zmienia się**, a jego energia kinetyczna **maleje/rośnie/nie zmienia się**.
- c) Szyszka spada z drzewa z coraz większą prędkością. Energia kinetyczna szyszki **rośnie/maleje/nie zmienia się**, a jej energia potencjalna grawitacji **maleje/rośnie/nie zmienia się**.
- d) Stacja kosmiczna okrąża Ziemię ze stałą prędkością, na stałej wysokości nad Ziemią. Energia potencjalna grawitacji stacji **maleje/rośnie/nie zmienia się**. Energia kinetyczna stacji **rośnie/maleje/nie zmienia się**.



**Zadanie 8.** Uzupełnij zdania.

Energia kinetyczna pojazdu o masie 2000 kg jadącego z prędkością  $10 \frac{m}{s}$  wynosi ...

Energia kinetyczna tego samego pojazdu jadącego z prędkością  $20 \frac{m}{s}$  wyniesie ...

Jeśli prędkość ciała będzie dwa razy większa, to jego energia kinetyczna będzie ... razy większa.

**Zadanie 9.** Uzupełnij zdanie.

Energia mechaniczna układu nie zmienia się wtedy, gdy układ jest ... i nie występują w nim ...

**Zadanie 10.** Jednostką mocy jest:

- A. dżul      B. wat      C. niuton      D. paskal

**Zadanie 11.** Weritka weszła po schodach na trzecie piętro w czasie 1 minuty. Jej masa wynosi 48 kg, a pokonana wysokość to 10 m. Moc, z jaką Weritka zwiększała swoją energię potencjalną grawitacji, była równa:

- A. 480 W      B. 288 W      C. 80 W      D. 0 W

**Zadanie 12.** Moc czajnika elektrycznego wynosi 2 kW. Ile energii pobiera ten czajnik w czasie 1 minuty?

- A. 2 J      B. 120 J      C. 2 kJ      D. 120 kJ

### CZĘŚĆ 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening

**Zadanie 1.** Dźwig budowlany podniósł na pewną wysokość 100 cegieł o masie 3,8 kg każda. Podczas podnoszenia siła, jaką dźwig działał na cegły, wykonała pracę 57 kJ. Wiedząc, że ruch cegieł był jednostajny, oblicz:

- a) wartość siły, jaką dźwig działał na cegły,  
b) wysokość, na jaką zostały podniesione cegły.

**Zadanie 2.** Dopasuj przemiany energii do przedstawionych sytuacji.

- |                                                                           |                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| A. Podgrzewanie wody w czajniku elektrycznym.                             | I. Energia jądrowa zamienia się w energię promieniowania.               |
| B. Rozpędzanie motocykla podczas wyścigu żużlowego.                       | II. Energia potencjalna sprężystości zamienia się w energię kinetyczną. |
| C. Świecenie gwiazd.                                                      | III. Energia elektryczna zamienia się w energię wewnętrzną.             |
| D. Strzelanie z łuku.                                                     | IV. Energia promieniowania zamienia się w energię elektryczną.          |
| E. Zasilanie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) za pomocą fotoogniw. | V. Energia kinetyczna zamienia się w energię wewnętrzną.                |
| F. Rozpalanie ogniska poprzez pocieranie dwóch kawałków drewna.           | VI. Energia chemiczna zamienia się w energię kinetyczną.                |



**Zadanie 3.** Uszereguj podane ciała w kolejności od najmniejszej do największej energii potencjalnej grawitacji względem wskazanego poziomu.

- A. Jabłko o masie 18 dag wiszące na gałęzi na wysokości 1,5 m nad ziemią.
- B. Owoc czereśni o masie 9 g wiszący na gałęzi na wysokości 15 m nad ziemią.
- C. Szklanka z wodą o masie 25 dag stojąca na stole na wysokości 80 cm nad podłogą.
- D. Telefon o masie 0,15 kg leżący na półce na wysokości 140 cm nad podłogą.

**Zadanie 4.** Dźwig podnosi płytę budowlaną o masie 1 t z wysokości 15 m na wysokość 20 m nad ziemią. Płyta porusza się ruchem jednostajnym. Oblicz:

- a) wartość siły, jaką dźwig działa na płytę,
- b) pracę wykonaną przez tę siłę,
- c) zmianę energii potencjalnej grawitacji płyty oraz określ, czy ta energia wzrosła, czy zmalała.

**Zadanie 5.** Oblicz masę porcji wody, której energia potencjalna grawitacji zmniejsza się o 120 MJ, gdy ta porcja spada z wysokości 8 m.

**Zadanie 6.** Samochód osobowy o masie 2000 kg i samochód ciężarowy o masie 32 000 kg poruszają się z taką samą prędkością równą  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

- a) Oblicz, ile razy energia kinetyczna samochodu ciężarowego jest większa od energii kinetycznej samochodu osobowego.
- b) Z jaką prędkością musiałby się poruszać samochód osobowy, aby jego energia kinetyczna była taka sama jak energia kinetyczna samochodu ciężarowego? Co sądzisz o otrzymanym wyniku?

**Zadanie 7.** Samochód o masie 1800 kg rozpędził się od prędkości  $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  do prędkości  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Oblicz pracę, jaką wykonała podczas rozpędzania wypadkowa siła działająca na samochód.

**Zadanie 8.** Hasto wchodził po schodach na wysokość 2 m, niosąc torbę z zakupami. Masa torby wynosiła 6 kg, a Hasto poruszał się ze stałą prędkością. Uzupełnij zdania.

*Praca wykonana przez pionową, zwróconą w górę siłę, którą Hasto działał na torbę, wynosiła ...*

*Energia potencjalna grawitacji torby wzrosła o ...*

*Siła wypadkowa działająca na torbę wynosiła ...*

*Zmiana energii kinetycznej torby wynosiła ...*

**Zadanie 9.** Z wysokości 10 m nad ziemią upuszczono kamień o masie 1 kg. Przyjmij, że kamień spada swobodnie i podaj właściwe uzupełnienia poniższych zdań.

*W chwili upuszczenia energia potencjalna grawitacji kamienia względem ziemi wynosiła ..., a energia kinetyczna ...*

*Na wysokości 8 m nad ziemią energia potencjalna kamienia wynosiła ..., a energia kinetyczna ...*

*W połowie wysokości suma energii potencjalnej i kinetycznej wynosiła ...*

*Tuż nad ziemią energia kinetyczna miała wartość ..., a energia potencjalna ...*

*W każdym momencie spadku swobodnego energia mechaniczna kamienia wynosiła ...*



**Zadanie 10.** Piłkę o masie 0,4 kg upuszczono z wysokości 2 m nad podłogą. Po odbiciu piłka wzniosła się na wysokość 1,4 m. Wykonaj obliczenia i uzupełnij poniższe zdania. Przyjmij, że piłka traci energię mechaniczną wyłącznie podczas odbicia.

*Przed upuszczeniem energia potencjalna grawitacji piłki względem podłogi miała wartość ...*

*Tuż przed zetknięciem z podłogą energia kinetyczna piłki wynosiła ...*

*Energia kinetyczna piłki zaraz po odbiciu miała wartość ...*

*Podczas odbicia piłka straciła ... energii mechanicznej, czyli ... % energii początkowej.*

*Podczas odbicia energia wewnętrzna piłki i podłogi wzrosła o ...*

**Zadanie 11.** Piłkę rzucono pionowo w górę z prędkością początkową  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Oblicz, na jaką maksymalną wysokość może wznieść się piłka względem poziomu, z którego ją wyrzucono.

**Zadanie 12.** Silnik elektryczny o mocy 700 W wykonał pracę 147 kJ. Oblicz, ile minut pracował ten silnik.

**Zadanie 13.** Silnik samochodu, jadącego ze stałą prędkością po poziomej szosie, pracował z mocą 10 KM. Oblicz wartość siły oporów działającej na samochód, jeśli wiadomo, że w czasie 5 minut samochód przebył drogę 6 km. Wynik zaokrąglaj do trzech cyfr znaczących. Pomiń straty energii w układzie napędowym.





# Drugi Festiwal Fizyki

Podsumujemy eksperymentalnie drugi semestr poznawania praw fizyki. Drugi Festiwal Fizyki jest poświęcony zasadom dynamiki oraz energii. Tak jak w wypadku poprzedniego festiwalu – zaplanujcie i przygotujcie doświadczenia, a potem je zaprezentujcie. Stajecie się coraz bardziej doświadczonymi eksperymentatorami, więc możecie zaprosić na pokazy dodatkowych gości, poza koleżankami i kolegami z klasy.

## Doświadczenia:

1. Cztery kartki – różne masy
2. Odrzutowa kolejka linowa
3. Góra lub dół
4. Bezpieczny nos
5. Wirek
6. Napędzanie przez odrzucanie
7. Co dwie piłki, to nie jedna
8. Turbina parowa



# 1 Cztery kartki – różne masy

## DOŚWIADCZENIE



cztery kartki A4



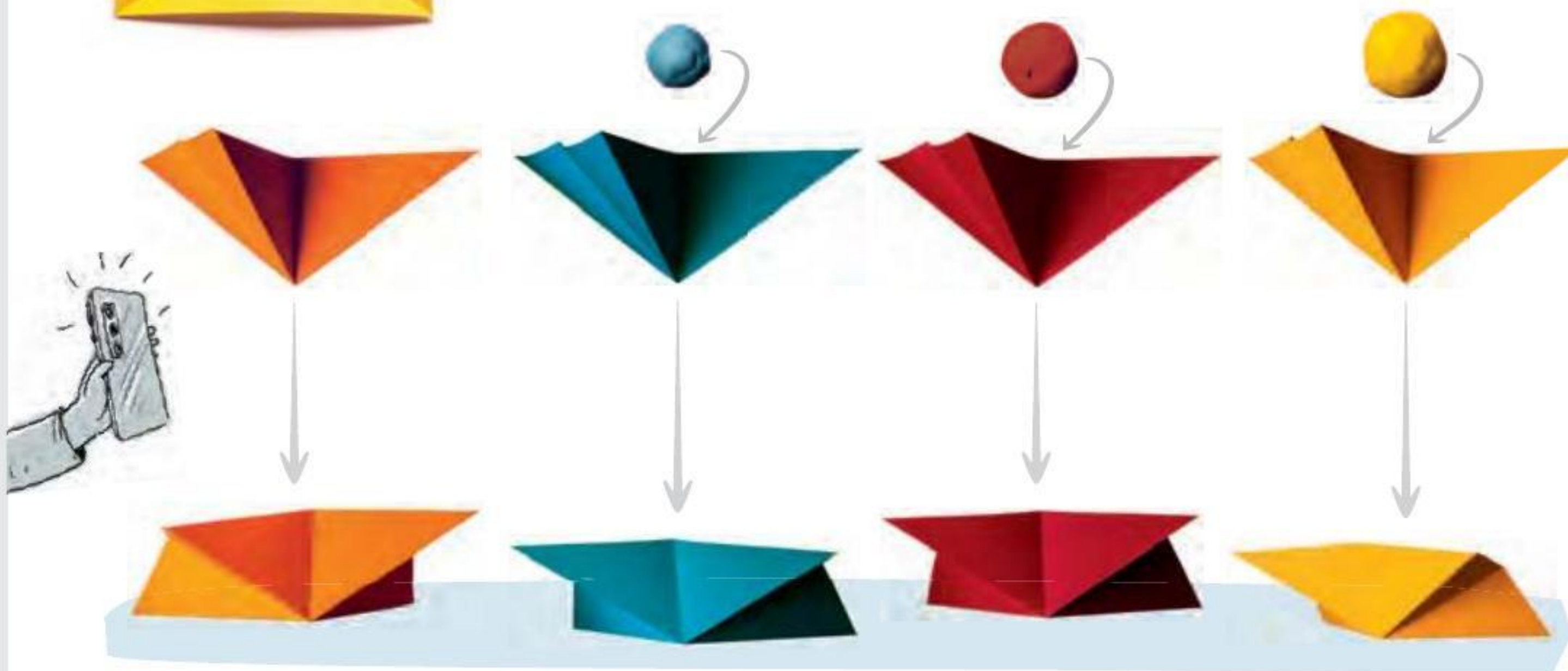
waga



plastelina



- Weźcie cztery kartki i z każdej wykonajcie lotkę.
- Jedną lotkę zostawcie pustą, a do wnętrza pozostałych włóżcie po kawałku plasteliny: 30 g plasteliny do drugiej lotki, 60 g – do trzeciej i 90 g – do czwartej. Przylepcie plastelinę do papieru równomiernie pośrodku, nad ostrym zakończeniem. Lotki z zewnątrz powinny wyglądać podobnie.



- Zaobserwujcie (możecie też nagrać film telefonem), co się dzieje, gdy upuszczacie równocześnie cztery lotki ustawione od najlżejszej do najcięższej z tej samej wysokości (1,5 m nad podłogą). Pomiedzy lotkami powinny być odstępy około 50 cm – jedna osoba może trzymać dwie lotki.

*Czy lotki jednocześnie uderzają w podłogę? Jaka jest prawidłowość? Co spowoduje zwiększenie masy plasteliny ponad zaproponowane wartości?*



## 2 Odrzutowa kolejka linowa

### DOŚWIADCZENIE



kilka balonów



słomka  
do napojów



żyłka



taśma klejąca



- Na początku nadmuchajcie balon i puście go bez zawiązywania wylotu.
- Następnie przewleczone żyłkę przez kawałek słomki do napojów.
- Nadmuchajcie drugi balon i niech jedno z was przytrzyma wylot, żeby powietrze nie uciekało z balonu, a drugie przyklei do nadmuchanego balonu taśmą kawałek słomki z przewleczoną żyłką.
- Żyłkę rozciągnijcie i napnijcie, a potem puście balon.
- Powtórzcie to doświadczenie kilka razy.

*Dlaczego puszczone swobodnie balon się porusza? Dlaczego porusza się w tak fantazyjny sposób, a nie po prostu? W jaki sposób słomka i żyłka pomagają utrzymać balon na prostej? Dlaczego balon przestaje się poruszać? W którą stronę puszczać balon, by jego droga była najdłuższa? Co zmienia nachylenie żyłki?*



#### DOŚWIADCZENIE



- Wzmocnijcie taśmą zgrzewy torebki z kaszą.
- Przymocujcie do górnego zgrzewu koniec nici bawełnianej o długości ok. 80 cm, a do dolnego – końce dwóch nici, o długości ok. 50 cm każda.
- Zawieście torebkę z kaszą na dłuższej nici na statywie. Wyznaczcie osobę, która będzie utrzymywać statyw w pionie w czasie przeprowadzania doświadczenia.
- Rozerwijcie dodatkowy kawałek nici w rękach przed publicznością, aby pokazać, jak łatwo można go przerwać.
- Niech jedno z was złapie którąś z krótszych nici i gwałtownie pociągnie w dół. Nici powinna się zerwać, a torebka z kaszą nadal wisieć. (Jeśli jest inaczej, użyjcie słabszej nici).
- Niech teraz inna osoba złapie drugą krótszą nici i bardzo powoli ciągnie w dół, aż torebka z kaszą spadnie. Dolna nici powinna pozostać cała, a górna się zerwać. (Jeśli jest inaczej, użyjcie słabszej nici).

*Czego można użyć zamiast torebki z kaszą? Jak najlepiej zawiązać nitki?  
Jak zabezpieczyć się przed spadaniem torebki na dłoń, gdy zrywa się górna nici?*



### DOŚWIADCZENIE



plastikowa  
butelka z wodą



gwóźdź



około 2,5 m  
sznurka



- W szyjce zamkniętej butelki zróbcie dwa otwory. Przewleczone przez nie jeden koniec sznurka. Zawiążcie go tak, by butelka mogła na nim wisieć.
- Zamocujcie drugi koniec sznurka co najmniej 2 m nad podłogą tak, aby powstało wahadło o długości około 1,5 m.
- Niech jedno z was usiądzie tak, by butelka odchyłona o około 0,5 m od pionu znajdowała się blisko jego nosa.
- Puśćcie butelkę, ale jej nie popychajcie. Starajcie się zrobić to tak, by oś butelki była zawsze wzdłuż sznurka, a korek „nie tańczył”.
- Osoba siedząca powinna pozostać nieruchomo, nie odchyłać się. Powracająca butelka powinna zbliżyć się do jej nosa, ale go nie dotknąć.

*Jak zamocować wahadło, by traciło jak najmniej energii? O ile zmniejsza się wychylenie butelki po pełnym wachnięciu? Jak puszczać butelkę, by „nie tańczyła” na sznurku? Jak wyeliminować odruchowe odchyłanie się, gdy butelka zbliża się do nosa?*



## DOŚWIADCZENIE



- Przy górnej krawędzi otwartej puszki, po jej przeciwnych stronach zróbcie dwa otwory i przewleczenie przez nie nitkę. Zawiążcie ją tak, by puszka mogła wisieć na nitce.
- Przy dolnej krawędzi puszki zróbcie trzy otwory i uformujcie je tak, by po włożeniu w nie kawałków słomek o długości około 3 cm każdy, puszka wyglądała tak, jak na fotografiach obok. Dziury przy słomkach uszczelnijcie plasteliną.
- Wypełnijcie plasteliną wgłębienie w dnie puszki, by nie było tam powietrza, gdy puszka będzie zanurzana w wodzie.
- Zanurzcie puszkę zawieszoną na nitce delikatnie w wodzie, aby wlać jej trochę do puszki.



Uwaga. Słomki powinny być prawie styczne do puszki, wtedy puszka szybciej się obraca.



- Cały czas trzymając puszkę tylko za nitkę, kilkakrotnie zanurzajcie puszkę w wodzie, a następnie podnoście powoli, by woda wypływała przez słomki.

*Jak zmienia się zachowanie wirka, gdy wyloty słomek częściowo zablokujemy plasteliną? Kiedy wirek zanurzony w wodzie przestaje się obracać? Czy to zjawisko jest gdzieś wykorzystywane?*



## 6 Napędzanie przez odrzucanie

### DOŚWIADCZENIE



*piłka lekarska*



*deskorolka o małych  
oporach ruchu*



*materac lub koc*



- Niech jedno z was usiądzie na deskorolce i trzyma piłkę.
- Następnie niech energicznie odrzuci piłkę wzdłuż osi deskorolki tak, aby piłka wylądowała na materacu.
- Oczekiwany efekt to lekkie przemieszczenie osoby na deskorolce.

*Dlaczego warto użyć ciężkiej piłki? Dla osób o jakiej masie efekt odrzutu będzie największy?*



## 7 Co dwie piłki, to nie jedna

### DOŚWIADCZENIE



duża piłka  
(np. do siatkówki)



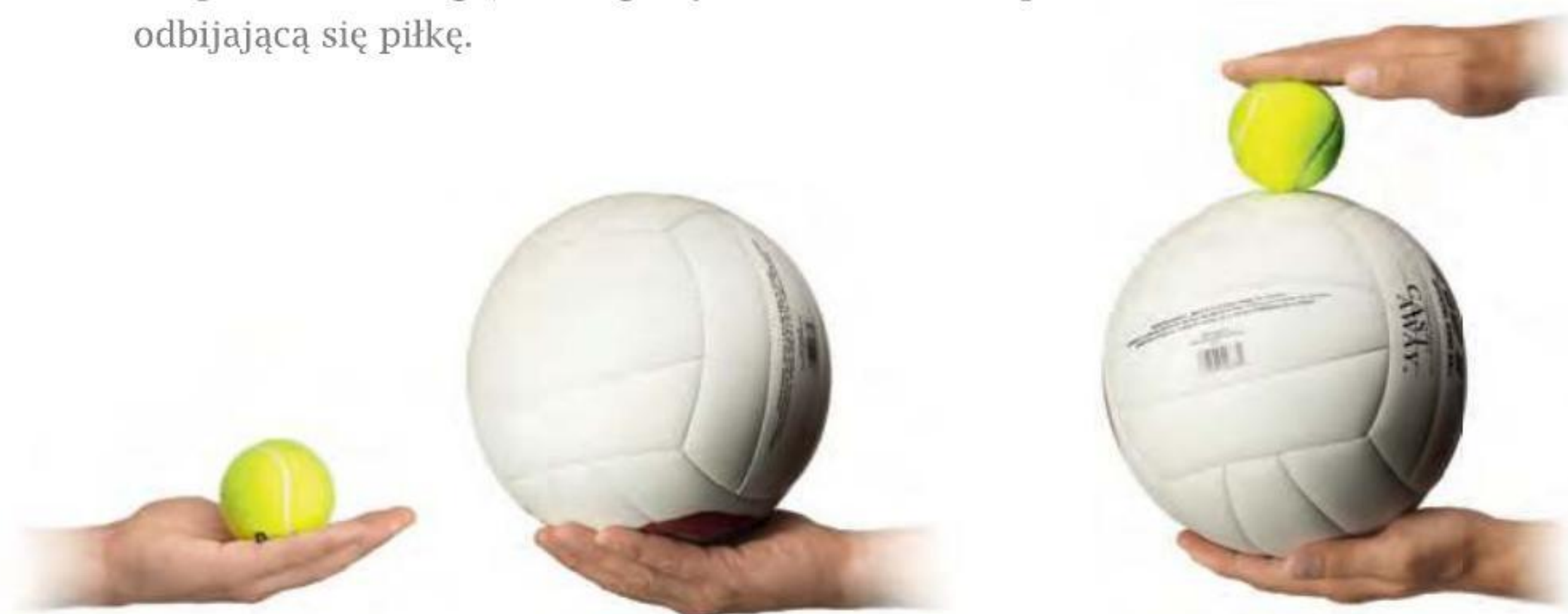
mała piłka  
(np. do tenisa ziemnego)



taśma

- Upuśćcie równocześnie, trzymane obok siebie, dużą i małą piłkę z tej samej wysokości (około 0,5 m) na twardą podłogę i obserwujcie, na jakie wysokości się wznoszą po pierwszym odbiciu.
- Na większej z tych wysokości niech dwie osoby rozciągną i trzymają poziomo taśmę.
- Z tej samej wysokości co poprzednio upuśćcie „bałwanka” ułożonego z tych samych piłek: duża piłka na dole, a mała na niej.
- Poćwiczcie upuszczanie „bałwanka”. Górna, mała piłka powinna wznosić się znacznie wyżej niż poziom zaznaczony taśmą.

Uwaga. Zadbajcie o to, by nad wami nie znajdowała się lampa ani nic innego, co mogłoby zostać stłuczone przez odbijającą się piłkę.



*Jak upuszczać „bałwanka” z piłek, by górna piłka poleciała po odbiciu pionowo do góry? Od czego odbija się mała piłka, gdy jest częścią „bałwanka”? Na jaką wysokość wzlatuje duża piłka, gdy „bałwanek” się rozpada? Dlaczego mała piłka ma po odbiciu więcej energii, gdy spada jako część „bałwanka”?*



## 8 Turbina parowa

### DOŚWIADCZENIE



Uwaga. To doświadczenie należy przeprowadzić pod opieką dorosłego.

- Nie otwierając puszek i trzymając ją nad miską, przedziurawcie pod skosem jej powierzchnię boczną na wysokości około 2 cm nad dnem. Jeśli napój jest gazowany, to może gwałtownie wylewać się przez otwór. Zróbcie łącznie 3 otwory o średnicy około 2 mm na tej samej wysokości, równomiernie rozłożone na obwodzie puszki.
- Po wylaniu napoju nalejcie do pustej miski wodę i zanurczcie puszkę tak, by napęliła się przez otwory kilkoma mililitrami wody (nie powinno być jej za dużo, bo wydłuża to znacznie eksperyment).
- Przywiążcie nitkę do zawleczki puszki i zawieście ją na statywie tak, by wisiała pionowo. Pamiętajcie by nie otwierać puszki zawleczką.
- Podgrzewajcie od dołu puszkę palnikiem gazowym. Jeśli nie macie palnika, połóżcie na talerzyku jedną na drugiej dwie kostki do rozpalania grilla i podpalcie je. Ustawcie talerzyk tak, by płomień znajdował się pod wiszącą puszką.
- Gdy woda zacznie się gotować, przez otwory będą się wydobywać strumienie skraplającej się pary wodnej, a puszka zacznie się obracać przeciwnie do ruchu tych strumieni.

*Jak zanurzyć puszkę, aby szybko napęliła się wodą przez otwory? Dlaczego wyrzucanie pary powoduje obrót puszki? Co zrobić, aby obrót puszki wynikał z odrzutu pary, a nie ze skręcenia nitki? Jak powinny być zwrócone otwory w puszcze, by kręciła się jak najszybciej?*







**Gęstości niektórych substancji**  
w temperaturze pokojowej (20°C) i przy normalnym ciśnieniu (1013 hPa)

| substancja         | gęstość [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ] | substancja      | gęstość [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ] |
|--------------------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|
| alkohol etylowy    | 790                                        | ołów            | 11 300                                     |
| aluminium (glin)   | 2700                                       | plastelina      | 2000                                       |
| benzyna            | 700–800                                    | powietrze       | 1,2                                        |
| cukier             | 1590                                       | rtęć            | 13 500                                     |
| cynk               | 7130                                       | sól kamienna    | 2170                                       |
| drewno dębu        | 690–1030                                   | srebro          | 10 500                                     |
| gliceryna          | 1260                                       | stal nierdzewna | 8100                                       |
| miedź              | 8960                                       | styropian       | 10–30                                      |
| miód               | 1380–1450                                  | szkło okienne   | 2400–2700                                  |
| mleko              | 1030                                       | woda            | 998                                        |
| mosiadz            | 8400–8700                                  | woda w oceanach | 1020–1030                                  |
| ocet               | 1010                                       | złoto           | 19 300                                     |
| olej słonecznikowy | 920                                        | żelazo          | 7870                                       |

**Gęstość H<sub>2</sub>O w różnych temperaturach [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]**

| temperatura | 0°C (lód) | 0°C (woda) | 4°C    | 10°C  | 25°C  |
|-------------|-----------|------------|--------|-------|-------|
| gęstość     | 916,7     | 999,8      | 1000,0 | 999,7 | 997,0 |

**Gęstości niektórych substancji w różnych stanach skupienia [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]**

| substancja              | ciało stałe    | ciecz         | gaz (1013 hPa) |
|-------------------------|----------------|---------------|----------------|
| woda (H <sub>2</sub> O) | 917 (–1°C)     | 1000 (4°C)    | 0,6 (101°C)    |
| azot                    | 940 (–210°C)   | 808 (–196°C)  | 1,2 (20°C)     |
| rtęć                    | 14 200 (–39°C) | 13 500 (20°C) | 3,8 (360°C)    |

**Podstawowe wzory**

| wielkość                | jednostka                                               | wzór              | składowe wzoru                                                  |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ODDZIAŁYWANIA I MATERIA |                                                         |                   |                                                                 |
| Siła ciężkości          | N, niuton<br>1 N = 1 kg · $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ | $F_g = m \cdot g$ | $m$ — masa ciała [kg]<br>$g$ — przyspieszenie grawitacyjne      |
| Gęstość                 | $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$                          | $d = \frac{m}{V}$ | $m$ — masa ciała [kg]<br>$V$ — objętość ciała [m <sup>3</sup> ] |



| wielkość                                     | jednostka                                                    | wzór                                     | składowe wzoru                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CIŚNIENIE I SIŁA WYPORU                      |                                                              |                                          |                                                                                                                                                  |
| Ciśnienie                                    | Pa, paskal<br>$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ | $p = \frac{F}{S}$                        | $F$ — siła nacisku (parcia) [N]<br>$S$ — pole powierzchni, na którą działa siła [ $\text{m}^2$ ]                                                 |
| Ciśnienie hydrostatyczne na głębokości $h$   | Pa                                                           | $p_h = d \cdot g \cdot h$                | $d$ — gęstość cieczy [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]<br>$g$ — przyspieszenie grawitacyjne<br>$h$ — głębokość [m]                              |
| Siła wyporu                                  | N                                                            | $F_w = V_w \cdot d \cdot g$              | $V_w$ — objętość wypartego płynu [ $\text{m}^3$ ]<br>$d$ — gęstość płynu [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]<br>$g$ — przyspieszenie grawitacyjne |
| RUCH I SIŁY                                  |                                                              |                                          |                                                                                                                                                  |
| Prędkość w ruchu jednostajnym prostoliniowym | $\frac{\text{m}}{\text{s}}, \frac{\text{km}}{\text{h}}$      | $v = \frac{s}{t}$                        | $s$ — droga [m, km]<br>$t$ — czas, w którym droga została pokonana [s, h]                                                                        |
| Przyspieszenie                               | $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$                                | $a = \frac{\Delta v}{t}$                 | $\Delta v$ — zmiana prędkości [ $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ]<br>$t$ — czas zmiany prędkości [s]                                                 |
| Przyspieszenie (druga zasada dynamiki)       | $\frac{\text{N}}{\text{kg}}, \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$    | $a = \frac{F}{m}$                        | $F$ — siła [N]<br>$m$ — masa ciała [kg]                                                                                                          |
| PRACA, ENERGIA, MOC                          |                                                              |                                          |                                                                                                                                                  |
| Praca (gdy siła zgodna z ruchem ciała)       | J, dżul<br>$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$     | $W = F \cdot s$                          | $F$ — siła [N]<br>$s$ — droga [m]                                                                                                                |
| Praca                                        | J                                                            | $W = \text{zmiana } E$                   | $E$ — energia [J]                                                                                                                                |
| Energia mechaniczna                          | J                                                            | $E = E_k + E_p$                          | $E_k$ — energia kinetyczna [J]<br>$E_p$ — energia potencjalna [J]                                                                                |
| Energia kinetyczna                           | J                                                            | $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$    | $m$ — masa ciała [kg]<br>$v$ — prędkość ciała [ $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ]                                                                    |
| Zmiana energii potencjalnej grawitacji       | J                                                            | $\text{zmiana } E_p = m \cdot g \cdot h$ | $m$ — masa ciała [kg]<br>$g$ — przyspieszenie grawitacyjne<br>$h$ — zmiana wysokości [m]                                                         |
| Moc                                          | W, wat<br>$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$    | $P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$          | $W$ — wykonana praca [J]<br>$E$ — przekazana energia [J]<br>$t$ — czas, w którym została wykonana praca (przekazana energia) [s]                 |

Uwaga. Przy powierzchni Ziemi  $g \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .



## Przedrostki

| Nazwa  | Skrót | Wartość                      | Przykład                       |
|--------|-------|------------------------------|--------------------------------|
| giga-  | G     | miliard 1000 000 000         | 1 gigawat = 1000 000 000 watów |
| mega-  | M     | milion 1000 000              | 1 megadżul = 1000 000 dżuli    |
| kilo-  | k     | tysiąc 1000                  | 1 kilogram = 1000 gramów       |
| hekto- | h     | sto 100                      | 1 hektolitr = 100 litrów       |
| deka-  | da    | dziesięć 10                  | 1 dekagram = 10 gramów         |
| decy-  | d     | jedna dziesiąta 0,1          | 1 decymetr = 0,1 metra         |
| centy- | c     | jedna setna 0,01             | 1 centymetr = 0,01 metra       |
| mili-  | m     | jedna tysięczna 0,001        | 1 milisekunda = 0,001 sekundy  |
| mikro- | μ     | jedna milionowa 0,000001     | 1 mikrometr = 0,000001 metra   |
| nano-  | n     | jedna miliardowa 0,000000001 | 1 nanometr = 0,000000001 metra |

## Jednostki i ich przeliczanie

**Jednostki długości:** milimetr (mm), centymetr (cm), decymetr (dm), **metr (m)**, kilometr (km).

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$

$$1 \text{ dm} = 10 \text{ cm}$$

$$1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$$

$$1 \text{ mm} = 0,1 \text{ cm} = 0,001 \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} = 0,1 \text{ dm} = 0,01 \text{ m}$$

$$1 \text{ dm} = 0,1 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 0,001 \text{ km}$$

**Jednostki masy:** miligram (mg), gram (g), dekagram (dag), **kilogram (kg)**, tona (t).

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 100 \text{ dag} = 1000 \text{ g}$$

$$1 \text{ dag} = 10 \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$$

$$1 \text{ mg} = 0,001 \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 0,1 \text{ dag} = 0,001 \text{ kg}$$

$$1 \text{ dag} = 0,01 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 0,001 \text{ t}$$

**Jednostki czasu:** sekunda (s), minuta (min), godzina (h).

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min}$$

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ s} = \frac{1}{60} \text{ min}$$

$$1 \text{ min} = \frac{1}{60} \text{ h}$$

$$1 \text{ s} = \frac{1}{3600} \text{ h}$$

**Jednostki objętości:** milimetr sześcienny (mm<sup>3</sup>), centymetr sześcienny (cm<sup>3</sup>), decymetr sześcienny (dm<sup>3</sup>), metr sześcienny (m<sup>3</sup>), mililitr (ml), litr (l).

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mm}^3$$

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mm}^3$$

$$1 \text{ mm}^3 = 0,001 \text{ cm}^3 = 0,001 \text{ ml}$$

$$1 \text{ ml} = 0,001 \text{ l}$$

$$1 \text{ cm}^3 = 0,001 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ l}$$

$$1 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3$$

**i** Uwaga. Grubszą czcionką wyróżniono podstawowe jednostki układu SI.







# Skorowidz

- adhezja 68
- Archimedes 114
- atom 21, 22, 59
- balista 40
- balon stratosferyczny 106
- barometr hydrostatyczny 107, 112
- batyskaf 106, 118
- Baumgartner Felix 132, 158, 162, 240
- bezwładność 188, 205
- bloczek nieruchomy 244
- bloczek ruchomy 244
- Cameron James 106
- chmura elektronów 21
- ciało 16, 22
- ciało niekrystaliczne 62
- ciało stałe 54, 59, 60, 61, 81
- ciecz 54, 60, 61, 81
- ciężar 46, 47
- ciśnienie 89, 128
- ciśnienie atmosferyczne 90, 128
- ciśnienie hydrostatyczne 100-102, 128
- ciśnienie zewnętrzne 95, 103, 129
- cyfry znaczące 146
- droga 145, 204
- druga zasada dynamiki 193, 198, 204
- dynamika 186
- dysk twardy (HDD) 15
- dźwignia dwustronna 243
- dźwignia jednostronna 243
- dżul 213, 254
- elektron 21, 22
- energia 217, 255
- energia chemiczna 218
- energia elektryczna 218
- energia jądrowa 218
- energia kinetyczna 218, 228-230, 233, 255
- energia mechaniczna 233, 254, 255
- energia potencjalna grawitacji 218, 223-225, 233, 254
- energia potencjalna sprężystości 218, 233, 255
- energia promieniowania 218
- energia wewnętrzna 218
- fizyka 10-11, 80
- gaz 54, 60, 61, 81
- gęstość 70-71, 80
- Głębia Challenger (Rów Mariański) 104, 106
- GPS 15
- hektopaskal 90
- jądro atomowe 21, 22
- Joule James Prescott 213
- kafar 223, 227
- kierunek wektora 26
- kilogram 50
- kohezja 68
- koń mechaniczny 248
- kryształ 62
- łapacz gruntowy 35
- masa 46, 48, 189
- maszyna parowa 247
- maszyna prosta 242-244, 255
- megadżul 226
- metoda naukowa 11, 80
- Międzynarodowy Układ Jednostek Miar 50
- mikrofalówka 15
- mikrometr 61
- moc 246, 252, 255
- naczynia połączone 107-110, 129
- napięcie powierzchniowe 66, 67, 80
- Newcomen Thomas 247
- Newton Isaac 25, 42, 186
- niepewność pomiaru 12, 81
- niuton 25, 193



oddziaływanie 16, 18, 81  
 oddziaływanie elektromagnetyczne 18  
 oddziaływanie elektryczne 17, 18, 22  
 oddziaływanie grawitacyjne 17, 18  
 oddziaływanie magnetyczne 17, 18, 23  
 oddziaływanie podstawowe 18  
 oddziaływanie silne 18  
 oddziaływanie słabe 18  
 paradoks hydrostatyczny 102  
 Pascal Blaise 89, 95  
 paskal 89, 128  
 perpetum mobile 237  
 pierwsza zasada dynamiki 187, 198, 205  
 płyn 95  
 podnośnik hydrauliczny 96, 97, 129  
 poziom odniesienia 225  
 praca (praca mechaniczna) 213, 214, 217, 254  
 prasa hydrauliczna 96, 129  
 prawo Archimedesesa 114, 128  
 prawo Pascala 95, 129  
 prędkość 148, 205  
 prędkość chwilowa 170  
 prędkość średnia 170, 171  
 przyspieszenie 174, 181, 193, 205  
 przyspieszenie grawitacyjne 47, 48  
 przyspieszenie ziemskie 47, 48, 80, 195, 204  
 punkt przyłożenia siły 26  
 rentgen (RTG) 15  
 równoważenie się sił 37, 38, 81  
 ruch jednostajnie opóźniony 178, 204  
 ruch jednostajnie przyspieszony 174, 204  
 ruch jednostajny 152, 204  
 ruch odcinkami jednostajny 165  
 ruch prostoliniowy 145, 204  
 siła 25, 27  
 siła ciężkości 31, 47, 48, 80  
 siła nacisku 31, 80, 89  
 siła oporów ruchu 32, 80  
 siła parcia 89, 128  
 siła przylegania 68, 80  
 siła spójności 65, 80  
 siła sprężystości 31, 80  
 siła wypadkowa 36, 81  
 siła wyporu 113–115, 128  
 siła zewnętrzna 217  
 siłomierz 25  
 skalar 26  
 spadek swobodny 194, 204  
 spadochron hamujący 35  
 stan skupienia 54, 81  
 substancje powierzchniowo czynne 67  
 szybkość 148  
 termos 15, 219  
 tor 145, 204  
 Torricelli Evangelista 112  
 trzecia zasada dynamiki 42, 80, 198, 205  
 układ izolowany 219  
 układ SI 50  
 waga 46  
 wartość siły 26  
 wat 247, 255  
 Watt James 247  
 wektor 26, 27  
 wieża ciśnień 107, 109  
 wypadkowa sił 36  
 wysokość słupa cieczy 55  
 wzajemność oddziaływań 19, 41, 81  
 względność ruchu 144, 204  
 zasada akcji i reakcji 42  
 zasada bezwładności 188  
 zasada zachowania energii 219, 254  
 zasada zachowania energii mechanicznej 234, 254  
 zjawisko odrzutu 201  
 zwrot wektora 26



# Odpowiedzi

## Lekcja 1. Fizyka – poszukiwanie zrozumienia

**Ćwiczenia:** 1. Obserwacja 1. Można odbyć podróż dookoła Ziemi. Obserwacja 2. Przy dobrej widoczności można obserwować znikanie dolnych części oddalającego się statku pod linią horyzontu. Obserwacja 3. Można wyruszyć w kosmos i obserwować Ziemię stamtąd. Obserwacja 4. Można obserwować cień Ziemi na Księżycu podczas jego zaćmień. 2.  $(39,0 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ .

**Zadania:** 1. Widzielibyśmy ten sznurek z daleka. Moglibyśmy go dotknąć, a nawet próbować się po nim przemieszczać. 2. ...zostanie uszkodzona jego powłoka lub ...ilość powietrza w balonie przekroczy dopuszczalną objętość. 3. Ocena piękna rysunku nie mieści się w zakresie zainteresowań fizyki. To, czy rysunek jest ładny, zależy od oglądającego go człowieka, od jego odczuć. Fizyka zajmuje się zjawiskami lub wielkościami, które można zmierzyć i opisać za pomocą liczb i odpowiednich jednostek. 4. Nie można. Po pierwsze dlatego, że łódki wykonane z innych materiałów niż drewno także pływają. Po drugie dlatego, że łódki wykonane z drewna też mogą zatonać. 5. idealnie dokładny; niepewnością. 6. 2 cm; 598 cm; 602 cm. 7. a)  $(45 \pm 1) \text{ kg}$ , b)  $(112 \pm 4) \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . 8. Do pomiaru objętości cieczy;  $(225 \pm 25) \text{ ml}$ . 10. D. 11.  $(29,6 \pm 0,1) \text{ cm}$ .

## Lekcja 2. Rodzaje oddziaływań

**Ćwiczenie:** 1. a) Alpinista, lina, hak, skała, b) alpinista-lina, lina-hak, hak-skała.

**Zadania:** 1. a) Wazon, szafka, kot, deska podłogi, b) wazon-szafka, szafka-kot, kot-wazon, wazon-deska podłogi. 2. grawitacyjnemu. 3. ①. 4. Przeważnie pęka skorupka tylko jednego jajka, ponieważ jajka mają różną grubość i wytrzymałość skorupki. 5. Jeżeli balony są takie same i nadmuchane w ten sam sposób, to obydwa odkształcą się tak samo. 6. a) magnetyczne, b) elektryczne. 7. Możesz wyrzucać rzeczy ze swoich kieszeni (cisnąć nimi z całej siły w stronę przeciwną do tej, do której chcesz się zbliżyć), możesz to samo zrobić ze swoimi butami. 8. a) Można zgnieść butelkę. b) Można np. rozkręcić butelkę (zataczając koła całym ramieniem).

## Lekcja dodatkowa. Atomy

**Ćwiczenie:** 1. Ziemia oddziałuje grawitacyjnie na samochód, przyciągając go (każdy jego atom). Asfalt powstrzymuje samochód przed spadaniem — atomy w powierzchni asfaltu oddziałują z atomami opon. Jest to oddziaływanie elektryczne.

**Zadania:** 1. C. 2. C. 3. Zarówno spinacz oddziałował na magnes, jak i magnes na spinacz. Można zawiesić magnes na sznurku i zbliżyć go do zamocowanego spinacza. Wtedy magnes zostanie przyciągnięty do spinacza. 4. B. 5. D. 6. a) grawitacyjnego, b) elektrycznemu, c) magnetyczne. 7. Elektryczne. 8. sływa w dół; elektrycznemu. 9. Elektryczne (oddziałują ze sobą atomy).

## Lekcja 3. Siła i jej cechy

**Ćwiczenie:** 1. 90 N, kierunek poziomy, zwrot w prawo.

**Zadania:** 1.  $\vec{F}_1$ : 3 N, poziomy, w prawo;  $\vec{F}_2$ : 2 N, pionowy, w dół;  $\vec{F}_3$ : 2,5 N, poziomy, w prawo;  $\vec{F}_4$ : 3 N, pionowy, w górę. 4. C. 5. C. 6. a) pionowym; w dół, b) pionowym; w dół, c) poziomym; wschód-zachód. 7.  $(1,0 \pm 0,2) \text{ N}$ . 8. 60 N; kierunek poziomy, wschód-zachód; zwrot na wschód. 10. 1000 N. 11. a) Mniej więcej na środku, b) tak, aby palce znajdowały się po różnych stronach środka linijki. 12. Blisko klamki.



## Lekcja 4. Rodzaje sił

**Ćwiczenia:** 1. a) Kierunek pionowy, zwrot w dół, b) kierunek pionowy, zwrot w górę. 2. Kierunek poziomy, północ-południe; zwrot na północ.

**Zadania:** 1. a) Sztabka złota, b) podłoga, c) np. siła ciężkości. 2. b) Kierunek pionowy, zwrot w górę. 3. A2, B3, C1. 4. C. 5. Na widełki i ręce (ewentualnie na miseczkę, gdzie umieszcza się pocisk). 6. a) Siła ciężkości:  $\vec{F}_1$ , siła oporów ruchu:  $\vec{F}_2$ , b) powietrze, c) Im większa powierzchnia spadochronu i mniejsza jego masa, tym wolniej będzie opadać spadochroniarz. 7. Oboje mają rację, tylko inaczej nazwali siły. 8. a) Kierunek poziomy, zwrot w lewo, b) np. miód i olej. 9. a) Łęczysko rozciąga cięciwę siłami sprężystości. Cięciwa działa na strzałę siłą nacisku (sprężystości), ponieważ dąży do bycia prostą. b) Powietrza (opór powietrza), łączysko i ręce (tarcie).

## Lekcja 5. Równoważenie się sił

**Ćwiczenia:** 1. a) 8 N; kierunek poziomy, zwrot w lewo, b) 4 N; kierunek poziomy, zwrot w lewo, c) 1 N; kierunek poziomy, zwrot w lewo. 2. b) Zwrot w górę; 880 N.

**Zadania:** 1. a) 10 N; kierunek poziomy; zwrot w lewo, b) 0 N, c) 0 N, d) 1 N; kierunek pionowy; zwrot w dół. 2. 20 N; zwrot w dół. 3. b) 220 N; siła sprężystości podłogi. 4. Zwrot w prawo; 1200 N. 5. b) W górę, c) 430 N. 6. a) 800 N, b) w górę; 90 N. 7. W górę; 620 N. 8. a) W dół koryta (tłok jest przez nią ciągnięty), b) 3100 N.

## Lekcja 6. Zasada akcji i reakcji

**Ćwiczenia:** 1. 5 N. 2. Kierunek pionowy, zwrot w górę, 55 000 N.

**Zadania:** 1. 30 000 N; na północ; w dół. 3. Skoro taran działa siłą o dużej wartości na bramę, to zgodnie z trzecią zasadą dynamiki brama działa na taran siłą o takiej samej wartości. Taran musi być bardziej odporny na zniszczenie niż brama, by mógł służyć wiele razy. 4. a) Skoro siekiera działa na pień siłą w głąb drewna, to pień (drewno) działa na siekierę siłą o takiej samej wartości i przeciwnym zwrocie. b) Siła nacisku (lub sprężystości). 5. a) Zwrot pionowo w górę, 150 N, b) nie. 6. Stwierdzenia fałszywe: ①, ②, stwierdzenia prawdziwe: ③, ④. 7. a) Kierunek pionowy; zwrot w górę; 150 N, b) kierunek pionowy; zwrot w dół; 150 N, c) Mają takie same kierunki i wartości, ale przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia. 8. a) Kierunek pionowy; zwrot w górę; 1 N, b) kierunek pionowy; zwrot w górę; 5 N. 9. a) 10 000 N, b) zwrot w dół; 10 000 N, c) Jest tak, ponieważ na kontener działa jeszcze dźwig siłą zwróconą w górę. Gdyby dźwig podniósł kontener, wtedy siła nacisku kontenera na nabrzeże wynosiłaby 0 N.

## Lekcja 7. Masa a siła ciężkości

**Ćwiczenia:** 1. 32 N. 2. 15 kg. 3. 6 kg.

**Zadania:** 1. a) 2000 g; 320 g; 9430 g; 0,047 g, b) 10,4 kg; 5,55 kg; 0,234 kg; 3000 kg; 0,6 kg. 2. a) 0,13 kg, b) 1,3 N. 3. B. 4. A. 5. Brakujące masy (od lewej): 0,2 kg; 0,5 kg; brakujące ciężary (od lewej): 1 N; 80 N; 1000 N. 6.  $(216 \pm 1)$  g. 7. 15 kg. 8. 540 g. 9. 4 mg. 10. 26 470 N. 11. 100 N. 12. a) 0,003 kg, b) 0,03 N, c) Bukiet ma większą masę. 13. Ich ciężary są równe. 14. 4000 kg. 15. 180 g. 16. Masa porcji waty nie zmienia się podczas zgniatania. Można to zweryfikować, ważąc niezgniecioną i zgniecioną porcję waty.

## Lekcja 8. Stany skupienia

**Ćwiczenia:** 1. Nie, lód nie jest cieczą, bo zachowuje swój kształt. Kostka lodu położona na blacie nie rozplywa się jak ciecz. 2. Objętość naczynia to 1,25 l, więc mleko zmieściłoby się w naczyniu; 4 cm.



**Zadania:** 1. ① Stan stały, ② stan ciekły, ③ stan gazowy. 2. Np. woda, azot, metal. 3. a) Ciecz łatwo zmienia kształt i dzieli się na mniejsze porcje. Podczas poruszania butlą mogą więc powstawać wybrzuszenia na powierzchni cieczy (fale), a porcje cieczy mogą się nawet odrywać od reszty (duże krople). Za dźwięk odpowiedzialne są fale lub oddzielne porcje cieczy uderzające w ściany butli lub powierzchnię cieczy. b) Gdy ciecz całkowicie wypełnia butlę, to część cieczy nie może uderzyć w ścianę butli lub powierzchnię cieczy, bo nie ma na to miejsca — ciecz przywiera do ścian butli. c) Gaz wypełnia całkowicie butlę, więc sytuacja jest taka sama jak w b). 4.  $(30 \pm 10)$  ml. 5. Porcję cieczy, która wypełniła naczynie, można przelać do cylindra miarowego i określić jej objętość, a jednocześnie objętość naczynia. 6. a) 600 litrów, b) Powietrze w butli nurka jest ściśnięte (sprężone). Informacja o tym, że człowiek potrzebuje 10 litrów powietrza na minutę dotyczy powietrza nieściśniętego. 7. 60 litrów. 8. a) Objętość naczynia to 2,5 l, czyli więcej niż 2 l. b) 20 cm. 9. a) 1,2 kg, b) 12 N. 10. 0,5 m. 11. Ciecze nie zachowują kształtu, więc „cieczowy” organizm żyłby bardzo krótko, bo rozlałby się jak porcja wody. Organizmy składają się z części, które długo zachowują kształt, nie rozlewają się. 12. 40 cm. 13. Nie, gdyż płaska blaszka włożona do pojemnika nie przyjmuje jego kształtu. 14. a) 1,92 dag, b) Powietrze nie zachowuje objętości (daje się ścisnąć).

## Lekcja 9. Budowa ciał stałych, cieczy i gazów

**Ćwiczenia:** 1. W stanie ciekłym oraz gazowym. 2. Około 1000 atomów.

**Zadania:** 1. ① Stan gazowy, ② stan stały, ③ stan ciekły lub stały, ④ stan stały. 2. W stanie gazowym. 3. W stanie ciekłym lub stałym. 4. Między cząsteczkami powietrza (gazu) są duże odległości. W wodzie (cieczy) cząsteczki są blisko siebie. 5. ②, ④. 6. Hasło zapomniał o ustawieniu atomów. Identyczne fragmenty powinny się powtarzać w regularnych odstępach. Jeśli fragmenty różnią się składem (różne atomy) lub są w nieregularnych odstępach, to nie jest to ciało krystaliczne. 7. 2000 razy. 8. 0,08 mm. 9. 1,5 mm; 5 mln razy. 10. 1000. 11. a)  $\frac{10^{23}}{4}$ , b)  $\frac{10^{20}}{4}$ , c)  $\frac{10^{17}}{4}$ . 12.  $10^{19}$  cząsteczek. 13. 10 atomów.

## Lekcja 10. Siły międzycząsteczkowe

**Ćwiczenie:** 1. B.

**Zadania:** 1. B. 2. BA. 3. Krople wody na lewym blacie bardziej się rozplaszczają i łączą ze sobą. Siły przylegania wody do lewego blatu były większe niż siły przylegania wody do prawego blatu. 4. Mamy tutaj dwa zjawiska: 1) włosy są obciążone wodą i pod wpływem siły ciężkości opadają, 2) cząsteczki wody między włosami pędzla oddziałują na siebie siłami spójności, lgną do siebie, a siłami przylegania ściągają włosy. 5. a) Siły spójności, b) napięcie powierzchniowe. 6. Na kroplę działają ściskające ją: siła grawitacji, która zależy od masy, i równoważąca ją siła nacisku liścia. 7. Woda „przykleja się” do dna szklanki w wyniku działania sił przylegania między cząsteczkami wody i cząsteczkami szkła.

## Lekcja 11. Gęstość. Jednostki gęstości

**Ćwiczenia:** 1. a) 2000 kg, b)  $2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . 2.  $1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . 3. 1840 kg. 4.  $19,3 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ ,  $19\,300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**Zadania:** 1. a)  $1,26 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ , b)  $0,8 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ , c)  $21,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . 2.  $0,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . 3.  $1,15 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . 4. Żelazo. 5. a) 40 g, b)  $10 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . 6. a) Kostka stalowa: 518,4 g, kostka ołowiana: 90,4 g, b) Szalka z kostką ołowianą znajdzie się wyżej. 7. a)  $1,03 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , b) Woda w Atlantyku jest słona, a sól ma większą gęstość niż woda. Po zmieszaniu wody z solą gęstość cieczy jest większa. 9. O 3 kg. 10. 4053 kg; scena nie jest realistyczna, dach raczej tego nie wytrzyma.



## Lekcja 12. Wyznaczanie gęstości

**Ćwiczenia:** 1.  $50 \text{ cm}^3$ . 2.  $5 \text{ m}^3$ .

**Zadania:** 1.  $65 \text{ dm}^3$ . 2.  $0,1 \text{ dm}^3$ . 3.  $180 \text{ cm}^3$ . 4.  $8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . 5.  $0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . 6. A. 7. A1. 9. a)  $5 \text{ m}^3$ , b)  $0,5 \text{ m}$ . 10. O około  $0,003 \text{ m}^3$ . 11. a)  $60 \text{ cm}^3$ , b)  $3 \text{ cm}$ . 12. a)  $810 \text{ kg}$ , b) około  $1,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , c) Informacja jest poprawna.

## Powtórzenie. Oddziaływania i materia

**Część 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka:** 1. a)  $0,015 \text{ kg}$ ;  $0,25 \text{ kg}$ ;  $0,00008 \text{ kg}$ ;  $0,0012 \text{ kg}$ , b)  $750 \text{ g}$ ;  $5500 \text{ g}$ ;  $0,32 \text{ g}$ ;  $0,086 \text{ g}$ . 2. *magnetycznemu; grawitacyjnemu; elektryczne (elektrostatyczne); magnetycznego; grawitacyjnemu*. 3.  $\vec{F}_1$  — pionowy, w górę,  $40 \text{ N}$ ;  $\vec{F}_2$  — poziomy, w lewo,  $60 \text{ N}$ ;  $\vec{F}_3$  — poziomy, w prawo,  $50 \text{ N}$ ;  $\vec{F}_4$  — pionowy, w dół,  $30 \text{ N}$ . 4. a)  $210 \text{ N}$ , b)  $8 \text{ N}$ , c)  $68 \text{ N}$ . 5. a) Nie, b) nie, c) nie, d) tak. 6. *takiej samej; kierunku; zwrocie*. 7. ③ i ④. 8. D. 9. C. 10. a) Ciecz, b) gaz, c) ciało stałe, d) gaz. 11. D. 12. B.

**Część 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening:** 1. a) Linijka, długość,  $(8,7 \pm 0,1) \text{ cm}$ , b) waga, masa,  $(550 \pm 10) \text{ g}$ , c) siłomierz, siła / ciężar,  $(0,3 \pm 0,1) \text{ N}$ . 2. Przykład doświadczenia: Hasto wybiera te przedmioty, które są przyciągane przez magnes (np. szpilki, spinacze). Następnie sprawdza, czy są one przyciągane przez gwoździe. 3. ②. 4. a)  $\vec{F}_2$  i  $\vec{F}_5$ , b)  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  lub  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_5$ , lub  $\vec{F}_3$  i  $\vec{F}_4$ . 5. a) Na doniczkę oddziałują: Ziemia zwróconą w dół siłą ciężkości oraz parapet zwróconą w górę siłą nacisku. b) Na jabłko oddziałują: Ziemia zwróconą w dół siłą ciężkości oraz sprężyna zwróconą do góry siłą sprężystości. c) Na paczkę oddziałuje Ziemia siłą ciężkości; na czasę spadochronu oddziałuje powietrze siłą oporów ruchu. 6. ①, ③, ④, ⑤. 7. B1. 8. C1. 9. a) Gaz, b) gaz, c) ciało stałe, d) ciecz i ciało stałe, e) gaz i ciecz. 10. ①, ②, ④. 11.  $550 \text{ g}$ . 12.  $800 \text{ g} = 0,8 \text{ kg}$ . 13. D. 14.  $45 \text{ litrów}$ .

## Lekcja 13. Ciśnienie

**Ćwiczenia:** 1. a)  $12\,000 \text{ Pa}$ , b)  $1000 \text{ Pa}$ , c) Gdy się położył zwiększyła się powierzchnia, którą naciskał na lód, co zmniejszyło wywierane przez niego ciśnienie. 2.  $1600 \text{ N}$ .

**Zadania:** 1. Naciskając dłonią, działamy na dużej powierzchni, więc wywieramy mniejsze ciśnienie, niż działając podobną siłą czubkiem palca. 2.  $600 \text{ Pa}$ . 3. ①  $400 \text{ Pa}$ , ②  $800 \text{ Pa}$ . 4. a)  $500\,000\,000 \text{ Pa}$ , b) Dzięki ostremu zakończeniu obuch działa na szybę na małej powierzchni. Dzięki temu ciśnienie wywierane na szybę jest bardzo duże i łatwiej ją rozbić. 5. a)  $40\,000 \text{ Pa}$ , b)  $125 \text{ Pa}$ , c)  $500\,000 \text{ Pa}$ . 6. Siły parcia powietrza atmosferycznego;  $10\,000 \text{ N}$ . 7. a)  $1000 \text{ N}$ , b)  $500 \text{ N}$ , c)  $90 \text{ N}$ . 8. a)  $20\,000\,000 \text{ Pa}$ , b) Ciśnienie wywierane przez obcas szpilki jest na tyle duże, że obcas może wgnieść podłogę wykonaną z drewna, ceramiki lub tworzywa sztucznego. 9.  $87\,500 \text{ Pa}$ ; jest to mniejsze ciśnienie niż ciśnienie atmosferyczne wywierane na fakira. 10.  $50\,000 \text{ N}$ ; przez siłę parcia powietrza działającą na drugą stronę arkusza.

## Lekcja 14. Prawo Pascala

**Ćwiczenia:** 1.  $2500 \text{ hPa}$ . 2. a)  $200 \text{ N}$ , b)  $2000 \text{ N}$ , c)  $4000 \text{ N}$ .

**Zadania:** 1. B. 2. D. 3.  $3010 \text{ hPa}$ . 4. a) Porcja wody w otworze ma pewną powierzchnię (taką jak powierzchnia otworu). Iloczyn ciśnienia i pola tej powierzchni jest równy wartości siły, z którą ta porcja jest wypychana przez pozostałą wodę. b) Dzięki zwiększaniu się ciśnienia w całej objętości płynu (prawo Pascala). 5. a)  $120\,000 \text{ Pa}$ , b) Tak. 6. *takie samo; mniejsza*. 7.  $3500 \text{ N}$ . 8.  $5 \text{ N}$ . 9.  $500 \text{ kg}$ . 10. a)  $2000 \text{ kg}$ , b)  $20\,000 \text{ N}$ , c)  $20\,000 \text{ Pa}$ , d) o  $3000 \text{ Pa}$ .

## Lekcja 15. Ciśnienie hydrostatyczne

**Ćwiczenia:** 1.  $200\,000 \text{ Pa}$ . 2.  $300\,000 \text{ Pa}$ .



**Zadania:** 1. a) 9000 Pa, b) 13 100 Pa, c) 7500 Pa. 2. a) 2010 hPa, b) 6010 hPa, c) 11 510 hPa. 3. B. 4. a) 1 122 700 hPa, b) 1122,7 razy, c) Ciśnienie atmosferyczne stanowi niewielką część wartości ciśnienia panującego na dnie rowu. 5. Około 2,33 razy. 6. a) 11 000 N, b) Siły parcia wynikające z ciśnienia zewnętrznego są równoważone przez siły parcia ciśnienia wewnętrznego (ciśnienia płynów w tkankach, ciśnienia powietrza w płucach) panującego w ciele nurka (ciśnienie to zwiększa się, gdy ciało jest ściskane) oraz przez siły sprężystości ciała (sprężystość kości, w szczególności żeber). 7. 1500 hPa. 8. a)  $m_1 > m_2$ ,  $m_2 > m_3$ ,  $m_1 > m_3$ , b)  $F_{n1} > F_{n2}$ ,  $F_{n2} > F_{n3}$ ,  $F_{n1} > F_{n3}$ , c)  $p_1 = p_2$ ,  $p_2 = p_3$ ,  $p_1 = p_3$ , d)  $F_1 = F_2$ ,  $F_2 = F_3$ ,  $F_1 = F_3$ . 9. a) O 10 000 Pa, b) nie, c) nie. 10. a) 110 kPa, b) o 90 kPa, c)  $900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

### Lekcja dodatkowa. Naczynia połączone

**Ćwiczenia:** 1. C. 2. Nie, bo w przedstawionej sytuacji „korek” z wody nie powstanie, ponieważ rurka odpływowa nie ma odpowiedniego wygięcia.

**Zadania:** 1. O 70 cm. 2. Naczynie 3. 3. C. 4. a) Miejsca 1 i 3, b) miejsce 3. 5.  $p_4 < p_2 < p_3 < p_1$ . 6. A. 7. Około 0,75 m. 8. a) 102 600 Pa, b) Poziom rtęci obniżyłby się i zrównał z poziomem rtęci w misce.

### Lekcja 16. Prawo Archimedesesa

**Ćwiczenia:** 1. a) 3 kg, b) 30 N. 2. 3030 N. 3. 25,2 N.

**Zadania:** 1. ④ i ⑤. 2. Obie siły wyporu miały takie same wartości. 3. a) Obie wyparły tyle samo wody, ponieważ mają takie same objętości. b) Na każdą działała taka sama siła wyporu, ponieważ objętość wypartej wody była taka sama. 4. 8 N; 1,5 N. 5. 0,2 N. 6. a) 10 N, b) 1 kg, c) 1 kg. 7. B. 8. a) 0,3 kg, b) 0,3 kg (wynika to z warunku równowagi sił). 9. Na lewą i prawą kulę działają siły ciężkości o takiej samej wartości, ponieważ kule są identyczne. Na lewą działa dodatkowo siła wyporu. Dlatego to ramię znajduje się wyżej (jest mniej obciążone). 10. W etanolu — największe, w glicerynie — najmniejsze. 11. 309 000 N.

### Lekcja 17. Pływanie a siła wyporu

**Ćwiczenia:** 1. Wypadkowa siły ciężkości i wyporu była zwrócona w górę, dlatego jabłko zaczęło wypływać. Oznacza to, że wartość siły wyporu była większa niż wartość siły ciężkości. 2. 9 N.

**Zadania:** 1. B. 2. Wypłynie na powierzchnię wody. Siła wyporu działająca na pudełko ma większą wartość niż siła ciężkości, więc ich wypadkowa jest zwrócona w górę. 3. 2,5 N. 4. 0,5 N. 5.  $10 \text{ m}^3$ . 6. a) 78 N, b) 67 N. 7. 0,024 N. 8. Około 1667 razy. 9. 80 N.

### Lekcja 18. Pływanie a gęstość

**Ćwiczenia:** 1. 3%. 2.  $750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**Zadania:** 1. B. 2.  $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ;  $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . 3. Około 89%. 4. 1,5 raza. 5. Około 17%. 6.  $900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . 7.  $1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . 8.  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

### Powtórzenie. Ciśnienie i siła wyporu

**Część 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka:** 1. 1000 N. 2. a) 400 N; 40 000 Pa, b) *nie zmienia się; zmaleje*. 3. C. 4. ② i ④. 5. a)  $p_1 = p_2$ , b)  $p_1 > p_2$ , c)  $p_1 > p_2$ , d)  $p_1 < p_2$ . 6. A. 7. 0,5 N. 8. ③. 9. B2. 10. *taka sama jak*. 11. A.

**Część 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening:** 1. 360 N. 2. Wraz ze wzrostem wysokości ciśnienie atmosferyczne maleje. Siła parcia wywierana przez gaz wewnątrz balonu powoduje jego rozszerzanie. 3. 20 N. 4. Około 741 mm. 5. C3. 6. 10 m. 7. ②. 8. a) Naczynie o pionowych ściankach, b) naczynie zwężające się ku górze, c) naczynie rozszerzające się ku górze. 9. 0,125 N;



0,05 N. 10. C. 11. a)  $1,33 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , c) Każdy pomiar obarczony jest niepewnością. Zmierzona objętość kulki oraz wartość siły wyporu nie były dokładne. 12. Około 89%.

### Lekcja 19. Ruch i jego opis

Ćwiczenie: 1. a) 1000 m, b) 1300 m, c) 1330 m.

Zadania: 1. Długość toru — droga; symbol oznaczający czas —  $t$ ; linia, po której porusza się ciało — tor; symbol oznaczający drogę —  $s$ ; podstawowa jednostka czasu — sekunda; podstawowa jednostka drogi — metr. 2. 1200 m, 630 m, 3,2 m, 0,41 m, 0,02 m, 0,902 m. 3. 720 s, 30 s, 2700 s, 720 s, 7620 s, 192 s. 4. 1,2 km. 5. Odległość w linii prostej to długość najkrótszej możliwej trasy. Nie może istnieć ścieżka krótsza niż 5 km. 6. Samolot powinien startować w tę samą stronę, w którą porusza się lotniskowiec. Podczas lądowania samolot powinien mieć możliwie najmniejszą prędkość względem lądowiska. Oznacza to, że lądując, samolot również powinien lecieć w tę samą stronę, w którą płynie lotniskowiec. 7. a) 100, 200, 3000, 4000, 10 000, 0,2, 0,07, 0,007, 500 000, b) 120, 180, 2800, 3900, 12 000, 0,16, 0,072, 0,0068, 450 000.

### Lekcja 20. Prędkość. Jednostki prędkości

Ćwiczenia: 1.  $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 2. a)  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,  $40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,  $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $360 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ,  $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ,  $7,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

Zadania: 1.  $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . 2.  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 3. a)  $3600 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , b)  $14,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , c)  $54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . 4. a)  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , c)  $4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 5. Około  $278 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; samolot porusza się wolniej niż dźwięk. 6. Prędkość samochodu. 7.  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 8. ①, ④. 9. Należy się poruszać w dół chodnika z prędkością  $0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  względem niego. 10. a) Na zachód, b) około  $1667 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , c) nie.

### Lekcja 21. Ruch jednostajny prostoliniowy

Ćwiczenia: 1. 80 m. 2. a) 260 km, b) 520 km, c) 130 km. 3. a)  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , c)  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Zadania: 1. a) 30 m, b) 42 m, c) 360 m. 2. 75 cm. 3. 11,1 km. 4. a) 20 m, b) 60 m, c)  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 5. Drugi, o 10 m. 6. a) 8 km, b) 4 km, c)  $4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , d)  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 7. a) 1 cm; 2 cm, b) 1 V, c) Hasto prawdopodobnie obciął wtedy włosy. d)  $1 \frac{\text{cm}}{\text{miesiąc}}$ . 8.  $\frac{1}{150} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,0067 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 9.  $360 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

### Lekcja 22. Wykresy prędkości

Ćwiczenia: 1. Linii prostej; 2 punktów. 2. 24 min.

Zadania: 1. Robot I:  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , 3 m; robot II:  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , 12 m; robot III:  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , 15 m. 2. a)  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; 4, b) 8 m. 4. Po 2 s. 5. Po 1,3 s. 6. a) 500 s, b) 2 km. 7. a) Około 40 km, b) 25 km, c) 2 razy, d) około 1 min, e) tak, f) widać to na wykresie w postaci „uskoku”.

### Lekcja 23. Ruch odcinkami jednostajny

Ćwiczenia: 1.  $7500 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  od chwili 0 min do chwili 2 min;  $1500 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  od chwili 2 min do chwili 5 min. 2. a) 250 m, b) 150 m, c) od chwili 2 min do chwili 4 min oraz od chwili 6 min do chwili 10 min, d) od chwili 4 min do chwili 6 min.

Zadania: 1. a) Krążek A, b) tak, c) krążek B. 2. ① i ③. 3. B. 4. a) 6 m; 8 m, b)  $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , c)  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 5. a) Nano. 6. a)  $2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , b)  $4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , c) podczas trzeciej godziny. 9. b) Przez początkowe 2 h, ponieważ pokonał taką samą drogę w dwa razy dłuższym czasie. 10. a) 5 m, b) 15 m, c) 20 m, d) 2 s.

### Lekcja dodatkowa. Prędkość średnia

Ćwiczenie: 1.  $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Zadania: 1. Około  $0,0667 \frac{\text{km}}{\text{min}}$ . 2. Około  $26,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 3.  $0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 4. Piesz: około  $4,94 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , rowerem: około  $20,1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , samochodem: około  $97,1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Nawigacja nie uwzględniła przerw na sen. Przewidziany czas podróży pieszego to ponad 6 dni. Zakładając, że piechur śpi



średnio 8 godzin na dobę, poruszałby się tylko przez 110 godzin i jego prędkość wynosiłaby około  $7,09 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Taka prędkość odpowiada truchtowi. 5.  $3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 6. Około  $107 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . 7. Nie. Pierwszy odcinek kierowca przejechał w czasie  $\frac{1}{2} \text{ h}$ . Nawet gdyby kolejne 30 km przebył w czasie 0 h, to mógłby uzyskać co najwyżej średnią prędkość równą  $\frac{20 \text{ km} + 30 \text{ km}}{\frac{1}{2} \text{ h}} = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . 8. a) 40 s, b) 30 s.

## Lekcja 24. Ruch jednostajnie przyspieszony

**Ćwiczenia:** 1.  $0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 2. a)  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , b)  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , c) jednostajnie przyspieszonym prostoliniowym.

**Zadania:** 1. Droga: 3 m, prędkość:  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , przyspieszenie:  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 2.  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 3. a)  $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , c)  $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $19 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 4. a)  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , b)  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , c)  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 5. a) Pomiędzy chwilą 6 s i chwilą 8 s, b) na początku biegu, c) tak, po 8 sekundach. 6. a)  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , c)  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 7. a) Około  $28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b) około  $19 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , c) ponad 3 razy więcej.

## Lekcja 25. Ruch jednostajnie zmienny

**Ćwiczenia:** 1.  $-0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 2.  $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 3. a)  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $-10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

**Zadania:** 1. a)  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , b)  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 2.  $-4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 3.  $13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 4.  $0 -15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Prędkość drona zmalała. 5.  $-2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 6. a)  $0 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 7. a)  $0 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $0 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , c)  $0 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 8. a) C, A, B, b) na wykresie C;  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 9. a) Zmalała o  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; zmalała o  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $-5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ;  $-2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 10. a) Po 2 s, b)  $25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

## Lekcja dodatkowa. Ruch i wykresy

**Ćwiczenie:** 1. 18 m.

**Zadania:** 1. Pojazd A; o 10 m. 2. A2, B3, C1. 3. ②. 4. a)  $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b) od 6 s do 10 s oraz od 12 s do 14 s, c) od 10 s do 12 s, d) 105 m, e)  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 5. a) 960 m. 6. ② i ④. 7. b)  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

## Lekcja 26. Pierwsza zasada dynamiki Newtona

**Ćwiczenia:** 1. ② i ③. 2. 10 kN; na wschód.

**Zadania:** 1. B. 2. a) Gwałtownie zahamował. b) Należy unikać gwałtownego hamowania, wzmocnić konstrukcję przyczepy, mocować blok do podwozia, przewozić blok na bardzo długiej naczepie (żeby na niej wyhamował dzięki tarcu). 3. Pasażerowie poruszałiby się nadal w stronę, w którą jechał samochód, do czasu zderzenia z przeszkodą. 4. Siły oporu powietrza. 5. ③. 6. *bezwładnością; pierwszą*. 7. 0 N. 8. 3 N; w górę. 9. 1150 N. 10. a) 1000 N, b) 35 000 N. 11. a) Zupa wychyla się w prawo i wylewa się po prawej stronie talerza. b) Część zupy nadal będzie się poruszać w lewo i przeleje się po lewej stronie talerza. 12. a) Zgodnie z zasadą bezwładności ciało Hasto kontynuowało swój ruch. b) Nie.

## Lekcja 27. Druga zasada dynamiki Newtona

**Ćwiczenia:** 1.  $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 2. ②, ③.

**Zadania:** 1. B. 2. Mysz. 3. a)  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , b)  $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , c)  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , d)  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 4.  $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 5.  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 6. *jest zwrócona w tę samą stronę co prędkość; jest zwrócona przeciwnie do prędkości; jest równa 0 N*. 7. 6000 N. 8. a) 2 kg, b) 1 kg. 9. 2 g. 10. B. 11.  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 12. W dół. 13.  $1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 14. a)  $120 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b) Nie. Działa na niego siła oporu powietrza. 15. 1,2 s. 16. a) Nie, prędkość nie wzrastała o tyle samo w każdej sekundzie (wykres nie jest linią prostą). b) W pierwszej sekundzie, c) siła ciężkości, siła oporu powietrza.

## Lekcja 28. Trzy zasady dynamiki Newtona

**Ćwiczenie:** 1. a) Podczas odpychania poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym (II zasada dynamiki), a potem ruchem jednostajnym prostoliniowym (I zasada dynamiki).



b) 250 N, c)  $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ;  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , d)  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , e) Zachowanie pontonu i kajaka niczym by się nie różniło.

**Zadania:** 1. ② i ⑤. 2. *jednostajnym; rosnąć*. 3. a) Siły te mają takie same wartości. b) Bardziej zmieniła się prędkość piłki. 4. Ponieważ różne są masy tych ciał. 5. a)  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , b)  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , c)  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , d)  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . 6. a)  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , b) 0 N, c) 2000 N, d) 300 N. 7. a) 1600 N, b) szosa, c) 1600 N. 8. a) Butelka odpycha wodę w dół, więc zgodnie z III zasadą dynamiki woda działa na butelkę siłą w górę. Siła ta ma większą wartość od siły ciężkości, więc siła wypadkowa jest zwrócona w górę. Zgodnie z II zasadą dynamiki butelka porusza się z przyspieszeniem zwróconym w górę. b) Jest większa od 10 N, bo tylko wtedy woda będzie działać na raketę w górę z siłą o wartości większej od ciężaru. 9. a)  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , b)  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , c) 800 N. 10. 1100 N.

### Powtórzenie. Ruch i siły

**Część 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka:** 1. w spoczynku; w ruchu; w ruchu. 2. tor; drogi; 1 metr. 3. D. 4. AC. 5. B. 6. D. 7. ② i ③. 8.  $24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 9. B. 10. a) *działające na nią siły równoważą się*, b) *równa zero*, c) *o stałej wartości*. 11. D. 12. B. 13. ① i ④. 14. 20 N; *przeciwnie*. 15. B.

**Część 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening:** 1. 60 m; 240 m. 2. 22,2 m. 3. A2. 4. a)  $13,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , b) około 6,8 s, c) około 29 kN. 5. a) *jednostajnie przyspieszonym*,  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ; *jednostajnym*,  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,  $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ; *jednostajnie opóźnionym*,  $-8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , około  $-1,33 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , b) 88 m. 6. a) 1 kg, b) 2 kg. 7. a) *takim samym jak*, b) *opóźnionym*, c) *większa*, d) *większym*. 8. A. 9. a) Po 16 s, b) 0,08 N. 10. a)  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b)  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 11. 4,48 kN. 12. a) *jednostajnie przyspieszonym*, 80 N, b) 44 m.

### Lekcja 29. Praca

**Ćwiczenia:** 1. a) 1200 J, b) 400 J. 2. Siła ciężkości jest prostopadła do toru, więc praca jest równa 0 J.

**Zadania:** 1. ②, ④, ⑤ i ⑥. 2. 0 J; *siła działała prostopadle do toru ruchu ciała*; 50 N; 100 J. 3. a) 3 J, b) 6 J, c) 1,5 J. 4. 0 J. 5. 20000 kJ. 6. 20 cm. 7. 2 km. 8. a) 9 N, b) 1,2 m. 9. a) 200 N, b) 150 J. 10. a) 0 N, b) 0 J, c) 240 kJ. 11. a) 400 N, b) 800 J, c) 4400 N, d) 8800 J. 12. a) Kierunek pionowy, b) 0 J, c) 0,34 N, d) 0,34 J.

### Lekcja 30. Energia i zasada jej zachowania

**Ćwiczenie:** 1. a) Siła nacisku (sprężystości) tłoka na pocisk, b) kosztem energii potencjalnej sprężystości sprężyny, c) energia kinetyczna pocisku (a jeśli strzelano w górę to również energia potencjalna grawitacji pocisku).

**Zadania:** 1. *jądrowa, promieniowania, wewnętrzna, kinetyczna*. 2. Energia kinetyczna lawiny zwiększa się kosztem jej energii potencjalnej grawitacji. 3. a) *promieniowania, elektryczną; elektrycznej, kinetyczną*, b) na energię wewnętrzną (ogrzewanie: ogniów, układu napędowego statku, wody) i energię kinetyczną odpychanej wody. 4. a) 20 J, b) Nie, kamień jest na poziomym lodowisku, jego wysokość się nie zmieniła. c)  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , d) o 20 J. 5. a) Po zwolnieniu sprężyny jej energia potencjalna sprężystości malała, jej kosztem wzrastała energia kinetyczna i energia potencjalna grawitacji kulki. Kiedy sprężyna przestała popychać kulkę, nadal wzrastała energia potencjalna grawitacji kulki kosztem jej energii kinetycznej. Częściowo mogły wzrastać również energie wewnętrzne kulki i sprężyny. b) Ruchem jednostajnie przyspieszonym, c) wzrastała energia kinetyczna kulki kosztem jej energii potencjalnej grawitacji. 6. a) Odważnik porusza się w poziomie, więc nie zmienia się jego wysokość nad Ziemią. b) Siła, jaką sprężyna będzie działała na odważnik, spowoduje jego przemieszczenie zgodnie z kierunkiem i zwrotem tej siły, więc zostanie wykonana praca. Energia potencjalna sprężystości zamienia się w energię



kinetyczną (oraz w niewielkiej części w energię wewnętrzną ciała). 7. a) 100 N, b) 500 J, c) Nie, ruch był jednostajny, czyli prędkość się nie zmieniła, a więc i energia kinetyczna. d) O 500 J. 8. a) 100 kN, b) 20 kJ, c) 200 kJ.

### Lekcja 31. Energia potencjalna grawitacji

Ćwiczenia: 1. a) 10 000 000 J, b) 5 000 000 J. 2. 800 MJ.

Zadania: 1. ① — maleje, ② i ④ — nie zmienia się, ③ — wzrasta. 2. Odważnik o masie 2 kg. 3. a) O 15 J, b) o 7,5 J, c) o 15 000 J. 4. a) 100 m, b) 4 m, c) 2 km, d) 250 m. 5. a) 5 dag, b) 1 kg, c) 25 kg, d) 2 t. 6. 5 razy. 7. a) O 6 kJ, b) 6 kJ, c) głównie energia kinetyczna baby, d) zamieniła się w inne formy, m.in. w energię wewnętrzną baby, pała i gruntu. 8. a) O 160 MJ, b) 75%.

### Lekcja 32. Energia kinetyczna

Ćwiczenia: 1. 18 J. 2. 24 razy. 3. 25 razy.

Zadania: 1. a) B, b) B, c) A. 2. a) 450 J, b) 0,00245 J, c) 0,5 MJ, d) 50 MJ. 3. 5 razy. 4. 0,25. 5. 8 MJ. 6. 8 kg. 7. 20 kg. 8. 120 J. 9. 40 N. 10. 810 kJ.

### Lekcja 33. Energia mechaniczna

Ćwiczenia: 1. 1875 J. 2. a) 20 J, b) 60 J.

Zadania: 1. 0 J; tuż przed uderzeniem w ziemię: 12 J. 2. W najniższym położeniu; 0,05 J. 3. *potencjalnej grawitacji, kinetyczną, kinetyczna, potencjalna grawitacji, potencjalna grawitacji, kinetyczna, mechanicznej, kinetycznej, potencjalnej grawitacji*. 4. 20 J. 5. 16 razy. 6. a) Prostoliniowym jednostajnie opóźnionym, b) 0 J, c) 5 J, d) 1,25 m. 7. 2 razy. 8. a)  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , b) 1 s.

### Lekcja 34. Straty energii mechanicznej

Ćwiczenie: 1. a) O 20 J, b) 50%, 50%.

Zadania: 1. O 2 MJ. 2. 900 J. 3. a) 40 kJ, b) siły tarcia o szyny, siły oporu powietrza. 4. *mniejsza, zyskuje, kinetyczną, wewnętrzną*. 5. a) 24 kJ, b) 120 kJ. 6. a) O 20,184 MJ, b) zamieniła się w energię wewnętrzną skoczka i otoczenia. 7. 33 km. 8. a) 5,5 J, b) 10 razy, c) siła nacisku dłoni na skrzynkę, d) siła nacisku skrzynki na dłoń astronautki, e) z ciała astronautki, zmagazynowana była w formie energii chemicznej. 9. a) 140 N, b) 140 J, c)  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , d) z powodu występowania oporów ruchu (oporu wody).

### Lekcja dodatkowa. Maszyny proste

Zadania: 1. Czerwonymi. 2. Użycie dźwigni. 3. Żółtą; ponieważ można działać siłą o mniejszej wartości. 4. A. Dłuższy podjazd umożliwia użycie siły o mniejszej wartości. 5. A. Podczas podnoszenia słonia najbardziej zmienia się wysokość tego punktu. 6. a) 40 cm, b) co najmniej 50 N.

### Lekcja 35. Moc

Ćwiczenia: 1. 100 W. 2. 180 kJ.

Zadania: 1. ③. 2. a) 300 W, b) 1200 W. 3. 700 W. 4. 441 kJ. 5. a) 6 J, b) pole prostokąta o bokach 2 s i 2 W. 6. a) O 180 kJ, b) 30%. 7. a) 800 W, b) 2500 W. 8. 1400 W. 9. O 2 m.

### Lekcja 36. Moc, czas i prędkość

Ćwiczenia: 1. 1 min. 2. a) 300 N, b) 6 kJ, c) 600 W.



**Zadania:** 1. a) 20 s, b) 0,5 s. 2. 2 min. 3. 3 min. 4. 400 s. 5. 9 s. 6. a) 40 N, b) 240 W. 7. 50 N. 8. a) Moc silnika A: 3 W; moc silnika B: 1 W, b) im większe nachylenie, tym większa moc.

### Powtórzenie. Praca, energia, moc

**Część 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka:** 1. C. 2. A. 3. C. 4. A. 5. AV; BIII; CI; DII; EVI; FIV. 6. C1. 7. a) *rośnie; nie zmienia się*, b) *nie zmienia się; rośnie*, c) *rośnie; maleje*, d) *nie zmienia się; nie zmienia się*. 8. 100 kJ; 400 kJ; 4. 9. izolowany; opory ruchu. 10. B. 11. C. 12. D.

**Część 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening:** 1. a) 3 800 N, b) 15 m. 2. AIII; BVI; CI; DII; EIV; FV. 3. B, C, D, A. 4. a) 10 000 N, b) 50 000 J, c) 50 000 J; energia wzrosła. 5. 1500 t. 6. a) 16 razy, b)  $80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 7. 270 kJ. 8. 120 J; 120 J; 0 N; 0 J. 9. 100 J; 0 J; 80 J; 20 J; 100 J; 100 J; 0 J; 100 J. 10. 8 J; 8 J; 5,6 J; 2,4 J; 30%; 2,4 J. 11. 3,2 m. 12. 3,5 min. 13. 368 N.







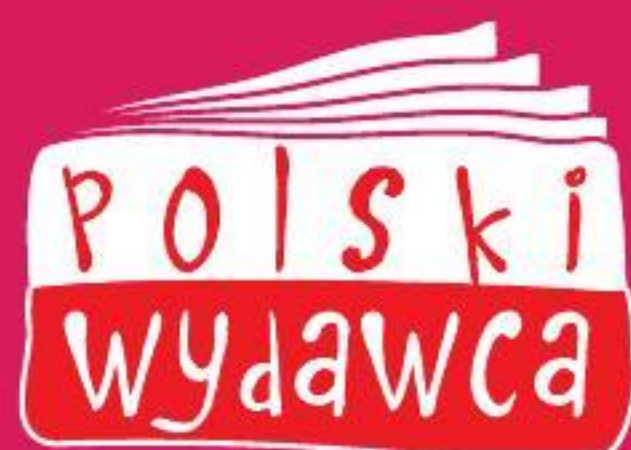
#### Zdjęcia:

© Look and Learn / Bridgeman Images: s. 223; © Zero 2 Infinity SL: s. 132; Adam Nurkiewicz / Getty Images: s. 18; AKG IMAGES Gmbh / Bewphoto: s. 88; Andrzej Nowakowski / Kopalnia Soli „Wieliczka” Groty Kryształowe: s. 59; Archiwum GWO: s. 190; Brykczynski Donat / Bewphoto: s. 152; Charles D. Winters / SCIENCE SOURCE / Bewphoto: s. 69; Dawid Chalimoniuk / Agencja Wyborcza.pl: s. 170; Domena Publiczna: s. 247; East News: s. 17; Erwin Rossen / Domena Publiczna: s. 21; GIPhotoStock / SCIENCE SOURCE / Bewphoto: s. 32; GRANGER COLLECTION / Bewphoto: s. 88; H. Thangchungnunga: s. 39; Jakub Swerpel: s. 25, 31, 41, 43, 67, 73, 84, 94, 100, 101, 116, 119, 120, 125, 133, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269; Kacper Kowalski / Forum: s. 224; KENNETH LIBBRECHT / Science Photo Library / East News: s. 62; Michael Zeigler / Getty Images: s. 100; Mythbusters / Discovery: s. 92; NASA Image and Video Library: s. 46, 151; NASA's Goddard Space Flight Cent / Ferrari Press / East News: s. 106; National Museum of the U.S. Navy / Domena Publiczna: s. 33; Panther Media GmbH / Alamy Stock Photo / Bewphoto: s. 65; Pearson Scott Foresman / Domena Publiczna: s. 40; PHOTOSHOT UPPA / Bewphoto: s. 182; Rafał Terkner / fotopolska.eu: s. 251; Red Bull Media House / ALLPIX PRESS / Bewphoto: s. 158; Richard Castle: s. 104; Runway Safe Group: s. 35; Science Photo Library / EAST NEWS: s. 200; Science Source / EAST NEWS: s. 118; Sepia Times / Universal Images Group via Getty Images: s. 223; Seung-il Ryu / NurPhoto via Getty Images: s. 192; Shutterstock: s. 9; 13, 14, 15, 17, 20, 23, 24, 25, 30, 31, 34, 35, 36, 38, 45, 47, 50, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 73, 75, 87, 89, 92, 93, 94, 95, 104, 106, 107, 108, 112, 113, 117, 119, 123, 126, 127, 132, 135, 136, 143, 144, 148, 149, 157, 163, 168, 171, 173, 178, 183, 203, 211, 212, 217, 218, 221, 227, 233, 237, 239, 242, 245, 246, 250, 261, 265, 267, 269; Robert Z Nagy / Shutterstock: okładka; Transport for NSW: s. 186; U.S. Navy: s. 228; Victor Chavez / WireImage / Getty Images: s. 16; © Volvo Car Corporation. Used under permission from Volvo Car Corporation: s. 41









Podręcznik spełnia kryteria *Ustawy o systemie oświaty* i obowiązującej podstawy programowej. Został dopuszczony przez MEiN do użytku szkolnego i wpisany do wykazu podręczników. Numer dopuszczenia: xxx/x/xxxx/xx