

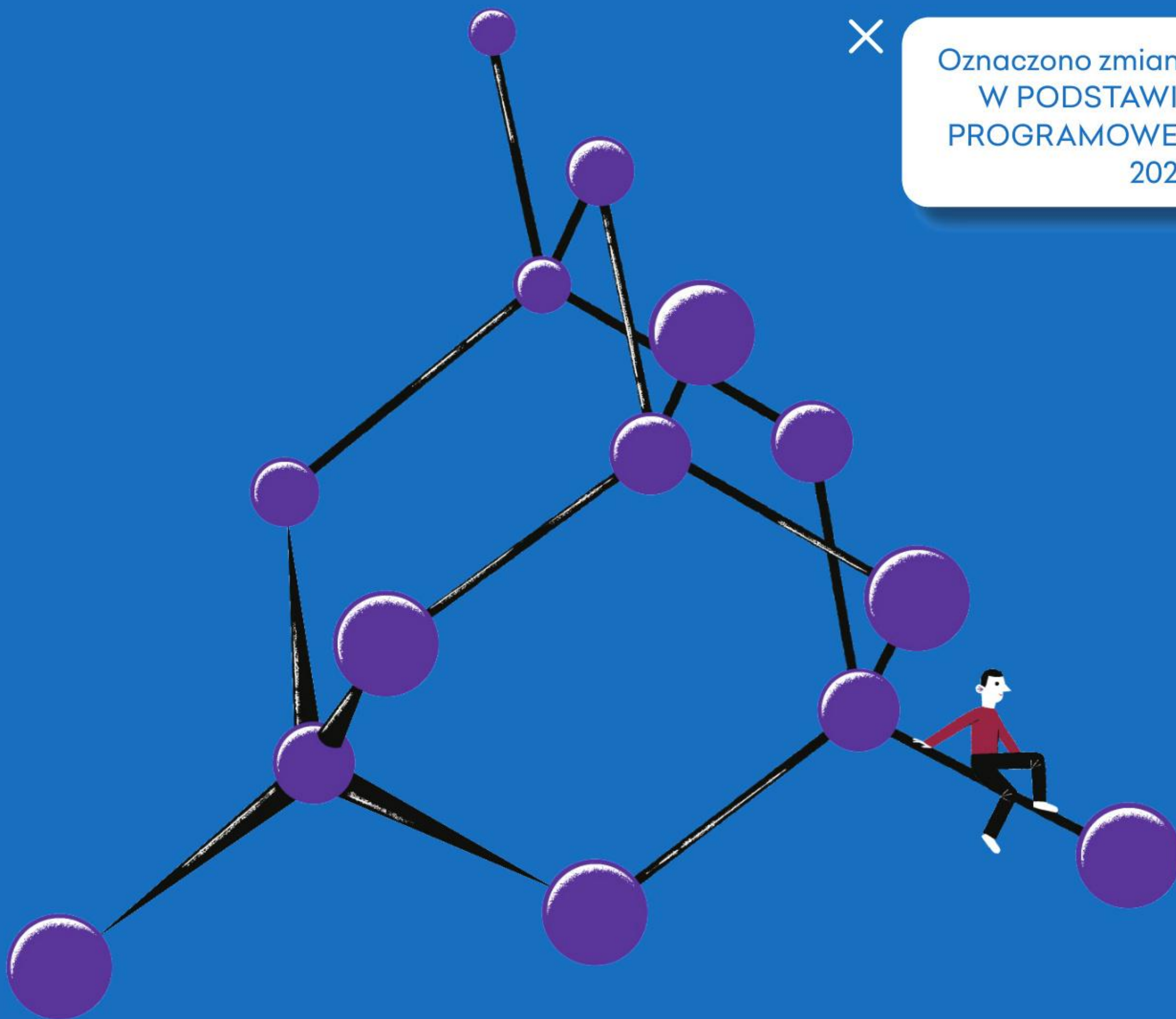
Fizyka

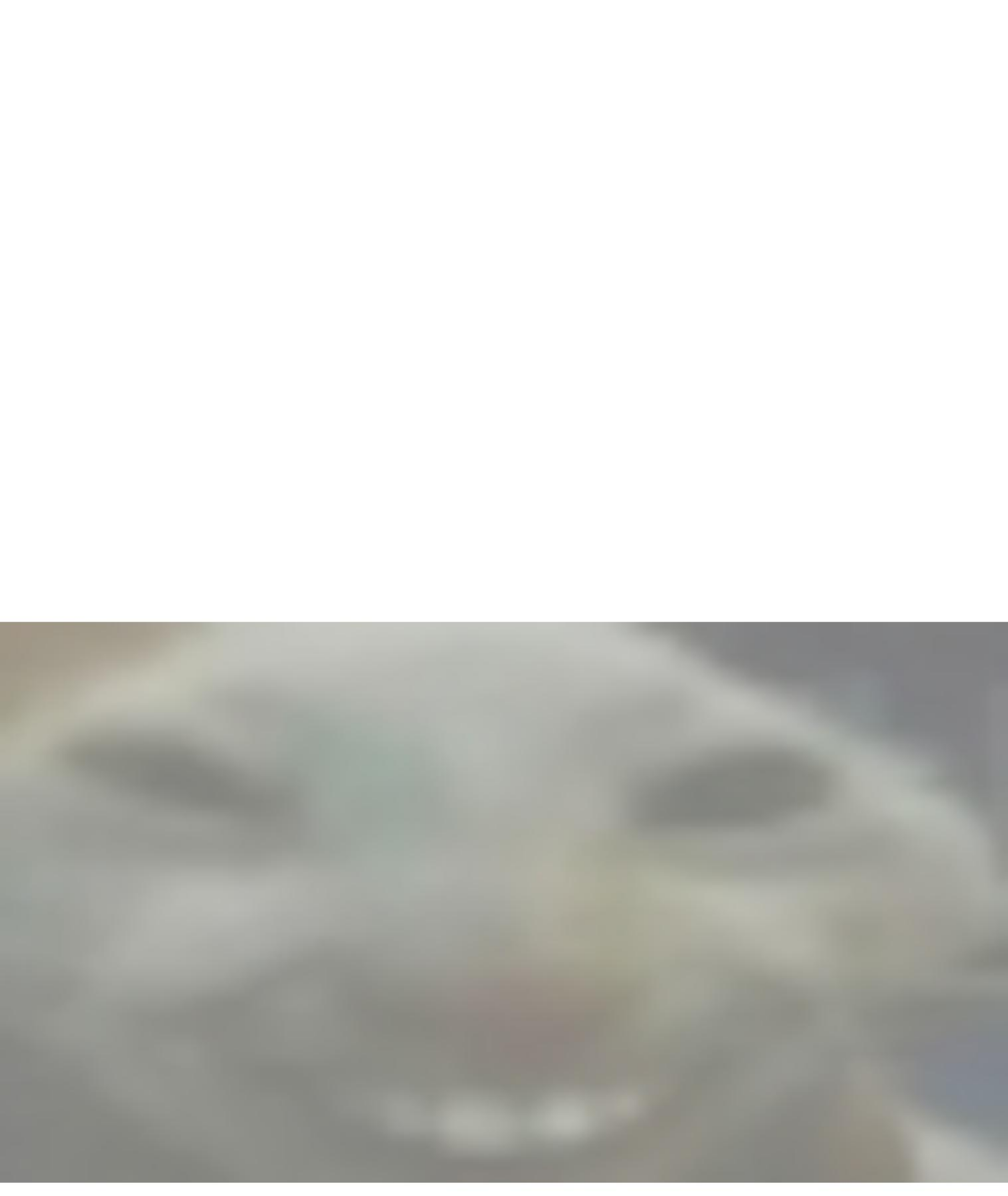
Podręcznik

7



Oznaczono zmiany
W PODSTAWIE
PROGRAMOWEJ
2024



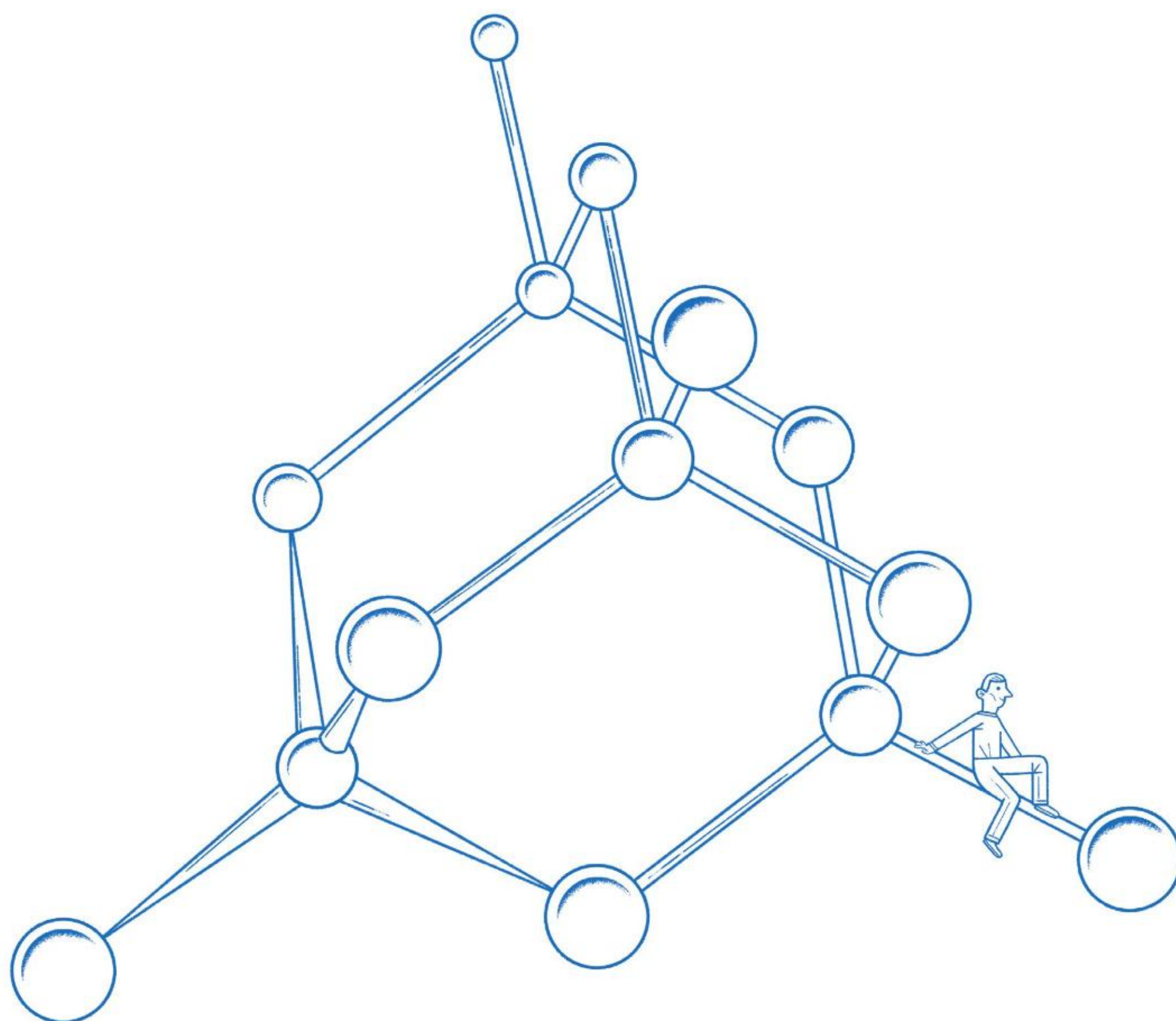


Małgorzata Wysocka-Kunisz
Leszek Krupiński
Grażyna Barna
Ryszard Dusza
Jolanta Fornalska

7

Fizyka

Podręcznik dla klasy siódmej szkoły podstawowej



Redaktor serii
Justyna Kubicka

Redakcja merytoryczna
Małgorzata Wysocka-Kunisz
Agnieszka Pawlusek

Konsultacja merytoryczna
Beata Prędoła
Kazimierz Kunisz

Redakcja językowa i korekta
Krystyna Bajor
Beata Pędziwilk
Paulina Zaborek

Redakcja techniczna
Paweł Kowalski

Skład i łamanie
Adam Ziółkowski

Ilustracje

Marcin Kot (s. 63, 69, 75, 82, 125), Grzegorz Kozłowski (s. 34, 40, 53, 56, 67, 72–73, 75, 76, 78, 87, 89, 94, 96, 99, 103, 105, 109, 111–114, 117, 144, 178, 183, 195, 198, 219, 224–225), Carto Team Chariza Krystian (s. 127, 128, 138, 143), Surman-Pusz Katarzyna (s. 61, 59, 68, 118, 124–125, 139, 157, 207), Agnieszka Staniec (100–101/projekt *Linku do wiedzy*, 188–189/projekt *Linku do wiedzy*)

Redakcja artystyczna
Magdalena Sarnot-Wrzecionowska
Marcin Kot

Projekt i koncepcja artystyczna
Futu Creative / Kay Humelt i Rafał Kwiczor

Koordinacja prac graficznych
Magdalena Sarnot-Wrzecionowska

Projekt okładki
Futu Creative

Ilustracja na okładce, na stronie tytułowej
i ilustracje na stronach działowych
Acapulco Studio / Agata Dudek i Małgorzata Nowak

Fotoedycja
Grzegorz Wrzecionowski

Wydawca oświadcza, że dołożył wszelkich starań, aby dotrzeć do wszystkich właścicieli i dysponentów praw autorskich. Osoby, których nie udało nam się ustalić, prosimy o kontakt z wydawnictwem.

Nabyta przez Ciebie publikacja jest dziełem twórcy i wydawcy. Przestrzegaj praw, jakie im przysługują. Udostępniając książkę lub jej fragmenty, rób to wyłącznie w zakresie dozwolonego użytku, który określają przepisy prawa. Zawartość książki możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. Kopując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

© Grupa MAC S.A., Kielce 2020

ISBN 978-83-7873-529-8

Grupa MAC S.A.
25-561 Kielce, ul. Witosa 76
tel. 41 366 55 55, faks: 41 366 33 02
e-mail: kontakt@mac.pl; www.mac.pl



Treści usunięte z podstawy programowej w 2024 r.



Wymagania fakultatywne z podstawy programowej w 2024 r.

Spis treści

1. Z fizyką na ty

1.1	Czym się zajmuje fizyka?	6
1.2	Jak fizycy poznają świat?	10
1.3	Wielkości fizyczne i ich jednostki	14
1.4	Planujemy pomiary i doświadczenia	18
	Podsumowanie działu 1	23

2. Pierwsze pomiary fizyczne

2.1	Pomiar podstawowych wielkości fizycznych	26
2.2	Wyznaczanie objętości ciał	31
2.3	Siła jako miara oddziaływań	35
2.4	Pomiar wartości siły ciężkości	40
2.5	Wyznaczanie gęstości substancji	46
	Podsumowanie działu 2	54

3. Budowa i właściwości materii

3.1	Stany skupienia materii	58
3.2	Zmiany stanów skupienia materii	61
3.3	Rozszerzalność temperaturowa ciał	64
3.4	Budowa substancji a jej właściwości	70
3.5	Oddziaływania międzycząsteczkowe	74
3.6	Badanie napięcia powierzchniowego	79
	Podsumowanie działu 3	82

4. W powietrzu i w wodzie

4.1	Ciśnienie i jego pomiar	86
4.2	Ciśnienie hydrostatyczne i ciśnienie atmosferyczne	91
	Link do wiedzy <i>Prawo Bernoulliego</i>	100
4.3	Prawo Pascala i jego zastosowanie	102
4.4	Prawo Archimedesesa	106
4.5	Warunki pływania ciał	112
	Podsumowanie działu 4	116

5. Ruch i jego opis

5.1	Ruch i spoczynek	120
5.2	Wielkości opisujące ruch	123
5.3	Badanie ruchu jednostajnego prostoliniowego	129
5.4	Wartość prędkości w ruchu jednostajnym prostoliniowym	135

5.5	Ruch prostoliniowy zmienny	140
5.6	Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony	144
5.7	Przyspieszenie w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym	149
5.8	Ruch prostoliniowy jednostajnie opóźniony	156
	Podsumowanie działu 5	160

6. Siły wokół nas

6.1	Wzajemne oddziaływanie ciał	164
6.2	Pierwsza zasada dynamiki Newtona	171
6.3	Trzecia zasada dynamiki Newtona	174
6.4	Siła sprężystości	178
6.5	Wpływ oporów ruchu na poruszające się ciała	181
	Link do wiedzy <i>Maszyny proste</i>	188
6.6	Druga zasada dynamiki Newtona	190
6.7	Swobodne spadanie ciał	195
	Podsumowanie działu 6	197

7. Praca, moc, energia

7.1	Energia i jej rodzaje	202
7.2	Praca i jej jednostki	206
7.3	Moc i jej jednostki	211
7.4	Energia mechaniczna	215
7.5	Energia potencjalna grawitacji i sprężystości	218
7.6	Energia kinetyczna	224
7.7	Zasada zachowania energii mechanicznej	228
	Podsumowanie działu 7	233

	Indeks	236
	Spis tabel	238
	Odpowiedzi do zadań	239

Jak korzystać z podręcznika

Numer i tytuł tematu

Podejmij temat

Wprowadzenie do tematu lekcji

Powołania na ilustracje oznaczono skrótem **il.**

Link do wiedzy

Treści, które mogą rozwinąć twoje zainteresowania

Warto wiedzieć

Materiał uzupełniający. Poszerza wiadomości, ułatwia zrozumienie przedstawianych treści

Więcej na temat

Treści dodatkowe

W skrócie

Najważniejsze informacje z lekcji

Czy już umiesz? Sprawdź się!

Polecenia i pytania na koniec lekcji

Znaczenie ikon



nawiązanie do innego przedmiotu



zastosowanie nowoczesnych technologii



praca zespołowa



warto wiedzieć



nawiązanie do ilustracji



oznaczenie polecenia trudniejszego



uwaga

Krok po kroku

Instrukcje, które wskazują kolejne etapy wykonywania działań

Ciekawe!

Interesujące wiadomości uzupełniające temat lekcji

Treść ważna, definicja

Objaśnienie nowych terminów

Podsumowanie działu

Powtórzenie najważniejszych treści działu

Przykłady

Przykładowe rozwiązania zadań

Doświadczenia

Opisy doświadczeń

Tego podręcznika będą używać inni uczniowie. Niczego w nim nie zapisuj. Przekaż go w dobrym stanie.

Krok po kroku

Przykłady wskazania kierunku

Ukierunkowanie	Ukierunkowanie
1. Ukierunkowanie	2. Ukierunkowanie
3. Ukierunkowanie	4. Ukierunkowanie
5. Ukierunkowanie	6. Ukierunkowanie
7. Ukierunkowanie	8. Ukierunkowanie
9. Ukierunkowanie	10. Ukierunkowanie

4.1 Ciężnienie i jego pomiar

Podejmij temat

Wprowadzenie do tematu lekcji

il. 4.1

il. 4.2

il. 4.3

il. 4.4

il. 4.5

il. 4.6

il. 4.7

il. 4.8

il. 4.9

il. 4.10

il. 4.11

il. 4.12

il. 4.13

il. 4.14

il. 4.15

il. 4.16

il. 4.17

il. 4.18

il. 4.19

il. 4.20

il. 4.21

il. 4.22

il. 4.23

il. 4.24

il. 4.25

il. 4.26

il. 4.27

il. 4.28

il. 4.29

il. 4.30

il. 4.31

il. 4.32

il. 4.33

il. 4.34

il. 4.35

il. 4.36

il. 4.37

il. 4.38

il. 4.39

il. 4.40

il. 4.41

il. 4.42

il. 4.43

il. 4.44

il. 4.45

il. 4.46

il. 4.47

il. 4.48

il. 4.49

il. 4.50

il. 4.51

il. 4.52

il. 4.53

il. 4.54

il. 4.55

il. 4.56

il. 4.57

il. 4.58

il. 4.59

il. 4.60

il. 4.61

il. 4.62

il. 4.63

il. 4.64

il. 4.65

il. 4.66

il. 4.67

il. 4.68

il. 4.69

il. 4.70

il. 4.71

il. 4.72

il. 4.73

il. 4.74

il. 4.75

il. 4.76

il. 4.77

il. 4.78

il. 4.79

il. 4.80

il. 4.81

il. 4.82

il. 4.83

il. 4.84

il. 4.85

il. 4.86

il. 4.87

il. 4.88

il. 4.89

il. 4.90

il. 4.91

il. 4.92

il. 4.93

il. 4.94

il. 4.95

il. 4.96

il. 4.97

il. 4.98

il. 4.99

il. 5.00

il. 5.01

il. 5.02

il. 5.03

il. 5.04

il. 5.05

il. 5.06

il. 5.07

il. 5.08

il. 5.09

il. 5.10

il. 5.11

il. 5.12

il. 5.13

il. 5.14

il. 5.15

il. 5.16

il. 5.17

il. 5.18

il. 5.19

il. 5.20

il. 5.21

il. 5.22

il. 5.23

il. 5.24

il. 5.25

il. 5.26

il. 5.27

il. 5.28

il. 5.29

il. 5.30

il. 5.31

il. 5.32

il. 5.33

il. 5.34

il. 5.35

il. 5.36

il. 5.37

il. 5.38

il. 5.39

il. 5.40

il. 5.41

il. 5.42

il. 5.43

il. 5.44

il. 5.45

il. 5.46

il. 5.47

il. 5.48

il. 5.49

il. 5.50

il. 5.51

il. 5.52

il. 5.53

il. 5.54

il. 5.55

il. 5.56

il. 5.57

il. 5.58

il. 5.59

il. 5.60

il. 5.61

il. 5.62

il. 5.63

il. 5.64

il. 5.65

il. 5.66

il. 5.67

il. 5.68

il. 5.69

il. 5.70

il. 5.71

il. 5.72

il. 5.73

il. 5.74

il. 5.75

il. 5.76

il. 5.77

il. 5.78

il. 5.79

il. 5.80

il. 5.81

il. 5.82

il. 5.83

il. 5.84

il. 5.85

il. 5.86

il. 5.87

il. 5.88

il. 5.89

il. 5.90

il. 5.91

il. 5.92

il. 5.93

il. 5.94

il. 5.95

il. 5.96

il. 5.97

il. 5.98

il. 5.99

il. 6.00

il. 6.01

il. 6.02

il. 6.03

il. 6.04

il. 6.05

il. 6.06

il. 6.07

il. 6.08

il. 6.09

il. 6.10

il. 6.11

il. 6.12

il. 6.13

il. 6.14

il. 6.15

il. 6.16

il. 6.17

il. 6.18

il. 6.19

il. 6.20

il. 6.21

il. 6.22

il. 6.23

il. 6.24

il. 6.25

il. 6.26

il. 6.27

il. 6.28

il. 6.29

il. 6.30

il. 6.31

il. 6.32

il. 6.33

il. 6.34

il. 6.35

il. 6.36

il. 6.37

il. 6.38

il. 6.39

il. 6.40

il. 6.41

il. 6.42

il. 6.43

il. 6.44

il. 6.45

il. 6.46

il. 6.47

il. 6.48

il. 6.49

il. 6.50

il. 6.51

il. 6.52

il. 6.53

il. 6.54

il. 6.55

il. 6.56

il. 6.57

il. 6.58

il. 6.59

il. 6.60

il. 6.61

il. 6.62

il. 6.63

il. 6.64

il. 6.65

il. 6.66

il. 6.67

il. 6.68

il. 6.69

il. 6.70

il. 6.71

il. 6.72

il. 6.73

il. 6.74

il. 6.75

il. 6.76

il. 6.77

il. 6.78

il. 6.79

il. 6.80

il. 6.81

il. 6.82

il. 6.83

il. 6.84

il. 6.85

il. 6.86

il. 6.87

il. 6.88

il. 6.89

il. 6.90

il. 6.91

il. 6.92

il. 6.93

il. 6.94

il. 6.95

il. 6.96

il. 6.97

il. 6.98

il. 6.99

il. 7.00

il. 7.01

il. 7.02

il. 7.03

il. 7.04

il. 7.05

il. 7.06

il. 7.07

il. 7.08

il. 7.09

il. 7.10

il. 7.11

il. 7.12

il. 7.13

il. 7.14

il. 7.15

il. 7.16

il. 7.17

il. 7.18

il. 7.19

il. 7.20

il. 7.21

il. 7.22

il. 7.23

il. 7.24

il. 7.25

il. 7.26

il. 7.27

il. 7.28

il. 7.29

il. 7.30

il. 7.31

il. 7.32

il. 7.33

il. 7.34

il. 7.35

il. 7.36

il. 7.37

il. 7.38

il. 7.39

il. 7.40

il. 7.41

il. 7.42

il. 7.43

il. 7.44

il. 7.45

il. 7.46

il. 7.47

il. 7.48

il. 7.49

il. 7.50

il. 7.51

il. 7.52

il. 7.53

il. 7.54

il. 7.55

il. 7.56

il. 7.57

il. 7.58

il. 7.59

il. 7.60

il. 7.61

il. 7.62

il. 7.63

il. 7.64

il. 7.65

il. 7.66

il. 7.67

il. 7.68

il. 7.69

il. 7.70

il. 7.71

il. 7.72

il. 7.73

il. 7.74

il. 7.75

il. 7.76

il. 7.77

il. 7.78

il. 7.79

il. 7.80

il. 7.81

il. 7.82

il. 7.83

il. 7.84

il. 7.85

il. 7.86

il. 7.87

il. 7.88

il. 7.89

il. 7.90

il. 7.91

il. 7.92

il. 7.93

il. 7.94

il. 7.95

il. 7.96

il. 7.97

il. 7.98

il. 7.99

il. 8.00

il. 8.01

il. 8.02

il. 8.03

il. 8.04

il. 8.05

il. 8.06

il. 8.07

il. 8.08

il. 8.09

il. 8.10

il. 8.11

il. 8.12

il. 8.13

il. 8.14

il. 8.15

il. 8.16

il. 8.17

il. 8.18

il. 8.19

il. 8.20

il. 8.21

il. 8.22

il. 8.23

il. 8.24

il. 8.25

il. 8.26

il. 8.27

il. 8.28

il. 8.29

il. 8.30

il. 8.31

il. 8.32

il. 8.33

il. 8.34

il. 8.35

il. 8.36

il. 8.37

il. 8.38

il. 8.39

il. 8.40

il. 8.41

il. 8.42

il. 8.43

il. 8.44

il. 8.45

il. 8.46

il. 8.47

il. 8.48

il. 8.49

il. 8.50

il. 8.51

il. 8.52

il. 8.53

il. 8.54

il. 8.55

il. 8.56

il. 8.57

il. 8.58

il. 8.59

il. 8.60

il. 8.61

il. 8.62

il. 8.63

il. 8.64

il. 8.65

il. 8.66

il. 8.67

il. 8.68

il. 8.69

il. 8.70

il. 8.71

il. 8.72

il. 8.73

il. 8.74

il. 8.75

il. 8.76

il. 8.77

il. 8.78

il. 8.79

il. 8.80

il. 8.81

il. 8.82

il. 8.83

il. 8.84

il. 8.85

il. 8.86

il. 8.87

il. 8.88

il. 8.89

il. 8.90

il. 8.91

il. 8.92

il. 8.93

il. 8.94

il. 8.95

il. 8.96

il. 8.97

il. 8.98

il. 8.99

il. 9.00

il. 9.01

il. 9.02

il. 9.03

il. 9.04

il. 9.05

il. 9.06

il. 9.07

il. 9.08

il. 9.09

il. 9.10

il. 9.11

il. 9.12

il. 9.13

il. 9.14

il. 9.15

il. 9.16

il. 9.17

il. 9.18

il. 9.19

il. 9.20

il. 9.21

il. 9.22

il. 9.23

il. 9.24

il. 9.25

il. 9.26

il. 9.27

il. 9.28

il. 9.29

il. 9.30

il. 9.31

il. 9.32

il. 9.33

il. 9.34

il. 9.35

il. 9.36

il. 9.37

il. 9.38

il. 9.39

il. 9.40

il. 9.41

il. 9.42

il. 9.43

il. 9.44

il. 9.45

il. 9.46

il. 9.47

il. 9.48

il. 9.49

il. 9.50

il. 9.51

il. 9.52

il. 9.53

il. 9.54

il. 9.55

il. 9.56

il. 9.57

il. 9.58

il. 9.59

il. 9.60

il. 9.61

il. 9.62

il. 9.63

il. 9.64

il. 9.65

il. 9.66

il. 9.67

il. 9.68

il. 9.69

il. 9.70

il. 9.71

il. 9.72

il. 9.73

il. 9.74

il. 9.75

il. 9.76

il. 9.77

il. 9.78

il. 9.79

il. 9.80

il. 9.81

il. 9.82

il. 9.83

il. 9.84

il. 9.85

il. 9.86

il. 9.87

il. 9.88

il. 9.89

il. 9.90

il. 9.91

il. 9.92

il. 9.93

il. 9.94

il. 9.95

il. 9.96

il. 9.97

il. 9.98

il. 9.99

il. 10.00

il. 10.01

il. 10.02

il. 10.03

il. 10.04

il. 10.05

il. 10.06

il. 10.07

il. 10.08

il. 10.09

il. 10.10

il. 10.11

il. 10.12

il. 10.13

il. 10.14

il. 10.15

il. 10.16

il. 10.17

il. 10.18

il. 10.19

il. 10.20

il. 10.21

il. 10.22

il. 10.23

il. 10.24

il. 10.25

il. 10.26

il. 10.27

il. 10.28

il. 10.29

il. 10.30

il. 10.31

il. 10.32

il. 10.33

il. 10.34

il. 10.35

il. 10.36

il. 10.37

il. 10.38

il. 10.39

il. 10.40

il. 10.41

il. 10.42

il. 10.43

il. 10.44

il. 10.45

il. 10.46

il. 10.47

il. 10.48

il. 10.49

il. 10.50

il. 10.51

il. 10.52

il. 10.53

il. 10.54

il. 10.55

il. 10.56

il. 10.57

il. 10.58

il. 10.59

il. 10.60

il. 10.61

il. 10.62

il. 10.63

il. 10.64

il. 10.65

il. 10.66

il. 10.67

il. 10.68

il. 10.69

il. 10.70

il. 10.71

il. 10.72

il. 10.73

il. 10.74

il. 10.75

il. 10.76

il. 10.77

il. 10.78

il. 10.79

il. 10.80

il. 10.81

il. 10.82

il. 10.83

il. 10.84

il. 10.85

il. 10.86

il. 10.87

il. 10.88

il. 10.89

il. 10.90

il. 10.91

il. 10.92

il. 10.93

il. 10.94

il. 10.95

il. 10.96

il. 10.97

il. 10.98

il. 10.99

il. 11.00

il. 11.01

il. 11.02

il. 11.03

il. 11.04

il. 11.05

il. 11.06

il. 11.07

il. 11.08

il. 11.09

il. 11.10

il. 11.11

il. 11.12

il. 11.13

il. 11.14

il. 11.15

il. 11.16

il. 11.17

il. 11.18

il. 11.19

il. 11.20

il. 11.21

il. 11.22

il. 11.23

il. 11.24

il. 11.25

il. 11.26

il. 11.27

il. 11.28

il. 11.29

il. 11.30

il. 11.31

il. 11.32

il. 11.33

il. 11.34

il. 11.35

il. 11.36

il. 11.37

il. 11.38

il. 11.39

il. 11.40

il. 11.41

il. 11.42

il. 11.43

il. 11.44

il. 11.45

il. 11.46

il. 11.47

il. 11.48

il. 11.49

il. 11.50

il. 11.51

il. 11.52

il. 11.53

il. 11.54

il. 11.55

il. 11.56

il. 11.57

il. 11.58

il. 11.59

il. 11.60

il. 11.61

il. 11.62

il. 11.63

il. 11.64

il. 11.65

il. 11.66

il. 11.67

il. 11.68

il. 11.69

il. 11.70

il. 11.71

il. 11.72

il. 11.73

il. 11.74

il. 11.75

il. 11.76

il. 11.77

il. 11.78

il. 11.79

il. 11.80

il. 11.81

il. 11.82

il. 11.83

il. 11.84

il. 11.85

il. 11.86

il. 11.87

il. 11.88

il. 11.89

il. 11.90

il. 11.91

il. 11.92

il. 11.93

il. 11.94

il. 11.95

il. 11.96

il. 11.97

il. 11.98

il. 11.99

il. 12.00

il. 12.01

il. 12.02

il. 12.03

il. 12.04

il. 12.05

il. 12.06

il. 12.07

il. 12.08

il. 12.09

il. 12.10

il. 12.11

il. 12.12

il. 12.13

il. 12.14

il. 12.15

il. 12.16

il. 12.17

il. 12.18

il. 12.19

il. 12.20

il. 12.21

il. 12.22

il. 12.23

il. 12.24

il. 12.25

il. 12.26

il. 12.27

il. 12.28

il. 12.29

il. 12.30

il. 12.31

il. 12.32

il. 12.33

il. 12.34

il. 12.35

il. 12.36

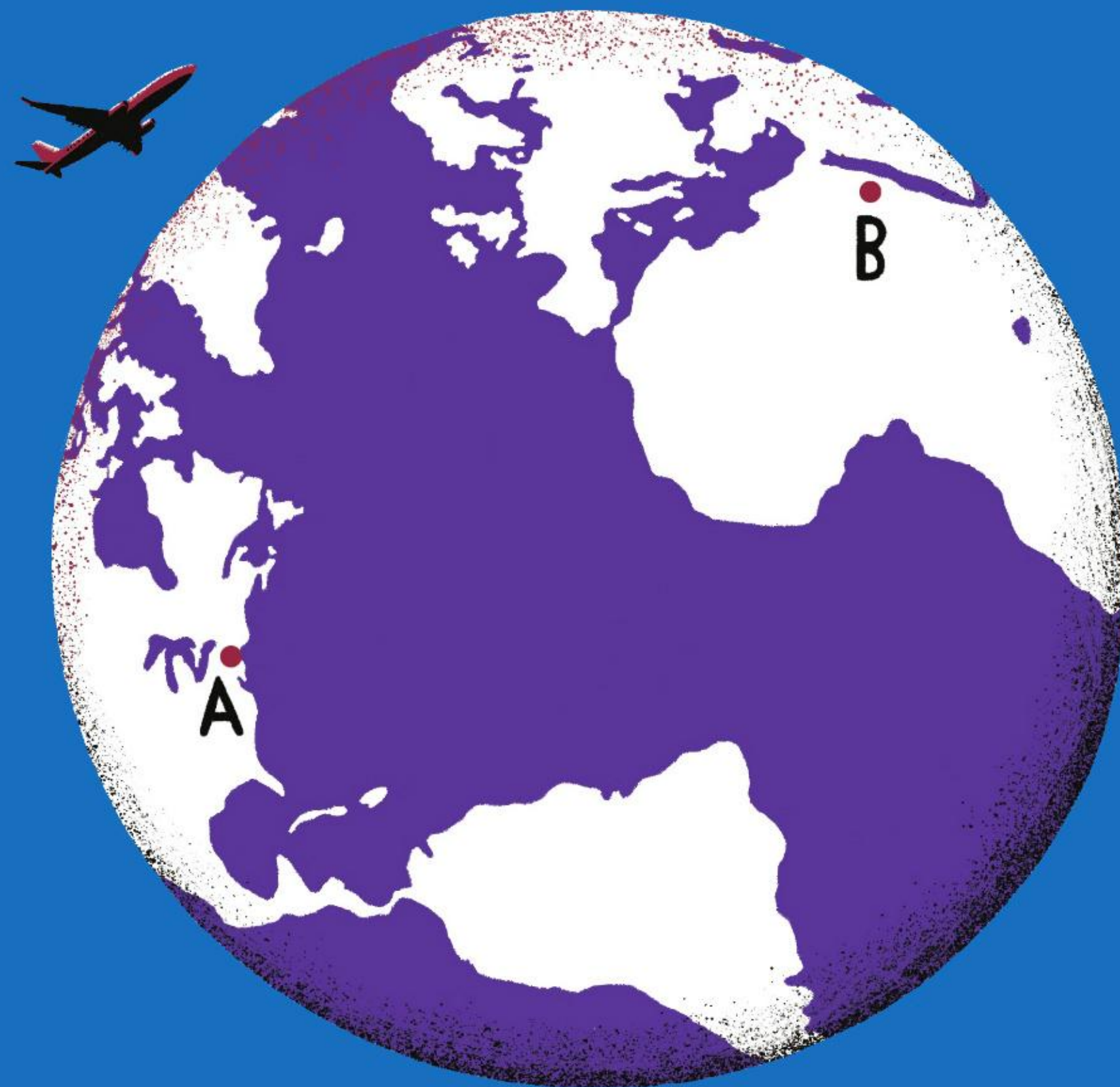
il. 12.37

il. 12.38

il. 12.39

il. 12.40

1. Z fizyką na ty



1. Czy fizyka opisuje ruch samolotu na ziemi i w powietrzu?
2. Czy lot samolotu jest zjawiskiem fizycznym?
3. Z jakich substancji składa się samolot?
4. Jakiego przyrządu mógłbyś użyć, żeby zmierzyć czas lotu samolotu?

1.1 Czym się zajmuje fizyka?

Podejmij temat

- Dlaczego koty „zawsze spadają na cztery łapy”?



1.1 Zachowanie kota podczas spadania

Kocia tajemnica

Kot w trakcie spadania (il. 1.1) potrafi się obracać, mimo że nie odbija się od żadnego przedmiotu. Zastanówmy się, co jest ciekawego w tych kocich akrobacjach. Może w czasie lotu kot szybko kręci ogonem?

Aby to sprawdzić, pewien badacz fotografował kocie zachowanie podczas spadania i prześledził fazy lotu, wykrywając odmienny – prawdziwie koci – sposób obracania się w powietrzu.

Przeprowadź doświadczenie, w którym będziesz mógł sam odczuć działanie praw fizycznych pozwalających kotu na obrót w powietrzu.

Doświadczenie 1.

Wykonanie:

- Spróbuj obrócić się na pięcie, trzymając przy sobie ciężki przedmiot (np. plecak z książkami).
- Następnie wyciągnij przed siebie poziomo ręce, nadal trzymając w nich ten przedmiot, i jeszcze raz wykonaj obrót.

Obserwacje: Na pewno zauważysz, że o wiele trudniej obrócić się z wyciągniętymi rękami.

Kocia tajemnica oczami fizyka

Kot w trakcie lotu też podkurcza i wyciąga swoje łapy. W pierwszej fazie skrętu przyciska przednie łapy do ciała i prostuje tylne. Dzięki temu tył kociego ciała wolniej się obraca niż jego przednia część – z podkurczonymi łapami. Następnie, aby przekręcić tylną część ciała, kot prostuje przednie, a podkurcza tylne łapy. Wykonuje przy tym specjalne ruchy obrotowe ogonem. Powtarzanie tych czynności wystarcza, żeby obie pary kocich łap znalazły się u dołu i czekały na zetknięcie z ziemią.

Dzięki uwiecznionemu na kliszy filmowej eksperymentowi (spadanie kota trwa czasem ułamki sekund) oraz doświadczeniu z ciężkim przedmiotem odkryliśmy kocią tajemnicę.

Teraz jest to jasne i możemy podziękować **fizyce** za pomoc w wyjaśnieniu zagadnienia.

Fizyka jako nauka przyrodnicza

Fizyka jest jedną z najstarszych nauk. Jej nazwa pochodzi od greckiego słowa *physis* ('natura', 'przyroda'). Pierwszymi fizykami byli filozofowie greccy żyjący kilkaset lat przed naszą erą. Najwybitniejszy z nich to **Arystoteles**, który wprowadził pojęcie fizyki.

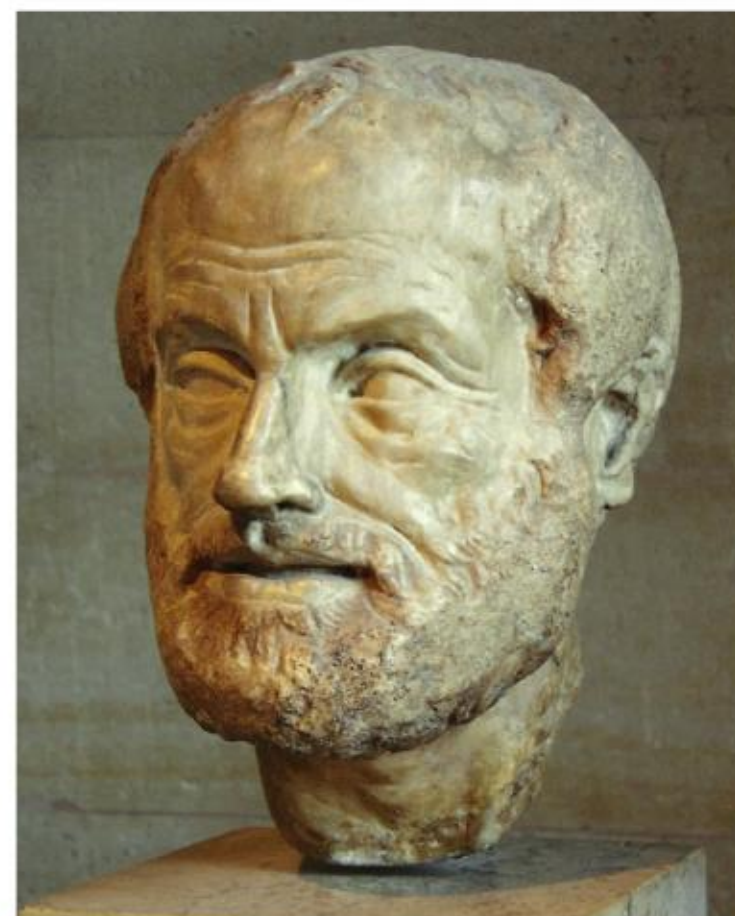


1.2 Przykłady zjawisk fizycznych

Wyładowanie atmosferyczne, lot samolotu, tęcza na niebie, krzepnięcie magmy, spadanie ciał czy świecenie lampy LED to przykłady zjawisk (il. 1.2), które bada fizyka. Żyjemy wśród otaczających nas **zjawisk fizycznych**. Fizykę interesują nie tylko zachodzące w przyrodzie zjawiska i **procesy**, ale i czynniki wpływające na ich przebieg. Fizyka stara się również wyjaśniać przyczyny ich powstawania.

Fizyka zajmuje się poznawaniem tego, co nas otacza, bada materię i jej właściwości, wyjaśnia zjawiska zachodzące w przyrodzie i odkrywa prawa przyrody.

Ciekawie!



Arystoteles (384–322 p.n.e.) głosił, że otaczająca nas materia składa się z czterech żywiołów: ognia, powietrza, wody i ziemi, obdarzonych charakterystycznymi cechami. Ogień był suchy i ciepły; powietrze – ciepłe i wilgotne; woda – wilgotna i zimna; a ziemia – zimna i sucha. Powtarzające się cechy miały powodować wzajemne przechodzenie w siebie poszczególnych żywiołów. Ogień mógł się zamienić w powietrze, bo są suche, a powietrze w wodę, bo jeden i drugi żywioł ma cechę wilgoci. W fizyce Arystotelesa przyjmowało się, że samoistny ruch ciał wynika stąd, że żywioły mają swoje naturalne położenie: najniższe – ziemia, potem – woda, następnie – powietrze, a najwyższe – ogień.

Procesy fizyczne to zjawiska regularnie następujące po sobie.

Ciekawe!

Fizyka to dynamicznie rozwijająca się dziedzina nauki. Nie tylko przybyły jej nowe działy, takie jak fizyka cząstek elementarnych czy fizyka fazy skondensowanej, ale także w istotny sposób uległy przeobrażeniu stare – mechanika, nauka o cieple, elektryczności i magnetyzmie. Wiele badań łączy nauki fizyczne z innymi dziedzinami, co przyczyniło się do wyodrębnienia nowych gałęzi fizyki, takich jak:

- biofizyka – wyjaśniająca fizyczne podstawy procesów biologicznych,
- geofizyka – badająca przemiany całego globu,
- fizyka medyczna – wykorzystująca metody fizyczne w medycynie.

Po co nam fizyka?

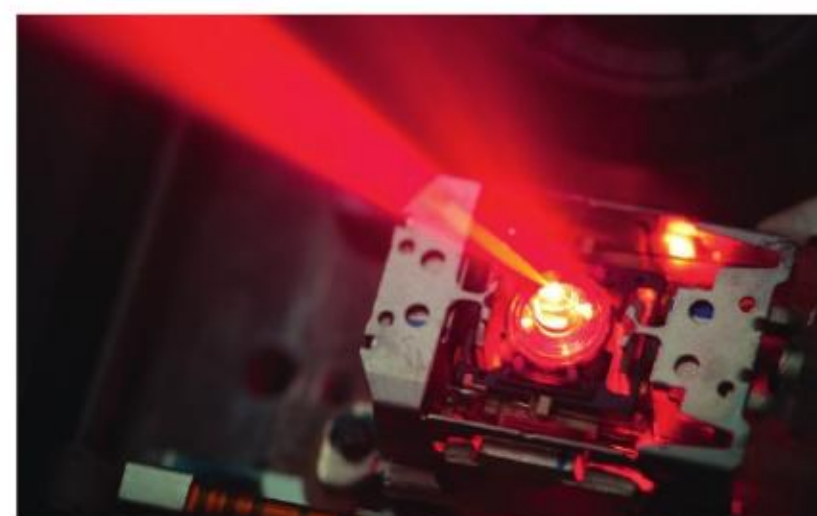
Fizykę i jej osiągnięcia wykorzystuje się do ułatwiania sobie życia.

Umożliwiła ona np. budowę urządzeń usprawniających pracę czy znalezienie nowych źródeł energii, w tym niekonwencjonalnych (il. 1.3).



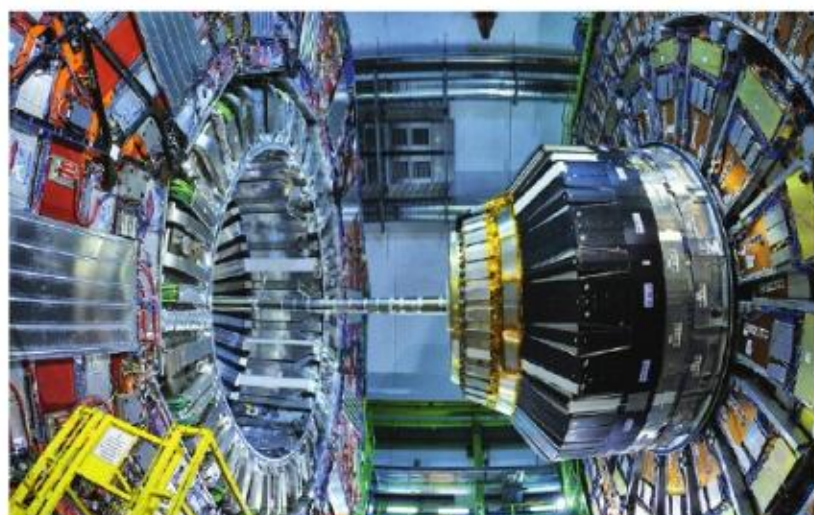
1.3 Wiatraki i ogniwa fotowoltaiczne, maszyny usprawniające pracę w fabryce

Powszechnie znane są również związki fizyki z techniką. Fizyka pełni tu rolę dziedziny podstawowej dostarczającej konstruktorom wiedzy, bez której trudno dokonać wynalazku lub opanować nową technologię (il.1.4).



1.4 Antena satelitarna, laser

Fizyka odgrywa też znaczną rolę w grupie nauk przyrodniczych i ma ogromny wpływ na życie człowieka, gdyż formułuje i tłumaczy podstawowe prawa, zasady i teorie dotyczące przyrody. Fizycy badają najmniejsze elementy materii, ale również takie obiekty jak gwiazdy oraz Wszechświat (il. 1.5).



1.5 Fragment urządzenia do badania cząstek elementarnych, mgławica

Mnóstwo zagadek już rozwiązano, jednak wiele zjawisk czeka na swoich odkrywców. Może i ty do nich dołączysz?



Obejrzyj uważnie przedstawione obok zdjęcia i spróbuj opowiedzieć, co zawdzięczamy fizyce.

Fizyka a inne nauki przyrodnicze

Badaniem przyrody zajmują się też inne nauki: biologia, chemia, geografia, ochrona środowiska, a specjalizujący się w nich naukowcy, poszukując odpowiedzi na wiele intrygujących nas pytań, korzystają również z dorobku fizyków.



1.6 Obraz lasu i gór na powierzchni wody

Fizyk odpowie na pytania, np.: W jaki sposób powstaje obraz gór i roślinności na powierzchni wody? Skąd się biorą fale na wodzie? Jak powstaje tęcza?

Chemik zbada wodę i substancje w niej zawarte.

Geografa zainteresuje, jak powstało jezioro i dlaczego położone jest w tym, a nie innym miejscu.

Biologa będą interesować organizmy wodne i rośliny wokół jeziora.

Ekolog zastanowi się, jak ochronić to miejsce przed zanieczyszczeniami i degradacją.

W skrócie

- Fizyka zajmuje się poznawaniem tego, co nas otacza. Bada materię i jej właściwości, wyjaśnia zjawiska zachodzące w przyrodzie i odkrywa prawa przyrody.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wskaż pytania, na które będziesz poszukiwać odpowiedzi na lekcjach fizyki.
 - A. Jak długo sonda badawcza leciała na Marsa?
 - B. Kiedy żyły dinozaury?
 - C. Jak działa ekran telefonu komórkowego?
 - D. Jakie warunki powinny być spełnione w domowej uprawie storczyków?
 - E. Jakie ćwiczenia fizyczne dobrze jest wykonać przed porannym biegiem?
- 2 Zastanów się i spróbuj wymienić przynajmniej dwa zjawiska fizyczne, które mogłeś zaobserwować w drodze do szkoły.
- 3 Spróbuj wyjaśnić, czy łyżwiarz kręcący piruety zachowuje się podobnie do spadającego kota.

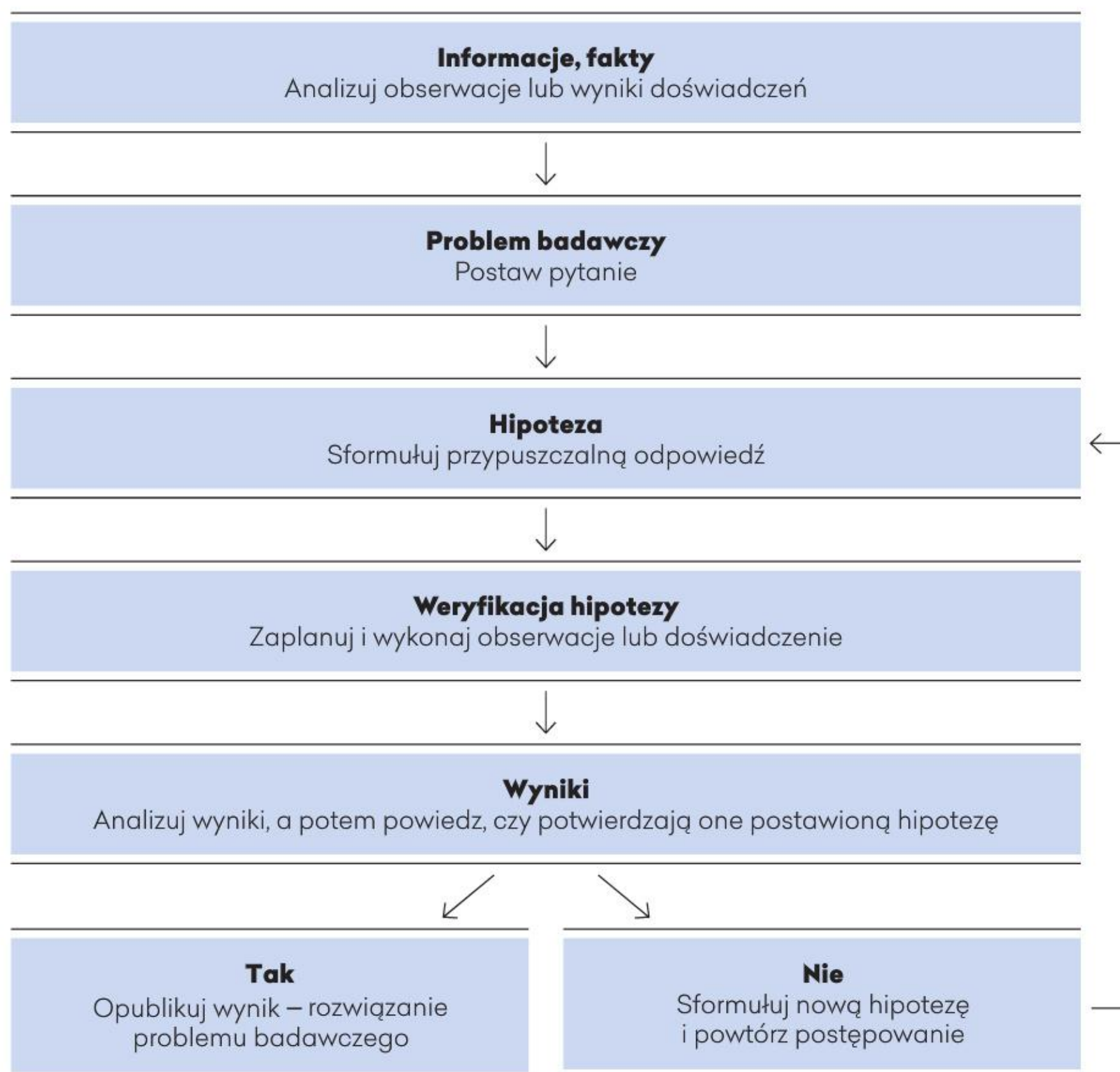
1.2 Jak fizycy poznają świat?

Podejmij temat

- Czym się różnią sposoby patrzenia na świat – poety i fizyka?

Metody badań w fizyce

Główną metodą badań fizyka są **obserwacje** i **doświadczenia**, na podstawie których dochodzi on do pewnych wniosków i stawia hipotezy. Doświadczenia te prowadzone są celowo, w sposób przemyślany, i często mają za zadanie weryfikację postawionej hipotezy. Wielokrotnie powtarzane w kontrolowanych warunkach doświadczenia, zwane też **eksperymentami**, przeprowadzane są, aby wyjaśnić pewne prawidłowości. Te wykryte prawidłowości zwane są **prawami fizycznymi**, a opisana procedura – sposób postępowania badaczy – to **metoda naukowa**. Ty też na lekcjach fizyki postaraj się postępować zgodnie z metodą naukową.



Ciekawe!

Wielu odkryć naukowych dokonano przez przypadek, a czasem z niepokoju wywołanego przeświadczeniem, że jakiś element nie pasuje do całości. Niekiedy wyniki doświadczeń prowadzą do weryfikacji dotychczasowych teorii i zastąpienia ich doskonalszymi. Kuchenkę mikrofalową skonstruował badacz, któremu podczas testowania w laboratorium urządzeń radarowych roztopił się batonik czekoladowy.

1.7 Schemat metody naukowej

Przyrządy i pomiary

Legenda głosi, że włoski uczyony – **Galileusz** (Galileo Galilei) – by zbadać odkryte przez siebie prawo spadania ciał, zrzucił różne przedmioty z Krzywej Wieży w Pizie. Musiał on, prowadząc rozważania, przemyśleć i objaśnić wyniki swoich doświadczeń, znaleźć przyczyny zjawisk. Przeprowadzał swoje słynne „eksperymenty myślowe”, wymagające wyćwiczonej pracy umysłowej, aby odkryć, jak ciała spadałyby w próżni. Galileusz nie mógł za swojego życia posłużyć się przyrządami wytwarzającymi próżnię.

Teraz, ucząc się fizyki i przeprowadzając doświadczenia, będziesz mógł wykorzystać rozmaite **przyrządy** (il. 1.8) oraz dokonać nimi **pomiaru** różnych wielkości fizycznych, np. czasu, temperatury. Postaraj się również, prowadząc obserwacje i wykonując doświadczenia, przeprowadzać eksperymenty myślowe i wyciągać wnioski.



1.8 Przyrządy pomiarowe: A. cylinder miarowy, B. stoper, C. miernik

Czynniki istotne i nieistotne dla przebiegu doświadczenia

Pamiętasz doświadczenie z ciężkim przedmiotem, z którym miałeś wykonać obrót z wyciągniętymi w przód rękami?

Zastanów się, które z wymienionych niżej czynników mogły mieć wpływ na wynik doświadczenia.

- Ciężar przedmiotu. Czy, jeśli byłby lżejszy, łatwiej byłoby wykonać obrót?
- Ułożenie rąk. Czy, jeśli byłyby pochylone w dół lub uniesione w górę, miałyby to znaczenie?
- Obuwie, w którym się obracasz.
- Miejsce obrotu.
- Kolor przedmiotu.

Na pewno odpowiesz, że nie wszystkie wymienione czynniki mają wpływ na sposób, w jaki się obracasz. Możesz również wymienić te, które mają wpływ na przebieg twojego doświadczenia. Określisz w ten sposób **czynniki istotne i nieistotne** dla jego przebiegu.

Ciekawie!



Galileusz (1564–1642) – włoski uczyony, eksperymentator. Ukończył szkołę we Florencji, a następnie uniwersytet w Pizie. Dokonał wielu odkryć i wynalazków. Odkrył np. prawo swobodnego spadania ciał oraz prawo ruchu wahadła. Zbudował m.in. termoskop, zwany termometrem Galileusza.



1.9 Krzywa Wieża w Pizie

Ciało fizyczne to dowolny przedmiot lub organizm żywy (zwierzę, roślina) stanowiący obiekt zainteresowania fizyki.

Podstawowe pojęcia fizyczne

Już pewnie zauważyłeś, że mówiąc o fizyce, używamy charakterystycznych dla niej słów, czyli „języka fizyki”. Poznałeś już takie pojęcia, jak: zjawisko fizyczne, proces i eksperyment. Wiesz również, że podstawą badań fizyka są obserwacje, pomiary i doświadczenia. Aby precyzyjnie opisać ich przebieg czy omówić wynik obserwacji, będziesz używać określonych **pojęć fizycznych**. Będziesz je poznawać stopniowo, w trakcie całej nauki fizyki. Na przykład, chcąc językiem fizyki powiedzieć o dowolnym z otaczających nas przedmiotów, nazwiesz go **ciałem fizycznym**.

Ciałami fizycznymi (il. 1.10) będą więc np.: rower, samochód, mrówka, samolot, książka, kwiatek w doniczce, moneta, balonik – których ruch obserwujesz – czy woda lub mleko, których temperaturę mierzysz.



1.10 Przykłady ciał fizycznych

Substancja to materiał, z którego zbudowane jest ciało fizyczne.

Otoczające nas ciała fizyczne mogą składać się z różnych **substancji**, np. z żelaza, gumy, plastiku czy wody. Rower jako ciało składa się z różnych substancji (il. 1.11). Aluminium jest substancją, a łyżeczka aluminiowa jest ciałem fizycznym. Aby ściśle opisywać otaczający nas świat, musimy posługiwać się właściwymi pojęciami – językiem fizyki.



1.11 Przykładowe substancje wykorzystane w budowie roweru

W skrócie

- Podstawowym źródłem wiedzy fizycznej są obserwacje, pomiary i doświadczenia.
- Doświadczenia przeprowadzane są po to, aby można było wyjaśnić pewne prawidłowości i zweryfikować postawione wcześniej hipotezy. Zweryfikowane w doświadczeniach podstawowe prawidłowości zwane są prawami fizycznymi, a sposób postępowania badaczy to metoda naukowa.
- W przebiegu doświadczenia można wskazać czynniki istotne i nieistotne.
- Ciało fizyczne to dowolny przedmiot lub organizm żywy stanowiący obiekt zainteresowania fizyki.
- Substancja to materiał, z którego zbudowane jest ciało fizyczne.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Spróbuj wskazać zdania, które opisują obserwacje, pomiary lub doświadczenia.
 - a) Wkładamy pionowo do wody ołówki, a następnie patrzymy, co będzie się działo przy jego wyciągnięciu z wody.
 - b) Mierzmy czasy, w jakich uczniowie pokonywali dystans 60 metrów, i wskazujemy, kto zwyciężył.
 - c) Oglądamy skoki narciarskie i notujemy, na której pozycji znalazł się polski skoczek.
 - d) Wkładamy torebkę herbaty ekspresowej do szklanki z zimną wodą, a drugą – do szklanki z gorącą wodą. Patrzymy, co się dzieje.
 - e) Wyglądamy przez okno i opisujemy, jaka jest pogoda.
- 2 Przerysuj tabelę do zeszytu i uporządkuj podane słowa – wpisz je do odpowiednich kolumn tabeli.
 - woda, żelazo, gwóźdź, papier, drewno, rower, ławka, Ziemia, drzewo, plastik

Ciało fizyczne	Substancja

- 3 Wyobraź sobie, że chcesz zbadać, jak stygnie gorąca herbata wlana do kubka. Jak myślisz, które z wymienionych niżej czynników mogą mieć wpływ na to, jak szybko herbata stygnie?
 - a) Substancja, z jakiej wykonany jest kubek.
 - b) Rodzaj termometru (czy jest elektroniczny, czy szklany).
 - c) Kolor kubka.
 - d) Temperatura otoczenia.
 - e) To, na czym stoi kubek.

Ciekawe!



Jednym z podstawowych źródeł wiedzy fizycznej o cząstkach elementarnych są eksperymenty przeprowadzane w ośrodku naukowo-badawczym Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN położonym na przedmieściach Genewy, na granicy Szwajcarii i Francji. CERN zatrudnia 2600 stałych pracowników oraz około 8000 naukowców i inżynierów reprezentujących ponad 500 instytucji naukowych z całego świata. Najważniejszym narzędziem ich pracy jest największy na świecie akcelerator cząstek – Wielki Zderzacz Hadronów (LHC). Mało kto wie, że sieć WWW narodziła się w CERN-ie, na potrzeby informowania o badaniach.

1.3 Wielkości fizyczne i ich jednostki

Podejmij temat

- Co mają ze sobą wspólnego – stopa i metr?
- Czy wszystko musi być mierzone?
- Co to jest układ SI?
- Do czego służą przedrostki?

Wielkości fizyczne to cechy i właściwości ciała fizycznego lub zjawiska dające się wyrazić w sposób ilościowy.

Ciekawe!

W 1960 roku, uchwałą XI Generalnej Konferencji Miar, został przyjęty znormalizowany układ jednostek – układ SI (później modyfikowany). Siedziba Międzynarodowego Biura Miar i Wąg znajduje się w Sèvres (czyt. sewr) pod Paryżem. Tam też przechowywane są wcześniejsze, historyczne już, wzorce metra czy kilograma. Od 20 maja 2019 r. obowiązują nowe wzorce jednostek układu SI.

Wielkości fizyczne i ich pomiary

W życiu codziennym, pytany o ilość, często posługujesz się niezbyt dokładnymi określeniami, mówiąc: mało, dużo, trochę, więcej, kilka. Cukier do herbaty odmierzasz łyżeczką i w pytaniu „ile słodzisz?” ukryta jest ilość cukru, którą chcesz mieć w herbacie. Ale łyżeczki są przecież różnej wielkości. W fizyce język, którego używamy, musi być bardziej precyzyjny, a pytanie „ile?” spełnia ważną rolę. Mówiąc o cukrze, możemy określić np. jego masę czy objętość. Takie wielkości, które możemy określić w sposób ilościowy, nazywamy **wielkościami fizycznymi**.

Każda wielkość fizyczna może przyjmować różne wartości. Aby odpowiedzieć na pytanie: „Ile masz centymetrów wzrostu?” – musisz **zmierzyć** długość swojego ciała i podać liczbę wraz z odpowiednią **jednostką**. Przykładając przymiar – przyrząd pomiarowy – sprawdzasz, ile razy przyjęta jednostka długości, w tym przypadku 1 cm, mieści się w długości twojego ciała. Wtedy możesz każdemu powiedzieć, jaki jest twój wzrost, a on zrozumie cię doskonale, jeżeli tylko wie, co to jest długość oraz zna jej jednostkę.

Pomiar wielkości fizycznej to porównanie jej z wielkością wzorcową przyjętą za jej jednostkę.

Międzynarodowy układ jednostek

Wiesz już, że daną wielkość fizyczną możesz wyrazić w różnych jednostkach, np. długość w centymetrach, metrach czy milimetrach. Mógłbyś ją również wyrazić w calach lub milach, ale jednostki te są u nas rzadko używane. Dla wygody wszystkie państwa na świecie dążą do tego, aby używać jednokowych jednostek wielkości fizycznych w systemie dziesiętkowym. Obecnie obowiązuje **Międzynarodowy Układ Jednostek Miar** (fr. *Système international d'unités*), zwany od pierwszych liter **SI**, który określa **jednostki podstawowe**. W Polsce wzorcami miar zajmuje się Główny Urząd Miar w Warszawie, w którym znajdują się m.in. zbiory dawnych przyrządów pomiarowych.

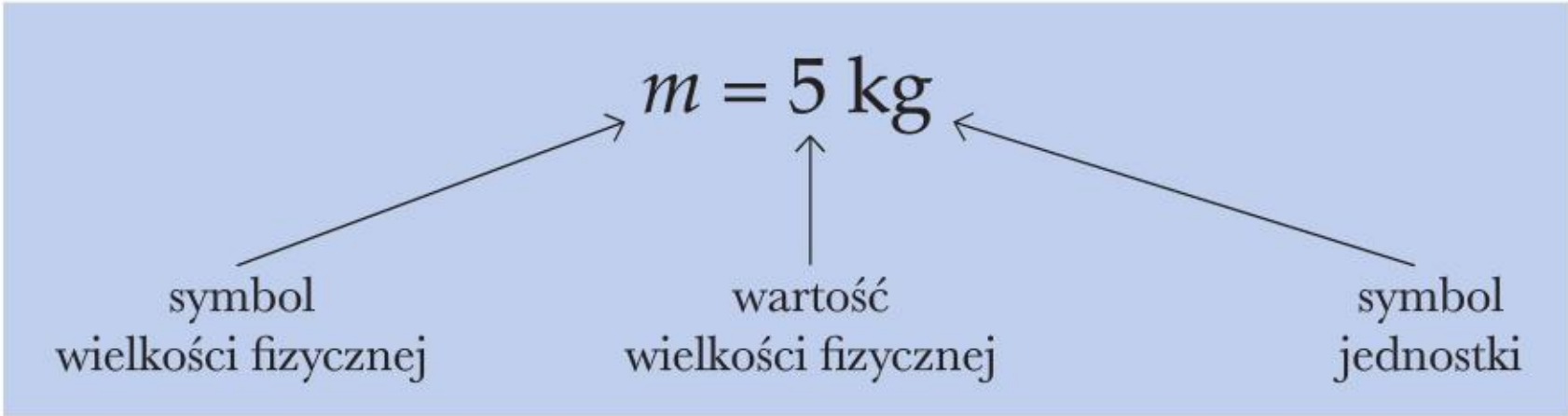
Tabela 1. Przykładowe jednostki podstawowe w układzie SI

Wielkość fizyczna	Oznaczenie wielkości fizycznej	Jednostka podstawowa	Oznaczenie jednostki
długość	l	metr	m
masa	m	kilogram	kg
czas	t	sekunda	s
temperatura	T	kelwin	K

Wielkości fizyczne i ich jednostki mają swoje oznaczenia (tabela 1). Jak widzisz, zdarza się, że symbolami niektórych wielkości mogą być te same litery. Tak jest np. z literą m , którą oznaczona jest wielkość fizyczna – masa – i jednocześnie jednostka długości metr – m.

Zapis wartości wielkości fizycznej i jej jednostki

W podręczniku będziemy stosować następujący zapis wartości wielkości fizycznej i jej jednostki:



Wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Mierząc różne wielkości fizyczne, często będziesz podawać ich wartość za pomocą różnych jednostek. Twój wzrost raczej podasz w centymetrach, pomimo tego że to metr jest podstawową jednostką długości w układzie SI. Większe lub mniejsze jednostki tworzy się za pomocą odpowiednich przedrostków (tabela 2).

I tak np. 1 centymetr to jedna setna metra, co możemy zapisać:

$1 \text{ cm} = \frac{1}{100} \text{ m} = 0,01 \text{ m}$

Stąd też wiadomo, że $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$.

Z kolei 1 kilometr to tysiąc metrów, co możemy zapisać:

$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$

Stąd wiadomo, że $1 \text{ m} = \frac{1}{1000} \text{ km}$.

Ciekawe!

Czasem używa się innych jednostek długości, np.: 1 mila morska = 1852 m, jard (yard) = 0,9144 m.

Ciekawe!

W dawnych czasach człowiek dokonywał pomiarów nie tylko w celach poznawczych, ale przede wszystkim w celach handlowych. Wzorcami do tworzenia miar były stopy, łokcie i kroki najdzielniejszych żołnierzy panujących władców. Było to bardzo niewygodne, tym bardziej że nie używano systemu dziesiętkowego. Jednostki mniejsze lub większe tworzone w ten sposób, że jednostkę wzorcową dzielono np. na 12 lub na 60 części. I tak tuzin to 12 sztuk, a pięć tuzinów (60 sztuk) to kopa.

Tabela 2. Niektóre przedrostki wielkości fizycznych

Wielokrotności			Podwielokrotności		
przedrostek	oznaczenie	mnożnik	przedrostek	oznaczenie	mnożnik
giga-	G	1 000 000 000	decy-	d	0,1
mega-	M	1 000 000	centy-	c	0,01
kilo-	k	1 000	mili-	m	0,001
hekto-	h	100	mikro-	μ	0,000001
deka-	da	10	nano-	n	0,000000001

Krok po kroku

Jak przeliczać jednostki z przedrostkami?

- 1 Odczytaj nazwę jednostki wraz z przedrostkiem.
1 km – jeden kilometr 1 mg – jeden miligram 1 μs – jedna mikrosekunda
- 2 Wyraż zależność między jednostkami. Wstaw odpowiedni przelicznik zamiast przedrostka.
1 km = 1000 m 1 mg = 0,001 g 1 μs = 0,000001 s
- 3 Wyraż odwrotną zależność między jednostkami.
1 m = 0,001 km 1 g = 1000 mg 1 s = 1 000 000 mikrosekund
- 4 Wyjątek stanowią jednostki czasu większe od 1 sekundy. Przeliczając, musisz pamiętać, że:
1 godzina = 60 minut 1 h = 60 min 1 min = $\frac{1}{60}$ h
1 minuta = 60 sekund 1 min = 60 s 1 s = $\frac{1}{60}$ min
czyli 1 godzina to 3600 sekund, co obliczymy: 1 h = 60 min = 60 · 60 s = 3600 s, stąd 1 s = $\frac{1}{3600}$ h

Przykład 1.

Długość biurka wynosi 1200 mm. Wyraż tę długość w metrach.

Rozwiązanie

$1200 \text{ mm} = 1200 \cdot 0,001 \text{ m} = 1,2 \text{ m}$

Odpowiedź: Długość biurka wynosi 1,2 m.

Przykład 2.

Jednostką pola powierzchni jest 1 m^2 . Jaką częścią m^2 jest dm^2 , a jaką cm^2 ?

Rozwiązanie

$$1 \text{ dm}^2 = 1 \text{ dm} \cdot 1 \text{ dm} = 0,1 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,01 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ cm}^2 = 1 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m} \cdot 0,01 \text{ m} = 0,0001 \text{ m}^2$$

Odpowiedź: $1 \text{ dm}^2 = 0,01 \text{ m}^2$, a 1 cm^2 to $0,0001 \text{ m}^2$.

Przykład 3.

Film zaczyna się o godzinie 16:30, a kończy o 18:20. Ile sekund trwa film?

Rozwiązanie

Obliczamy, jak długo trwa film.

Od godziny 16:30 do godziny 18:20 upływa 1 godzina i 50 minut, co zapisujemy:

$$1 \text{ h } 50 \text{ min} = 60 \text{ min} + 50 \text{ min} = 110 \text{ min} = 110 \cdot 60 \text{ s} = 6600 \text{ s}$$

Odpowiedź: Film trwa 6600 s.

W skrócie

- Wielkości fizyczne to cechy i właściwości ciała fizycznego lub zjawiska, dające się wyrazić w sposób ilościowy.
- Pomiar wielkości fizycznej to porównanie jej z wielkością wzorcową przyjętą za jej jednostkę.
- Wielkości fizyczne mierzymy za pomocą odpowiednich przyrządów.
- Każda wielkość fizyczna ma ustalone swoje jednostki.
- Wartość wielkości fizycznej podaje się wraz z jej jednostką.
- Międzynarodowy Układ Jednostek Miar – układ SI – definiuje jednostki podstawowe, które stosujemy również w Polsce.
- Większe i mniejsze jednostki tworzy się za pomocą odpowiednich przedrostków.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Przepisz do zeszytu i uzupełnij brakujące dane.
 $1 \text{ m} = ? \text{ km}$ $1 \text{ m} = ? \text{ dm}$
 $1 \text{ m} = ? \text{ cm}$ $1 \text{ m} = ? \text{ mm}$
 $1 \text{ m} = ? \text{ }\mu\text{m}$ $1 \text{ m} = ? \text{ nm}$
- 2 Średnica rur hydraulicznych i przekątna ekranów telewizorów, monitorów czy smartfonów najczęściej podawana jest w calach. Wiedząc, że $1 \text{ cal} = 2,54 \text{ cm}$, oblicz, ile centymetrów długości ma przekątna 60-calowego telewizora.
- 3 Wyraź:
a) w metrach:
3 km; 1,8 km; 0,35 km; 4,04 km;
b) w milimetrach:
0,57 m; 3,54 dm; 8,2 cm; 0,043 cm;
c) w kilometrach:
8200 m; 4500 cm; 360 m; 24 m.

1.4 Planujemy pomiary i doświadczenia

Podejmij temat

- Jak bezpiecznie przeprowadzać doświadczenia?
- Jeśli długość tej samej sali zmierzają dwie osoby, to czy mogą otrzymać różne wyniki?
- Czy możemy powiedzieć, że pomiar jest idealnie dokładny?

Zasady obowiązujące w pracowni fizycznej

Ucząc się fizyki, będziecie planować i wykonywać obserwacje, pomiary i doświadczenia w szkolnej pracowni fizycznej. Należy przy tym przestrzegać określonych zasad bezpieczeństwa i higieny pracy (**BHP**). Zasady te najczęściej zawarte są w **Regulaminie BHP** obowiązującym w pracowni fizycznej.

Siedem zasad, czyli – jak się zachowywać podczas lekcji w pracowni fizycznej

1. Wszystkie doświadczenia możesz wykonywać tylko za zgodą nauczyciela.
2. W czasie wykonywania doświadczeń przestrzegaj instrukcji oraz stosuj się do uwag i wskazówek nauczyciela.
3. Dbaj o bezpieczeństwo – swoje i osób, z którymi przebywasz w pracowni.
4. Doświadczenia przeprowadzaj w skupieniu, z zachowaniem wszelkich środków ostrożności.
5. Zachowaj szczególną ostrożność podczas pracy z ciężkimi, szklanymi, ostrymi, gorącymi przedmiotami lub urządzeniami elektrycznymi.
6. Wszelkie braki i uszkodzenia sprzętu zgłaszaj nauczycielowi.
7. Po zakończeniu doświadczenia sprawdź stan przyrządów i umieść je w wyznaczonym do tego miejscu.

Pomiar i jego dokładność

Zapewne każdy z was używał już przyrządów pomiarowych. Na lekcjach matematyki mierzyliście długości odcinków, a w domu – długości różnych przedmiotów.

Czy zauważyliście, że różne przyrządy pozwalają mierzyć długość z różną **dokładnością** i w różnym **zakresie**?

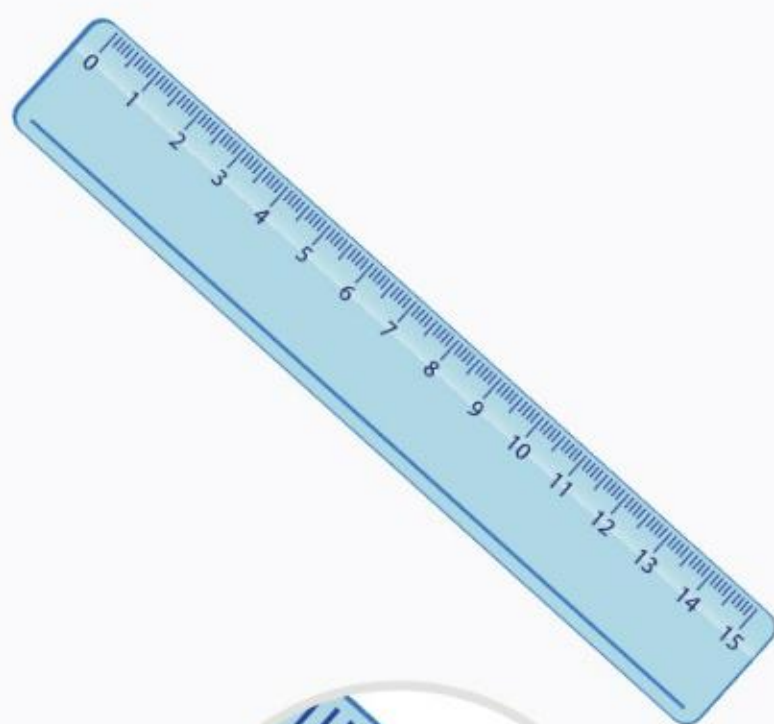
Zakres przyrządu pomiarowego

to zakres wartości wielkości mierzonej, dla których narzędzie pomiarowe może być stosowane. Wyróżnia się dwie granice zakresu pomiarowego – dolną i górną.

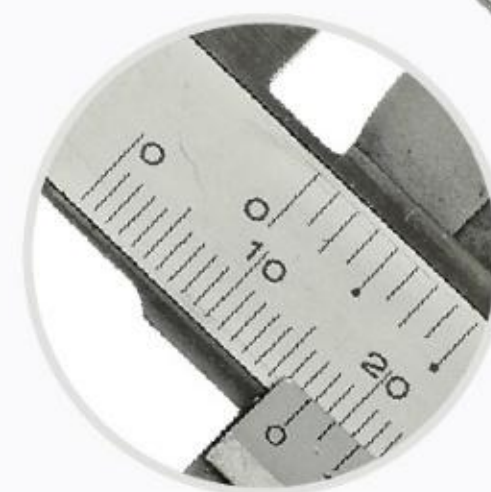
Najmniejsza działka przyrządu pomiarowego, czyli różnica pomiędzy dwiema najbliższymi wartościami skali pomiarowej, określa dokładność, z jaką możemy dokonać pomiaru.



Taśmą mierniczą można zmierzyć długość z dokładnością do 1 cm, w zakresie od 0 cm do np. 5 m.



Linijką, która ma podziałkę co 1 mm, można zmierzyć długość z dokładnością do 1 mm, w zakresie od 0 cm do 15 cm.



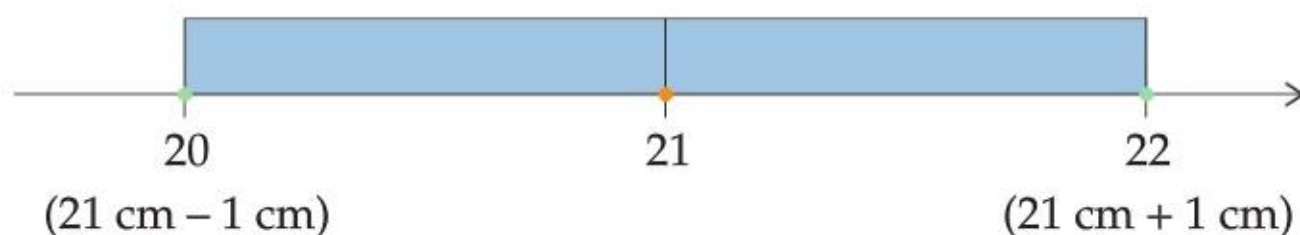
Suwmiarką można zmierzyć długość z dokładnością do 0,05 mm, w zakresie od 0 do 200 mm.

Niepewność pomiarowa

Dokładność przyrządu jest w opisanych wcześniej przypadkach miarą **niepewności pomiarowej** i określa pewną tolerancję, z którą mierzymy dany przedmiot. W związku z tym możemy powiedzieć, że **żaden pomiar nie jest idealnie dokładny, a niepewność pomiarowa określa dopuszczalne odchylenie wyniku pomiaru od wartości rzeczywistej**. Niepewność pomiarową uwzględniamy przy zapisie wyniku, stosując zapis:

wynik $\pm$ niepewność pomiarowa

Na przykład wynik pomiaru długości kartki uzyskany za pomocą taśmy mierniczej zapiszemy: $21 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$, a za pomocą linijki szkolnej: $210 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ lub $(210 \pm 1) \text{ mm}$. Niepewność pomiarowa określa więc przedział, w którym zawiera się wartość wyznaczonej wielkości fizycznej **zmierzonej bezpośrednio**. Przedział ten jest równy podwójnej wartości niepewności pomiarowej.



Przedział, w którym zawiera się wartość wyznaczonej wielkości fizycznej

Niepewność pomiarowa

zależy od użytego przyrządu i jest w przypadku pomiarów pojedynczych, bezpośrednich równa dokładności użytego przyrządu.

Pomiar bezpośredni to pomiar, w którym odpowiedni przyrząd pomiarowy wyznacza od razu wartość mierzonej wielkości fizycznej, np. pomiar długości kartki za pomocą linijki, czasu za pomocą stopera, temperatury za pomocą termometru.

Więcej na temat

Niepewność pomiarowa – inny przypadek

Wiesz już, że każdy pomiar jest obarczony niepewnością pomiarową. Jeśli wyniki pomiarów różnią się od siebie o więcej niż wynosi podwójna najmniejsza działka przyrządu pomiarowego, to wówczas możemy przyjąć, że niepewność pomiarowa (Δx) (czyt. delta x) – jest równa połowie różnicy pomiędzy największą ($x_{\max}$) i najmniejszą wartością pomiaru ($x_{\min}$).

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

Zauważ, że dla dwóch wyników różniących się od siebie o podwójną najmniejszą działkę przyrządu otrzymamy z podanego wzoru, że Δx równa jest dokładności przyrządu.



Uczeń zmierzył wysokość latarki za pomocą linijki w sposób pokazany na rysunku. Czy pomiar został wykonany poprawnie?

Omówimy teraz przykład, w którym dwoje uczniów za pomocą linijek dokonało pomiaru długości ołówka i uzyskało wyniki: 15,8 cm i 15,9 cm.

Przeanalizujemy prawdopodobne źródła różnic w wynikach pomiarów:

- przyłożenie początku skali przyrządu do początku odcinka mogło być mniej lub bardziej dokładne,
- koniec mierzonego odcinka mógł nie pokrywać się z tą samą działką na linijkach,
- oko podczas pomiaru mogło nie być ustawione prostopadle do danego miejsca przymiaru (tzw. błąd paralaksy),
- linijki mogły być niejednakowo wyskalowane.

Jak więc widać, na dokładność pomiaru mają wpływ głównie:

- sposób dokonania pomiaru (właściwe ustawienie przyrządu, obserwacja i odczyt),
- różnice w dokładności przyrządów pomiarowych.

Pomiar wielokrotny, średnia arytmetyczna

Czy wiesz, pomiar którego z uczniów był bliższy rzeczywistej długości ołówka?

Aby uzyskać wartość najbliższą rzeczywistej, często dokonujemy wielokrotnego pomiaru określonej wielkości, a następnie obliczamy średnią arytmetyczną.

Średnią arytmetyczną obliczamy, dodając wszystkie wyniki i dzieląc otrzymaną sumę przez liczbę pomiarów.

$$x_{\text{średnia}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Przykład 4.

Pięcioro uczniów za pomocą linijek dokonało pomiaru długości ołówka. Uzyskali wyniki: 15,8 cm, 15,7 cm, 15,8 cm, 15,9 cm i 15,9 cm. Zapisali je w tabeli.

Wyniki pomiaru długości ołówka

Numer pomiaru	1	2	3	4	5
Zmierzona długość ołówka l (cm)	15,8	15,7	15,8	15,9	15,9

Korzystając ze wzoru, wyznaczyli średnią arytmetyczną:

$$l_{\text{średnie}} = \frac{15,8 \text{ cm} + 15,7 \text{ cm} + 15,8 \text{ cm} + 15,9 \text{ cm} + 15,9 \text{ cm}}{5} = 15,82 \text{ cm}$$

Wynik obliczeń uczniowie muszą podać z taką samą dokładnością, z jaką były zapisane wyniki pomiarów, czyli z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.

$$l_{\text{średnie}} \approx 15,8 \text{ cm}$$

Ponieważ wyniki nie różniły się między sobą o więcej niż podwójną dokładność linijki, to w tym przypadku uczniowie mogą uznać, że niepewność pomiarowa jest równa dokładności linijki i zapisać wynik w postaci:

$$l_{\text{średnie}} \approx 15,8 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$$

Niestety, nie możemy powiedzieć z całą pewnością, że wynik 15,8 cm (średnia arytmetyczna) jest rzeczywistą długością ołówka. Na pewno jest bardziej prawdopodobny niż wynik pojedynczego pomiaru.

Pomiar polega na ustaleniu najbardziej prawdopodobnej wartości wielkości fizycznej x_{sr} oraz przedziału niepewności pomiarowej, w którym znajduje się wartość rzeczywista.

Przybliżony wynik obliczeń, cyfry znaczące

Przypomnijcie sobie zasadę zaokrąglania liczb, którą zastosowali też uczniowie mierzący długość ołówka. Średnią arytmetyczną długości ołówka 15,82 cm uczniowie zaokrąglili do 15,8 cm, gdyż ostatnia cyfra wynosiła 2. Gdyby po cyfrze 8 znajdowała się cyfra 5 lub większa od 5, wówczas wynik zaokrągliliby do 15,9 cm. Wyobraźcie sobie teraz sytuację, że sześciu uczniów otrzymało wynik 15,8 cm, a jeden uczeń 15,9 cm. Obliczona w tym przypadku średnia arytmetyczna wynosi 15,8142857143 cm. Nie oznacza to przecież, że zmierzili oni długość ołówka z dokładnością 0,0000000001 cm. Nie znamy takiego przyrządu pomiarowego. Wynik z tak dużą dokładnością nie ma więc żadnego sensu fizycznego i jest jedynie efektem obliczeń na kalkulatorze. Liczbę tę w tym przypadku należy **zaokrąglić** do najmniejszej działki skali użytego przyrządu równej niepewności pomiarowej, czyli podać tylko **cyfry znaczące**. W tym przypadku również średnia wynosić będzie 15,8 cm, czyli wynik będzie zaokrąglony do trzech cyfr znaczących.

Pierwsza **cyfra znacząca** to pierwsza, różna od zera cyfra wyniku, gdy liczymy od strony lewej. Liczba cyfr znaczących określa dokładność, z jaką należy podać wynik.

Krok po kroku

Przykłady zaokrąglania liczb

Liczba większa od zera	Liczba mniejsza od zera
2743 mm 2 – pierwsza cyfra znacząca 7 – druga cyfra znacząca 4 – trzecia cyfra znacząca 3 – czwarta cyfra znacząca Po zapisaniu z dokładnością do dwóch cyfr znaczących otrzymamy 2700 mm.	0,03438 km 3 – pierwsza cyfra znacząca 4 – druga cyfra znacząca 3 – trzecia cyfra znacząca 8 – czwarta cyfra znacząca Po zapisaniu z dokładnością do trzech cyfr znaczących otrzymamy 0,0344 km.

Na lekcjach fizyki najczęściej będziemy wyniki zaokrąglać do trzech lub dwóch cyfr znaczących.

Przykład 5.

Przeanalizujmy przykłady zaokrąglania liczb:

a) do trzech cyfr znaczących

$$365\,432\text{ m} = 365\,000\text{ m}$$

$$4258\text{ cm} = 4260\text{ cm}$$

$$25,483\text{ m} = 25,5\text{ m}$$

$$0,05345\text{ km} = 0,0535\text{ km}$$

b) do dwóch cyfr znaczących

$$765\,432\text{ m} = 770\,000\text{ m}$$

$$824\text{ cm} = 820\text{ cm}$$

$$5,043\text{ m} = 5,0\text{ m}$$

$$0,001324\text{ km} = 0,0013\text{ km}$$

W skrócie

- Żaden pomiar nie jest idealnie dokładny.
- Najmniejsza działka przyrządu pomiarowego określa dokładność, z jaką możemy dokonać pomiaru.
- Niepewność pomiarowa jest równa dokładności użytego przyrządu.
- Wyniki pomiarów i ich niepewności należy podawać z taką samą dokładnością.
- Pomiar polega na ustaleniu najbardziej prawdopodobnej wartości wielkości fizycznej oraz przedziału niepewności pomiarowej, w którym znajduje się wartość rzeczywista.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

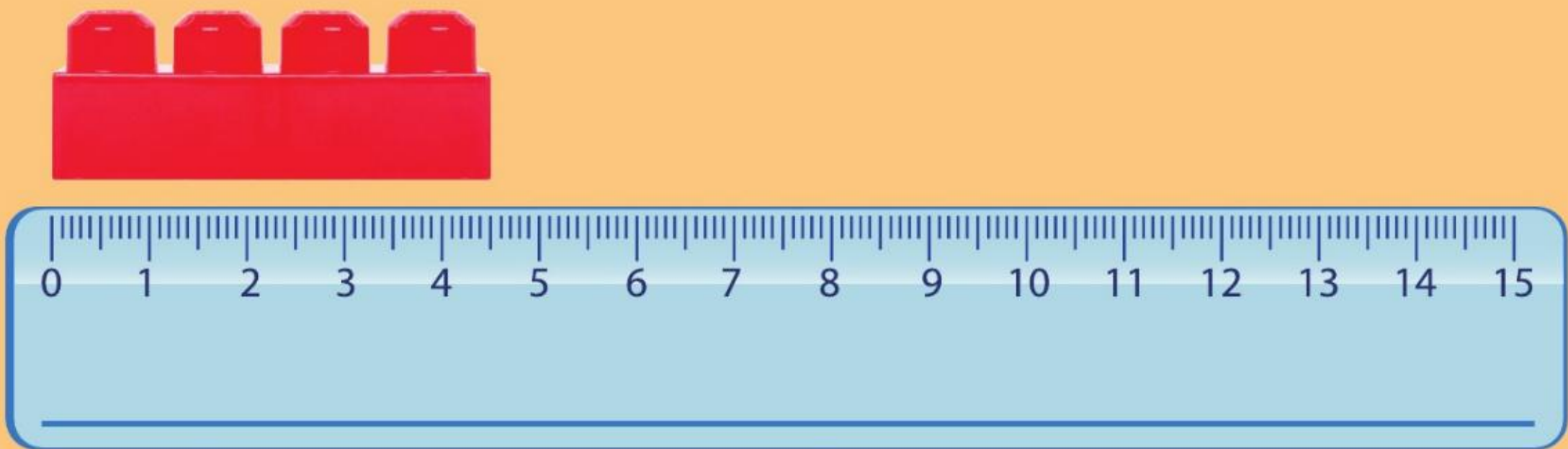
- 1 Zaokrąglij podane wartości wielkości fizycznej do:
a) dwóch cyfr znaczących: 735 m; 0,06434 km; 29,5 cm;
b) trzech cyfr znaczących: 4184 mm; 24,745 m; 0,28485 km.
- 2 Wyjaśnij, co oznacza dany zapis wyniku pomiaru.
(16 ± 1) mm
- 3 Trzech uczniów zmierzyło szerokość kartki z notatnika linijką o dokładności 1 mm. Otrzymali wyniki: 10,3 cm; 10,4 cm; 10,3 cm. Oblicz wartość średnią wyników, zaokrąglaj wynik i zapisz wraz z niepewnością pomiarową.

Podsumowanie działu 1

Ważne pojęcia

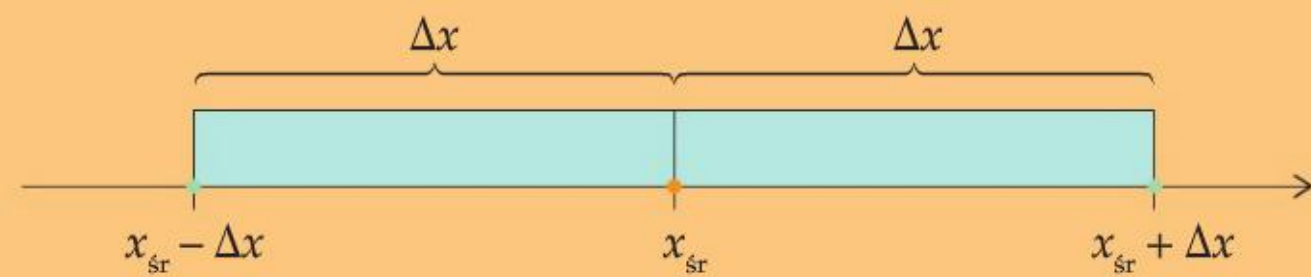
zjawisko fizyczne	ciało fizyczne	substancja	metoda naukowa	obserwacja	pomiar
doświadczenie	przyrząd	czynniki istotne	czynniki nieistotne	pojęcie fizyczne	
wielkość fizyczna		jednostka	Międzynarodowy Układ Jednostek Miar		
jednostka podstawowa		niepewność pomiarowa	pomiar bezpośredni		

- Fizyka** zajmuje się poznawaniem tego, co nas otacza, bada materię i jej właściwości, wyjaśnia zjawiska zachodzące w przyrodzie i odkrywa jej prawa.
- Podstawowym źródłem wiedzy fizycznej są **obserwacje, pomiary i doświadczenia**.
- Wielkości fizyczne** to cechy i właściwości ciała fizycznego lub zjawiska, dające się wyrazić w sposób ilościowy.
- Pomiar wielkości fizycznej** to porównanie jej z wielkością wzorcową przyjętą za jej jednostkę.
- Wielkości fizyczne mierzymy za pomocą odpowiednich **przyrządów**.
- Każda wielkość fizyczna ma ustalone swoje jednostki, a jej wartość podaje się wraz z jej jednostką.
- Międzynarodowy Układ Jednostek Miar – układ SI** – definiuje jednostki podstawowe, które stosujemy również w Polsce.
- Pomiar bezpośredni** to pomiar, w którym odpowiedni przyrząd pomiarowy wyznacza od razu wartość mierzonej wielkości fizycznej.
- Żaden pomiar nie jest idealnie dokładny.
- Najmniejsza działka przyrządu pomiarowego określa dokładność, z jaką możemy dokonać pomiaru.
- Niepewność pomiarowa** zależy od użytego przyrządu i jest – w przypadku pomiarów bezpośrednich – równa dokładności użytego przyrządu.



Wynik pomiaru długości klocka zapiszemy w postaci: $4,5 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$

Pomiar polega na ustaleniu najbardziej prawdopodobnej wartości wielkości fizycznej x_{sr} oraz przedziału niepewności pomiarowej, w którym znajduje się wartość rzeczywista.



Do przedziału $2 \Delta x$ należy rzeczywista wartość wielkości fizycznej; może nią być dowolna liczba z tego przedziału.

Wyniki pomiarów i ich niepewności pomiarowe należy podawać z taką samą dokładnością.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Na ilustracji przedstawiono przedmioty i opisano niektóre ich cechy. Zapisz w zeszycie:
- a) nazwy ciał fizycznych i substancji,
 - b) nazwy tych cech przedmiotów, które są wielkościami fizycznymi.



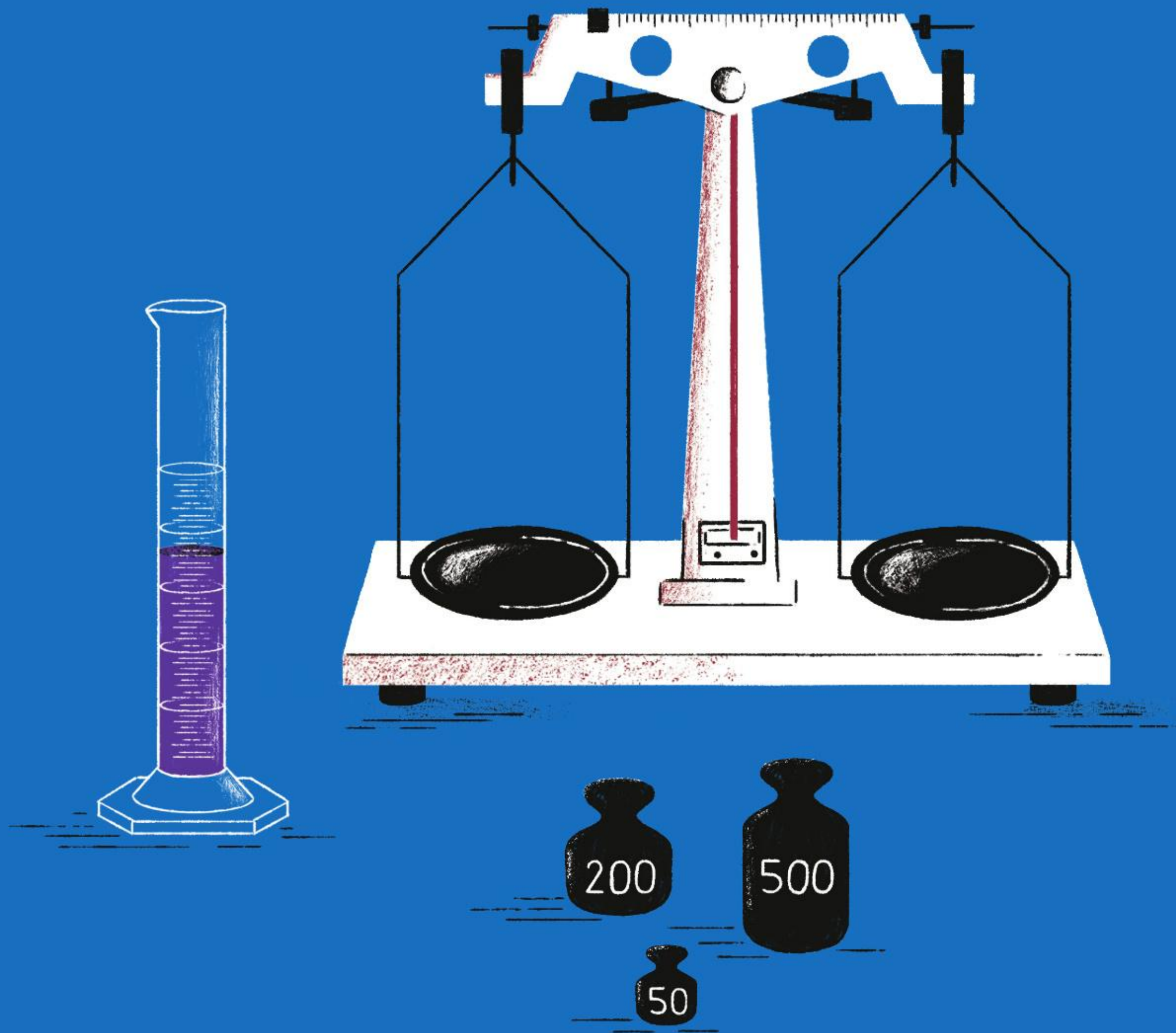
- 2 Uczeń wykonał suwmiarką pomiar średnicy śruby. Odczytał zmierzoną wartość i zapisał wynik: $l = 4,9 \text{ mm}$. Wykonaj polecenia.
- a) Przepisz do zeszytu i połącz liniami odpowiadające sobie wyrażenia.

jednostka	niepewność pomiarowa	przedrostek	symbol (oznaczenie) wielkości fizycznej	dokładność przyrządu	wartość
m	4,9	l	0,1 mm	mm	0,1 mm

b) Zapisz wynik ucznia w mikrometrach i z użyciem jednostki podstawowej układu SI.

- 3 Trzech uczniów zmierzyło długość stołu laboratoryjnego przymiarem z podziałką co 0,5 cm. Otrzymali następujące wyniki: 300,0 cm; 300,5 cm; 300,5 cm. Oblicz wartość średnią wyników. Odpowiedz, w jaki sposób należy zaokrąglić wynik. Zapisz wynik wraz z niepewnością pomiarową.

2. Pierwsze pomiary fizyczne



1. W jaki sposób zmierzyć podstawowe wielkości fizyczne?
2. Jakich przyrządów należy użyć w tym celu?
3. Czy jest różnica między masą a ciężarem ciała?
4. Jak wyznaczyć gęstość substancji?

2.1 Pomiar podstawowych wielkości fizycznych

Podejmij temat

- Jak często mierzysz różne wielkości fizyczne?
- Czy wszystko musi być mierzone?

Ciekawe!

System sześćdziesiątkowy, stosowany obecnie dla jednostek czasu (1 godzina = 60 minut, 1 minuta = 60 sekund), zawdzięczamy starożytnym Sumerom i Akadyjczykom. Stosowali go oni dla uniwersalnych jednostek – masy i monetarnych (1 talent = 60 min, 1 mina = 60 szekli).



Grecką literą Δ (delta) będziemy oznaczać różnicę między wartością końcową a wartością początkową dowolnej wielkości fizycznej.

Jeszcze o pomiarze długości

W szkole najczęściej posługujesz się linijką i mierzysz długości odcinków lub podajesz wymiary małych przedmiotów. Poznałeś też kilka innych przyrządów do pomiaru długości i dowiedziałeś się, w jaki sposób trzeba dokonać pomiaru i określić niepewność pomiarową. Pamiętaj, że zawsze należy odpowiednio dobrać przyrząd pomiarowy do tego, co chce się zmierzyć. Jeśli będziesz chciał zmierzyć długość okładki książki, wystarczy użyć linijki, ale do określenia wymiarów ogródka potrzebna będzie taśma miernicza. Z kolei do wyznaczania odległości między miejscowościami użyjesz licznika kilometrów w samochodzie. Zmierzy on długość trasy przebytej przez pojazd. Możesz też użyć przyrządu elektronicznego, takiego jak dalmierz, lub różnych aplikacji na smartfonie. Jednostką podstawową długości jest 1 metr, lecz często długość i odległość będziesz wyrażać również w milimetrach, centymetrach czy kilometrach.

Pomiar czasu

Jedną z pierwszych wykonywanych codziennie rano czynności jest sprawdzenie, która jest godzina. Spoglądasz na zegar ścienny, budzik czy ekran komórki i szybko przeliczasz, ile masz czasu do chwili wyjścia z domu. Wszystkie wykonywane przez nas czynności zachodzą w określonym czasie. **Czas** ich trwania obliczysz w następujący sposób:

$$\Delta t = t - t_0$$

Δt (czyt. delta t) – różnica między końcową (t) a początkową wartością czasu (t_0).

Jednostką podstawową czasu jest sekunda, ale równie często będziesz wyrażać czas w minutach i godzinach.

Przypomnij sobie: $1 \text{ s} = \frac{1}{60} \text{ min} = \frac{1}{3600} \text{ h}$, a $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$.



A.



B.



C.

2.1 A. Zegar słoneczny, B. Klepsydra, C. Zegarek na rękę

Pomiar masy

Inną wielkością fizyczną, z którą masz do czynienia codziennie, jest **masa**. Robiąc zakupy, szukasz informacji na opakowaniu lub używasz wagi, aby sprawdzić ilość produktu. Powszechnie stosowanymi, w sklepach i domach, przyrządami do pomiaru masy są obecnie wagi elektroniczne (il. 2.2).



2.2 Wagi elektroniczne

Powiemy, że wyznaczając na wadze masę ciała, określamy ilość materii, z której zbudowane jest to ciało.

Jednostką masy w układzie SI jest kilogram. Masę możemy wyrazić również w gramach ($1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg}$) czy tonach ($1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$).

Jednym z urządzeń szkolnych służących do pomiaru masy jest waga szalkowa (il. 2.3), zbudowana z belki podtrzymywanej w środku długości przez przegub i z szalek zawieszonych na obu jej końcach. Ciało, którego masę chcemy zmierzyć, umieszczamy na jednej szalce. Na drugiej ustawiamy odważniki o znanej masie.

Ważenie polega na porównaniu masy ważonego ciała z masą odważników.



2.3 Wagi szalkowe

Ciekawe!



Od 1889 roku wzorcem 1 kilograma był walec o średnicy i wysokości ok. 39 mm, wykonany ze stopu platyny (90%) i irydu (10%), przechowywany w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag w Sèvres (czyt. sewr) pod Paryżem. Dawniej za taki wzorec był przyjmowany 1 litr wody o temperaturze 4°C , przy normalnym ciśnieniu. 16 listopada 2018 roku ustalono, że od 20 maja 2019 roku wzorec kilograma zostanie oparty na stałej Plancka (dowiesz się o niej w szkole średniej).



Długość, czas i masa to wielkości skalarne. Do ich określenia wystarczy podać liczbę wraz z jednostką.



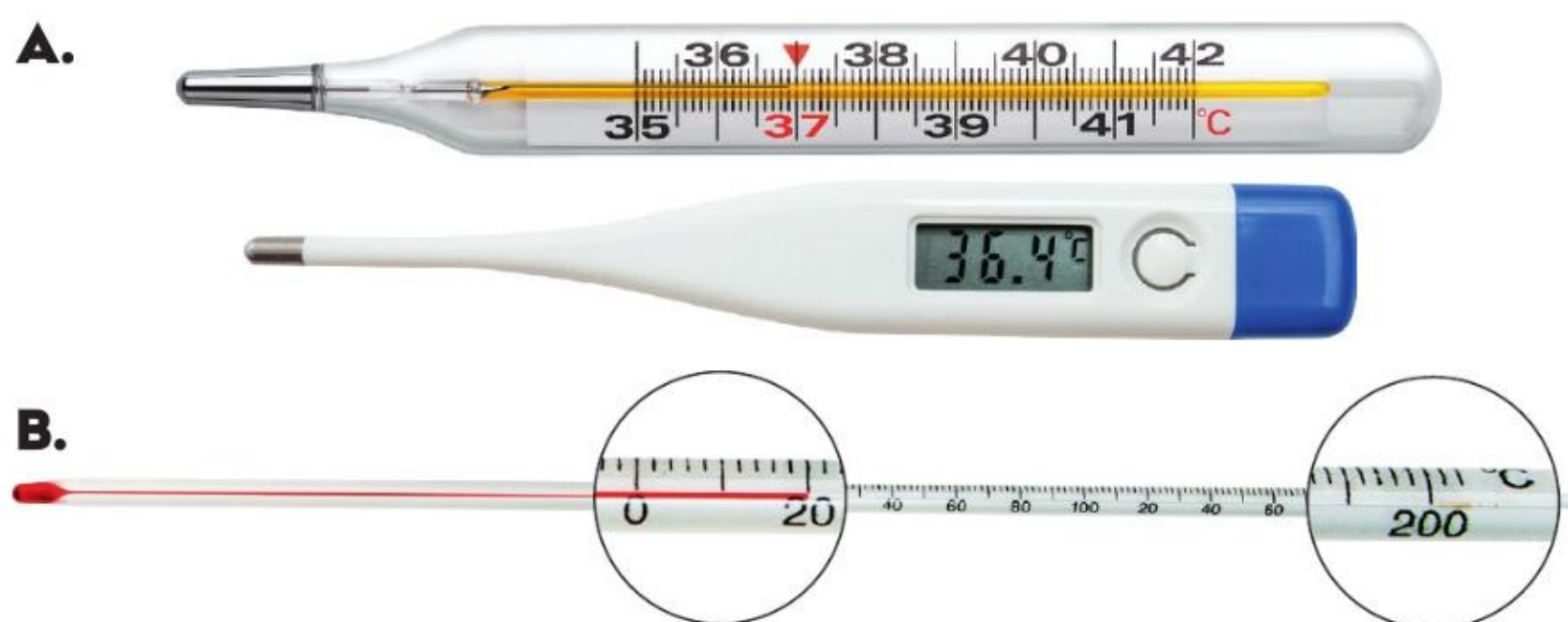
Na fotografii (il. 2.4 A.) widzisz szklany termometr lekarski, który pozwala mierzyć temperaturę w zakresie od 35°C do 42°C , z dokładnością do $0,1^{\circ}\text{C}$. Czy potrafisz odczytać ze skali pozostałych termometrów ich zakres, dokładność i wskazywaną temperaturę?



2.5 Prędkościomierze (szybkościomierze) samochodowe

Pomiar temperatury

Kolejnym pomiarem bezpośrednim, czyli takim, że wprost z przyrządu odczytujesz wartość mierzonej wielkości fizycznej, jest **pomiar temperatury**. Na pewno znasz różne przyrządy mierzące temperaturę. Gdy zdarzyło ci się zachorować, nieraz mierzyłeś temperaturę swego ciała termometrem lekarskim (il. 2.4 A.). Często spoglądasz pewnie na termometr zaokienny, aby sprawdzić temperaturę powietrza. Równie często mierzymy temperaturę w pomieszczeniach, temperaturę pieczonych potraw czy odczytujemy temperaturę panującą w piekarniku. W pracowni fizycznej będziemy wykorzystywać termometr laboratoryjny (il. 2.4 B.) – szklany lub elektroniczny – wskazujący temperaturę w skali stosowanej w Polsce, czyli skali Celsjusza. Naukowcy zazwyczaj stosują inną skalę – skalę Kelvina, którą poznasz w dalszej części podręcznika.



2.4 A. Termometry lekarskie, B. Termometr laboratoryjny

Szybko, szybciej – pomiar szybkości

Zastanawiałeś się kiedyś, co oznacza polecenie *zrób to szybciej*? Gdy to słyszysz, od razu wiesz, że musisz skrócić czas, w którym planujesz wykonać określoną czynność – np. odkurzyć dywan w ciągu 10, a nie 20 minut, pokonać drogę do szkoły w ciągu 2, a nie 4 minut. W obu przypadkach możesz powiedzieć, że odkurzałeś lub szedłeś do szkoły dwa razy szybciej. Jeśli podasz, że w czasie 4 minut przebyłeś odległość 200 metrów, to oznacza, że w czasie 1 minuty pokonałeś 50 metrów. Można inaczej powiedzieć, że poruszałeś się z szybkością (nazywaną też prędkością) 50 metrów na minutę, co można zapisać w taki sposób: $50 \frac{\text{m}}{\text{min}}$. Podobnie zapiszesz szybkość samochodu (oznaczaną w fizyce symbolem v), który 60 kilometrów przejechał w czasie 1 godziny: $v = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (czytaj: v równa się 60 kilometrów na godzinę). Przyrządem do bezpośredniego pomiaru szybkości jest prędkościomierz (il. 2.5). Na pewno widziałeś w samochodzie, np. jak wskazówka przyrządu pokazuje szybkość jazdy w danej chwili.

Średnią szybkość samochodu możesz również wyznaczyć, mierząc przebytą odległość oraz czas, w którym ta odległość została przebyta. Ten sposób obliczania poznasz dokładniej w dalszej części podręcznika.

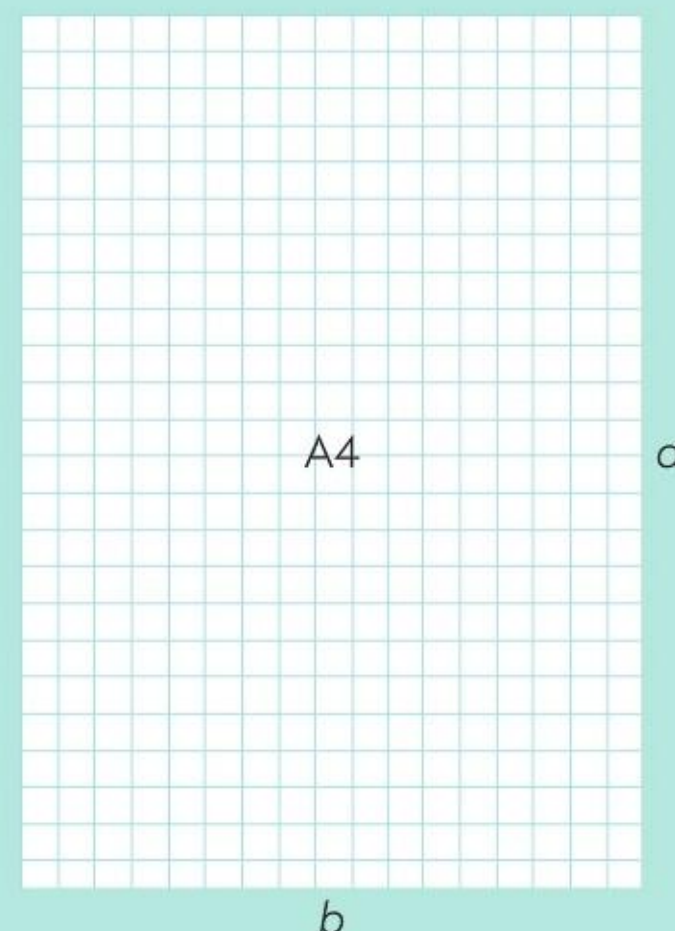
Więcej na temat



Pomiar pośredni i metoda najmniej korzystnego przypadku (NKP)

Istnieją takie wielkości fizyczne, których nie możemy wyznaczyć bezpośrednio. Dowiedziałeś się ostatnio, że średnią szybkość samochodu możesz również wyznaczyć, mierząc przebytą odległość oraz czas, w którym ta odległość została przebyta. Powiemy wówczas, że wyznaczamy daną wielkość **pośrednio**, korzystając ze związków między wielkościami mierzonymi bezpośrednio.

Obliczymy pole powierzchni kartki papieru A4, mierząc jej długość (a) i szerokość (b) za pomocą odpowiednio długiej linijki, o dokładności $0,1\text{ cm}$. Pole powierzchni (S) kartki obliczymy ze wzoru: $S = a \cdot b$



pomiar długości
 $a = 29,7\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$

×

pomiar szerokości
 $b = 21,1\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$

=

pole powierzchni kartki
 $S = 626,67\text{ cm}^2 \approx 627\text{ cm}^2$

Niepewność pomiarową wyznaczymy za pomocą **metody najmniej korzystnego przypadku (NKP)**.

Przy obliczeniach uwzględniamy najmniejsze i największe wartości przedziałów określonych przez niepewności pomiarowe mierzonych wartości. Wyniki zapisujemy z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Maksymalny wynik pola powierzchni kartki obliczymy następująco:

maksymalna długość
 $a_{\max} = 29,8\text{ cm}$

×

maksymalna szerokość
 $b_{\max} = 21,2\text{ cm}$

=

maksymalne pole powierzchni kartki
 $S_{\max} = 631,76\text{ cm}^2 \approx 632\text{ cm}^2$

Minimalny wynik pola powierzchni kartki obliczymy następująco:

minimalna długość
 $a_{\min} = 29,6\text{ cm}$

×

minimalna szerokość
 $b_{\min} = 21,0\text{ cm}$

=

minimalne pole powierzchni kartki
 $S_{\min} = 621,6\text{ cm}^2 \approx 622\text{ cm}^2$

Niepewność pomiarową pola powierzchni kartki obliczamy ze wzoru:

$$\Delta S = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{2}$$

$$\Delta S = \frac{632\text{ cm}^2 - 622\text{ cm}^2}{2} = 5\text{ cm}^2$$

Wynik pomiaru pola powierzchni kartki wraz z niepewnością pomiarową zapiszemy:

$$S = 627\text{ cm}^2 \pm 5\text{ cm}^2 \text{ lub } S = (627 \pm 5)\text{ cm}^2$$



W 1889 roku I Generalna Konferencja Miar określiła metr jako odległość między odpowiednimi kreskami na wzorcu, którym był pręt platynowo-irydowy. Obecnie metr definiowany jest jako odległość, którą przebywa światło w ściśle określonym czasie.

W skrócie

- Wyznaczając na wadze masę ciała, określasz ilość materii, z której zbudowane jest to ciało.
- Ważenie na wadze szalkowej polega na porównaniu masy ważonego ciała z masą odważników.

Tabela 3. Zestawienie wielkości fizycznych mierzonych na co dzień

Mierzona wielkość	Symbol wielkości fizycznej	Przyrządy pomiarowe	Jednostki wielkości fizycznej najczęściej stosowane w czasie pomiarów
długość, odległość	l	linijka, taśma miernicza	cm, m, km
czas	t	stoper, zegar	s, min, h
masa	m	waga elektroniczna, waga szalkowa	g, dag, kg
temperatura	t	termometr	°C
temperatura	T	termometr	K (kelwin)
szybkość (prędkość)	v	szybkościomierz (prędkościomierz)	$\frac{m}{s}$, $\frac{km}{h}$, $\frac{cm}{s}$

- Do mierzenia temperatury np. ciała, pomieszczenia czy potraw, użyjemy różnych rodzajów termometrów.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 W małych grupach zaproponujcie pomiar jednej z czterech wielkości fizycznych: długości, masy, czasu lub temperatury, tak aby każda z nich była zmierzona przynajmniej przez jedną grupę. Wybierzcie, co chcecie zmierzyć i jakimi przyrządami pomiarowymi. Pomiar wykonajcie co najmniej trzykrotnie i zapiszcie otrzymane wartości. Wyliczcie średnią arytmetyczną, podajcie dokładność i zakres pomiarowy przyrządu oraz wynik wraz z niepewnością pomiarową.
- 2 Sprawdźcie, jakie wielkości fizyczne możecie zmierzyć z użyciem dostępnych na smartfonie (tablecie) aplikacji. W miarę możliwości dokonajcie dowolnego pomiaru i opowiedzcie o nim w klasie.
- 3 Dokonaj pomiaru temperatury pokojowej oraz czasu powrotu ze szkoły do domu. Wyniki zapisz, uwzględniając niepewność pomiarową.
- 4 Jak zmierzyć za pomocą linijki grubość pojedynczej kartki? Wymyśl odpowiednią metodę pomiaru i opisz ją w zeszycie. Wyznacz grubość dowolnej kartki papieru.

2.2 Wyznaczanie objętości ciał

Podejmij temat

- Jak wyznaczyć objętość własnego ciała?
- Kiedy Archimedes krzyknął: *Eureka*?

Objętość i jej jednostki

Na lekcjach matematyki uczyłeś się, jak wyliczać **objętość** brył o regularnych kształtach. Pamiętasz zapewne, że jednostką podstawową objętości jest 1 m^3 . Jednostkami pochodnymi są 1 dm^3 i 1 cm^3 . W tych jednostkach wyrażamy objętość ciał stałych, cieczy i gazów.

Łatwo obliczyć, ile decymetrów sześciennych jest zawartych w jednym metrze sześciennym:

$$1 \text{ m}^3 = 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 10 \text{ dm} \cdot 10 \text{ dm} \cdot 10 \text{ dm} = 1000 \text{ dm}^3$$

lub ile cm^3 zawiera 1 dm^3 :

$$1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ dm} \cdot 1 \text{ dm} \cdot 1 \text{ dm} = 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^3$$

W praktyce często objętość wyrażamy w litrach, np. pojemność naczyń. Przyjmujemy, że $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$.

Jednostkami pochodnymi litra są:

$$1 \text{ hektolitr} = 1 \text{ hl} = 100 \text{ l}$$

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

Jak wyznaczyć objętość cieczy?

Jeżeli chcemy wyznaczyć objętość cieczy z dużą dokładnością, używamy **cylin-
drów miarowych**, tzw. **menzurek** (il. 2.7).

Doświadczenie 2.

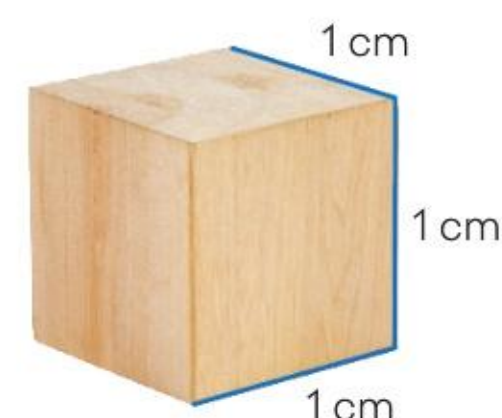
Wyznaczamy objętość cieczy

Niezbędne przedmioty: menzurka, zakraplacz

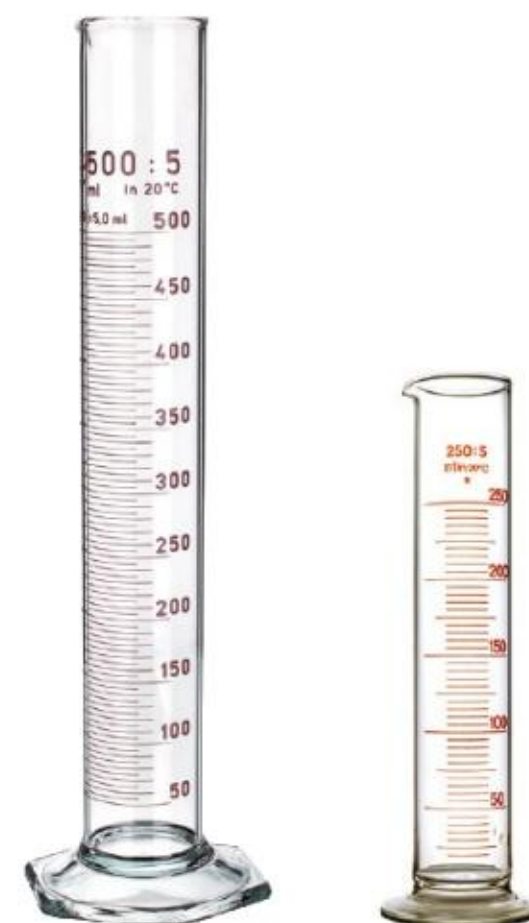
Wykonanie:

- Do menzurki ustawionej na stole nalej trochę wody i odczytaj jej objętość. Zastanów się, na co należy zwrócić uwagę, aby poprawnie odczytać poziom wody, a więc i jej objętość.
- Odmierz przy użyciu menzurki 5 cm^3 (5 ml) wody.
- Aby dokładnie odmierzyć tę ilość wody, możesz dodatkowo posłużyć się zakraplaczem lub cienką rurką. Trzymając palec u wylotu rurki (lub naciskając gumkę zakraplacza), możesz wpuszczać wodę po kropli do menzurki, aż do uzyskania dokładnego wyniku.

Objętość określa wielkość przestrzeni, jaką zajmuje dane ciało.



2.6 Sześcian o objętości 1 cm^3



2.7 Cylindry miarowe



Sprawdźcie, jakie cylindry miarowe znajdują się w waszej pracowni. Zapoznajcie się z ich skalą (zależną od średnicy menzurki). Odczytajcie, jakie są ich dokładność oraz zakres.

Ciekawe!

Jednostką pojemności statku jest tzw. tona rejestrowa (RT), równa $2,83 \text{ m}^3$. Wynika stąd, że statek o tonażu 100 000 RT dysponuje (na załadunek) wewnętrzną przestrzenią o pojemności $283\,000 \text{ m}^3$. Do pomiaru objętości cieczy i materiałów sypkich (a więc i pojemności naczyń) stosuje się czasem jednostkę zwaną galonem. W Anglii $1 \text{ galon} = 4,546 \text{ l}$, zaś galon amerykański $= 3,785 \text{ l}$.

Jak wyznaczyć objętość ciała stałego?

Pytanie to związane jest z okrzykiem: *Eureka!* starożytnego greckiego uczonego, Archimedes, który, kąpiąc się w wannie, wpadł na rozwiązanie zadania postawionego mu przez władcę Syrakuz. Archimedes miał ustalić, czy korona wykonana jest ze złota.

A oto jak zrealizował swoje zadanie. Napełnił odpowiednie naczynie wodą, zanurzył w niej koronę, a wtedy pewna ilość wody wylała się do podstawionego drugiego naczynia. Objętość wylanej wody była równa objętości korony. Następnie Archimedes powtórzył doświadczenie, ale do wody zamiast korony włożył bryłę czystego złota, która ważyła dokładnie tyle, ile złotnik otrzymał na wykonanie korony. Woda znów przelała się do podstawionego naczynia. I wtedy nastąpił najważniejszy moment – Archimedes porównał, czy objętość wylanej w obu przypadkach wody była taka sama. Niestety, nie była, co oznaczało, że złotnik był nieuczciwy.

Metodę zastosowaną przez Archimedes, wykorzystujemy do wyznaczania objętości ciał. Aby sprawdzić, czy w istocie objętość wypartej cieczy jest taka sama jak objętość zanurzanego ciała, wykonaj proste doświadczenie.

Doświadczenie 3.

Wyznaczamy objętość ciała stałego o regularnym kształcie

Niezbędne przedmioty: menzurka, plastelina, linijka

Wykonanie:

- Wykonaj z plasteliny prostopadłościan i oblicz jego objętość (V). Możesz również wykorzystać dowolną, zatapialną całkowicie w wodzie bryłę, której objętość potrafisz obliczyć.
- Odczytaj ze skali cylindra objętość wody przed włożeniem (V_1) i po włożeniu prostopadłościanu (V_2).
- Oblicz objętość zanurzonego ciała (V), stosując wzór: $V = V_2 - V_1$.
- Porównaj wyliczoną wartość z wcześniej obliczoną objętością prostopadłościanu.

Wniosek: Wyniki pomiarów objętości **metodą wyporu cieczy** i metodą obliczeniową są jednakowe lub prawie jednakowe, bo szkolne pomiary nie są przecież bardzo precyzyjne.



W ten oto sposób udowodniłeś, że:

Objętość wypartej cieczy jest równa objętości całkowicie zanurzonego w niej ciała.

Jak wyznaczyć objętość ciała o dowolnym kształcie?

Metodą wyporu cieczy możemy łatwo wyznaczyć objętość przedmiotu o nieregularnym kształcie, musimy tylko użyć menzurki dostosowanej do jego wielkości.

Sprawdź również, jak postąpić, gdy przedmiot, którego objętość chcemy wyznaczyć (np. kamień), nie mieści się w menzurce.

Doświadczenie 4.

Wyznaczamy objętości ciał stałych o nieregularnym kształcie

Niezbędne przedmioty: menzurka, mały przedmiot o nieregularnym kształcie (np. klucz, nakrętka), kamień (lub inny przedmiot niemieszczący się w menzurce), inne naczynia (np. zlewka i pojemnik jako podstawa)

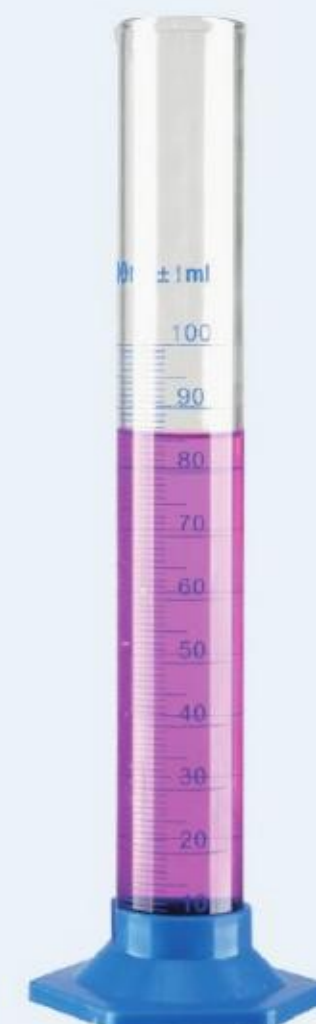
Wykonanie:

Część I (przedmiot mieszczący się w menzurce)

- Nalej określoną objętość wody do menzurki.
- Odczytaj ze skali menzurki objętość wody przed włożeniem (V_1) i po włożeniu przedmiotu (V_2).
- Oblicz objętość zanurzonego ciała (V), stosując wzór: $V = V_2 - V_1$.

Część II (przedmiot niemieszczący się w menzurce)

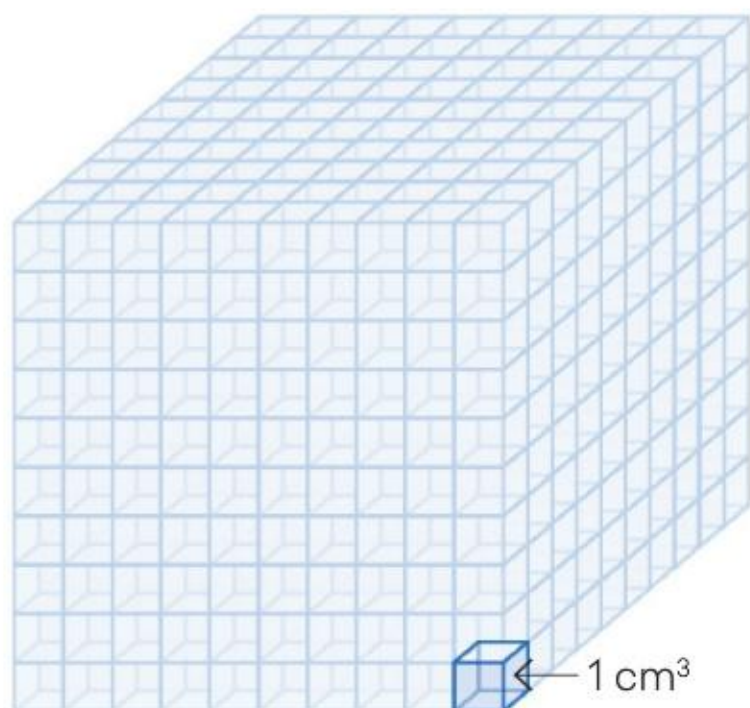
- Wstaw mniejsze naczynie wypełnione po brzegi wodą do drugiego naczynia, większego.
- Włóż kamień do mniejszego pełnego naczynia.
- Zmierz menzurką objętość wody, która po włożeniu ciała wylała się do większego naczynia.
- Objętość wody w menzurce równa jest objętości tego ciała. (Możesz też postąpić inaczej: po wyjęciu kamienia z wody zmierz objętość wody, którą trzeba dolać, aby naczynie było z powrotem pełne).



Pamiętaj, że zaproponowana metoda nie jest bardzo precyzyjna. Zastanów się dlaczego.

Wniosek: Objętość ciała o nieregularnym kształcie możemy wyznaczyć **metodą wyporu cieczy**.

Teraz zapewne już znasz odpowiedź na postawione na wstępie pytanie.



2.8 Sześcian o objętości 1 dm^3 ,
 $1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$

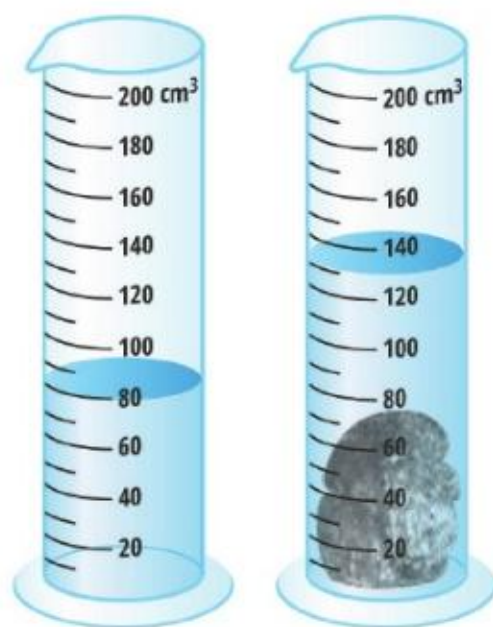
W skrócie

- Objętość określa wielkość przestrzeni, jaką zajmuje dane ciało.
- Objętość mierzymy w metrach sześciennych, centymetrach sześciennych i decymetrach sześciennych.
- W praktyce objętość często wyrażamy w litrach: $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$.
- Objętość cieczy mierzymy cylindrami miarowymi (menzurkami).
- Zanurzając ciało w cieczy, możemy wyznaczyć jego objętość.
- Objętość wypartej cieczy jest równa objętości całkowicie zanurzonego w niej ciała.

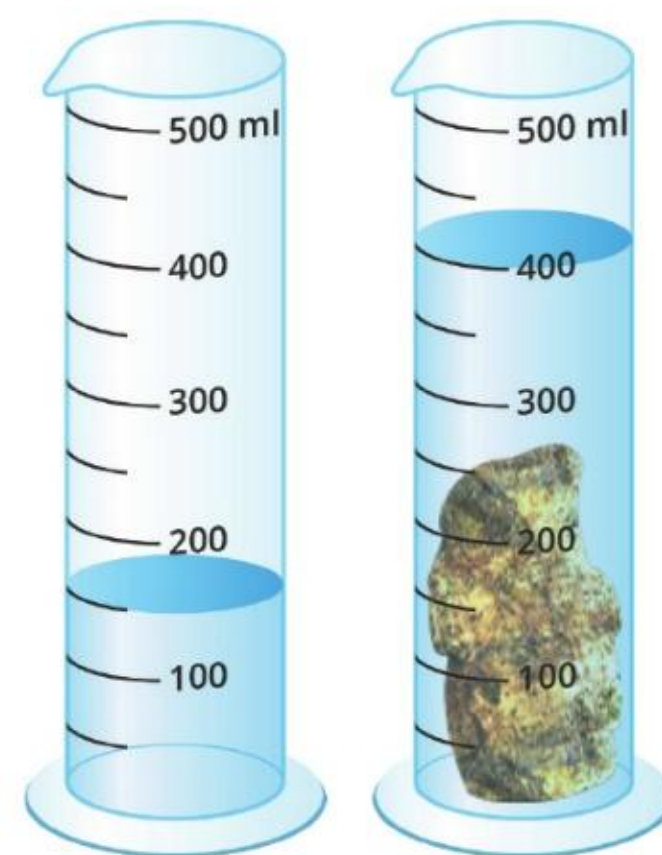
Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Na rysunkach A i B widzisz menzurki przed zanurzeniem i po zanurzeniu ciała. Oblicz objętości tych ciał. W każdym przypadku określ dokładność pomiaru i zakres pomiarowy cylindrów miarowych. Wyraź w cm^3 objętość ciała z rysunku B.

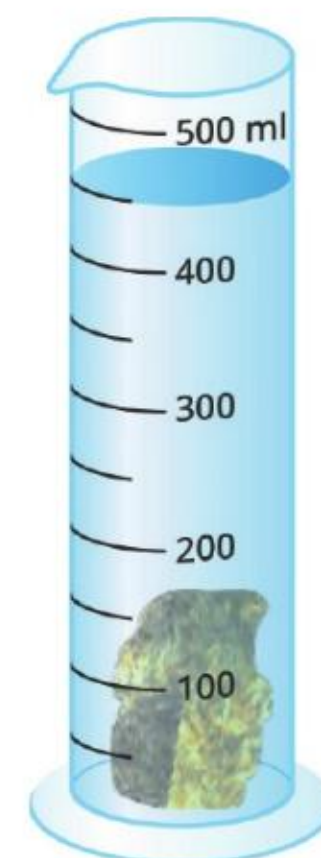
A.



B.



- 2 Na rysunku obok widzisz cylinder miarowy z wodą, w której zanurzono ciało o objętości 150 cm^3 . Oblicz, ile wody było w cylindrze przed włożeniem ciała.
- 3 W czasie obiadu zjadłeś 25 łyżek zupy. Wiedząc, że 1 łyżka ma pojemność 10 cm^3 , oblicz, ile zjadłeś zupy. Wyraź objętość zjedzonej zupy w dm^3 .
- 4 Zapisz wyniki pomiarów zadania 1. – objętości ciał wraz z ich niepewnościami pomiarowymi.



2.3 Siła jako miara oddziaływań

Podejmij temat



Spróbuj wyjaśnić, dlaczego balony utrzymują się pod sufitem.



Oddziaływania wokół nas

Prawie każdego dnia otwierasz drzwi lodówki. Czy zastanawiałeś się, dlaczego same się nie otwierają, chociaż nie są zamknięte na klamkę? Odpowiedź jest dość prosta. Drzwi przytrzymywane są przez magnesy umieszczone w specjalnej osłonie wokół nich, żeby je otworzyć, trzeba za nie lekko szarpnąć. Natomiast kiedy drzwi są dość blisko lodówki, same się zamykają.

Zbadajmy sytuacje, w których dwa obiekty mają na siebie wpływ, czyli różne rodzaje **oddziaływań**.

Doświadczenie 5.

Obserwujemy zachowanie umieszczonych blisko siebie magnesów



Wykonanie:

- Umieść dwa magnesy na wózkach. Zauważ, że każdy magnes ma dwa bieguny magnetyczne oznaczone różnymi kolorami. Jeden magnes trzymaj nieruchomo, a drugi powoli zbliżaj do niego.

Obserwacje: Zbliżając dwa bieguny magnetyczne (jednakowe lub różne) do siebie, obserwujesz wzajemne odpychanie lub przyciąganie się tych biegunów. Nie ma znaczenia, który magnes jest nieruchomy, bo magnesy oddziałują na siebie wzajemnie.

Wniosek: Takie oddziaływania nazywamy **oddziaływaniami magnetycznymi**.

Doświadczenie 6.

Obserwujemy efekty oddziaływań elektrostatycznych

Wykonanie:

- Potrzyj plastikową linijkę o sweter lub bluzę i zbliż ją do skrawków papieru lub nitek. Co obserwujesz?
- Potrzyj dwa napompowane baloniki kawałkiem sukna i zawieś je na nitkach obok siebie. Co obserwujesz?

Obserwacje: Linijka przyciąga skrawki papieru. Potarte balony odpychają się i odchylają tak samo. Oddziałują na siebie wzajemnie.

Wniosek: Są to przykłady **oddziaływań elektrostatycznych**.



W życiu codziennym obserwujemy takie zjawiska, jak spadanie owoców z drzew, kropli deszczu i innych ciał na ziemię. Wszystkie wywołane są oddziaływaniem z Ziemią. Wypuszczona z dłoni piłka spada na ziemię, gdyż piłka i Ziemia przyciągają się wzajemnie. Wzajemne oddziaływania mas to **oddziaływania grawitacyjne**.

Zauważcie, że oddziaływania magnetyczne, elektrostatyczne i grawitacyjne między ciałami nie wymagają bezpośredniego kontaktu tych ciał, występują „na odległość”.

Doświadczenie 7.

Obserwujemy zachowanie rozciągniętej gumki recepturki

Wykonanie:

- Chwyć dwoma palcami gumkę recepturkę i ją rozciągnij. Co odczuwasz?



Obserwacje: Gumka wydłużyła się, ale oddziałując na nasze palce, równocześnie starała się wrócić do poprzedniego stanu.

Wniosek: Takie wzajemne oddziaływanie nazywamy **oddziaływaniem sprężystym**. Wymaga ono bezpośredniego kontaktu ciał. Oddziaływania, które zachodzą przy bezpośrednim kontakcie ciał, nazywamy **oddziaływaniami mechanicznymi**.

Siła jako miara oddziaływania i jej jednostka

Wykonując doświadczenie z gumką, możesz oddziaływać na nią silniej lub słabiej. Spowoduje to oczywiście różne jej rozciągnięcie. W języku fizyki nie wystarczy powiedzieć tylko, że oddziaływanie jest mniejsze albo większe, trzeba znać jego miarę.

Przyjęto, że miarą wzajemnego oddziaływania ciał jest siła.

Jednostką siły jest **niuton (N)**. Nazwa ta pochodzi od nazwiska wielkiego angielskiego uczonego, Isaaca Newtona.



2.9 Używając siły o porównywalnej wartości, możesz przesunąć gąbkę w dowolne miejsce, obrócić ją, przewrócić, zgnieść.

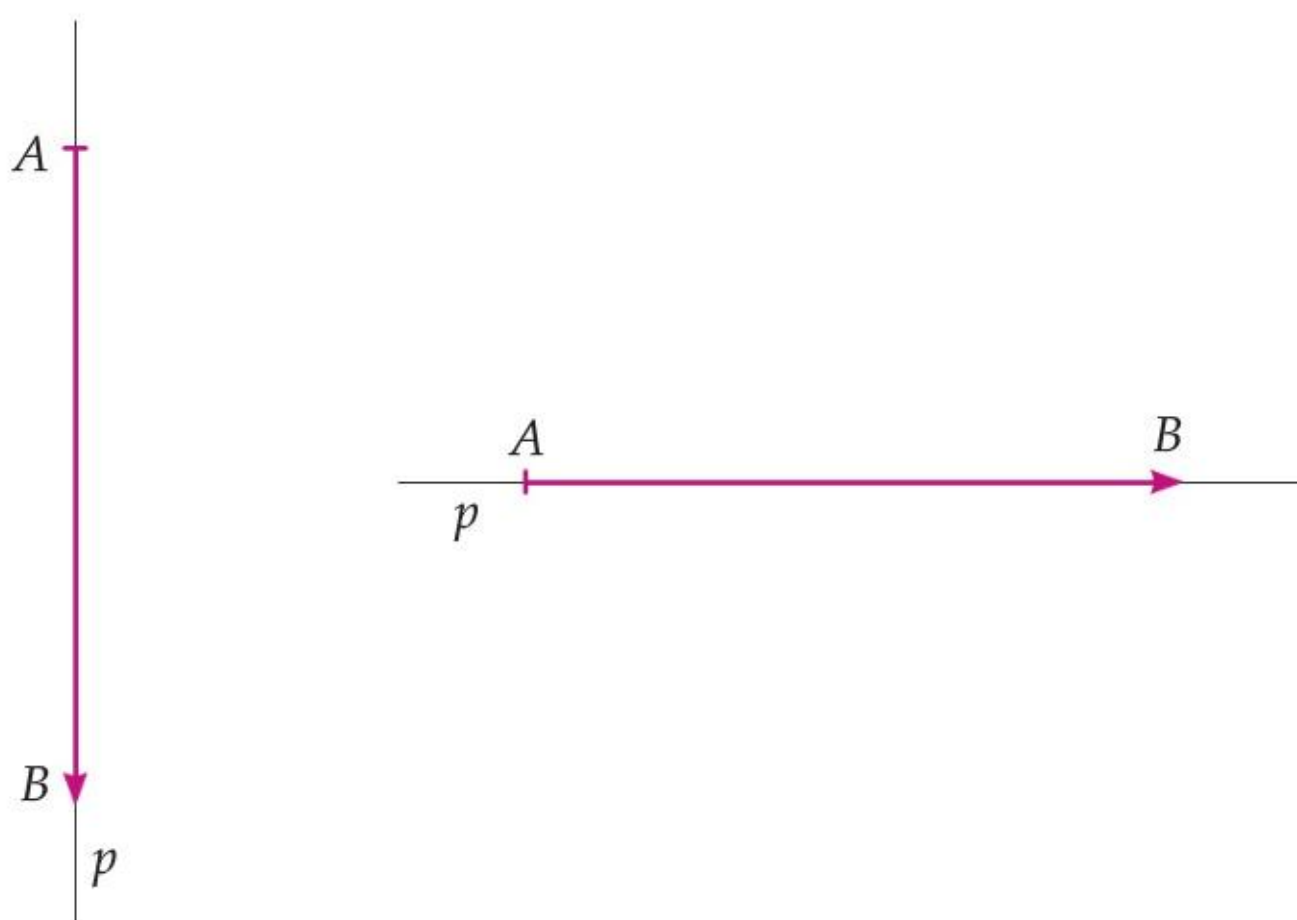
Siła jako wielkość wektorowa

Działanie jednego ciała na drugie możemy opisać przy pomocy siły. Przeanalizujmy podnoszenie plecaka do góry. Plecak uniesie się, gdy go uchwycimy i użyjemy siły swoich mięśni. Użyta siła może być mała lub duża – ma więc **wartość**. Mówimy, że przyłożyliśmy siłę do plecaka. Siła działająca na ciało ma więc **punkt przyłożenia**. Plecak możemy podnosić pionowo do góry albo przesuwając poziomo po ławce. Siła naszych mięśni działa w określonym kierunku. Prosta, wzdłuż której działa siła, nazywa się **kierunkiem działania siły**. Siła podnosząca plecak działa pionowo do góry, a siła, z jaką Ziemia przyciąga plecak (il. 2.10) – pionowo w dół. Mówimy, że siły te są przeciwnie zwrócone. **Zwrot** to również cecha każdej siły.

Siła to wielkość, która ma wartość, kierunek, zwrot i punkt przyłożenia.
O wielkościach, które mają takie cechy, powiemy,
że są to wielkości wektorowe.

Opis wektora siły

Siłę można przedstawić graficznie, używając odcinka skierowanego zwanego **wektorem**.



$\overrightarrow{AB}$ – zapis wektora (strzałka nad literami oznacza wielkość wektorową)

A – początek wektora – punkt przyłożenia siły

AB – długość wektora – miara wartości siły

B – koniec wektora z grotem, grot określa zwrot siły

p – prosta – kierunek działania siły

Przeważnie wektor siły oznaczamy wielką literą z umieszczoną nad nią małą strzałką: $\vec{F}$ (ang. *force* – ‘siła’). Stosujemy również indeksy dolne, np. $\vec{F}_1$, $\vec{F}_g$, $\vec{F}_{12}$. Stosując symbol siły bez strzałki, mamy na myśli jedynie jej wartość, np. zapis $F = 10 \text{ N}$ określa, że siła ma wartość 10 niutonów.

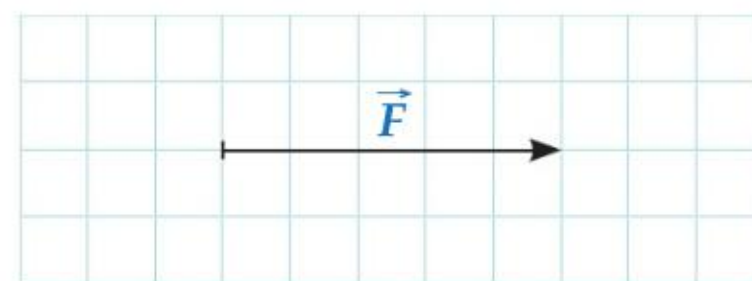


- 1 Punkt przyłożenia w plecaku, bo na niego działa siła.
- 2 Długość wektora oznacza wartość.
- 3 Kierunek pionowy.
- 4 Zwrot w dół.

2.10 Siła, z jaką Ziemia przyciąga plecak



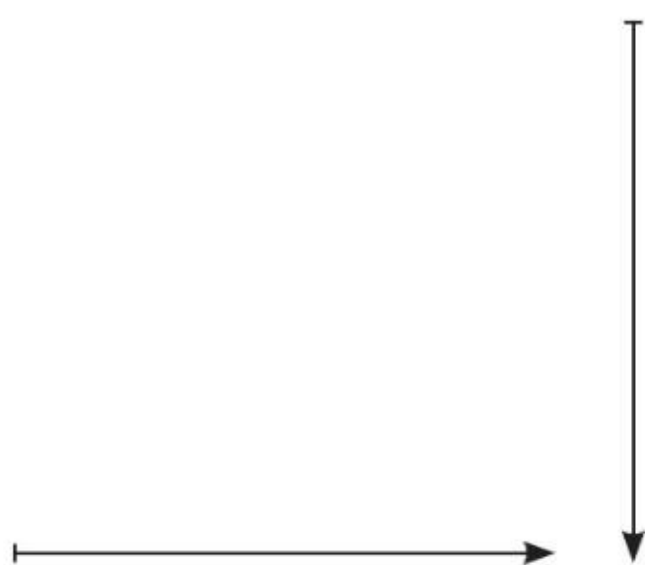
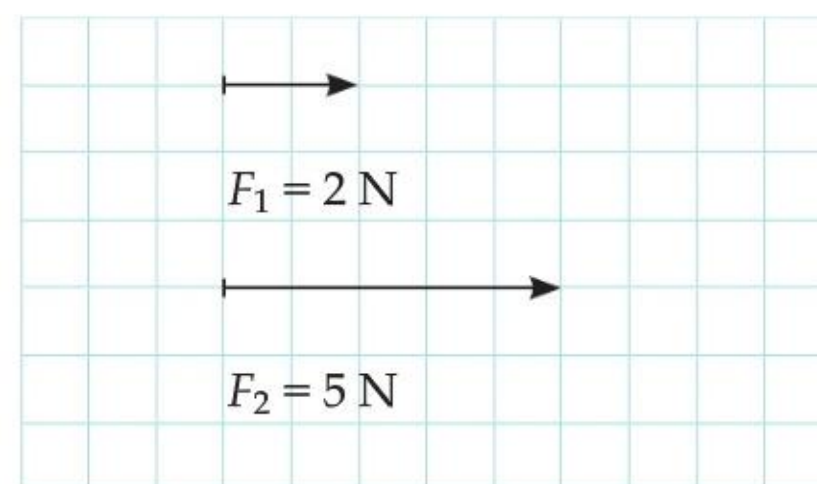
Oznaczenie wektora obrazującego siłę



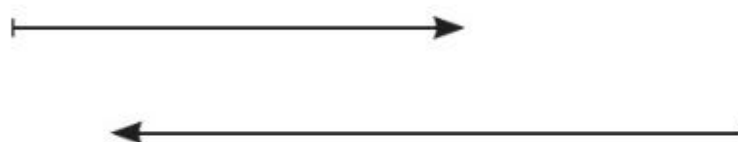
Wartość wektora: $F = 10 \text{ N}$

Rysunek wektora siły

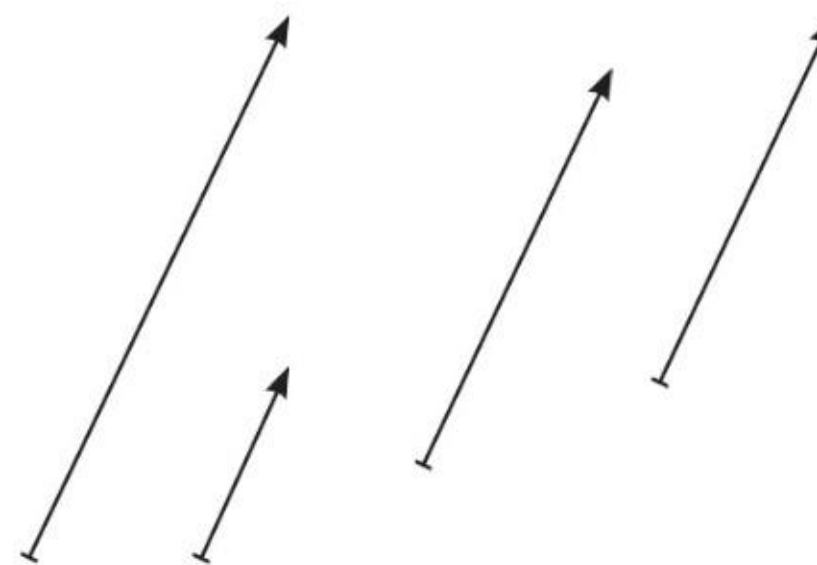
Rysując wektor siły (strzałkę), musisz znać jej kierunek działania, zwrot i punkt przyłożenia. Obierając odpowiednią jednostkę, możesz z łatwością przedstawić graficznie siły o różnych wartościach. Im większa wartość siły, tym dłuższa musi być strzałka. Jeśli przyjmiesz np., że 0,5 cm odpowiada wartości 1 N, to siłę o wartości 2 N narysujesz jako strzałkę o długości 1 cm. Jeśli strzałka będzie miała długość 2,5 cm, odczytasz z rysunku, że wartość siły wynosi 5 niutonów (5 N).



Wektory o jednakowych wartościach, różnych kierunkach i różnych zwrotach



Wektory o jednakowym kierunku, przeciwnych zwrotach, różnych wartościach



Wektory o jednakowym kierunku, zwrocie i różnych wartościach

Więcej na temat

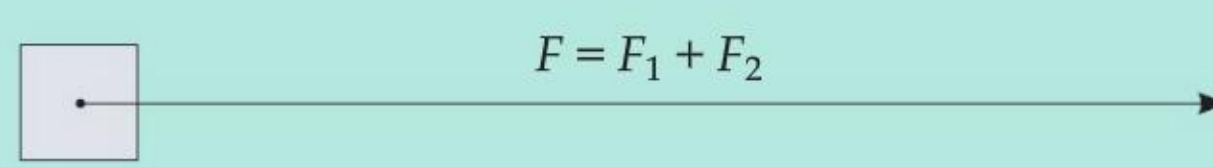
Dodawanie wektorów sił działających wzdłuż tej samej prostej

Suma dwóch równoległych wektorów $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ o długościach F_1 i F_2 jest wektorem $\vec{F}$ o długości równej sumie długości tych wektorów. Kierunek i zwrot wektora są takie same.

Jeśli na ciało działają dwie równoległe siły zwrócone w tę samą stronę, to ich działanie można zastąpić działaniem jednej siły, której wartość jest równa sumie wartości tych dwóch sił.



Dwa wektory równoległe zwrócone w tę samą stronę



Suma dwóch wektorów równoległych o wartości $F = F_1 + F_2$

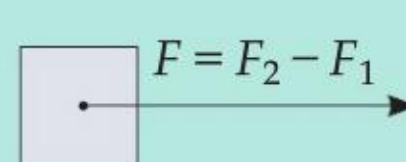
Odejmowanie wektorów sił działających wzdłuż tej samej prostej

Różnica dwóch równoległych wektorów $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ o długościach F_1 i F_2 jest wektorem $\vec{F}$ o długości równej różnicy długości tych wektorów, o kierunku i zwrocie dłuższego wektora.

Jeśli na ciało działają dwie równoległe siły zwrócone w przeciwnie strony, to ich działanie można zastąpić działaniem jednej siły, której wartość jest równa różnicy tych dwóch sił, a kierunek i zwrot są takie same jak siły o większej wartości.



Dwa wektory równoległe zwrócone w przeciwnie strony



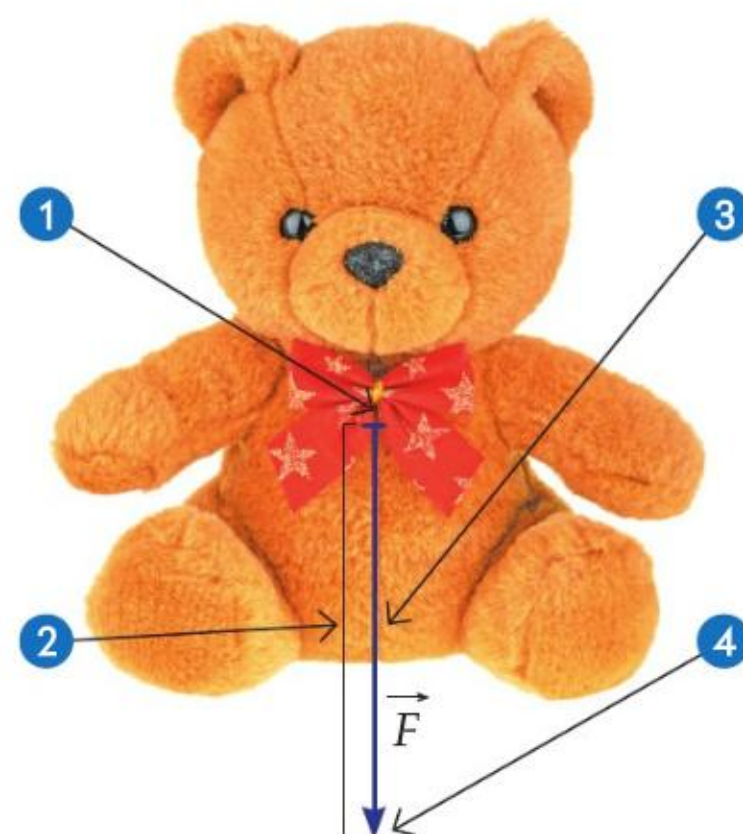
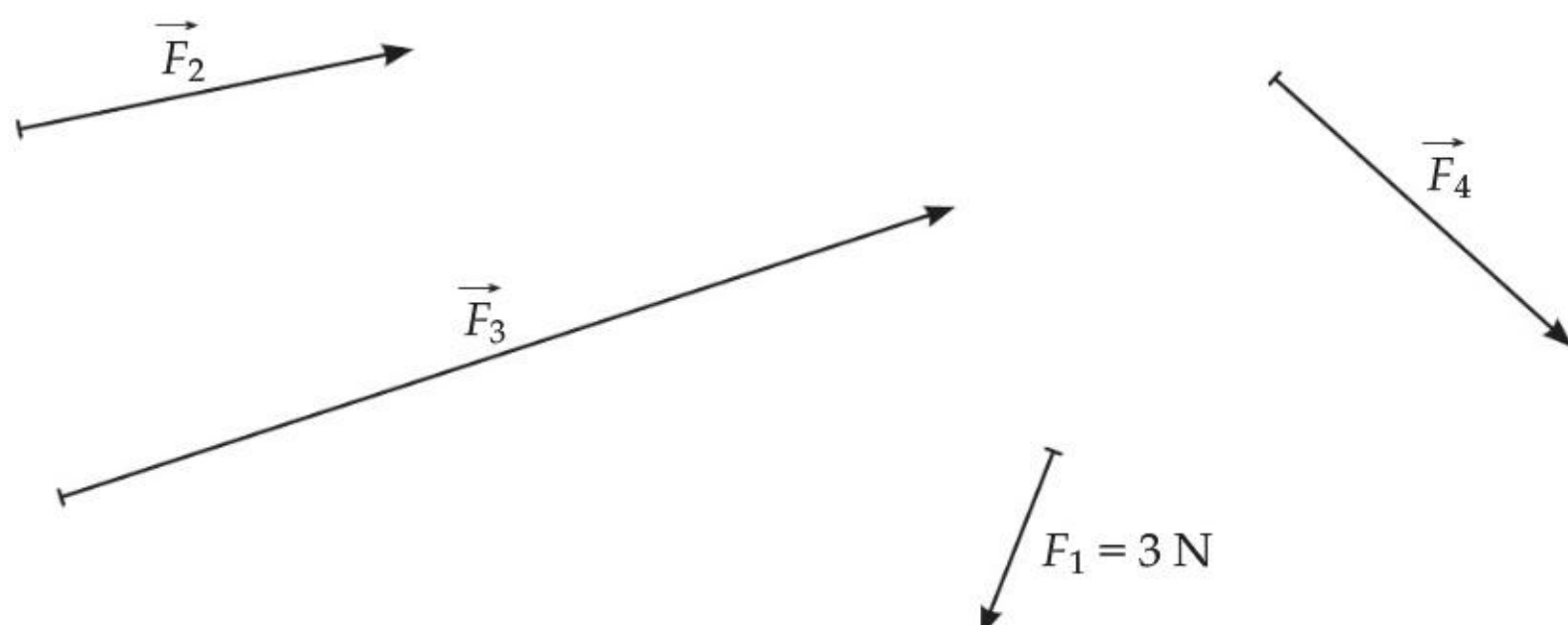
Różnica dwóch wektorów równoległych o wartości $F = F_2 - F_1$

W skrócie

- Wokół nas można zaobserwować oddziaływania: magnetyczne, elektrostatyczne, grawitacyjne, mechaniczne, w tym – sprężyste.
- Przyjęto, że miarą wzajemnego oddziaływania ciał jest siła.
- Siła jest wielkością wektorową, ma wartość, kierunek, zwrot i punkt przyłożenia.
- Siła zawsze jest przyłożona do ciała, na które działa.
- Jednostką siły jest niuton (1 N).
- Siłę można przedstawić graficznie (strzałką) za pomocą odcinka skierowanego zwanego wektorem. Początek wektora rysujemy w ciele, na które działa siła.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Wymień przykłady różnych oddziaływań, które możesz zaobserwować wokół siebie.
- Dopasuj pojęcia A–D do opisów I–IV, tak aby poprawnie określały cechy wektora siły. Rozwiązania zapisz w zeszyte.
 - A. wartość siły
 - B. kierunek
 - C. zwrot
 - D. punkt przyłożenia
 - I. znajduje się w obiekcie, na który działa siła
 - II. określa długość wektora
 - III. wyznaczony jest przez prostą, na której leży wektor
 - IV. wskazywany jest przez grot strzałki – koniec wektora
- Który zapis wartości siły jest poprawny? Uzasadnij odpowiedź.
 - A. $F = 2 \text{ N}$
 - B. $\vec{F} = 2 \text{ N}$
- Na rysunku widzisz cztery wektory siły. Przy jednym zapisano jego wartość. Zmierz długości pozostałych wektorów i zapisz w zeszyte ich wartości.



- Siła, z jaką Ziemia przyciąga misia, przyłożona jest do misia.
- Siła ma wartość $F = 2 \text{ N}$.
- Ma kierunek pionowy.
- Zwrot w dół.

2.11 Siła, z jaką Ziemia przyciąga misia

2.4 Pomiar wartości siły ciężkości

Podejmij temat

- W jaki sposób zbudować przyrząd do mierzenia siły?
- Co to jest ciężar ciała?
- Jak narysować wykres?

Przyrząd do pomiaru siły

Wiesz już, że do określenia wartości oddziaływania używamy pojęcia siły. Każda siła wywołuje określony skutek. Sprawdźmy to doświadczalnie.

Doświadczenie 8.

Badamy, jak wydłużenie sprężyny zależy od masy obciążników

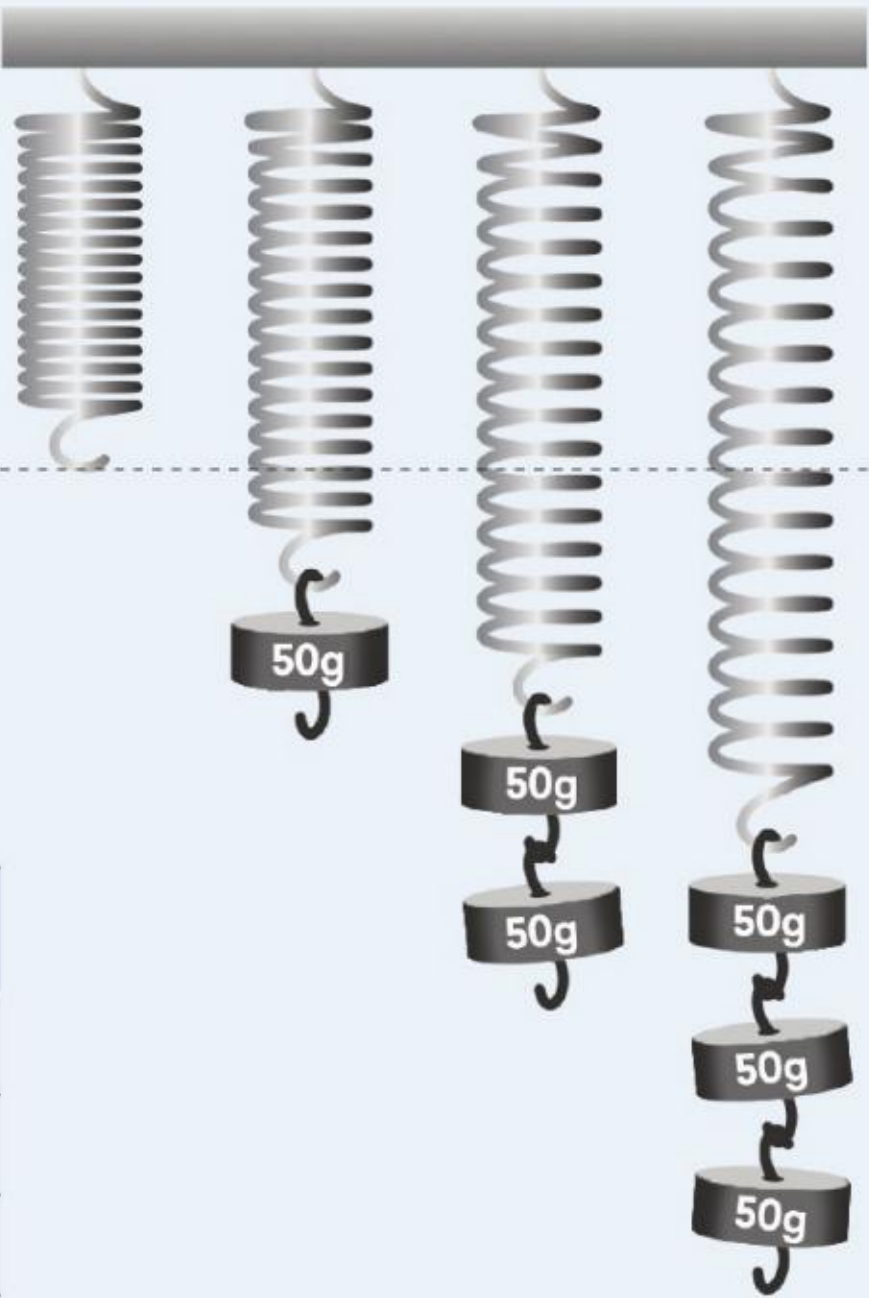
Niezbędne przedmioty: statyw, sprężyna, 3 lub 4 odważniki po 50 g, linijka

Wykonanie:

- Przymocuj sprężynę do statywu i zmierz jej długość.
- Obciąż sprężynę jednym obciążnikiem i zmierz jej długość.
- Oblicz, o ile wydłużyła się sprężyna, odejmując od zmierzonej długości długość początkową sprężyny.
- Dokładaj kolejno po jednym obciążniku, za każdym razem mierz długość sprężyny i obliczaj w ten sam sposób jej wydłużenie.
- Wyniki pomiarów zapisuj w tabeli (wzór poniżej).

Wynik: W jednej ze szkół uzyskano podane wyniki.

Liczba obciążników (szt.)	Masa (g)	Wydłużenie sprężyny (cm)
1	50	1,5
2	100	3
3	150	4,5



Wniosek: Jednakowym masom zawieszonych obciążników odpowiada jednakowe wydłużenie sprężyny. Im większa jest liczba zawieszonych na sprężynie obciążników (większa masa), tym większe jest jej wydłużenie.

Z doświadczenia wynika, że im większa jest liczba zawieszonych na sprężynie obciążników, tym większe jest jej wydłużenie. Mówimy, że wydłużenie sprężyny jest **wprost proporcjonalne do masy zawieszonych obciążników**. Dwukrotnie większa masa – dwukrotnie większe wydłużenie. Trzykrotnie większa masa – trzykrotnie większe wydłużenie.

Czy potrafisz przewidzieć, jakie będzie wydłużenie sprężyny, jeśli będzie na nią działać 6 obciążników?

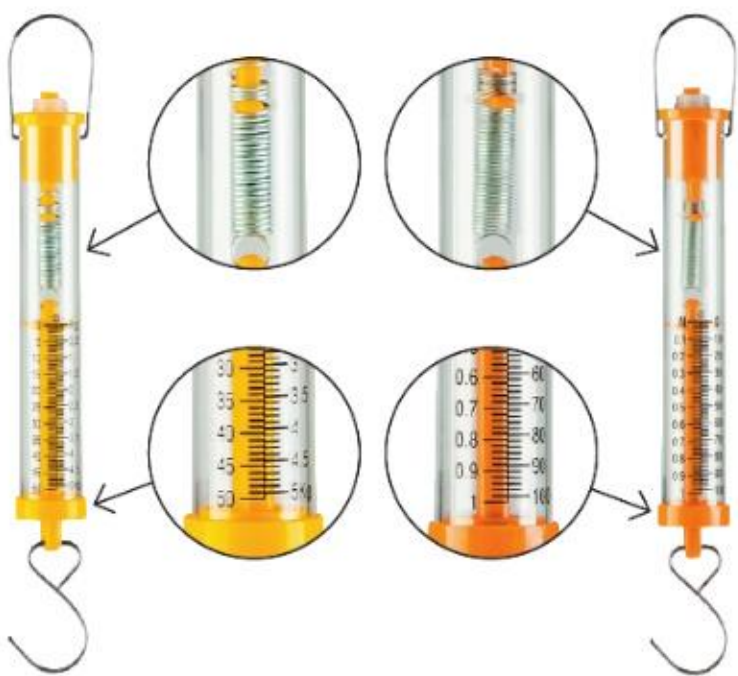
W ten sposób przystosowuje się sprężynę do mierzenia masy i siły (o czym jeszcze powiemy), czyli ją wyskalowuje.

Przyrząd, który wykorzystuje rozciąganie sprężyny, nazywamy **siłomierzem**. Dawniej używano słowa dynamometr, które pochodzi od nazwy wcześniej stosowanej jednostki siły – dyna.

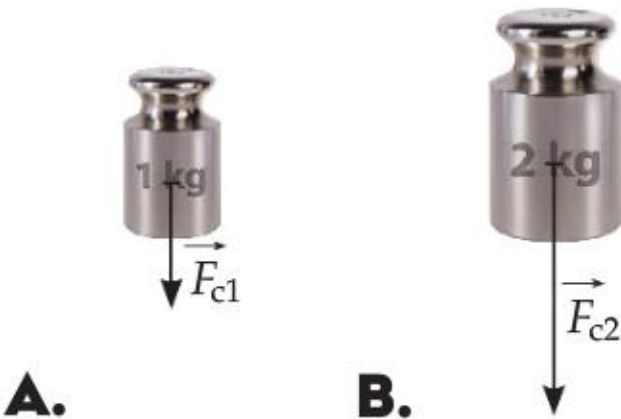
Zapoznaj się z budową siłomierza szkolnego, jego podziałką oraz zakresem. Sprawdź, jak – za pomocą specjalnego pokrętła – wyzerowuje się siłomierz. Siłomierze najczęściej mają skalę umieszczoną obok rozciągniętej sprężyny. Zakres siłomierza zależy od właściwości drutu, z którego wykonana jest jego sprężyna (il. 2.12).

Siła ciężkości

Na każde ciało, które znajduje się na Ziemi lub w jej pobliżu, a więc i na obciążniki z doświadczenia, działa siła przyciągania ziemskiego, której źródłem jest Ziemia. Siła ta, nazywana też **siłą ciężkości** lub **ciężarem ciała**, zależy od masy ciała (il. 2.13), co sprawdzimy doświadczalnie.



2.12 Siłomierze



2.13 Siła, z jaką Ziemia przyciąga odważniki o masie: A. 1 kg, B. 2 kg

Doświadczenie 9.

Badamy, jak wartość ciężaru ciała zależy od masy tego ciała

Niezbędne przedmioty: statyw, siłomierz, zestaw szkolnych obciążników po 50 g

Wykonanie:

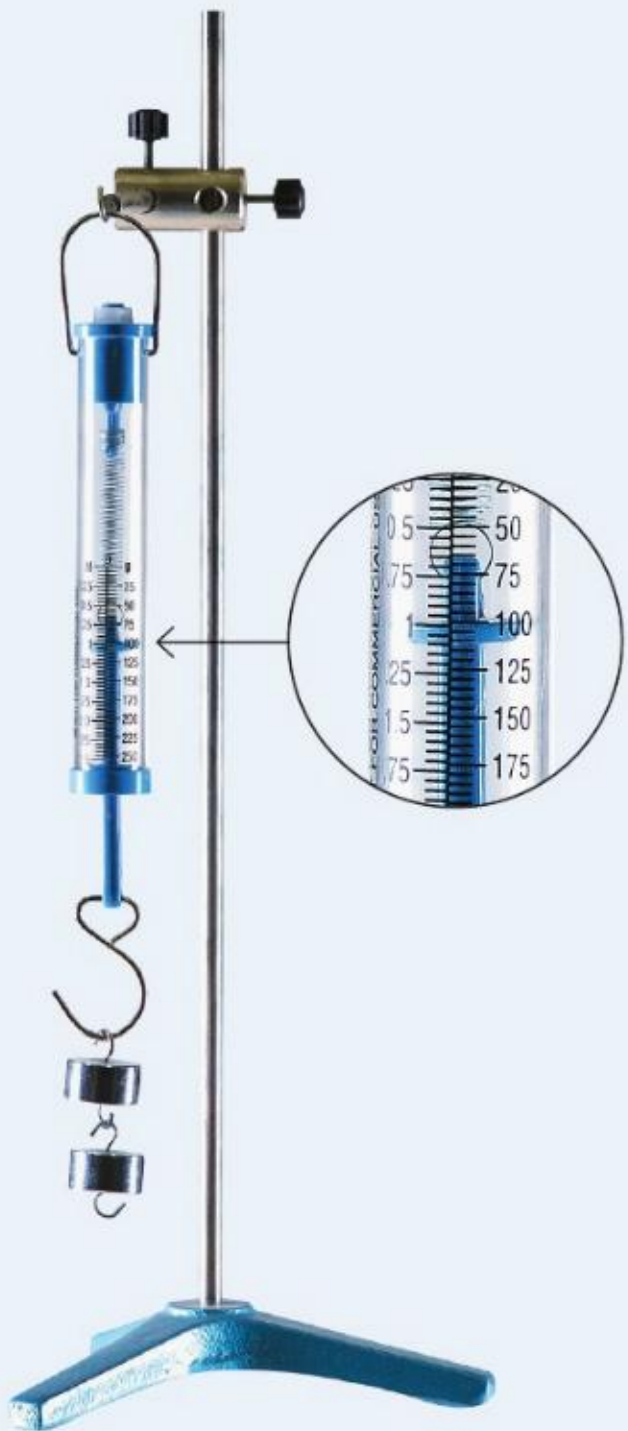
- Przymocuj siłomierz do statywu.
- Na końcu siłomierza zawieś 2 obciążniki i odczytaj wskazanie siłomierza (podaj wynik z dokładnością do 1 N).
- Wynik pomiaru zapisz w tabeli (wzór poniżej).
- Powtórz czynności. Za każdym razem dokładaj 2 obciążniki.

Wynik:

Masa obciążników (kg)	F_c (N)
0,1	1
0,2	2
0,3	3
0,4	4
0,5	5

Wniosek:

- Im większa masa zawieszonych na sprężynie obciążników, tym większa wartość siły ciężkości.
- Na ciało o dwukrotnie większej masie działa dwukrotnie większa siła ciężkości.
- Na ciało o trzykrotnie większej masie działa trzykrotnie większa siła ciężkości.
- Wartość siły ciężkości jest tyle razy większa, ile razy większa jest masa ciała.





Zapis „const” pochodzi od łacińskiego słowa *constans* (czyt. konstans), co oznacza ‘stały’.



Przyspieszenie ziemskie zależy od szerokości geograficznej, np. dla Polski $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$. Dlaczego tak jest, dowiesz się w szkole średniej.

Z doświadczenia 9. wynika, że **wartość siły ciężkości jest wprost proporcjonalna do masy ciała.**

$$F_c \sim m$$

Stąd wynika również, że **iloraz $\frac{F_c}{m}$ jest stały**, co zapisujemy $\frac{F_c}{m} = \text{const.}$

Spójrz do tabeli z doświadczenia i sprawdź, że $\frac{F_c}{m} = \frac{1 \text{ N}}{0,1 \text{ kg}} = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$. Policz $\frac{F_c}{m}$ dla pozostałych wartości z tabeli.

Iloraz siły ciężkości i masy, stały w pobliżu powierzchni Ziemi, oznaczono literą g .

Wartość siły ciężkości możemy obliczyć ze wzoru:

$$F_c = m \cdot g$$

F_c – wartość siły ciężkości, m – masa, g – stały współczynnik proporcjonalności, zwany przyspieszeniem ziemskim, $g \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$
Jednostką siły ciężkości jest niuton (N).

Krok po kroku

Rozwiązujemy zadanie obliczeniowe – kolejne czynności – wskazówki

Faza wstępna

- 1 Przeczytaj treść zadania i upewnij się, że rozumiesz sens użytych w nim pojęć.
- 2 Określ, jakie wartości wielkości fizycznych zostały przedstawione (dane) i co powinieneś obliczyć (szukane).
- 3 Wypisz dane i szukane.
- 4 Zamień jednostki, jeśli to konieczne.

Rozwiązanie

- 1 Przeanalizuj ponownie treść zadania i zastanów się, z jakimi wielkościami i zagadnieniami fizycznymi masz do czynienia. Jeśli masz z tym problem, zadaj sobie dodatkowe pytania i spróbuj poszukać na nie odpowiedzi.
- 2 Napisz wzór lub wzory potrzebne do rozwiązania zadania – związki między danymi i szukanymi.
- 3 Jeśli potrzebujesz wartości jakichś stałych fizycznych, wyszukaj je i dopisz do danych.
- 4 Jeśli przy rozwiązaniu przydatny byłby rysunek, to go wykonaj.
- 5 Jeśli poszukujesz innej wielkości fizycznej niż określona bezpośrednio we wzorze, to dokonaj odpowiednich przekształceń.
- 6 Podstaw dane – liczby wraz z jednostkami – pod odpowiednie symbole we wzorze.
- 7 Oblicz wartość szukanej wielkości fizycznej.

Odpowiedź

- 1 Napisz odpowiedź do zadania, odnosząc się do polecenia podanego w jego treści.

Przykład 6.

Jaka siła działa na odważnik o masie 1 kg?

Dane:

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Szukane:

$$F_c = ?$$

Rozwiązanie

Skorzystaj ze wzoru na wartość siły ciężkości:

$$F_c = m \cdot g$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$F_c = 1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 10 \text{ N} \text{ (uwaga: jednostki skracamy tak jak liczby)}$$

Odpowiedź: Na odważnik o masie 1 kg działa siła ciężkości o wartości 10 N.

Można też powiedzieć, że wartość ciężaru odważnika o masie 1 kg wynosi 10 N albo, że odważnik ma ciężar 10 N.

Przykład 7.

Odczytany na siłomierzu ciężar plecaka wynosi 15 N. Oblicz masę plecaka.

Dane:

$$F_c = 15 \text{ N}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Szukane:

$$m = ?$$

Rozwiązanie

Aby obliczyć masę, wzór $F_c = m \cdot g$ musimy obustronnie podzielić przez g :

$$F_c = m \cdot g \quad / : g$$

$$\frac{F_c}{g} = \frac{m \cdot g}{g}$$

$$\text{zatem } m = \frac{F_c}{g}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$m = \frac{15 \text{ N}}{10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 1,5 \frac{\text{N} \cdot \text{kg}}{\text{N}} = 1,5 \text{ kg}$$

Odpowiedź: Plecak ma masę 1,5 kg.

Najczęściej siłomierze mają dwie skale – jedną wyrażoną w niutonach, a drugą – w gramach (kilogramach). Wartości na tych skalach uzyskuje się ze związku $m = \frac{F_c}{g}$ (przekształcony wzór na wartość F_c). Dzięki temu siłomierz pozwala również zmierzyć masę ciała.

Wykres zależności wartości siły ciężkości od masy ciała

Wykonaliśmy doświadczenie, z którego wywnioskowaliśmy, że wartość siły ciężkości jest wprost proporcjonalna do masy ciała, co zapisaliśmy: $F_c \sim m$. To, w jaki sposób zmienia się jedna wartość wraz ze zmianą drugiej, można przedstawić na wykresie. Powiemy, że przedstawiamy na wykresie **zależność jednej wielkości fizycznej od innej wielkości fizycznej**.

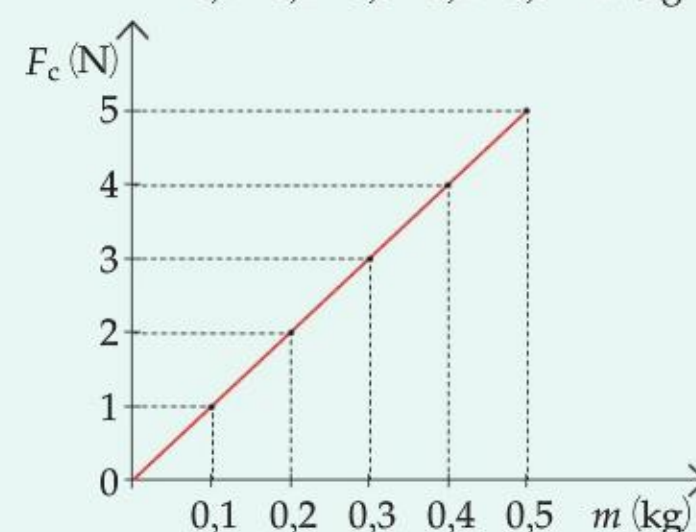
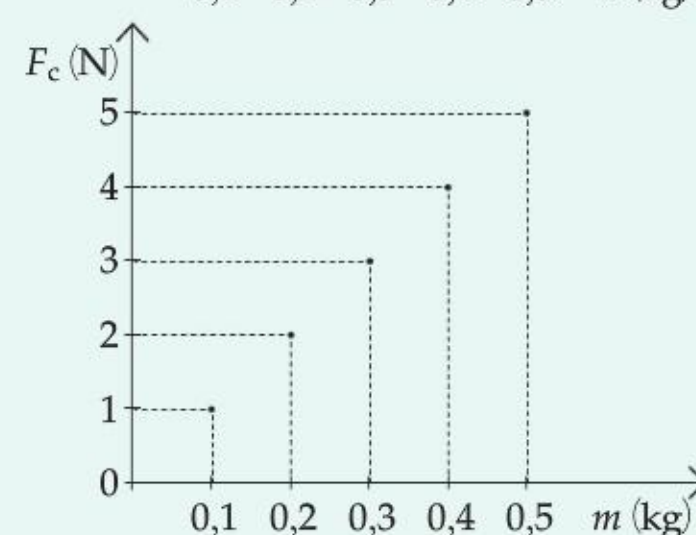
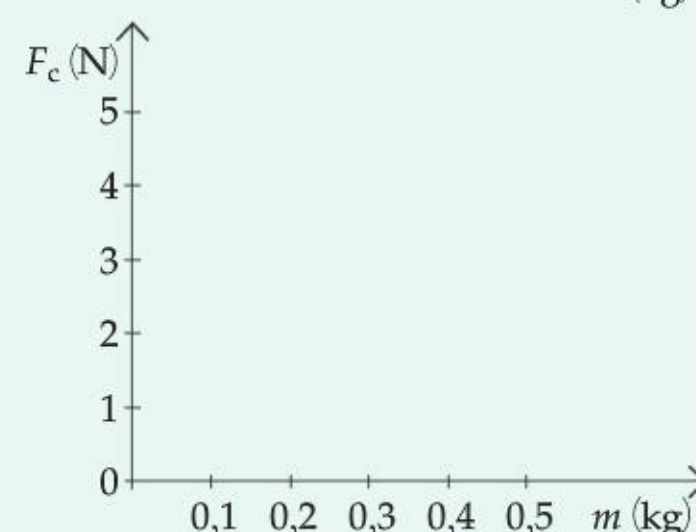
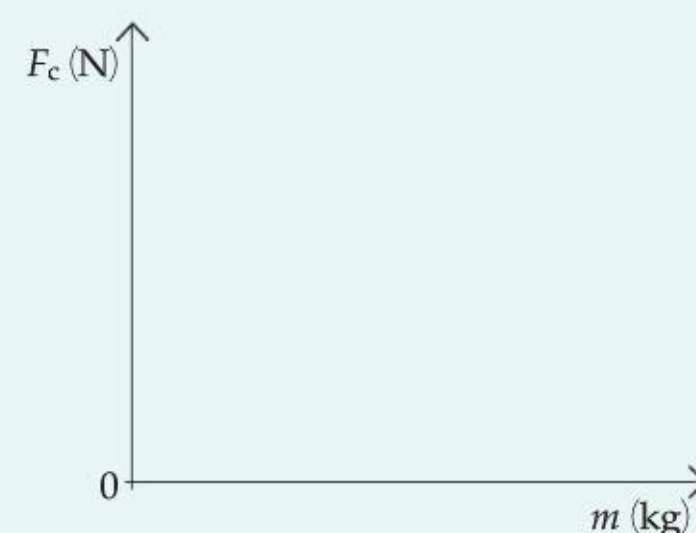
W tabeli obok przedstawiono wyniki uzyskane w doświadczeniu 9.

Masa obciążników (kg)	F_c (N)
0,1	1
0,2	2
0,3	3
0,4	4
0,5	5

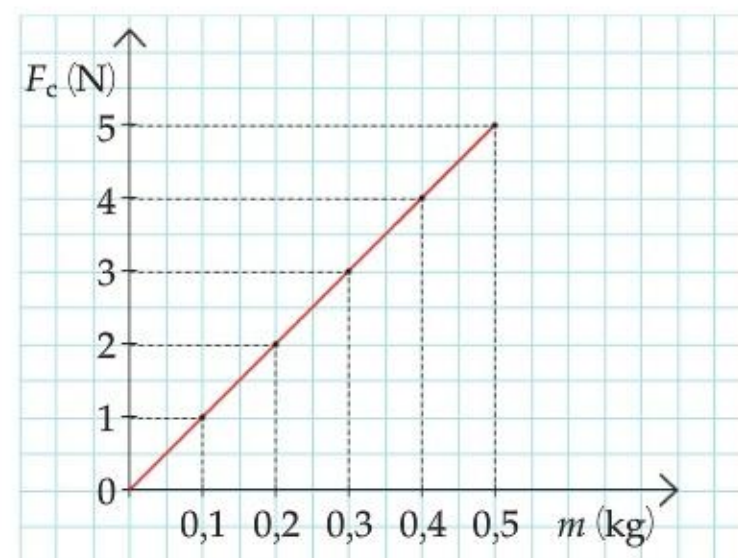
Krok po kroku

Rysujemy wykres zależności wartości siły ciężkości od masy ciała, co zapiszemy: $F_c(m)$

- 1 Rysujemy dwie prostopadłe do siebie osie.** Oś pozioma będzie reprezentować masę – wielkość, którą zmieniamy. Na końcu osi umieszczamy symbol wielkości fizycznej i jej jednostkę: „ m (kg)” lub „ m , kg”. Jednostki zapisujemy w nawiasach okrągłych lub po przecinku. Na osi pionowej umieszczamy symbol i jednostkę siły ciężkości – wielkości, która zmienia się wraz ze zmianą masy: F_c (N) lub F_c , N. Punkt, w którym przecinają się osie, to początek układu – oznaczony symbolem 0.
- 2 Zaznaczamy podziałkę i podpisujemy wartości.** Podziałkę dobieramy w ten sposób, aby największe zmierzone wartości znalazły się przy końcach osi. Odcinki od 0 do tych wartości dzielimy na tyle równych części, ile wykonaliśmy pomiarów. Podpisujemy wartości poniżej osi.
- 3 Zaznaczamy punkty pomiarowe.** Dla każdej pary zmierzonych wartości rysujemy przerywane linie pomocnicze, pionową i poziomą, wychodzące z danych wartości na osiach, i zaznaczamy punkty w miejscach przecięcia się linii.
- 4 Rysujemy wykres.** Przeprowadzamy przez wyznaczone punkty pomiarowe linię wychodzącą z punktu 0.



Wykresem zależności wartości siły ciężkości od masy, co zapisujemy $F_c(m)$, jest półprosta wychodząca z punktu 0. Możemy zatem powiedzieć, że **jeśli dwie wielkości są wprost proporcjonalne do siebie, to wykres jest półprostą wychodzącą z początku układu osi** (il. 2.14).



2.14 Wykres zależności wartości siły ciężkości od masy ciała z doświadczenia 9.



Zastanów się, czy potrafiłbyś odczytać z wykresu wartość siły ciężkości, z jaką Ziemia przyciąga ciało o masie 0,35 kg.

W skrócie

- Wartość siły mierzy się siłomierzem i wyraża w niutonach.
- Na każde ciało, które znajduje się na Ziemi lub w jej pobliżu, działa siła ciężkości o kierunku pionowym i zwrocie do środka Ziemi. Siła ciężkości jest wielkością wektorową, co zapisujemy: $\vec{F}_c$. Określ „siła przyciągania ziemskiego”, „siła ciężkości” i „ciężar ciała” można używać zamiennie.
- Wartość siły ciężkości F_c (bez strzałki nad symbolem) można obliczyć ze wzoru $F_c = m \cdot g$, gdzie m to masa ciała, a g to stały współczynnik równy $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.
- Po przekształceniu wzoru $F_c = m \cdot g$ otrzymujemy wyrażenie $m = \frac{F_c}{g}$, z którego możemy obliczyć masę ciała.
- Najczęściej siłomierze mają dwie skale – jedną wyrażoną w niutonach, a drugą – w gramach (kilogramach). Wartości na tych skalach wynikają z wyrażenia $m = \frac{F_c}{g}$.
- Sformułowanie „ważyć ciało” ma dwa znaczenia. Oznacza pomiar masy (w gramach, kilogramach) lub pomiar wartości ciężaru (w niutonach).
- Siła ciężkości jest wielkością wektorową, a masa wielkością skalarną.
- Zależność jednej wielkości fizycznej od innej wielkości fizycznej można przedstawić na wykresie.
- Jeśli dwie wielkości są wprost proporcjonalne do siebie, to wykres jest półprostą wychodzącą z początku układu osi.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wymień cechy, jakie ma działająca na ciebie siła ciężkości.
- 2 Zważ się na wadze łazienkowej i oblicz swój ciężar.
- 3 Zakładając, że wektor o długości 1 cm oznacza siłę o wartości 100 N, narysuj wektor siły, z którą Ziemia cię przyciąga.
- 4 W tabeli zamieszczono wyniki wydłużenia sprężyny w zależności od masy zawieszanej na niej odważników.

m (g)	l (cm)
100	6
200	12
300	18
400	24

- a) Narysuj wykres zależności $l(m)$.
- b) Odczytaj z wykresu, jakie będzie wydłużenie sprężyny przy obciążeniu jej masą 250 gramów.



- 5 Porównaj wyniki z doświadczenia ze sprężyną (doświadczenie 8.) i te z zadania nr 4 i powiedz, której sprężyny należałoby użyć, aby zbudować siłomierz o większym zakresie. Narysuj wykresy dla obydwu sprężyn w tym samym układzie osi.

2.5 Wyznaczanie gęstości substancji

Podejmij temat



Co decyduje o tym, że ciała o jednakowej objętości mają różne masy?



Gęstość substancji

Zauważyłeś na pewno, że ciała o jednakowej objętości, ale wykonane z różnych substancji, mają różne masy. Gdy weźmiesz do ręki tej samej wielkości kulki: żelazną, szklaną czy drewnianą, zauważysz, że wyraźnie różnią się masą. Sprawdź teraz, czy ciała o tej samej masie, ale wykonane z różnych substancji, mają taką samą objętość.

Doświadczenie 10.

Badamy, czy objętość ciał o tej samej masie, ale wykonanych z różnych substancji, jest taka sama

Niezbędne przedmioty: metalowa kulka (nakrętka, obciążnik), waga szalkowa lub elektroniczna, plastelina

Wykonanie:

- Połóż na jednej szalce wagi metalową kulkę, a na drugiej tyle plasteliny, aby waga była w równowadze. Jeśli używasz wagi elektronicznej, zważ metalową kulkę, zapisz wynik, a następnie połóż tyle plasteliny, aby ważyła tyle samo, ile waży metalowa kulka.
- Uformuj zważoną plastelinę w kulkę i porównaj z objętością kulki metalowej.

Obserwacje: Ciała o tej samej masie, ale zbudowane z różnych substancji (np. żelazo, plastelina), zajmują różne objętości.



W doświadczeniu mogłeś zaobserwować, że ciała o tej samej masie zajmują różne objętości, a wcześniej, że ciała o tej samej objętości mają różne masy. Te dwie wielkości – masa i objętość, dla danego ciała – są ze sobą związane. Jeśli chcesz odpowiedzieć na pytanie, co jest lżejsze – żelazo czy plastelina – musisz porównać masy jednakowych objętości tych substancji.

Wielkość fizyczną, która informuje nas, jaka jest masa jednostkowej objętości (1 m^3 lub 1 cm^3) danej substancji, nazywamy gęstością tej substancji.

W poniższej tabeli przedstawiono przykładowe masy jednostkowych objętości niektórych ciał stałych.

Tabela 4. Masa jednostkowych objętości ciał stałych

Substancja	Masa 1 m ³ (w kg)	Masa 1 cm ³ (w g)
aluminium	2700	2,70
cukier	1590	1,59
drewno dębowe (suche)	800	0,80
lód (0°C)	920	0,92
mosiądz	8500	8,50
ołów	11 400	11,40
sól kamienna	2160	2,16
srebro	10 500	10,50
szkło	2500	2,50
złoto	19 300	19,30
żelazo	7900	7,90

Ciekawe!

Nasiona chleba świętojańskiego (gr. *keration*) mają rzadko spotykaną stałą masę, dlatego od wieków używano ich do określania masy drogich kamieni. Później wprowadzono wzorzec zbliżony do masy tego nasienia i nazwano go karatem. Przyjęto, że karat metryczny (wykorzystywany w jubilerstwie) ma masę 0,2 g.

Jak definiujemy gęstość substancji?

Z tabeli 4. możesz odczytać, że np. masa 1 m³ lodu wynosi 920 kg. Na podstawie tej informacji zapewne potrafisz powiedzieć, że masa 2 m³ lodu będzie dwa razy większa, a masa 3 m³ lodu – trzy razy większa. Oznacza to, że wielkości te są wprost proporcjonalne do siebie:

$m \sim V$

Zauważ, że iloraz masy i objętości dla naszego przykładu jest stały:

$$\frac{920 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = \frac{1840 \text{ kg}}{2 \text{ m}^3} = \frac{2760 \text{ kg}}{3 \text{ m}^3} = \text{const}$$
$$\frac{\text{masa}}{\text{objętość}} = \text{const}$$

Tak jest dla lodu i dla każdego ciała zbudowanego z innej substancji. **Iloraz masy i objętości jest stały**, ale ma inną wartość. Zamiast za każdym razem powtarzać, że „iloraz masy i objętości dla danej substancji wynosi...”, tę stałą wartość nazwano gęstością.

Gęstością danej substancji nazywamy iloraz jej masy i objętości.
Gęstość jest wielkością fizyczną, charakterystyczną dla tej substancji.
Oznaczamy ją symbolem *d* (od ang. *density*).

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



W nawiasie kwadratowym umieszczamy symbol wielkości fizycznej, nie umieszczamy jednostki danej wielkości fizycznej.

Jak określić jednostkę gęstości?

Umówiono się, że symbol wielkości fizycznej ujęty w nawias kwadratowy oznacza jednostkę tej wielkości.

Jednostkę gęstości określamy ze wzoru definicyjnego $d = \frac{m}{V}$.

Jednostka gęstości $[d]$ w układzie SI jest równa ilorazowi jednostki masy $[m]$ i jednostki objętości $[V]$:

$$[d] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Jeśli masę podamy w gramach, a objętość w centymetrach sześciennych, to gęstość wyrazimy w jednostce $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Wyznaczanie gęstości ciał stałych

Wykonamy teraz doświadczenia pozwalające wyznaczyć gęstość substancji, z której wykonano przedmioty o regularnym kształcie i przedmioty o nieregularnym kształcie.

Doświadczenie 11.

Wyznaczamy gęstość substancji, z której wykonano przedmiot o regularnym kształcie

Niezbędne przedmioty: zestaw jednakowych sześcianów wykonanych z różnych substancji, waga elektroniczna, linijka

Wykonanie:

- Wyznacz masę (m) dowolnego sześcianu i zapisz w zeszycie wynik (w gramach).
- Zmierz bok sześcianu (a) i oblicz jego objętość. Wynik zaokrąglij do dwóch cyfr znaczących (podaj w cm^3).
- Podziel masę sześcianu przez jego objętość. Wynik zaokrąglij do pierwszego miejsca po przecinku.
- Odszukaj w tablicach substancję o gęstości najbardziej zbliżonej do otrzymanego wyniku.
- Powtórz czynności dla innych sześcianów.

Wynik:

Przykładowe wyniki:

$$a = 2,5 \text{ cm}$$

$$m = 182 \text{ g}$$

$$\text{Obliczamy objętość sześcianu: } V = a^3 = (2,5 \text{ cm})^3 = 15,625 \text{ cm}^3 \approx 16 \text{ cm}^3$$

$$\text{Obliczamy gęstość: } d = \frac{m}{V} = \frac{182 \text{ g}}{16 \text{ cm}^3} = 11,38 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \approx 11,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Wniosek:

Wyznaczona gęstość $11,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ wskazuje, że sześcian wykonany jest z ołowiu.



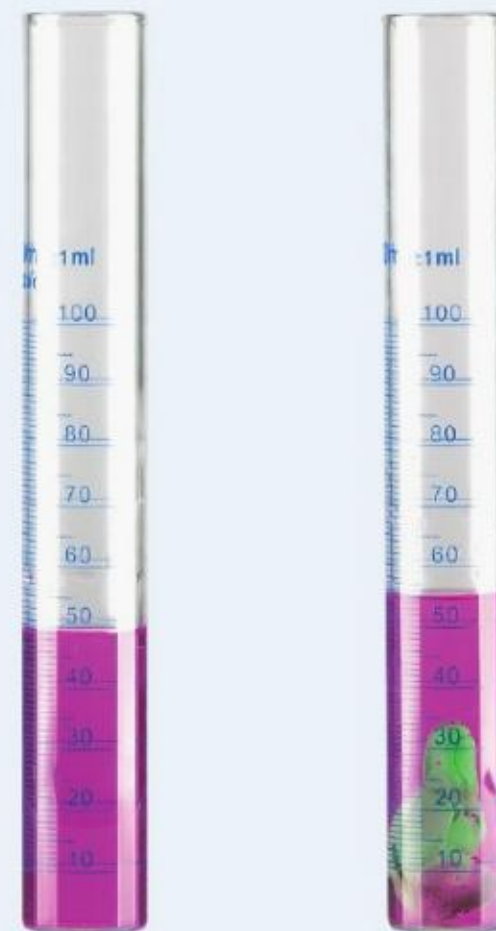
Doświadczenie 12.

Wyznaczamy gęstość substancji, z której wykonano przedmiot o nieregularnym kształcie

Niezbędne przedmioty: odważniki: 100 g, 200 g (plastelina, metalowe nakrętki, klucze), waga elektroniczna, menzurka, nitka, woda

Wykonanie:

- Wyznacz masę (m) ciała stałego i zapisz w zeszycie wynik (w gramach).
- Wyznacz objętość tego ciała metodą wyporu cieczy (do menzurki nalej wody i odczytaj jej objętość (V_1). Zanurz uwiązane na nitce ciało. Odczytaj objętość wody z ciałem (V_2). Różnica $V_2 - V_1$ to objętość zanurzonego ciała. Wynik podaj w cm^3 .
- Oblicz gęstość ciała (podziel masę ciała przez jego objętość).
- Odszukaj w tablicach substancję o gęstości najbardziej zbliżonej do otrzymanego wyniku.
- Jeśli korzystasz z odważników wykonanych z tej samej substancji, to sprawdź, czy objętość odważnika 200 g jest dwa razy większa niż objętość odważnika 100 g, czyli czy $m \sim V$. Zamiast odważników możesz np. użyć jednej pałeczki plasteliny, a potem dwóch pałeczek plasteliny lub takich samych nakrętek.



Wyznaczanie gęstości cieczy

Aby obliczyć gęstość cieczy, należy jej masę wyznaczyć, stosując pomiar pośredni, a objętość określić za pomocą cylindra miarowego. Wykonaj doświadczenie.

Doświadczenie 13.

Wyznaczamy gęstość cieczy

Niezbędne przedmioty: waga elektroniczna, menzurka, badana ciecz (np. woda, denaturat, olej)

Wykonanie:

- Wyznacz za pomocą wagi masę (m_n) pustej menzurki.
- Wlej do menzurki określoną ilość cieczy i odczytaj jej objętość (V).
- Wyznacz za pomocą wagi masę naczynia wraz z tą cieczą (m).
- Oblicz masę cieczy (m_c) jako różnicę we wskazaniach wagi: $m_c = m - m_n$
- Dzieląc masę cieczy przez jej objętość, oblicz gęstość cieczy.

- ★ Spróbuj określić niepewność pomiarową gęstości cieczy, stosując metodę NKP (Najmniej Korzystnego Przypadku). Zakładając dokładność wagi elektronicznej 1 g, wykaż, że niepewność pomiarowa, z jaką wyznaczysz masę cieczy, wynosi 2 g (zobacz Więcej na temat, s. 29).
- Przyjmij, że niepewność pomiarowa pomiaru objętości cieczy równa jest dokładności użytego cylindra miarowego.
- Oblicz maksymalny i minimalny wynik pomiaru gęstości cieczy, a następnie niepewność pomiarową gęstości cieczy.
- Zapisz wynik pomiaru – gęstość cieczy wraz z niepewnością pomiarową.

Ciekawe!



Do wyznaczania gęstości cieczy używa się areometrów. Areometr to rurka szklana, obciążona z jednej strony i odpowiednio wyskalowana. Jeśli zanurzymy ją w naczyniu z cieczą, to na jego skali odczytamy wynik – gęstość tej cieczy.

Tabela 5. Przykładowe gęstości cieczy

Substancja	Gęstość $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	Gęstość $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$
alkohol etylowy	790	0,79
azot (−196°C), ciekły	808	0,81
benzyna	700	0,7
nafta	810	0,81
oliwa	920	0,92
rtęć	13 500	13,5
woda (4°C)	1000	1

Tabela 6. Przykładowe gęstości gazów

Substancja	Gęstość $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	Gęstość $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$
azot	1,25	0,00125
dwutlenek węgla	1,98	0,00198
hel	0,179	0,000179
para wodna (100°C)	0,6	0,0006
powietrze	1,29	0,00129
tlen	1,43	0,00143
wodór	0,09	0,00009

Krok po kroku

Przekształcanie wzorów

- 1

Jeśli ze wzoru na gęstość $d = \frac{m}{V}$ chcesz obliczyć masę (wielkość, która znajduje się w liczniku po prawej stronie równości), pomnóż obie strony równości przez wielkość, która jest w mianowniku:
$$d = \frac{m}{V} / \cdot V$$
$$d \cdot V = \frac{m}{V} \cdot V \text{ stąd } m = d \cdot V$$
- 2

Jeśli chcesz obliczyć objętość, podziel obie strony równości przez d :
$$m = d \cdot V / : d$$
$$\frac{m}{d} = \frac{d \cdot V}{d} \text{ stąd } V = \frac{m}{d}$$

Obliczanie gęstości substancji

Znając gęstość substancji, z której wykonane jest ciało, i objętość ciała, można obliczyć jego masę ze wzoru:

$$m = d \cdot V$$

lub objętość, gdy znamy masę i gęstość:

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

Przykład 8.

Oblicz gęstość kulki o masie 2,5 g, jeśli jej objętość jest równa 1 cm³. Z jakiej substancji wykonana jest ta kulka? Wyraź gęstość w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Dane:

$$m = 2,5 \text{ g}$$

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

Szukane:

$$d = ?$$

Rozwiązanie

Aby obliczyć gęstość, korzystamy ze wzoru: $d = \frac{m}{V}$

$$d = \frac{2,5 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} = 2,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Ponieważ $1 \text{ g} = \frac{1}{1000} \text{ kg}$, a $1 \text{ cm}^3 = \frac{1}{1000000} \text{ m}^3$, to:

$$d = 2,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2,5 \frac{\frac{1}{1000} \text{ kg}}{\frac{1}{1000000} \text{ m}^3} = 2,5 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1000000}{1} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2,5 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Odpowiedź: Gęstość kulki wynosi 2500 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Kulka jest zrobiona ze szkła.

Przykład 9.

Odmierz za pomocą cylindra miarowego 25 g wody.

Dane:

$$d = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m = 25 \text{ g}$$

Szukane:

$$V = ?$$

Rozwiązanie

Aby obliczyć objętość odpowiadającą danej masie wody, należy skorzystać ze wzoru: $V = \frac{m}{d}$

Po podstawieniu danych:

$$V = \frac{m}{d} = \frac{25 \text{ g}}{1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 25 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} = 25 \text{ cm}^3$$

Odpowiedź: Do cylindra należy wlać 25 cm³ wody.

Przykład 10.

Oblicz masę cegły w kształcie prostopadłościanu o wymiarach: 25 cm, 12 cm, 6,5 cm. Przyjmij, że gęstość cegły wynosi $1850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Dane:

$$d = 1850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$a = 25 \text{ cm}, b = 12 \text{ cm}, c = 6,5 \text{ cm}$$

Szukane:

$$m = ?$$

Rozwiązanie

Nie wiemy, ile wynosi objętość cegły, ale znając wymiary, potrafimy to obliczyć:

$$V = a \cdot b \cdot c = 25 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm} \cdot 6,5 \text{ cm} = 1950 \text{ cm}^3$$

Aby obliczyć masę cegły, korzystamy ze wzoru: $m = d \cdot V$

$$m = 1,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 1950 \text{ cm}^3 = 3607,5 \text{ g} \approx 3,6 \text{ kg}$$

Odpowiedź: Masa cegły wynosi 3,6 kg.

Przykład 11.

Oblicz objętość miedzi użytej do produkcji 5 kg śrub. Przyjmij, że gęstość miedzi wynosi $8,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Dane:

$$d = 8,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m = 5 \text{ kg} = 5000 \text{ g}$$

Szukane:

$$V = ?$$

Rozwiązanie

Aby obliczyć objętość miedzi, należy skorzystać ze wzoru: $V = \frac{m}{d}$

$$V = \frac{m}{d} = \frac{5000 \text{ g}}{8,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \approx 562 \text{ cm}^3$$

Odpowiedź: Do produkcji śrub użyto 562 cm^3 miedzi.

Więcej na temat



Pozory mylą

Nie zawsze jesteśmy w stanie ocenić na oko niektóre wielkości fizyczne. Chociażby tak, jak w przypadku tych dwóch kryształów. Są one zbliżonej wielkości, lecz ich masy znacznie się różnią. Przyczyną jest różnica ich gęstości, wynikająca ze sposobu ułożenia cząsteczek w każdym z kryształów.



ortoklaz – gęstość $2600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$



galenit – gęstość $7600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

W skrócie

- Gęstość jest wielkością fizyczną charakterystyczną dla danej substancji i informuje nas, jaka jest masa jednostkowej objętości (1 m^3 lub 1 cm^3) tej substancji.
- Aby obliczyć gęstość, należy masę ciała wykonanego z danej substancji podzielić przez jego objętość: $d = \frac{m}{V}$.
- Gęstość wyrażamy w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ lub $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

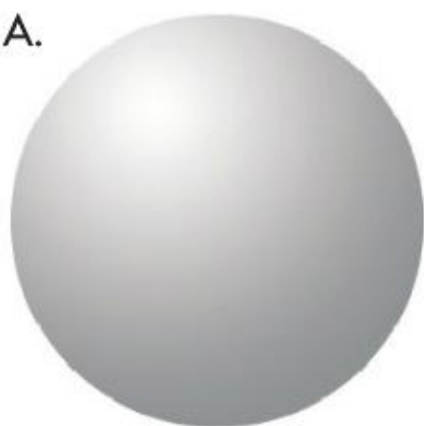
- 1 Zapisz w zeszycie podane wartości we wskazanych jednostkach.

- a) $10\,800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ w $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
- b) $2,16 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- c) $0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Odszukaj w tablicach gęstości, o jakie substancje chodzi.

- 2 Na rysunku widzisz trzy kule o jednakowych masach.

A.



B.



C.



Dopasuj nazwy metali do kul oznaczonych A, B, C, wiedząc, że wykonane są z aluminium, miedzi i złota. Gęstości substancji odczytaj z tablic.

- 3 Mając do dyspozycji menzurkę, odmierz za jej pomocą 46 g oliwy. Przyjmij, że gęstość oliwy wynosi $0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Wykonaj niezbędne obliczenia.
- 4 Oblicz objętość styropianu o gęstości $40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ i masie 0,25 kg. Skorzystaj z faktu, że masa substancji jest wprost proporcjonalna do objętości.
- 5 Na rysunku widzisz cztery sześciany o jednakowych wymiarach, wykonane z czterech różnych materiałów.

aluminium $2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$



drewno $700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$



złoto $19,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$



ołów $11\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$



Dokończ zdanie tak, aby było prawdziwe.

Największą masę ma sześcian wykonany

A. z aluminium.

B. z drewna.

C. ze złota.

D. z ołowiu.

Podsumowanie działu 2

Ważne pojęcia

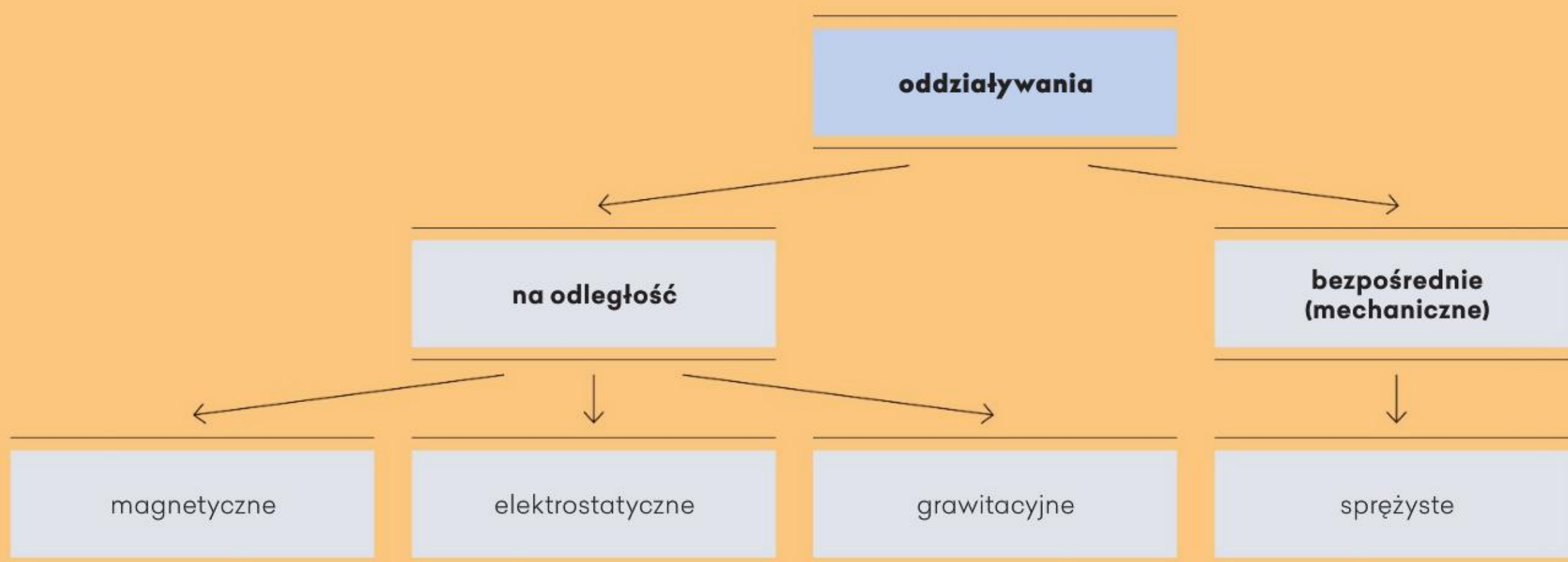
odległość	długość	czas	masa	temperatura	szybkość	objętość	oddziaływania
oddziaływania elektrostatyczne				oddziaływania magnetyczne		oddziaływania grawitacyjne	
oddziaływania mechaniczne		oddziaływania sprężyste	siła	wektor	siła ciężkości	ciężar	gęstość

Tabela 7. Zestawienie wielkości fizycznych, które nauczyłeś się mierzyć

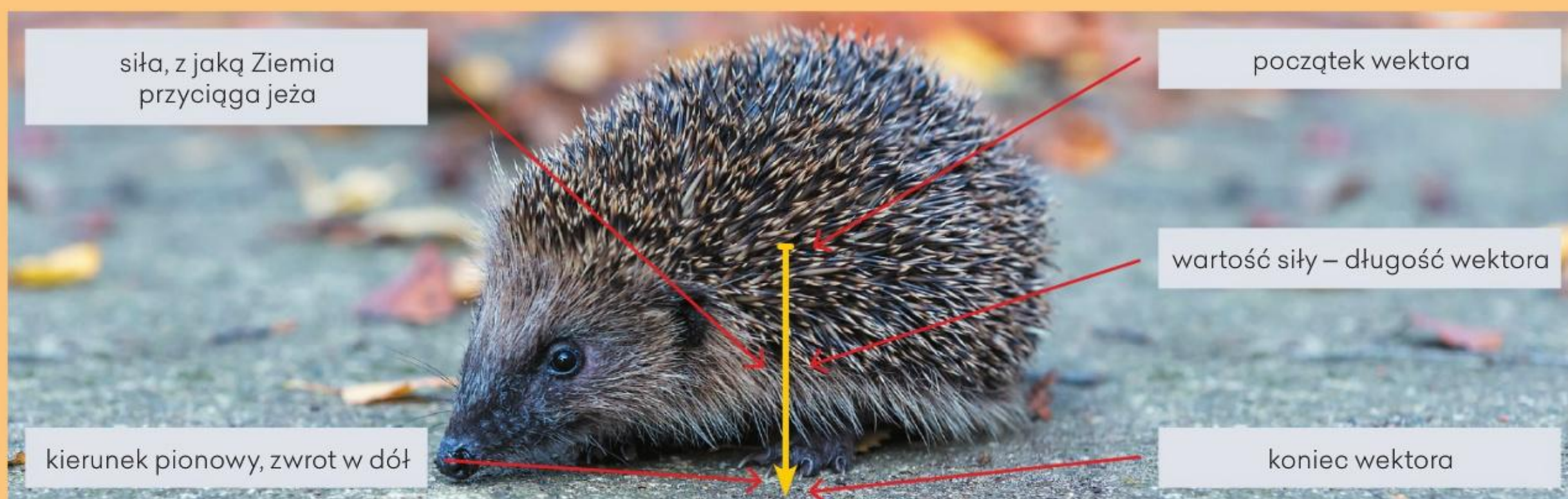
Mierzona wielkość	Symbol wielkości fizycznej	Przyrządy pomiarowe	Jednostki wielkości fizycznej najczęściej stosowane w pomiarach
długość, odległość	l	linijka, taśma miernicza	cm, m, km
czas	t	stoper, zegar	s, min, h
masa	m	waga elektroniczna, waga szalkowa	g, dag, kg
temperatura	t	termometr	°C
	T		K (kelwin)
szybkość (wartość prędkości)	v	szybkościomierz (prędkościomierz)	$\frac{m}{s}$, $\frac{km}{h}$, $\frac{cm}{s}$
objętość	V	cylinder miarowy (do wyznaczania objętości cieczy i objętości ciał stałych metodą wyporu cieczy)	cm ³ , dm ³ , m ³
siła, siła ciężkości (ciężar)	$\vec{F}, \vec{F}_g$	siłomierz do pomiaru wartości siły	N
gęstość	d	areometr do pomiaru gęstości cieczy (gęstości ciał stałych, cieczy i gazów najczęściej wyznaczamy pośrednio, mierząc masę i objętość ciała)	$\frac{g}{cm^3}$, $\frac{kg}{m^3}$

- Wyznaczając na wadze masę ciała, określasz ilość materii, z której zbudowane jest to ciało. Ważenie polega na porównaniu masy ważonego ciała z masą odważników.
- Objętość określa wielkość przestrzeni, jaką zajmuje dane ciało. Objętość ciał stałych można wyznaczyć metodą wyporu cieczy. Objętość wypartej cieczy jest równa objętości całkowicie zanurzonego w niej ciała.

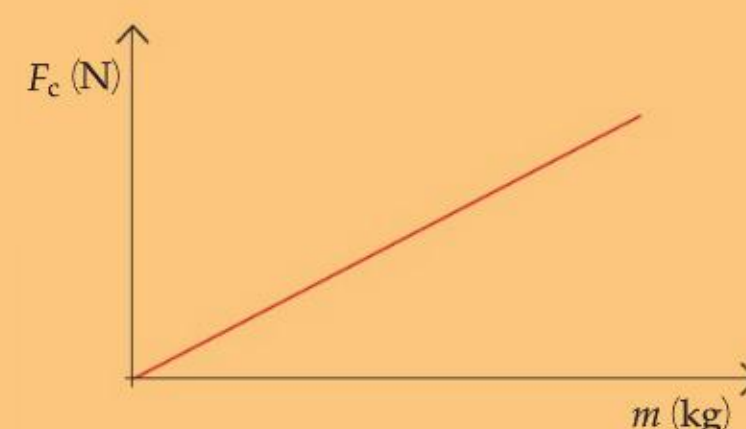
- Występujące wokół nas oddziaływania dzielimy następująco na:



- Miarą wzajemnego oddziaływania ciał jest siła. W zależności od tego, w którą stronę działa siła o stałej wartości, skutek jej działania jest inny. Siła jest wielkością wektorową, która ma wartość, kierunek, zwrot i punkt przyłożenia. Siłę można przedstawić graficznie, używając odcinka skierowanego zwanego wektorem. Wartość siły mierzy się siłomierzem i wyraża w jednostkach zwanych niutonami.



- Na każde ciało, które znajduje się na Ziemi lub w jej pobliżu, działa siła ciężkości o kierunku pionowym i zwrocie do środka Ziemi. Siła ciężkości jest wielkością wektorową, co zapisujemy $\vec{F}_c$. Wartość siły ciężkości F_c (bez strzałki nad symbolem) można obliczyć ze wzoru: $F_c = m \cdot g$, gdzie m to masa ciała, a g to stały współczynnik równy ok. $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.
- Substancje różnią się gęstością, która informuje o tym, jaka jest masa jednostkowej objętości (1 cm^3 , 1 m^3) danej substancji. Gęstość możemy wyznaczyć doświadczalnie, mierząc masę i objętość ciała wykonanego z tej substancji, i obliczyć ze wzoru: $d = \frac{m}{V}$.
- Zależność jednej wielkości fizycznej od innej wielkości fizycznej można przedstawić na wykresie. Jeśli dwie wielkości są wprost proporcjonalne do siebie (np. $F_c \sim m$, $m \sim V$), to wykres jest półprostą wychodzącą z początku układu osi.

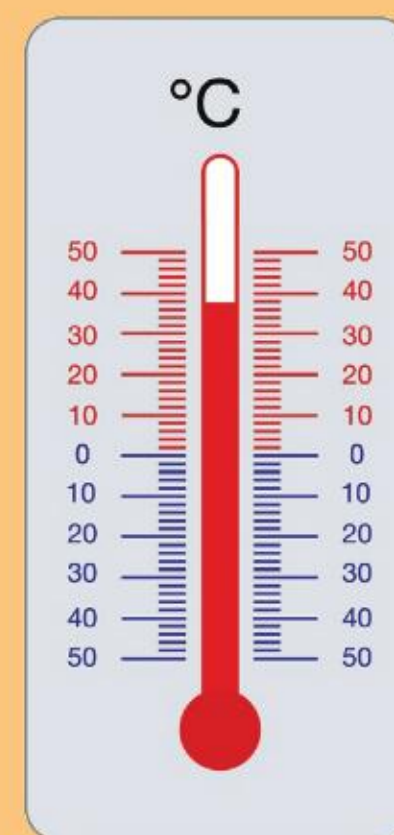


Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Uczniowie postanowili wyznaczyć masę kubka za pomocą wagi szalkowej. Na zdjęciu obok widzisz sytuację, w której waga jest w równowadze. Dokończ zdanie tak, aby otrzymać zdanie prawdziwe. Masa kubka wynosi



- 2 Na rysunku obok widzisz termometr wskazujący temperaturę za oknem. Oceń prawdziwość podanych zdań.



- 3 Zapisz podane wartości we wskazanych jednostkach. Obliczenia wykonaj w zeszycie.

- a) $11\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ w $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
 b) 5 cm^3 w m^3
 c) 1 h 18 min 5 s w sekundach
 d) $0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- 4 Jeśli do menzurki pokazanej na rysunku włożysz stalowy klocek o wymiarach: 2 cm, 2 cm, 3 cm, to poziom wody podniesie się i wskaże objętość



- 5 Rowerzysta jechał z szybkością $12 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. W ciągu 15 minut przebył drogę

- A. 4 km B. 2 km C. 6 km D. 3 km

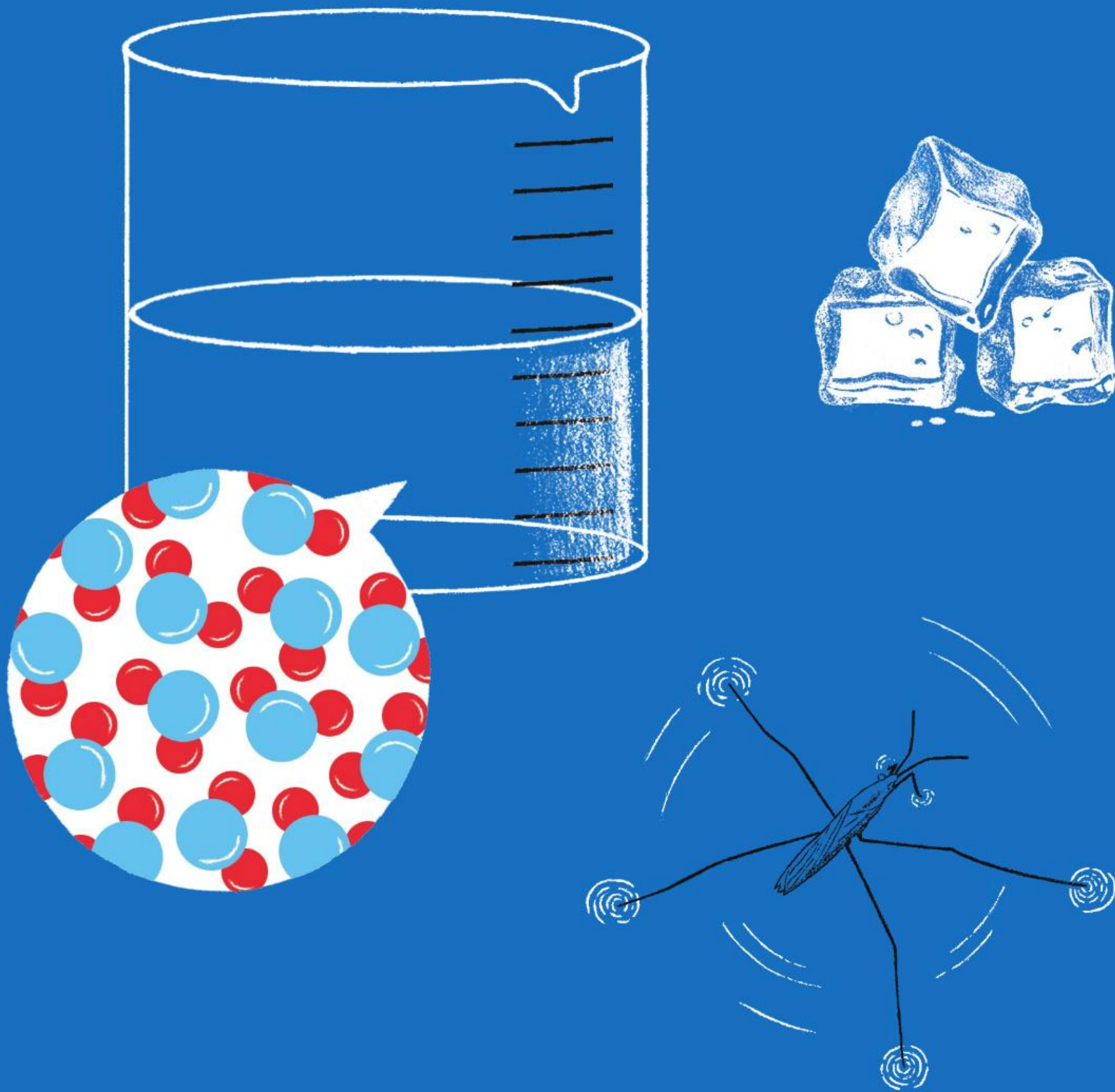
- 6 Ciężar 2000 g ziemniaków jest równy

- A. 2 N B. 20 N C. 0,2 N D. 200 N

- 7 Na wadze laboratoryjnej zważono pustą menzurkę i odczytano, że jej masa wynosi 0,3 kg. Następnie do menzurki nalano 200 cm^3 cieczy i ponownie zważono. Odczytano, że masa naczynia z cieczą jest równa 0,464 kg. Oblicz gęstość cieczy i sprawdź w internecie (odszukaj w tablicach), jaką ciecz nalano do menzurki.

- 8 Wiedząc, że dokładność wagi laboratoryjnej wynosi 1 g, a dokładność menzurki $0,2 \text{ cm}^3$, spróbuj określić niepewność pomiarową gęstości cieczy z zadania 7. metodą NKP (Najmniej Korzystnego Przypadku). Zapisz wynik obliczeń gęstości cieczy wraz z niepewnością pomiarową.

3. Budowa i właściwości materii



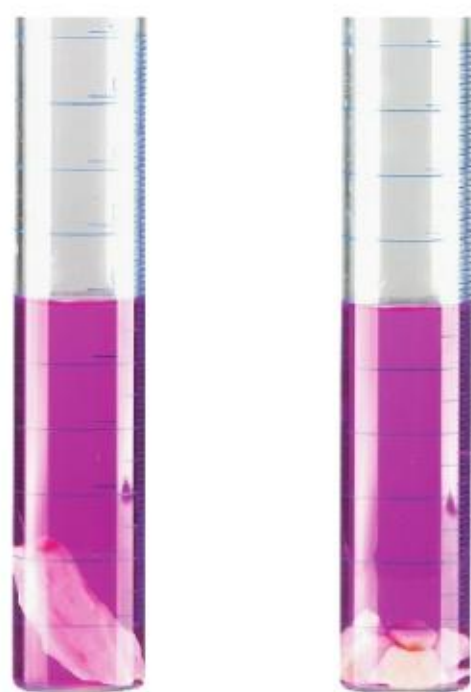
1. W jakim stanie skupienia przedstawiono wodę na ilustracji?
2. Jakie właściwości ma woda, a jakie – lód?
3. Jak zbudowana jest woda?
4. Na czym polegają oddziaływania międzycząsteczkowe?
5. Czym jest napięcie powierzchniowe?

3.1 Stany skupienia materii

Podejmij temat



Czy woda może występować jednocześnie w trzech stanach skupienia?



3.1 Zmiana kształtu ciała stałego nie powoduje zmiany objętości ciała. Rozdrobniony kamień ma taką samą objętość jak cały kamień



Zastąp kamień plasteliną i potwierdź doświadczalnie tę obserwację.

Trzy stany skupienia ciał

Wiesz już, że otaczające nas przedmioty, które nazwaliśmy ciałami fizycznymi, zbudowane są z różnych substancji. Każda substancja w zależności od warunków może występować w trzech stanach skupienia: **stałym**, **ciekłym** i **gazowym**. W określonych warunkach ta sama substancja może występować w jednym stanie skupienia lub równocześnie w dwóch lub trzech stanach skupienia. Możesz to zaobserwować na przykładzie wody. W mroźny zimowy dzień na zbiorniku wodnym zauważysz lód, a w powietrzu, choć niewidoczna, będzie obecna para wodna. W każdym stanie skupienia substancje mają różne właściwości, które postaramy się zaobserwować i zbadać. Sprawdzimy również, czy ciała zawsze mają określony kształt i określoną objętość.

Właściwości ciał stałych

Znasz różne ciała stałe, takie jak: lód, kreda, plastelina, metale, tworzywa sztuczne, kamienie. W ustalonej temperaturze **ciała stałe mają określony kształt i określoną objętość**. Zbadamy, jak zachowują się pod działaniem różnych sił.

Doświadczenie 14.

Badamy, jak zachowują się ciała stałe na skutek działania siły

Niezbędne przedmioty: kreda, gąbka, plastelina, gumka do ścierania, drut miedziany, sprężyna, stalowy gwóźdź, klocek drewniany, w miarę możliwości bryłka lodu, młotek

Wykonanie:

- Spróbuj zgnieść (ścisnąć), uderzyć młotkiem lub złamać każdy z tych przedmiotów.
- Spróbuj opisać, co się dzieje, określić cechy wspólne przedmiotów i różnice między przedmiotami.

Obserwacje:

- W wyniku działania siły kreda i lód kruszą się – rozsypują na drobne kawałki. Jeśli uda się zmienić ich kształt (pokruszyć je), nie powracają już do swojej pierwotnej postaci.
- W wyniku działania siły gąbka i gumka zostają ściśnięte. Zachowują się podobnie do sprężyny. Ciała te łatwo powracają do swojej pierwotnej postaci po ustaniu działania sił.
- Plastelina i drut miedziany zmieniają swoje kształty. Poprzez odpowiednie działanie można nadać im ich pierwotne kształty. Same do nich nie powracają.
- Nie udało się zgnieść ani złamać drewnianego klocka i stalowego gwoźdź.

Wniosek:

- Kreda i lód są **ciałami kruchymi**.
- Gąbka, gumka i sprężyna są **ciałami sprężystymi**.
- Plastelina i drut miedziany są **ciałami plastycznymi**.



kreda



gąbka



plastelina

Kruchość, sprężystość i plastyczność nie są stałymi cechami. Stal w temperaturze pokojowej może być sprężysta, a w wysokiej temperaturze staje się plastyczna. Cechę tę wykorzystują kowale w kuźniach. Podobnie jest z gliną, z której można formować różne kształty, wykorzystując jej plastyczność. Po wypaleniu staje się krucha.

Różnorodne właściwości ciał stałych wykorzystuje się w życiu codziennym. Substancje dobiera się tak, aby jak najlepiej spełniały swoje określone funkcje.

Właściwości cieczy

Cieczami są: woda, olej, mleko, sok, benzyna. Sprawdzimy, czym się różnią właściwości cieczy od właściwości ciał stałych.

Doświadczenie 15.

Badamy, czy ciecze mają określony kształt i określoną objętość oraz czy łatwo zmienić objętość cieczy

Niezbędne przedmioty: kilka naczyń o różnych kształtach, menzurka, strzykawka, zabarwiona woda (dla lepszej obserwacji)

Wykonanie:

- Nalej do menzurki określoną ilość zabarwionej wody, np. 100 ml.
- Przelej ciecz do drugiego naczynia, a potem z drugiego do następnego itd. Co powiesz o kształcie i objętości cieczy w poszczególnych naczyniach?
- Na końcu przelej ciecz ponownie do menzurki i sprawdź jej objętość.
- Nabierz zabarwionej wody do strzykawki, zatkaj jej wylot palcem i spróbuj nacisnąć tłok strzykawki tak, aby zmienić objętość cieczy.

Obserwacje:

- Ciecz można przelewać, łatwo zmieniać jej kształt.
- Woda przyjmuje kształt naczynia, w którym się znajduje.
- Ciecz ma określoną objętość.
- Nie można zmienić objętości cieczy.

Wniosek:

- **Ciecze przyjmują kształty naczyń, w których się znajdują.**
- **Ciecze mają określoną objętość, którą trudno zmienić.** Są trudno ściśliwe, a praktycznie – **nieściśliwe**.



W przyrodzie występuje jeszcze jeden stan skupienia materii, przypominający gaz – plazma. Choć we Wszechświecie jest powszechny (stanowi ok. 99%) i np. wypełnia wnętrze Słońca, to na co dzień prawie nie mamy z nim do czynienia.

Właściwości gazów

Zapewne nieraz widziałeś nadmuchane powietrzem czy helem balony o przeróżnych kształtach. Gazy, podobnie jak ciecze, **przyjmują kształty naczyń** (zbiorników, pomieszczeń), w których się znajdują (il. 3.2, 3.3). Łatwo zmienić ich kształt, wystarczy np. ścisnąć balonik. Gdy z kolei zatkaasz wylot pustej strzykawki i naciśniesz tłok, zauważysz, że łatwo **zmienić objętość gazu** (il. 3.4). Jeśli przestaniesz naciskać, objętość gazu zwiększy się i tłok strzykawki zostanie przesunięty do pierwotnego położenia. Powiemy, że gazy są **ściśliwe** i **rozprężliwe**.



3.2 Balon z helem



3.3 Butla z gazem



3.4 Strzykawka z powietrzem

W skrócie

- Substancje mogą występować w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym, gazowym.
- Każde ciało stałe ma określony kształt i określoną objętość. Kształty niektórych ciał stałych można łatwo zmienić. Zmiana kształtu nie powoduje zmiany objętości ciała.
- Ciała stałe mogą być kruche, plastyczne i sprężyste, ale właściwości te nie są stałymi cechami danej substancji.
- Każda ciecz ma określoną objętość, ale nie ma określonego kształtu – przyjmuje kształt naczyń, w których się znajduje. Ciecze są w zasadzie nieściśliwe – bardzo trudno zmienić ich objętość.
- Gazy nie mają swoich kształtów i określonej objętości. Zajmują każdą dostępną im przestrzeń. Są ściśliwe i rozprężliwe.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Podaj po trzy przykłady substancji w stanach: stałym, ciekłym, gazowym.
- 2 Powiedz, jakie właściwości ciał stałych – kruchość, plastyczność czy sprężystość – wykorzystują:
 - artysta podczas wykonywania rzeźby w kamieniu,
 - dziecko podczas skoków na trampolinie,
 - uczeń wykonujący figurki z masy solnej lub modeliny,
 - sportowiec napinający łuk,
 - robotnik wykonujący młotem pneumatycznym otwór w betonie,
 - piekarz ugniatający ciasto na chleb,
 - dziecko nadmuchujące balonik,
 - maszyna wytłaczająca metalowe puszki.
- 3 Jaka właściwość gazów wykorzystywana jest podczas pompowania opon, materaca lub piłki?
- 4 Wyszukaj w internecie informacje na temat budowy i działania kuli plazmowej.

3.2 Zmiany stanów skupienia materii

Podejmij temat



Zastanawiałeś się, czy substancje zmieniają stan skupienia?

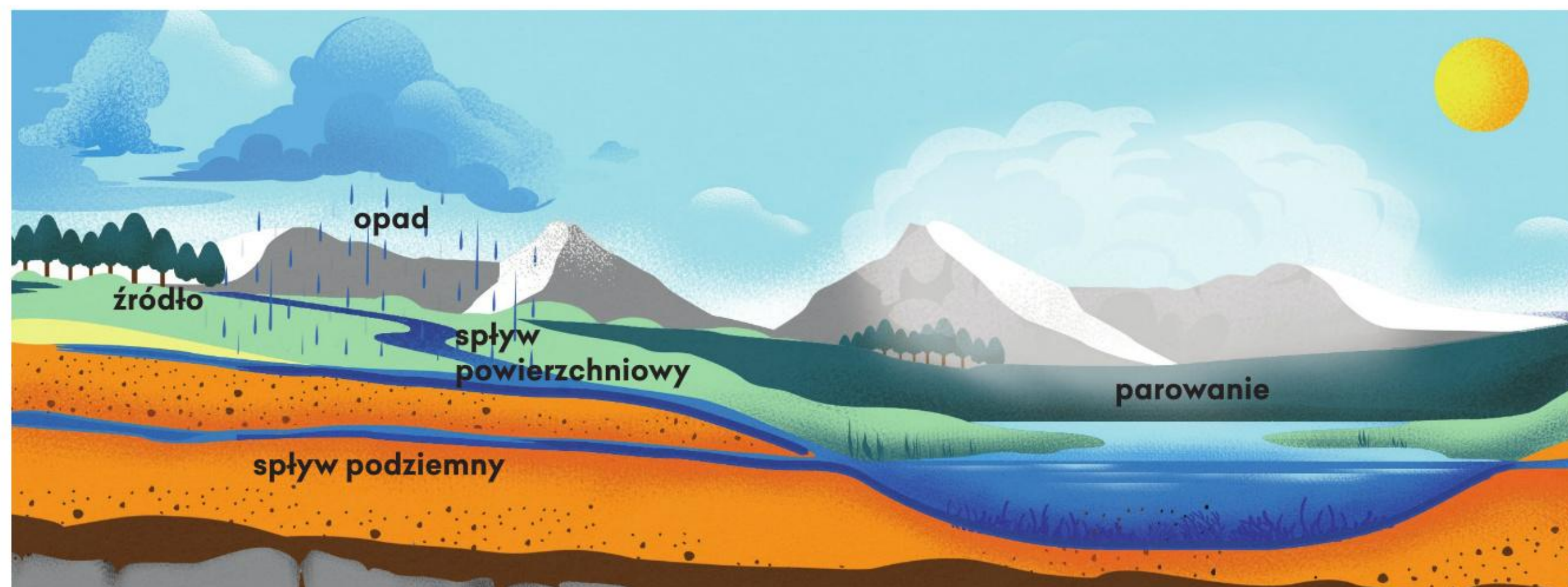


Jak woda zmienia stan skupienia?

Ogrzany soplel lodu topi się, natomiast woda wstawiona do zamrażarki zmienia się w lód. Podczas gotowania woda w naczyniu paruje, na położonej na nim pokrywie – skrapla się. **Topnienie** oznacza przejście ciała ze stanu stałego w stan ciekły. Proces odwrotny, tzn. zamianę cieczy w stan stały, nazywamy **krzepnięciem**. Podczas **parowania** ciecz (woda) zamienia się w gaz (parę wodną), odwrotny zaś proces, zamianę gazu w ciecz, nazywamy **skraplaniem**. Przy **sublimacji** ciało stałe przechodzi bezpośrednio w stan gazowy z pominięciem stanu ciekłego. Np. w wyniku sublimacji bielizna wysycha na mrozie. Zawarta w niej woda najpierw zamarza, a potem od razu przechodzi w parę wodną. Przejście ze stanu gazowego w stan stały nazywa się **resublimacją**. Proces ten zachodzi również z pominięciem stanu ciekłego. W wyniku resublimacji pary wodnej w mroźne dni powstaje szron na roślinach (il. 3.5). Wszystkie te procesy zachodzą na Ziemi nieustannie (il. 3.6).



3.5 Szron na roślinach



3.6 Obieg wody w przyrodzie

Wrzenie to gwałtowne parowanie cieczy w całej objętości. Zachodzi w ściśle określonej temperaturze, zależnej od ciśnienia nad cieczą (więcej o ciśnieniu dowiesz się później). Podczas wrzenia pęcherzyki pary powstają w całej objętości cieczy.

Czy tylko woda zmienia stan skupienia?

Inne substancje występujące w przyrodzie, podobnie jak woda, również mogą istnieć w trzech stanach skupienia i, w zależności od warunków zewnętrznych, między innymi temperatury, zmieniać swój stan skupienia. Np. azot, często wykorzystywany w doświadczeniach pokazowych, **wrze** w temperaturze $-195,8^{\circ}\text{C}$ (il. 3.7 A.), poniżej tej temperatury jest cieczą (ciekły azot, il. 3.7 B.), a w normalnych warunkach gazem – składnikiem powietrza, którym oddychamy. Żelazo, z którym stykasz się na co dzień, jest ciałem stałym, ale w hutach może być cieczą po stopieniu w temperaturze 1535°C . Z kolei rtęć, wykorzystywana w termometrach laboratoryjnych, w temperaturze pokojowej jest cieczą, a krzepnie – staje się ciałem stałym – w temperaturze -39°C . **Topnienie i krzepnięcie zachodzą w tej samej, stałej i charakterystycznej dla każdej substancji, temperaturze.** Powyżej temperatury 5000°C prawie wszystkie substancje są w stanie gazowym.



3.7 A. Azot w temperaturze wrzenia, B. Pojemnik z ciekłym azotem



Większość substancji zmniejsza swoją objętość podczas krzepnięcia, a zwiększa ją podczas topnienia.

Ciekawe!

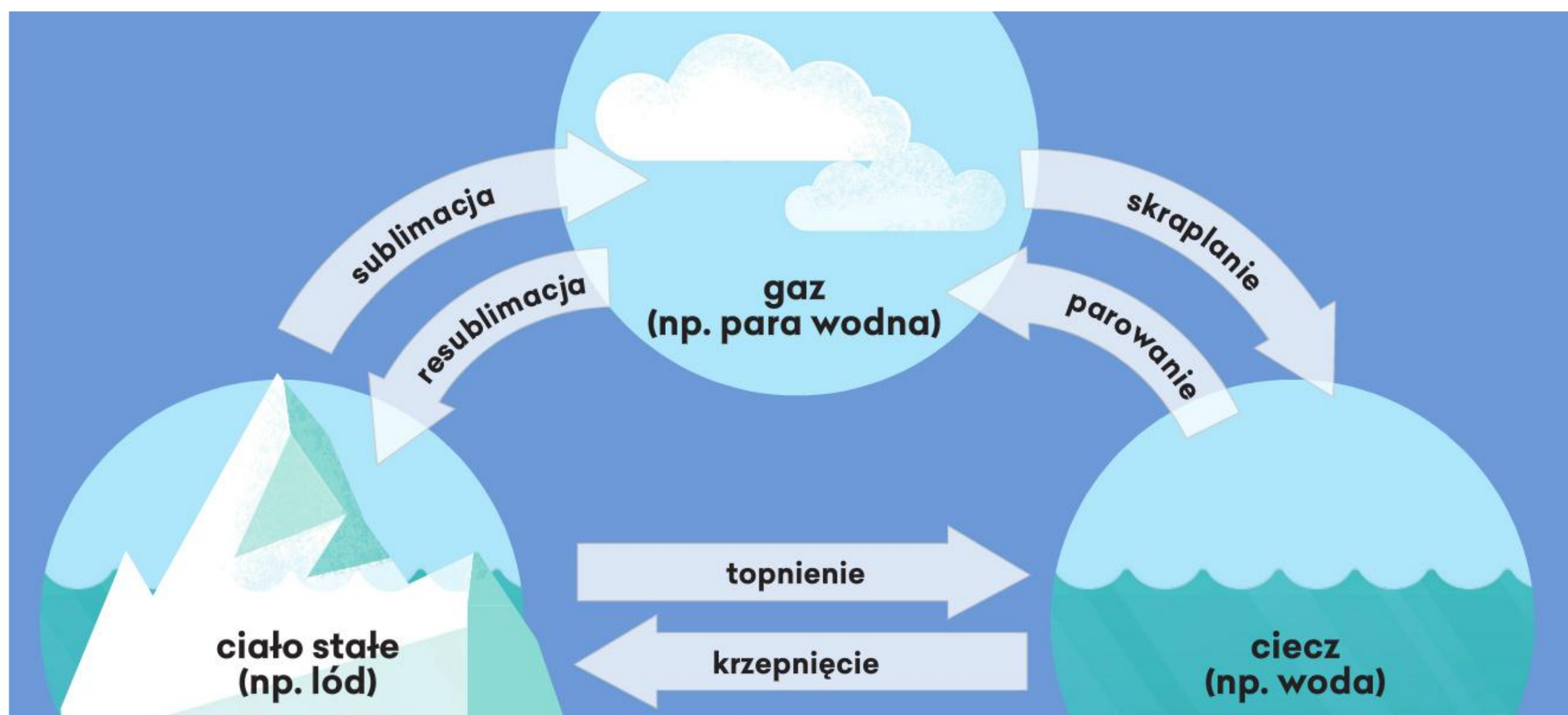
Z 1 dm^3 wody, która całkowicie przechodzi w stan gazowy w otwartym naczyniu, można uzyskać ponad 1700 dm^3 pary wodnej.

Co się dzieje z objętością ciała przy zmianie stanu skupienia?

Zapewne słyszałeś, że rury wodociągowe lub szklane naczynia z wodą mogą pękać na mrozie. Dzieje się tak, ponieważ woda, zamarzając (krzepnąc), zwiększa swoją objętość. Możesz się o tym przekonać, wykonując w domu proste doświadczenie. Wlej do małej plastikowej butelki lub do kubka wodę, zaznacz mazakiem jej poziom i schowaj naczynie na kilka godzin do zamrażarki. Po wyjęciu naczynia zobaczysz, że **objętość lodu jest większa od objętości wody**. Spróbuj również zaobserwować, jak zmienia się powierzchnia roztopionej stearyny, gdy zgaśnie świeczka. Zauważysz na pewno, że widoczne jest wgłębienie – **objętość stearyny po zakrzepnięciu maleje**. Tak jak stearyna zachowuje się większość substancji, a woda jest wyjątkiem. Zmiany objętości podczas topnienia i krzepnięcia są niewielkie. Inaczej jest **podczas parowania – objętość substancji zwiększa się wielokrotnie**.

W skrócie

- Wszystkie substancje, w zależności od warunków zewnętrznych, między innymi temperatury, zmieniają stan skupienia.
- Topnienie i krzepnięcie zachodzą w tej samej, określonej dla każdej substancji temperaturze, która nie zmienia się podczas tego procesu.
- Podczas topnienia i krzepnięcia zmienia się objętość ciał. Większość substancji, krzepnąc, zmniejsza swoją objętość. Wyjątkiem jest woda – jej objętość się zwiększa.
- Zmiany stanów skupienia ciał przedstawia poniższy schemat.



Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Opisz procesy zmiany stanów skupienia substancji przedstawione na schemacie powyżej.
- 2 Podaj trzy przykłady zmian stanu skupienia substancji.
- 3 W tabeli przedstawiono temperatury topnienia niektórych substancji.

Wykorzystaj informacje zawarte w tabeli i odpowiedz na pytania.

- a) Jaki jest stan skupienia ołowiu w temperaturze 350°C ?
- b) Wykonane z wolframu włókno tradycyjnej żarówki rozgrzewa się podczas świecenia do temperatury przekraczającej 2000°C . Czy włókno żarówki można wykonać z żelaza?
- c) 21 lipca 1983 roku na stacji antarktycznej Wostok odnotowano najniższą zanotowaną na Ziemi temperaturę powietrza: $-89,2^{\circ}\text{C}$. Czy temperaturę tę można było zmierzyć termometrem rtęciowym?

Nazwa substancji	Temperatura topnienia ($^{\circ}\text{C}$)
rtęć	-39
lód (woda)	0
ołów	327
żelazo	1535
wolfram	3350

3.3 Rozszerzalność temperaturowa ciał

Podejmij temat

- Wieża Eiffla jest stalową konstrukcją mającą około 300 m wysokości, opartą na czterech nogach. Czy możliwe, że jej wysokość się zwiększa?

Jakie skutki wywołuje ogrzewanie substancji?

Poznałeś różne właściwości ciał stałych, cieczy i gazów. Teraz sprawdzimy, jakie skutki wywoła ogrzewanie tych substancji.

Doświadczenie 16.

Badamy, jak zachowują się ciała stałe na skutek ogrzewania

Niezbędne przedmioty: pierścień Gravesanda (czyt. grejwsanda), dylatoskop z różnymi prętami (miedzianym, mosiężnym, aluminium), palnik spirytusowy lub świeczka, denaturat, zapalki

Wykonanie:

- A.** Doświadczenia z pierścieniem Gravesanda (wykonaj pod nadzorem nauczyciela):
- sprawdź, czy metalowa kulka przechodzi przez pierścień,
 - ogrzej kulkę nad płomieniem świeczki (palnika),
 - spróbuj przełożyć przez pierścień ogrzaną kulkę.
- B.** Doświadczenia z dylatoskopem (wykonaj pod nadzorem nauczyciela):
- nalej do rynienki dylatoskopu denaturatu i go podpal,
 - obserwuj, co się dzieje ze wskazówką przyrządu, zapamiętaj największe wychylenie,
 - po ostygnięciu pręta powtórz czynności z pozostałymi prętami.



Obserwacje:

- A.** W temperaturze pokojowej kulka swobodnie przechodzi przez pierścień, po ogrzaniu nie mieści się w pierścieniu. Objętość kulki po ogrzaniu zwiększyła się.
- B.** Po ogrzaniu pręta dylatoskopu wskazówka unosi się ku górze, co świadczy o wydłużeniu pręta. Pręty różnie się wydłużają; największe wychylenie wskazówki jest inne dla pręta miedzianego, a inne dla mosiężnego czy aluminium.

Wniosek: Ciała stałe na skutek ogrzewania zwiększają swoje wymiary. Po wystygnięciu – przedmioty wracają do swoich pierwotnych wymiarów.

Obserwowane w doświadczeniu zjawisko nazywa się **rozszerzalnością temperaturową ciał stałych**.

W jaki sposób rozszerzają się ciała stałe?

Wraz ze wzrostem temperatury jedne substancje rozszerzają się bardziej, inne mniej. Zazwyczaj zmiany rozmiarów ciał są niewielkie, ale ciała rozszerzają się, podobnie jak kulka, we wszystkich kierunkach. Mówimy wtedy o rozszerzalności objętościowej ciał. W przypadku ciał bardzo długich, czyli takich, u których jeden wymiar znacznie odbiega od pozostałych, najczęściej mówimy o **rozszerzalności liniowej**.

Tabela obok przedstawia wydłużenie (przyrost długości) 1 metra substancji przy wzroście temperatury o 100°C.

Tabela 8. Przyrosty długości wybranych substancji

Substancja	Przyrost długości w mm
aluminium	2,3
mosiądz	1,9
miedź	1,6
stal	1,3
żelazo	1,2
szkło okienne	0,9

Oznacza to, że np. pręt aluminiowy o długości $l_0 = 1\text{ m}$ po ogrzaniu o 100°C jest dłuższy o 2,3 mm i jego długość końcowa $l = 1,0023\text{ m}$.

przyrost długości = długość końcowa – długość początkowa

$$\Delta l = l - l_0$$

Przyrost długości pręta – z dobrym przybliżeniem – jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury ciała Δt .

$$\Delta l \sim \Delta t$$

Oznacza to, że ten pręt aluminiowy po ogrzaniu o $\Delta t = 200^\circ\text{C}$ wydłuży się o $\Delta l = 4,6\text{ mm}$.

Zastosowanie zjawiska rozszerzalności ciał stałych

Informacje o rozszerzalności temperaturowej ciał stałych mają ogromne znaczenie w życiu codziennym. Ponieważ w naszej strefie klimatycznej temperatury mogą wahać się od ok. -20°C do ok. $+30^\circ\text{C}$, konstruktorzy dużych stalowych obiektów, np. mostów, szyn kolejowych, linii przesyłowych (il. 3.8, 3.9), muszą zastosować różne rozwiązania uwzględniające zmiany długości obiektów w poszczególnych porach roku. Zjawisko rozszerzalności ciał stałych ma również szerokie zastosowanie. W wielu urządzeniach stosuje się bimetal (il. 3.10), składający się z dwóch warstw substancji (np. miedź i żelazo, inwar i mosiądz) o różnej rozszerzalności. Podczas ogrzewania bimetal wygina się, gdyż jeden z metali rozszerza się bardziej niż drugi. Bimetal znalazł zastosowanie w czujnikach różnych urządzeń – piecyków, pralek, lodówek, żelazek.



3.8 Linia sieci wysokiego napięcia latem



3.9 Linia sieci wysokiego napięcia zimą



3.10 Ogrzewany bimetal

W jaki sposób rozszerzają się ciecze?

Sprawdźmy, co się będzie działo z podgrzaną wodą umieszczoną w szklanej, zakorkowanej butelce, w której znajduje się szklana rurka.

Doświadczenie 17.

Badamy, jak się zachowują ciecze na skutek ogrzewania

Niezbędne przedmioty: kolba kulista z zabarwioną wodą, zatkana korkiem z rurką w środku, naczynie z gorącą wodą

Wykonanie:

- Połóż ręce na butelce i potrzymaj je tam chwilę. Obserwuj poziom cieczy w rurce.
- Włóż butelkę do naczynia z gorącą wodą i znów obserwuj poziom cieczy w rurce.
- Wyjmij butelkę z naczynia i zobacz, co się dzieje z cieczą.

Obserwacje:

- Ciecz w rurce po ogrzaniu butelki rękami nieznacznie się podnosi.
- Po włożeniu butelki do naczynia z gorącą wodą poziom wody wyraźnie się podnosi.
- Po ostygnięciu cieczy poziom wody wraca do stanu pierwotnego.

Wniosek: Ciecze na skutek ogrzewania zwiększają swoją objętość.



Obserwowane w doświadczeniu zjawisko nazywa się **rozszerzalnością temperaturową cieczy**.

Przyrost objętości 1 dm^3 substancji przy wzroście temperatury o 1°C (od 20°C do 21°C) przedstawiają tabela 9. i diagram 1.

Tabela 9. Przyrosty objętości wybranych substancji

Substancja (1 dm^3)	Przyrost objętości w cm^3
eter	1,62
alkohol etylowy	1,10
nafta	0,96
gliceryna	0,49
woda	0,21
rtęć	0,18

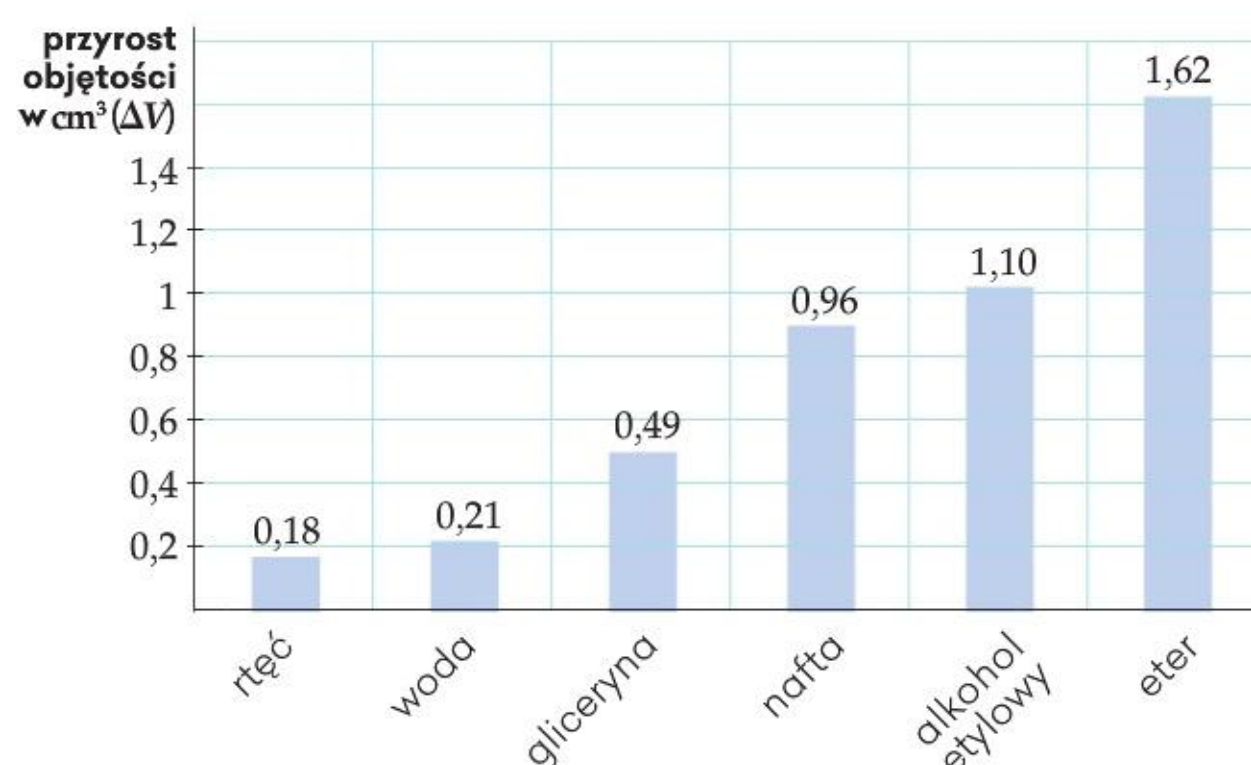


Diagram 1. Przyrosty objętości wybranych substancji

Jak widzisz, **przyrost objętości ΔV** jest różny dla różnych cieczy. Dla każdej substancji **jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury: $\Delta V \sim \Delta t$** .

Zastosowanie zjawiska rozszerzalności cieczy

Zjawisko rozszerzalności cieczy znalazło zastosowanie w termoskopach i termometrach cieczowych. Termoskop (il. 3.11) składa się z wąskiej, szklanej rurki, z jednej strony zakończonej zbiorniczkiem z cieczą. Ta wąska rurka znajduje się w zasklepionej szerszej rurce. Jeżeli termoskop umieścisz w mieszaninie wody i lodu, wskaże poziom 0°C , we wrzącej wodzie natomiast – poziom odpowiadający 100°C . Jeżeli odcinek od 0°C do 100°C podzielisz na 100 części, to odległość między sąsiednimi kresczkami odpowiadać będzie jednemu stopniowi w skali Celsjusza (1°C). W ten sposób z termoskopu otrzymasz termometr. Jak wiesz, termometr służy do mierzenia temperatury ciał. W zbiorniczku termometru laboratoryjnego znajduje się rtęć lub alkohol. Zbiorniczki termometrów pokojowych, zaokiennych i kąpielowych wypełnione są zabarwionym alkoholem. Obecnie nie używa się już termometrów lekarskich napełnionych rtęcią.

Pod wpływem ogrzewania ciecz się rozszerza, podnosi się jej poziom w wąskiej rurce, jednocześnie wskazując odpowiednią temperaturę na skali.

Wyjątkowa rozszerzalność temperaturowa wody

Woda jest niezwykle substancją, która przy ogrzewaniu zachowuje się inaczej niż inne ciecze.



3.11 Termoskop

Doświadczenie 18.

Badamy rozszerzalność temperaturową wody

Hipoteza: Woda nie zwiększa objętości podczas ogrzewania w pewnym zakresie temperatur.

Niezbędne przedmioty: duży szklany słoik lub wysoka zlewka, woda, lód, dwa (może być jeden) termometry laboratoryjne, statyw, sznurek, linijka

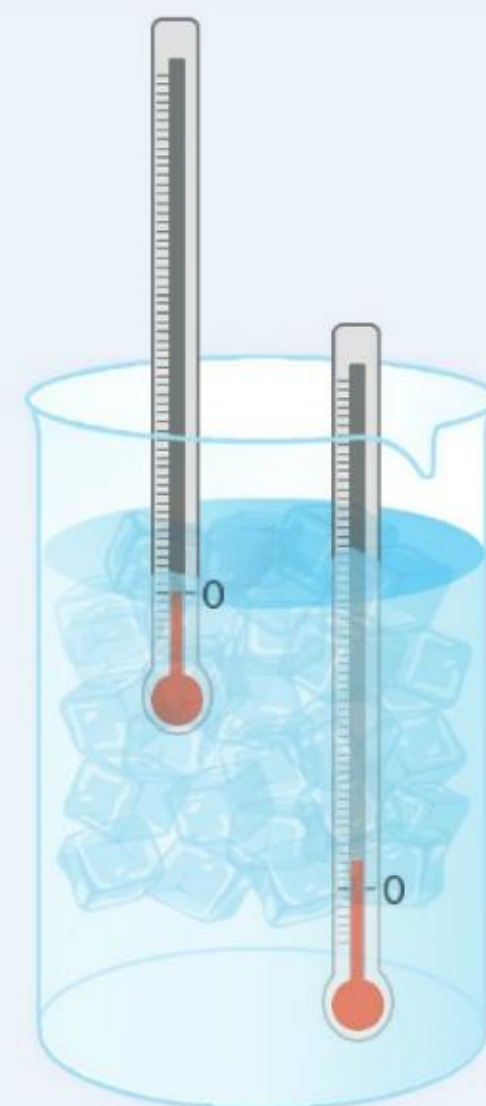
Wykonanie:

- Do zlewki nalej wody (do około połowy wysokości) o temperaturze pokojowej.
- Następnie wsyp drobno potłuczony lód tak, aby stanowił co najmniej kilkucentymetrową warstwę.
- Zanurz termometr przymocowany nitką do statywu tak, aby jego zbiorniczek znajdował się tuż pod powierzchnią wody na górze zlewki, i odczytaj jego wskazanie.
- Obniżaj stopniowo termometr o około **2 cm** i mierz temperaturę na określonym poziomie.
- Drugi termometr wstaw do zlewki i odczytaj temperaturę, jaką wskazuje termometr na dnie. Jeśli masz jeden termometr, to wykonaj ostatni pomiar na dnie zlewki.

Obserwacje i pomiary:

- Lód pływa po powierzchni wody na górze zlewki.
- Termometr umieszczony w lodzie wskazuje temperaturę 0°C .
- Im głębiej, tym temperatura jest wyższa.
- Termometr umieszczony w wodzie na dnie zlewki wskazuje temperaturę 4°C .

Wniosek: Woda w temperaturze 4°C ma najmniejszą objętość, a więc największą gęstość. Woda nie zwiększa objętości podczas ogrzewania pomiędzy 0°C a 4°C .



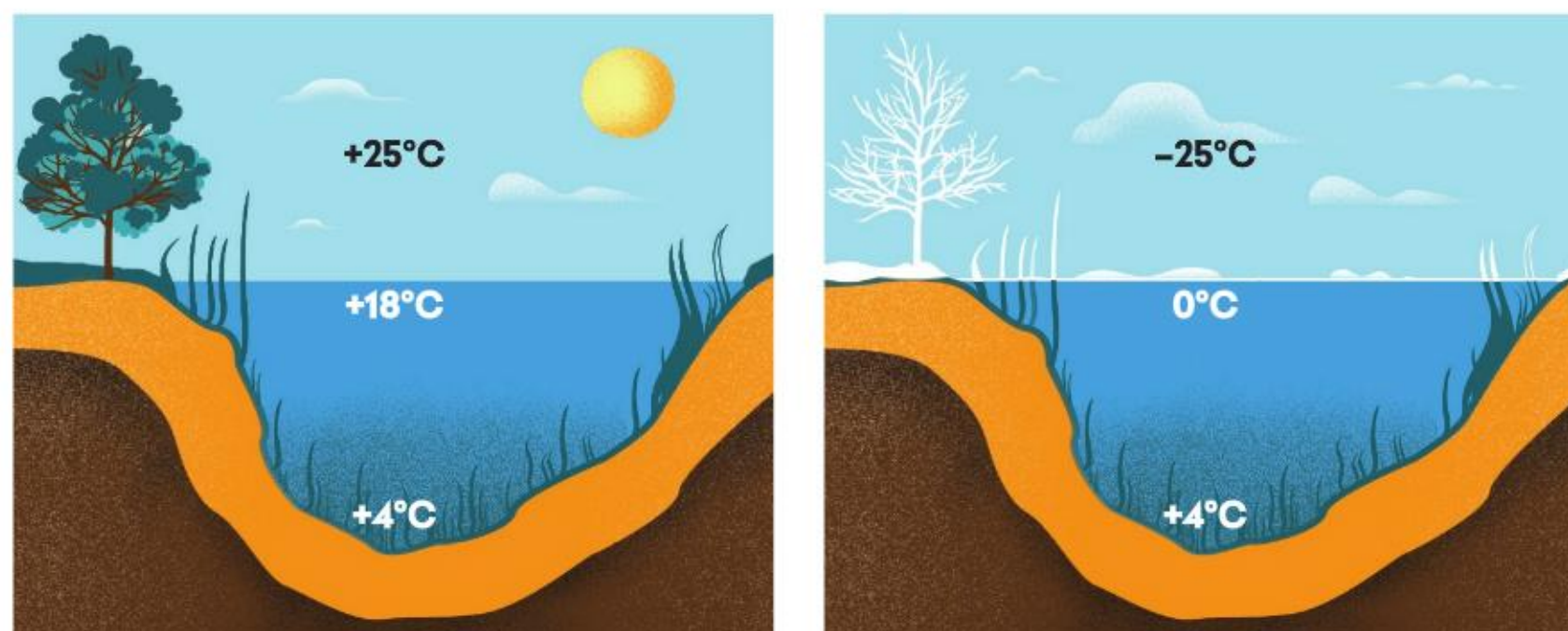
Ciekawe!



Pierwsze loty balonem

Od dawna przypuszczano, że balon napełniony gazem lżejszym od powietrza będzie się unosił w powietrzu jak statek unosi się na wodzie. Problem stanowiło odkrycie tego gazu. Pierwszym rozwiązaniem stało się gorące powietrze, ponieważ jest ono rzadsze, a więc lżejsze od powietrza zimnego. W roku 1783 we Francji bracia Joseph i Jacques Montgolfier (czyt. żozef i żak mągolfie) wykonali z papieru wielki, niebiesko-żółty balon i napełnili go gorącym powietrzem. Na oczach zdumionych paryżan balon, z dwoma mężczyznami na pokładzie, wzniósł się w powietrze.

Z doświadczenia 18. wynika, że w temperaturze między 0°C a 4°C woda wykazuje pewne anomalie. Zamiast zwiększać swoją objętość wraz ze wzrostem temperatury, zmniejsza ją. Ta właściwość (anomalna rozszerzalność) wody ma ogromne znaczenie w przyrodzie – zimą woda w jeziorach nie zamraża do dna, dzięki czemu ryby mogą przetrwać w czasie mroźnych zim (il. 3.12). Woda ogrzewana powyżej temperatury 4°C rozszerza się, czyli zachowuje się jak inne ciecze.



3.12 Woda w jeziorze na dnie utrzymuje latem i zimą temperaturę $+4^{\circ}\text{C}$

Rozszerzalność temperaturowa gazów

Aby się przekonać, jak się zachowują gazy przy zmianach temperatury, przygotuj plastikową butelkę o pojemności 1,5 l, z zakrętką. Zgnieć butelkę i zakręć korek. Gdy włożysz butelkę do naczynia z gorącą wodą, zobaczysz, że butelka się rozprostowuje i napręża. Możesz również wykonać inne doświadczenie. Gdy położysz ręce na kolbie (il. 3.13), zauważysz, że poziom cieczy w rurce szybko się podnosi. Powietrze po ogrzaniu zwiększa swoją objętość i wypycha ciecz do rurki. A więc gazy przy ogrzaniu również się rozszerzają, a przy oziębianiu – kurczą. Rozszerzalność gazów wykorzystano np. w lotach balonów.



3.13 Rozszerzalność temperaturowa gazów

W skrócie

- Prawie wszystkie ciała (wyjątkiem jest woda) na skutek ogrzewania – wzrostu temperatury – zwiększają swoją objętość. Po wystygnięciu przedmioty wracają do swoich pierwotnych wymiarów. Zjawisko to nazywa się rozszerzalnością temperaturową ciał.
- Ciała o jednakowej objętości, wykonane z różnych substancji, podgrzane o tę samą liczbę stopni, różnie się rozszerzają. Przyrost objętości ΔV jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury Δt tego ciała: $\Delta V \sim \Delta t$.
- W przypadku ciał bardzo długich (prętów, drutów) mówimy o rozszerzalności liniowej. Przyrost długości Δl jest wprost proporcjonalny do ich przyrostu temperatury Δt : $\Delta l \sim \Delta t$.
- Woda podczas ogrzewania pomiędzy 0°C a 4°C zmniejsza swoją objętość (zjawisko anomalnej rozszerzalności temperaturowej). W temperaturze 4°C woda ma najmniejszą objętość, a więc największą gęstość. Powyżej temperatury 4°C woda zaczyna się rozszerzać wraz ze wzrostem temperatury.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Ciała stałe zwiększają swoją objętość podczas ogrzewania.
 - B. Wszystkie ciecze i gazy zwiększają swoją objętość podczas ogrzewania.
 - C. Pręty i druty podczas ogrzewania zwiększają tylko swoją długość.
 - 2 Wyjaśnij, czy pomiary tego samego obiektu, wykonane za pomocą metalowej taśmy mierniczej na mrozie i w upalny dzień, będą takie same.
 - 3 Podaj przykłady wykorzystania rozszerzalności temperaturowej substancji.
 - 4 W mroźny zimowy dzień temperatura wody w jeziorze, pod powierzchnią lodu,
 - A. jest taka sama jak temperatura powietrza.
 - B. wynosi około 4°C .
 - C. wynosi 4°C , a na dnie około 0°C .
 - D. wynosi 0°C , a na dnie około 4°C .
 - 5 Wykonaj opisane doświadczenie.
-  Przygotuj plastikową butelkę z zakrętką, o pojemności 1,5 l. Zgnieć butelkę i zakręć korek. Włóż butelkę do naczynia z gorącą wodą i zobacz, co się dzieje. Wyjaśnij przebieg i wynik doświadczenia.
- 6 Na ilustracji obok widzisz powiększony fragment wygiętego bimetalu, zbudowanego z warstw inwaru i mosiądzu. Przerysuj rysunek do zeszytu i określ, z której strony znajduje się metal o mniejszej rozszerzalności. Poszukaj, o ile wydłuży się 1 m inwaru i mosiądzu po ogrzaniu o 100°C . Podpisz metale odpowiednimi nazwami.

Ciekawe!



Może słyszałeś o tzw. połączeniach skurczowych. Najprostszym przykładem takiego połączenia jest obręcz stalowa nałożona na drewnianą beczkę. Nałożenie obręczy wykonuje się po jej ogrzaniu, kiedy obręcz powiększa nieco swoją średnicę. Po pewnym czasie obręcz stygnie, kurczy się i zaciska na beczce.



Inwar to stop żelaza (Fe) i niklu (Ni) z niewielkim dodatkiem węgla (C) i chromu (Cr).



3.4 Budowa substancji a jej właściwości

Podejmij temat



Wiadomo, że Wszechświat jest zbudowany z maleńkich drobin (cząsteczek), ale czy umysł ludzki może sobie wyobrazić, jak małe są rozmiary tych cząsteczek? Może, ale z wielkim trudem. Jeśli powiększylibyśmy piłkę tenisową do rozmiarów Ziemi, to tworzące ją cząsteczki miałyby wielkość winogron.



Hipoteza cząsteczkowej budowy materii

Przez wieki filozofowie i uczeni badający przyrodę wyjaśniali wiele zjawisk, przyjmując hipotezę cząsteczkowej budowy materii. Przypuszczali, że substancje mają „coś” wewnątrz i ich właściwości wynikają właśnie z wewnętrznej, ziarnistej budowy. Według atomistycznej teorii greckiego filozofa Demokryta z Abdery świat składał się z niepodzielnych atomów poruszających się w próżni. Ich połączenia dawały w efekcie różnorodne ciała. W czasach mikroskopów elektronowych wiemy, że **wszystkie ciała zbudowane są z cząsteczek**. Potrafimy je zobaczyć. Spróbujemy sprawdzić hipotezę cząsteczkowej budowy materii, używając prostszych metod. Wyniki naszych obserwacji powinny dostarczyć pośrednich dowodów na istnienie cząsteczek.

Doświadczenie 19.

Hipoteza: Woda i denaturat mają wewnętrzną, drobinową (cząsteczkową) budowę.

Niezbędne przedmioty: probówka, denaturat, woda, mazak

Wykonanie:

- Do probówki wlej wody do około połowy jej wysokości.
- Następnie powoli, delikatnie wlej taką samą ilość denaturatu.
- Zaznacz mazakiem poziom cieczy.
- Wymieszaj obie ciecze i zobacz, jaki jest ich poziom.

Obserwacje: Poziom cieczy po zmieszaniu jest niższy.

Wniosek: Obserwowane zjawisko to kontrakcja objętości.



Doświadczenie modelowe

W doświadczeniu 19. zaobserwowałeś, że objętość roztworu nie jest sumą objętości wody i denaturatu przed zmieszaniem. By wyjaśnić ten problem, wykonaj doświadczenie modelowe. Modelem cząsteczek wody będą ziarna kaszy, a modelem cząsteczek denaturatu – ziarna fasoli.

Ciekawe!

Gdyby cząsteczki miały wielkość główki od szpilki, to cząsteczki, z których zbudowane jest ziarenko piasku, wypełniłyby sześćcian o krawędzi jednego kilometra.

Doświadczenie 20.

Potwierdzamy hipotezę o cząsteczkowej budowie substancji

Niezbędne przedmioty: menzurka, kasza (mak), fasola (groch), mazak

Wykonanie:

- Do menzurki wsyp kaszę do około połowy jej wysokości.
- Następnie nasyp podobną ilość fasoli (grochu).
- Zaznacz mazakiem poziom ziaren.
- Wymieszaj ziarna i zaobserwuj, jaki jest poziom mieszaniny.

Obserwacje:

- Objętość mieszaniny jest mniejsza niż suma objętości fasoli (grochu) i kaszy po zmieszaniu – poziom jest niższy. Mniejsze ziarenka kaszy wypełniają miejsca między większymi ziarnami fasoli.

Wniosek:

W taki sam sposób tłumaczymy mieszanie się wody i denaturatu (zjawisko kontrakcji objętości). Wyobrażamy sobie, że te dwie substancje składają się z maleńkich cząsteczek różnej wielkości i kształtu, które mieszają się podobnie jak ziarenka fasoli i kaszy. Cząsteczki jednej cieczy wypełniają puste miejsca pomiędzy większymi cząsteczkami drugiej cieczy.



Potwierdziłeś hipotezę, że woda i denaturat mają wewnętrzną, cząsteczkową budowę.

Czy cząsteczki się poruszają?

W 1827 roku angielski botanik Robert Brown (czyt. braun) zaobserwował pod mikroskopem poruszające się pyłki kwiatowe. Początkowo myślał, że są one żywe, jednak dalsze badania doprowadziły do wniosku, że pyłki uderzane są przez poruszające się chaotycznie, wielokrotnie mniejsze, cząsteczki wody. Ruchy cząsteczek wody, zwane dziś **ruchami Browna**, wyjaśnili w 1905 roku (niezależnie od siebie) Albert Einstein (czyt. ajnsztajn) i Marian Smoluchowski.

Wykonamy teraz kolejne doświadczenia, potwierdzające w sposób pośredni cząsteczkową budowę materii, oraz sprawdzimy, czy cząsteczki się poruszają.

Doświadczenie 21.

Sprawdzamy, czy jedna substancja rozprzestrzenia się w drugiej

Niezbędne przedmioty: szklanka, torebka herbaty, 2 menzurki, nadmanganian potasu, zimna i gorąca woda, perfumy w butelce (odświeżacz powietrza w płynie)

Wykonanie:

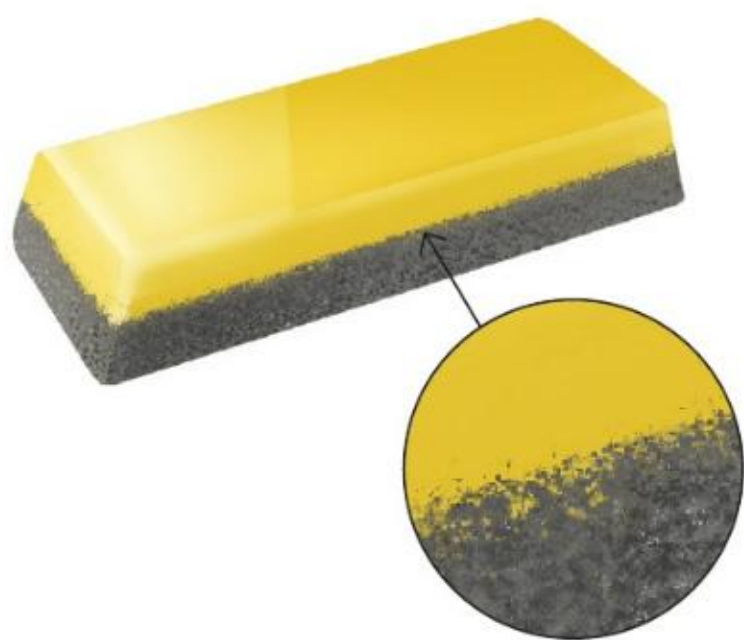
- **A.** Włóż torebkę herbaty do szklanki z gorącą wodą i zaobserwuj, co się dzieje w wodzie.
- **B.** Wlej do jednej menzurki zimną wodę, a do drugiej – gorącą. Wrzuć do obu menzurek odrobinę nadmanganianu potasu i zaobserwuj, co się dzieje w obu menzurkach.
- **C.** Otwórz buteleczkę perfum w jednym końcu sali. Zaobserwuj, czy czujesz zapach w drugim końcu sali.



Obserwacje:

- **A.** Widzimy rozchodzące się smugi esencji herbacianej, które po pewnym czasie zabarwiają wodę w całym naczyniu.
- **B.** Nadmanganian potasu rozprzestrzenia się w menzurkach. Znacznie szybciej w menzurce z gorącą wodą.
- **C.** Zapach perfum czuć po pewnym czasie w całej sali.

Wniosek: Cząsteczki jednej substancji (esencji herbacianej, nadmanganianu potasu) zderzają się z cząsteczkami wody, wnikają pomiędzy nie oraz przemieszczają się w różnych kierunkach. Im wyższa temperatura cieczy, tym szybciej się one przemieszczają. Perfumy parują i samoistnie mieszają się z powietrzem.



3.14 Sztabka złota i ołowiu po upływie kilku lat – przykład dyfuzji w ciałach stałych



Dyfuzja i jej znaczenie

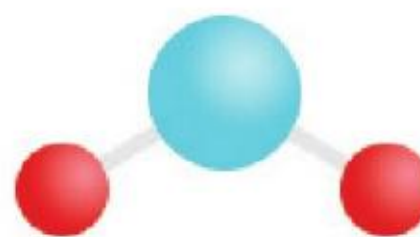
W doświadczeniu zaobserwowałeś, że cząsteczki różnych substancji się przemieszczają i mieszają. Takie **samorzutne rozprzestrzenianie się cząstek jednej substancji w drugiej nazywamy dyfuzją**. Zjawisko dyfuzji zachodzi także w ciałach stałych (il. 3.14), ale znacznie wolniej niż w cieczach lub gazach. Zauważyłeś również, że szybkość dyfuzji zależy od temperatury, co oznacza, że w wyższej temperaturze średnie szybkości cząsteczek są większe. Dyfuzja przekonuje nas o kinetyczno-cząsteczkowej budowie materii. Każda substancja – stała, ciekła i gazowa – jest zbudowana z cząsteczek. Wiemy, że cząsteczki są bardzo małe i dla nas niewidoczne. Ich rozmiary podaje się w nanometrach (nm). Przypomnijmy, że $1 \text{ nm} = 0,000000001 \text{ m}$. Cząsteczki różnych substancji są różnej wielkości i różnych kształtów.

Zjawisko dyfuzji odgrywa dużą rolę w przyrodzie i ma istotne znaczenie dla życia ludzi i zwierząt. Dzięki dyfuzji i osmozie (zjawisko podobne do dyfuzji) następuje przenikanie substancji odżywczych w organizmach czy wymiana gazowa przez skórę. Również dzięki dyfuzji rozchodzi się w wodzie przechwytywany z powietrza tlen, co umożliwia rybom oddychanie na dnie zbiorników.



Czy cząsteczki są najmniejszymi składnikami materii?

Wiesz już, że substancje są zbudowane z cząsteczek. Cząsteczki nie są jednak najmniejszymi częściami materii. Składają się one z **atomów** (il. 3.15, il. 3.16), a te z jeszcze mniejszych składników. Substancje składające się z atomów jednego rodzaju nazywamy **pierwiastkami**. Pierwiastkami są np.: węgiel, żelazo, rtęć, tlen, azot. Substancje, których cząsteczki zbudowane są z różnych atomów, nazywamy **związkami chemicznymi**.



3.15 Cząsteczka wody składa się z dwóch atomów wodoru i jednego atomu tlenu.



3.16 Cząsteczka dwutlenku węgla składa się z dwóch atomów tlenu i jednego atomu węgla

Więcej na temat



Średnia szybkość cząsteczek a temperatura

Wiesz już, że cząsteczki są w ciągłym ruchu i im wyższa temperatura, tym szybciej się poruszają.

Przyjrzyj się tabeli i zobacz, jak się zmienia średnia szybkość cząsteczek tlenu w różnych temperaturach.

Zauważ, że średnia szybkość cząsteczek gazu maleje wraz z obniżaniem się temperatury, a w temperaturze -273°C cząsteczki przestają się poruszać. Temperatura ta, dokładnie $-273,15^{\circ}\text{C}$, jest najniższą temperaturą w przyrodzie.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Średnia szybkość cząsteczek ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)
-273	0
-272	30
-250	120
-100	340
0	460
100	540
1000	1000
10000	2800

W skrócie

- Wszystkie ciała zbudowane są z cząsteczek, które pozostają w ciągłym ruchu.
- Samorzutne rozprzestrzenianie się cząsteczek jednej substancji w drugiej nazywamy dyfuzją. Dyfuzja zachodzi we wszystkich stanach skupienia, ale najwolniej w ciałach stałych. Zjawisko to przebiega szybciej w wyższej temperaturze, gdyż cząsteczki poruszają się szybciej.
- Cząsteczki składają się z atomów. Substancje, których cząsteczki składają się z jednego rodzaju atomów, nazywamy pierwiastkami. Substancje, których cząsteczki zbudowane są z różnych atomów, nazywamy związkami chemicznymi.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Objętość dwóch dobrze wymieszanych cieczy jest taka sama jak suma objętości tych cieczy przed zmieszaniem.
 - B. Cząsteczki są w nieustannym ruchu.
 - C. Rozmiary wszystkich cząsteczek są takie same.
- Odpowiedz na pytanie: Dlaczego zjawisko dyfuzji jest jednym z dowodów istnienia cząsteczek?
- Podaj przykład doświadczenia potwierdzającego hipotezę cząsteczkowej budowy materii.
- Znajdź w internecie i obejrzyj symulację ruchów Browna.

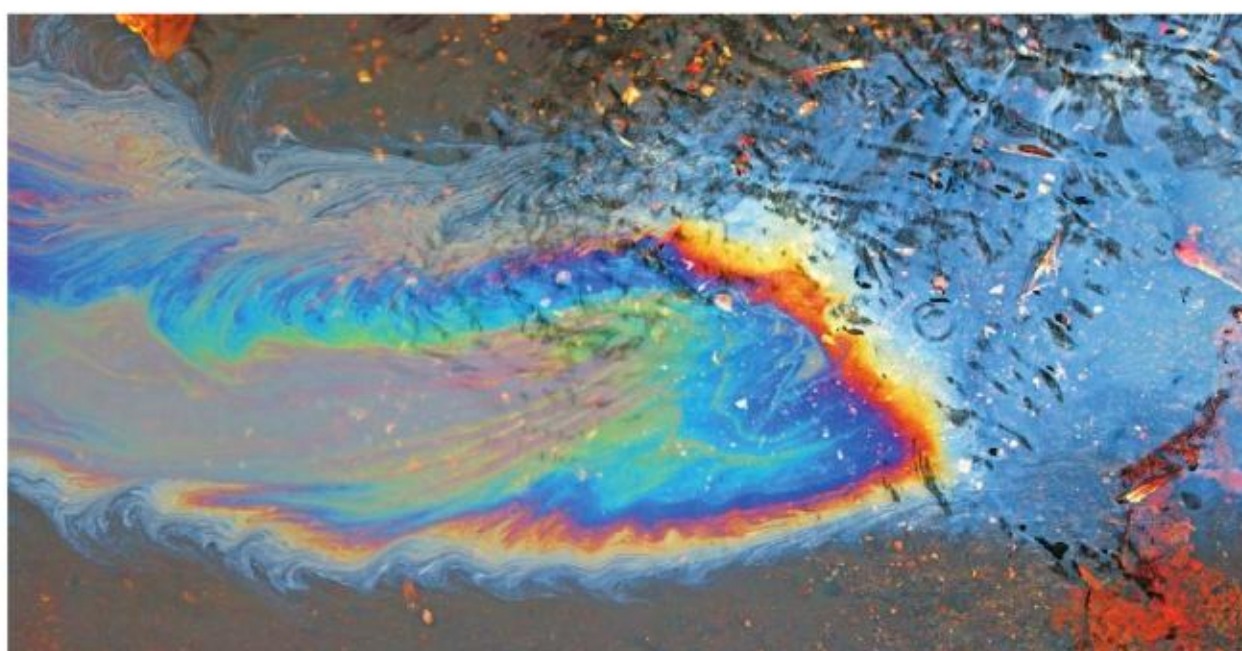


3.5 Oddziaływania międzycząsteczkowe

Podejmij temat



Czasami można zaobserwować na kałużach kolorowe, tłuste plamy. Dlaczego nie rozlewają się one po całej powierzchni kałuży?



Dlaczego ciała się nie rozpadają?

Potwierdziliśmy hipotezę cząsteczkowej budowy materii, a teraz zastanowimy się, dlaczego ciała złożone z cząsteczek nie rozpadają się. Każda cząsteczka przyciąga sąsiadujące z nią cząsteczki i sama jest przez nie przyciągana, ale tylko wtedy, gdy odległości między nimi są niewielkie – rzędu wielkości cząsteczki. Siły wzajemnego przyciągania działające między cząsteczkami nazywamy **siłami międzycząsteczkowymi**. Wykonamy doświadczenie, by sprawdzić, jak duże są te siły.

Doświadczenie 22.

Badamy, jak duże są siły międzycząsteczkowe

Niezbędne przedmioty: dwie szklane płytki z haczykiem lub dwie metalowe płytki lub dwie szybki (małe lusterka bez ramek), woda

Wykonanie:

- Połóż jedną płytkę na drugiej, ustawionej poziomo, a następnie spróbuj je oderwać od siebie.
- Umieść kroplę wody pomiędzy płytkami i teraz spróbuj rozerwać płytki.

Obserwacje:

- Podczas rozdzielania płytek wyczuwa się delikatny opór.
- Woda umieszczona między płytkami powoduje, że ich rozerwanie jest niemożliwe. Dolna płytka nie odpada.

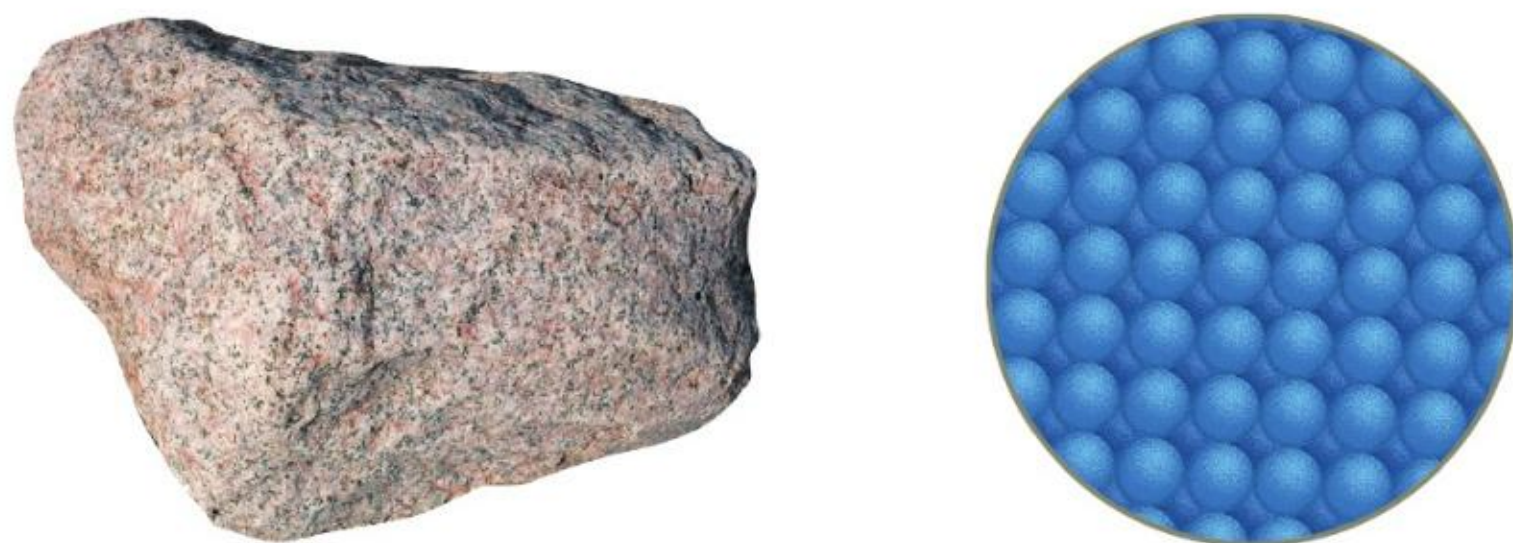
Wniosek: Między cząsteczkami wody i metalu (szkła) działają bardzo duże siły.



Oddziaływania międzycząsteczkowe a budowa i właściwości substancji

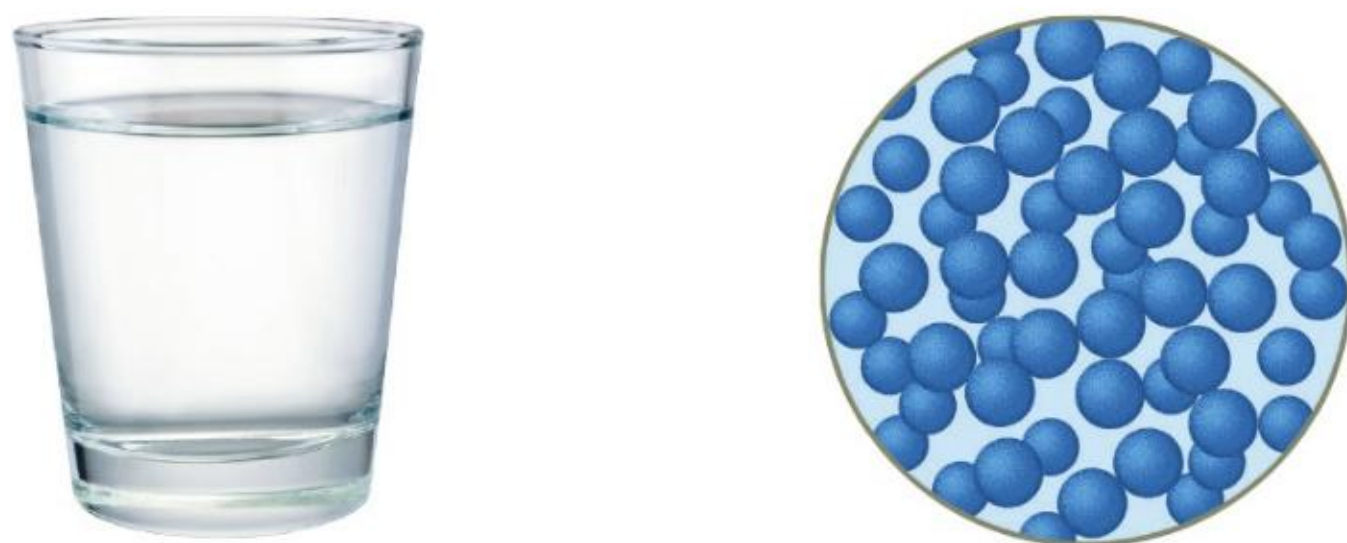
Spróbuj sobie wyobrazić, jak ułożone są i jak oddziałują między sobą cząsteczki w substancjach znajdujących się w każdym z trzech stanów skupienia. Ułożenie cząsteczek i ich oddziaływanie ma wpływ na właściwości substancji w określonym stanie skupienia.

Ciała stałe (il. 3.17) zbudowane są z cząsteczek ściśle ułożonych obok siebie. Siły przyciągania między nimi są bardzo duże, dlatego trudno jest rozerwać lub pokruszyć ciało stałe. Cząsteczki w ciałach stałych nie przemieszczają się względem siebie, a tylko wykonują drgania wokół swoich położeń równowagi.



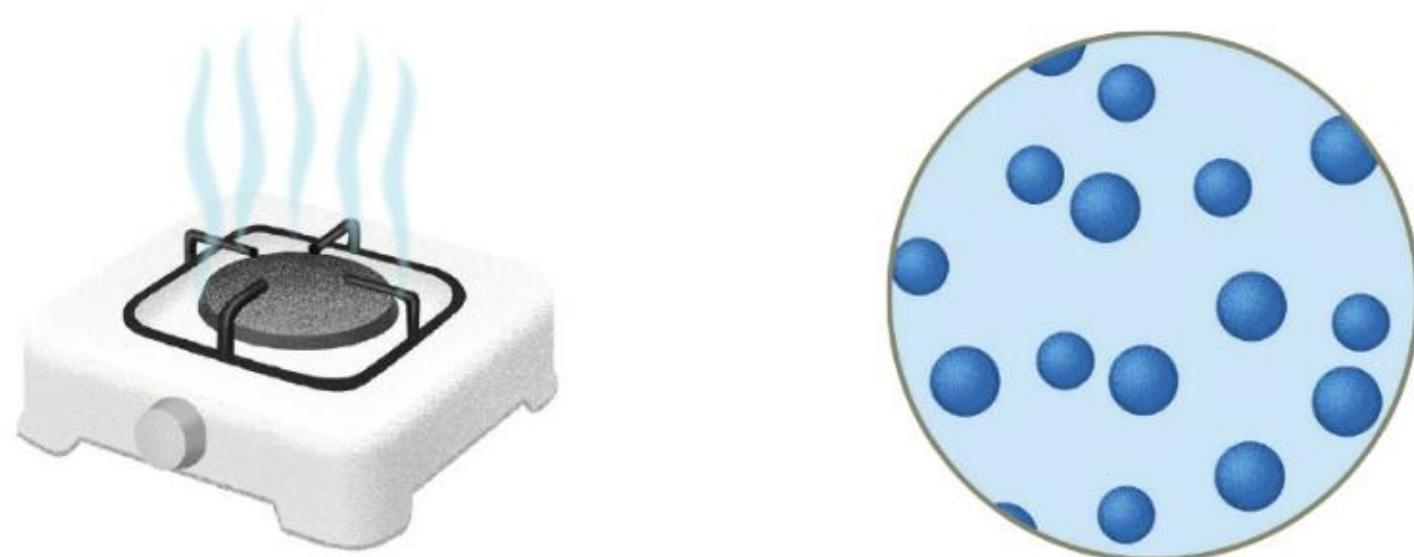
3.17 Ciało stałe i układ cząsteczek w ciałach stałych

W **cieczach** (il. 3.18) cząsteczki przyciągają się znacznie słabiej, dlatego substancje te nie mają własnych kształtów, lecz przyjmują kształty naczyń, w których się znajdują. Odległości między cząsteczkami cieczy są większe niż w ciałach stałych, ale nie na tyle duże, żeby ciecz była ściśliwa. Cząsteczki są zdolne do poruszania się w całej zajmowanej objętości.



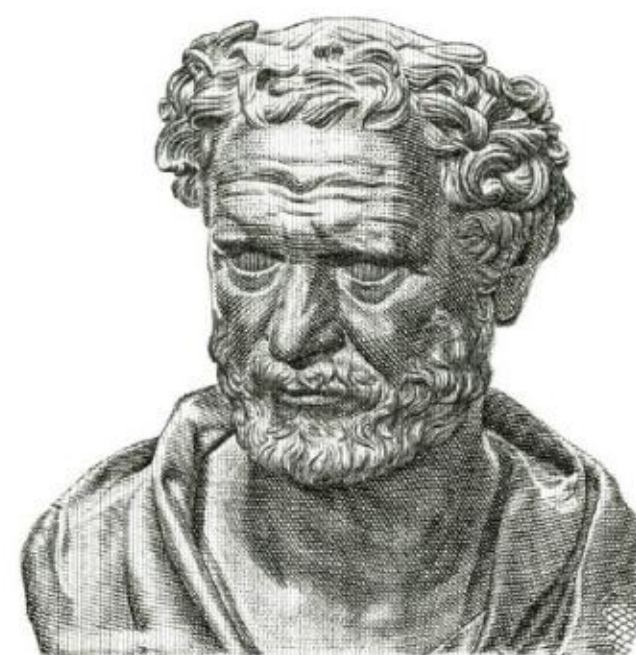
3.18 Ciecz i układ cząsteczek w cieczach

W **gazach** (il. 3.19) siły przyciągania między cząsteczkami są bardzo małe. Cząsteczki są w nieustannym ruchu – zderzają się ze sobą, zmieniają kierunek ruchu. Odległości między cząsteczkami są duże, w związku z czym łatwo można zmienić objętość gazu. Dlatego gazy są ściśliwe i rozprężliwe.



3.19 Gaz i układ cząsteczek w gazach

Ciekawe!



Demokryt z Abdery (ok. 460–370 r. p.n.e.) był filozofem greckim i twórcą teorii atomistycznej. Według tej teorii natura jest ciągłym ruchem niepodzielnych cząstek-atomów. Ich połączenie daje w efekcie różnorodne ciała.

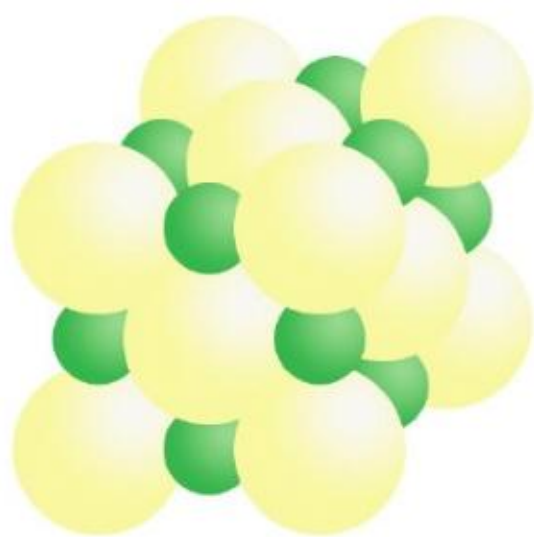
Ciekawe!



Marian Smoluchowski (1872–1917) był fizykiem, jednym z najwybitniejszych uczonych w historii nauki polskiej. Największe znaczenie mają jego prace dotyczące kinetycznej teorii materii, które przyczyniły się do ugruntowania poglądu o istnieniu zjawisk ujawniających ruchy cząsteczek.



3.20 Kryształ soli



3.21 Model kryształu soli



3.22 Ciało bezpostaciowe – bursztyn



Różnice w budowie ciał stałych

Zapewne widziałeś już kiedyś kryształ, np. w biżuterii. Człowieka od dawna nurtowały pytania, jak dalece można rozbić kryształ i jaką najmniejszą jego część można uzyskać. **Kryształ soli** (il. 3.20) (halitu) rozbija się na bardzo dużą liczbę drobnutkich kawałków. Podczas oglądania okruszków można zauważyć, że wszystkie odłamki są do siebie podobne. Po powiększeniu fragmentów okazuje się, że składają się z kolejnych małych kryształków, które mają takie same cechy geometryczne, jak ich większe fragmenty. Właśnie takie poukładanie cząsteczek, jedna obok drugiej, w określony, charakterystyczny dla danej substancji sposób, to **sieć krystaliczna**. O tak zbudowanych ciałach stałych powiemy, że mają **budowę krystaliczną**. Cząsteczki tworzące sieć krystaliczną są w ciągłym ruchu. Wykonują drgania wokół położeń równowagi. Gdy cząsteczka za bardzo zbliży się do sąsiedniej cząsteczki, jest od niej odpychana, a gdy się za bardzo od niej oddali – jest przyciągana.

Na podwórku, w domu, w szkole możesz znaleźć wiele innych ciał o budowie krystalicznej, np. kamień, węgiel, kryształki cukru.

Wśród ciał stałych istnieją też substancje, które nie są kryształami, nie mają uporządkowanej budowy – to **ciała bezpostaciowe** (amorficzne) (il. 3.22). Przykładami takich substancji są: szkło, wiele tworzyw sztucznych oraz przedmiotów z gumy.

Siły spójności i siły przylegania

Wiesz już, że każda cząsteczka przyciąga sąsiednie cząsteczki i sama jest przez nie przyciągana. **Siły międzycząsteczkowe działające między cząsteczkami tej samej substancji nazywamy siłami spójności**. Łączą one (spajają) cząsteczki, tworząc ciała stałe i ciecze. Siły spójności powodują, że tworzą się krople wody (il. 3.23).

Siły działające między cząsteczkami różnych substancji nazywamy siłami przylegania. Dzięki nim kreda przylega do tablicy (il. 3.24), a cząsteczki tonera do kartki. Kleje łączą substancje również dzięki siłom przylegania.

Gdy siły przylegania są większe niż siły spójności, wtedy ciecz zwilża powierzchnię, do której przylega. Natomiast gdy siły przylegania są mniejsze niż siły spójności, ciecz nie zwilża powierzchni.



3.23 Krople wody na liściach



3.24 Ślady pozostawione przez kredę na tablicy

Doświadczenie 23.

Badamy zachowanie wody na różnych powierzchniach

Niezbędne przedmioty: dwie małe zlewki (probówki), tłuszcz (może być stearyna), woda

Wykonanie:

- Nalej wody do czystej zlewki i przyjrzyj się powierzchni wody.
- Posmaruj tłuszczem brzeg zlewki (zanurz w płynnej stearynie). Nalej do niej wody i zaobserwuj, jak wygląda powierzchnia wody.

Obserwacje:

- W czystej zlewce powierzchnia wody jest wgnębiona – wklęsła.
- W zlewce posmarowanej tłuszczem powierzchnia wody jest wypukła.

Wniosek: W zlewce nieposmarowanej tłuszczem woda zwilża szkło. Siły spójności cząsteczek wody są mniejsze niż siły przylegania między cząsteczkami szkła i wody. Powierzchnia wody staje się wklęsła. Mówimy, że powstał **menisk wklęsły**.

W zlewce posmarowanej tłuszczem siły przylegania między cząsteczkami wody a szkłem są mniejsze niż siły spójności między cząsteczkami wody. Powierzchnia staje się wypukła i wówczas mówimy, że powstał **menisk wypukły**.

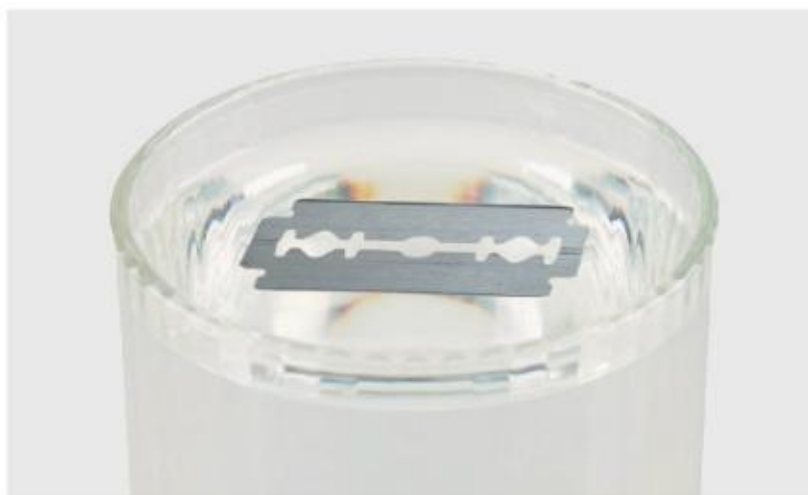


Napięcie powierzchniowe

Przyjrzyj się uważnie powierzchni wody w szklance. Na styku powierzchni wody z powietrzem na cząsteczki cieczy działają przede wszystkim siły od strony cieczy. Każda cząsteczka cieczy oddziałuje na sąsiednie cząsteczki siłami spójności. Wskutek tego przyciągania pomiędzy cząsteczkami na powierzchni cieczy powstają jakby „dodatkowe siły” działające na jej powierzchnię, zwrócone w głąb cieczy. To zjawisko, zwane **napięciem powierzchniowym**, powoduje, że powierzchnia cieczy zachowuje się jak napięta, elastyczna błonka. Dzięki napięciu powierzchniowemu małe owady (np. nartniki) (il. 3.25) mogą biegać po powierzchni wody, nie zanurzając się, a małe przedmioty o gęstości większej od gęstości wody (szpilka, żyletka, a nawet mała moneta) mogą się utrzymać na jej powierzchni (il. 3.26). **Napięcie powierzchniowe powoduje, że swobodna kropla cieczy przyjmuje kształt kulisty** (il. 3.27) i nie pozwala kropelkom rozpląwać się po powierzchni.



3.25 Nartnik na powierzchni wody



3.26 Napięcie powierzchniowe utrzymuje żyletkę na powierzchni wody



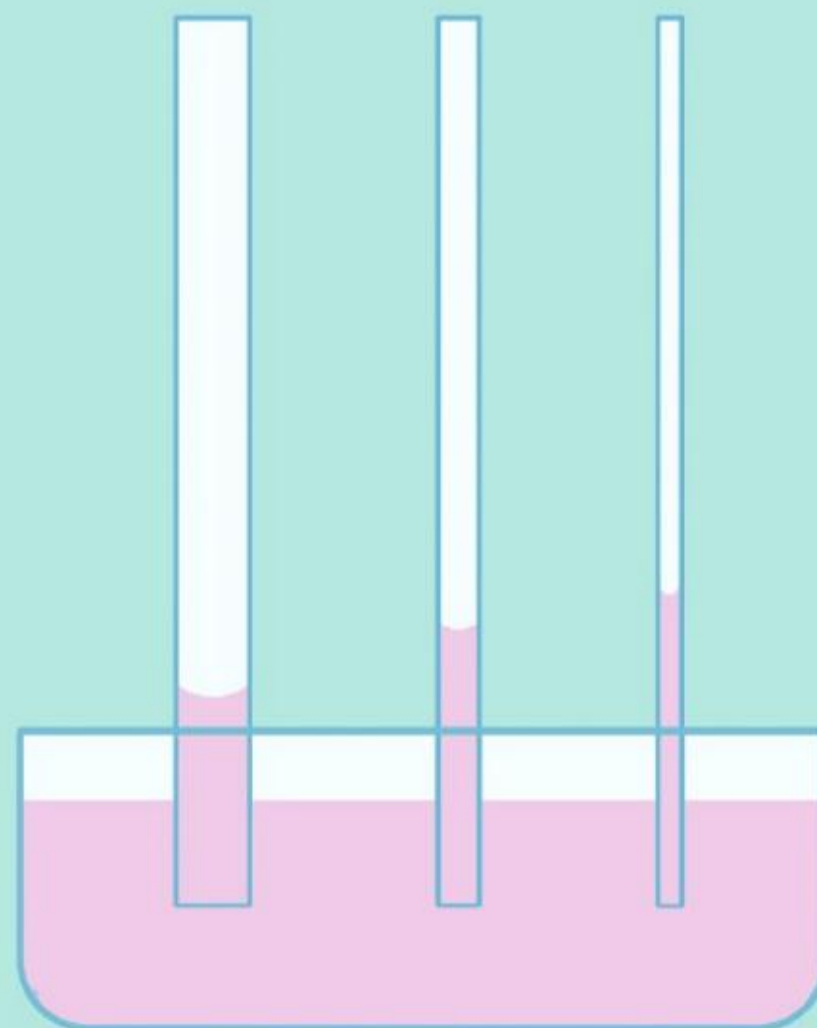
3.27 Swobodna kropla wody przyjmuje kształt kulisty

Więcej na temat



Właskowatość

Wiesz już, że skutkiem oddziaływań międzycząsteczkowych jest występowanie menisku, czyli zakrzywienia powierzchni cieczy przy ścianie naczynia. W bardzo cienkich rurkach, zwanych kapilarami, zanurzonych jednym końcem w cieczy, możesz zaobserwować jeszcze inne ciekawe zjawisko – siły przylegania sprawiają, że ciecz „wspina się” po ściankach naczynia. Jak widzisz, im węższa rurka, o mniejszym przekroju wewnętrznym, tym poziom cieczy w naczyniu jest wyższy. Zjawisko podnoszenia się poziomu cieczy w bardzo wąskich naczyniach nazywamy **właskowatością**. Jest ono bardzo powszechne w przyrodzie. Rośliny wykorzystują je do transportu wody w korzeniach i przemieszczania ku górze, wbrew sile ciężkości, płynów wewnątrz cienkich włókien roślin. Na zasadzie zjawiska właskowatości działają knoty świec czy tkaniny wchłaniają ciecz. Właskowatość powoduje również wnikanie wody w bardzo wąskie szczeliny gleby, skał czy murów i fundamentów budynków.



W skrócie

- Między cząsteczkami wszystkich ciał działają siły międzycząsteczkowe. Siły działające między cząsteczkami w ciałach stałych są bardzo duże, mniejsze w cieczach, a w gazach – bardzo małe.
- W kryształach cząsteczki ułożone są w określonym porządku geometrycznym, zwanym siecią krystaliczną.
- Siły działające między cząsteczkami tej samej substancji nazywamy siłami spójności.
- Siły działające między cząsteczkami różnych substancji nazywamy siłami przylegania.
- Siły spójności powodują, że krople przyjmują kształt kulisty.
- Jeśli siły przylegania są większe niż siły spójności, ciecz zwilża powierzchnię. Jeśli siły spójności są większe niż siły przylegania, ciecz nie zwilża powierzchni.
- Skutkiem oddziaływań międzycząsteczkowych jest występowanie menisku, czyli zakrzywienia powierzchni cieczy przy ścianie naczynia. Menisk wklęsły tworzą ciecze zwilżające, a wypukły – ciecze niezwilżające.
- Napięcie powierzchniowe to zjawisko powstawania cienkiej błonki na powierzchni cieczy na skutek działania sił przyciągania między cząsteczkami.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Powiedz, jak są ułożone i jak działają na siebie cząsteczki w każdym z trzech stanów skupienia.
- 2 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Siły spójności cząsteczek szkła są większe niż siły spójności cząsteczek wody.
 - B. Sklejanie się mokrych włosów to efekt działania sił przylegania.
 - C. Przyklejanie się lakieru do drewna to efekt sił spójności.
- 3 Na zdjęciach widzisz ciecze na różnych powierzchniach. Oceń, które zdjęcie przedstawia siły przylegania większe niż siły spójności. Uzasadnij odpowiedź.

A.

B.

C.
- 4 Wyjaśnij, dlaczego woda z gruntu może dotrzeć do wierzchołka nawet bardzo wysokiego drzewa.

3.6 Badanie napięcia powierzchniowego

Podejmij temat



Co mają wspólnego bańki mydlane z napięciem powierzchniowym?



Badamy siły napięcia powierzchniowego

Wiesz już, że skutkiem działania sił międzycząsteczkowych jest występowanie napięcia powierzchniowego na powierzchni cieczy. Wykonaj kilka doświadczeń, zbadaj siły napięcia powierzchniowego, zmiany i skutki zmian tego napięcia powierzchniowego. Tym razem wszystkie doświadczenia możesz wykonać również w domu.

Doświadczenie 24.

Badamy siły napięcia powierzchniowego

Niezbędne przedmioty: drut do wykonania pierścienia lub przyrząd do wykonywania fryzur (pętelka do włosów), naczynie z wodą, płyn do mycia naczyń, mydło w płynie lub szampon, nitka, nożyczki, szpilka

Wykonanie:

- Z drutu wykonaj pętlę z uchwytem lub wykorzystaj pętelkę do włosów.
- Przywiąż do pętelki nitkę tak, aby lekko zwisała.
- Wlej wodę do naczynia i dodaj kilka kropli płynu do naczyń, całość wymieszaj.
- Zanurz pętelkę w płynie i ją wyjmij. Sprawdź, czy wewnątrz pętelki utworzyła się błonka. Jeśli nie, to dodaj płynu i zanurz pętelkę ponownie.
- Przebij szpilką błonkę z jednej strony nitki.



Obserwacje: Błonka napięła nitkę. Nitka jest wygięta w kształcie łuku.

Wniosek: Siły napięcia powierzchniowego w błonce dążą do zmniejszenia jej powierzchni i napinają nitkę.

Doświadczenie 25.

Badamy, od czego zależą siły napięcia powierzchniowego

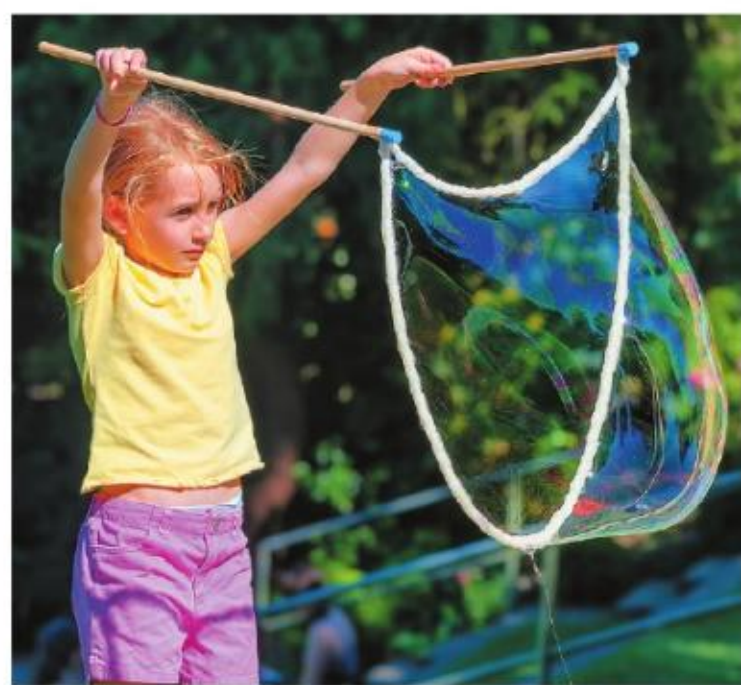
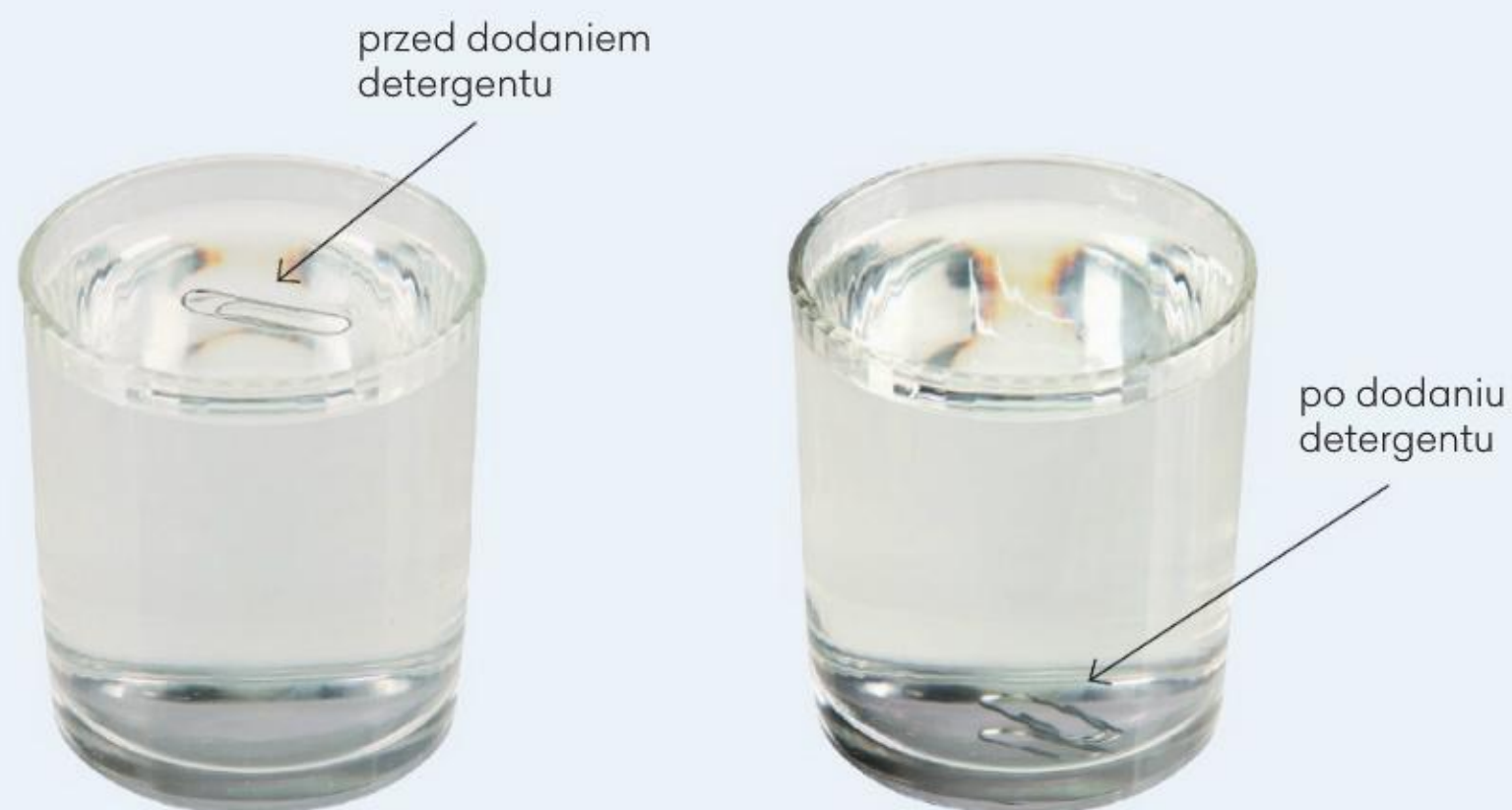
Niezbędne przedmioty: naczynie z wodą, detergent (płyn do mycia naczyń, mydło w płynie lub szampon), spinacz biurowy (może być igła)

Wykonanie:

- Przygotuj naczynie z wodą.
- Połóż na wodzie spinacz lub igłę.
- Do wody, na której leży spinacz, nalej detergentu i obserwuj, co się dzieje ze spinaczem.

Obserwacje: Spinacz (igła) pływa po powierzchni. Po dodaniu detergentu spinacz tonie.

Wniosek: Detergenty powodują zmniejszenie sił napięcia powierzchniowego.



3.28 Puszczanie dużej bańki mydlanej

Co daje zmniejszenie napięcia powierzchniowego?

Wiele doświadczeń pozwala zaobserwować skutki zmiany napięcia powierzchniowego. Widziałeś, że spinacz z doświadczenia 25. zatonął po dodaniu detergentu. Dzieje się tak dlatego, że detergenty są substancjami zmniejszającymi napięcie powierzchniowe. Zmniejszenie napięcia powierzchniowego powoduje, że w trakcie prania cząsteczki wody z detergentem łatwiej wnikają między włókna tkanin i ułatwiają wypłukiwanie brudu. Podobnie działają płyny do mycia naczyń. Zmniejszają siły działające między np. powierzchnią patelni a tłuszczem, który ją pokrywa, ułatwiając jej umycie. Z kolei dzięki szamponom łatwiej oczyszczane są włosy.

Detergenty powodują również, że błonka, która powstaje po ich dodaniu, znacznie lepiej się rozciąga, co pewnie nieraz wykorzystałeś, puszczaając bańki mydlane (il. 3.28).

W skrócie

- Siły napięcia powierzchniowego w błonce dążą do zmniejszenia jej powierzchni i powodują, że na powierzchni cieczy mogą utrzymywać się drobne przedmioty.
- Detergenty powodują zmniejszenie sił napięcia powierzchniowego, ułatwiając w ten sposób pranie czy zmywanie. Sprawiają również, że błonka na powierzchni znacznie lepiej się rozciąga, co umożliwia puszczenie baniek mydlanych.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wykonaj przynajmniej po jednym doświadczeniu z części I i II. Zapisz w zeszycie obserwacje i wnioski. Jeśli masz problem, wykorzystaj pytania pomocnicze.

Część I

Niezbędne przedmioty:

szklanka, woda, strzykawka lub kroplomierz, nieduża taca lub płaski talerz, drobne przedmioty (szpilki lub gwoździe, spinacze, małe monety), moneta jednogroszowa lub dwugroszowa

Wykonanie:

Doświadczenie I A

- Szklankę postaw na tacy.
- Napełnij szklankę wodą aż do jej górnej krawędzi.
- Weź inne naczynie z wodą i, obserwując powierzchnię wody w szklance, strzykawką lub kroplomierzem wlewaj powoli ciecz tak, aby się z niej nie wylała.
- Przyjrzyj się powierzchni wody. Czy woda wystaje ponad krawędź szklanki? Jaki kształt ma woda przy krawędzi szklanki? Jakie siły działają na cząsteczki wody na jej powierzchni? Co utrzymuje wodę w szklance?

Doświadczenie I B

- Weź drobne przedmioty do ręki i, po jednym, powoli, delikatnie wrzucaj je do szklanki wypełnionej całkowicie wodą. Obserwuj równocześnie powierzchnię błonki, żeby woda nie wylała się ze szklanki.
- Przyjrzyj się powierzchni wody. Dlaczego udało się wrzucić przedmioty do wody? Czy woda wystaje ponad krawędź szklanki? Jaki kształt ma powierzchnia błonki? Narysuj jej kształt i opisz obserwowane zjawisko.

Doświadczenie I C

- Przygotuj naczynie z wodą, kroplomierz (może być strzykawka) i małą monetę.
- Za pomocą kroplomierza umieszczaj na monecie i licz krople wody do momentu, w którym woda utrzyma się na monecie.
- Ile kropli umieściłeś na monecie? Jaki kształt ma powierzchnia wody? Co utrzymuje wodę na monecie?

Część II

Niezbędne przedmioty:

duży płaski talerz, zmielony majeranek lub pieprz, strzykawka lub kroplomierz, nieduża miska, kartka papieru, detergent (np. szampon, płyn do mycia naczyń, mydło w płynie), woda

Wykonanie:

Doświadczenie II A

- Nalej wody na talerz.
- Powierzchnię wody posyp zmielonym majerankiem lub pieprzem i spróbuj przesunąć po niej palcem drobinki ziół.
- Wlej kroplę detergentu na środek talerza z majerankiem.
- Opisz obserwacje i wyjaśnij zachowanie majeranku. Czy łatwo było przesunąć majeranek po powierzchni wody? Czy detergent ma wpływ na oddziaływania międzycząsteczkowe?

Doświadczenie II B

- Nalej wody do miski.
- Wykonaj z papieru łódeczkę i połóż ją delikatnie na wodzie.
- Upuść kroplę detergentu tuż przy krawędzi jej rufy.
- Opisz wynik i wyjaśnij zachowanie łódeczki.



Doświadczenie II C (można wykonać w grupach)

- Wyszukaj w internecie przepis na wykonanie dużych baniek mydlanych.
- Zrób przyrząd i wykonaj płyn do puszczania baniek.
- Wykonaj dokumentację – opis doświadczenia, zdjęcie lub film nakręcony telefonem komórkowym.
- Wyjaśnij, dlaczego udało ci się zrobić duże bańki mydlane.

- 2 Przeczytaj uważnie swoje obserwacje i wnioski. Napisz, co badałeś w doświadczeniach w części I i części II – sformułuj problem badawczy.

Podsumowanie działu 3

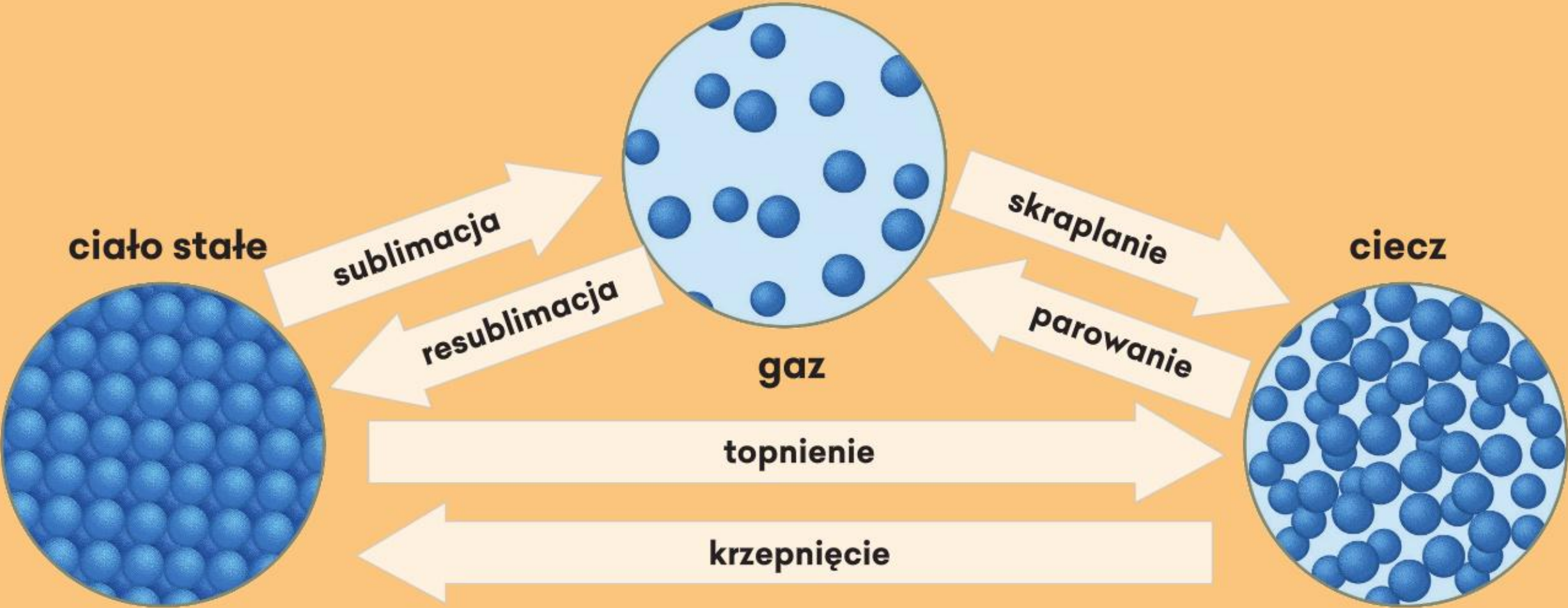
Ważne pojęcia

trzy stany skupienia	ciało stałe	ciecz	gaz	ciało kruche	ciało plastyczne	ciało sprężyste
topnienie	krzepnięcie	parowanie	wrzenie	skraplanie	sublimacja	resublimacja
rozszerzalność temperaturowa ciał			zjawisko anomalnej rozszerzalności temperaturowej wody			
dyfuzja	atomy	pierwiastki	związki chemiczne		kryształy	siły międzycząsteczkowe
siły spójności		siły przylegania		menisk wklęsły		menisk wypukły
ciecz zwilżająca powierzchnię		ciecz niezwilżająca powierzchni		napięcie powierzchniowe		detergenty

- Substancje zbudowane są z atomów i cząsteczek, występują w trzech stanach skupienia: **stałym, ciekłym i gazowym**.
- Budowa substancji i ich właściwości

	Ciała stałe	Ciecze	Gazy
Ułożenie a ruch cząsteczek	ściśle obok siebie – wykonują tylko drgania wokół położenia równowagi	blisko siebie – przemieszczają się w sposób nieuporządkowany względem siebie	daleko od siebie – swobodnie przemieszczają się w całej zajmowanej objętości w sposób chaotyczny
Siły międzycząsteczkowe a kształt i objętość	duże – mają określony kształt i określoną objętość	małe – mają określoną objętość, ale nie utrzymują kształtu, przyjmują kształt naczynia	bardzo małe – nie mają określonej objętości i określonego kształtu, wypełniają całe naczynie
Inne właściwości	mogą być kruche, plastyczne, sprężyste	praktycznie nieściśliwe	są ściśliwe i rozprężliwe

- Wszystkie substancje, w zależności od warunków zewnętrznych, między innymi temperatury, zmieniają stan skupienia.

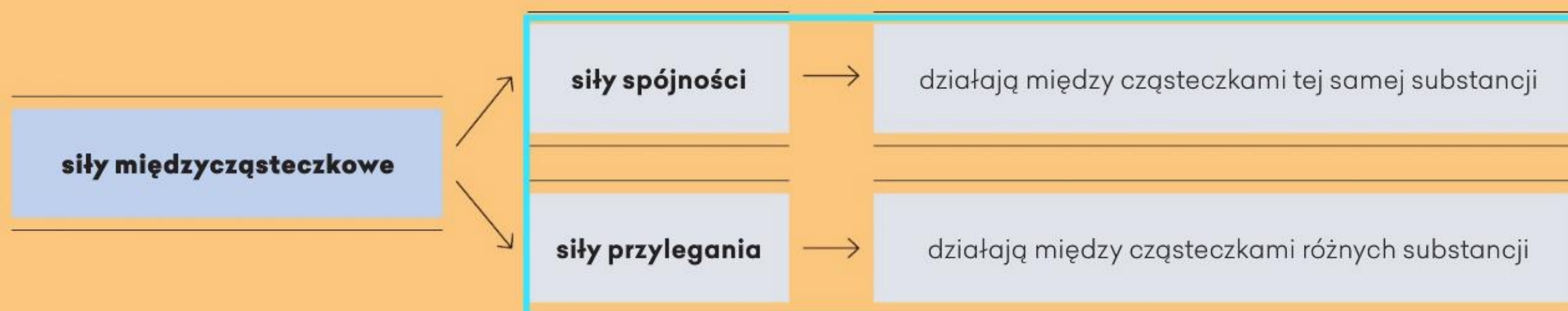


- Podczas topnienia i krzepnięcia zmienia się objętość ciała. Większość substancji podczas krzepnięcia zmniejsza swoją objętość. Wyjątkiem jest woda, której objętość się zwiększa.

- Na skutek ogrzewania prawie wszystkie ciała, z wyjątkiem wody, zwiększają swoją objętość. Po wystygnięciu przedmioty wracają do swoich pierwotnych wymiarów. Zjawisko to nazywa się **rozszerzalnością temperaturową ciał**. Woda podczas ogrzewania pomiędzy 0°C a 4°C zmniejsza swoją objętość (zjawisko anomalnej rozszerzalności temperaturowej). W temperaturze 4°C ma najmniejszą objętość, a więc największą gęstość. Powyżej temperatury 4°C woda zaczyna się rozszerzać wraz ze wzrostem temperatury.

Podział ciał stałych ze względu na budowę wewnętrzną	
ciała bezpostaciowe (amorficzne)	ciała o budowie krystalicznej
tworzą je cząsteczki ułożone w sposób dość chaotyczny, zbliżony do spotykanego w cieczech, ale utrzymujące kształt ciała stałego	tworzą je cząsteczki ułożone w regularnym, określonym porządku geometrycznym, zwanym siecią krystaliczną
przykłady: szkło, plastelina, воск, tworzywa sztuczne	przykłady: większość ciał stałych, m.in. sól, cukier, węgiel

- Ciała zbudowane są z **cząsteczek**, które pozostają w ciągłym ruchu. Samorzutne rozprzestrzenianie się cząsteczek jednej substancji w drugiej nazywamy dyfuzją. Dyfuzja zachodzi we wszystkich stanach skupienia, najwolniej w ciałach stałych.
- Cząsteczki składają się z **atomów**. Substancje zbudowane z jednego rodzaju atomów nazywamy **pierwiastkami**. Substancje, których cząsteczki zbudowane są z różnych atomów, nazywamy **związkami chemicznymi**.
- Między cząsteczkami wszystkich ciał działają **siły międzycząsteczkowe**.

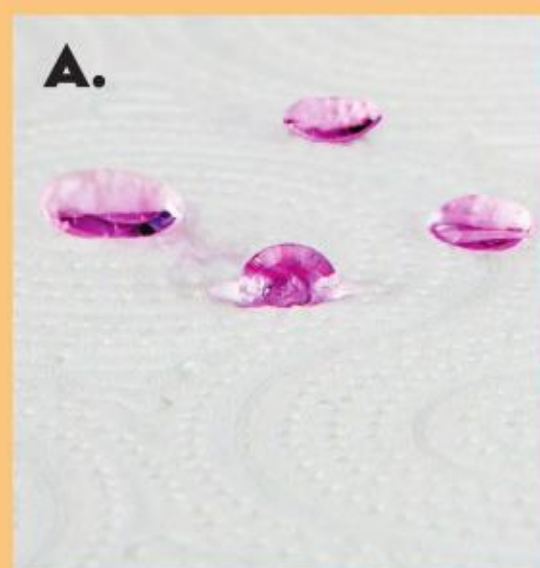


- Siły spójności powodują, że krople przyjmują kształt kulisty.
- Jeśli siły przylegania są większe niż siły spójności, ciecz zwilża powierzchnię. Jeśli siły spójności są większe niż siły przylegania, ciecz nie zwilża powierzchni.
- Skutkiem oddziaływań międzycząsteczkowych jest występowanie menisku, czyli zakrzywienia powierzchni cieczy przy ścianie naczynia. Menisk wklęsły tworzą ciecze zwilżające powierzchnię, a menisk wypukły – ciecze niezwilżające powierzchnię.
- Siły spójności działające na cząsteczki znajdujące się przy powierzchni cieczy są przyczyną **napięcia powierzchniowego** – zjawiska powstawania cienkiej błonki na powierzchni cieczy.
- Siły napięcia powierzchniowego w błonce dążą do zmniejszenia jej powierzchni i powodują, że na powierzchni cieczy mogą utrzymywać się drobne przedmioty. Detergenty powodują zmniejszanie sił napięcia powierzchniowego.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Które substancje nie mają określonego kształtu?
- tylko ciecze
 - tylko gazy
 - ciecze
 - ciecze i gazy
- 2 Oceń prawdziwość podanych zdań.
- Podczas zmiany stanu skupienia masa ciała nie zmienia się.
 - Podczas zmiany stanu skupienia objętość ciała nie zmienia się.
 - Podczas zmiany stanu skupienia temperatura nie zmienia się.
 - Podczas zmiany stanu skupienia gęstość ciała nie zmienia się.
- 3 Zjawisko zmniejszania się objętości dwóch cieczy po ich zmieszaniu można wyjaśnić dzięki
- dyfuzji.
 - rozszerzalności temperaturowej.
 - anomalnej rozszerzalności temperaturowej.
 - cząsteczkowej budowie materii.
- 4 Oceń prawdziwość podanych zdań.
- Wieża Eiffla w lecie ma większą wysokość niż w zimie.
 - Rury ciepłownicze mają specjalne wygięcia, żeby mogły się swobodnie rozszerzać i kurczyć.
 - Rozwieszone między słupami przewody elektryczne są długie, żeby po zerwaniu można je było związać.
 - Odstępy przy łączeniu szyn kolejowych zostawia się po to, żeby woda mogła swobodnie odpływać z torowiska.
- 5 Wybierz zdanie prawdziwe.
- Wszystkie cząsteczki są tej samej wielkości.
 - Cząsteczki składają się z atomów.
 - Cząsteczka nie może być zbudowana z takich samych atomów.
 - Cząsteczki w ciele stałym są nieruchome.
- 6 Przykładem substancji o budowie krystalicznej jest
- szkło.
 - węgiel.
 - plastelina.
 - masło.

- 7 Wyraz **hydrofobowość** pochodzi od greckiego słowa *hydrophobia*, a dokładnie *hydro* – ‘woda’ oraz *phobos* – ‘strach’. Termin hydrofobowość można w uproszczeniu wyjaśnić jako skłonność cząsteczek do odpychania od siebie cząsteczek wody i jako cechę powierzchni polegającą na jej niezwilżalności przez wodę. Która z powierzchni widocznych na zdjęciach ręcznika papierowego jest hydrofobowa?



- Oceń prawdziwość podanych zdań.
- Na części A ręcznika siły spójności wody są mniejsze od sił przylegania.
 - Na części B ręcznika siły spójności wody są mniejsze od sił przylegania.
 - Siły spójności i siły przylegania są takie same na obu częściach ręcznika.

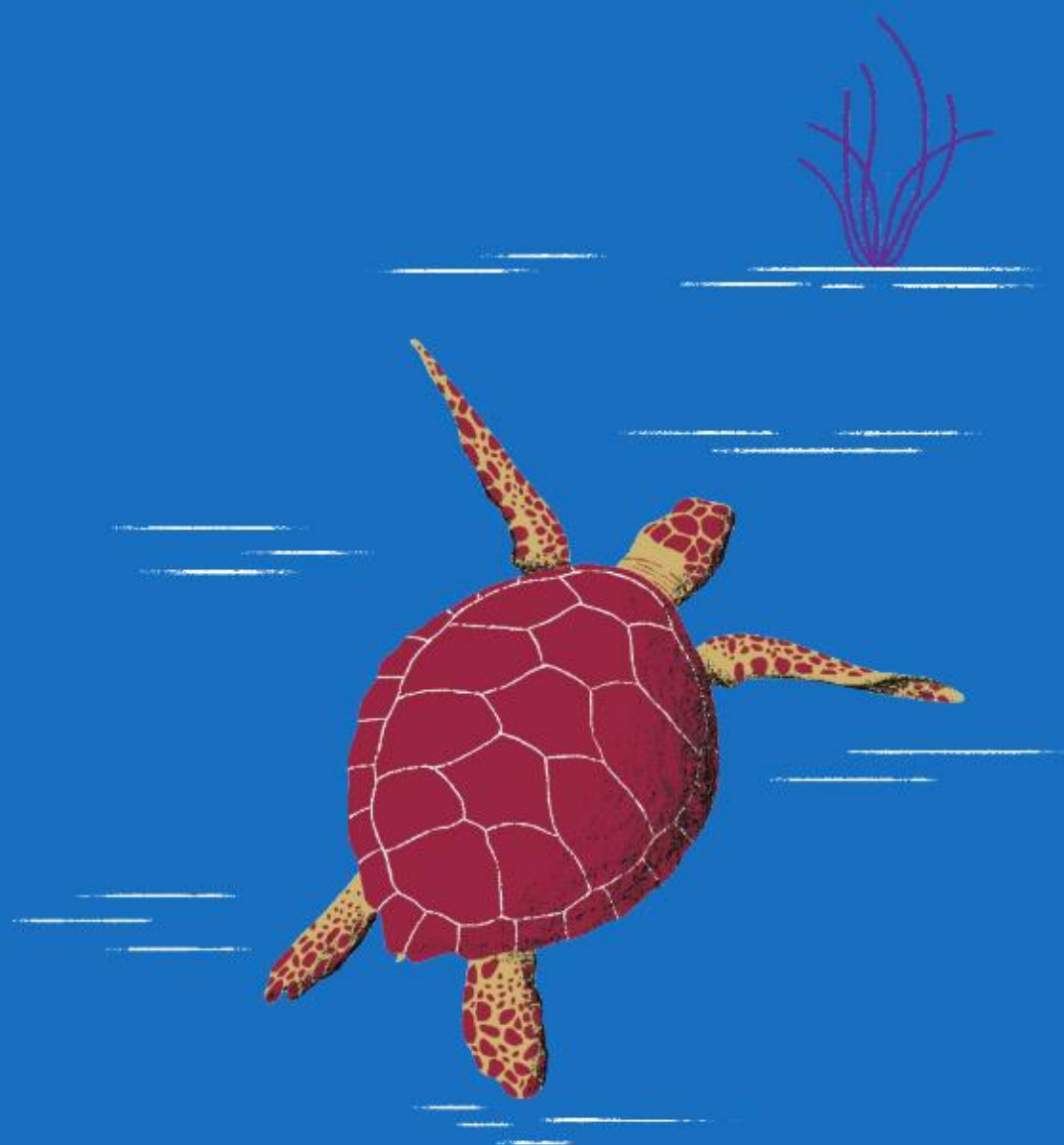
- 8 W którym z wymienionych niżej przykładów **nie** występuje zjawisko napięcia powierzchniowego?
- Puszczanie baniek mydlanych.
 - Wycieranie mokrego ciała ręcznikiem.
 - Tworzenie się swobodnej kropli cieczy.
 - Bieganie owadów po powierzchni wody.

- 9 Zadanie doświadczalne.

W dnie plastikowej butelki po wodzie mineralnej wykonaj kilka otworów (co najmniej cztery) w odległości około 5 mm od siebie. Umieść butelkę nad zlewem i nalej do niej wody. Gdy woda zacznie wyciekać stróżkami, spróbuj ścisnąć je palcami, a następnie je „rozczesać”, przeciągając palcami od góry w dół. Zapisz obserwacje i je wyjaśnij.

- 10 Odszukaj w internecie przepis na hodowlę kryształów, np. soli. Wykonaj doświadczenie i udokumentuj je – sporządź opis ze zdjęciami. Możesz przynieść swoją hodowlę kryształów do szkoły. Powodzenia!

4. W powietrzu i wodzie



1. Co to są: ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie hydrostatyczne?
2. Od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne?
3. Jak zademonstrować istnienie ciśnienia atmosferycznego?
4. Czego dotyczy prawo Archimedesesa?
5. Jakie są warunki pływania ciała?

4.1 Ciśnienie i jego pomiar

Podejmij temat



Gdy idziesz przez głęboki śnieg, zapadasz się w niego, a kiedy założysz narty – nie zapadasz się. Dlaczego?



Siły nacisku (parcia) nie należy utożsamiać z ciężarem ciała, choć często mogą być równe ich wartości, jednakowe kierunki działania i zgodne zwroty. Zawsze jednak różnią się przynajmniej punktem przyłożenia, który dla siły ciężkości znajduje się w środku ciała, a dla siły nacisku – na powierzchni, na którą naciska ciało.



4.1 Skrzynia naciska na powierzchnię stołu

Czym się zajmują aerostatyka i hydrostatyka?

Żyjemy we wnętrzu ogromnego „oceanu” powietrznego. W naszym otoczeniu występują również olbrzymie zbiorniki wypełnione wodą. Jakie prawa rządzą zjawiskami w tych dwóch środowiskach? Ograniczymy się tylko do najprostszych przykładów, gdy gazy lub ciecze znajdują się w spoczynku, czyli są nieruchome. Nauka o cieczy będącej w spoczynku nazywa się **hydrostatyką**, a nauka o gazie będącym w spoczynku – **aerostatyką**.

Siła nacisku

Każde ciało stałe wywiera **nacisk** na powierzchnię (il. 4.1), na której się znajduje. Ciecz umieszczona w naczyniu wywiera nacisk na powierzchnię jego dna i ścian bocznych (il. 4.2). Gaz wywiera nacisk na powierzchnię wszystkich ścian pomieszczenia lub naczynia, w którym się znajduje (il. 4.3).

Nacisk ciała na powierzchnię nazywamy **siłą nacisku** lub **parciem**. Siła nacisku (parcie) jest prostopadła do powierzchni, na którą działa.



4.2 Ciecz w szklance wywiera nacisk na dno i ścianki boczne



4.3 Gaz w balonie wywiera nacisk na jego wewnętrzną powierzchnię

Skutki siły nacisku

Te same siły nacisku mogą natomiast różnić się skutkami działania. Człowiek stojący w butach na śniegu pozostawia głębszy ślad niż stojący na nartach. Wykonaj doświadczenie, aby sprawdzić skutki działania siły nacisku.

Doświadczenie 26.

Badamy, jakie skutki wywołuje taka sama siła nacisku

Niezbędne przedmioty: cegła (gruba książka), gąbka (woreczek wypełniony piaskiem lub mąką)

Wykonanie:

- Obejrzyj cegłę i określ, która powierzchnia jest najmniejsza, a która – największa.
- Połóż cegłę na dużej gąbce kolejno trzema różnymi powierzchniami, od najmniejszej do największej.
- Zaobserwuj i porównaj zagniecenia gąbki, jakie spowodowała ta cegła w każdym przypadku.

Obserwacje: Największe wgłębienie w gąbce zrobiła cegła ustawiona ścianą o najmniejszej powierzchni. Najmniejsze wgłębienie spowodowała cegła ustawiona ścianą o największej powierzchni.

Wniosek: W każdym z rozpatrywanych przypadków siła nacisku była równa co do wartości (wywołana przez tę samą cegłę), a skutek jej działania okazał się inny.



Ciśnienie

W każdym z rozpatrywanych w doświadczeniu przypadków siła nacisku na powierzchnię jest równa co do wartości, a skutek jej działania inny – różne zagłębienie się danego ciała na powierzchni tego samego rodzaju. Największe wgniecenie występuje, gdy nacisk działa na najmniejszą powierzchnię. Aby porównać te skutki ilościowo, wprowadzamy nową wielkość fizyczną – **ciśnienie**, które informuje nas, jak duża jest wartość siły działającej na jednostkę powierzchni.

Iloraz wartości siły nacisku (parcia) i powierzchni, na którą ta siła działa, nazywamy ciśnieniem.

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

p – ciśnienie, F – wartość siły nacisku, S – pole powierzchni

Z definicji ciśnienia wynika, że jest ono tym większe, im większa jest wartość siły nacisku działającej na określoną powierzchnię oraz im mniejsza jest powierzchnia, na którą określona siła działa (il. 4.4).

Przekształcając wzór na ciśnienie, możemy obliczyć wartość siły nacisku:

$$F = p \cdot S$$



4.4 Im większa siła nacisku, tym wgłębienie jest większe

Ciekawe!

Nazwa jednostki ciśnienia pochodzi od nazwiska francuskiego uczonego Blaise'a Pascala [czyt. bleza paskala].



100 Pa = 1 hPa (hektopaskal)

1000 Pa = 1 kPa (kilopaskal)

1 000 000 Pa = 1 MPa (megapaskal)

Jednostka ciśnienia

Gdy do wzoru definiującego ciśnienie wstawimy jednostki siły nacisku i powierzchni, otrzymamy jednostkę ciśnienia.

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Pa (paskal)}$$

Jeśli na powierzchnię 1 m^2 działa siła o wartości 1 N , to ciśnienie wynosi 1 paskal .

Gdyby tabliczkę czekolady o masie 100 g rozwałkować na powierzchni 1 m^2 albo na tej powierzchni rozsypać 100 g cukru, to każda z tych substancji wywierałaby ciśnienie o wartości 1 Pa . Jest to bardzo małe ciśnienie, dlatego najczęściej używane są jednostki będące wielokrotnościami paskala.

Przykład 12.

Oblicz ciśnienie wywierane na podłoże przez ciągnik o masie 2 ton , poruszający się na gąsienicach o szerokości 25 cm , jeżeli gąsienica styka się z ziemią na długości 1 m .

Dane:

$$m = 2 \text{ t} = 2000 \text{ kg}$$

$$a = 2 \cdot 1 \text{ m} = 2 \text{ m} \text{ (długość dwóch gąsienic)}$$

$$b = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Szukane:

$$p = ?$$

Rozwiązanie:

Aby obliczyć ciśnienie, korzystamy ze wzoru: $p = \frac{F}{S}$. Siła nacisku F równa jest ciężarowi ciągnika: $F = m \cdot g$.

Pole powierzchni gąsienic obliczamy ze wzoru: $S = a \cdot b$. Podstawiamy zależności do wzoru na ciśnienie: $p = \frac{m \cdot g}{a \cdot b}$.

Podstawiamy wartości liczbowe i obliczamy:

$$p = \frac{2000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{2 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m}} = \frac{20\,000 \text{ N}}{0,5 \text{ m}^2} = 40\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p = 40 \text{ kPa}$$

Odpowiedź: Ciśnienie wywierane na podłoże przez ciągnik wynosi 40 kPa .

Ciśnienie gazu w zbiorniku

Omawiając właściwości fizyczne gazów, stwierdziliśmy, że wypełniają one zawsze całą objętość naczynia. Wiemy, że cząsteczki gazów poruszają się z dużą szybkością. Gdy gaz jest zamknięty w naczyniu, jego cząsteczki uderzają o ścianki tego naczynia. Masa każdej cząsteczki jest bardzo mała, więc jej uderzenie o ściankę powoduje niewielkie działanie. Ponieważ jednak liczba cząsteczek jest ogromna, a zderzenia zachodzą niewyobrażalnie często (rzędu 10^{23} uderzeń na 1 cm^2 na sekundę), więc w rezultacie występuje ich nacisk na ścianki naczynia. Wnioskujemy stąd, że gaz wywiera ciśnienie na ścianki zbiornika, w którym się znajduje, i na powierzchnie wszystkich przedmiotów znajdujących się w zbiorniku. Przy wyznaczaniu ciśnienia gazu obowiązuje ta sama zależność: $p = \frac{F}{S}$.

Praktyczny pomiar siły nacisku i pola powierzchni naczynia (często nieforemnego) jest bardzo trudny i dlatego ciśnienie gazu w zbiornikach zamkniętych, np. kołach samochodowych, mierzymy za pomocą przyrządu zwanego **ciśnieniomierzem** lub **manometrem** (il. 4.5).

Częściej obliczamy siłę nacisku wywieraną przez gaz na ściany zbiornika. Korzystamy przy tym z przekształconego wzoru na ciśnienie:

$$F = p \cdot S$$



4.5 Ciśnieniomierz

Przykład 13.

Jaką wartość ma siła działająca na całą wewnętrzną powierzchnię kotła równą $1,5 \text{ m}^2$, jeżeli ciśnienie pary w kotle wynosi $1,1 \text{ MPa}$?

Dane:

$$p = 1,1 \text{ MPa} = 1\,100\,000 \text{ Pa} = 1\,100\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$S = 1,5 \text{ m}^2$$

Szukane:

$$F = ?$$

Rozwiązanie:

Aby obliczyć wartość siły nacisku, korzystamy ze wzoru: $F = p \cdot S$

Podstawiamy do wzoru wartości znanych wielkości i obliczamy:

$$F = 1\,100\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1,5 \text{ m}^2 = 1\,650\,000 \text{ N} = 1,65 \text{ MN}$$

Odpowiedź: Wartość siły działającej na powierzchnię wewnętrzną kotła wynosi $1,65 \text{ MN}$.

W jaki sposób zmieniamy ciśnienie gazu w zbiorniku?

Zwiększenia ciśnienia gazu możemy dokonać przez zmniejszenie objętości przy zachowanej liczbie cząsteczek (ściskanie balonika) lub przez zwiększenie liczby cząsteczek w tej samej objętości (dopompowanie piłki, dętki samochodowej). W każdym z tych przypadków zachodzi sprężanie gazu. Musimy zatem pamiętać, że sprężanie gazu powoduje wzrost jego ciśnienia. Zbadamy teraz, co się dzieje na skutek zmian ciśnienia.

Doświadczenie 27.

Badamy skutki zmiany ciśnienia powietrza w zbiorniku

Niezbędne przedmioty: napompowany mały balon, pojemnik próżniowy z pompką

Wykonanie:

- Włóż balonik do pojemnika próżniowego.
- Zamknij pojemnik i wypompowuj z niego powietrze. Obserwuj, co się dzieje z balonikiem.

Obserwacje: W wyniku wypompowywania powietrza z pojemnika balonik się powiększa.

Wniosek: Na skutek zmniejszenia ciśnienia w pojemniku – mniejszej ilości cząsteczek bombardujących balonik od zewnątrz – objętość balonika się zwiększyła. Ciśnienie w baloniku zmniejszyło się – dopasowało się do ciśnienia na zewnątrz balonika (przy tej samej ilości cząsteczek w baloniku zajmowana przez nie objętość jest większa).



Ciśnienie gazu w zbiorniku możemy zmienić w inny sposób. Wykonałeś doświadczenia dotyczące rozszerzalności cieplnej gazów. Wynikało z nich, że gazy po ogrzaniu zwiększały swoją objętość. Im wyższa temperatura gazu, tym cząsteczki poruszają się szybciej i silniej uderzają o ścianę pojemnika. Z tego wynika, że im wyższa temperatura gazu, przy tej samej ilości cząsteczek (tej samej masie gazu), tym ciśnienie gazu w zbiorniku jest większe.

Obniżenie ciśnienia w zbiorniku, na przykład przez wypompowywanie z niego powietrza (lub innego gazu), powoduje rozprężanie się gazu. Dalsze wypompowywanie gazu prowadzi do zmniejszania ciśnienia gazu, aż do uzyskania **próżni**. Próżnią nazywamy stan panujący w przestrzeni, w której nie ma cząsteczek żadnego gazu.

W skrócie

- Siła nacisku (parcie) to siła działająca na podłoże lub powierzchnię innego ciała prostopadle do tej powierzchni.
- Ciśnienie wskazuje nam, jak duża jest wartość siły działającej na jednostkę powierzchni. Ciśnienie to iloraz wartości siły nacisku (parcia) i powierzchni, na którą ta siła działa. Obliczamy je ze wzoru: $p = \frac{F}{S}$.
- Ciśnienie mierzymy w paskalach: $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- Gaz w naczyniu (zbiorniku) wywiera parcie na ścianki naczynia i na wszystkie powierzchnie przedmiotów, które w nim się znajdują. Jest to wynik uderzeń cząsteczek gazu we wszystkie te powierzchnie.
- Ciśnienie gazu, przy stałej jego objętości, możemy zwiększyć poprzez zwiększenie masy gazu, czyli ilości cząsteczek gazu w zbiorniku.
- Ciśnienie gazu, przy stałej jego masie w zbiorniku, możemy zwiększyć przez:
 - zmniejszenie objętości zbiornika,
 - podwyższenie temperatury gazu.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wyjaśnij, dlaczego ratownik, zbliżając się do człowieka, pod którym załamał się lód, przesuwa się w pozycji leżącej.
- 2 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Im większa jest powierzchnia, na którą wywierany jest określony nacisk, tym ciśnienie jest większe.
 - B. Im mniejsza jest powierzchnia, na którą wywierany jest określony nacisk, tym ciśnienie jest większe.
 - C. Im większa jest wartość siły parcia, która działa na określoną powierzchnię, tym ciśnienie jest większe.
- 3 Wyjaśnij, dlaczego noże powinny być odpowiednio ostre.
- 4 Podane wartości wyraż w paskalach.

A. 1013 hPa

B. 0,003 MPa

C. 25 kPa

D. 0,1 kPa

- 5 Oblicz ciśnienie dla każdej wartości siły parcia i powierzchni podanych w tabeli. Skorzystaj z informacji, że 1 Pa odpowiada działaniu siły nacisku o wartości 1 N na powierzchnię 1 m².

- 6 Oblicz ciśnienie, jakie wywiera osoba o masie 60 kg stojąca w butach na śniegu. Przyjmij, że powierzchnia podeszwy buta zimowego wynosi 250 cm². Jak zmieni się ciśnienie, jeśli ta osoba założy narty, których długość wynosi 150 cm, a średnia szerokość narty to 10 cm?

Siła nacisku	Powierzchnia
20 N	1,0 m ²
40 N	2,0 m ²
10 N	0,5 m ²
10 N	10 cm ²

4.2 Ciśnienie hydrostatyczne i ciśnienie atmosferyczne

Podejmij temat



Dlaczego w pomiarach ciśnienia używamy czasem jednostki **mm Hg** (milimetr słupa rtęci)?



Od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne?

Ciśnienie cieczy znajdującej się w naczyniu lub zbiorniku i będącej w spoczynku nazywamy **ciśnieniem hydrostatycznym**. Zbadajmy, od czego ono zależy.

Doświadczenie 28.

Badamy, od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne

Niezbędne przedmioty: cylinder z otworami na różnych wysokościach (zdjęcie obok) lub duża plastikowa butelka, gruba igła, taśma klejąca, wanienka lub inny płaski pojemnik (doświadczenie można wykonać nad zlewem)

Wykonanie:

- W wysokiej plastikowej butelce wykonaj otwory o jednakowej średnicy, na różnych wysokościach.
- Zaklej otwory taśmą, nalej wodę do butelki, wstaw ją do wanienki i odklej szybko taśmę z wszystkich otworów jednocześnie.
- Obserwuj wylewającą się nimi wodę. (Jeśli masz możliwość, podstaw butelkę pod odkręcony kran i obserwuj wodę wylewającą się z otworów).

Obserwacje:

- Strumienie wody wypływające z różnych otworów mają różne kształty.
- Woda ze strumieni pochodzących z różnych otworów ma różny zasięg (nie pada w to samo miejsce). Największy zasięg na podłożu ma strumień wody wypływający z otworu znajdującego się najniżej, a najmniejszy zasięg – z otworu położonego najwyżej.

Wniosek: Ciecz naciska na dno i boczne ściany naczynia. Wypływanie cieczy przez otwory jest efektem tego nacisku. Jeżeli wykonane otwory miały jednakowe pola powierzchni, to największe ciśnienie panuje na dnie butelki i zmniejsza się, gdy zmniejsza się słup wody nad otworem.



Doświadczenie 29.

Badamy, od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne

Niezbędne przedmioty: cylinder z membraną (zdjęcie obok) lub duża plastikowa butelka z szeroką szyjką, balonik lub gumowa rękawiczka, gumka recepturka, nożyczki

Wykonanie:

- Odetnij nożyczkami dno butelki.
- Zrób na jej szyjce membranę z gumowej rękawiczki lub balonika. Przymocuj ją gumką recepturką.
- Wlewaj powoli wodę do butelki i obserwuj, jak się zmienia odkształcenie membrany wraz ze wzrostem wysokości słupa wody w butelce.

Obserwacje: Membrana coraz bardziej się odkształca, gdy wysokość wody w butelce wzrasta.

Wniosek: **Ciśnienie na dnie butelki wzrasta wraz z wysokością słupa wody nad membraną.**



Doświadczenie 30.

Badamy, czy ciśnienie hydrostatyczne zależy od gęstości cieczy

Hipoteza: Wzrost gęstości cieczy powoduje wzrost ciśnienia hydrostatycznego.

Niezbędne przedmioty: trzy szerokie rurki tej samej długości (zdjęcie obok) lub cylindry z membranami w dnie, trzy jednakowe, małe plastikowe butelki po napojach, trzy jednakowe baloniki, gumki recepturki, nożyczki, trzy statywy laboratoryjne z uchwytami, woda, denaturat, olej

Wykonanie:

- Odetnij nożyczkami dna butelek.
- Na szyjce każdej z butelek przymocuj balonik lub membranę za pomocą gumki recepturki.
- Umieść butelki na statywach (może je też ktoś trzymać).
- Do każdej z butelek nalej taką samą objętość różnych cieczy: wody, denaturatu, oleju.

Obserwacje:

- Baloniki (membrany) na każdej z butelek różnie się odkształcają.
- Najbardziej odkształca się membrana na butelce z wodą (balonik największy), a najmniej – na butelce z denaturatem.

Wniosek: Woda, olej i denaturat mają różne gęstości. Największe parcie na membranę wywierane jest przez ciecz o największej gęstości. Potwierdziliśmy hipotezę, że wzrost gęstości cieczy powoduje wzrost ciśnienia hydrostatycznego. **Ciśnienie na danej głębokości zależy od rodzaju cieczy, a dokładniej – od jej gęstości.**



Wzór na ciśnienie hydrostatyczne na danej głębokości

Doświadczenia wykazały, że ciśnienie hydrostatyczne w danym miejscu cieczy zależy od wysokości słupa cieczy nad tym miejscem (il. 4.6). Na tej samej głębokości dla różnych cieczy jest ono inne. Im większa gęstość cieczy, tym ciśnienie jest większe.

Ciśnienie to możemy obliczyć, stosując znany już wzór: $p = \frac{F}{S}$,

wartość siły parcia, którą ciecz w cylindrze działa na jego dno o powierzchni S , jest równa ciężarowi cieczy: $F = m \cdot g$,

masę cieczy możemy obliczyć ze wzoru na gęstość: $m = d \cdot V$,

objętość cieczy w naczyniu: $V = S \cdot h$,

zatem wartość siły parcia (nacisku): $F = d \cdot S \cdot h \cdot g$

Podstawiając powyższy wzór do wzoru na ciśnienie, otrzymujemy:

$$p = \frac{d \cdot S \cdot h \cdot g}{S}$$

a po uproszczeniu: $p = d \cdot h \cdot g$

Otrzymaliśmy wzór na ciśnienie hydrostatyczne na danej głębokości:

$$p = d \cdot h \cdot g$$

p - ciśnienie hydrostatyczne, d - gęstość cieczy,
 h - wysokość słupa cieczy, g - przyspieszenie ziemskie

Ciśnienie w cieczy na danej głębokości zależy od rodzaju cieczy,
czyli gęstości cieczy oraz od wysokości słupa cieczy.

Powyższa zależność uzasadnia nasze wcześniejsze obserwacje. Najwyższe ciśnienie panuje na dnie naczynia, bo najwyższy jest tu słup cieczy znajdującej się powyżej miejsca pomiaru.

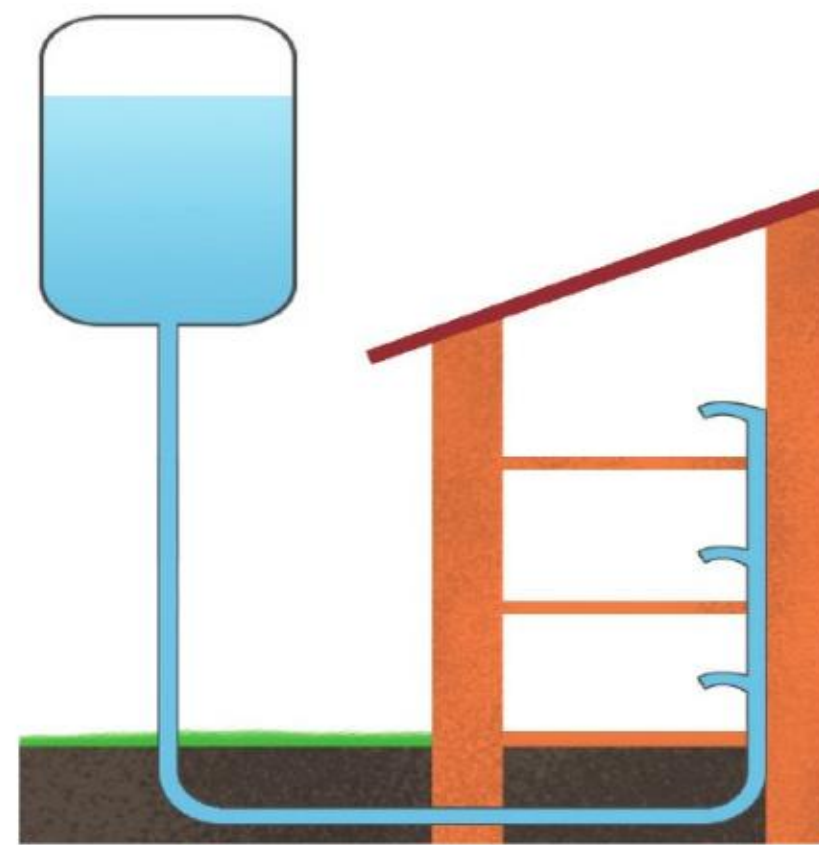
Naczynia połączone

Naczynia połączone (il. 4.7 A.) to układ co najmniej dwóch naczyń, między którymi może swobodnie przepływać ciecz. Po wlaniu do nich wody obserwujemy, że jej poziom jest jednakowy we wszystkich ramionach, niezależnie od ich kształtu i pola przekroju (jak pamiętasz, nie dotyczy to bardzo cienkich rurek, kapilar).

Takie zachowanie się cieczy w naczyniach połączonych zostało wykorzystane w konstrukcji wielu urządzeń codziennego użytku oraz w urządzeniach technicznych (il. 4.7 B.).

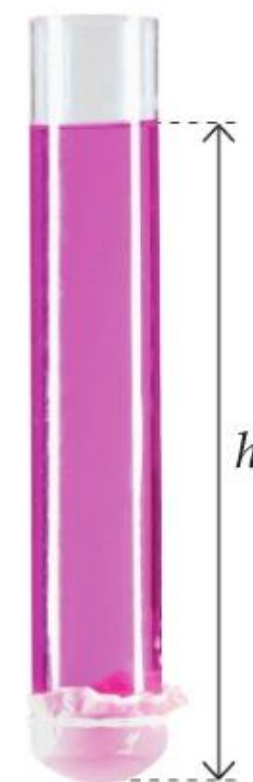


A.



B.

4.7 A. Naczynia połączone, B. System naczyń połączonych wykorzystywany w konstrukcji wieży ciśnień oraz domowej instalacji wodociągowej



4.6 Zależność ciśnienia od wysokości słupa cieczy

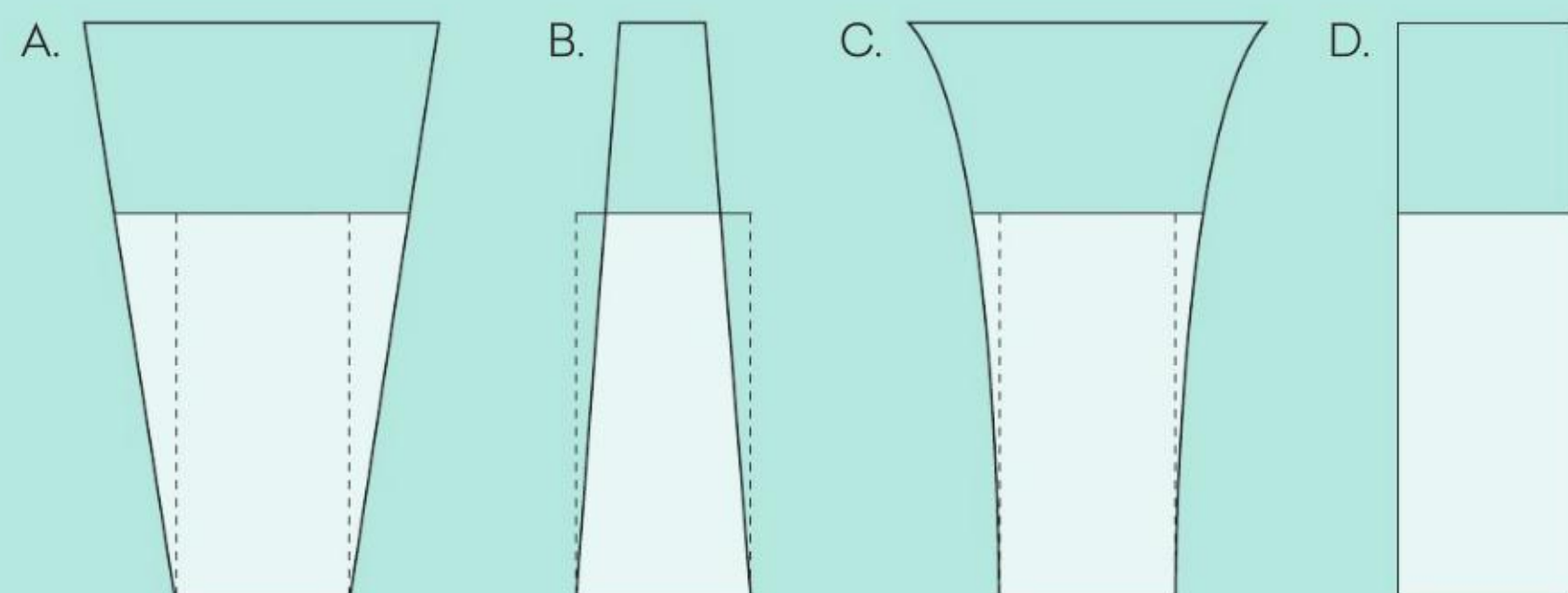


Na ciśnienie hydrostatyczne w cieczy mają również wpływ siły grawitacyjne zależne od szerokości geograficznej, współczynnik $g = 9,81 \frac{N}{kg}$ (średnio dla Polski).

Więcej na temat

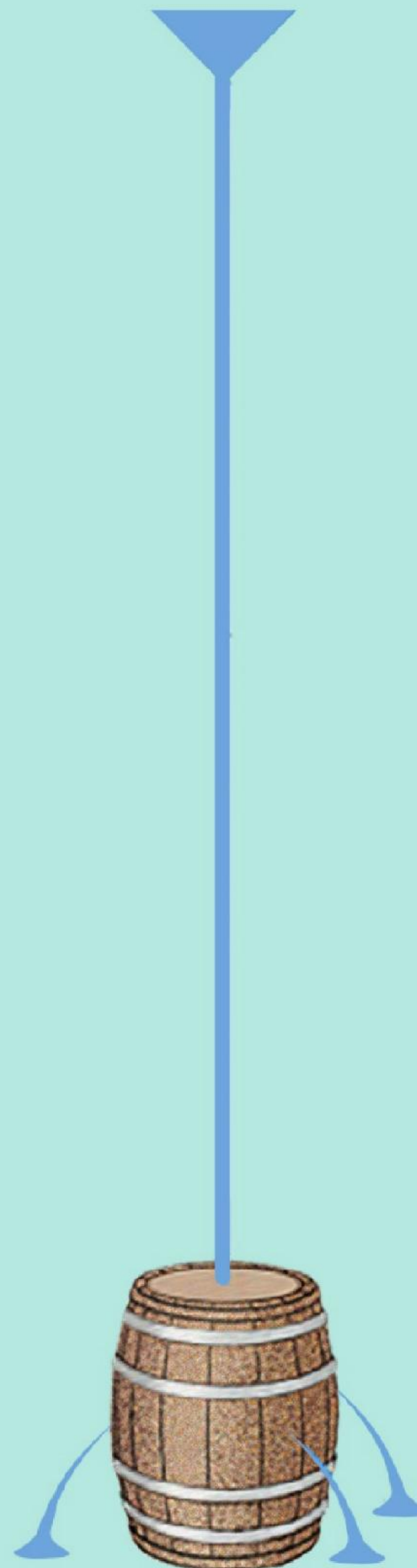
Paradoks hydrostatyczny i doświadczenie Pascala

Paradoks hydrostatyczny polega na tym, że ciśnienie na dnie naczynia nie zależy wprost od ciężaru cieczy w naczyniu, ale od wysokości słupa cieczy. Ten fakt odkrył holenderski uczony Simon Stevin [czyt. stewin], żyjący w latach 1548–1620. Aby tego dowieść, przeanalizujemy konkretną sytuację. Cztery naczynia o różnych kształtach napełniono wodą.



Zauważ, że wysokości słupów wody oraz pola powierzchni dna tych naczyń są równe. Z analizy wzorów na siłę parcia: $F = d \cdot S \cdot h \cdot g$ i ciśnienie: $p = d \cdot h \cdot g$ wynika, że zarówno siły parcia, jak i ciśnienia panujące na dnach tych naczyń są równe i mają te same wartości, ponieważ wysokości (h), gęstości (d) oraz pola powierzchni (S) w każdym przypadku są jednakowe. Wynika z tego, że parcie cieczy na dno w naczyniach o różnych kształtach będzie takie samo, jeżeli pole powierzchni dna każdego z tych naczyń i wysokość słupa cieczy w tych naczyniach będą równe. Można zatem wywnioskować, że **wartość parcia cieczy i wartość ciśnienia hydrostatycznego wywieranych na dno naczynia nie zależą od kształtu tego naczynia**. Naczynia o różnych kształtach będą zawierać różne ilości wody – różne masy i ciężary. Tylko w naczyniu o pionowych ściankach parcie na dno będzie miało taką samą wartość jak ciężar wody w naczyniu. Fakt, że siła nacisku na dno naczynia nie jest równa ciężarowi cieczy w naczyniu, nie jest intuicyjny i został nazwany **paradoksem hydrostatycznym**.

Paradoks hydrostatyczny spopularyzował Blaise Pascal, który doszedł również do wniosku, że mała ilość wody, ale w postaci wysokiego słupa, będzie wywierała bardzo duże ciśnienie, a tym samym i bardzo duży nacisk na ściany naczynia. W takim razie naczynie może nie wytrzymać tak dużego ciśnienia od wewnątrz i powinno zostać rozerwane. To słynne doświadczenie wykonał Pascal w towarzystwie swoich przyjaciół. Wykorzystał w nim beczkę po piwie, zwiększając słupek wody w wąskiej rurce, w której mieściło się około 2 litrów wody, pokazał, że woda zaczęła wyciekać z beczki szczelinami powstałymi między klepkami. Doświadczenie to stanowiło wielkie odkrycie i było powtarzane na uniwersytetach.



Ciśnienie atmosferyczne

Z lekcji geografii wiesz, że powłoka gazowa otaczająca kulę ziemską nazywa się atmosferą. Gazem tworzącym atmosferę jest powietrze, w nim właśnie żyjemy. Nie jest ono zamknięte w żadnym zbiorniku, gdyż siła grawitacji utrzymuje je w pobliżu powierzchni Ziemi. Nacisk powietrza (atmosfery) na powierzchnię Ziemi pochodzi od ciężaru wszystkich jego cząsteczek. Wartość nacisku na jednostkę powierzchni to omówione już wyżej ciśnienie. Ciśnienie powietrza nie jest stałe, zmienia się wraz z wysokością nad powierzchnią Ziemi i temperaturą powietrza; zależy również od innych czynników.

Doświadczenie 31.

Obserwujemy siłę nacisku powietrza

Niezbędne przedmioty: butelka z wodą, naczynie z wodą

Wykonanie:

- Butelkę częściowo napełnioną wodą zatkaj palcem i wstaw do przygotowanego wcześniej naczynia z wodą.

Obserwacje: Woda z butelki nie wylewa się.

Wniosek: Na powierzchnię wody znajdującej się w naczyniu działa od góry siła nacisku powietrza, uniemożliwiająca podnoszenie się poziomu wody w naczyniu i wylewaniu się wody z butelki.



Ciśnienie powietrza wywierane jest na całą powierzchnię Ziemi i wszystkie ciała znajdujące się na niej. Nazywamy je **ciśnieniem atmosferycznym**.

Wykonajmy jeszcze doświadczenie, które potwierdzi istnienie ciśnienia atmosferycznego.

Ciśnieniem atmosferycznym

nazywamy ciśnienie wywierane przez atmosferę okołozemską na powierzchnię Ziemi i na wszystkie znajdujące się na niej ciała.

Doświadczenie 32.

Obserwujemy istnienie ciśnienia atmosferycznego i czy działa ono tylko od góry

Niezbędne przedmioty: szklanka, woda, kartka papieru (może być widokówka), duże naczynie (doświadczenie można wykonać nad zlewem)

Wykonanie:

- Szklankę napełnij wodą i nakryj kawałkiem papieru (jeśli widokówką – zdjęciem na zewnątrz).
- Podtrzymaj przykrycie ręką i obróć szklankę do góry dnem. Wykonaj tę czynność nad zlewem lub dużym naczyniem.

Obserwacje: Woda nie wylewa się ze szklanki, a papier nie odpada.

Wniosek: Ciśnienie atmosferyczne działające od dołu na kartkę papieru równoważy ciśnienie słupa wody – działające od góry. W związku z tym woda nie wylewa się ze szklanki.





4.8 Model doświadczenia Torricellego

Ciekawe!

Pascal zauważył zmienność ciśnienia atmosferycznego w zależności od wysokości względem powierzchni Ziemi. Ze wzrostem wysokości maleje gęstość gazów, a to powoduje, że maleje również ciśnienie atmosferyczne. Można przyjąć, że do 1000 metrów przy wzroście wysokości o 100 m ciśnienie atmosferyczne spada równomiernie w przybliżeniu o 1,2 kPa.

Ciekawe!



W bardzo wysokich górach powietrze jest rozrzedzone, a ciśnienie zbyt niskie, aby można było nim normalnie oddychać. Na Mount Evereście wynosi zaledwie 314 hPa. Z tego powodu himalaiści korzystają z butli tlenowych.

Pomiar ciśnienia atmosferycznego

Istnienie ciśnienia atmosferycznego pierwszy zauważył Galileusz (XVII w.), a pierwszego pomiaru tego ciśnienia dokonał w 1643 roku uczeń Galileusza – Evangelista Torricelli [czyt. ewangelista toricelli], wykonując słynne doświadczenie, nazwane potem doświadczeniem Torricellego (il. 4.8). Do cienkiej, szklanej, zatopionej z jednego końca rurki o długości 1 metra Torricelli nalał do pełna rtęci i zatkał ją od góry. Rurkę odwrócił, zanurzył zatkany koniec w naczyniu z rtęcią i go odetkał. Zaobserwował, że część rtęci wylała się do naczynia, a w rurce powstała nad rtęcią pusta przestrzeń. Pozostały słupek rtęci, zmierzony względem powierzchni rtęci w naczyniu, miał wysokość 760 mm. Zgodnie z interpretacją Torricellego ciśnienie słupka rtęci znajdującego się w rurce równoważy ciśnienie słupa powietrza wywierane na powierzchnię rtęci znajdującej się w naczyniu. Ciśnienie powietrza, które równoważy ciśnienie hydrostatyczne słupa rtęci o wysokości 760 mm, przyjęto za **normalne ciśnienie atmosferyczne**.

Ile wynosi w paskalach normalne ciśnienie atmosferyczne?

Wzór na obliczanie ciśnienia hydrostatycznego, spowodowanego działaniem siły ciężkości na określonej głębokości w cieczy, możemy również zastosować do obliczenia wartości ciśnienia atmosferycznego: $p = d \cdot h \cdot g$.

Przyjmując wartości:

$$\text{gęstość rtęci } d = 13\,590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3},$$

$$\text{wysokość słupa rtęci } h = 760 \text{ mm} = 0,76 \text{ m},$$

$$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}},$$

obliczamy wartość tego ciśnienia:

$$p = 13\,590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,76 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$p = 101\,321,6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 101\,321,6 \text{ Pa}$$

$$p \approx 1013 \text{ hPa}$$

Wartość tego ciśnienia najczęściej bywa mniejsza lub większa od normalnego i wtedy mówimy o obniżonym lub podwyższonym ciśnieniu atmosferycznym. Jeżeli ciśnienie atmosferyczne zwiększa się, to większy jest nacisk powietrza na powierzchnię rtęci w naczyniu i więcej rtęci wpływa do wnętrza rurki, a więc wyższy jest słup rtęci.

W praktyce za wartość ciśnienia normalnego przyjmuje się 1000 hPa.

Przyrządy do pomiaru ciśnienia

Zmiany ciśnienia atmosferycznego mają związek ze zmianami pogody. Do pomiaru ciśnienia atmosferycznego używa się przyrządów pomiarowych, takich jak: barometry cieczowe (np. barometr rtęciowy), barometry sprężynowe (aneroidy), barometry elektroniczne czy barografy.

Przykład 14.

Oblicz siłę, z jaką powietrze naciska na szybę wystawową o wymiarach: $2\text{ m} \times 4\text{ m}$, przyjmując, że ciśnienie atmosferyczne wynosi 1000 hPa. Wyjaśnij, dlaczego szyba nie pęka pod działaniem siły.

Dane:

$$p = 1000\text{ hPa} = 100\,000\text{ Pa} = 100\,000\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$a = 2\text{ m}$$

$$b = 4\text{ m}$$

Szukane:

$$F = ?$$

Rozwiązanie:

Aby obliczyć siłę, z jaką powietrze naciska na szybę, korzystamy ze wzoru: $F = p \cdot S$

Pole powierzchni okna obliczamy ze wzoru: $S = a \cdot b$

stąd wartość siły nacisku będzie wyrażać się wzorem: $F = p \cdot a \cdot b$

Podstawiamy wartości liczbowe i obliczamy: $F = 100\,000\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 2\text{ m} \cdot 4\text{ m} = 800\,000\text{ N}$

$$F = 800\text{ kN}$$

Odpowiedź: Na tę szybę powietrze naciska z siłą 800 kN. Szyba nie pęka, gdyż powietrze naciska z obu jej stron.

Przykład 15.

Ciśnienie wody wywierane na dno szklanki wynosi 10 hPa. Ile wynosiłoby ciśnienie wywierane na dno szklanki przez rtęć nalaną do tej samej wysokości? Przyjmij, że gęstość wody wynosi $1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a gęstość rtęci $13\,600\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Dane:

$$p_1 = 10\text{ hPa} = 1000\text{ Pa} = 1000\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$d_1 = 1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$d_2 = 13\,600\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 10\frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$h_1 = h_2$$

Szukane:

$$p_2 = ?$$

Rozwiązanie:

Wartość ciśnienia hydrostatycznego wywieranego przez wodę na dno szklanki: $p_1 = d_1 \cdot h_1 \cdot g$,

a przez rtęć: $p_2 = d_2 \cdot h_2 \cdot g$

stąd po przekształceniu otrzymujemy: $h_1 = \frac{p_1}{d_1 \cdot g}$, analogicznie dla rtęci: $h_2 = \frac{p_2}{d_2 \cdot g}$

Obliczamy wysokość słupa wody oraz równą jej wysokość słupa rtęci: $h_1 = \frac{1000\frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 0,1\text{ m} = h_2$

Podstawiamy wartości liczbowe i obliczamy ciśnienie wywierane przez rtęć:

$$p_2 = d_2 \cdot h_2 \cdot g = 13\,600\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,1\text{ m} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} = 13\,600\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 13\,600\text{ Pa}$$

Odpowiedź: Ciśnienie rtęci na dno szklanki wynosiłoby 136 hPa.

Ciśnienie w zbiornikach wodnych

Obliczając ciśnienie w cieczach znajdujących się w otwartych naczyniach w pobliżu powierzchni Ziemi, na przykład na pewnych głębokościach w morzach, oceanach i innych zbiornikach wodnych, uwzględnić musimy ciśnienie atmosferyczne, które działa na powierzchnię cieczy (wody) w danym zbiorniku. **Całkowite ciśnienie panujące w cieczy jest sumą ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia hydrostatycznego.** Oznaczając wartość ciśnienia atmosferycznego literami p_{atm} , otrzymujemy wzór na ciśnienie w cieczy na pewnej głębokości: $p = p_{\text{atm}} + d \cdot h \cdot g$.

Przykład 16.

Człowiek bez skafandra ochronnego może wytrzymać przez krótki okres ciśnienie 3575 hPa. Na jaką największą głębokość może zanurzyć się w morzu człowiek bez skafandra, jeżeli gęstość wody morskiej wynosi $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a ciśnienie atmosferyczne na powierzchni morza to 1000 hPa?

Dane:

$$p_1 = 3575 \text{ hPa} = 357\,500 \text{ Pa} = 357\,500 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

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

$$p_{\text{atm}} = 1000 \text{ hPa} = 100\,000 \text{ Pa} = 100\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Szukane:

$$h = ?$$

Rozwiązanie:

Wartość ciśnienia hydrostatycznego wywieranego przez wodę morską na głębokości h obliczymy ze wzoru:

$$p_1 = d \cdot h \cdot g$$

Wartość ciśnienia panującego w cieczy na głębokości h obliczymy ze wzoru: $p = p_{\text{atm}} + p_1 = p_{\text{atm}} + d \cdot h \cdot g$

Po przekształceniu otrzymujemy: $d \cdot h \cdot g = p - p_{\text{atm}}$, a stąd $h = \frac{p - p_{\text{atm}}}{d \cdot g}$

Po podstawieniu danych obliczamy głębokość:
$$h = \frac{357\,500 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - 100\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = \frac{257\,500 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{10\,300 \frac{\text{N}}{\text{m}^3 \text{m}}} = 25 \text{ m}$$

Odpowiedź: Człowiek może się zanurzyć bez skafandra ochronnego na głębokość 25 m.

W skrócie

- Ciśnienie hydrostatyczne na głębokości h to ciśnienie wywierane przez słup cieczy o wysokości h , spowodowane działaniem jego siły ciężkości na warstwy cieczy znajdujące się poniżej. Można je obliczyć ze wzoru: $p = d \cdot h \cdot g$.
- Ciśnienie w cieczy na danej głębokości nie zależy od wielkości i kształtu zbiornika, a zależy od gęstości cieczy oraz od wysokości słupa cieczy. Całkowite ciśnienie panujące w cieczy na określonej głębokości jest sumą ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia hydrostatycznego: $p = p_{\text{atm}} + d \cdot h \cdot g$.
- Naczynia połączone to układ co najmniej dwóch naczyń, między którymi ciecz może swobodnie przepływać. Ciecz w naczyniach połączonych dąży do wyrównania poziomów.

Ciśnieniem atmosferycznym nazywamy ciśnienie wywierane przez atmosferę okołoziemską na powierzchnię Ziemi i na wszystkie znajdujące się na niej ciała. Spowodowane jest naciskiem warstw powietrza na warstwy znajdujące się poniżej.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1. Jakie wielkości potrzebne są do obliczenia ciśnienia hydrostatycznego?
- 2. Wyjaśnij różnicę między pojęciami: ciśnienie cieczy, ciśnienie w cieczy.
- 3. Dwa identyczne naczynia napełniono do tej samej wysokości wodą i olejem. Wybierz odpowiedź 1. lub 2. oraz jej uzasadnienie – A, B lub C.

Ciśnienie na dnie naczynia

1.	jest jednakowe w obu naczyniach,	ponieważ	A.	wysokości słupów cieczy są jednakowe.
2.	jest większe w naczyniu z wodą,		B.	gęstość wody jest większa od gęstości oleju.
			C.	naczynia są jednakowe.



- 4. Dwa naczynia napełniono do tej samej wysokości wodą. Wybierz odpowiedź 1. lub 2. oraz jej uzasadnienie: A, B lub C.

Ciśnienie na dnie naczynia

1.	jest jednakowe w obu naczyniach,	ponieważ	A.	wysokości słupów i gęstości cieczy są jednakowe.
2.	jest większe w naczyniu węższym,		B.	gęstość cieczy w obu naczyniach jest jednakowa.
			C.	powierzchnia dna naczynia jest mniejsza.



- 5. Często używanym naczyniem jest czajnik elektryczny, w którym zastosowano rurkę wodowskazową. Wyjaśnij, do czego ona służy i na jakiej zasadzie działa.
- 6. Wyjaśnij, co to znaczy, że ciśnienie normalne wynosi 760 mmHg.



- 7. Na rysunku obok jest schemat śluzy budowanej na kanałach łączących rzeki i zbiorniki wodne różniące się poziomem wody. Wyjaśnij, na czym polega działanie śluzy wodnej. Jeśli masz problem, wyszukaj niezbędne informacje w internecie lub w innych źródłach.



- 8. Odpowiedz na pytanie: Jak działa studnia artezyjska? Poszukaj informacji na ten temat w internecie lub innych źródłach.





PRAWO BERNOULLIEGO

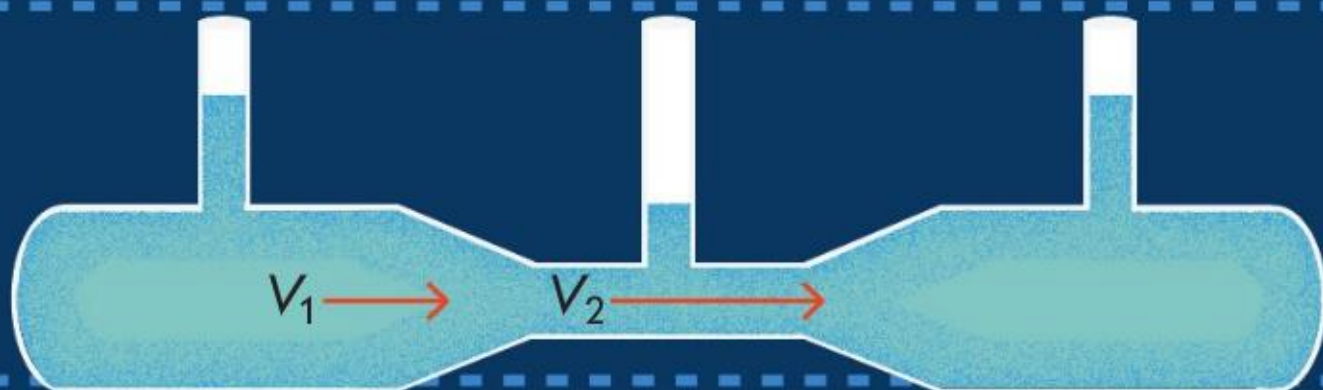
Czy wiesz, dlaczego samoloty latają? Dlaczego statki nie mogą przepływać zbyt blisko siebie? Czemu drzwi i okna trzaskają, kiedy jest przeciąg? Dlaczego zrywane są dachy domów, gdy zbyt mocno wieje? Wszystko to można wytłumaczyć dzięki prawu Bernoulliego (czyt. bernuliego), które opisuje między innymi zachowanie poruszających się powietrza lub wody. Zachowanie to często jest dla nas zaskakujące i kłóci się z naszymi oczekiwaniami i wyobrażeniami. Wykonaj proste doświadczenia, aby się o tym przekonać.

Zaskakujące zachowanie

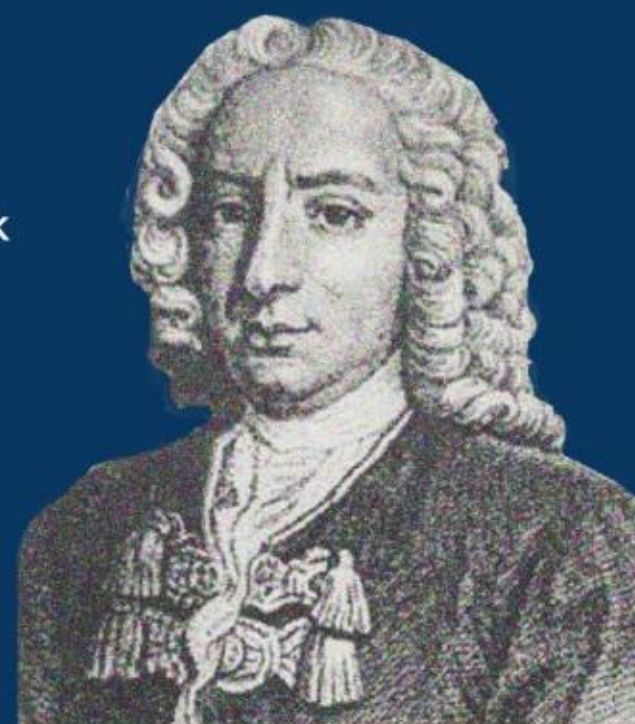
Weź dwie piłeczki pingpongowe, zawieś je na nitkach, dość blisko siebie, na cienkim patyku i dmuchaj między nie. Aby strumień nie był zbyt szeroki, możesz dmuchać np. przez rurkę do napojów. Piłeczki nie oddaliły się od siebie, tylko się zbliżyły. Ciśnienie wewnątrz strumienia wdmuchiwanego powietrza było niższe niż ciśnienie nieruchomego powietrza otaczającego piłeczki z drugiej strony, co spowodowało, że zbliżyły się one do siebie.

W szybko poruszającym się strumieniu cieczy lub gazu panuje niższe ciśnienie niż w strumieniu poruszającym się wolniej lub spoczywającym.

Możesz się o tym przekonać, obserwując ciecz przepływającą przez rurki o zmiennych średnicach.



To zaskakujące zachowanie się piłeczek wyjaśnił w 1738 roku szwajcarski fizyk, matematyk i lekarz Daniel Bernoulli (1700–1782), formułując prawo nazwane od jego nazwiska.



Widać, że ciśnienie wody w środkowej, węższej części rurki jest mniejsze niż w zewnętrznych, grubszych częściach rurki, ponieważ poziom wody w środkowej, pionowej rurce wskaźnikowej jest niższy niż w zewnętrznych rurkach wskaźnikowych.

Ciecz, płynąc w rurze o zmieniającym się przekroju, ma mniejsze ciśnienie na odcinku, gdzie przekrój jest mniejszy.

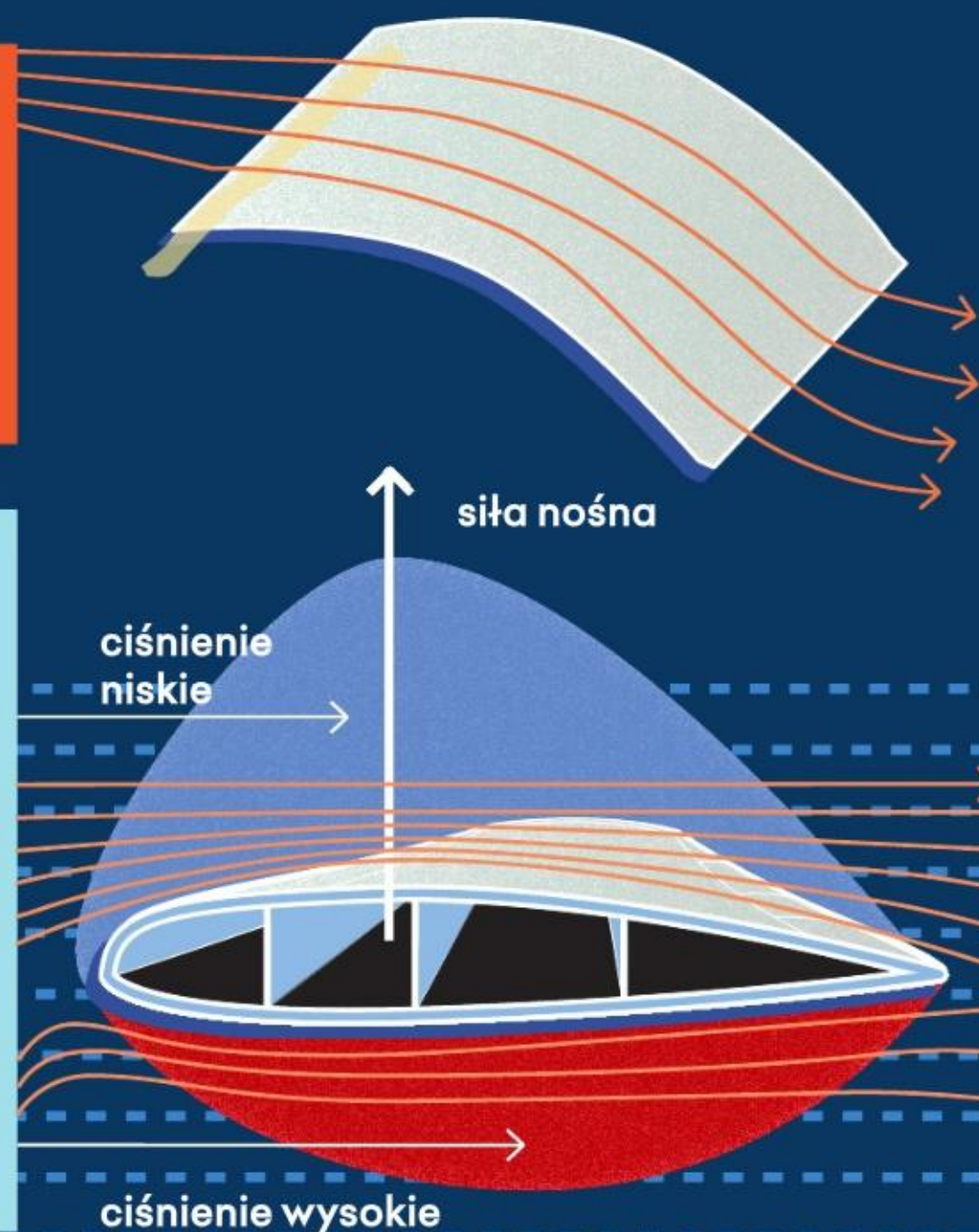
W pierwszej chwili wydawać się może, że stwierdzenie to kłóci się ze zdrowym rozsądkiem, który podpowiada, że w cieńszych miejscach ciśnienie powinno być większe. Dlatego prawo Bernoulliego nazywane jest też paradoksem hydrodynamicznym.

Co mają ze sobą wspólnego: przepływ wody przez rury, lot samolotu, pływanie żaglówką i zrywanie dachów przez silny wiatr? Domyślasz się pewnie, że chodzi o zjawiska opisane tym samym prawem. Przeanalizujmy teraz te przypadki.

Lot samolotu i siła nośna

Wykonaj jeszcze jedno proste doświadczenie. Wygnij lekko kartkę papieru i przyklej ją taśmą klejącą z jednej strony do stołu. Następnie dmuchnij tak, aby strumień powietrza przemieszczał się nad nią. Na pewno zauważyłeś, że część kartki po przeciwnej stronie uniosła się ku górze.

Skrzydło jest tak wyprofilowane, że powierzchnia od góry jest wypukła, a od spodu – płaska. Dzięki takiemu wyprofilowaniu powietrze nad jego górną powierzchnią porusza się znacznie szybciej niż pod nim. Dlatego ciśnienie nad skrzydłem jest niższe niż pod skrzydłem. Powstaje różnica ciśnień, a więc i sił parcia, a wynikająca z niej **siła nośna** skierowana jest do góry. Siła nośna jest większa, gdy większa jest prędkość samolotu. Dlatego samolot, żeby w ogóle oderwać się od pasa startowego, musi się najpierw na nim rozpędzić do znacznej prędkości. Gdy szybkość samolotu maleje, maleje również siła nośna. Dla każdego samolotu istnieje szybkość minimalna, poniżej której samolot spada. Siła nośna jest bardzo pożyteczna i wykorzystywana także przez ptaki.



Wiatr w żagle

Jacht także porusza się dzięki sile nośnej, którą wytwarza wiatr opływający żagiel. Po stronie wypukłej (zawietrznej) powietrze porusza się szybciej, co sprawia, że jest tam niższe ciśnienie. W wyniku różnicy ciśnień po obu stronach żagla jest on zasysany na stronę zawietrzną. Można powiedzieć, że jacht jest ciągnięty, a nie – pchany przez wiatr. Dzięki temu może płynąć z większą szybkością, niż wieje wiatr.



Zrywanie dachów

Struga wiatru opływająca budynek zwęża się w pobliżu jego dachu i nabiera większej szybkości. Zatem tuż ponad dachem panuje znacznie niższe ciśnienie niż na poziomie pod dachem. Wytworzona różnica ciśnień powoduje powstanie skierowanej pionowo w górę siły nośnej. W przypadku bardzo silnych huraganowych wiatrów siła ta jest na tyle duża, że może oderwać dach od budynku.

Zadania

1. Wykonaj doświadczenie: dmuchaj w dwie kartki papieru trzymane blisko siebie w powietrzu. Wyjaśnij swoje obserwacje.
2. Opisz, w jaki sposób działają skrzydła samolotu i jak powstaje siła nośna.
3. Wyszukaj w internecie informacje i wyjaśnij, w jaki sposób powstają przeciągi w domach, gdy są otwarte okna.
4. Spróbuj wyjaśnić, czy działanie odkurzacza ma coś wspólnego z prawem Bernoulliego.
5. Dlaczego wiatr zrywa spadziste dachy i porywa je w górę, chociaż wieje poziomo?

4.3 Prawo Pascala i jego zastosowanie

Podejmij temat

- Dlaczego za pomocą podnośnika hydraulicznego łatwo podnieść samochód?

Działanie siły zewnętrznej na ciecz

Dotychczas, omawiając ciśnienie gazów oraz ciśnienie cieczy, rozpatrywaliśmy oddziaływania tych substancji na dna i ściany naczyń, w których się znajdowały. Pompując piłkę, obserwujemy zmiany jej kształtu we wszystkich kierunkach. Taki sam efekt widzimy przy pompowaniu dętki rowerowej, materaca gumowanego i innych przedmiotów. Mówimy, że parcie siły zewnętrznej przekazywane jest w gazach we wszystkich kierunkach jednakowo. Czy stwierdzenie to odnosi się również do cieczy?

Doświadczenie 33.

Badamy, jak działanie siły zewnętrznej przenosi się w cieczy

Niezbędne przedmioty: piłeczka pingpongowa lub balonik, strzykawka, szpilka do wykonania otworów, woda, duże płaskie naczynie (miska lub zlew)

Wykonanie:

- Zrób szpilką kilka małych otworów w baloniku lub piłeczce.
- Napełnij balonik wodą nad naczyniem i naciśnij go w dowolnym miejscu. Obserwuj, w jaki sposób woda wycieka z balonika.
- Jeśli w pracowni znajduje się szklana kulista kolba z otworami i tłokiem lub piłeczka pingpongowa z otworami i strzykawką, możesz je wykorzystać zamiast balonika.

Obserwacje: Po naciśnięciu balonika (lub tłoka przyrządu) widzisz wyciekającą z każdej dziurki wodę. Strumienie wody są blisko powierzchni balonika i są prostopadłe do niej.

Wniosek: Nacisk wywierany z zewnątrz na ciecz w baloniku powoduje jednakowy w całej objętości wzrost ciśnienia.



Prawo Pascala

Mogłeś zaobserwować, że ciśnienie zewnętrzne wytworzone siłą F na powierzchnię S przenoszone jest w cieczy we wszystkich kierunkach, na wszystkie ściany, bez zmiany wartości. Na podstawie powyższego wniosku możemy sformułować **prawo Pascala**.

Działanie siły zewnętrznej na zamknięte w zbiorniku ciecz lub gaz powoduje wytworzenie dodatkowego ciśnienia, które jest przekazywane, niezmienione, we wszystkich kierunkach i zwrócone prostopadłe do ścian naczynia, w którym ciecz lub gaz się znajduje.

Jeśli w zbiorniku panuje ciśnienie p , to wartość siły parcia (nacisku) na płaską, prostopadłą do siły powierzchnię S możemy obliczyć ze wzoru: $F = p \cdot S$.

Prasa hydrauliczna

Prawo Pascala znalazło zastosowanie w konstrukcji wielu urządzeń hydraulicznych (wykorzystujących ciśnienie cieczy) i pneumatycznych (wykorzystujących ciśnienie gazów). Najpopularniejsza z nich jest **prasa hydrauliczna** (il. 4.9).

Działając siłą o niewielkiej wartości F_1 na powierzchnię S_1 , wytwarzamy ciśnienie

$$p = \frac{F_1}{S_1}$$

Ponieważ ciśnienie jest wszędzie jednakowe, na dużą powierzchnię S_2 ciecz działa siłą F_2 o dużej wartości:

$F_2 = p \cdot S_2$, więc, po podstawieniu za p

$$F_2 = \frac{F_1}{S_1} \cdot S_2$$

ostatecznie po przekształceniu

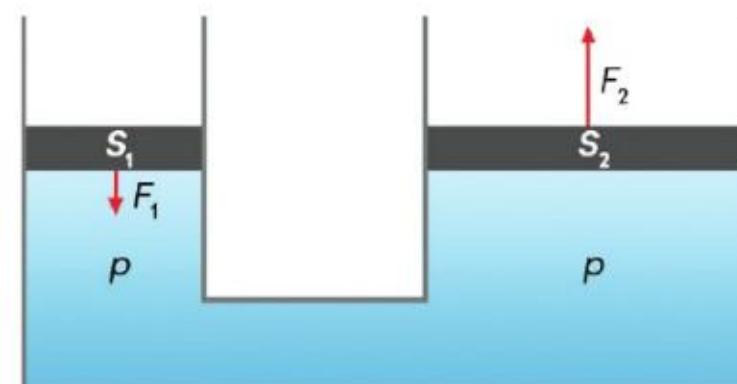
$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

Łatwo zauważyć, że **działając siłą o małej wartości na tłok o małej powierzchni, otrzymujemy na drugim tłoku, o większej powierzchni, siłę dużej wartości. Wartość tej siły jest tyle razy większa od wartości mniejszej siły, ile razy powierzchnia dużego tłoka jest większa od powierzchni małego tłoka:**

$$F_2 = \frac{S_2}{S_1} \cdot F_1$$

Zastosowanie prawa Pascala

Prawo Pascala ma zastosowanie przy dmuchaniu piłek, balonów, pompowaniu dętek i materacy. Prasy hydrauliczne wykorzystywane są w maszynach tłoczących różne metalowe elementy czy wyciskających sok lub olej z rozmaitych roślin. Praktycznymi urządzeniami działającymi również na tej zasadzie są podnośniki hydrauliczne (il. 4.10) i hamulce hydrauliczne (szczególnie w samochodach ciężarowych). Zamiast cieczy w urządzeniach tych często stosowane jest również sprężone powietrze, wtedy podnośniki czy hamulce nazywa się pneumatycznymi. Urządzenia hydrauliczne i pneumatyczne tak samo działają na Ziemi, Księżycu czy w innych miejscach w Kosmosie, gdyż ciśnienie wynikające z prawa Pascala nie zależy od ciężaru cieczy lub gazu.



4.9 Zasada działania prasy hydraulicznej



Jeśli na ciecz w zbiorniku działa siła zewnętrzna, to całkowite jej ciśnienie na ścianki zbiornika jest sumą ciśnienia hydrostatycznego wynikającego z ciężaru cieczy i przenoszonego przez ciecz ciśnienia wytworzonego na skutek działania siły zewnętrznej. Jak wiesz, ciśnienie hydrostatyczne zależy od wysokości słupa cieczy, natomiast ciśnienie przenoszone przez ciecz – opisane prawem Pascala – ma taką samą wartość na każdej głębokości zbiornika.



4.10 Podnośnik hydrauliczny

Przykład 17.

Na mały tłok podnośnika hydraulicznego o powierzchni 15 cm^2 działa siła o wartości 200 N . Ciało o jakim ciężarze może podnieść duży tłok tego podnośnika o powierzchni 750 cm^2 ?

Dane:

$$F_1 = 200 \text{ N}$$

$$S_1 = 15 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = 750 \text{ cm}^2$$

Szukane:

$$F_2 = ?$$

Rozwiązanie:

Z prawa Pascala wynika, że ciśnienie wywierane przez mały tłok jest równe ciśnieniu wywieranemu na duży tłok:

$$p_1 = p_2$$

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} \text{ i } p_2 = \frac{F_2}{S_2}$$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \text{ po przekształceniu: } F_2 = \frac{S_2}{S_1} \cdot F_1$$

$$\text{podstawiamy dane: } F_2 = \frac{750 \text{ cm}^2}{15 \text{ cm}^2} \cdot 200 \text{ N}$$

$$F_2 = 10\,000 \text{ N} = 10 \text{ kN}$$

Odpowiedź: Duży tłok podnośnika może podnieść ciało o ciężarze 10 kN , czyli np. samochód osobowy o masie ok. 1000 kg .

Przykład 18.

Ciecz w połowie wysokości słupa cieczy wywiera na ścianę naczynia ciśnienie 500 Pa . Jakie ciśnienie będzie wywierać ciecz na dno i w połowie wysokości słupa cieczy, jeśli za pomocą tłoka będzie wywierane dodatkowe ciśnienie 1000 Pa ?

Dane:

$$p_h = 500 \text{ Pa}$$

$$p_z = 1000 \text{ Pa}$$

Szukane:

$$p_{2h} = ?$$

$$p_{z2h} = ?$$

$$p_{zh} = ?$$

Rozwiązanie:

Jeśli bez działania tłoka na głębokości h , równej połowie wysokości słupa cieczy, ciśnienie wynosiło 500 Pa , to na dnie – na dwa razy większej głębokości – będzie dwa razy wyższe: $p_{2h} = 1000 \text{ Pa}$.

Ciśnienie wywierane przez tłok jest przenoszone przez wodę bez zmian i wszędzie jest jednakowe.

W związku z tym po naciśnięciu tłoka całkowite ciśnienie wynosić będzie:

- w połowie wysokości: $p_{zh} = 500 \text{ Pa} + 1000 \text{ Pa} = 1500 \text{ Pa}$,

- na dnie naczynia: $p_{z2h} = 1000 \text{ Pa} + 1000 \text{ Pa} = 2000 \text{ Pa}$.

Odpowiedź: Ciśnienie cieczy na dno naczynia bez działania tłoka wynosi 1000 Pa , a po zadziałaniu tłoka 2000 Pa .

Ciśnienie na ścianki naczynia w połowie wysokości słupa cieczy wzrośnie do 1500 Pa .

W skrócie

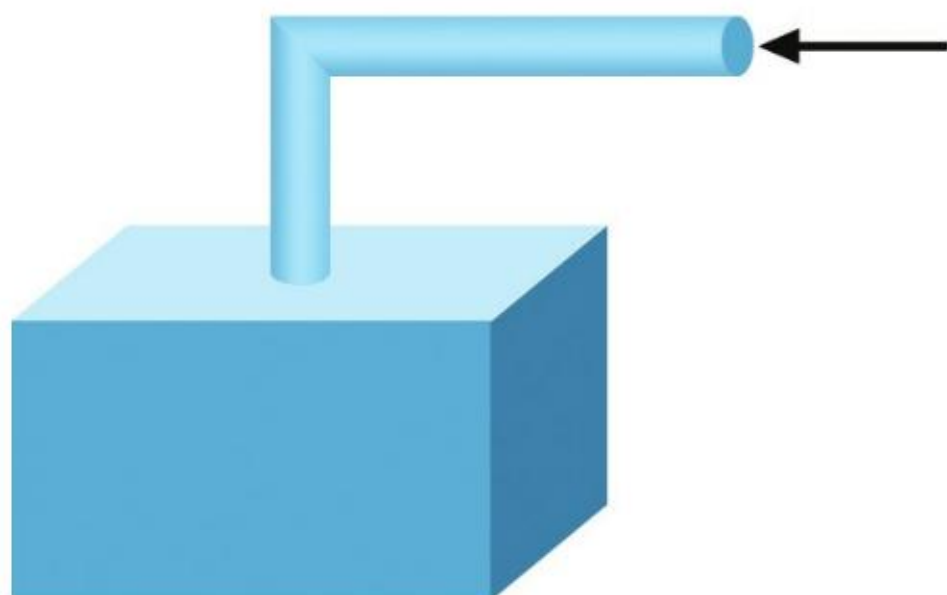
- Prawo Pascala mówi, że działanie siły zewnętrznej na zamknięte w zbiorniku ciecz lub gaz powoduje wytworzenie dodatkowego ciśnienia, przekazywanego jako niezmienniczone we wszystkich kierunkach i zwróconego prostopadle do ścian naczynia, w którym ciecz lub gaz się znajdują.
- Jeśli w zbiorniku panuje ciśnienie p , to wartość siły parcia (nacisku) na płaską, prostopadłą do siły powierzchnię S możemy obliczyć ze wzoru: $F = p \cdot S$.
- Jeśli na ciecz w zbiorniku działa zewnętrzna siła, to całkowite ciśnienie wody na ścianki zbiornika jest sumą ciśnienia hydrostatycznego wynikającego z ciężaru cieczy i przenoszonego przez ciecz ciśnienia wytworzonego na skutek działania siły zewnętrznej.
- Gdy w urządzeniach hydraulicznych i pneumatycznych działamy siłą o małej wartości na tłok o małej powierzchni, otrzymujemy na drugim tłoku, o większej powierzchni, siłę dużej wartości. Wartość tej siły jest tyle razy większa od wartości mniejszej siły, ile razy powierzchnia dużego tłoka jest większa od powierzchni małego tłoka: $F_2 = \frac{S_2}{S_1} \cdot F_1$.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Do pojemnika w kształcie prostopadłościanu wpompowano powietrze tak, że ciśnienie wywierane na jedną ze ścianek o mniejszej powierzchni wzrosło o 20 kPa, a parcie wywierane przez powietrze na tę ściankę wzrosło o 4 kN. Wybierz poprawne zakończenie zdania.

Na ściankę o dwukrotnie większej powierzchni

- A. ciśnienie wzrosło o 20 kPa, a parcie zmalało o 8 kN.
- B. ciśnienie wzrosło o 20 kPa, a parcie wzrosło o 8 kN.
- C. ciśnienie zmalało o 10 kPa, a parcie wzrosło o 2 kN.
- D. ciśnienie wzrosło o 40 kN, a parcie wzrosło o 8 kN.
- E. ciśnienie zmalało o 10 kPa, a parcie zmalało o 2 kN.



- 2 Wykonaj model prasy hydraulicznej. Weź dwie strzykawki: jedną o dużej średnicy, drugą o małej średnicy. Dużą strzykawkę napełnij wodą (ponad połowę wysokości). Połącz strzykawki wężem silikonowym o odpowiedniej, pasującej do końcówek strzykawek, średnicy i powoli przesunąć tłok, aby woda napełniła wąż oraz wlała się do małej strzykawki. Odpowiedz na pytania: Tłok której strzykawki łatwiej wcisnąć? Dlaczego? Spróbuj uzasadnić odpowiedź.



- 3 Na mały tłok podnośnika hydraulicznego o powierzchni 8 cm² działa siła 1,2 kN. Ile wynosi masa ciała, które podnosi duży tłok podnośnika o powierzchni 40 cm²? Na jaką wysokość zostanie podniesione to ciało, jeżeli mały tłok przesunął się o 35 cm?

Ciekawe!



Blaise Pascal (1623–1662) nie tylko badał zjawiska hydrostatyczne. Był również filozofem, publicystą i matematykiem, a także twórcą pierwszej maszyny matematycznej.

4.4 Prawo Archimedesesa

Podejmij temat

- Dlaczego łatwiej nauczyć się pływać w wodzie morskiej?

Siła wyporu

Jeśli byłeś nad morzem, zapewne obserwowałeś pływające statki. Pewnie wiesz, że gdy zanurzamy w wodzie takie przedmioty jak piłka czy korek, odczuwamy pewien opór. Wnioskujemy z tego, że działa na nie jakaś siła, która „wypycha” je do góry i nie pozwala im utonąć. Zbadamy w doświadczeniach tę siłę, którą ciecz działa na umieszczone w niej ciała.

Doświadczenie 34.

Badamy siłę, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciała

Niezbędne przedmioty: siłomierz, woreczek strunowy, zlewka z wodą

Wykonanie:

- Napełnij woreczek wodą, zamknij go, zawieś na siłomierzu i odczytaj wartość jego siły ciężkości.
- Zawieszony na siłomierzu woreczek z wodą zanurz całkowicie w zlewce z wodą i ponownie odczytaj wskazanie siłomierza.

Obserwacje:

- Po zanurzeniu woreczka w wodzie podniósł się poziom wody w zlewce, a siłomierz wskazał w przybliżeniu zero.

Wniosek:

- Na woreczek ze strony cieczy działa siła zwrócona do góry, ponieważ wskazanie siłomierza jest mniejsze niż w powietrzu. Siłę tę nazywamy **siłą wyporu**.
- Wartość siły wyporu jest równa ciężarowi wody w woreczku, ponieważ siłomierz wskazuje zero (lub prawie zero).
- Objętość wypartej wody jest równa objętości wody w woreczku, a więc ciężar wypartej wody jest także równy ciężarowi wody w woreczku. Stąd wniosek, że wartość siły wyporu jest równa ciężarowi wody wypartej przez woreczek z wodą.

Musisz pamiętać, że nasze pomiary najczęściej nie są zbyt dokładne. Pomijamy również ciężar samego woreczka – jego wkład w ciężar wody w woreczku jest niewielki i dużo mniejszy niż wartość niepewności pomiarowej. Sprawdź, jaka jest niepewność pomiarowa w przypadku pomiaru siłomierzem.



Czy wartość siły wyporu rzeczywiście jest równa ciężarowi wypartej cieczy, możesz również sprawdzić za pomocą specjalnego wiaderka i walca (il. 4.11), którego objętość równa się objętości wewnętrznej wiaderka. Strzałka sprężyny pokazuje jej wydłużenie. Całkowite zanurzenie walca w wodzie znajdującej się w naczyniu z odpływem powoduje, że część cieczy, której objętość równa jest objętości walca, wylewa się z naczynia do umieszczonej obok szklanki (zlewki)

lub naczynia ze stojącą w nim zlewką. Strzałka podniesie się do góry na skutek skrócenia się sprężyny, gdyż na walec działa, oprócz siły ciężkości, również siła wyporu wody. Następnie przelewamy wodę ze zlewki do wiaderka, zapelniając je całkowicie. Strzałka wraca do położenia, w którym była przed zanurzeniem walca w wodzie. Doświadczenie potwierdza, że siła wyporu działająca na ciało zanurzone w cieczy równa jest ciężarowi cieczy wypartej przez to ciało.

Jak obliczyć wartość siły wyporu?

Wiesz już, że siła wyporu działająca na ciało zanurzone w cieczy równa jest ciężarowi cieczy wypartej przez to ciało. Wykonaj teraz doświadczenie, aby sprawdzić, jaką wartość ma siła wyporu i jak ją można obliczyć.



4.11 Wiaderko Archimedes służące do bezpośredniego sprawdzania prawa Archimedes

Doświadczenie 35.

Sprawdzamy, jaką wartość ma siła wyporu

Niezbędne przedmioty: siłomierz, metalowy sześcián z haczykiem (przynajmniej jeden), zlewka z wodą

Wykonanie:

- Na siłomierzu zawieś sześcián i odczytaj wartość siły ciężkości.
- Zawieszony na siłomierzu obciążnik zanurz w wodzie i odczytaj wskazanie siłomierza.
- Oblicz różnicę wskazań siłomierza – siłę wyporu.
- Oblicz ciężar wody wypartej przez sześcián i porównaj z wynikiem wartości siły wyporu.
- Jeśli masz sześciány o tej samej objętości, wykonane z innych substancji, to powtórz dla nich pomiary.



Obserwacje i wyniki:

- Ciężar obciążnika w powietrzu wynosi F_1 .
- Po zanurzeniu obciążnika w wodzie wskazanie siłomierza jest mniejsze i wynosi F_2 , ponieważ woda działa na klocek siłą wyporu F_w , zwróconą w górę.
- Objętość wody wypartej przez sześcián jest równa objętości sześciánu V (znasz sposoby wyznaczenia objętości ciała o regularnym kształcie).
- Na obciążnik działa, zwrócona do góry, siła wyporu. Siła ta jest równa co do wartości różnicy wskazań siłomierza: $F_w = F_1 - F_2$.
- Obliczmy ciężar wody wypartej przez sześcián po zanurzeniu go w wodzie: $F_{\text{c wypartej wody}} = m \cdot g$
- Ponieważ $m = d_c \cdot V$ (gdzie d_c – gęstość cieczy, a V – objętość sześciánu, równa objętości wypartej cieczy), po podstawieniu otrzymamy: $F_{\text{c wypartej wody}} = d_c \cdot V \cdot g$.

Dla innych sześciánów:

- Podczas zanurzenia innych sześciánów wskazówka siłomierza podniosła się o tę samą wartość.

Wnioski:

- Po porównaniu ciężaru wypartej wody z wartością siły wyporu okazuje się, że są one równe: $F_{\text{c wypartej wody}} = F_w = d_c \cdot V \cdot g$
- Wartość siły wyporu dla innych sześciánów o tej samej objętości jest taka sama.

Pamiętaj o niepewnościach pomiarowych.

Ciekawe!

Archimedes – ok. 287–ok. 212 p.n.e. Jego prawo o sile wyporu jest podstawą hydrostatyki. Legenda głosi, że dokonał swojego odkrycia, kąpiąc się w wannie. Z okrzykiem *Heureka!* ('odkryłem') biegł nago przez miasto.

Prawo Archimedesesa

Wykonałeś doświadczenia, które pozwalają określić bardzo ważne prawo, odkryte i sformułowane przez Archimedesesa w III wieku p.n.e.

Na ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu zwrócona pionowo do góry, równa co do wartości ciężarowi cieczy wypartej przez to ciało:

$$F_w = F_c = d_c \cdot V \cdot g$$

F_w – siła wyporu, F_c – ciężar wypartej cieczy, d_c – gęstość cieczy, V – objętość ciała zanurzonego w cieczy, g – przyspieszenie ziemskie

Na podstawie zapisanego wzoru można zauważyć, że:

- na ciała o jednakowej objętości, zanurzone w tej samej cieczy, działa taka sama siła wyporu – można powiedzieć, że ciecz „nie odróżnia” zanurzonego w niej ciała, czyli siła wyporu nie zależy od rodzaju materiału, z jakiego zbudowane jest ciało,
- siła wyporu zależy od objętości zanurzonego ciała (lub jego części) – im większa objętość zanurzonej części ciała, tym większa siła wyporu,
- na wartość siły wyporu ma wpływ gęstość cieczy – im większa gęstość cieczy, tym większa siła wyporu działa na zanurzone w niej ciało.

Wykonaj w domu doświadczenie 36., aby sprawdzić ostatni wniosek.

Doświadczenie 36.

Sprawdzanie, czy wartość siły wyporu zależy od gęstości cieczy

Niezbędne przedmioty: jajko, szklanka z wodą (około połowy wysokości), szklanka z gorącą wodą (około połowy wysokości), sól, łyżka

Wykonanie:

- Nalej wody do szklanki i ostrożnie włóż jajko. Co obserwujesz?
- Do szklanki z gorącą wodą wsyp ok. 10 łyżeczek soli i dobrze wymieszaj.
- Do szklanki z jajkiem w wodzie wlewaj po łyżce wody z solą i obserwuj, co się dzieje.



Obserwacje: W miarę dolewania wody z rozpuszczoną solą (roztworu soli) jajko wypływa. Im większa ilość roztworu, tym jajko jest wyżej.

Wniosek: W osolonej wodzie na jajko działa większa siła wyporu. Im większa gęstość cieczy, tym większa siła wyporu.

Więcej na temat



Skąd się bierze siła wyporu?

Wiesz już, że w danym miejscu cieczy panuje ciśnienie hydrostatyczne, które zależy od wysokości słupa wody nad tym miejscem. Wzór na obliczanie siły wyporu możemy wyprowadzić, rozpatrując ciśnienie wywierane przez ciecz na zanurzone w niej ciało.

Na wszystkie ściany ciała zanurzonego w cieczy działają siły nacisku spowodowane ciśnieniem cieczy. Siły działające na ściany boczne mają równe wartości, gdyż na tych samych głębokościach ciśnienie jest jednakowe.

Wartość siły nacisku na górną ścianę zanurzonego ciała obliczymy ze wzoru: $F_1 = p_1 \cdot S$.

Wartość siły nacisku na dolną ścianę zanurzonego ciała obliczymy ze wzoru: $F_2 = p_2 \cdot S$.

Uwzględniając wzory na wartości ciśnienia hydrostatycznego wywieranego na ściany górną i dolną, po podstawieniu do wzorów na wartości sił nacisku otrzymujemy:

$$F_1 = d \cdot h_1 \cdot g \cdot S$$

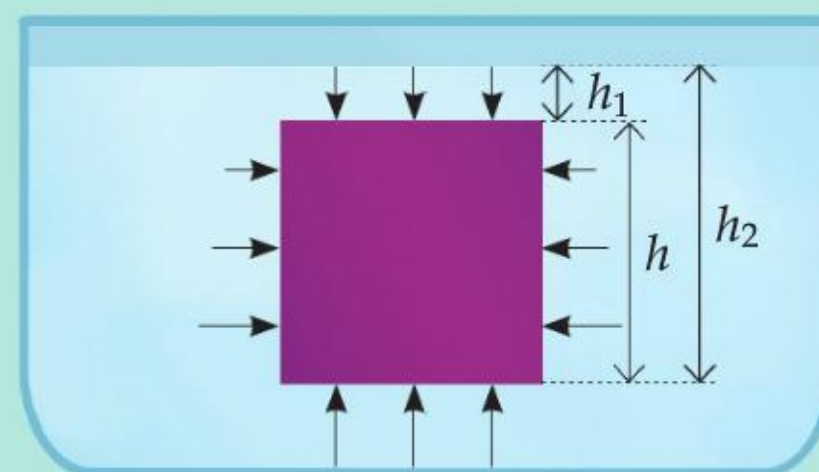
$$F_2 = d \cdot h_2 \cdot g \cdot S$$

Wartość siły wyporu obliczymy, korzystając z wzoru: $F_w = F_2 - F_1$.

Po podstawieniu wzorów na wartości tych sił otrzymujemy: $F_w = d \cdot h_2 \cdot g \cdot S - d \cdot h_1 \cdot g \cdot S$, a stąd $F_w = d \cdot g \cdot S \cdot (h_2 - h_1)$.

Zauważmy, że $S \cdot (h_2 - h_1) = V$ (objętość zanurzonego ciała).

Ostatecznie: $F_w = d \cdot V \cdot g$.



Przykład 19.

Metalową figurkę o ciężarze 1 N zawieszono na siłomierzu i zanurzono w wodzie. Siłomierz wskazał wartość 0,9 N. Oblicz wartość siły wyporu działającej na figurkę w wodzie. Jaka była objętość figurki?

Dane:

$$F_1 = 1 \text{ N}$$

$$F_2 = 0,9 \text{ N}$$

$$d_c = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Szukane:

$$F_w = ?$$

$$V = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy z zależności: $F_w = F_1 - F_2$

po podstawieniu wartości: $F_w = 1 \text{ N} - 0,9 \text{ N} = 0,1 \text{ N}$

Wartość siły wyporu jest równa ciężarowi wypartej wody: $F_w = F_c = d_c \cdot V \cdot g$, skąd $V = \frac{F_c}{d_c \cdot g}$

Po podstawieniu danych: $V = \frac{0,1 \text{ N}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 0,00001 \text{ m}^3 = 10 \text{ cm}^3$

Odpowiedź: Siła wyporu działająca na figurkę zanurzoną w wodzie ma wartość 0,1 N, a objętość figurki wynosi 10 cm³.



4.12 Baroskop



4.13 Balon

Siła wyporu w gazach

Prawo Archimedeasa ma zastosowanie również w odniesieniu do gazów, które na zanurzone w nich ciało działają siłą wyporu.

Możemy sprawdzić słuszność naszego stwierdzenia, umieszczając **baroskop** (il. 4.12) (kulę równoważoną obciążnikami) pod kloszem pompy próżniowej. Po rozrzedzeniu powietrza pod kloszem równowaga zostanie naruszona. Kula przechyli się lekko ku dołowi, ponieważ działa na nią mniejsza siła wyporu (gęstość otaczającego ją powietrza jest mniejsza, a więc działająca na nią siła wyporu jest mniejsza).

Siły wyporu gazów są o wiele mniejsze od sił wyporu cieczy, gdyż gęstości gazów są znacznie mniejsze od gęstości cieczy. Gdy jednak mamy do czynienia z dużą objętością ciała, to siła wyporu może mieć znaczne wartości. Wykorzystuje się to w balonach z podczepionymi do nich gondolami (il. 4.13). Balony napełniane są gazami o mniejszej gęstości niż powietrze i, zgodnie z wcześniej omówionymi warunkami, „pływają” w nim. Najczęściej balony napełnia się wodorem, helem lub ogrzany powietrzem, dzięki czemu pojawia się siła zwrócona pionowo w górę. Balon pod działaniem tej siły wznosi się na taką wysokość, na której siła ciężkości zrównuje się z siłą wyporu. Na tej wysokości balon będzie pozostawał w spoczynku. Chcąc, by wzniósł się wyżej, należy wyrzucić balast z gondoli.

W skrócie

- Prawo Archimedeasa mówi, że na ciało zanurzone w cieczy (lub w gazie) działa siła wyporu zwrócona pionowo do góry, równa co do wartości ciężarowi cieczy wypartej (lub gazu wypartego) przez to ciało.
- Siłę wyporu możemy wyznaczyć doświadczalnie. Gdy ciało zanurzone w cieczy jest zawieszone na siłomierzu, to wskazanie siłomierza jest mniejsze od wskazań siłomierza w powietrzu o wartość siły wyporu. Jeśli od ciężaru ciała w powietrzu odejmiemy wynik pomiaru siły w cieczy, to otrzymamy wartość siły wyporu, jaką ciecz działa na ciało.

$$F_{\text{wyporu}} = F_{\text{w powietrzu}} - F_{\text{w wodzie}}$$

- Wartość siły wyporu można obliczyć ze wzoru:

$$F_w = d_c \cdot V \cdot g,$$

gdzie:

d_c – gęstość cieczy

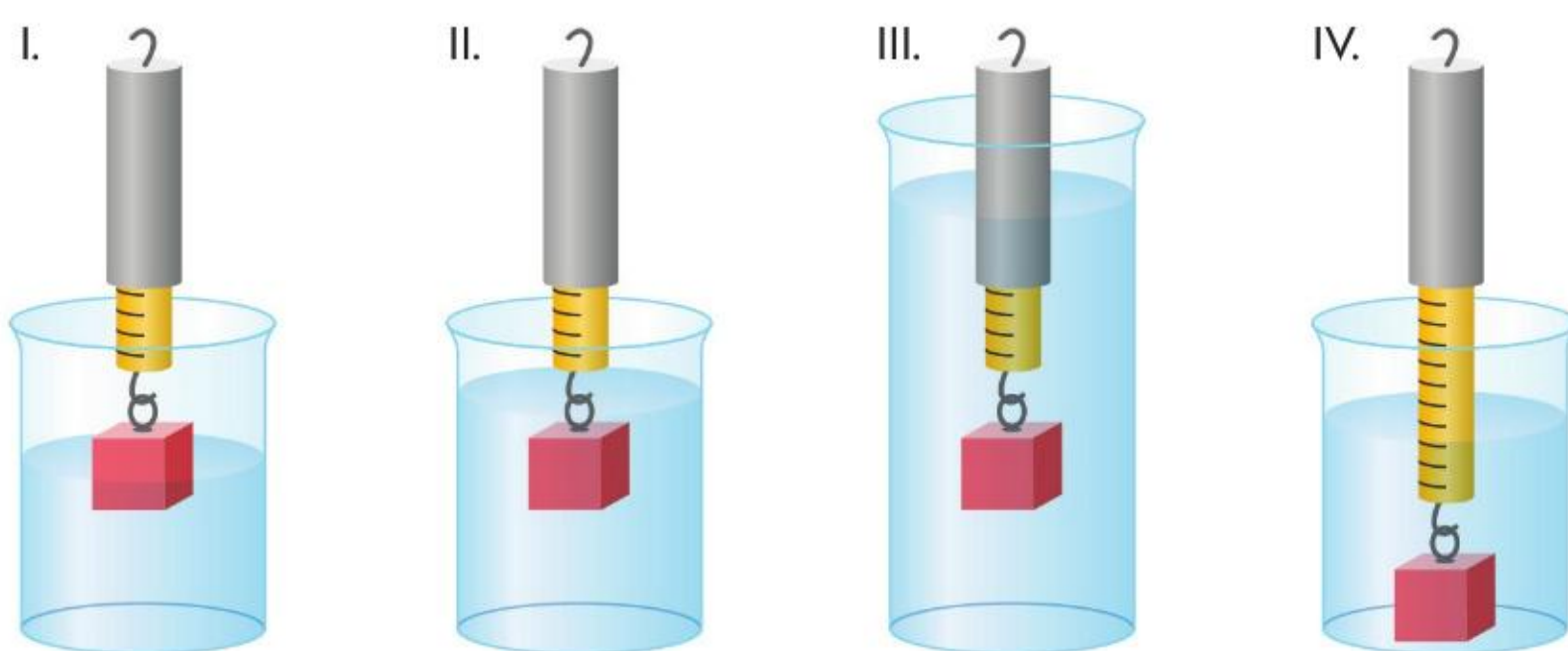
V – objętość zanurzonego ciała (lub jego zanurzonej części)

g – przyspieszenie ziemskie.

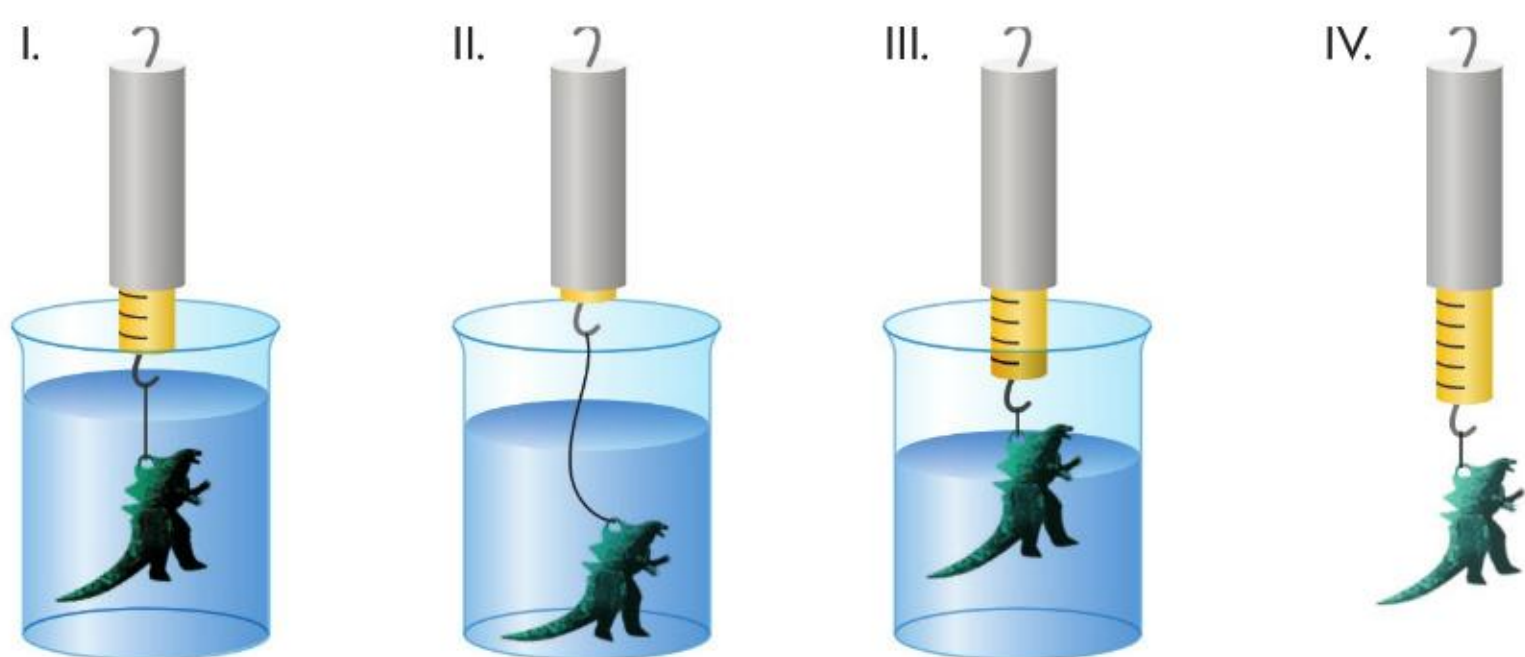
- Siła wyporu zależy od objętości zanurzonego ciała (lub jego części), a nie zależy od rodzaju materiału, z którego zbudowane jest zanurzone w cieczy ciało. Na wartość siły wyporu ma wpływ gęstość cieczy – im większa gęstość, tym większa siła wyporu.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Od czego zależy wartość siły wyporu działającej na ciało zanurzone w cieczy?
- 2 Ciało o objętości 40 cm^3 i ciężarze 2 N zawieszono na siłomierzu i zanurzono w wodzie. Jakie będzie wskazanie siłomierza?
- 3 Oblicz siłę wyporu działającą na sześcienną kostkę o boku 5 cm , całkowicie zanurzoną w denaturacie (alkoholu etylowym). Czy w wodzie wartość siły wyporu działająca na tę kostkę będzie taka sama? Gęstości cieczy odczytaj w tabeli.
- 4 Uczeń miał wyznaczyć wartość siły wyporu działającej na metalowy sześcian. Wskaż ilustrację, na której pokazano prawidłowy sposób wykonania przez niego pomiaru w wodzie.



- 5 Spróbuj wyjaśnić, w jaki sposób Archimedes udowodnił, że złotnik oszukał króla Syrakuz i nie wykonał korony z czystego złota.
- 6 Uczeń przywiązał figurkę do siłomierza, a następnie wykonał pomiary sił w czterech sytuacjach przedstawionych poniżej na rysunkach.



Wyszukaj na rysunkach pomiary, które są niezbędne, żeby poprawnie wyznaczyć wartość siły wyporu działającej na figurkę w wodzie. Zapisz w zeszycie numery rysunków i opisz czynności na nich przedstawione.

- 7 Czy potrafisz, korzystając z prawa Archimedes, wyznaczyć gęstość substancji, z której zrobiona jest figurka? Zapisz – niezbędne przyrządy, kolejne czynności oraz potrzebne wzory.

Ciekawe!

Prawo Archimedes, wykorzystano praktycznie również do budowy areometru – przyrządu służącego do mierzenia gęstości. Jest to rurka szklana zaopatrzona w podziałkę i obciążona od dołu śrutem metalowym, aby przyrząd mógł pływać w położeniu pionowym. Głębokość jego zanurzenia zależy od gęstości cieczy, w której jest zanurzony (zanurzenie jest tym większe, im mniejsza jest gęstość cieczy). Na podziałce aerometru odczytuje się gęstość cieczy. Na niektórych aerometrach można również odczytać na przykład stężenie kwasu czy stężenie soli w roztworze.

4.5 Warunki pływania ciał

Podejmij temat

- Dlaczego ciężki, wykonany ze stali statek może pływać?
- Dlaczego okręt podwodny może zanurzać się w wodzie i wypływać na powierzchnię wody?

Jak zachowują się ciała wrzucone do wody?

Spróbujmy przekonać się sami, kiedy ciało tonie, a kiedy pływa. Obserwowałeś na pewno, że wrzucone do wody kawałki drewna, korek, większość tworzyw sztucznych – pływają w niej. Natomiast bryłki stali, ołowiu, aluminium toną w wodzie.

Na każde ciało zanurzone w cieczy działają dwie siły: siła ciężkości zwrócona w dół oraz siła wyporu cieczy zwrócona do góry. W zależności od tego, która z tych sił jest większa, ciało tonie w cieczy lub wypływa na jej powierzchnię.

Biorąc pod uwagę wartość siły ciężkości:

$$F_c = m \cdot g = d \cdot V \cdot g$$

(gdzie: m – masa ciała, g – przyspieszenie ziemskie, d – gęstość ciała, V – objętość ciała zanurzonego)

i wartość siły wyporu:

$$F_w = d_c \cdot V \cdot g$$

(gdzie: d_c – gęstość cieczy, V – objętość wypartej cieczy równa objętości zanurzonego ciała),

rozpatrzmy różne przypadki zachowania się ciał w cieczy.

Ciało tonie

Wartość siły ciężkości ciała F_c jest większa od wartości siły wyporu F_w :

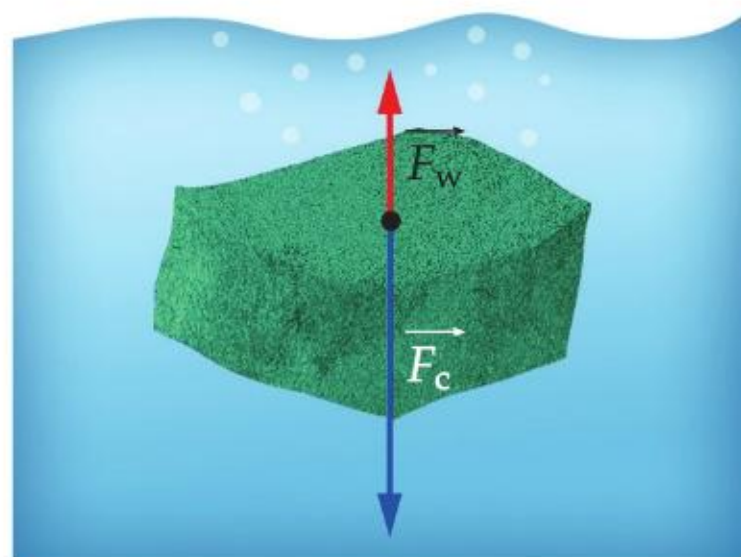
$$\begin{aligned} F_c &> F_w \\ d \cdot V \cdot g &> d_c \cdot V \cdot g \end{aligned}$$

Po podzieleniu obu stron równania przez iloczyn $V \cdot g$ otrzymujemy:

$$d > d_c$$

Możemy więc stwierdzić:

jeżeli gęstość ciała zanurzonego w cieczy jest większa od gęstości tej cieczy, to ciało tonie.



4.14 Ciało tonie

Stwierdzenie tej zależności pozwala nam zrozumieć, dlaczego toną w wodzie kawałki metali i innych substancji o gęstości większej od gęstości wody.

Ciało wypływa

Gdy wartość siły ciężkości ciała F_c jest mniejsza od wartości siły wyporu F_w :

$$F_c < F_w$$
$$d \cdot V \cdot g < d_c \cdot V \cdot g$$

Po podzieleniu obu stron równania przez iloczyn $V \cdot g$ otrzymujemy:

$$d < d_c$$

i stwierdzamy:

jeżeli gęstość ciała zanurzonego w cieczy jest mniejsza od gęstości tej cieczy, to ciało wypływa na jej powierzchnię.

Ciało pływa częściowo zanurzone

W tym wypadku rozpatrujemy, jakie siły działają na ciało, które wypłynęło na powierzchnię cieczy. Ciało to jest częściowo zanurzone w cieczy, a więc objętość wypartej cieczy równa jest objętości zanurzonej części ciała. Zatem wartość siły ciężkości ciała F_c jest równa wartości siły wyporu cieczy F_w (ciężarowi cieczy wypartej przez zanurzoną część ciała), ale mniejsza niż w poprzednich przypadkach, bo zanurzona jest tylko część ciała:

$$F_c = F_w$$
$$F_c = d \cdot V \cdot g$$
$$F_w = d_c \cdot V_c \cdot g$$

(gdzie: d_c – gęstość cieczy, V_c – objętość cieczy wypartej przez zanurzoną część ciała).

Porównując prawe strony tych równań, otrzymujemy:

$$d \cdot V \cdot g = d_c \cdot V_c \cdot g$$

Po podzieleniu obu stron równania przez g otrzymujemy:

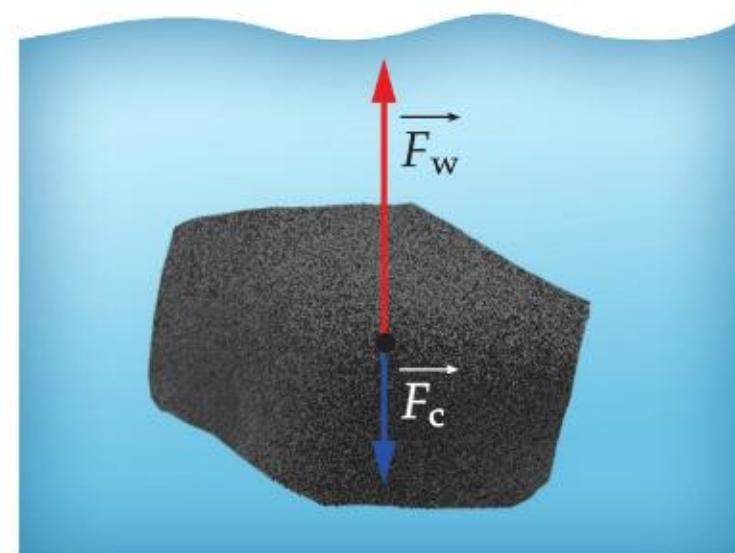
$$d \cdot V = d_c \cdot V_c$$

Z tego równania wynika proporcja: $\frac{V_c}{V} = \frac{d}{d_c}$

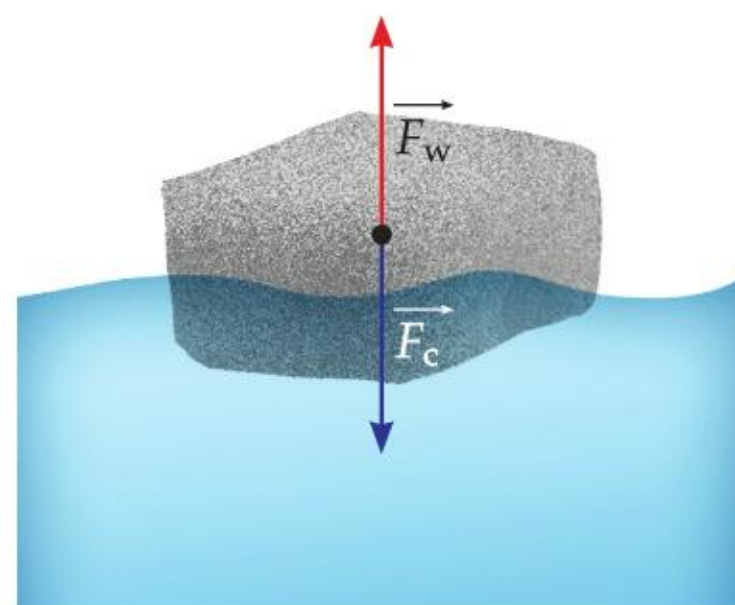
Na jej podstawie możemy powiedzieć, że:

objętość zanurzonej części ciała zależy od tego, ile razy gęstość tego ciała jest mniejsza od gęstości cieczy, w której pływa to ciało.

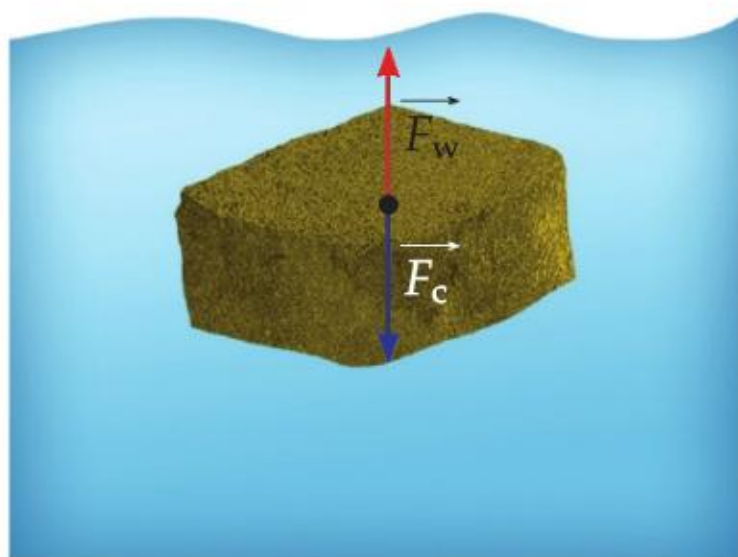
Dwa ostatnio omawiane przypadki pozwalają nam wyjaśnić zasady pływania drewnianej tratwy, łodzi zbudowanych z materiałów o małej gęstości, pontonów i kół ratunkowych oraz zasady pływania człowieka i zwierząt wodnych. Duże statki, zbudowane ze stali, pływają dzięki temu, że ogromna ich objętość wypełniona jest tylko powietrzem o małej gęstości, co pozwala na zmniejszenie całkowitej gęstości pływającego obiektu. Ciężar statku wraz z ładunkiem jest zrównoważony siłą wyporu równą ciężarowi wody wypartej przez zanurzoną część statku.



4.15 Ciało wypływa



4.16 Ciało pływa częściowo zanurzone



4.17 Ciało pływa całkowicie zanurzone

Ciało pływa całkowicie zanurzone

Gdy wartość siły ciężkości ciała F_c jest równa wartości siły wyporu F_w :

$$F_c = F_w$$

$$d \cdot V \cdot g = d_c \cdot V \cdot g$$

Po podzieleniu obu stron równania przez iloczyn $V \cdot g$ otrzymujemy:

$$d = d_c$$

Możemy więc stwierdzić:

jeżeli gęstość ciała zanurzonego w cieczy jest równa gęstości tej cieczy, to ciało pływa całkowicie w niej zanurzone (nie tonie i nie wypływa na powierzchnię cieczy).

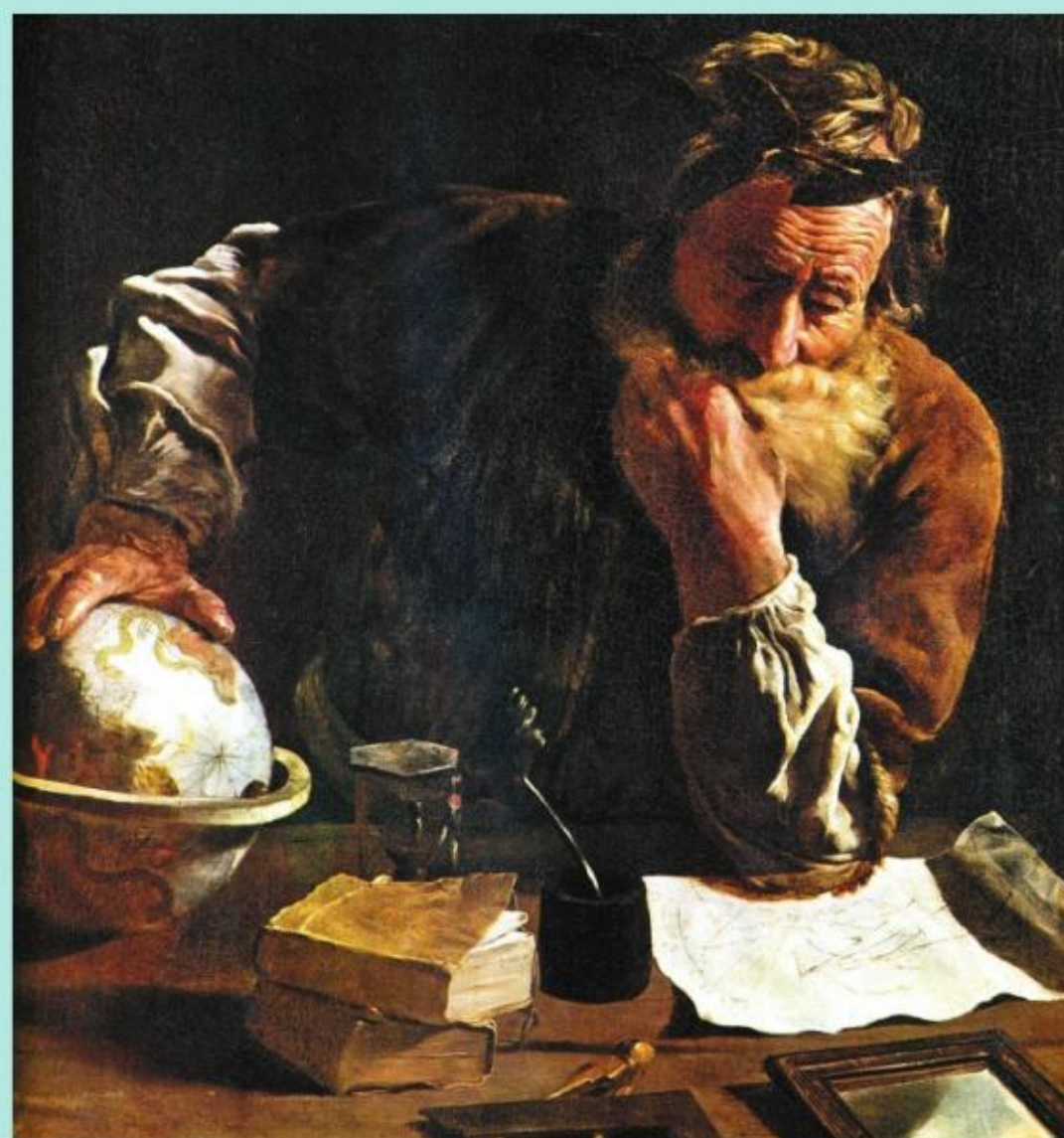
Powyższa zależność jest wykorzystywana w okrętach podwodnych. W okręcie takim znajdują się zbiorniki balastowe wypełniane wodą, gdy okręt się zanurza, i opróżniane (przez włączanie sprężonego powietrza), gdy okręt wypływa na powierzchnię. W ten sposób zmieniana jest wartość ciężaru okrętu i jego średnia gęstość. Ilość wody w zbiornikach balastowych dobierana jest tak, aby całkowity ciężar okrętu był równoważony przez siłę wyporu działającą, gdy jest on zanurzony.

Więcej na temat



Co jeszcze nauka zawdzięcza Archimedesowi?

Jeden z najwybitniejszych uczonych w historii. Pochodził z rodziny o tradycjach naukowych. Jego praca twórcza przypadła na okres rozwoju techniki wojennej, kartografii, żeglugi morskiej, astronomii oraz fizyki i była związana z tymi dziedzinami. Archimedes uważał, że wiedzę należy wykorzystywać w praktyce. Jego prawo o sile wyporu jest podstawą hydrostatyki. Archimedesowi przypisuje się słowa: „Dajcie mi punkt oparcia, a poruszę Ziemię”. Zauważył bowiem, że im dłuższe ramię dźwigni, tym mniejszej siły trzeba użyć, by podnieść ciało. Jednym z jego genialnych wynalazków było urządzenie do podnoszenia wody – śruba do odprowadzania wody gruntowej. Zajmował się też filozofią, arytmetyką i geometrią. Znane są również jego prace z zakresu mechaniki, zawierające teorię środka ciężkości ciał. Archimedes poprosił przyjaciół, by na jego nagrobku znalazły się kula i opisany na niej walec, gdyż za swoje największe osiągnięcie uważał dowód dotyczący tych dwóch brył. Uczony udowodnił, że stosunek objętości kuli do opisanego na niej walca wyraża się stosunkiem liczb 2 i 3.



Domenico Fetti, *Archimedes*

W skrócie

- To, jak się zachowuje ciało zanurzone w cieczy, zależy od jego gęstości w porównaniu z gęstością cieczy.

$F_c > F_w$ F_c – ciężar ciała F_w – siła wyporu	$d > d_c$	ciało tonie	jeżeli gęstość ciała (d) zanurzonego w cieczy jest większa od gęstości tej cieczy (d_c), to ciało tonie
$F_c < F_w$	$d < d_c$	ciało wypływa	jeżeli gęstość ciała zanurzonego w cieczy jest mniejsza od gęstości tej cieczy, to ciało wypływa na jej powierzchnię
$F_c = F_w$	$d \cdot V = d_c \cdot V_c$	ciało pływa częściowo zanurzone	objętość zanurzonej części ciała zależy od tego, ile razy gęstość tego ciała jest mniejsza od gęstości cieczy, w której pływa to ciało
$F_c = F_w$	$d = d_c$	ciało pływa całkowicie zanurzone	jeżeli gęstość ciała zanurzonego w cieczy jest równa gęstości tej cieczy, to ciało pływa całkowicie w niej zanurzone (nie tonie i nie wypływa na powierzchnię cieczy)



4.18 Ciężar statku wraz z ładunkiem jest zrównoważony siłą wyporu równą ciężarowi wody o objętości zanurzonej części

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Plastikową kulkę wrzucono do naczynia z denaturatem, w którym kulka zatonała. Następnie kulkę przełożono do naczynia z wodą, w której kulka pływała częściowo zanurzona. Zamiast pytańki wstaw pomiędzy wartościami siły ciężkości (F_c) i siły wyporu (F_w) oraz między gęstościami kulki (d_k) i cieczy (d_c) odpowiednie znaki: $<$, $>$, $=$.

A. W naczyniu z denaturatem:
 F_c ? F_w
 d_k ? d_c

B. W naczyniu z wodą:
 F_c ? F_w
 d_k ? d_c
- Bez sprawdzania wartości gęstości ciał z zadania 1. podaj relacje pomiędzy gęstościami kulki (d_k), wody (d_w) i denaturatu (d_d).
 $?$ $<$ $?$ $<$ $?$
- Podaj, w jakim przedziale musi się znajdować wartość gęstości kulki z zadania 1.
- Wyjaśnij zasadę pływania okrętów podwodnych.
- Oblicz, jaka część objętości pływającego drewnianego bala o gęstości $600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ będzie zanurzona w wodzie.

Podsumowanie działu 4

Ważne pojęcia

aerostatyka	hydrostatyka	parcie	nacisk	siła nacisku	ciśnienie
paskal	próżnia	ciśnienie hydrostatyczne	ciśnienie atmosferyczne	paradoks hydrostatyczny	
barometr		prawo Bernoulliego	prawo Pascala	prasa hydrauliczna	
naczynia połączone		siła wyporu	prawo Archimedesesa	warunki pływania ciał	

- Siła nacisku (parcie)** to siła działająca na podłoże lub powierzchnię innego ciała prostopadle do tej powierzchni.
- Ciśnienie** informuje nas, jak duża jest wartość siły działającej na jednostkę powierzchni. Ciśnienie to iloraz wartości siły nacisku (parcia) i powierzchni, na którą ta siła działa.
Ciśnienie obliczamy ze wzoru: $p = \frac{F}{S}$. Jego jednostką jest paskal: $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Ciśnienie gazu w zbiorniku można zwiększyć	
przy stałej objętości	przy stałej masie
zwiększając masę gazu, czyli ilość cząsteczek gazu w zbiorniku	zmniejszając objętość zbiornika, podwyższając temperaturę gazu

- Ciśnienie hydrostatyczne** to ciśnienie wywierane przez słup cieczy o określonej wysokości, spowodowane działaniem jego siły ciężkości na warstwy cieczy znajdujące się poniżej. Można je obliczyć ze wzoru: $p = d \cdot h \cdot g$.
- Ciśnienie w cieczy na danej głębokości nie zależy od wielkości i kształtu zbiornika, a zależy od gęstości cieczy oraz od wysokości słupa cieczy.
- Całkowite ciśnienie panujące w cieczy na określonej głębokości jest sumą ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia hydrostatycznego: $p = p_{\text{atm}} + d \cdot h \cdot g$.
- Naczynia połączone** to układ co najmniej dwóch naczyń, między którymi ciecz może swobodnie przepływać. Ciecz w naczyniach połączonych dąży do wyrównania poziomów.
- Ciśnieniem atmosferycznym** nazywamy ciśnienie wywierane przez atmosferę okołoziemską na powierzchnię Ziemi i na wszystkie znajdujące się na niej ciała. Spowodowane jest naciskiem warstw powietrza na warstwy znajdujące się poniżej.
- Prawo Pascala** mówi, że działanie siły zewnętrznej na zamknięte w zbiorniku ciecz lub gaz powoduje wytworzenie dodatkowego ciśnienia, przekazywanego jako niezmienione we wszystkich kierunkach i zwróconego prostopadle do ścian naczynia, w którym ciecz lub gaz się znajduje.
- Prawo Archimedesesa** mówi, że na ciało zanurzone w cieczy (lub w gazie) działa siła wyporu zwrócona pionowo do góry, równa co do wartości ciężarowi cieczy wypartej (lub gazu wypartego) przez to ciało.
- Siłę wyporu możemy wyznaczyć doświadczalnie. Gdy ciało zanurzone w cieczy jest zawieszone na siłomierzu, to wskazanie siłomierza jest mniejsze od wskazań siłomierza w powietrzu o wartość siły wyporu. Jeśli od ciężaru ciała w powietrzu odejmiemy wynik pomiaru siły w cieczy, to otrzymamy wartość siły wyporu, jaką ciecz działa na ciało.

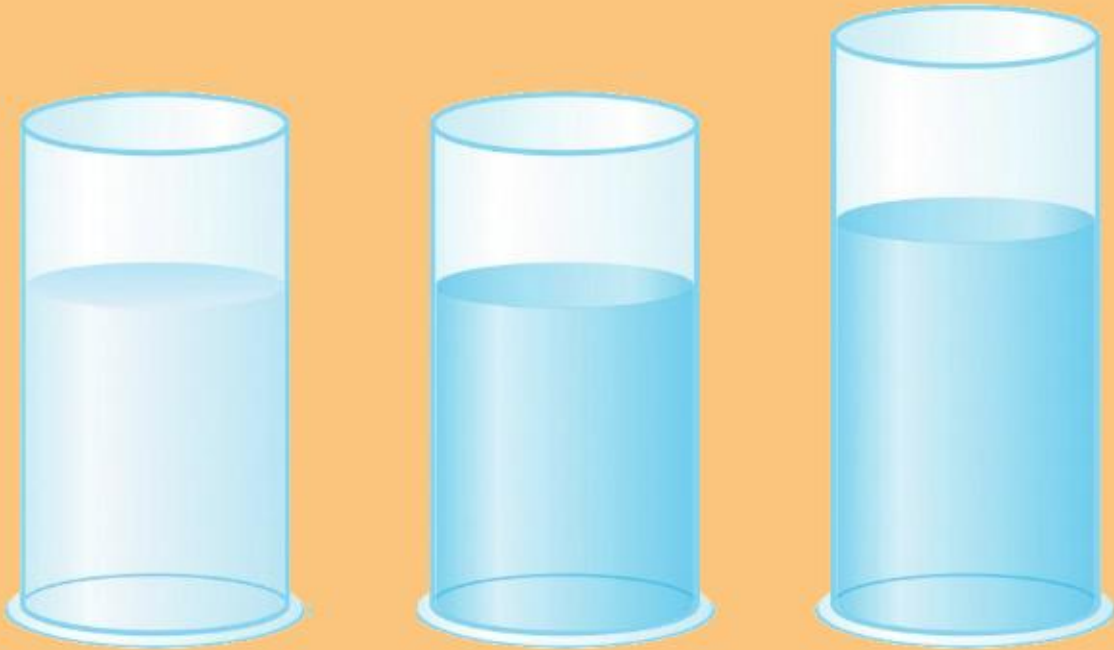
- Wartość **siły wyporu** można obliczyć ze wzoru: $F_w = d_c \cdot V \cdot g$, gdzie: d_c – gęstość cieczy, V – objętość zanurzonego ciała (lub jego zanurzonej części), g – przyspieszenie ziemskie.
- Siła wyporu zależy od objętości zanurzonego ciała (lub jego części), a nie zależy od rodzaju materiału, z którego zbudowane jest zanurzone w cieczy ciało.
- Na wartość siły ma wpływ gęstość cieczy – im większa gęstość, tym większa siła wyporu.
- Warunki pływania ciał zależą od ich gęstości (d) w porównaniu z gęstością cieczy (d_c):

$d > d_c$	$F_c > F_w$	ciało tonie
$d < d_c$	$F_c < F_w$	ciało wypływa
	$F_c = F_w$	ciało pływa częściowo zanurzone
$d = d_c$	$F_c = F_w$	ciało pływa całkowicie zanurzone

Czy już umiesz? Sprawdź się!

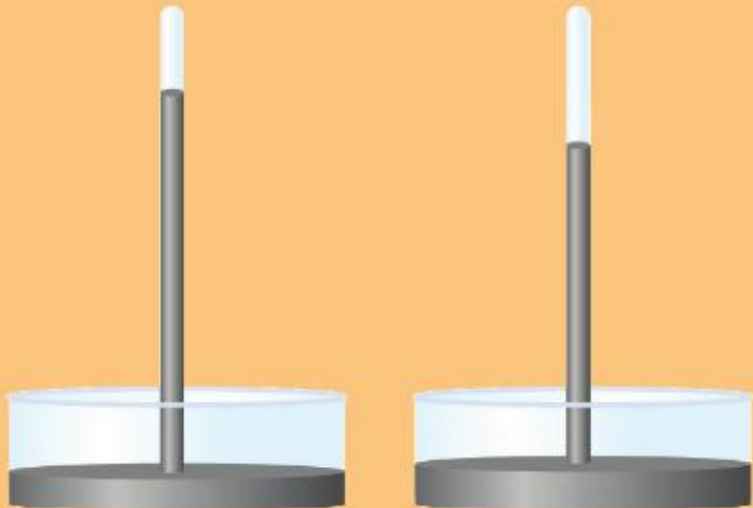
- Wyjaśnij, dlaczego:
 - igły i nożyczki powinny być ostre,
 - sprzęt budowlany jeździ na gąsienicach,
 - tramwaj nie jeździ bezpośrednio po ziemi,
 - ciężarówki mają dużo więcej kół niż samochody osobowe.
- W trzech naczyniach przedstawionych na rysunku znajdują się ciecze. W pierwszym naczyniu jest ciecz o mniejszej gęstości niż gęstość cieczy w dwóch pozostałych naczyniach, w których znajduje się ta sama ciecz. Oceń prawdziwość podanych zdań.

- Ciśnienie hydrostatyczne wywierane na dno naczyń jest jednakowe we wszystkich naczyniach.
- Ciśnienie wywierane na dno w naczyniu pierwszym jest mniejsze niż w drugim.
- Ciśnienie wywierane na dno w naczyniu trzecim jest większe niż w naczyniu pierwszym i większe niż w naczyniu drugim.

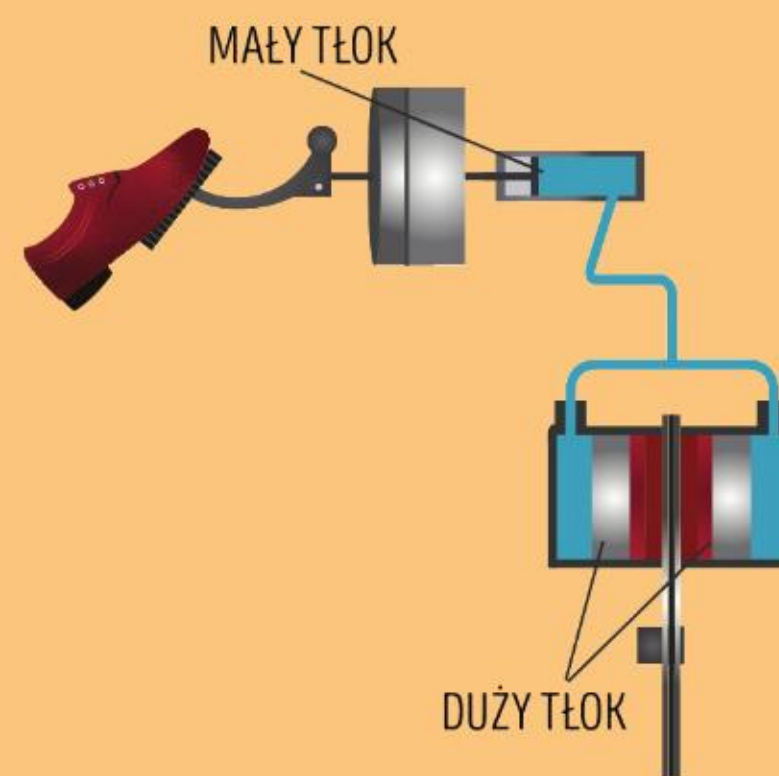


- Na rysunku widzisz wskazania dwóch barometrów rtęciowych, z których jeden znajduje się nad brzegiem morza, a drugi – na tarasie wysokiej latarni stojącej na klifie. Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Barometr I znajdował się	A.	na tarasie latarni,	ponieważ wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. ciśnienie	C.	rośnie.
	B.	nad brzegiem morza,		D.	maleje.



- 4 Najprostszy układ hamulca samochodowego jest złożony z dwóch cylindrów hydraulicznych (tłoków) połączonych przewodem, w którym znajduje się specjalny płyn. Gdy kierowca naciska na pedał hamulca, to na mały tłok układu działa pewna siła powodująca wzrost ciśnienia płynu hamulcowego. Wtedy na tłok o dużej powierzchni, który znajduje się przy tarczach hamulcowych koła samochodowego, działa o wiele większa siła. Oceń prawdziwość podanych zdań.

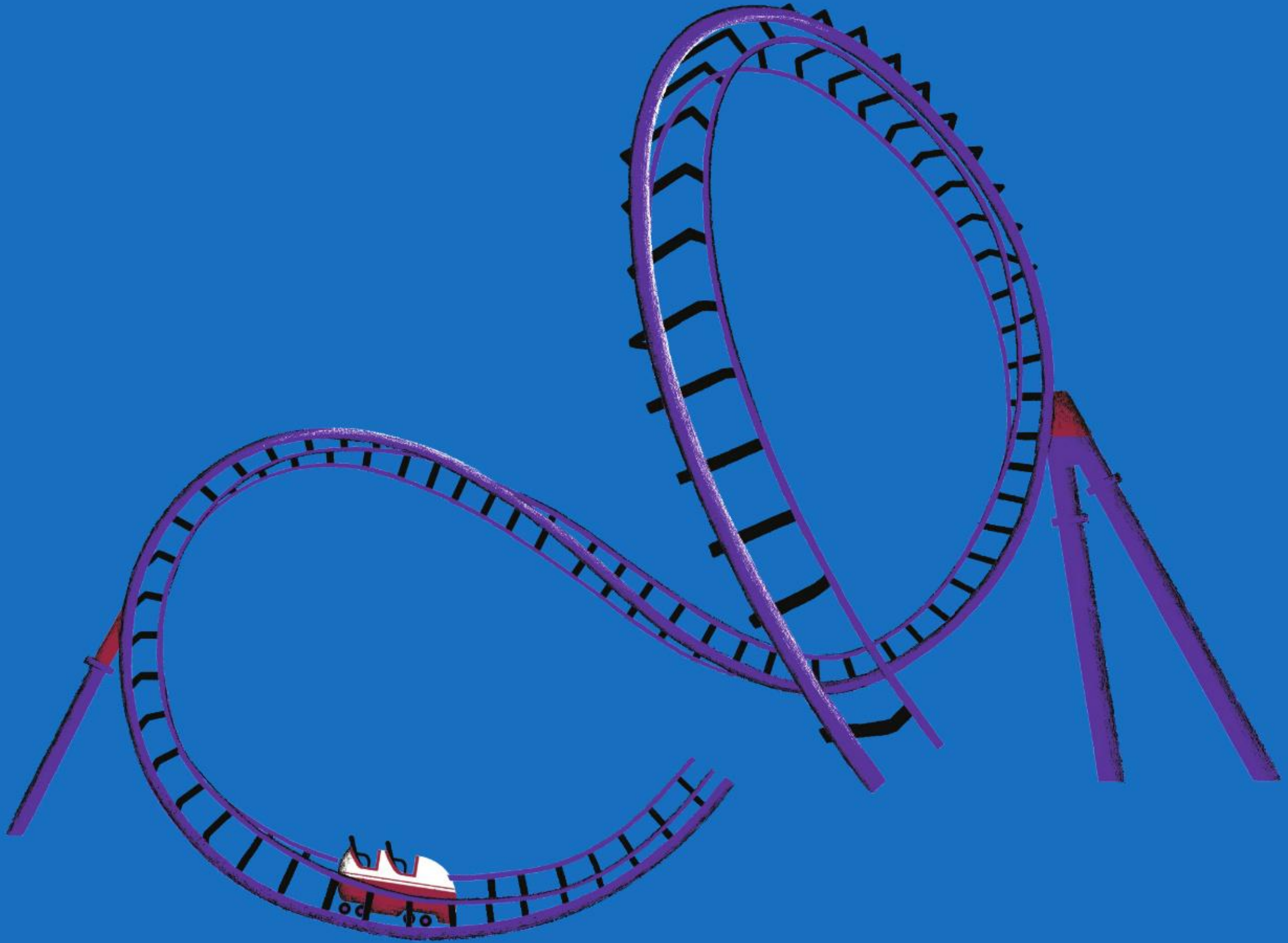


- A. Odległość, na jaką przesuwa się mały tłok podczas hamowania, jest większa niż odległość, na którą przesuwa się duży tłok.
B. Podczas hamowania gwałtownie rośnie gęstość płynu hamulcowego.
C. Siła działająca na duży tłok układu hamulcowego jest tyle razy większa od siły działającej na mały tłok, ile razy powierzchnia dużego tłoka jest większa od powierzchni małego tłoka.
- 5 Oblicz siłę wyporu działającą na szklany sześcián o boku 2 cm, całkowicie zanurzony w nafcie. Odszukaj w tablicach potrzebne dane.
- 6 Po morzu pływa góra lodowa. Oblicz, jaka jej część wystaje nad powierzchnię wody. Przyjmij, że gęstość lodu wynosi $900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a wody $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
- 7 Siłomierz, na którym zawieszono ciało całkowicie zanurzone w nafcie, wskazał 36 N, a po wyjęciu ciała z nafty wskazał 40 N. Oblicz:
- a) siłę wyporu, jaką nafta działa na ciało ($d_n = 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$),
b) objętość zanurzonego ciała,
c) gęstość substancji, z której zbudowane jest to ciało.
- 8 Zaplanuj i wykonaj doświadczenie. Zanurzaj prostopadłościan (lub długi walec) o wysokości d stopniowo w wodzie do momentu, aż jego górna krawędź znajdzie się pod powierzchnią wody. Narysuj wykres zależności siły wyporu od głębokości zanurzenia.
- 9 Odszukaj w internecie informacje na temat nurka Kartezjusza. Spróbuj wykonać ten przyrząd i wyjaśnij zasadę jego działania za pomocą poznanych praw fizycznych.
- 10 Przeczytaj uważnie tekst i wykonaj polecenia.

Rzeki to naturalne ciekł wodne mające ukształtowane koryta. Woda płynie w nich pod wpływem siły grawitacji, przy czym przy stanach niskich lub średnich płynie korytem, zaś podczas wezbrań wychodzi z brzegów i przemieszcza się terenem zalewowym. Szybkość wody zależy od kąta nachylenia terenu, rodzaju dna oraz brzegów, ale także od masy spływających wód. Płynąca woda oddziałuje na brzegi, dno oraz znajdujące się w niej ciała. Żłobi koryto w głąb i wszcz, transportuje cząstki ciał stałych oraz je osadza (proces erozji). Siła, jaką wywiera płynąca woda na ściany boczne koryta i na dno, powoduje napór wywołany ciśnieniem hydrostatycznym oraz ciśnieniem płynącej wody. Napór ten wzrasta wraz z głębokością oraz masą i prędkością płynącej wody i jego skutki są bardziej widoczne. Im większe są szybkość przepływu rzeki oraz masa płynącej wody i transportowanego materiału, ale też im mniejsza jest odporność materiału skalnego, w którym umiejscowione jest koryto rzeczne, tym erozja przebiega szybciej, następuje silne rozmycie brzegów. W wypadku dużego wezbrania wody w rzece zdarza się, że wylewa się ona ze zwartego koryta i zalewa tereny nadrzeczne. W skrajnych wypadkach dochodzi do powodzi, która stanowi jedną z klęsk żywiołowych. Wyrządza szkody zarówno bezpośrednio człowiekowi, powoduje liczne straty gospodarcze, jak też narusza stan środowiska przyrodniczego. Aby zapobiec powodzi lub ograniczyć jej skutki, podejmuje się przeciwdziałania: buduje się wały przeciwpowodziowe, zbiorniki retencyjne, zalesia się dorzecza (w celu zmniejszenia spływu wód powierzchniowych), tworzy się poldery zalewowe – doliny rzeczne przygotowane do zapełnienia wodami wezbraniowymi (łąki, pastwiska).

- A. Wyszukaj w tekście różne zjawiska i procesy fizyczne. Postaraj się znaleźć ich jak najwięcej.
B. Jakie prawa fizyczne możesz wskazać w przeczytanym tekście?
C. Wyjaśnij, w oparciu o poznaną wiedzę fizyczną, dlaczego zaproponowano takie przeciwdziałania.
D. Co mają wspólnego powodzie z naczyniami połączonymi?

5. Ruch i jego opis



1. Na czym polega ruch?
2. Co to znaczy: względność ruchu?
3. Jakie wielkości fizyczne opisują ruch?
4. Czym się charakteryzuje ruch jednostajny prostoliniowy?
5. Czym się charakteryzują: ruch zmienny, ruch przyspieszony, ruch opóźniony?
6. Jak się oblicza wielkości opisujące ruch?

5.1 Ruch i spoczynek

Podejmij temat

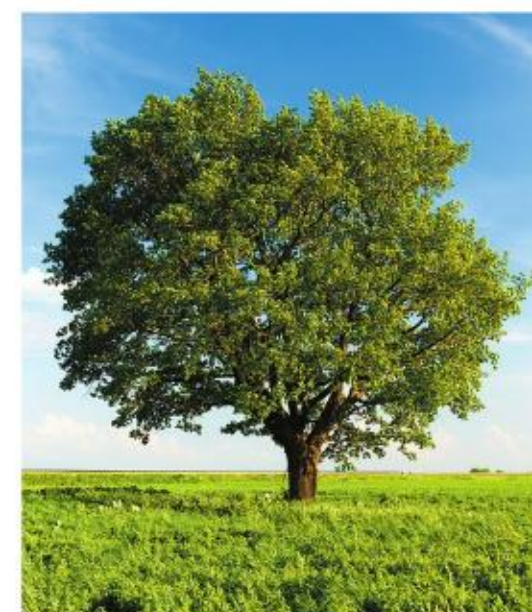


Słynne powiedzenie *Panta rhei* (czyt. panta rei, 'wszystko płynie') przypisywane starożytnemu filozofowi Heraklitowi z Efezu (ok. 540–480 p.n.e.), oznacza, że nic nie stoi w miejscu, wszystko się zmienia i jest w ciągłym ruchu. A czy istnieje „absolutny spoczynek”?



Powszechność ruchu

Ruch jest zjawiskiem powszechnym, zachodzi wokół nas nieustannie. Na Ziemi poruszają się rozmaite ciała, ludzie, zwierzęta, woda w rzekach. Ruch jest też obserwowany we Wszechświecie (makroświecie). Ziemia i inne planety krążą wokół Słońca. Poruszają się całe galaktyki. Poruszają się też ciała w mikroświecie – atomy i cząsteczki. Z ruchem związane są procesy życiowe ludzi, zwierząt i roślin. I tak np. substancje odżywcze przenikają przez naczynia włosowate ludzi i zwierząt z układu trawienego do krwi, a w przypadku roślin – z gleby przez korzenie do łodyg. Krążenie krwi i procesy wzrostu wszystkich organizmów żywych także związane są z ruchem. Jak możemy rozpoznać, czy ciało jest w ruchu?



5.1 Różne ciała w ruchu i w spoczynku

Na zdjęciu widzisz biegnące konie, ich odległość od brzegu maleje, a od krzewów i zabudowań po drugiej stronie rzeki – rośnie. Trudno jednak precyzyjnie określić, co się dzieje z samolotem. Z kolei drzewo nie zmienia swojego położenia względem ziemi (il. 5.1). Jeśli ciało zmienia swoje położenie względem innego ciała w miarę upływu czasu, to mówimy, że jest w **ruchu**, jeśli nie zmienia położenia – jest w **spoczynku**.

Ruchem nazywamy zmianę położenia ciała względem innego ciała w miarę upływu czasu.

Układ odniesienia

Aby badać ruch ciała, tzn. zmianę jego położenia w przestrzeni, trzeba przede wszystkim umieć określić jego położenie. Nie ma jednak potrzeby podawania położenia każdego punktu ciała, gdyż wszystkie najczęściej poruszają się tak samo. Dlatego w niektórych sytuacjach będziemy traktować ciało jako **punkt materialny**. Na przykład – chłopca wracającego do domu położonego w odległości 1 km od szkoły można potraktować jako punkt materialny. Tego samego chłopca wykonującego ćwiczenia gimnastyczne już nie możemy uważać za punkt materialny. Ptaka również będziemy traktować jako punkt materialny, jeżeli – lecąc – przemierza duży dystans.

Aby opisać ruch ciała, należy określać kolejne jego położenia w miarę upływu czasu względem innego ciała obranego jako **układ odniesienia**.

Najczęściej używanym układem odniesienia jest Ziemia lub ciała, które nie zmieniają położenia względem niej. Mogą to być: przystanek, dworzec kolejowy, biurko w sali lekcyjnej, brzeg rzeki, dom itp., ale czasami np. autobus, winda czy pociąg, którymi podróżujesz. Jeśli w miarę upływu czasu położenie ciała względem przyjętego układu odniesienia zmienia się, to powiemy, że ciało się porusza. Jeśli w czasie obserwacji nie zmienia położenia, to powiemy, że w przyjętym układzie odniesienia ciało spoczywa.

Względność ruchu

Nie można stwierdzić, że dane ciało „naprawdę” jest w ruchu, czy też „naprawdę” spoczywa. Gdy opisujemy ruch jakiegoś ciała, to zawsze musimy zaznaczyć, względem jakiego ciała ten ruch rozpatrujemy. Położenie ciała w danej chwili jest inne względem różnych układów odniesienia.



5.2 Osoby odpoczywające nad jeziorem

Wyobraź sobie, że odpoczywasz w bezruchu na brzegu jeziora (il. 5.2). Ale czy na pewno jesteś w spoczynku? Mimo że nie zmieniasz położenia względem brzegu czy osoby obok, to przecież w tym samym czasie razem z Ziemią poruszasz się względem Słońca.



Ciało traktujemy jako **punkt materialny**, gdy jego rozmiary są małe w porównaniu z odległościami, jakie ciało to przemierza.

Układem odniesienia nazywamy ciało lub układ ciał względem którego określamy położenie i ruch innego ciała.



5.3 Chłopcy obserwujący chomika kręcącego się w kołowrotku



Określ, które ciała są w spoczynku, a które – w ruchu.

Ruch i spoczynek są względne, zależą od wyboru układu odniesienia. Oznacza to, że dane ciało w tym samym czasie (jednocześnie) jest w ruchu względem jednego układu odniesienia, a w spoczynku – względem innego układu.

Przykład 20.

Prąd rzeki unosi dwie łódki. W jednej siedzi Kasia, a w drugiej Dagmara. Na brzegu stoi ich kolega Krzysiek. Co stwierdzi Dagmara o ruchu Kasi? A co powie Krzysiek o ruchu Kasi? W jakim stanie jest Kasia względem płynącej wody?

Rozwiązanie:

Dagmara powie, że względem niej Kasia jest w spoczynku, bo nie zbliża się do niej ani nie oddala się od niej. Krzysiek stwierdzi, że Kasia wraz z łódką zmienia względem niego swoje położenie, jest zatem w ruchu. Względem płynącej wody Kasia jest w spoczynku, gdyż przemieszcza się wraz z prądem rzeki.

W skrócie

- Położenie ciała w przestrzeni można określić tylko względem innego ciała (układu ciał).
- Ruchem nazywamy zmianę położenia ciała względem innego ciała w miarę upływu czasu.
- Jeśli ciało nie zmienia swojego położenia względem innego ciała w miarę upływu czasu, to jest względem niego w spoczynku.
- Układem odniesienia nazywamy ciało (lub układ ciał) względem którego określamy położenie i ruch innego ciała.
- Ciało traktujemy jak punkt materialny, gdy jego rozmiary są małe w porównaniu z odległościami, jakie ciało przemierza.
- Ruch i spoczynek są względne, zależą od wyboru układu odniesienia. Oznacza to, że dane ciało w tym samym czasie (jednocześnie) jest w ruchu względem jednego układu odniesienia, a w spoczynku – względem innego układu.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Podaj przykłady ruchu i spoczynku, za każdym razem wskaż układ odniesienia.
- 2 Pasażer wysiadł z windy, która ruszyła w górę. Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Pasażer jest nieruchomy, a winda się oddala.
 - B. Winda i pasażer są w ruchu.
 - C. Dopiero po ustaleniu układu odniesienia możemy opisać ich ruch.
- 3 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Parasolka leżąca na półce jadącego pociągu jest w ruchu względem pociągu.
 - B. Parasolka leżąca na półce jadącego pociągu jest w ruchu względem pasażera spacerującego po korytarzu.
 - C. Parasolka leżąca na półce jadącego pociągu jest w ruchu względem semafora stojącego przy torach.
- 4 Wskaż względem jakich ciał siedzący uczeń-pasażer jadącego do szkoły autobusu szkolnego jest w spoczynku, a względem jakich ciał jest w ruchu.

5.2 Wielkości opisujące ruch

Podjmij temat

- W jaki sposób policjant lub detektyw mogą wytropić poszukiwanego przestępcę?
- Po co na biletach do kina podaje się numery miejsca i rzędu?

Tor ruchu

Opisując ruch ciała, nie wystarczy określić, jak zmienia się położenie tego ciała w miarę upływu czasu. Każdy ruch ciała odbywa się wzdłuż określonej linii – widocznej lub nie (il. 5.4).

Linie, którą zakreśla poruszające się ciało lub wybrany jego punkt, nazywamy torem ruchu.



5.4 Dla poruszającego się pociągu torem ruchu jest linia wyznaczona przez szynę, dla samochodu – wyznaczona przez pas ruchu, a dla turysty – linia wzdłuż wyznaczonego szlaku

Podział ruchu ze względu na tor

Niektóre z poruszających się ciał zostawiają ślady, po których możemy rozpoznać tor ruchu (il. 5.5). Ślady zostawiają np. zwierzęta na śniegu, ludzie na mokrej ziemi czy piasku, pojazdy na ośnieżonej jezdni, samoloty w powietrzu. Meteor pozostawia świecący ślad na nocnym niebie.



5.5 Ślady: samolotu w powietrzu, zwierząt na śniegu, opon na piasku

Jeśli jakieś ciało porusza się wzdłuż linii prostej, to jego tor jest **prostoliniowy**, jeśli porusza się wzdłuż dowolnej linii krzywej, to tor jest **krzywoliniowy**. Na przykład: krzesiśko poruszającej się karuzeli zakreśla okrąg, poruszająca się cząsteczka gazu kreśli linię łamaną, spinacz do bielizny spada na ziemię wzdłuż linii prostej.

Więcej na temat

Jak dokładnie określić położenie ciała?

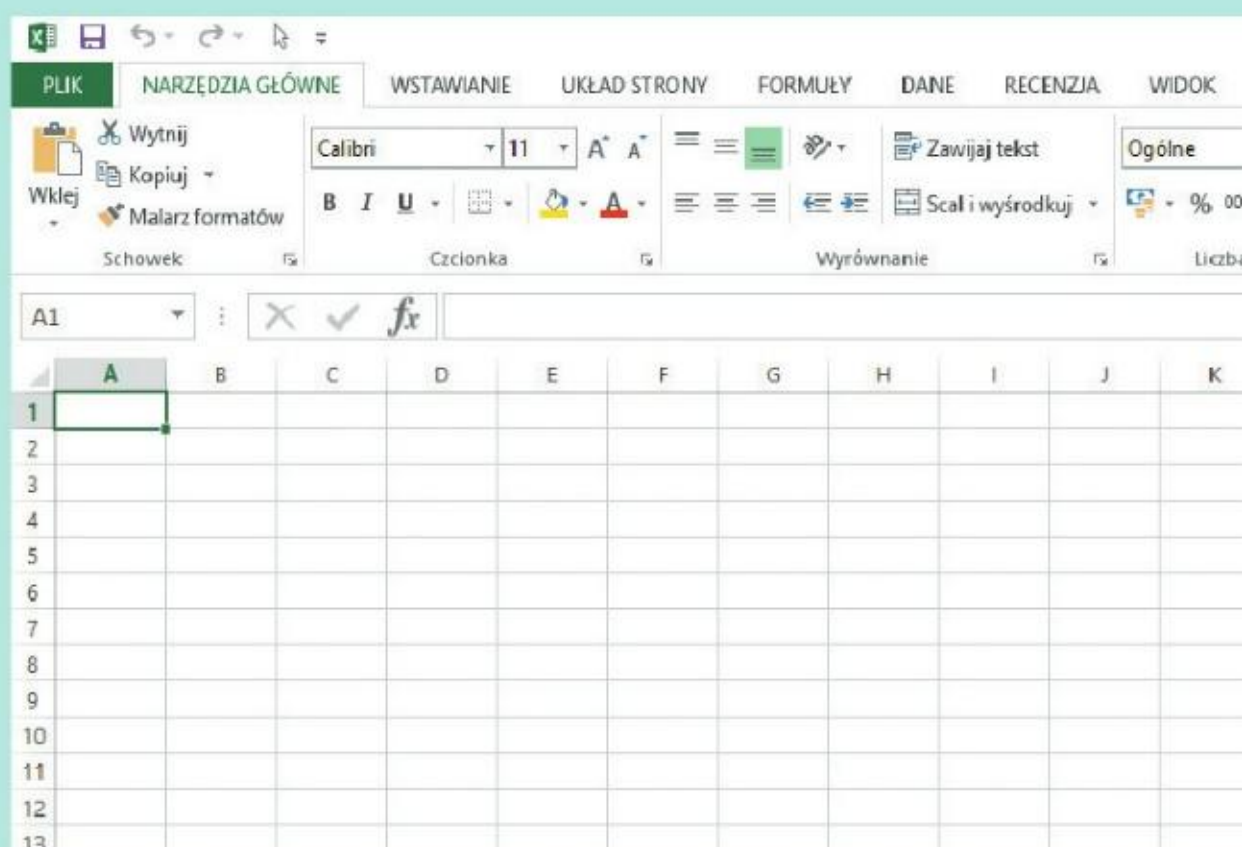
Aby wejść do sali kinowej, musisz kupić bilet. Odczytasz z niego rząd i numer krzesła. Każde krzesło ma określone położenie w sali, gdy więc mamy informacje o współrzędnych położenia krzesła, z łatwością je odzyskasz. Podobna zasada określania miejsca stosowana jest w grach strategicznych – szachach, warcabach czy grze w statki.

W fizyce do opisu dokładnego określenia położenia i ruchu ciała stosujemy związane z układem odniesienia różne **układy współrzędnych**. Dobieramy je w ten sposób, aby opis ruchu był jak najprostszy.

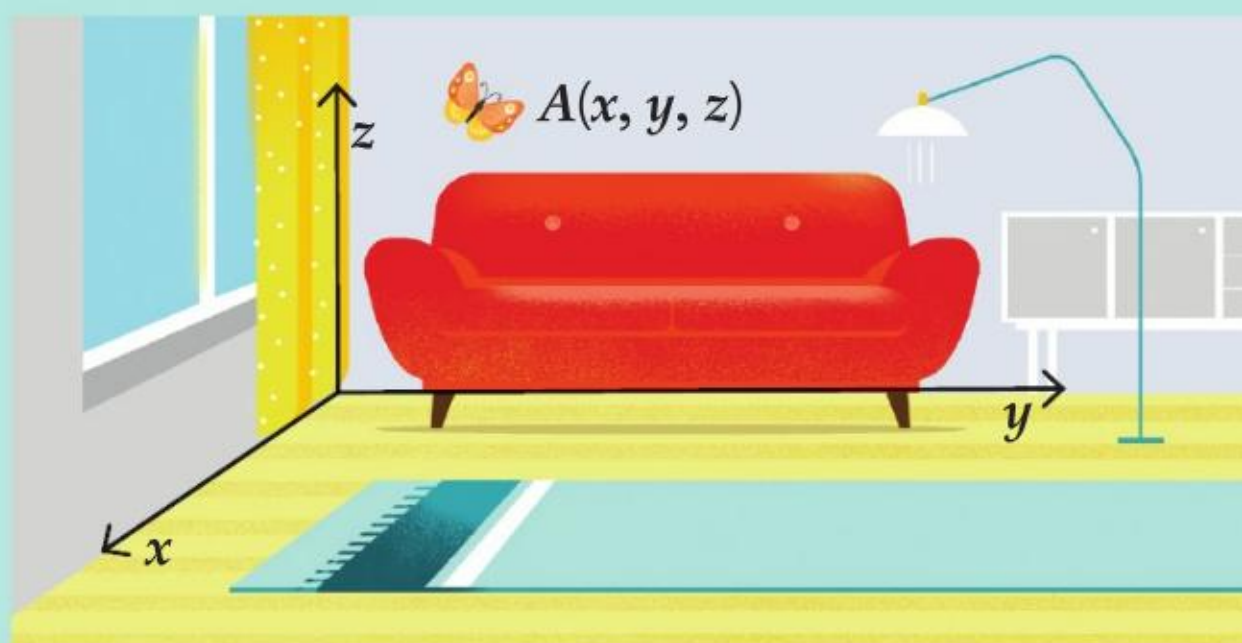
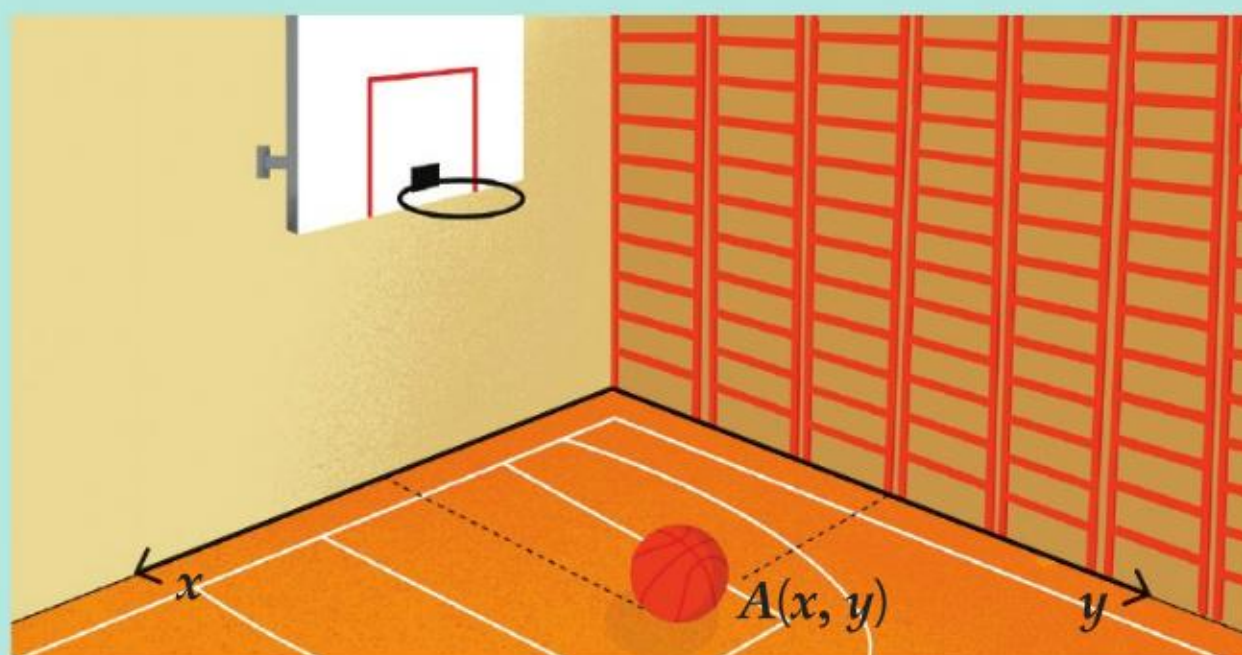
Jeśli ruch odbywa się wzdłuż linii prostej, położenie ciała w danej chwili określamy przez podanie jednej współrzędnej. Jest nią odległość ciała od układu odniesienia, np. zderzaka autobusu od przystanku. Aby tę sytuację przedstawić graficznie, z układem odniesienia wiążemy oś liczbową, ciało traktujemy jako punkt i podajemy współrzędną jego położenia w danej chwili $A(x)$. Posługujemy się w tym przypadku **jednowymiarowym układem współrzędnych**.

Jeśli ruch odbywa się na płaszczyźnie (np. ruch piłki po podłodze sali gimnastycznej), wówczas obieramy **dwuwymiarowy układ współrzędnych**, wiążemy go z układem odniesienia, za który możemy przyjąć podłogę sali. Punkt 0, czyli początek układu współrzędnych, obieramy w kącie sali, a wzdłuż krawędzi styku podłogi ze ścianami – osie X i Y . Położenie piłki, którą potraktujemy jako punkt, w danej chwili, określimy przez podanie współrzędnych jej położenia $A(x, y)$.

Ruch ciała może odbywać się również w przestrzeni. Do zilustrowania położenia ciała w danej chwili musimy przyjąć **trójwymiarowy układ współrzędnych** i związać go z układem odniesienia. Dla ruchu motyla w pokoju układem odniesienia może być ten pokój, a krawędzie styku dwóch ścian ze sobą oraz tych ścian z podłogą – trójwymiarowym układem współrzędnych. Położenie motyla określimy przez podanie współrzędnych jego położenia $A(x, y, z)$.

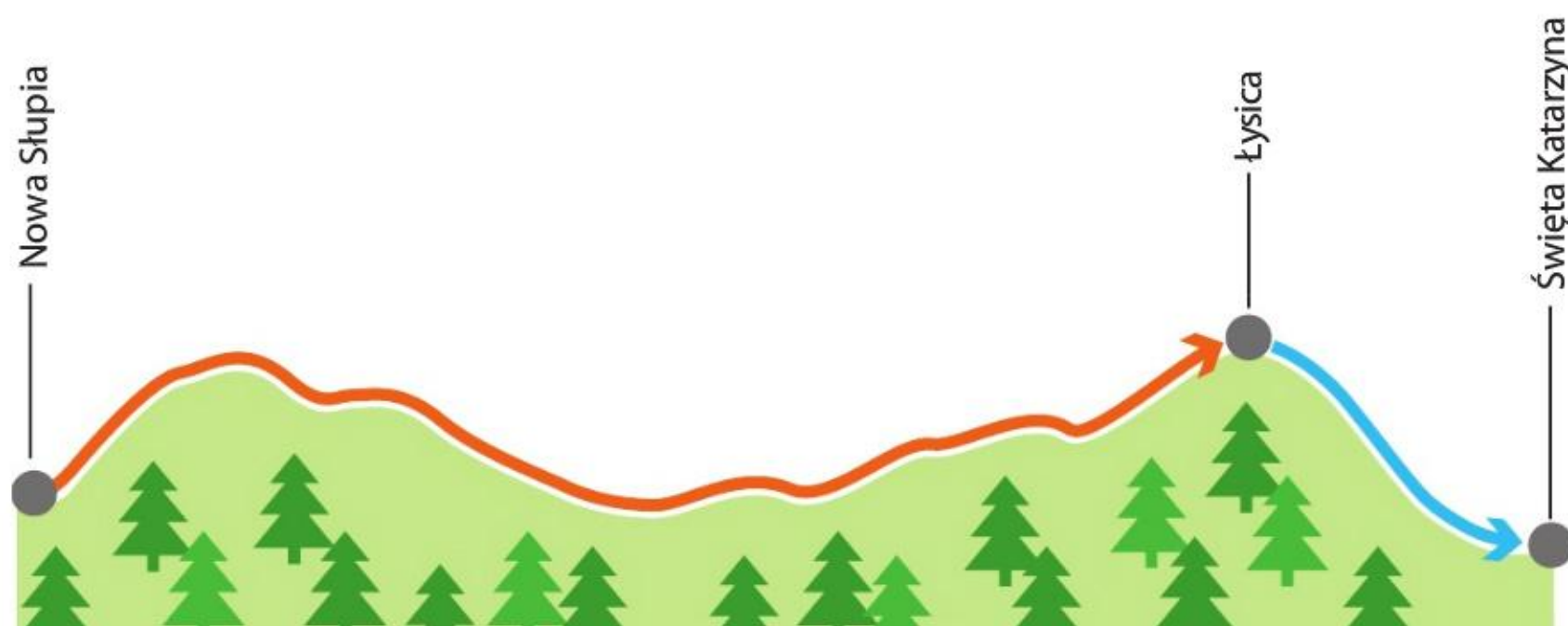


Arkusz kalkulacyjny składa się z komórek, które mają jednoznaczny adres – wyznaczony przez wiersz i kolumnę



Droga

Rozpatrzmy ruch turysty wędrującego po Górach Świętokrzyskich, na szlaku z Nowej Słupi przez Łysiec do Świętej Katarzyny (il. 5.6). Turysta w ciągu 120 minut przebył część tej trasy – z Nowej Słupi wszedł na Łysicę – mówimy, że przebył jakąś drogę.



5.6 Schemat trasy z Nowej Słupi do Świętej Katarzyny

Długość toru przebyta przez ciało w pewnym odstępie czasu nazywa się drogą.

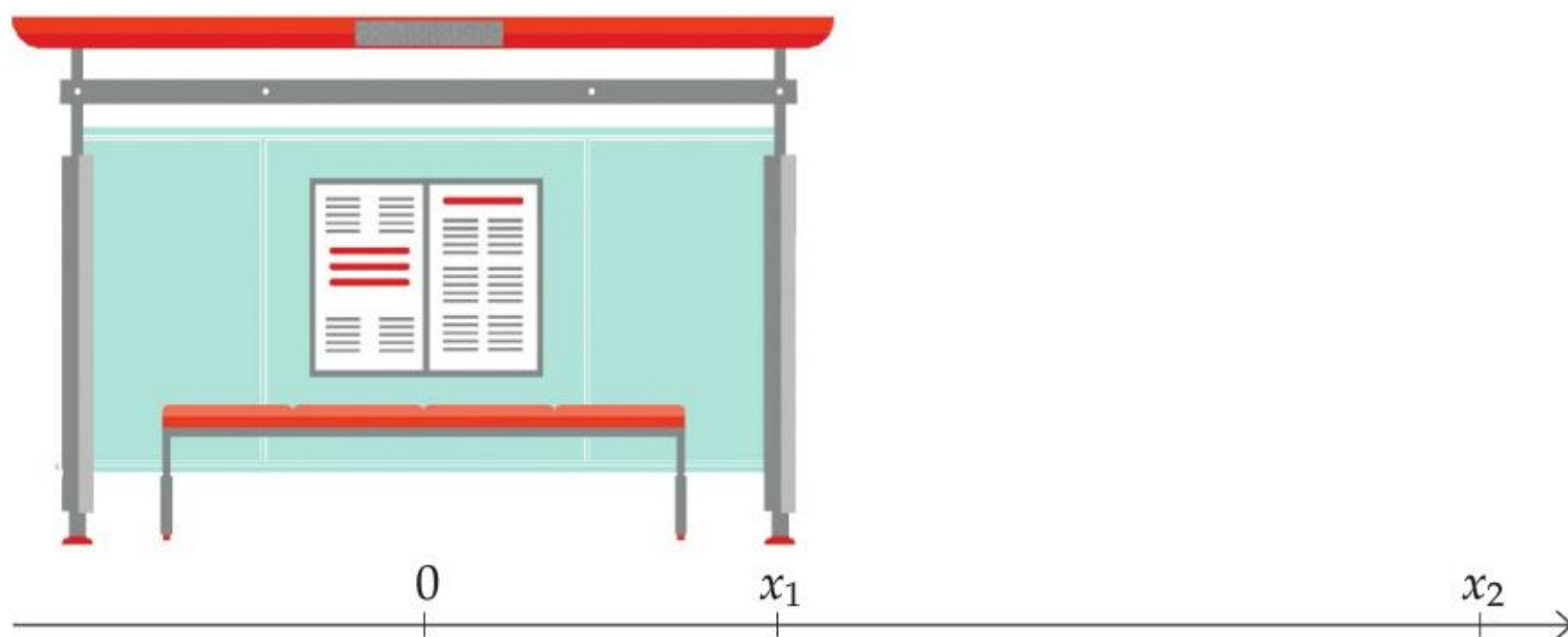
Przebyta **droga** jest oznaczana symbolem **s**. Mierzymy ją za pomocą jednostki długości. Przypomnij sobie, że podstawową jednostką drogi w układzie SI jest 1 metr.

Droga w ruchu po linii prostej

Jeśli ruch odbywa się wzdłuż linii prostej i wiesz, w którą stronę ciało się porusza, to przebytą drogę możesz wyznaczyć na dwa sposoby:

- zmierzyć ją odpowiednim przyrządem (taśmą mierniczą, linijką itp.),
- wyznaczyć zmianę położenia ciała (il. 5.7), jeśli mamy wybrany układ współrzędnych oraz znamy położenie początkowe (x_1) i końcowe (x_2) ciała:

$$s = \Delta x = x_2 - x_1$$



5.7 Wyznaczanie drogi w układzie współrzędnych związanych z przystankiem

Ciekawe!



Urządzeniem do wykrywania i określania położenia obiektów za pomocą fal radiowych jest radar (radiolokator). Radar to skrót od słów angielskiego wyrażenia: *radio detection and ranging*, co oznacza: wykrywanie i namierzanie radiowe.

Zasadę działania radaru potrafią wykorzystywać zwierzęta. Większość owadów odbiera informacje za pomocą włosowatych czułek umieszczonych na głowie. W nich znajdują się komórki zmysłowe odpowiedzialne za rozpoznawanie różnych czynników, np. kierunku, z którego dochodzi odbierany sygnał.

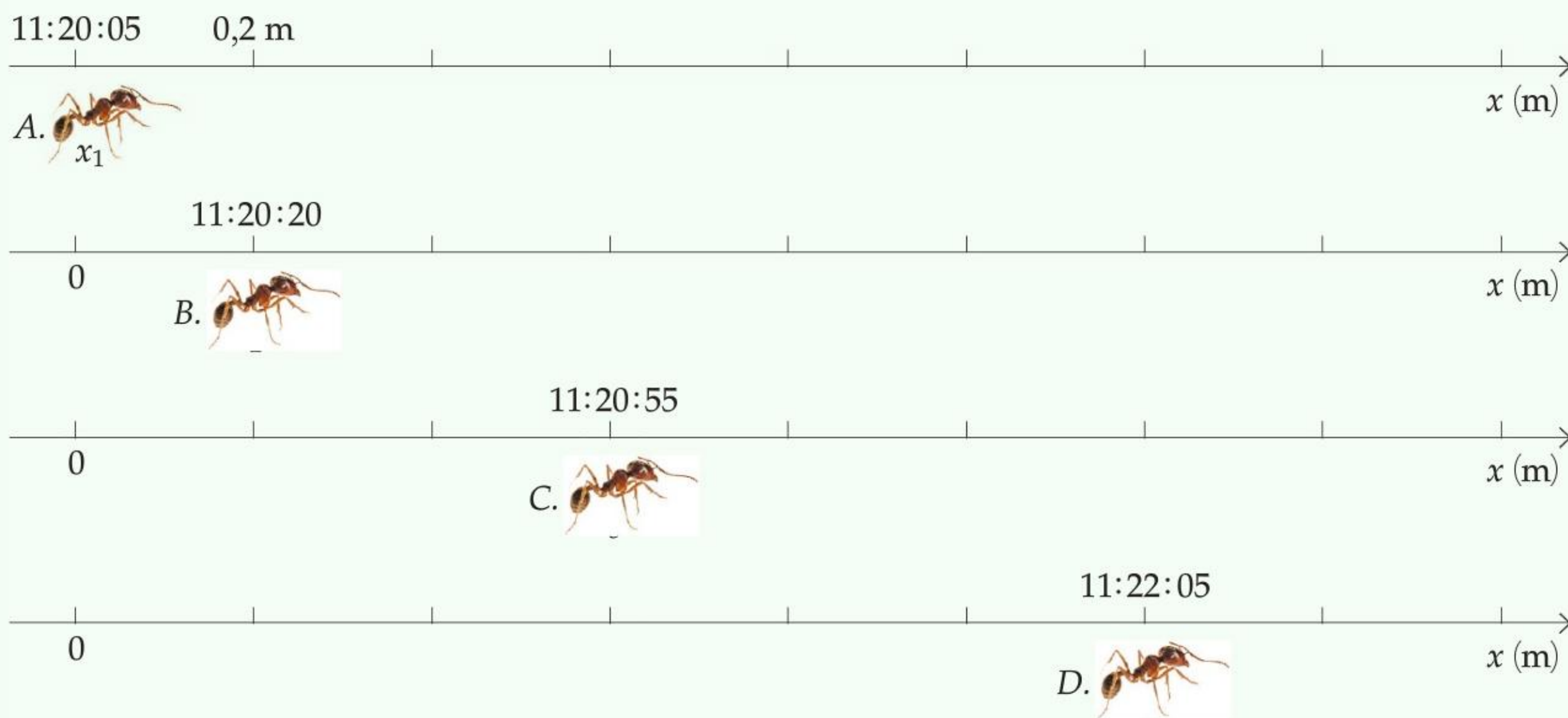


Czy pamiętasz?

Δ (delta) – oznacza zmianę danej wielkości fizycznej. Aby obliczyć zmianę (Δ) danej wielkości fizycznej, zawsze należy od wartości końcowej odjąć wartość początkową tej wielkości.

Przykład 21.

Uczniowie zauważyli, że do gałązki trzciny leżącej nad strumykiem zmierza mrówka. Postanowili, że udokumentują zdarzenie telefonami komórkowymi. Wykonali maszerującej wzdłuż gałązki mrówce zdjęcia z ustawioną funkcją daty i godziny. Po przejściu mrówki zmierzili długość gałązki trzciny, a po przyjsciu do szkoły na rysunku zaznaczyli położenia mrówki, wraz z godzinami odczytanymi ze zdjęć.



Drogę $s_1 = AB = x_2 - x_1 = 0,2 \text{ m} - 0,0 \text{ m} = 0,2 \text{ m}$ mrówka przebyła w czasie $\Delta t_1 = 15 \text{ s}$

Drogę $s_2 = AC = x_3 - x_1 = 0,6 \text{ m} - 0,0 \text{ m} = 0,6 \text{ m}$ mrówka przebyła w czasie $\Delta t_2 = 50 \text{ s}$

Drogę $s_3 = AD = x_4 - x_1 = 1,2 \text{ m} - 0,0 \text{ m} = 1,2 \text{ m}$ mrówka przebyła w czasie $\Delta t_3 = 2 \text{ min } 00 \text{ s}$

Drogę $s_4 = BC = x_3 - x_2 = 0,6 \text{ m} - 0,2 \text{ m} = 0,4 \text{ m}$ mrówka przebyła w czasie $\Delta t_4 = 35 \text{ s}$

Drogę $s_5 = BD = x_4 - x_2 = 1,2 \text{ m} - 0,2 \text{ m} = 1,0 \text{ m}$ mrówka przebyła w czasie $\Delta t_5 = 1 \text{ min } 45 \text{ s}$

Drogę $s_6 = CD = x_4 - x_3 = 1,2 \text{ m} - 0,6 \text{ m} = 0,6 \text{ m}$ mrówka przebyła w czasie $\Delta t_6 = 1 \text{ min } 10 \text{ s}$



Droga jest wielkością skalarną. Do jej określenia wystarczy liczba wraz z jednostką.

Droga w ruchu krzywoliniowym

Jeśli ruch odbywa się wzdłuż linii krzywej, pomiaru drogi możesz dokonać, przykładając giętką miarkę (np. przymiar metrowy lub sznurek), której długość łatwo potem zmierzysz.

Przebytą drogę możesz też czasem wyznaczyć na podstawie:

- planu lub mapy,
- słupków przy drodze, które są ustawiane w jednakowych odległościach, np. co 100 metrów,
- informacji o szybkości średniej (tym dokładniej zajmiemy się nieco później).

W przypadku mapy (planu) musimy odczytać przebytą drogę z mapy, a następnie, stosując skalę tejże mapy, obliczyć drogę rzeczywistą.

Przykład 22.

Uczniowie pojechali na wycieczkę do Krakowa. Po zwiedzeniu wystawy w Muzeum Przyrodniczym przy ulicy św. Sebastiana ruszyli pieszo na Rynek Główny. Jaką drogę przebyli uczniowie?



Łączna odległość zmierzona linijką wynosi 4,5 cm.

Skorzystamy ze skali, z której wiemy, że 1 cm na planie odpowiada 20 000 cm (200 m) w rzeczywistości.

Przebyta droga wynosi:

$$s = 4,5 \cdot 200 \text{ m} = 900 \text{ m}$$

Odpowiedź: Uczniowie przebyli drogę 900 m (0,9 km).



Jaką drogę przebyliby uczniowie, idąc z Muzeum Przyrodniczego ulicą Grodzką w stronę Rynku Głównego. Wykonaj stosowne obliczenia w zeszycie.

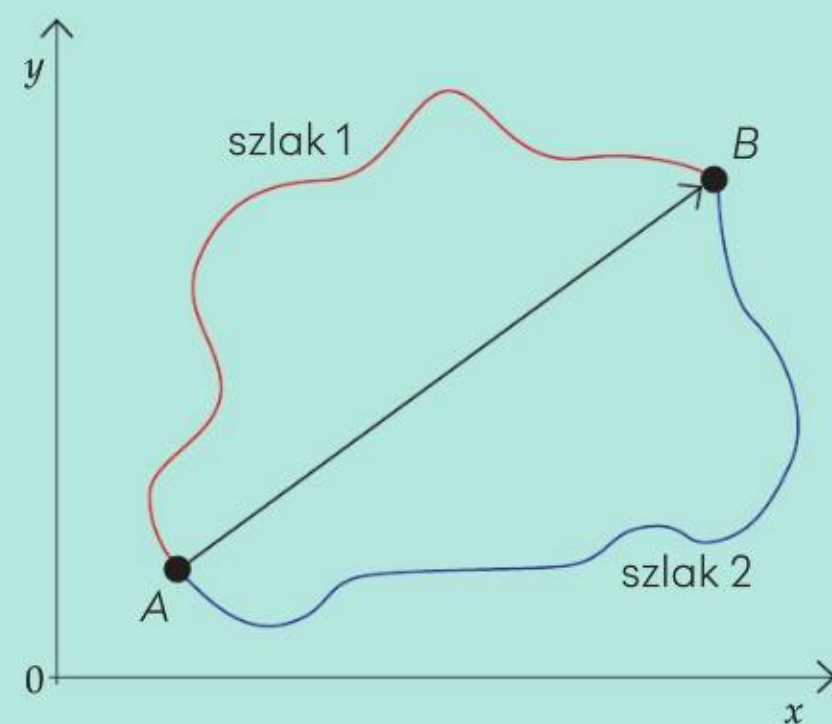
Więcej na temat



Wektor przemieszczenia

Jeśli chcemy określić położenie ciała w danej chwili, a znamy jego początkowe położenie oraz przebytą drogę, to możemy uczynić to tylko wtedy, gdy znany jest tor ruchu. Jeśli tor ruchu ciała nie jest znany, wówczas do określenia położenia ciała w danej chwili nie wystarczy znajomość przebytej drogi i położenia początkowego.

Założmy, że turysta wyruszył w góry i przebył drogę równą 3 km. Z miejsca, skąd rozpoczął swoją wędrówkę, mógł udać się w różne strony, a więc wybrać różne szlaki. W takim wypadku, aby określić gdzie się on znajduje, trzeba mieć dodatkowe informacje na temat kierunku oraz strony, w którą się poruszał. Wielkością, która to opisuje, jest przemieszczenie. Jest to wielkość wektorowa, gdyż ma wartość, kierunek i zwrot.



Przemieszczeniem (wektorem przemieszczenia) w pewnym czasie nazywamy wektor, którego początek znajduje się w początkowym położeniu ciała, a koniec – w końcowym położeniu ciała.

W skrócie

- Torem ruchu nazywamy linię, którą zakreśla poruszające się ciało.
- Ruch, którego torem jest linia prosta, nazywamy ruchem prostoliniowym.
- Ruch, którego torem jest dowolna linia krzywa, nazywamy ruchem krzywoliniowym.
- Położenie ciała w dowolnej chwili można określić, stosując związany z układem odniesienia, wybrany jedno-, dwu – lub trójwymiarowy układ współrzędnych.
- Droga to długość toru ruchu. Jednostką drogi jest metr (1 m).
- Jeśli ciało przemieszcza się wzdłuż osi x i nie zawraca, to przebyta droga jest równa $s = \Delta x = x_2 - x_1$.
- Droga jest najczęściej dłuższa niż odległość w linii prostej pomiędzy miejscem rozpoczęcia ruchu a miejscem jego zakończenia.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Jaką linią jest tor ruchu końca wskazówki zegara?
- 2 Oblicz drogę przebytą przez samochód, jeśli wiesz, że po opuszczeniu garażu przejechał on w kierunku wschodnim 3 km, po czym skręcił na północ i przejechał jeszcze 4 km. Przedstaw graficznie tor ruchu samochodu. Przyjmij, że 1 cm odpowiada 1 km.
- 3 Powiedz, jakim ruchem (prostoliniowym czy krzywoliniowym) poruszają się:
 - a) zawodnik w biegu na 100 metrów,
 - b) piłka wykopywana przez bramkarza na drugą połowę boiska,
 - c) tyczkarz skaczący nad poprzeczką,
 - d) jabłko spadające z drzewa,
 - e) bolid na torze wyścigowym.
- 4 Jakich układów współrzędnych trzeba użyć, aby opisać ruchy z zadania 3.?
- 5 Wyznacz drogę przebytą przez siebie na trasie, którą codziennie przechodzisz (np. dom – szkoła). Za miarę długości przyjmij długość swojego kroku i zastosuj ją do swojego pomiaru. Możesz również w ten sposób zmierzyć na lekcji fizyki długość korytarza (boiska) i porównać swój wynik z wynikami kolegów z grupy.
- 6 Robotnik malujący pasy na kominie elektrociepłowni znajdował się o godzinie 7:30 na wysokości $h_1 = 25$ m nad ziemią, a o godzinie 8:30 był na wysokości $h_2 = 200$ m. Jaką drogę przebył robotnik w ciągu godziny? Zaznacz położenie robotnika w czasie jego wspinania się, w wybranym układzie współrzędnych. Jaka była wysokość komina, jeśli o 8:30 robotnikowi pozostało do przejścia 50 metrów?

- 7 Na mapie okolic Kielc widzisz odległości podane w kilometrach. Oblicz drogę, którą należy przebyć, aby:

- a) z Chęciny dojechać do Włoszczowy,
- b) z Kielc dojechać do Chmielnika,
- c) z Oblęgorka dojechać przez Kielce do Bilczy.



- 8 Wykorzystaj dowolny program/aplikację i zaplanuj wycieczkę z Krakowa do Gdańska, wybierz co najmniej dwa warianty podróży (przez różne miejscowości). Oblicz, jaką drogę miałbyś do przebycia, podróżując wybranymi torami. Sprawdź na mapie, jaką drogę miałby do przebycia samolot lecący z Krakowa do Gdańska.
- 9 Na rysunku przedstawiającym tor ruchu samochodu z zadania 2. zaznacz wektor przemieszczenia. Zmierz długość wektora i oblicz drogę, jaką przebyłby samochód jadący wzdłuż toru zgodnego z wektorem przemieszczenia.

5.3 Badanie ruchu jednostajnego prostoliniowego

Podejmij temat

- Co wspólnego mają ze sobą monotonia i ruch jednostajny prostoliniowy?
- Jaką wspólną właściwość mają ruchy jednostajne prostoliniowe różnych ciał?

Jaki ruch nazywamy ruchem jednostajnym?

Aby odpowiedzieć na postawione pytanie, musisz poznać cechy ruchu jednostajnego prostoliniowego. Wykonaj doświadczenia.

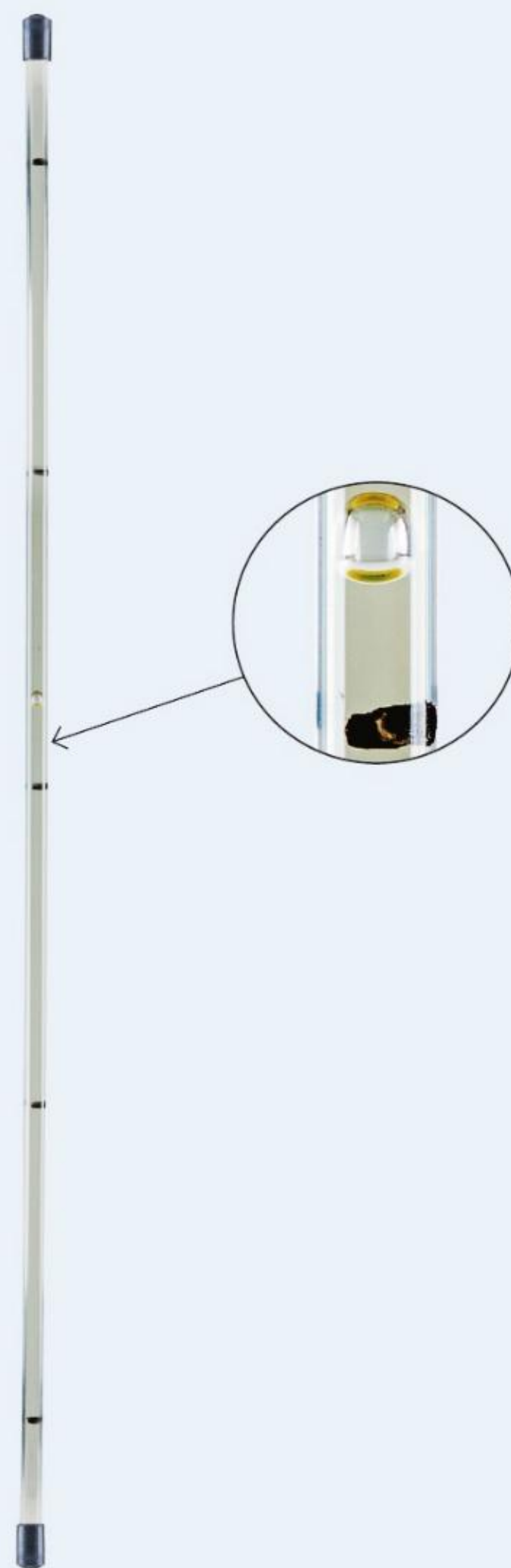
Doświadczenie 37.

Badamy, w jakim czasie pęcherzyk powietrza przebywa takie same odcinki drogi

Niezbędne przedmioty: rurka (wężyk) o długości ok. 1 m, zabarwiona woda lub gliceryna, plastelina, flamaster, stoper, linijka, drewniana listewka, taśma klejąca lub gumki recepturki (możesz użyć gotowego przyrządu – szklanej, zasklepionej rurki z pęcherzykiem powietrza)

Wykonanie:

- Przygotowanie przyrządu: weź rurkę (wężyk) zasklepioną z jednej strony np. plasteliną. Nalej do rurki, prawie do pełna, wody lub gliceryny, ale tak, aby został w niej pęcherzyk powietrza. Zamknij wylot rurki plasteliną. Przyklej wężyk (rurki nie musisz przyklejać) taśmą do drewnianej listewki, tak aby ułożony był prosto. Zaznacz na rurce flamastrem jednakowe odcinki, np. 20-centymetrowe. Nie zaczynaj odmierzenia od początku rurki – postaw pierwszą kreskę w odległości 5–10 cm od początku rurki, a dopiero potem odmierz 20-centymetrowe odcinki.
- Odwróć rurkę do góry dnem (może być też pod pewnym, ale stałym, kątem do poziomu) i zmierz czasy, w których pęcherzyk przebywa 20-centymetrowe odcinki drogi między kolejnymi kreskami. Użyj stopera lub telefonu komórkowego. Wykorzystaj (dostępną w telefonie lub stoperze) funkcję zapisywania pomiarów pośrednich.
- Powtórz pomiary trzykrotnie.
- Wyniki zapisz w tabeli.
- Oblicz średnie arytmetyczne czasów, w których pęcherzyk przebywa kolejne odcinki.
- Określ niepewność pomiarową $\Delta t_{\text{śr.}}$.



Obserwacje i wyniki:

- Tabela pomiarów.

$x = s \text{ (cm)}$	$\Delta x \text{ (cm)}$	Czas, w którym pęcherzyk przebywa odcinki Δx				
		pomiar 1 $t_1 \text{ (s)}$	pomiar 2 $t_2 \text{ (s)}$	pomiar 3 $t_3 \text{ (s)}$	średni czas $t_{\text{śr}} \text{ (s)}$	średni czas $\pm$ niepewność pomiarowa $t_{\text{śr}} \text{ (s)} \pm \Delta t$
20	20	5,90	5,95	5,88	5,91	$5,9 \pm 0,1$
40	20	5,92	5,89	5,95	5,92	$5,9 \pm 0,1$
60	20	5,85	5,92	5,96	5,91	$5,9 \pm 0,1$
80	20	5,95	5,87	6,00	5,94	$5,9 \pm 0,1$

- Czasy pomiarów i wartości średnie są w przybliżeniu równe.

Dokładność stopera wynosi 0,01 s, ale wyniki różnią się o znacznie więcej niż podwójna wartość niepewności pomiarowej. Musisz uwzględnić w tym przypadku czas reakcji, czyli czas mijający od momentu, w którym widzisz przejście pęcherzyka przez kreskę, do momentu naciśnięcia stopera. Przyjmij, że jest znacznie dłuższy, rzędu 0,1 s, i w związku z tym czasy średnie zaokrąglaj do tej dokładności (do dwóch cyfr znaczących). Niedokładności pomiaru mogą być również związane z rozmiarem pęcherzyka i w związku z tym ze wskazaniem momentu jego przejścia przez kreskę. Należy postarać się zawsze w tym samym momencie wykonywać pomiar, np. gdy początek pęcherzyka mija kreskę.

Wniosek: Jeżeli pęcherzyk przebywa jednakowe odcinki drogi w jednakowym czasie, to badany ruch jest ruchem jednostajnym.

Jeżeli w pracowni znajduje się tor powietrzny, możesz wykonać inne doświadczenie.

Doświadczenie 38.

Badamy, jakie drogi przebywa ciało w tym samym czasie

Niezbędne przedmioty: tor powietrzny, wózek z uchwytem, dmuchawa, czasomierz kropłowy (kroplomierz) z zabarwioną wodą (może być chronometr), papierowa taśma, taśma klejąca, linijka



Wykonanie:

- Ustaw tor powietrzny poziomo i zawieś na nim wózek.
- Rozłóż wzdłuż toru powietrznego papierową taśmę, tak aby krople trafiały na papier, i przymocuj ją taśmą klejącą do stołu.
- Przymocuj do wózka kroplomierz z wodą.
- Włącz dmuchawę i delikatnie popchnij wózek.
- Po przejechaniu wózka oderwij taśmę i zmierz odległości między kolejnymi kroplami. Wyniki zaokrąglaj do dwóch cyfr znaczących.
- Pomiary powtórz trzykrotnie, za każdym razem umieść nową taśmę.

Obserwacje i wyniki: W jednej ze szkół uczniowie zmierzili i obliczyli, że średnie odległości pomiędzy kroplami we wszystkich trzech pomiarach są jednakowe i wynoszą $\Delta x_{\text{sr}} = 11 \text{ cm}$. Krople spadały co 1 s. Sporządzili tabelę uwzględniającą obliczenia dla pierwszych pięciu kropli.

Nr kropli	$t \text{ (s)}$	$x_{\text{sr}} = s \text{ (cm)}$	$\Delta x_{\text{sr}} \text{ (cm)}$
0	0	0	–
1	1	11	11
2	2	22	11
3	3	33	11
4	4	44	11
5	5	55	11

Wniosek: Jeżeli w jednakowych odstępach czasu wózek przebywał jednakowe drogi Δx_{sr} , to jego ruch był jednostajny prostoliniowy.

Dokonajmy teraz analizy obserwacji i pomiarów, aby określić cechy ruchu pęcherzyka powietrza i wózka na torze powietrznym. Scharakteryzujmy:

- tor ruchu,
- czas, w którym pęcherzyk i wózek przebywały kolejne odcinki drogi,
- czas potrzebny na przebycie jednego odcinka, dwóch odcinków, trzech odcinków itd.

Torem ruchu pęcherzyka i wózka jest linia prosta. W obu wypadkach odstępy czasu potrzebne na przebycie tych samych odległości są jednakowe.

Ruchem jednostajnym prostoliniowym nazywamy taki ruch, którego torem jest linia prosta i w jednakowych, dowolnych odstępach czasu ciało przebywa jednakowe drogi.

Ruch jednostajny prostoliniowy w życiu codziennym spotykamy rzadko. Tak może się poruszać samochód na pewnym odcinku autostrady lub samolot lecący na pewnym odcinku trasy.

Droga w ruchu jednostajnym prostoliniowym

Sprawdźmy, jak droga przebyta przez ciało zależy od czasu trwania ruchu. W tym celu dokonajmy jeszcze raz analizy wyników pomiarów z ostatnich dwóch doświadczeń.

Zauważ, że w pierwszym doświadczeniu pęcherzyk powietrza:

- na przebycie dwukrotnie dłuższej drogi potrzebował dwukrotnie dłuższego czasu,
- na przebycie trzy razy dłuższej drogi – trzy razy dłuższego czasu.

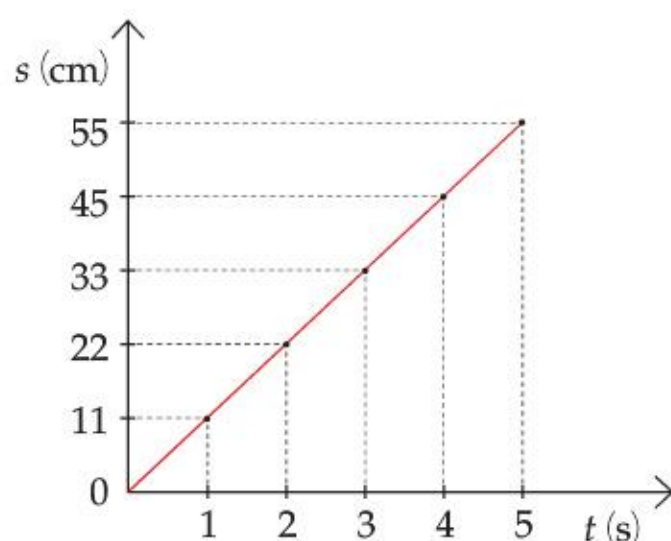
Z kolei w drugim doświadczeniu wózek przebył:

- w czasie dwukrotnie dłuższym dwa razy dłuższą drogę,
- w czasie trzy razy dłuższym – trzy razy dłuższą drogę.

Ciekawe!



Obecnie kierowcy często korzystają z tempomatów. Tempomat to urządzenie utrzymujące stałą szybkość pojazdu niezależnie od tego, czy pojazd porusza się po płaskiej czy pochyłej nawierzchni. W tym samym czasie samochód pokonuje jednakowe odcinki drogi.



5.8 Wykres zależności drogi od czasu



Jeśli punktów nie można połączyć linią prostą, to rysujemy prostą, która przechodzi jak najbliżej wszystkich punktów. Nie rysujemy łamanej od punktu do punktu. Najczęściej tak się zdarza, gdy pomiary obarczone są dużą niepewnością pomiarową.

Ciekawe!

Reguła Naismitha – stosowana przez turystów podczas wędrówek – pozwala oszacować czas potrzebny na pokonanie określonej trasy. Stosując ją, przyjmuje się 1 godzinę na pokonanie każdego 5 km trasy, a następnie dodaje po 1 godzinie na każde 600 m wzniesienia, które musi się pokonać.

Pamiętasz, że jeśli zwiększenie jednej wielkości ileś razy powoduje zwiększenie się drugiej wielkości tyle samo razy, to mówimy, że te wielkości są do siebie wprost proporcjonalne. Tak zachowują się względem siebie droga i czas w badanym przez nas ruchu. Możemy więc stwierdzić, że:

droga przebyta przez ciało w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest wprost proporcjonalna do czasu jego trwania.

Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym prostoliniowym

Bardzo wygodnym sposobem zilustrowania zależności między dwiema wielkościami jest wykres. Sporządzimy więc wykres zależności drogi przebytej od czasu trwania ruchu w układzie współrzędnych. W tym celu na osi poziomej (x) zaznacz czas t , a na osi pionowej (y) – drogę s przebytą przez wózek na torze powietrznym.

Na tak przygotowany układ współrzędnych nanieś punkty o współrzędnych przedstawionych w tabeli doświadczenia (0, 0), (1, 11), (2, 22), (3, 33), (4, 44), (5, 55). Następnie połącz te punkty linią prostą (il. 5.8).

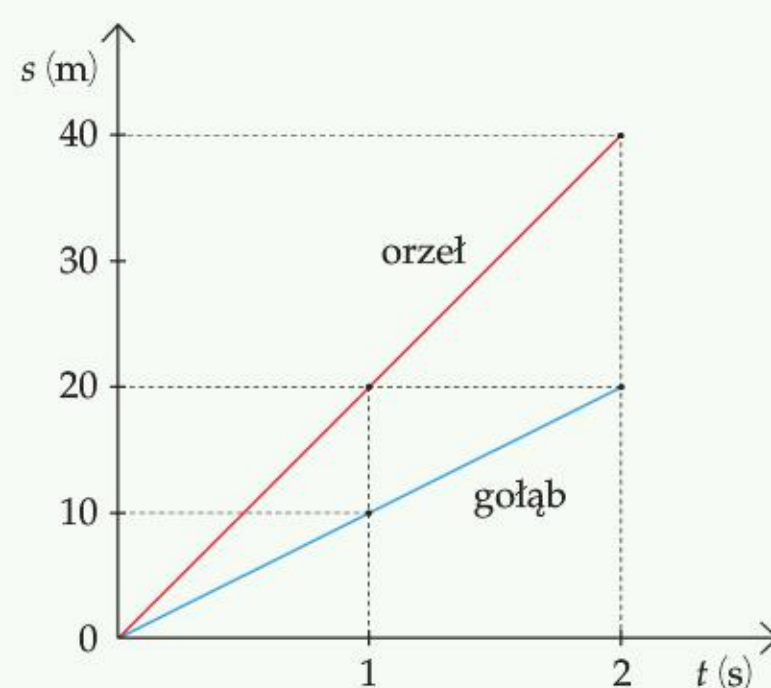
Wykresem zależności drogi od czasu $s(t)$ w ruchu prostoliniowym jednostajnym jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych i nachylona pod kątem ostrym do osi czasu. Z wykresu zależności drogi od czasu $s(t)$ możemy odczytać, jaką drogę przebywa ciało w jednostce czasu, a jaką – po upływie czasu t .

Przykład 23.

Rysunek ilustruje wykresy zależności drogi od czasu dla dwóch ptaków – gołębia pocztowego i orła.

Na podstawie tych wykresów wnioskujemy, że:

- większy kąt nachylenia do osi czasu ma wykres sporządzony dla orła,
- orzeł w ciągu 1 s pokonał drogę 20 m, a gołąb 10 m,
- skoro orzeł w 1 s pokonał 20 m, to w 2 s dwa razy tyle, czyli 40 m,
- droga przebyta przez orła jest dwa razy dłuższa od drogi przebytej przez gołębia w tym samym czasie.



Przykład 24.

Mrówka biegnie ruchem jednostajnym prostoliniowym po sosnowej igle, przebywając w pierwszej sekundzie drogę 1 cm.

Mrówka przebyła:

- a) w drugiej sekundzie 1 cm, a w ciągu dwóch sekund 2 cm,
- b) w trzeciej sekundzie 1 cm, a w ciągu trzech sekund 3 cm,
- c) w piątej sekundzie 1 cm, a w ciągu pięciu sekund 5 cm.



Zapamiętaj, że wyrażenia „w drugiej sekundzie” i „w ciągu dwóch sekund”, oznaczają co innego. Pierwsze dotyczy tego, co się działo w drugiej sekundzie, czyli od skończenia pierwszej do rozpoczęcia trzeciej sekundy. Drugie dotyczy tego, co się działo w pierwszej i drugiej sekundzie.

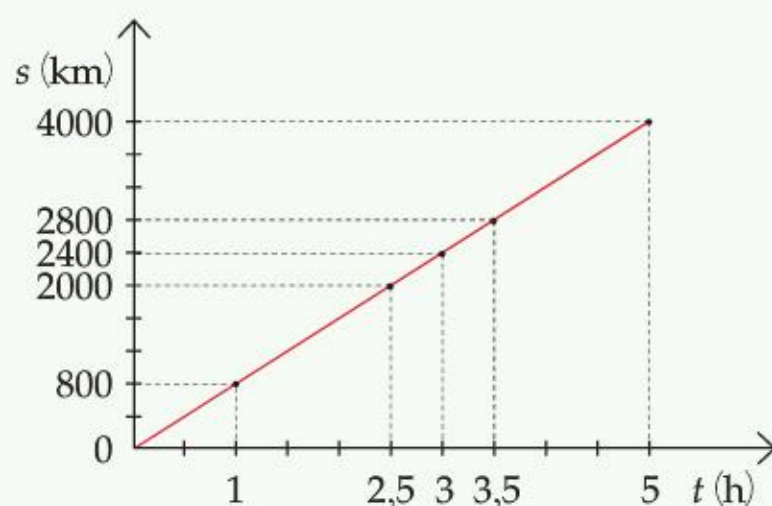
Przykład 25.

Przeanalizuj tabelę ilustrującą ruch samolotu, a następnie przedstaw na wykresie zależność drogi od czasu $s(t)$ dla ruchu tego samolotu. Odczytaj z wykresu, jaką drogę pokonał samolot w czasie 3,5 godzin lotu oraz w jakim czasie przeleciał 2000 km.

t (h)	0	1	3	5
s (km)	0	800	2400	4000

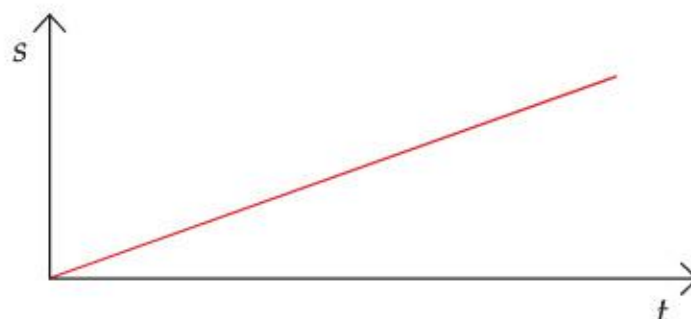
Z wykresu zależności drogi od czasu $s(t)$ dla ruchu tego samolotu można odczytać, że:

- w czasie 3,5 godziny przeleciał on 2800 km,
- drogę 2000 km samolot przeleciał w czasie 2,5 godziny.



W skrócie

- Ruchem jednostajnym prostoliniowym nazywamy taki ruch, którego torem jest linia prosta i w jednakowych, dowolnych odstępach czasu ciało przebywa jednakowe drogi.
- Droga przebyta przez ciało w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest wprost proporcjonalna do czasu jego trwania. Oznacza to, że jeśli czas rośnie, to droga rośnie tyle samo razy. Stwierdzenie to jest prawdziwe również dla ruchu jednostajnego krzywoliniowego.
- Wykresem zależności drogi od czasu $s(t)$ w ruchu jednostajnym prostoliniowym (i krzywoliniowym) jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych i nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.





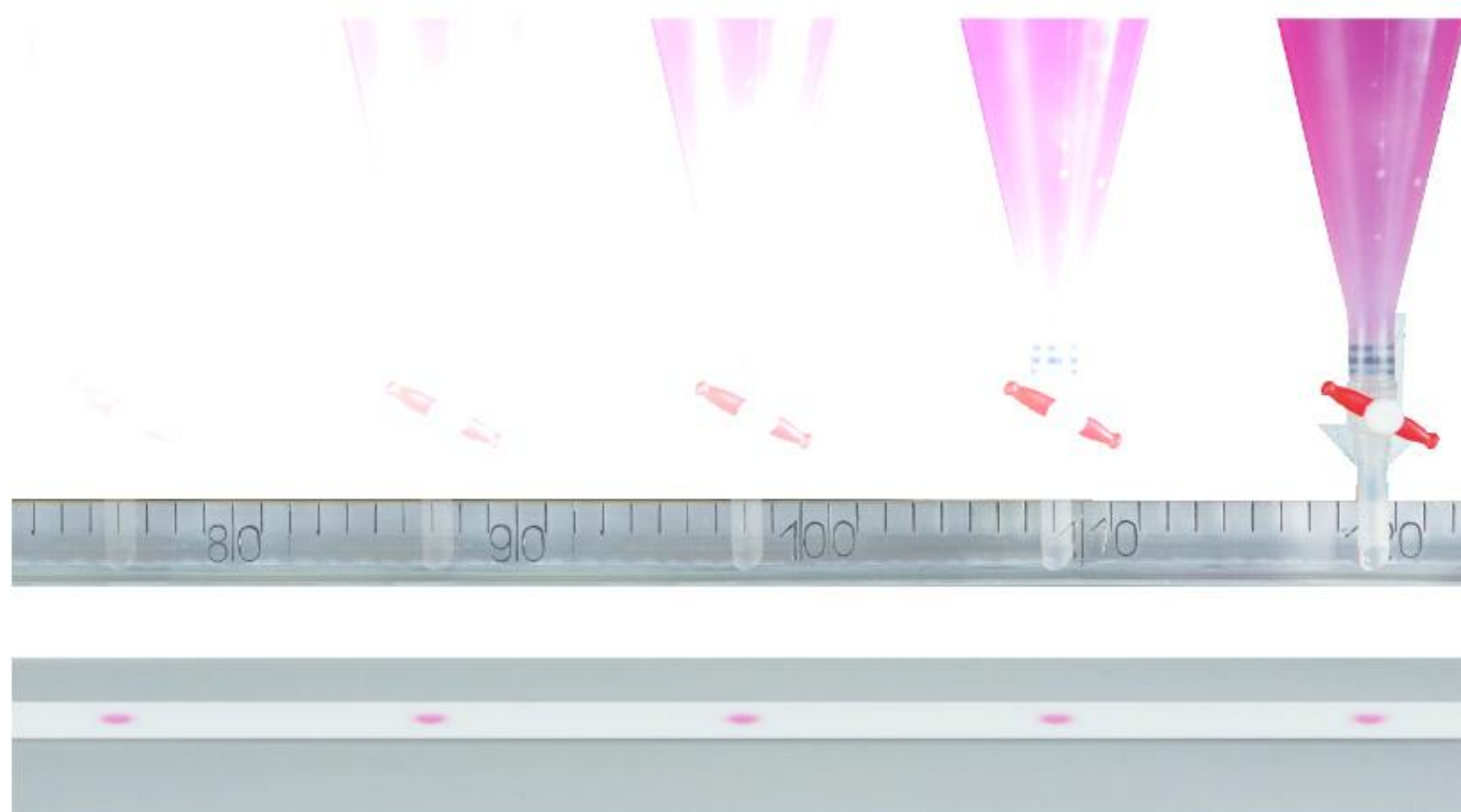
5.9 Tankujące w powietrzu samoloty



Wyjaśnij, dlaczego samoloty mogą tankować paliwo w powietrzu.

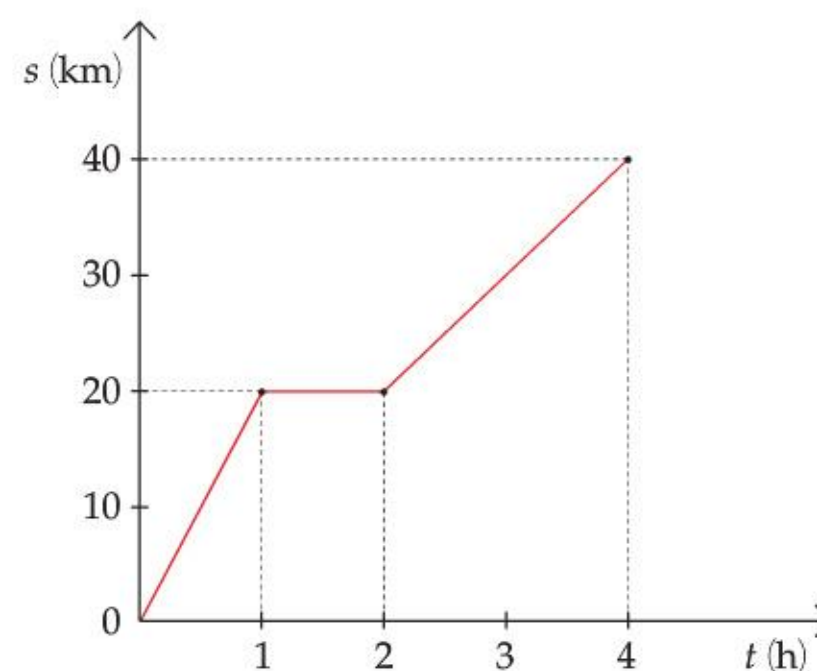
Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Z kroplomierza przymocowanego do wózka poruszającego się po torze powietrznym krople cieczy spadały w odstępach sekundy. Na podstawie rysunku określ, czy ruch wózka był jednostajny.



- 2 Pająk porusza się po ścianie wzdłuż linii prostej. W pierwszej sekundzie przebył drogę wynoszącą 2 cm, w ciągu dwóch sekund 4 cm, a w ciągu trzech sekund równą 8 cm. Czy ruch pająka był jednostajny?
- 3 Pociąg jedzie ruchem jednostajnym prostoliniowym. W ciągu pierwszej minuty przejechał 1,5 km. Oblicz, jaką drogę przejedzie ten pociąg:
 - a) w ciągu kolejnej minuty i w ciągu dwóch minut,
 - b) w ciągu szóstej minuty i w ciągu sześciu minut,
 - c) w ciągu dziesiątej minuty i w ciągu dziesięciu minut.
- 4 Narysuj wykres zależności $s(t)$ dla ruchu mrówki z przykładu nr 23 z lekcji.
- 5 Wykres przedstawia zależność drogi przebytej podczas wycieczki przez rowerzystę od czasu trwania jego ruchu. Odpowiedz na pytania.

- a) Ile kilometrów przejechał rowerzysta w ciągu pierwszej godziny ruchu?
- b) W którym momencie się zatrzymał i jak długo odpoczywał?
- c) Czy w trzeciej godzinie ruchu poruszał się szybciej niż w pierwszej godzinie?
- d) Ile kilometrów przejechał rowerzysta w ciągu czwartej godziny ruchu?
- e) Jak długo trwała wycieczka?



- 6 Wyszukaj w internecie lub w innych źródłach informacje na temat tempomatów adaptacyjnych i asystentów kierowcy. Czym ich działanie różni się od działania zwykłego tempomatu?

5.4 Wartość prędkości w ruchu jednostajnym prostoliniowym

Podejmij temat

- W jaki sposób można szybko porównać, które z ciał poruszających się ruchem jednostajnym przebyło w tym samym czasie większą drogę?

Jak definiujemy wartość prędkości?

Wiesz już, że droga przebyta przez ciało w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest wprost proporcjonalna do czasu jego trwania. Oznacza to, że jeśli czas rośnie, to droga rośnie tyle samo razy, a iloraz drogi i czasu, w którym została przebyta, jest w danym ruchu stały.

$$\frac{\text{droga}}{\text{czas}} = \text{const}$$

Tę stałą wielkość charakterystyczną dla danego ruchu jednostajnego nazywamy **wartością prędkości** lub **szybkością** i oznaczamy literą v .

Wartość prędkości (szybkość) ciała obliczamy, dzieląc drogę przez czas, w którym ta droga została przebyta.

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

v – wartość prędkości, s – droga, t – czas

Jednostka szybkości

Podstawową jednostkę szybkości określisz, gdy wstawisz jednostkę drogi (1 m) i jednostkę czasu (1 s) do wzoru na szybkość, co zapisuje się w następujący sposób:

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



5.10 Ślimak porusza się z małą szybkością, czyli w długim czasie przebywa krótką drogę



5.11 Orzeł porusza się z dużą szybkością, czyli w krótkim czasie przebywa długą drogę



Używamy pojęcia *wartość prędkości*, gdyż prędkość jest wielkością wektorową, czyli ma również kierunek i zwrot. Dowiesz się o tym więcej trochę później, ale w naszych rozważaniach w szkole podstawowej będziemy posługiwać się jedynie pojęciem – *wartość prędkości*.



Dla określenia szybkości różnych ciał stosujemy też inne jednostki:

$\frac{\text{m}}{\text{min}}$ – metr na minutę,

$\frac{\text{cm}}{\text{s}}$ – centymetr na sekundę,

$\frac{\text{km}}{\text{h}}$ – kilometr na godzinę,

$\frac{\text{m}}{\text{h}}$ – metr na godzinę.

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 0,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Przykład 26.

Mucha porusza się z szybkością $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wyraż tę szybkość w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

$$5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5 \cdot \frac{\frac{1}{1000} \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = \frac{5}{1000} \cdot \frac{3600}{1} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Odpowiedź: Szybkość muchy wynosi $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

O czym informuje nas szybkość

Jeśli szybkość (wartość prędkości) piechura wynosi $5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, to oznacza, że w ciągu godziny przebył on drogę 5 km. Jeśli szybkość samochodu wynosi $75 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, to oznacza, że w ciągu godziny przebył on drogę 75 km, czyli 15 razy dłuższą niż piechur.

Wartość prędkości (szybkość) ciała w ruchu jednostajnym określa, jaką drogę przebywa to ciało w jednostce czasu.

Przykład 27.

Francuski sportowiec Jules Ladoumègue (czyt. żul ladumeg) zdobył światowy rozgłos dzięki temu, że przebył w ciągu 2 min i 23,6 s drogę o długości 1 km. Oblicz, ile razy szybkość tego sportowca jest mniejsza od szybkości samochodu wynoszącej $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Dane:

$$t = 2 \text{ min } 23,6 \text{ s} = 143,6 \text{ s}$$

$$s = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$v_s = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Rozwiązanie:

Obliczmy szybkość sportowca: $v = \frac{s}{t}$

$$v = \frac{1000 \text{ m}}{143,6 \text{ s}} = 6,96 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Aby porównać jego szybkość z szybkością samochodu, trzeba obydwie te szybkości wyrazić w jednakowych jednostkach. Wyrazimy więc szybkość samochodu w $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

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

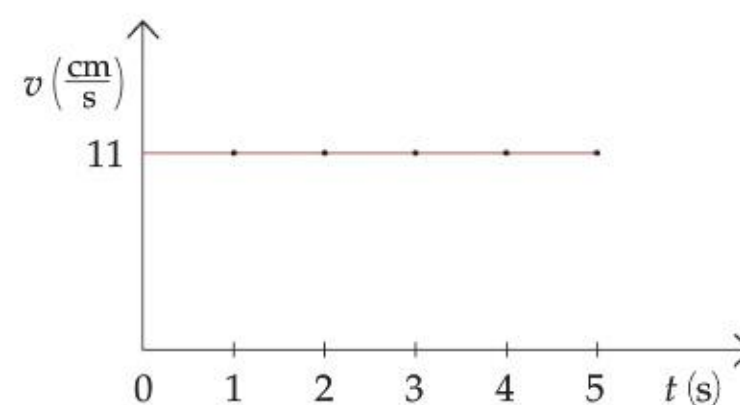
Obliczamy, ile razy szybkość sportowca jest mniejsza od szybkości samochodu.

$$n = \frac{25 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6,96 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 3,6$$

Odpowiedź: Szybkość sportowca była około 3,6 razy mniejsza od szybkości tego samochodu.

Wykres zależności wartości prędkości od czasu

Zilustrujemy teraz za pomocą wykresu zależność wartości prędkości (szybkości) od czasu. Przypomnij sobie doświadczenie z wózkiem, który przebywał w każdej sekundzie drogę 11 cm, czyli jego szybkość wynosiła $11 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Jeśli w ruchu jednostajnym wartość prędkości jest stała, to oznacza, że w każdej sekundzie ma taką samą wartość, równą $11 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Aby narysować wykres zależności szybkości od czasu dla tego wózka, zaznaczymy punkty o współrzędnych (1, 11), (2, 11), (3, 11), (4, 11), (5, 11). Wykres $v(t)$ został przedstawiony obok (il. 5.12).



5.12 Wykres zależności wartości prędkości od czasu

Wykresem zależności wartości prędkości (szybkości) od czasu $v(t)$ w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest półprosta równoległa do osi czasu, co oznacza, że $v = \text{const}$.

Obliczanie drogi z wykresu $v(t)$

Zauważ teraz, że gdy znasz wartość prędkości i czas ruchu ciała, możesz obliczyć drogę przebytą przez to ciało. Wykorzystamy do tego celu wzór na obliczanie wartości prędkości ciała i przekształcimy go do postaci:

$$s = v \cdot t$$

Przykład 28.

Rowerzysta porusza się ruchem jednostajnym z szybkością $15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Obliczymy, jaką drogę przebędzie on w ciągu 3 h takiego ruchu.

Dane:

$$v = 15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$t = 3 \text{ h}$$

Szukane:

$$s = ?$$

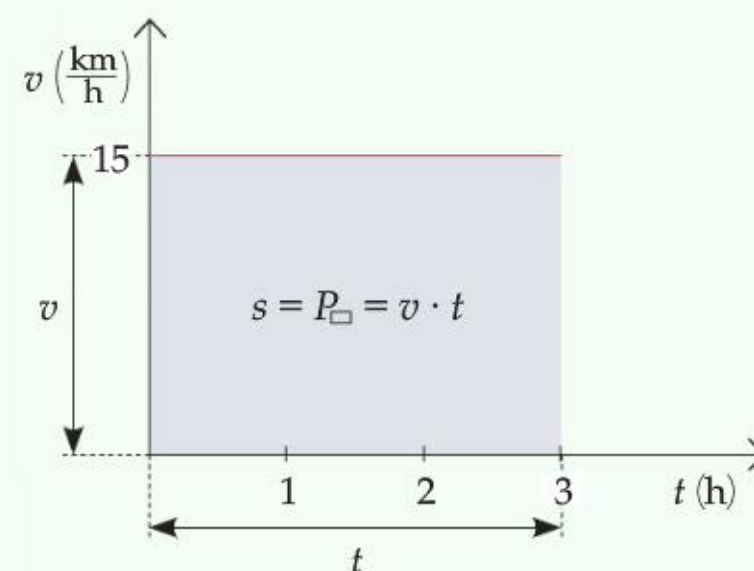
Rozwiązanie:

Drogę obliczymy, korzystając ze wzoru: $s = v \cdot t$

$$s = 15 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 3 \text{ h} = 45 \text{ km}$$

Zwróć uwagę, że drogę przebytą przez ciało możesz wyznaczyć na podstawie wykresu zależności szybkości od czasu $v(t)$. Jest ona liczbowo równa polu figury pod tym wykresem. Długości boków prostokąta widocznego na wykresie odpowiadają wartościom prędkości i czasu we wzorze na drogę.

Odpowiedź: Rowerzysta w ciągu 3 h ruchu przebędzie drogę 45 km.



Obliczanie czasu i przykładowe szybkości

Ze wzoru na wartość prędkości możesz również obliczyć czas, w którym ciało przebywa ruchem jednostajnym drogę s. Przypomnij sobie, jak należy przekształcić wzór:

$$v = \frac{s}{t} / \cdot t$$
$$v \cdot t = s / : v$$
$$t = \frac{s}{v}$$

Jak wiesz, różne ciała poruszają się z różnymi szybkościami, ale żadne z nich nie może osiągnąć prędkości równej lub większej od szybkości światła w próżni. Szybkość ta wynosi w przybliżeniu $300\,000\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Tabela 10. Przykładowe wartości prędkości spotykane w przyrodzie

Przykład	Wartość prędkości w przybliżeniu	
	$v\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	$v\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$
ślimak	0,0015	0,0054
ryba	1	3,6
piechur	1,5	5,4
mucha	5	18
koń w galopie	8,5	31

Przykład	Wartość prędkości w przybliżeniu	
	$v\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	$v\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$
sprinter	10	36
orzeł	24	86
antylopa	26	94
dźwięk w powietrzu	340	1220
światło w próżni	300 000 000	1 080 000 000

Więcej na temat

 Prędkość jako wielkość wektorowa

W języku potocznym pojęcia *szybkość* (wartość prędkości) używa się zamiennie z pojęciem *prędkość*. Jednak między tymi wielkościami jest różnica. Rozpatrzmy przykład: z Warszawy wystartował samolot, który poruszał się ruchem jednostajnym prostoliniowym z szybkością $600\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Gdzie się znajduje samolot po 1 h lotu?

Zauważ, że jeśli nie mamy informacji wzdłuż jakiej prostej i w którą stronę leci samolot, to nie jest możliwe podanie miejsca, w którym samolot się znajduje. Trzeba byłoby wykreślić okrąg o promieniu s równym przebytej drodze. Samolot mógłby się znajdować w każdym punkcie tego okręgu.

Aby precyzyjnie podać informację o miejscu samolotu, należy podać oprócz wartości prędkości jeszcze dodatkowo – wzdłuż jakiej prostej i w którą stronę samolot się porusza. Te wszystkie informacje zawiera prędkość ciała $\vec{v}$, która jest wielkością wektorową.

Prędkość informuje nas nie tylko o tym, jak szybko porusza się ciało, ale również o kierunku i zwrocie ruchu ciała.



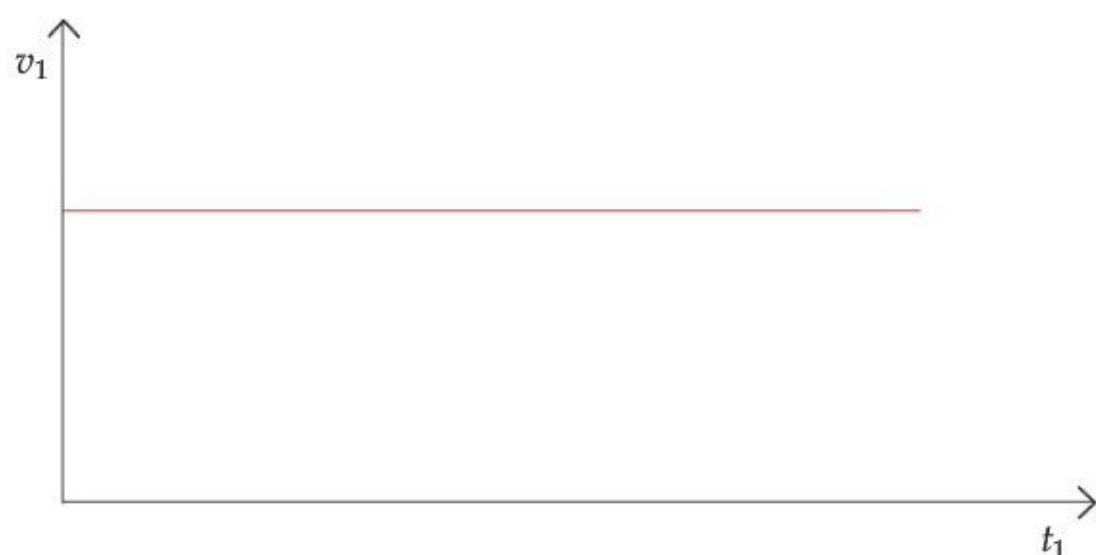
Długość wektora określa wartość prędkości. Kierunek ruchu określa prosta, na której wektor leży. W którą stronę porusza się ciało, wskazuje grot – zwrot wektora.

W skrócie

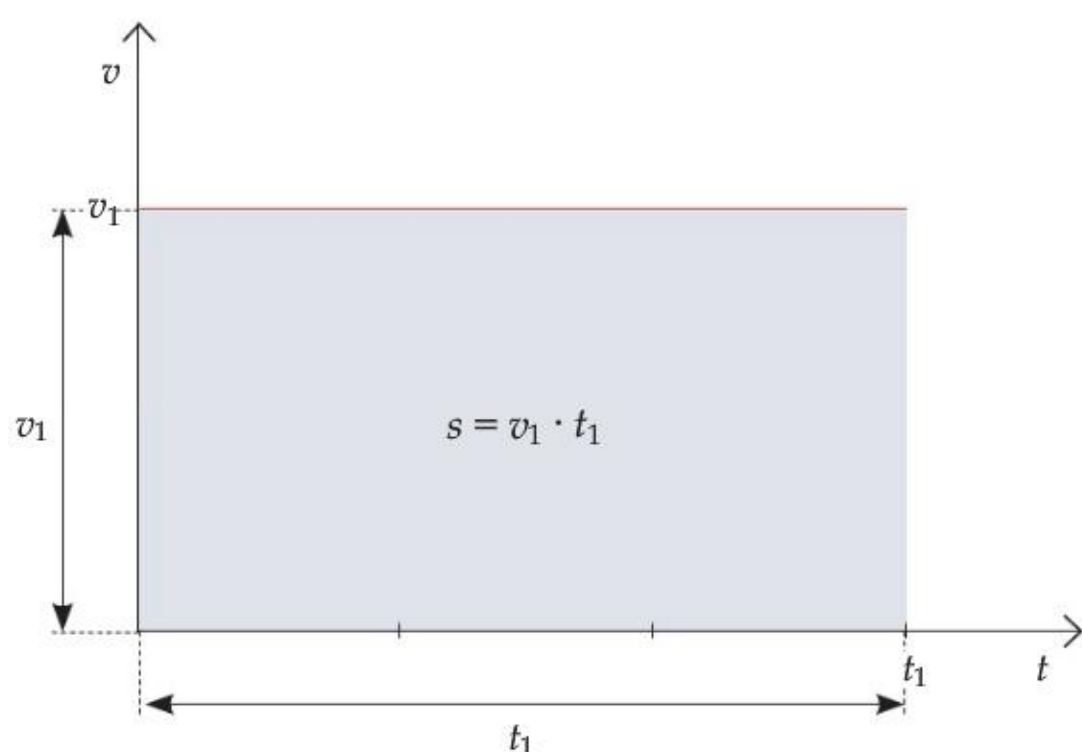
- W ruchu jednostajnym prostoliniowym wartość prędkości (szybkość) ciała określa, jaką drogę przebywa to ciało w jednostce czasu.
- Wartość prędkości (szybkość) ciała obliczamy, dzieląc drogę przez czas, w którym ta droga została przebyta:

$$v = \frac{s}{t}$$
- Jednostką wartości prędkości (szybkości) jest $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- Drogę w ruchu jednostajnym obliczamy ze wzoru:

$$s = v \cdot t$$
- Czas ruchu ciała obliczamy ze wzoru: $t = \frac{s}{v}$.
- W ruchu jednostajnym wykresem zależności wartości prędkości od czasu $v(t)$ jest półprosta równoległa do osi czasu.

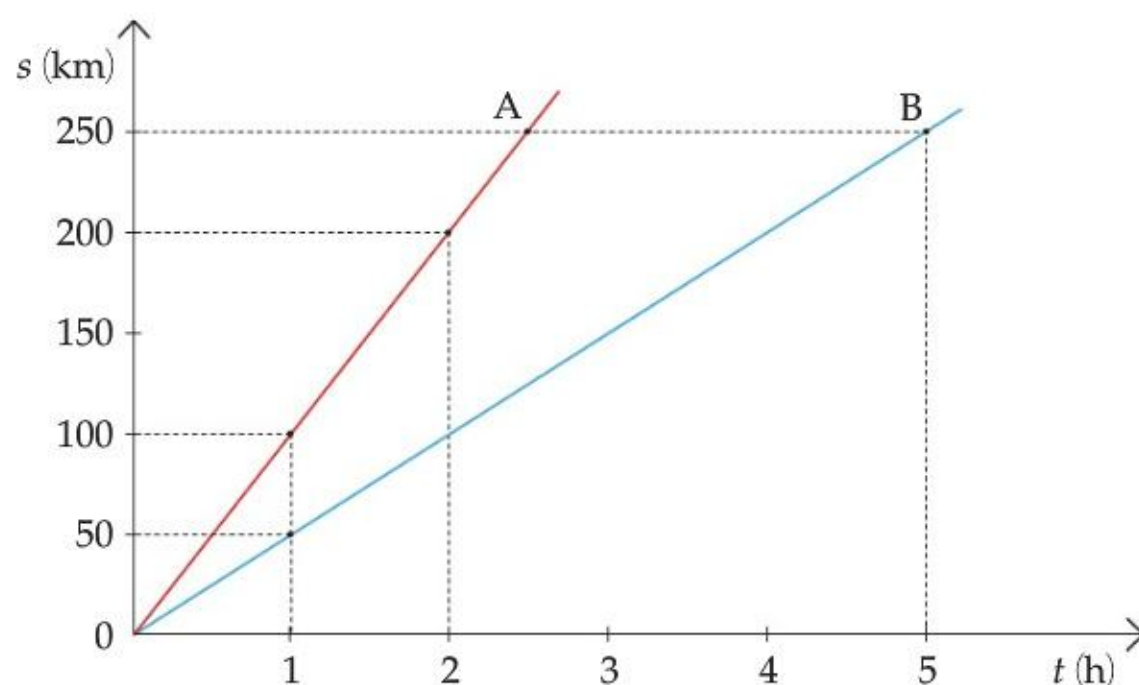


- Drogę przebytą przez ciało w ruchu jednostajnym obliczamy jak pole powierzchni prostokąta pod wykresem $v(t)$.

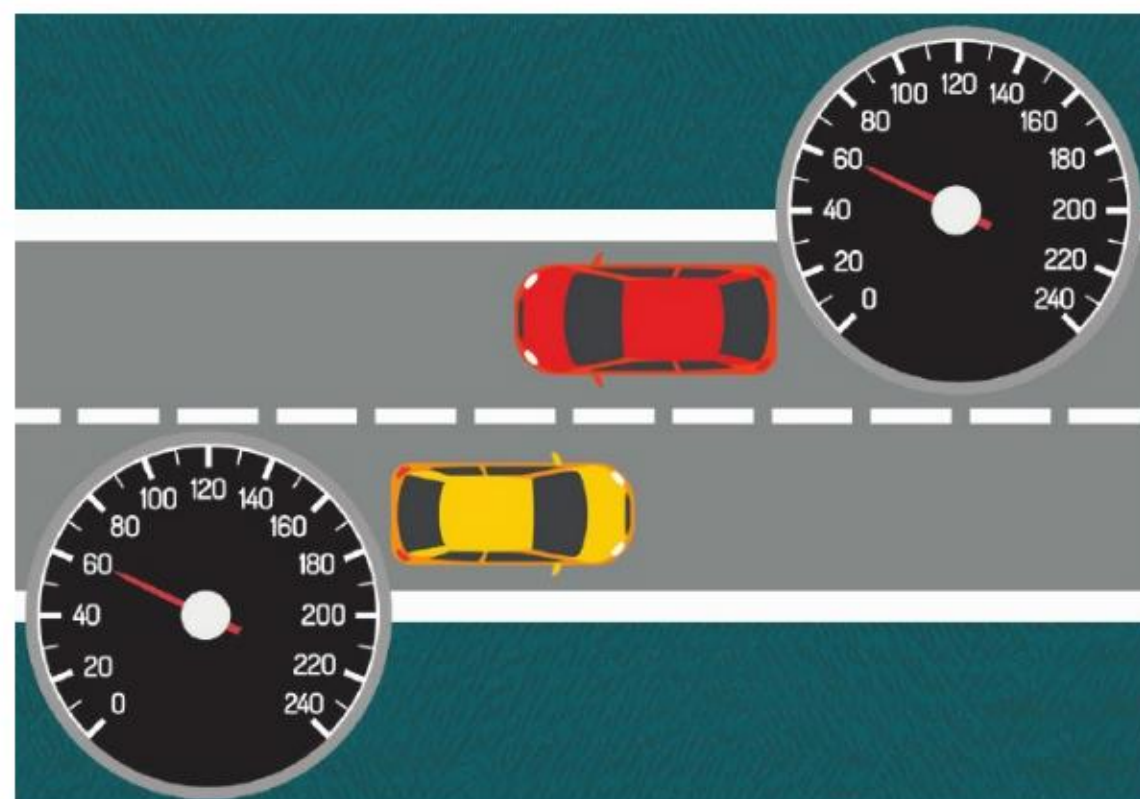


Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Co to znaczy, że wartość prędkości pociągu pospiesznego wynosi $110 \frac{\text{km}}{\text{h}}$? Podaj, jaką drogę przebędzie pociąg w drugiej godzinie, a jaką po dwóch godzinach ruchu.
- Wyraź prędkość $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ w $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ oraz $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- Oblicz wartość prędkości piechura, który w ciągu 1 h 20 min przebył drogę 6 km. Jaką drogę przebył piechur po:
 - 1 h,
 - 2 h,
 - 3 h?
 Narysuj wykresy $s(t)$ i $v(t)$ dla ruchu piechura.
- Z wykresu $s(t)$ odczytaj potrzebne ci dane i oblicz szybkości pociągów A i B, a następnie je porównaj. Jaki jest związek kąta nachylenia wykresu z szybkością tych pociągów?



- Określ, czy samochody przedstawione na rysunku mają takie same prędkości (obok podane są wskazania szybkościomierzy).



5.5 Ruch prostoliniowy zmienny

Podejmij temat



Żaba porusza się charakterystycznymi skokami. Na odcinku 0,5 m może ona wykonać trzy skoki w czasie 2 sekund. Czy ruch, jakim porusza się żaba, jest ruchem jednostajnym?



Bez względu na rodzaj ruchu średnią szybkość w ruchu zmiennym obliczamy ze wzoru:

$$v_{\text{sr}} = \frac{\text{całkowita droga}}{\text{całkowity czas}} = \frac{s}{t}$$

Średnia wartość prędkości

Ruchy spotykane w przyrodzie i technice najczęściej nie są ruchami jednostajnymi. Przyglądając się np. ruchowi autobusu, obserwujemy zwiększanie się szybkości w czasie ruszania z przystanku, a później zmniejszanie się szybkości przed następnym przystankiem. Taki ruch nazywa się w fizyce **ruchem niejednostajnym** lub **zmiennym**. W czasie jego trwania szybkość się zmienia, więc by opisać taki ruch, posługujemy się pojęciem **średniej wartości prędkości (średniej szybkości)**.

Średnią szybkość w ruchu zmiennym, która jest ilorazem całkowitej drogi (s) i czasu (t), w którym została przebyta, obliczamy ze wzoru:

$$v_{\text{sr}} = \frac{s}{t}$$

Jeśli autobus, między kolejnymi przystankami, przebył drogę długości 1,5 km w czasie 3 min, to średnią wartość prędkości autobusu obliczamy:

$$v_{\text{sr}} = \frac{s}{t} = \frac{1,5 \text{ km}}{3 \text{ min}} = \frac{\frac{3}{2} \text{ km}}{\frac{3}{60} \text{ h}} = \frac{3 \cdot 60 \text{ km}}{2 \cdot 3 \text{ h}} = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Zauważ, że gdyby autobus poruszał się ruchem jednostajnym z szybkością równą średniej wartości prędkości ruchu zmiennego ($30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$), to przebyłby tę samą drogę (1,5 km) w tym samym czasie (3 min).

$$\text{Sprawdź: } t = \frac{s}{v} = \frac{1,5 \text{ km}}{30 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = \frac{\frac{3}{2} \text{ km}}{30 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = \frac{3}{2} \text{ km} \cdot \frac{1}{30_{10} \frac{\text{h}}{\text{km}}} = \frac{1}{20} \text{ h} = 3 \text{ min}$$

Należy podkreślić, że wyznaczając średnią wartość prędkości, nie możemy obliczać średniej arytmetycznej z wartości tych prędkości, lecz z ilorazu całkowitej drogi i czasu, w którym została przebyta.

Przykład 29.

Bartek wybiera się z ojcem na mecz piłkarski, który ma się rozpocząć o godz. 16:00 w miejscowości oddalonej o 75 km od jego miejsca zamieszkania. Zakładając, że mogą bezpiecznie jechać ze średnią wartością prędkości $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, o której godzinie muszą wyjechać, aby być na miejscu kwadrans przed rozpoczęciem meczu?

Dane:

$$s = 75 \text{ km}$$

$$v_{\text{sr}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}},$$

gdzie:

s – całkowita droga; t – całkowity czas

Szukane:

$$t = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na średnią wartość prędkości: $v_{\text{sr}} = \frac{s}{t}$

Czas potrzebny na przejechanie całkowitej drogi obliczymy ze wzoru:

$$t = \frac{s}{v_{\text{sr}}} = \frac{75 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{50 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 1,5 \text{ h}$$

Skoro mają być na miejscu kwadrans przed rozpoczęciem meczu, czyli o godz. 15:45, a z domu muszą wyjechać 1,5 h wcześniej, bo tyle potrzebują na przejechanie drogi 75 km, to muszą wyjechać o godz. 14:15.

Odpowiedź: Bartek z ojcem muszą wyjechać z domu o godz. 14:15.

Przykład 30.

Turysta przebył drogę $s_1 = 10 \text{ km}$ ze średnią wartością prędkości $v_1 = 5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a następnie drogę $s_2 = 14 \text{ km}$ ze średnią wartością prędkości $v_2 = 3,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz średnią wartość prędkości (szybkość) turysty na całej trasie. Sporządź wykresy $v_1(t_1)$, $v_2(t_2)$, $v_{\text{sr}}(t)$ w jednym układzie współrzędnych oraz $s(t)$ w drugim układzie współrzędnych.

Dane:

$$s_1 = 10, s_2 = 14 \text{ km}$$

$$v_1 = 5 \frac{\text{km}}{\text{h}}, v_2 = 3,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

s – całkowita droga; t – całkowity czas

Szukane:

$$v_{\text{sr}} = ?$$

Rozwiązanie:

$$v_{\text{sr}} = \frac{\text{całkowita droga}}{\text{całkowity czas}}$$

$$v_{\text{sr}} = \frac{s}{t}, \text{ gdzie: } s = s_1 + s_2, \text{ a } t = t_1 + t_2$$

Znając prędkości średnie i drogi, obliczymy czasy potrzebne do ich przebycia:

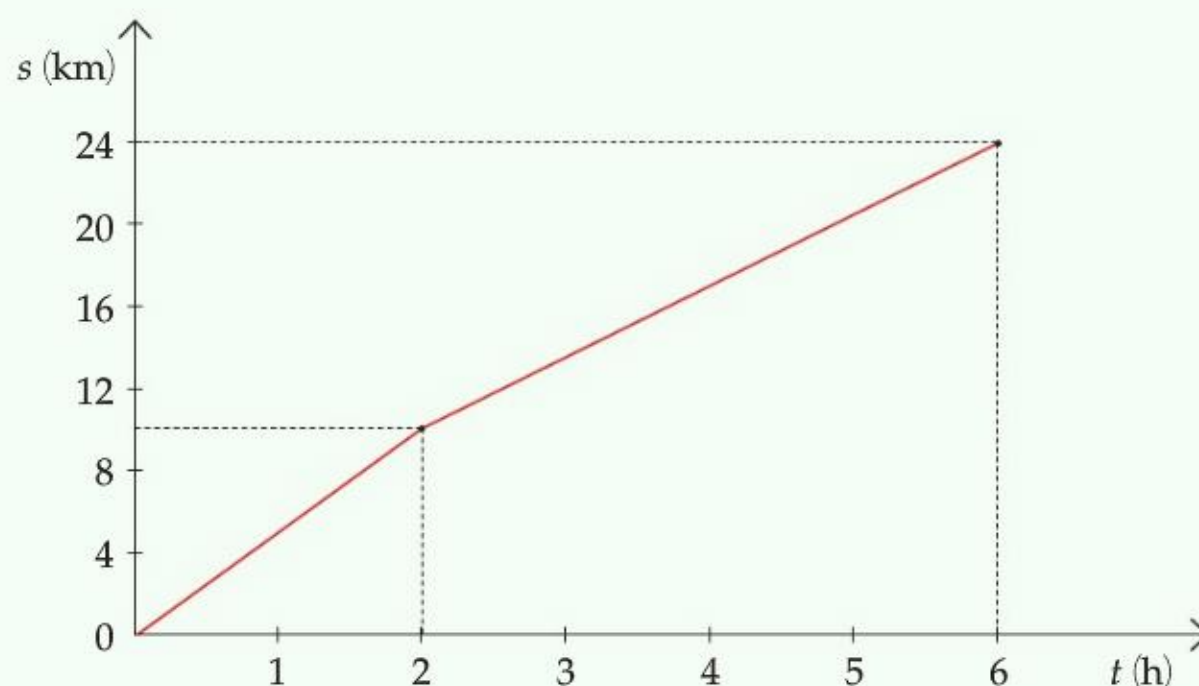
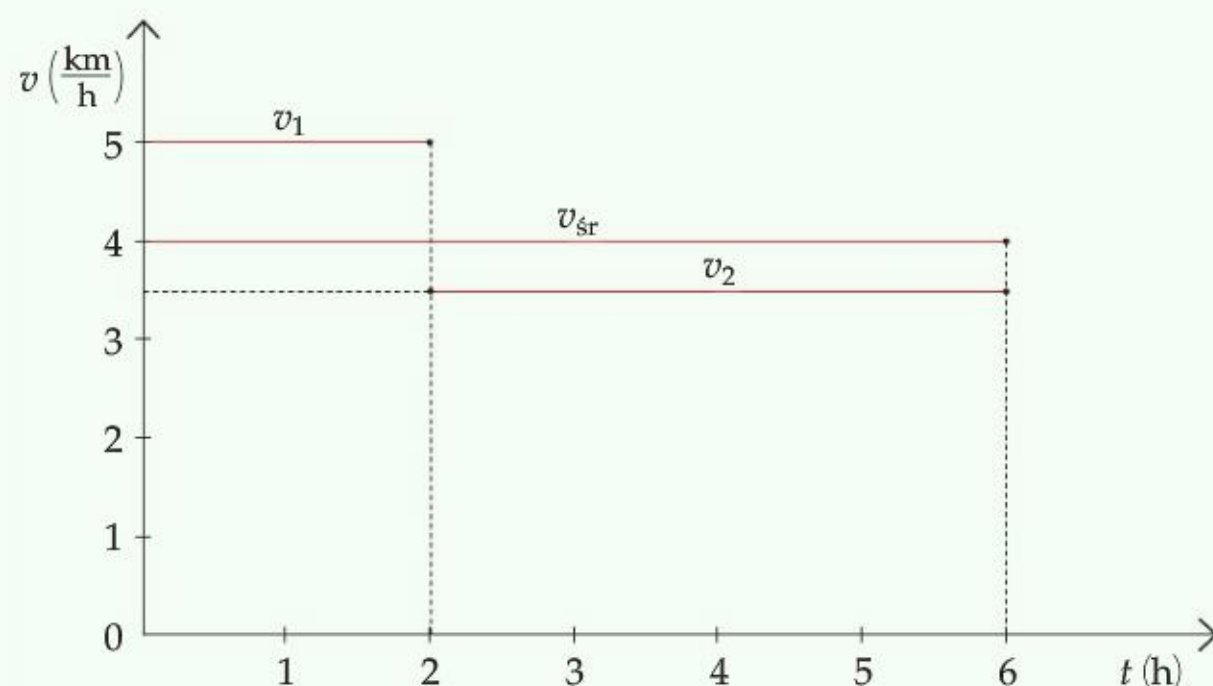
$$t_1 = \frac{s_1}{v_1}, t_2 = \frac{s_2}{v_2}$$

$$\text{Po podstawieniu wartości liczbowych: } t_1 = \frac{10 \text{ km}}{5 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 2 \text{ h}, t_2 = \frac{14 \text{ km}}{3,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 4 \text{ h}$$

Całkowity czas: $t = 2 \text{ h} + 4 \text{ h} = 6 \text{ h}$

Całkowita droga: $s = 10 \text{ km} + 14 \text{ km} = 24 \text{ km}$

Średnia wartość prędkości: $v_{\text{sr}} = \frac{s}{t} = \frac{24 \text{ km}}{6 \text{ h}} = 4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$



Uwaga! Przyjrzyj się wykresowi $v(t)$. Zobacz, że średnia wartość prędkości nie jest równa średniej arytmetycznej z wartości prędkości v_1 i v_2

Odpowiedź: Średnia wartość prędkości (szybkość) turysty na całej trasie wynosi $4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.



5.13 Szybkościomierz rowerowy

Wartość prędkości chwilowej, ruch przyspieszony i ruch opóźniony

W ruchu prostoliniowym niejednostajnym wartość prędkości (szybkość) w danej chwili, czyli **wartość prędkości chwilowej**, można określić np. odczytując ją z szybkościomierza (prędkościomierza) samochodowego lub rowerowego (il. 5.13).

Jeżeli wartość prędkości chwilowej w ruchu niejednostajnym wzrasta wraz z upływem czasu trwania ruchu, to nazywamy go **ruchem przyspieszonym**, jeżeli maleje – **ruchem opóźnionym**.

Wyznaczamy średnią wartość prędkości

Jak wiesz, samochód porusza się raz szybciej, raz wolniej. Zwalnia, zatrzymuje się, a potem rusza i przyspiesza. W trakcie ruchu wartość prędkości ulega zmianie. Dlatego na co dzień najczęściej posługujemy się pojęciem średniej wartości prędkości. Planując podróż, szacujemy na jej podstawie czas dojazdu.

Średnia wartość prędkości mierzona jest w trakcie tzw. odcinkowego pomiaru prędkości. Pomiar dokonywany jest na danym odcinku drogi za pomocą kamer montowanych na początku i na końcu kontrolowanego odcinka, rejestrujących momenty wjazdu pojazdu na daną trasę i jej opuszczenia. Na tej podstawie liczona jest średnia wartość prędkości pojazdu.

Spróbuj teraz wykonać doświadczenie, aby wyznaczyć średnią wartość prędkości.

Doświadczenie 39.

Wyznaczamy średnią wartość prędkości przez pomiar odległości i czasu

Niezbędne przedmioty: stoper (np. w telefonie komórkowym), taśma miernicza, kreda

Wykonanie:

- Zorganizuj pod nadzorem nauczyciela zawody sportowe (na boisku sportowym, w sali gimnastycznej lub na korytarzu szkolnym). Możesz również mierzyć czasy przejazdu samochodów na baterie czy kolejek szynowych.
- Odmierz określony, prostoliniowy odcinek toru i zapisz wynik. Zastanów się, jak określić niepewność pomiarową drogi. Czy powinna być równa dokładności przymiaru? Czy ma znaczenie, czy mierzysz odcinek 10 m czy 100 m?
- Zmierz czas (najlepiej, aby był mierzony przez 3 osoby jednocześnie), w którym dany zawodnik pokonuje wyznaczony dystans. Zastanów się, jak określić niepewność pomiaru czasu.
- Dla każdego zawodnika oblicz średnią arytmetyczną wyników pomiaru czasu w sekundach. Podaj wartość zaokrągloną do pierwszego miejsca po przecinku.
- Oblicz średnią wartość prędkości każdego zawodnika. Wynik podaj w $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- Oblicz niepewność wyznaczenia średniej wartości prędkości, skorzystaj ze wzoru:

$$\Delta v_{\text{sr}} = \frac{\Delta v_{\text{srmax}} - \Delta v_{\text{srmin}}}{2}$$

- Podaj wynik w postaci: $v_{\text{sr}} \pm \Delta v_{\text{sr}}$

W skrócie

- W ruchach zmiennych (prostoliniowych i krzywoliniowych) posługujemy się średnią szybkością (średnią wartością prędkości). Średnia szybkość jest ilorazem całkowitej drogi (s) i czasu (t), w którym została przebyta. Obliczamy ją ze wzoru: $v_{\text{sr}} = \frac{s}{t}$.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Przejazd całego okrążenia o długości 5,89 km na torze Formuły 1 zajmuje samochodowi 2 minuty. Oblicz średnią szybkość bolidu na tym torze.
- 2 Kierowca został ukarany mandatem za przekroczenie dozwolonej prędkości. O jaką wartość prędkości chodziło: średnią czy chwilową?
- 3 Odczytaj z mapy zamieszczonej obok odległość z Chmielnika – przez Jędrzejów, Chęciny, trasą szybkiego ruchu – do granicy Kielc. Oblicz czas potrzebny do pokonania tej trasy, zakładając, że średnia wartość prędkości wynosi $48 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- 4 W pierwszej sekundzie ciało przebyło drogę 2,6 m, w drugiej sekundzie 4,8 m, a w trzeciej sekundzie 1,6 m. Jaki był to ruch?
 - a) Oblicz średnią wartość prędkości tego ciała.
 - b) Narysuj wykres zależności drogi przebytej przez to ciało od czasu $s(t)$. Zaznacz na wykresie drogi przebyte z różnymi szybkościami.
 - c) Sporządź wykresy (na jednym układzie współrzędnych) wartości prędkości $v_1(t_1)$, $v_2(t_2)$, $v_3(t_3)$ w każdej sekundzie ruchu oraz średniej wartości prędkości $v_{\text{sr}}(t)$.



5.6 Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony

Podejmij temat

● Czy ruch zmienny może być regularny?

Jak zmienia się wartość prędkości w ruchu przyspieszonym?

Poznałeś już ruchy prostoliniowe jednostajne i niejednostajne (zienne) i wiesz, że ruch, w którym szybkość wzrasta, nazywamy ruchem przyspieszonym. Takim ruchem poruszają się startujące samoloty czy samochody ruszające na skrzyżowaniu. Zbadamy teraz szczególny przypadek ruchu przyspieszonego – ruch kulki na równi pochyłej.

Doświadczenie 40.

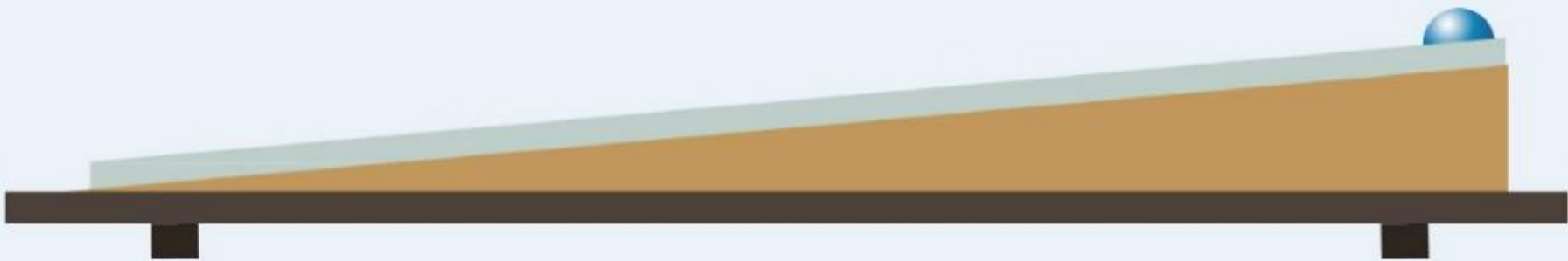
Badamy, czy ruch kulki jest ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym

Niezbędne przedmioty: równia pochyła (metalowa rynna) o długości ok. 1,6 m, stoper (można użyć metronomu ustawionego na 1 s), taśma miernicza (długa linijka), metalowa kulka, mazak

Doświadczenie może być wykonane również przy użyciu toru powietrznego, zestawu z wózkami do doświadczeń z mechaniki lub zestawu do pomiarów wspomaganych komputerowo. Możesz również podnieść z jednej strony ławkę (podstawić coś pod nogi) i na niej wykonać doświadczenie.

Wykonanie:

- Ustaw równię pochyłą pod niewielkim kątem.
- Poproś kolegę, aby co sekundę podawał głośno krótką komendę, np. „już!” (w zastępstwie możesz użyć metronomu).
- Z najwyższego punktu wysokości równi puść swobodnie kulkę, w momencie gdy słyszysz „już!” (lub metronom).
- Zaznacz mazakiem miejsca, które kulka mija w sekundowych odstępach czasu.
- Wyniki pomiarów i potrzebnych obliczeń wpisz do tabeli.



$t \text{ (s)}$	$s \text{ (m)}$	$\Delta t \text{ (s)}$	$\Delta s \text{ (m)}$	$V_{\text{sr}} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$
1	0,1	1	0,1	w 1. sekundzie 0,1
2	0,4	1	0,3	w 2. sekundzie 0,3
3	0,9	1	0,5	w 3. sekundzie 0,5
4	1,6	1	0,7	w 4. sekundzie 0,7

Obserwacje i wyniki:

- W kolejnych sekundach ruchu kulka przebywa coraz większe drogi
- Średnia wartość prędkości rośnie w jednakowych odstępach czasu o tę samą wartość.

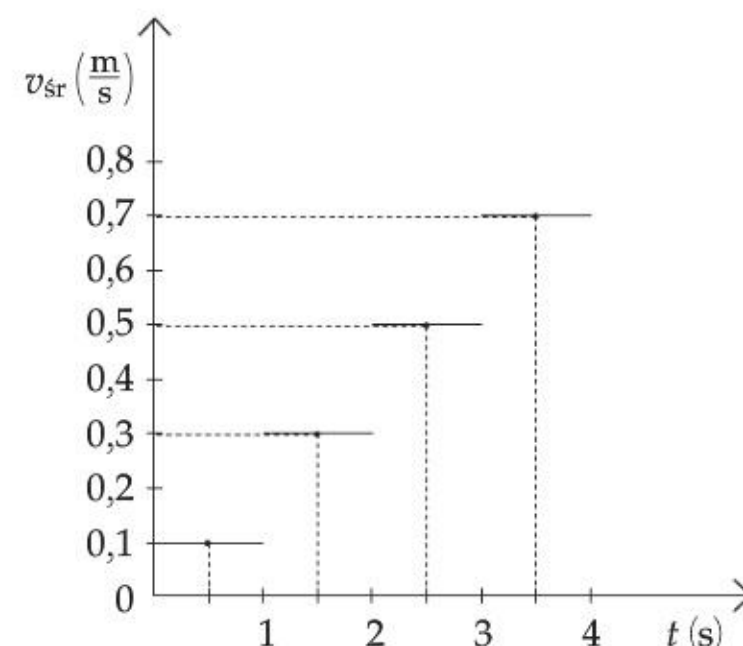
Jak definiujemy ruch jednostajnie przyspieszony?

Na podstawie wyników doświadczenia zauważyłeś, że co sekundę średnia wartość prędkości rosła o $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wartości z tabeli umieszczamy na wykresie (il. 5.14). Gdybyśmy średnią obliczali w coraz mniejszych odstępach czasu, odcinki te byłyby coraz krótsze. Średnia wartość prędkości byłaby coraz bardziej zbliżona do wartości prędkości chwilowej (rzeczywistej wartości prędkości). Łącząc środki odcinków na wykresie, otrzymujemy wykres $v_{\text{ch}}(t)$, czyli zależności wartości prędkości od czasu (il. 5.15). Jak wynika z wykresu, wartość prędkości chwilowej rośnie wprost proporcjonalnie do czasu.

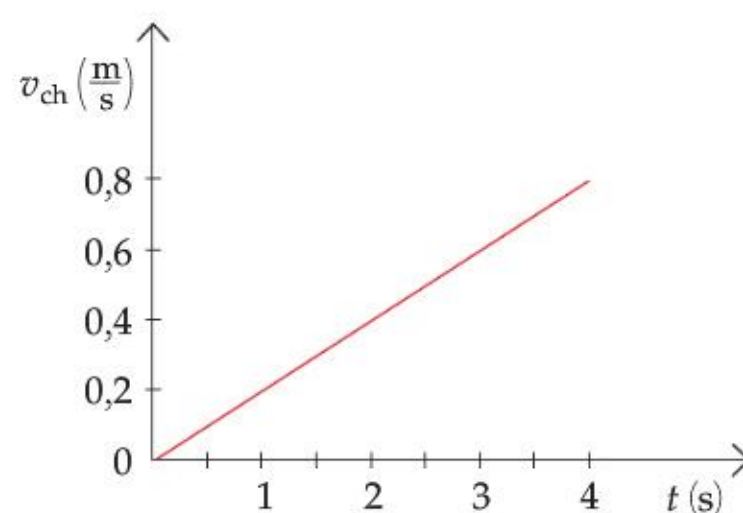
Ruch, w którym w dowolnych, równych odstępach czasu wartość prędkości wzrasta o tę samą wartość, nazywamy ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Z wykresu zależności wartości prędkości chwilowej od czasu (il. 5.15) możesz odczytać, że w pierwszej sekundzie ruchu szybkość kulki wzrosła od 0 do $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, w drugiej sekundzie od $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, w trzeciej od $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a w czwartej od $0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Wykresem zależności wartości prędkości od czasu w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych, nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.



5.14 Wykres zależności wartości prędkości średniej od czasu



5.15 Wykres zależności wartości prędkości chwilowej od czasu

Więcej na temat

Droga w ruchu jednostajnie przyspieszonym

Oznaczmy przez Δs_1 , Δs_2 , Δs_3 , Δs_4 drogi przebyte odpowiednio – w pierwszej, drugiej, trzeciej i czwartej sekundzie ruchu.

Czas t



Widzisz, że droga przebyta przez kulkę w drugiej sekundzie ruchu jest trzy razy większa niż w pierwszej, w trzeciej sekundzie 5 razy większa, a w czwartej jest 7 razy większa.

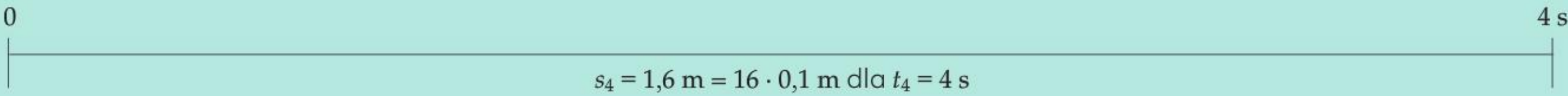
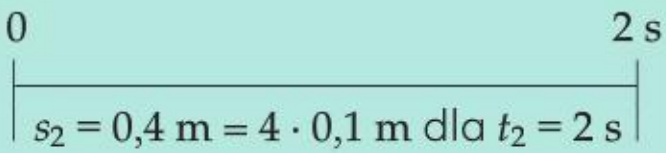
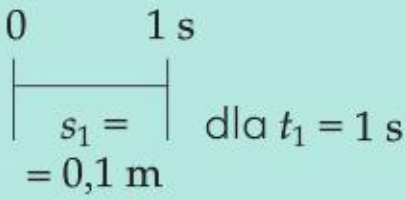
Utwórzmy stosunek tych dróg:

$$\Delta s_1 : \Delta s_2 : \Delta s_3 : \Delta s_4 = 0,1 \text{ m} : 0,3 \text{ m} : 0,5 \text{ m} : 0,7 \text{ m} = 1 : 3 : 5 : 7$$

Drogi przebyte przez ciało w kolejnych sekundach ruchu jednostajnie przyspieszonego mają się do siebie jak kolejne liczby nieparzyste (przy prędkości początkowej $v_0 = 0$).

Porównajmy teraz drogi przebyte przez kulkę w ciągu jednej, dwóch, trzech i czterech sekund.

Czas t



Utwórzmy stosunki dróg przebytych przez ciało:

$$s_1 : s_2 : s_3 : s_4 = 0,1 : 0,4 : 0,9 : 1,6$$

$$\text{czyli } s_1 : s_2 : s_3 : s_4 = 1 : 4 : 9 : 16$$

Gdy zastąpimy liczby 1, 4, 9, 16 kwadratami liczb 1, 2, 3, 4, otrzymamy:

$$s_1 : s_2 : s_3 : s_4 = 1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2$$

Widzimy więc, że droga przebyta w czasie dwóch sekund jest czterokrotnie większa od drogi przebytej w czasie pierwszej sekundy, a w czasie trzech sekund – dziewięciokrotnie większa niż w czasie 1 s.

W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym drogi przebyte przez ciało mają się do siebie jak kwadraty czasu, w którym ciało przebywa te drogi.

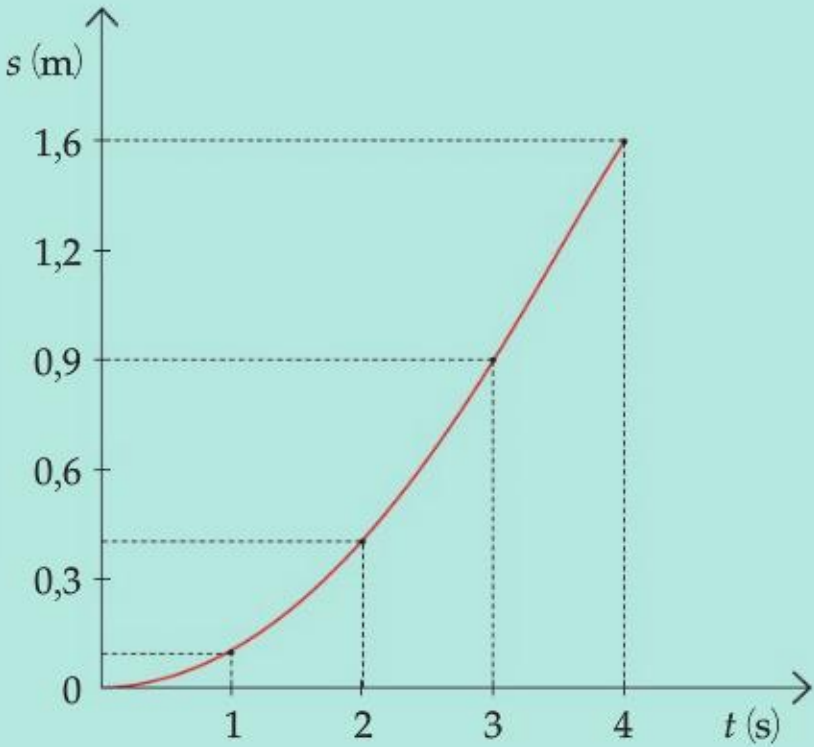
Oznacza to, że np. w dwukrotnie dłuższym czasie ciało poruszające się ruchem jednostajnie przyspieszonym przebędzie czterokrotnie dłuższą drogę, czyli **droga rośnie wprost proporcjonalnie do kwadratu czasu**.

Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym

Spróbuj teraz narysować wykres zależności drogi od czasu, skorzystaj z wyników doświadczenia z kulką staczającą się po równi pochyłej.

$t \text{ (s)}$	1	2	3	4
$s \text{ (m)}$	0,1	0,4	0,9	1,6

Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym przyspieszonym jest częścią krzywej zwanej parabolą, której wierzchołek znajduje się w początku układu współrzędnych (parabolę poznasz w szkole średniej).



Przykład 31.

Pojazd rusza z miejsca i jedzie ruchem jednostajnie przyspieszonym. W drugiej sekundzie ruchu przebywa drogę 1,5 m. Jaką drogę przebędzie w trzeciej sekundzie, a jaką – w czasie trzech sekund?

Dane:

$$\Delta s_2 = 1,5 \text{ m}$$

$$\Delta t = 1 \text{ s}$$

Szukane:

$$\Delta s_3 = ?$$

$$s_3 = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy z informacji, że drogi przebyte przez ciało w kolejnych sekundach ruchu jednostajnie przyspieszonego mają się do siebie jak kolejne liczby nieparzyste:

$$\Delta s_1 : \Delta s_2 : \Delta s_3 = 1 : 3 : 5$$

Z zależności tej otrzymujemy: $\frac{\Delta s_1}{\Delta s_2} = \frac{1}{3}$

Obliczamy: $\Delta s_1 = \frac{\Delta s_2}{3}$

$$\Delta s_1 = \frac{1,5 \text{ m}}{3} = 0,5 \text{ m}$$

Aby obliczyć Δs_3 , korzystamy z zależności: $\frac{\Delta s_1}{\Delta s_3} = \frac{1}{5}$

stąd obliczamy: $\Delta s_3 = 5 \cdot \Delta s_1$

$$\Delta s_3 = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ m}$$

Wiadomo, że: $\Delta s_1 = s_1$

Z zależności $s_1 : s_2 : s_3 = 1 : 4 : 9$ wiemy, że: $\frac{s_1}{s_3} = \frac{1}{9}$,

stąd obliczamy: $s_3 = 9 \cdot s_1$

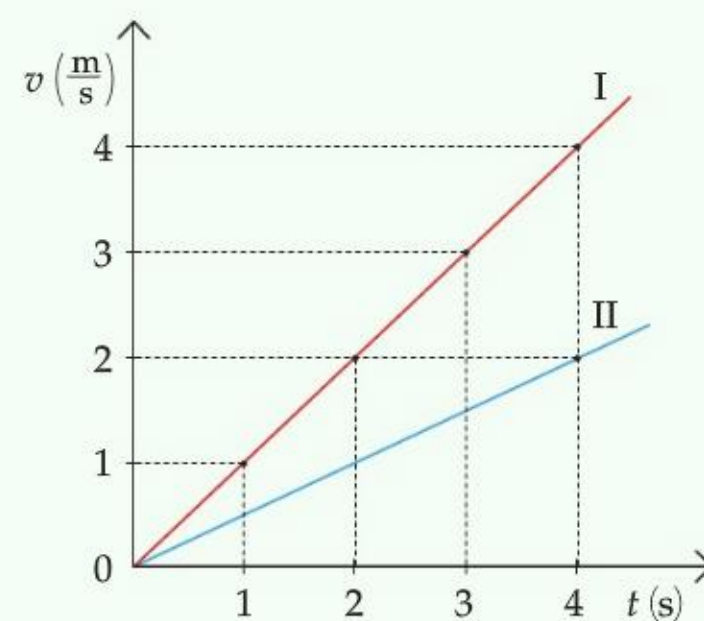
$$s_3 = 9 \cdot 0,5 = 4,5 \text{ m}$$

Odpowiedź: Pojazd w trzeciej sekundzie ruchu przebywa drogę równą 2,5 m, a w czasie trzech pierwszych sekund – drogę 4,5 m.

Przykład 32.

Na wykresach I i II przedstawiono zależność wartości prędkości od czasu dla dwóch ciał.

Wykresy to półproste wychodzące z początku układu współrzędnych, nachylone pod różnymi, ale ostrymi kątami. Oznacza to, że szybkość początkowa obu ciał wynosiła 0 i ruch ciał jest ruchem jednostajnie przyspieszonym. Szybkość pojazdu I rośnie w każdej sekundzie o $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a pojazdu II – o $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

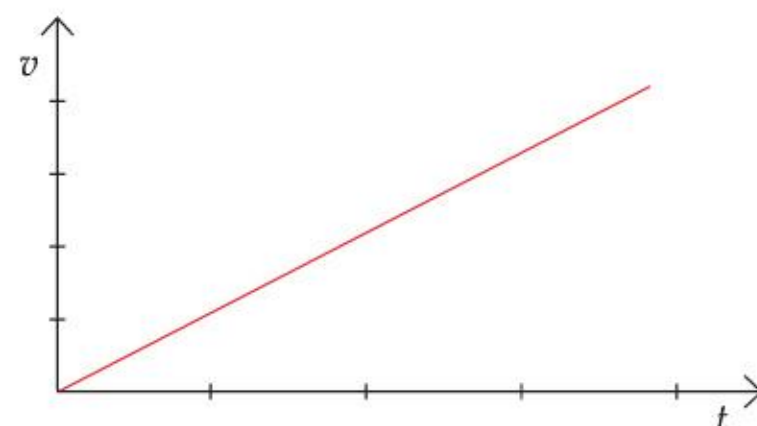




Najlepszym sprinterem wśród zwierząt jest gepard, który w pogoni za zdobyczą może osiągnąć szybkość $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (jednak tylko na krótkim dystansie). W trakcie gwałtownego biegu temperatura jego ciała wzrasta od $38,5^{\circ}\text{C}$ do 40°C . Gdyby taka temperatura utrzymywała się dłużej niż 1 minutę, mogłoby nastąpić uszkodzenie mózgu. Po takim biegu gepard siada i dyszy przez około 15 minut, aby ochłodzić ciało.

W skrócie

- Ruch, w którym w dowolnych, równych odstępach czasu wartość prędkości wzrasta o tę samą wartość, nazywamy ruchem jednostajnie przyspieszonym.
- Wykresem zależności wartości prędkości od czasu $v(t)$ w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych, nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.



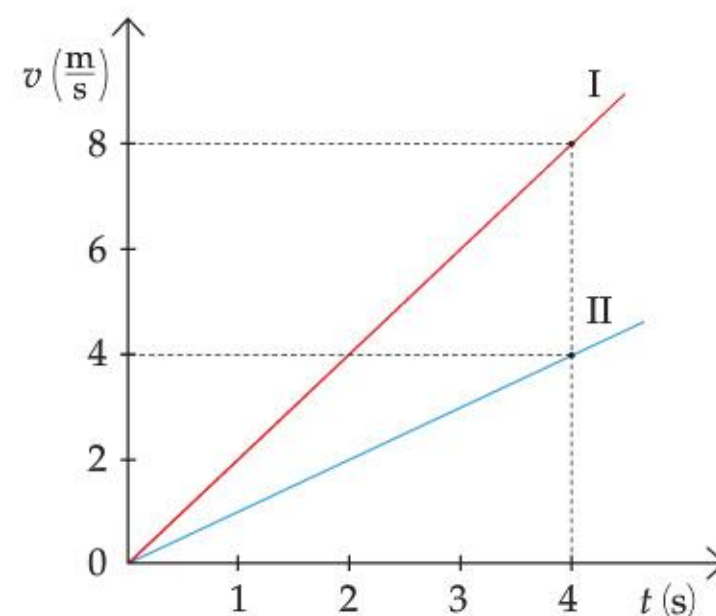
Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.

Ruch jednostajnie przyspieszony prostoliniowy to taki ruch, którego torem ruchu jest linia prosta,

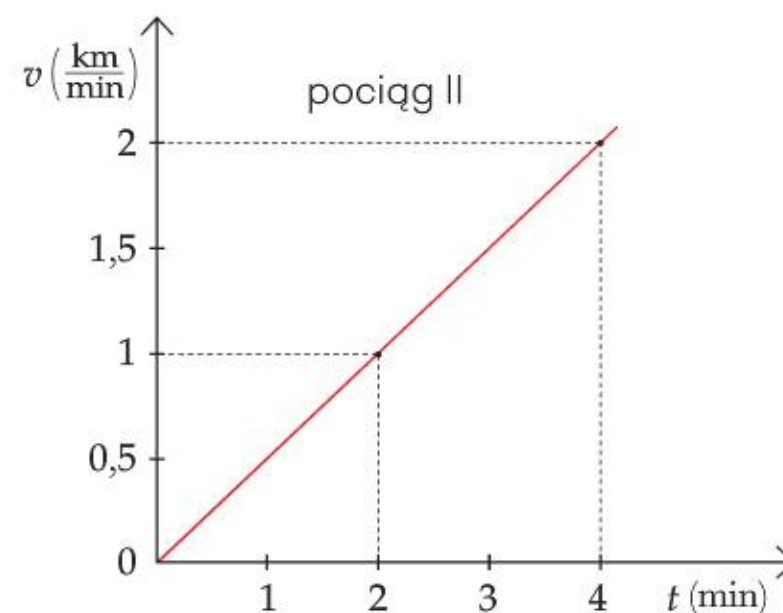
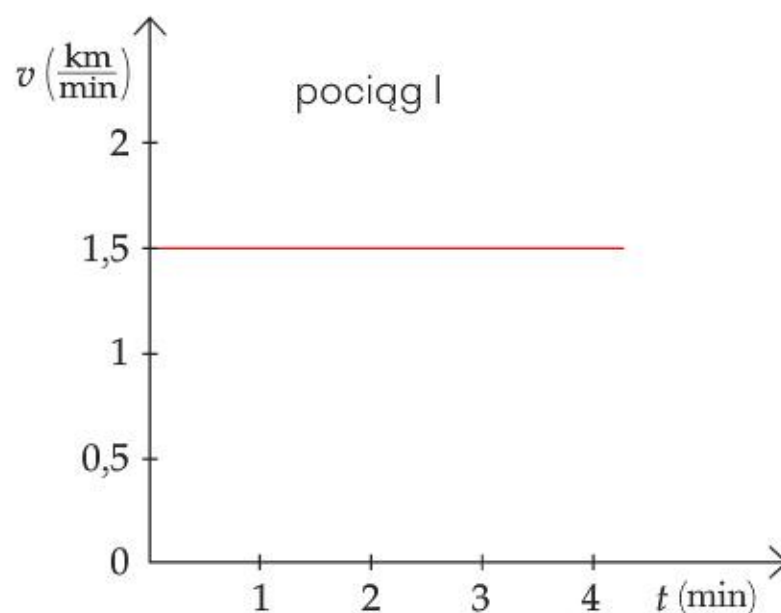
- A. a wartość prędkości jest stała.
- B. a droga przebyta przez ciało w równych przedziałach czasu jest taka sama.
- C. a wartość prędkości stale wzrasta w jednakowych odstępach czasu.

- 2 Z wykresu $v(t)$ odczytaj, o ile rosla wartość prędkości każdego z ciał w poszczególnych sekundach ruchu.



- 3 Na wykresach widzisz zależność szybkości od czasu dla ruchu dwóch pociągów.

- a) Określ przyrosty szybkości dla obu pociągów w kolejnych minutach ruchu. Jakimi ruchami poruszały się pociągi w tym czasie?
- b) Jaką szybkość w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ osiągnął pociąg II po 3 min ruchu?



5.7 Przyspieszenie w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym

Podejmij temat

- Jak wiesz, najlepszym sprinterem wśród zwierząt jest gepard, który w niecałe 4 sekundy osiąga szybkość $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Co możesz powiedzieć o zmianie jego szybkości?

Wartość przyspieszenia

W poprzednim paragrafie stwierdziliśmy, że średnia wartość prędkości w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wzrastała w każdej sekundzie o tę samą wartość. Możemy zatem powiedzieć, że w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym przyrost wartości prędkości w określonym czasie ma wartość stałą.

W fizyce zmianę wartości prędkości w czasie nazywamy **wartością przyspieszenia** i obliczamy w następujący sposób:

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

a – wartość przyspieszenia, Δv – przyrost (zmiana) wartości prędkości,
 Δt – czas, w którym ten przyrost nastąpił

Jeśli zaczynamy mierzyć czas w chwili t_0 (czyli $t_0 = 0$), w której ciało ma wartość prędkości równą v_0 , to:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{v - v_0}{t - 0} = \frac{v - v_0}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$
$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

Przyspieszenie informuje nas, jaki przyrost szybkości nastąpił w jednostce czasu.

W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wartość przyspieszenia ma stałą wartość ($a = \text{const}$).

Jednostka wartości przyspieszenia

Sprawdźmy, w jakich jednostkach wyrażamy wartość przyspieszenia. Po podstawieniu do wzoru jednostek wartości prędkości i czasu otrzymujemy:

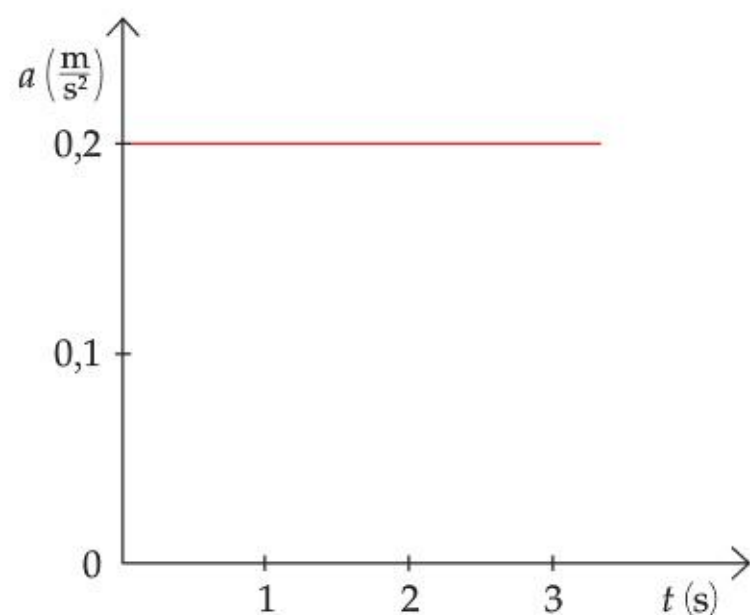
$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ czytaj: metr na sekundę do kwadratu.

Wartość przyspieszenia można również podać w innych jednostkach (choć bardzo rzadko stosowanych), np. w $\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$.



Przyspieszenie ($\vec{a}$), podobnie jak prędkość ($\vec{v}$), jest wielkością wektorową. W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym zwrot przyspieszenia jest zgodny ze zwrotem prędkości. My będziemy mówić tylko o wartości przyspieszenia. Więcej informacji o przyspieszeniu uzyskasz w szkole średniej.



5.16 Zależność wartości przyspieszenia od czasu

Wykres wartości przyspieszenia

Przypomnij sobie doświadczenie, w którym kulka staczała się z równi. W pierwszej sekundzie ruchu szybkość kulki rosła od 0 do $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, w drugiej sekundzie od $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ i tak samo w kolejnych. Dla badanego ruchu wartość przyspieszenia wynosi:

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

Wykres zależności wartości przyspieszenia od czasu $a(t)$ dla omawianego ruchu przedstawia rysunek obok (il. 5.16).

W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wykresem wartości przyspieszenia od czasu $a(t)$ jest półprosta równoległa do osi czasu.

Przykład 33.

Samochód jadący z szybkością $54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, chcąc wyprzedzić traktor, zwiększył szybkość do $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ w czasie 5 s. Oblicz wartość przyspieszenia samochodu.

Dane:

$$v_1 = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 54 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 90 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = 5 \text{ s}$$

Szukane:

$$a = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na wartość przyspieszenia

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

ponieważ $\Delta v = v_2 - v_1$, to

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

Po podstawieniu wartości liczbowych:

$$a = \frac{25 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = \frac{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}}$$

$$a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Wartość przyspieszenia samochodu wynosiła $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Wartość prędkości w ruchu jednostajnie przyspieszonym

Rozpatrzmy przypadek, gdy spoczywające ciało ($v_0 = 0$) zaczęło poruszać się ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Gdy przekształcimy wzór $a = \frac{\Delta v}{t}$, możemy obliczyć wartość prędkości ciała po dowolnym czasie trwania ruchu:

$$a = \frac{v - v_0}{t}, \text{ gdy } v_0 = 0, \text{ wówczas } a = \frac{v - 0}{t}, \text{ czyli } a = \frac{v}{t}.$$

Wartość prędkości (szybkość) w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym bez szybkości początkowej jest równa iloczynowi wartości przyspieszenia i czasu trwania ruchu.

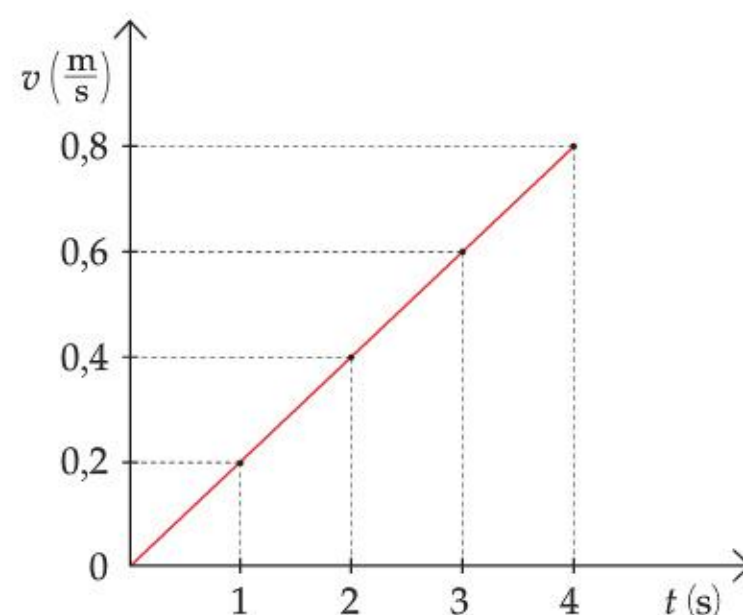
$$v = a \cdot t$$

Jeśli szybkość początkowa jest różna od zera ($v_0 \neq 0$), to po przekształceniu wzoru $a = \frac{v - v_0}{t}$ otrzymujemy $v = v_0 + a \cdot t$.

Wykorzystujemy ponownie wyniki doświadczenia z kulą ($a = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$), obliczamy wartości prędkości po pierwszej, drugiej, trzeciej, czwartej sekundzie, korzystając ze wzoru: $v = a \cdot t$

- $v_1 = a \cdot t_1 = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ s} = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $v_2 = a \cdot t_2 = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2 \text{ s} = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $v_3 = a \cdot t_3 = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ s} = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $v_4 = a \cdot t_4 = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 \text{ s} = 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Na podstawie tych danych sporządzamy wykres zależności wartości prędkości od czasu $v(t)$ (il. 5.17).



5.17 Wykres zależności $v(t)$ wykonany po obliczeniach.

Przykład 34.

Bartek ruszył rowerem z miejsca i poruszał się ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym. Jechał przez 6 s z przyspieszeniem $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, a następnie poruszał się ruchem jednostajnym prostoliniowym z uzyskaną wartością prędkości. Oblicz wartość prędkości Bartka, jaką osiągnął po 6 s, i wyraż ją w $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ i $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Narysuj wykres $v(t)$ w czasie 10 s od chwili rozpoczęcia ruchu.

Dane:

$$t_1 = 6 \text{ s}$$

$$a = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

Szukane:

$$v = ?$$

Rozwiązanie:

Wartość prędkości Bartka po sześciu sekundach ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego obliczymy ze wzoru:

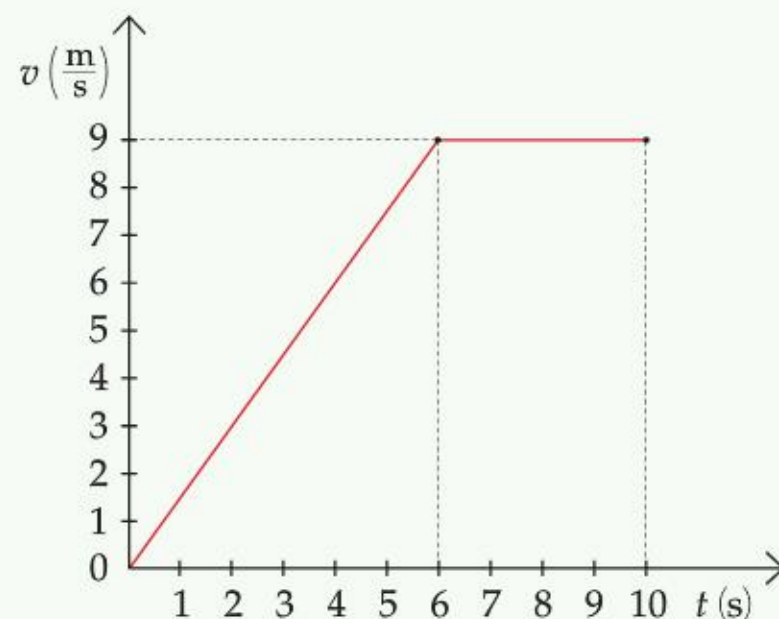
$$v = a \cdot t_1 = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6 \text{ s} = 9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Obliczoną wartość prędkości wyrazimy w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$:

$$v = 9 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 9 \cdot \frac{\frac{1}{1000} \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = \frac{9 \cdot 3600 \text{ km}}{1000 \text{ h}} = 32,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Narysujemy wykres $v(t)$ dla ruchu Bartka w ciągu 10 s – 6 s ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym i 4 s ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Odpowiedź: Bartek osiągnął szybkość $9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, czyli $32,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.



Droga w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym

Z definicji wartości prędkości średniej wynika, że drogę w każdym ruchu możemy obliczyć jako iloczyn wartości prędkości średniej i czasu trwania ruchu.

$$s = v_{\text{sr}} \cdot t$$

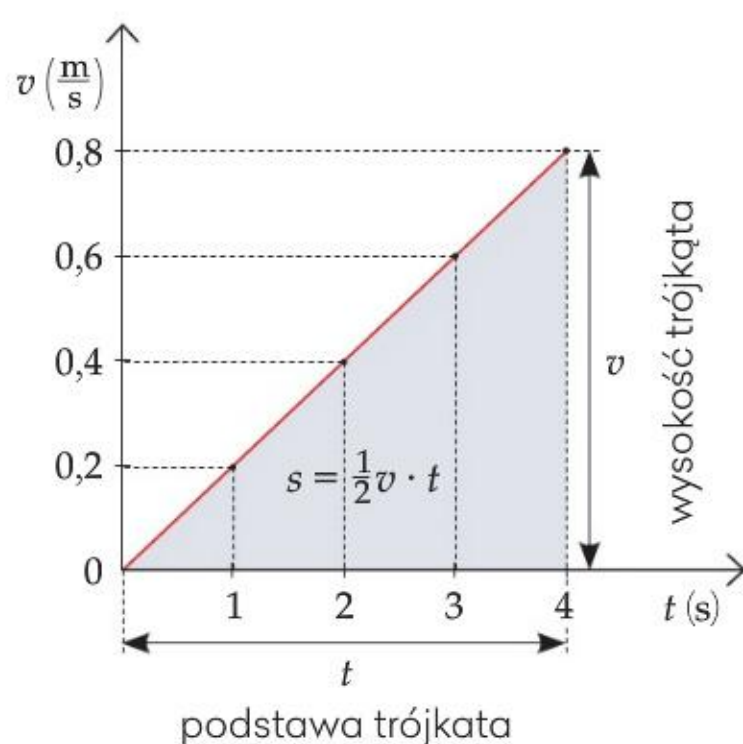
Założmy, że spoczywające ciało rusza z miejsca ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym. Ponieważ wartość prędkości wzrasta w czasie t (od 0) od wartości początkowej $v_0 = 0$ do wartości $v = a \cdot t$ jednostajnie, to wartość prędkości średniej możemy wyrazić jako średnią arytmetyczną wartości prędkości początkowej i końcowej.

$$v_{\text{sr}} = \frac{v_0 + v}{2}, \text{ to } v_{\text{sr}} = \frac{v}{2}, \text{ jeśli } v_0 = 0$$

$$\text{ostatecznie: } v_{\text{sr}} = \frac{v}{2} = \frac{a \cdot t}{2} \text{ zatem: } s = \frac{a \cdot t}{2} \cdot t, \text{ czyli } s = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Droga przebyta ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym bez szybkości początkowej jest wprost proporcjonalna do kwadratu czasu trwania ruchu.

Jak wiesz, zależność tę stwierdziliśmy doświadczalnie, co zostało przedstawione na wykresie na s. 146 (*Więcej na temat*).



5.18 Schemat obliczania drogi na podstawie wykresu zależności wartości prędkości od czasu

Obliczanie drogi z wykresu $v(t)$

Wartość przebytej drogi możemy również obliczyć jak pole figury pod wykresem $v(t)$. Tę samą metodę zastosowaliśmy, gdy obliczaliśmy drogę w ruchu jednostajnym prostoliniowym.

Narysujmy więc wykres $v(t)$ dla ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego ciała, które rusza z miejsca, czyli jego szybkość początkowa równa jest zero (il. 5.18). Ponieważ szybkość ciała w tym ruchu wzrasta jednostajnie, to wykresem będzie półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych, nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.

W tym przypadku jest to pole trójkąta, które obliczamy:

$$P_{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot \text{podstawa} \cdot \text{wysokość},$$

gdzie:

- podstawa odpowiada przedziałowi czasu, w którym ruch obserwujemy,
- wysokość odpowiada wartości prędkości chwilowej, jaką ciało uzyskało po czasie t .

Wartość drogi s możemy obliczyć ze wzoru:

$$s = \frac{1}{2} t \cdot v \text{ lub } s = \frac{1}{2} v \cdot t$$

Gdy do wzoru na drogę podstawimy za v wartość prędkości uzyskaną po czasie t , czyli, $v = a \cdot t$, to otrzymamy:

$$s = \frac{1}{2} v \cdot t = \frac{1}{2} a \cdot t \cdot t = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Z tego wzoru możesz obliczyć drogę, którą ciało przebywa w czasie t w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem o wartości a , gdy szybkość początkowa równa jest zero ($v_0 = 0$).

Przykład 35.

Ciało ruszyło z miejsca ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym i uzyskało szybkość $3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ w czasie 5 s. Oblicz wartość przyspieszenia ciała oraz drogę przebytą w tym czasie.

Dane:

$$v = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = 5 \text{ s}$$

Szukane:

$$a = ?$$

$$s = ?$$

Rozwiązanie:

Wartość przyspieszenia obliczymy ze wzoru: $a = \frac{v}{t}$

$$a = \frac{3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = 0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Do obliczenia drogi wykorzystujemy wzór: $s = \frac{a \cdot t^2}{2}$

$$s = \frac{0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5 \text{ s})^2}{2} = \frac{0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 25 \text{ s}^2}{2} = \frac{17,5 \text{ m}}{2} = 8,75 \text{ m}$$

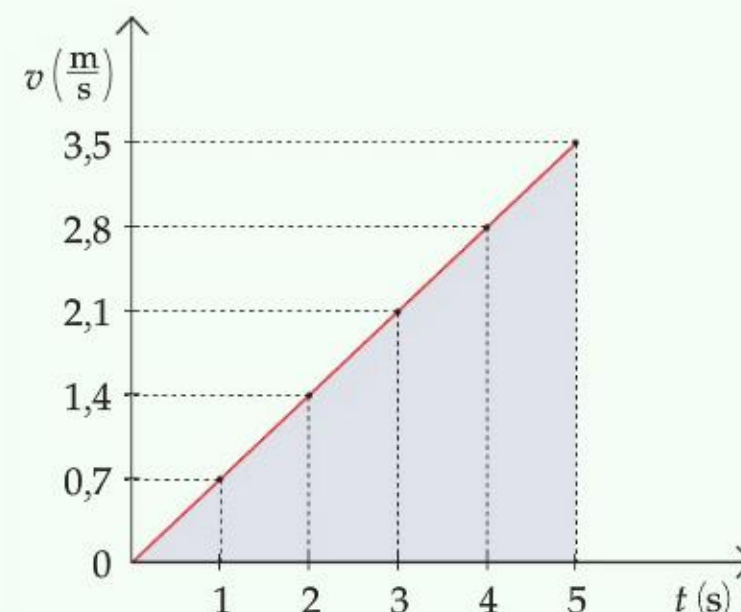
Znając wartość przyspieszenia, możemy narysować wykres $v(t)$, korzystając z zależności: $v = a \cdot t$

Z wykresu możemy obliczyć drogę, korzystając ze wzoru: $s = \frac{1}{2} v \cdot t$

$$s = \frac{1}{2} \cdot 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5 \text{ s} = 8,75 \text{ m}$$

Odpowiedź: Wartość przyspieszenia ciała wynosiła $0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Ciało to przebyło drogę 8,75 m.



Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony w przyrodzie

Przykładem ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego występującego w przyrodzie jest **spadanie swobodne** ciał (o czym dowiesz się więcej w dalszej części podręcznika). Taki ruch zachodzi wtedy, gdy można pominąć opory powietrza, a ciało uniesione na niewielkie w stosunku do promienia Ziemi wysokości spada na jej powierzchnię. Przyspieszenie swobodnego spadania nazywamy **przyspieszeniem ziemskim** i oznaczamy literą g (od greckiego słowa *geo*, czyli 'ziemia').

Dla Polski średnia wartość $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Do opisu swobodnego spadania ciał stosujemy poznane przez nas wzory określające ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony bez prędkości początkowej, z tą różnicą, że drogę (wysokość) oznaczamy literą h , a przyspieszenie literą g , gdyż jest to przyspieszenie ziemskie.

Mamy zatem:

$$v = g \cdot t$$

$$\text{oraz } h = \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Przy rozwiązywaniu zadań najczęściej przyjmuje się wartość:

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Przykład 36.

Odległość chmury deszczowej od powierzchni Ziemi może wynosić około 1,62 km. Zakładając, że krople deszczu spadają ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem ziemskim, oblicz czas ich spadku z tej chmury na ziemię.

Dane:

$$h = 1,62 \text{ km} = 1620 \text{ m}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$t = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystając z zależności: $h = \frac{g \cdot t^2}{2}$

po przekształceniu: $t^2 = \frac{2h}{g}$

wyznaczamy t : $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

i podstawiamy dane: $t = \sqrt{\frac{2 \cdot 1620 \text{ m}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = \sqrt{324 \text{ s}^2} = 18 \text{ s}$

Odpowiedź: Czas spadania kropli deszczu na ziemię wynosi $t = 18 \text{ s}$.

Ciekawe!



Narciarz w czasie zjazdu może osiągać wartość prędkości dochodzącą do $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Simone Origone uzyskał wynik $252,454 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, co stanowi aktualny rekord.

W skrócie

- W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wartość przyspieszenia obliczamy, dzieląc przyrost wartości prędkości przez czas, w którym ten przyrost nastąpił:

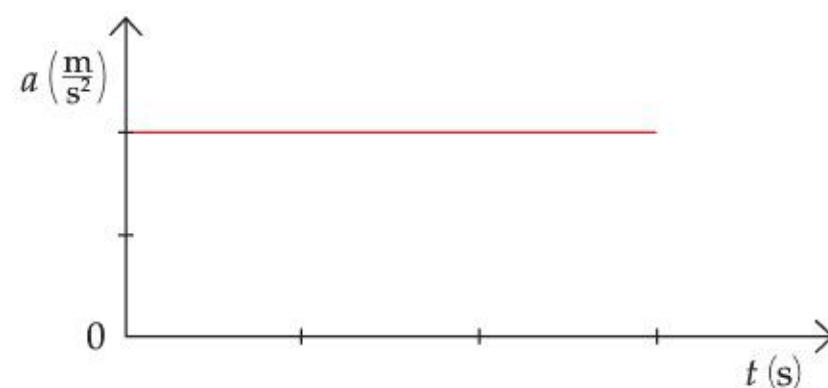
$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

- W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wartość przyspieszenia ma stałą wartość ($a = \text{const}$). Wartość przyspieszenia informuje nas, o ile wzrasta szybkość ciała w jednostce czasu.

- Jednostką wartości przyspieszenia jest $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

- Przyspieszenie jest wielkością wektorową.

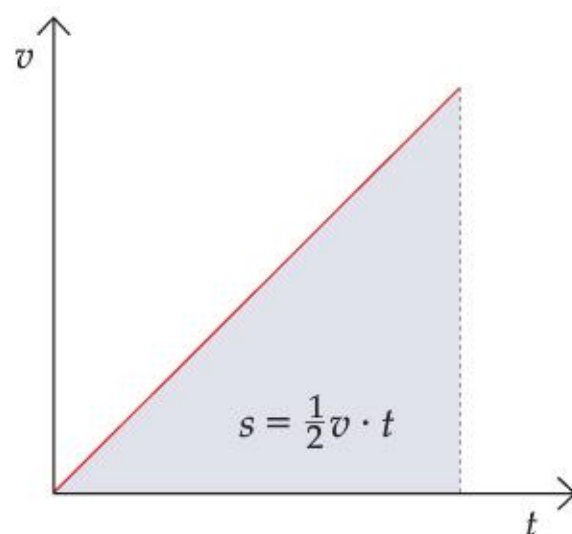
- Wykresem wartości przyspieszenia od czasu $a(t)$ jest półprosta równoległa do osi czasu.



- Wartość prędkości (szybkość) w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym bez szybkości początkowej jest równa iloczynowi wartości przyspieszenia i czasu trwania ruchu:

$$v = a \cdot t$$

- Droga przebyta ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym bez szybkości początkowej jest wprost proporcjonalna do kwadratu czasu trwania ruchu. Wartość przebytej drogi możemy obliczyć jak pole figury pod wykresem $v(t)$, ze wzoru $s = \frac{1}{2}v \cdot t$.



- Wszystkie ciała spadają swobodnie ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym ze stałym przyspieszeniem o wartości $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$, zwanym przyspieszeniem ziemskim.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

1. Pasażerowi lecącemu balonem wypadło jabłko i spada z przyspieszeniem o wartości $10 \frac{m}{s^2}$.

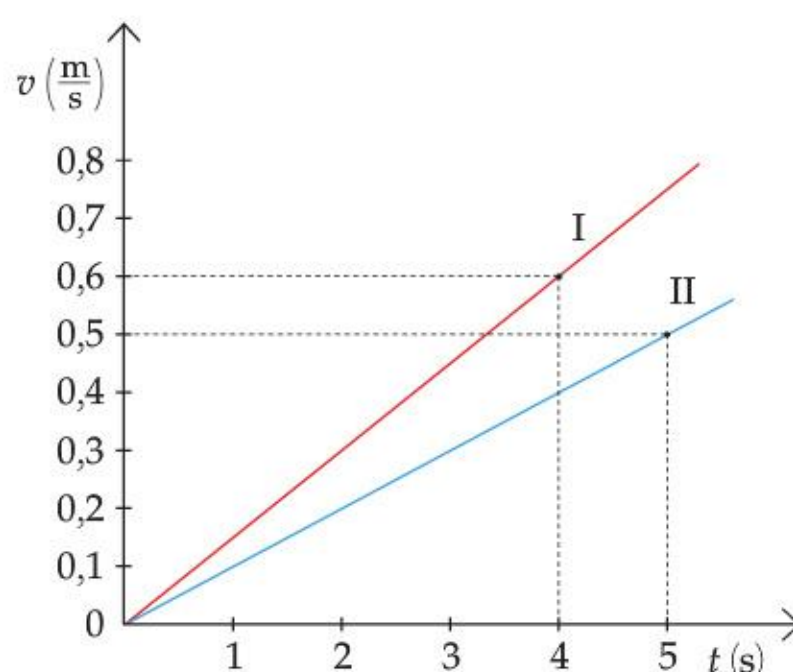
- a) Podaj, bez korzystania ze wzoru, ile wynosiła szybkość jabłka:
 - a. po pierwszej sekundzie ruchu,
 - b. po dwóch sekundach ruchu,
 - c. po trzech sekundach ruchu,
 - d. po pięciu sekundach ruchu, w chwili uderzenia o ziemię.
- b) Oblicz szybkość jabłka w chwili uderzenia o ziemię.
- c) Narysuj wykres $v(t)$ dla ruchu tego jabłka.
- d) Na podstawie wykresu $v(t)$ oblicz, jaką drogę przebyło jabłko.

2. Oblicz wartość przyspieszenia pocisku poruszającego się ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wewnątrz lufy karabinu sportowego o długości 1,25 m, jeżeli wartość prędkości pocisku przy wylocie wynosi $800 \frac{m}{s}$.

3. Oblicz wartość przyspieszenia startującego samolotu, który w czasie 20 s od chwili startu osiągnął szybkość 360 km/h, poruszając się ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym. Sporządź wykres $v(t)$ dla ruchu samolotu i oblicz, jaką drogę przebył samolot w tym czasie.

4. Na podstawie zależności $v(t)$ przedstawioną na rysunku oblicz wartości przyspieszenia ciał.

- a) Jaka będzie odległość między tymi ciałami po 5 sekundach ruchu?
- b) Jaka będzie różnica wartości prędkości tych ciał po tym czasie?
- c) Ile razy wartość prędkości ciała I jest większa od wartości prędkości ciała II po 5 sekundach ruchu?
- d) Przedstaw na wykresie $a(t)$ dla ruchu tych ciał.



Ciekawe!



Najszybszym zwierzęciem na świecie jest sokół wędrowny, który w trakcie ataku, czyli w locie nurkowym, może zwiększyć szybkość od $90 \frac{km}{h}$ do $389 \frac{km}{h}$ (największa zmierzona wartość prędkości).

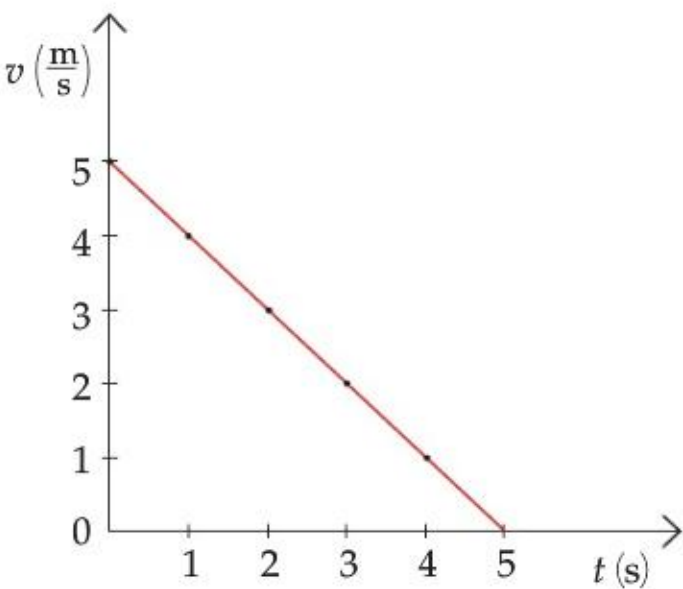
5.8 Ruch prostoliniowy jednostajnie opóźniony

Podejmij temat

● Czy czas wznoszenia jest równy czasowi spadania?



Wspominaliśmy, że przyspieszenie jest wielkością wektorową. W związku z tym wartość przyspieszenia (długość wektora) nie może być ujemna. Dlatego właśnie wartość przyspieszenia obliczamy z podanego wzoru. Zawsze od większej wartości prędkości odejmujemy mniejszą. Dlaczego tak jest, dowiesz się, gdy poznasz rachunek wektorowy.



5.19 Wykres zależności wartości prędkości od czasu

Jaki ruch nazywamy prostoliniowym jednostajnie opóźnionym?

Wiesz już, że ruch niejednostajny (zmienny) może być też opóźniony. Jako przykłady takiego ruchu można podać hamowanie samochodu lub pociągu czy rzut pionowy do góry.

Jeżeli wartość prędkości maleje w każdej sekundzie ruchu o tę samą wartość, to ruch taki nazywamy jednostajnie opóźnionym.

Ruch prostoliniowy jednostajnie opóźniony opisujemy takimi samymi wielkościami jak ruch jednostajnie przyspieszony.

Wartość przyspieszenia w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym

Wartość przyspieszenia (zwanego czasami opóźnieniem) w ruchu opóźnionym obliczamy ze wzoru:

$$a = \frac{v_0 - v}{t}$$

v_0 – wartość prędkości początkowej, v – wartość prędkości końcowej

Wielkość ta informuje nas, o ile maleje wartość prędkości ciała w jednostce czasu. W ruchu jednostajnie opóźnionym przyspieszenie ma stałą wartość.

Wykres wartości prędkości w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym

Rozpatrzmy przypadek ciała, którego szybkość początkowa wynosi $5 \frac{m}{s}$ i w każdej sekundzie ruchu maleje o $1 \frac{m}{s}$.

W tabeli zamieszczono wartości prędkości po kolejnych sekundach ruchu.

t (s)	0	1	2	3	4	5
v (m/s)	5	4	3	2	1	0

W układzie współrzędnych zaznaczamy punkty o współrzędnych (0, 5), (1, 4), (2, 3), (3, 2), (4, 1) oraz (5,0). Następnie łączymy je prostą, czyli rysujemy wykres zależności wartości prędkości od czasu (il. 5.19).

Drogę s w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym, jaką przebyło ciało do momentu zatrzymania, obliczymy jak pole powierzchni trójkąta zacienionego na wykresie $v(t)$, ze wzoru:

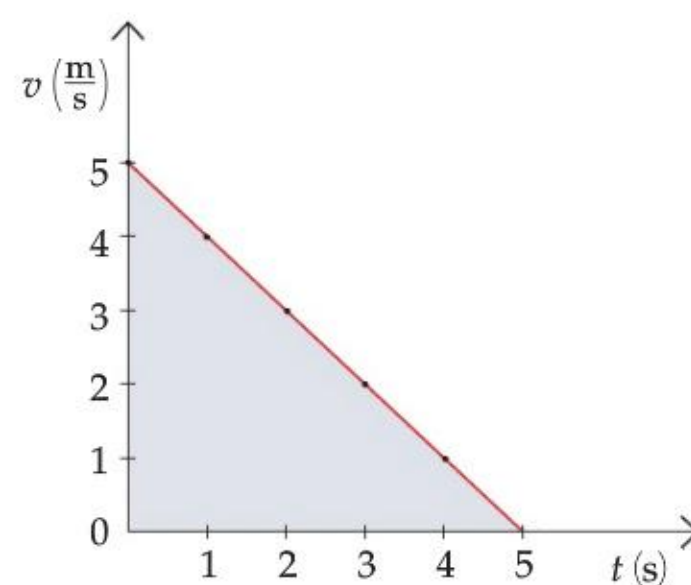
$$s = \frac{1}{2} v_0 \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5 \text{ s} = 12,5 \text{ m}$$

Z naszych obliczeń wynika, że ciało przebyło drogę 12,5 m do momentu zatrzymania się.

Wartość przyspieszenia ciała z omawianego przykładu wynosi:

$$a = \frac{v_0 - v}{t} = \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



5.20 Pole zacienionej figury jest liczbowo równe drodze przebytej przez ciało

Więcej na temat

Wektory prędkości i przyspieszenia w ruchu prostoliniowym jednostajnie zmiennym

Jak wiesz, prędkość i przyspieszenie są wielkościami wektorowymi. Zobacz, jak powinny być narysowane wektory prędkości i przyspieszenia w ruchu jednostajnie przyspieszonym i w ruchu jednostajnie opóźnionym. Ruch odbywa się po prostej stale w tę samą stronę.

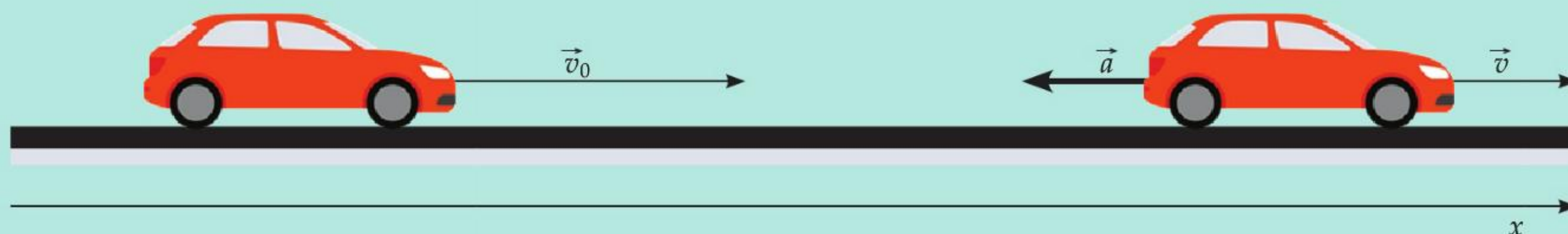
Samochód się rozpędza



Wartość wektora prędkości rośnie: $v > v_0$

Zwrot wektora przyspieszenia jest zgodny ze zwrotem wektora prędkości.

Samochód hamuje



Wartość wektora prędkości maleje: $v < v_0$

Zwrot wektora przyspieszenia jest przeciwny do zwrotu wektora prędkości.



Pamiętaj, że droga jest zawsze wielkością nieujemną i dla każdego ciała w ruchu rośnie.



Jak obliczyć wartość prędkości w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym?

Jak już wiesz, wartość przyspieszenia w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym możesz obliczyć ze wzoru: $a = \frac{v_0 - v}{t}$

Jeśli ciało po czasie t zatrzymuje się, to oznacza, że końcowa wartość prędkości $v = 0$ i wtedy $a = \frac{v_0}{t}$, a stąd $v_0 = a \cdot t$.

Obliczmy teraz wartość prędkości ciała v po czasie t trwania ruchu.

W tym celu mnożymy przez czas t obie strony wzoru na przyspieszenie w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym:

$$a = \frac{v_0 - v}{t} \quad | \cdot t$$

$$a \cdot t = v_0 - v$$

$$\text{stąd } v = v_0 - a \cdot t$$

Drogę s w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym, gdy $v = 0$, obliczamy, stosując taki sam wzór jak w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym, gdy $v_0 = 0$, a więc: $s = \frac{at^2}{2}$.

Przykład 37.

Wartość prędkości początkowej ciała wynosi $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a wartość przyspieszenia wynosi $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz wartość prędkości ciała po 3 sekundach w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym.

Dane:

$$v_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

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

Szukane:

$$v = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na wartość prędkości ciała po czasie t : $v = v_0 - a \cdot t$

po podstawieniu wartości: $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ s} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Odpowiedź: Wartość prędkości ciała po 3 sekundach ruchu wynosi $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Przykład 38.

Z jaką szybkością należy wyrzucić ciało pionowo do góry, aby wzniosło się na wysokość 20 m? Oblicz czas wznoszenia się ciała. Przyjmij $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Dane:

$$h = 20 \text{ m}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$t = ?$$

$$v_0 = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystając z zależności: $h = \frac{g \cdot t^2}{2}$

po przekształceniu: $t^2 = \frac{2h}{g}$

wyznaczamy t : $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

podstawiamy dane: $t = \sqrt{\frac{40 \text{ m}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = \sqrt{4 \text{ s}^2} = 2 \text{ s}$

Wartość szybkości początkowej obliczamy z zależności: $v_0 = g \cdot t$

$v_0 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2 \text{ s} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Odpowiedź: Ciało należy wyrzucić z szybkością $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Czas wznoszenia wynosi $t = 2 \text{ s}$.

W skrócie

- Ruchem jednostajnie opóźnionym nazywamy ruch, w którym wartość prędkości maleje w każdej sekundzie ruchu o tę samą wartość.
- Wartość przyspieszenia (zwanego czasami opóźnieniem) w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym obliczamy ze wzoru:

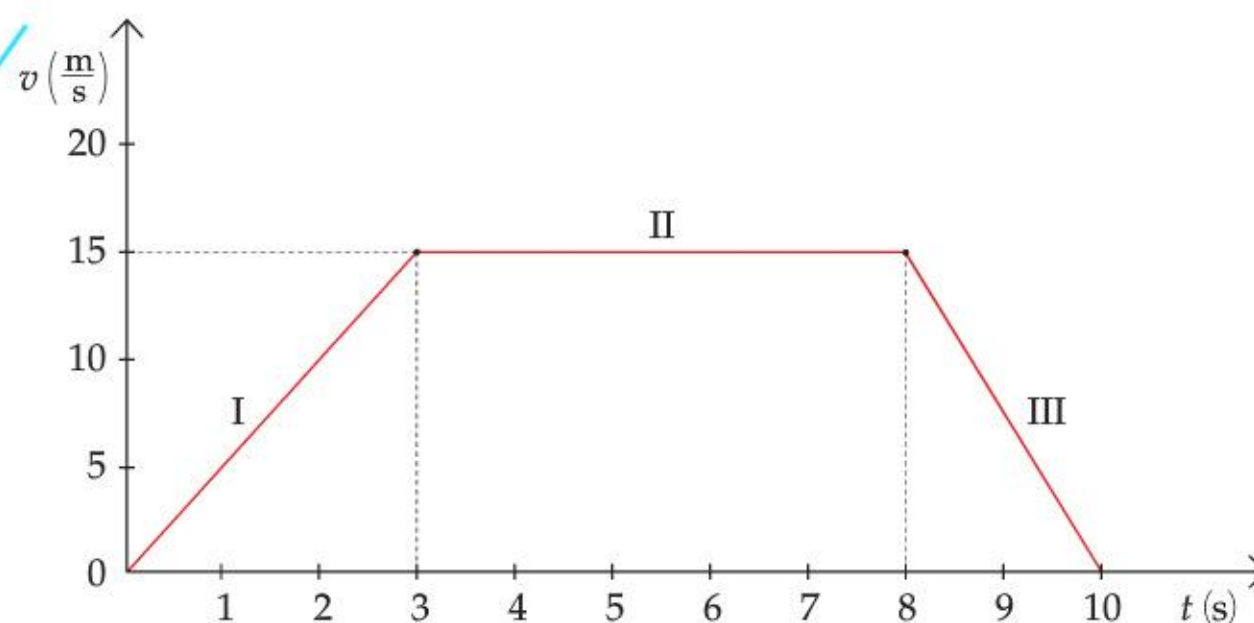
$$a = \frac{v_0 - v}{t}$$

- Wielkość ta informuje nas, o ile maleje wartość prędkości ciała w jednostce czasu. W ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym przyspieszenie ma stałą wartość.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Oblicz czas, w którym szybkość piłki $v_0 = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ rzuconej do góry zmaleje do zera. Skorzystaj tylko z informacji, że przyspieszenie piłki wynosi $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- Pociąg jadący ruchem jednostajnie opóźnionym z szybkością $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zahamował w ciągu 20 s.
 - Oblicz wartość przyspieszenia pociągu.
 - Oblicz drogę hamowania.

- 3 Jakimi ruchami poruszało się ciało na odcinkach I, II, III?
Oblicz drogę przebytą przez ciało oraz średnią wartość prędkości na całej drodze.



- Wyszukaj w internecie informacje na temat, co to jest przyspieszeniomierz (akcelerometr) i jakie ma zastosowanie.



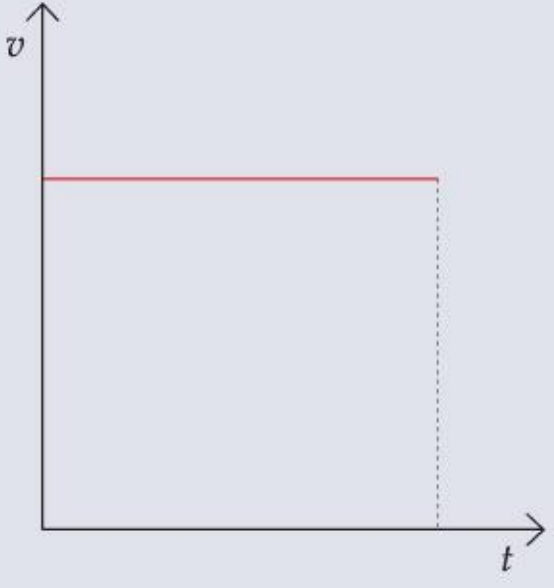
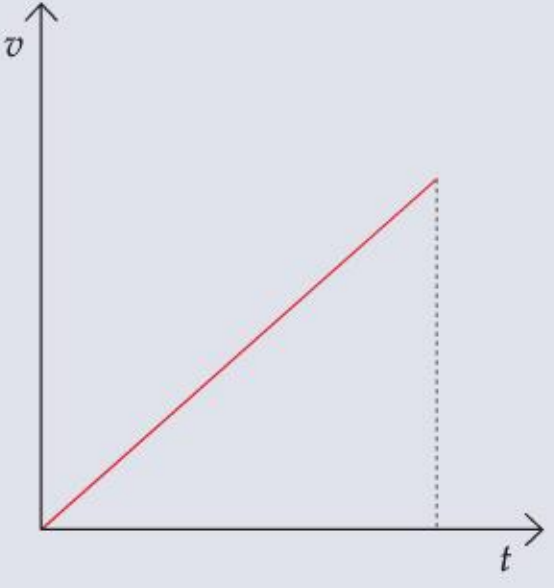
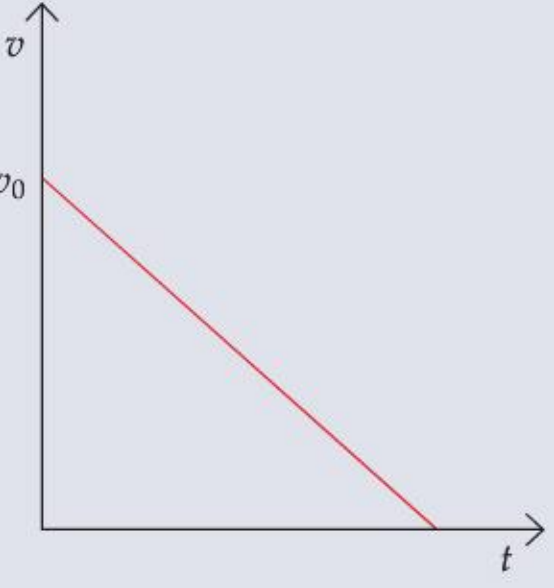
Podsumowanie działu 5

Ważne pojęcia

ruch spoczynek względność ruchu układ odniesienia układ współrzędnych tor ruch prostoliniowy
ruch krzywoliniowy jednowymiarowy układ współrzędnych dwuwymiarowy układ współrzędnych
trójwymiarowy układ współrzędnych droga przemieszczenie szybkość wartość prędkości
prędkość średnia wartość prędkości wartość prędkości chwilowej szybkość chwilowa
prędkość chwilowa ruch jednostajny prostoliniowy wartość przyspieszenia przyspieszenie
ruch zmienny ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony ruch prostoliniowy jednostajnie opóźniony

Ruch to zmiana położenia ciała względem wybranego układu odniesienia.

Ruch – podział			
ze względu na tor	ze względu na prędkość		
prostoliniowy	jednostajny	zmienny	
krzywoliniowy		jednostajnie przyspieszony, jednostajnie opóźniony	niejednostajny

Ruch prostoliniowy			
	jednostajny	jednostajnie przyspieszony	jednostajnie opóźniony
wartość prędkości	$v = \frac{s}{t} = \text{const}$	$v = a \cdot t$ gdy $v_0 = 0$	$v = v_0 - a \cdot t$
wartość przyspieszenia	$a = 0$	$a = \frac{v - v_0}{t} = \text{const}$	$a = \frac{v_0 - v}{t} = \text{const}$
droga	$s = v \cdot t$	$s = \frac{at^2}{2}$	$s = \frac{v_0 t}{2}$ gdy $v_{\text{końcowa}} = 0$
wykres wartości prędkości od czasu			
obliczanie drogi z wykresu	$s = v \cdot t$	$s = \frac{1}{2} v \cdot t$	$s = \frac{1}{2} v_0 \cdot t$

Prędkość $\vec{v}$ jest wielkością wektorową; informuje nas nie tylko o tym, jak szybko ciało się porusza, ale również o kierunku i zwrocie ruchu ciała.

Punktem przyłożenia wektora prędkości jest ciało, które się porusza z określoną prędkością.

Długość wektora, zgodnie z przyjętą jednostką, określa wartość prędkości.

Kierunek ruchu określa prosta, na której wektor leży.

W którą stronę porusza się ciało wskazuje grot – zwrot wektora.



Szybkość v to wartość prędkości. Jednostką wartości prędkości jest $1 \frac{m}{s}$.

Wartość przyspieszenia obliczamy, dzieląc przyrost wartości prędkości przez czas, w którym ten przyrost nastąpił: $a = \frac{\Delta v}{t}$.

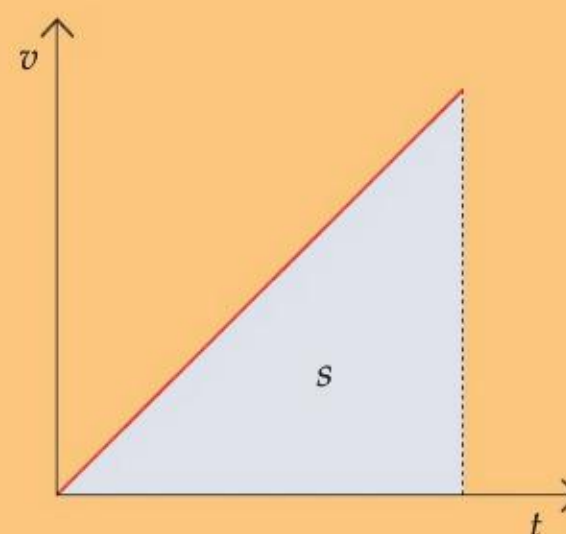
Wartość przyspieszenia w ruchu jednostajnie przyspieszonym informuje nas, o ile wzrasta szybkość ciała w jednostce czasu. W ruchu jednostajnie opóźnionym – o ile maleje szybkość ciała w jednostce czasu. Jednostką wartości przyspieszenia jest $1 \frac{m}{s^2}$.

Przyspieszenie jest wielkością wektorową.

Wszystkie ciała spadają swobodnie ruchem jednostajnie przyspieszonym ze stałym przyspieszeniem o wartości $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$, zwanym **przyspieszeniem ziemskim**.

Średnią szybkość w ruchu zmiennym, będącą ilorazem całkowitej drogi (s) i czasu (t), w którym została przebyta, obliczamy ze wzoru: $v_{sr} = \frac{s}{t}$

W dowolnym ruchu droga jest liczbowo równa polu pod wykresem $v(t)$.



Czy już umiesz? Sprawdź się!

1 Oceń prawdziwość podanych zdań.

Łódź płynąca z nurtem rzeki jest

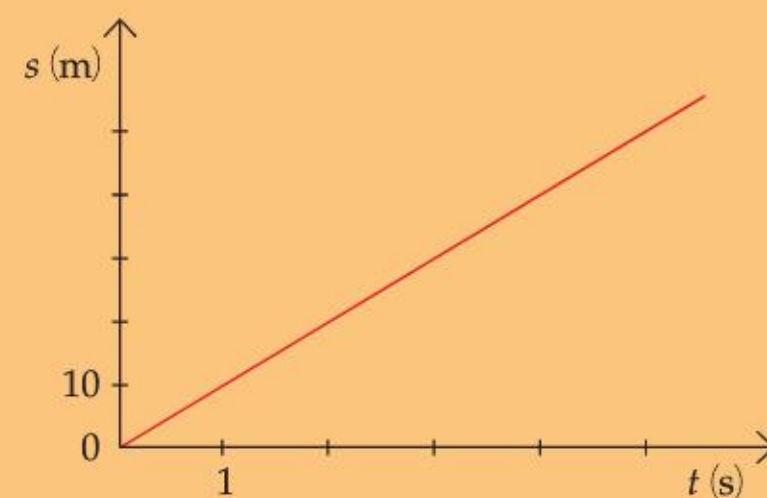
- A. w ruchu względem brzegu i rzeki.
- B. w ruchu względem brzegu, a w spoczynku względem rzeki.
- C. w spoczynku względem brzegu i rzeki.

2 Chłopiec pływa wzdłuż brzegów basenu (il. obok), pokonując każdy jego bok w czasie 10 s. Oblicz, jaką drogę i jaką średnią prędkość będzie miał chłopiec po upływie:

- a) 10 s,
- b) 20 s,
- c) 30 s,
- d) 40 s.



- 3 Wykres przedstawia zależność drogi przebytej przez ciało od czasu. Sporządź tabelę, uwzględniając zależność czasu $t(s)$ i drogi $s(m)$ dla tego ruchu. Następnie wybierz poprawne zakończenie zdania.



Z wykresu wynika, że ciało

- A. poruszało się ruchem przyspieszonym.
B. nie poruszało się.
C. poruszało się ze stałą szybkością.
D. poruszało się ruchem opóźnionym.
- 4 Przeczytaj zdania. Zamiast okienek wpisz dokończenie zdań.

Ciało, którego ruch został przedstawiony w zadaniu nr 3,

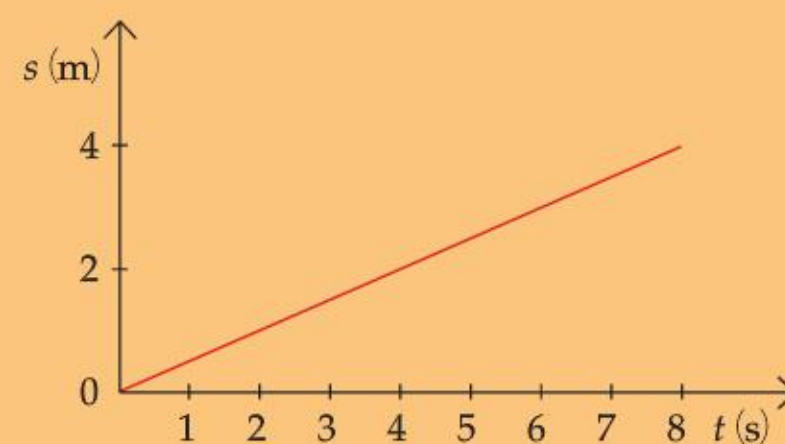
- a) w pierwszej sekundzie ruchu pokonało drogę . b) w trzeciej sekundzie ruchu pokonało drogę .
c) po dwóch sekundach ruchu pokonało drogę . d) w czasie 10 sekund ruchu pokonało drogę .

- 5 Ustal, która z wymienionych wartości prędkości jest największa, a która – najmniejsza.

- A. $v_1 = 20 \frac{m}{s}$ B. $v_2 = 20 \frac{cm}{s}$ C. $v_3 = 20 \frac{km}{min}$ D. $v_4 = 20 \frac{km}{h}$

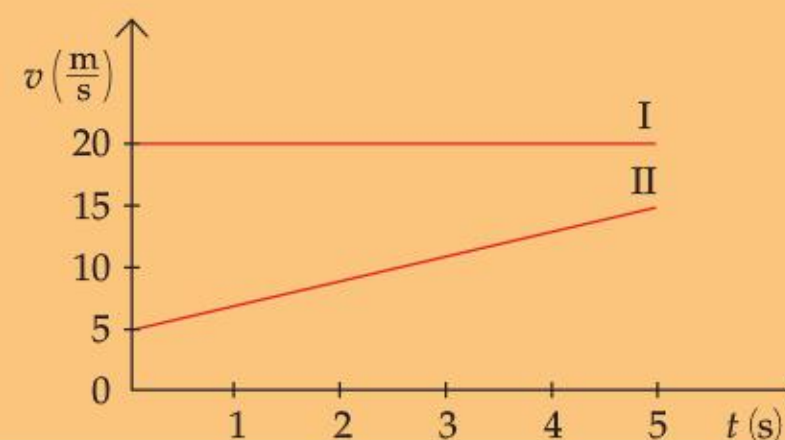
- 6 Z jaką szybkością poruszał się samochód, którego ruch przedstawiono na wykresie obok?

- A. $2 \frac{m}{s}$ B. $8 \frac{m}{s}$ C. $0,5 \frac{m}{s}$ D. $4 \frac{m}{s}$



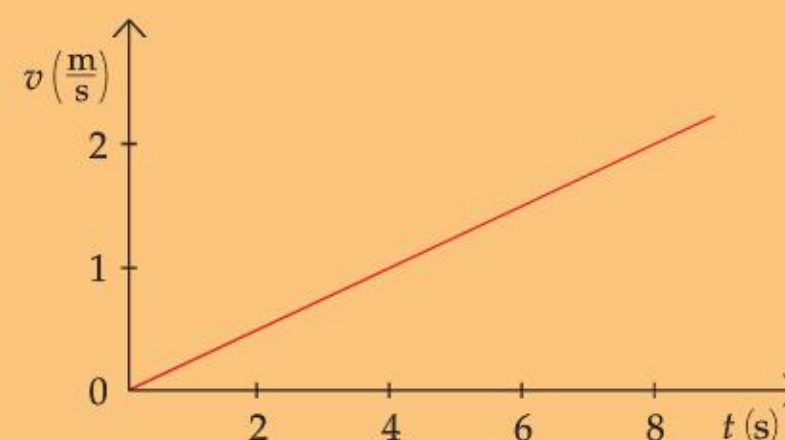
- 7 Na wykresie przedstawiono zależność wartości prędkości od czasu dla dwóch różnych ciał. Oceń prawdziwość podanych zdań.

- A. Ciało I poruszało się ruchem jednostajnym.
B. Przyspieszenie ciała II zmieniało się w czasie.
C. Ciało II poruszało się ruchem zmiennym.
D. Ciało I pokonało mniejszą drogę niż ciało II.



- 8 Wykres przedstawia zależność wartości prędkości od czasu w ruchu prostoliniowym dla pewnego ciała. Ile wynosiła wartość przyspieszenia tego ciała?

- A. $2 \frac{m}{s^2}$ B. $0,5 \frac{m}{s^2}$ C. $1 \frac{m}{s^2}$ D. $0,25 \frac{m}{s^2}$



- 9 Kule bilardowe po zderzeniu przebyły w jednakowym czasie jednakowe drogi wzdłuż tej samej prostej. Uzupełnij luki w zdaniu.

Wektory obrazujące prędkości kul mają: ... wartość, ... kierunek i ... zwrot.

- 10 Wykonaj z kolegami pracę badawczą.



Zaplanuj wycieczkę pieszą lub rowerową. Wykorzystaj darmowe programy do śledzenia ruchu przeznaczone na telefon komórkowy. Porównaj przynajmniej dwa takie programy pod względem ich możliwości. Wyznacz przy ich pomocy różne wielkości opisujące ruch.

6. Siły wokół nas



1. Jak oddziałują na siebie ciała?
2. Jakie mogą być skutki oddziaływań?
3. W jaki sposób można zmienić ruch ciała?
4. O czym mówią zasady dynamiki?
5. Jakie siły występują w przyrodzie?
6. Jakie są opory ruchu i od czego zależą?

6.1 Wzajemne oddziaływanie ciał

Podejmij temat

- Czy oddziaływanie ciał jest zawsze wzajemne?
- Jakiego mogą być skutki oddziaływania?

Oddziaływania i siły w przyrodzie

Poznałeś już różne oddziaływania zachodzące w najbliższym otoczeniu i wiesz, że miarą tych oddziaływań jest siła. Przypomnij sobie rodzaje oddziaływań, a tym samym sił występujących w przyrodzie. **Siły grawitacyjne** powodują wzajemne przyciąganie się mas, np. Ziemi i wszystkich znajdujących się w jej pobliżu ciał (il. 6.1). Oddziaływania te występują między Słońcem a planetami tworzącymi Układ Słoneczny, między Ziemią a Księżycem oraz między innymi planetami a ich księżycami. Wszystkie ciała we Wszechświecie wzajemnie się przyciągają, nie znamy odpychania grawitacyjnego. **Siły magnetyczne** występują np. między biegunami magnesów (które mogą przyciągać się lub odpychać), między magnesami i ciałami żelaznymi (il. 6.2), a także między magnesami a poruszającymi się ładunkami elektrycznymi, o czym dowiesz się więcej w klasie ósmej. **Siły elektryczne** powodują np. przyciąganie skrawków papieru czy włosów przez potarte (naelektryzowane) tworzywa sztuczne, szkło i inne materiały (il. 6.3). Ciała naelektryzowane mogą też się odpychać. **Siły sprężystości** występują np. w ściśniętej lub rozciągniętej sprężynie, gumie (il. 6.4), resorach samochodowych, cięciwie łuku. Przypomnij sobie również, że oddziaływania magnetyczne, elektrostatyczne i grawitacyjne między ciałami występują „na odległość”, zaś oddziaływania sprężyste wymagają bezpośredniego kontaktu i są oddziaływaniami mechanicznymi. Wszystkie oddziaływania są wzajemne.



6.1 Ruch satelity po orbicie Ziemi



6.2 Przyciąganie szpilek przez magnes



6.3 Przyciąganie skrawków papieru przez naelektryzowany bursztyn



6.4 Rozciąganie taśmy elastycznej przez ćwiczącą kobietę

Doświadczenie 41.

Obserwujemy oddziaływania bezpośrednie i na odległość

Niezbędne przedmioty: metalowe (plastikowe) kulki lub co najmniej trzy jednakowe monety, linijka, stolik (ławka szkolna)

Wykonanie:

- Ustaw kulki (monety) wzdłuż linii prostej, jedna za drugą, w odległości ok. 5 cm od siebie, równolegle do boku stolika (ławki). Możesz ustawić kulki wzdłuż linijki i po ustawieniu kulek odłożyć linijkę na bok.
- Uderz delikatnie, najlepiej pstryknij palcem, w pierwszą z kulek i obserwuj, co się dzieje.
- Ustaw kulki ponownie w ten sam sposób.
- Podnieś o kilka centymetrów do góry koniec stolika (ławki), na którym leżą kulki.

Obserwacje:

- Pierwsza kulka uderza w drugą, ta zaczyna się poruszać i uderza w następną.
- Za drugim razem wszystkie kulki zaczynają się poruszać jednocześnie.

Wnioski:

- Kulki spoczywające zaczynają się poruszać dopiero po tym, jak uderzy w nie już poruszająca się kulka. Tak się dzieje w przypadku oddziaływań bezpośrednich.
- Gdy uniesiemy stół, na wszystkie kulki działa na odległość siła przyciągania ziemskiego, dlatego jednocześnie ruszają z miejsca.

Skutki oddziaływań

We wszystkich poznanych wcześniej przykładach wzajemnego oddziaływania obserwowaliśmy zmiany wywołane w otoczeniu. Zmiany te nazywamy **skutkami oddziaływań**. Skutki te możemy podzielić na dwie grupy:

- **dynamiczne** – związane z ruchem ciał i zmianą prędkości ciała (wprawienie ciała w ruch, zmiana kierunku ruchu (il. 6.5), zatrzymanie ciała będącego w ruchu),
- **statyczne** – związane ze zmianą kształtu ciała (np. rozciągnięcie sprężyny, zgniecenie plasteliny, ugięcie deski, złamanie patyka, stłuczenie kubka) (il. 6.6).

Skutki te mogą być mniej lub bardziej widoczne, mogą zachodzić wolniej lub szybciej. Efekty oddziaływania zatem nie zawsze są takie same, ale dzięki informacji o działającej sile możemy je porównywać.



Oddziaływaniami ciał zajmuje się dynamika (dział mechaniki), która bada, jak działanie sił wpływa na ruch ciał.



6.5 Zmiana kierunku ruchu piłki – skutek dynamiczny oddziaływania



6.6 Stłuczony kubek – skutek statyczny oddziaływania

Doświadczenie 42.

Obserwujemy oddziaływania oraz skutki statyczne i dynamiczne tych oddziaływań

Niezbędne przedmioty: deskorolka

Wykonanie:

Wykonaj doświadczenie z kolegami.

- Jeden uczeń staje na deskorolce. Przyjrzyj się odkształceniu deskorolki.
- Podaj koledze ciężki plecak i zaobserwuj, czy zmieniło się odkształcenie deskorolki.
- Poproś stojącego z plecakiem na deskorolce kolegę, aby rzucił plecak do innego ucznia. Obserwuj, co się dzieje.
- Niech uczeń stojący na deskorolce odepchnie się nogą i postara się w trakcie ruchu zabrać plecak od kolegi. Obserwuj, co tym razem się dzieje.

Obserwacje i wnioski:

- Obciążona deskorolka odkształca się. Im większe obciążenie, tym odkształcenie jest większe. Uczeń oddziałuje na deskorolkę (odkształca ją), a deskorolka na ucznia – utrzymuje go nad podłogą.
- Uczeń oddziałuje z plecakiem. Jest to oddziaływanie bezpośrednie. Skutek tego oddziaływania jest dynamiczny. Rzucony plecak porusza się w jedną stronę, a chłopiec na deskorolce – w drugą stronę.
- Uczeń oddziałuje z podłogą. Oddziaływanie jest bezpośrednie, a skutek tego oddziaływania dynamiczny, gdyż uczeń na deskorolce zaczyna się poruszać.
- W trakcie jazdy na deskorolce chłopiec oddziałuje z plecakiem bezpośrednio (skutek statyczny – np. zmienia się jego kształt) i razem z plecakiem na deskorolkę – skutek tego oddziaływania jest dynamiczny, gdyż zmienia się wartość prędkości chłopca wraz z deskorolką.



6.7 Piłka spada na ziemię w rezultacie działania na nią różnych sił

Siły składowe i wypadkowa sił

Na ogół na ciała działa więcej niż jedna siła. Np. gdy kopniemy piłkę, musimy brać pod uwagę działanie siły grawitacji, siły związanej z ruchem w powietrzu (oporów powietrza) i siły wiatru. Skutek działania tych wszystkich sił jest jednak jeden – piłka spada na ziemię.

Z podobną sytuacją spotkałeś się przy analizowaniu sił działających na ciało zanurzone w wodzie, na które (jak pamiętasz) działała siła ciężkości oraz pochodząca od cieczy siła wyporu. Skutek działania tych sił był różny w zależności od tego, która z sił była większa.

Zasygnalizowaliśmy również, że działanie kilku sił można zastąpić działaniem jednej siły.

Siłę, która zastępuje działanie na ciało dwu lub więcej sił, nazywamy **siłą wypadkową**.

Siły zastępowane siłą wypadkową nazywamy **siłami składowymi**, a czynność polegającą na znajdowaniu wypadkowej – **składaniem sił**. Zbadamy teraz siłę wypadkową.

Doświadczenie 43.

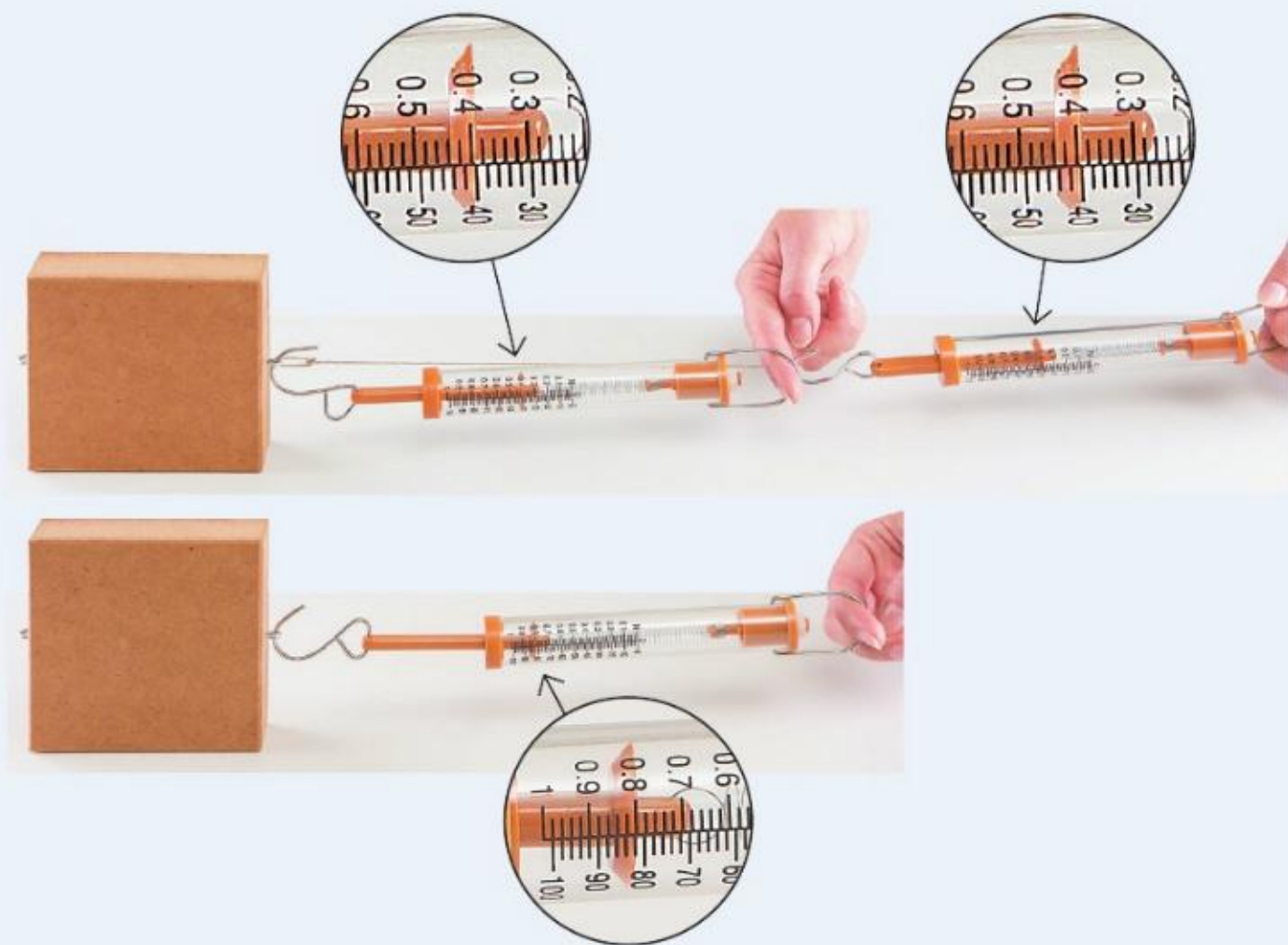
Badamy siłę wypadkową

Niezbędne przedmioty: klocek z haczykami, siłomierze (najlepiej o tych samych zakresach)

Wykonanie:

Część I

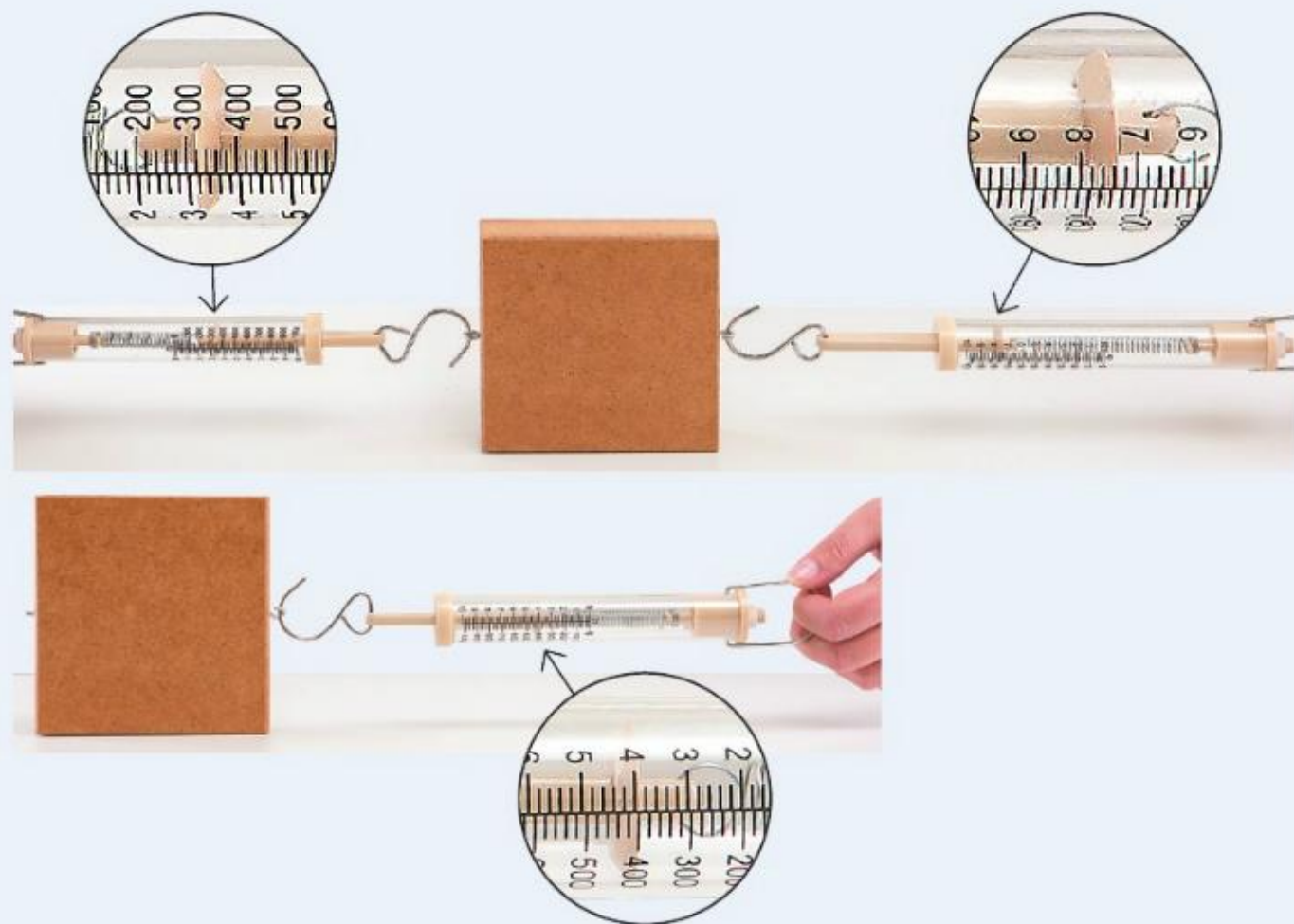
- Do klocka leżącego na gładkim stole doczep wzdłuż tej samej prostej dwa siłomierze. Jeden z nich może być zaczepiony na nitce, tak aby obydwa były ułożone równolegle względem siebie.
- Ciągnij klocek, trzymając za siłomierze, tak aby się poruszał ruchem jednostajnym.
- Odczytaj wskazania siłomierzy (wartości sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$).
- Do tego samego klocka doczep teraz jeden siłomierz i, wywołując ten sam skutek, odczytaj wartość siły $\vec{F}$.



Obserwacje: Wskazanie jednego siłomierza jest równe sumie wskazań dwóch siłomierzy.

Część II

- Teraz do klocka doczep, po jego przeciwnych stronach, dwa siłomierze. Rozciągnij je tak, aby klocek ruszył z miejsca. Odczytaj wskazania siłomierzy (wartości sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$).
- Następnie doczep do klocka jeden siłomierz (z tej strony, w którą przesunął się klocek) i ciągnąc, rusz ten klocek z miejsca, by osiągnąć ten sam skutek, co poprzednio.
- Odczytaj wskazanie siłomierza (wartość siły $\vec{F}$).



Obserwacje: Wskazanie jednego siłomierza jest równe różnicy wskazań dwóch siłomierzy. Jeśli skutek, który miał być osiągnięty, nie jest dokładnie taki sam, wskazanie siłomierza może być bliskie różnicy wskazań siłomierzy. Pamiętaj również o niepewnościach pomiarowych. Przedyskutuj z kolegami, jakie będą niepewności pomiarowe w przypadku tych pomiarów.

Wnioski: Działanie sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$, działających wzdłuż tej samej prostej, można zastąpić jedną siłą $\vec{F}$.

Część I

- Wartość siły wypadkowej jest równa sumie wartości sił składowych.

Część II

- Wartość siły wypadkowej jest równa różnicy wartości sił składowych.

Wyznaczanie wypadkowej sił

Powrócimy teraz do doświadczenia i pokażemy dokładniej, w jaki sposób wyznacza się wypadkową sił o tym samym kierunku.

Wypadkowa dwóch lub więcej sił działających wzdłuż tej samej prostej lub prostych równoległych, zgodnie zwróconych, działa wzdłuż tej samej prostej, ma zwrot zgodny ze zwrotem tych sił i równa jest co do wartości sumie tych sił. Co symbolicznie możemy przedstawić tak:

$$\begin{array}{c} \overrightarrow{F_1} \quad + \quad \overrightarrow{F_2} \quad = \quad \overrightarrow{F} \\ F = F_1 + F_2 \end{array}$$

Wypadkowa dwóch sił działających wzdłuż tej samej prostej, przeciwnie zwróconych, działa wzdłuż tej samej prostej, jest równa co do wartości różnicy tych sił i ma zwrot siły o większej wartości. Co symbolicznie możemy przedstawić tak:

$$\begin{array}{c} \overleftarrow{F_1} \quad + \quad \overrightarrow{F_2} \quad = \quad \overrightarrow{F} \\ F = F_2 - F_1 \end{array}$$



W zapisie wektorowym siła wypadkowa $\overrightarrow{F}$ zawsze jest sumą wektorów sił składowych, np. $\overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} = \overrightarrow{F}$, niezależnie od kierunku i zwrotu tych sił. Gdy obliczamy wartość siły wypadkowej, musimy uwzględnić kierunki i zwroty wektorów sił składowych.

Krok po kroku

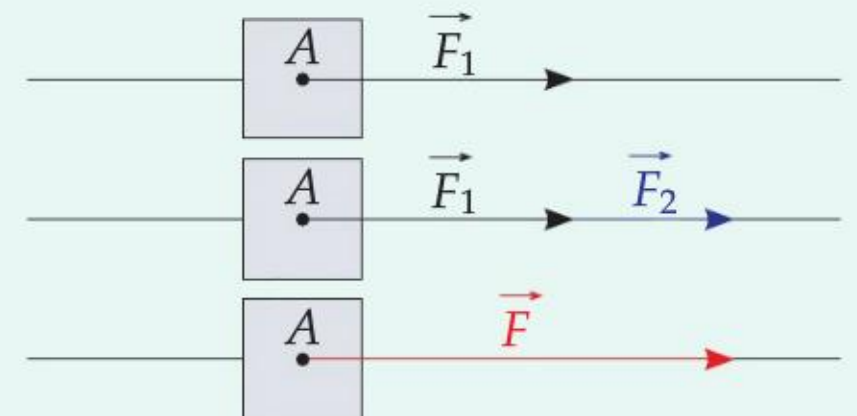
Wyznaczanie wypadkowej sił działających w tym samym kierunku

Przy wyznaczaniu wypadkowej sił działających na dane ciało punkt przyłożenia siły wypadkowej rysujemy najczęściej w taki sposób, aby znalazł się w środku ciała (dowiesz się o tym więcej w toku późniejszej nauki).

Jak wiesz, siły o tym samym kierunku mogą mieć zwroty zgodne lub przeciwnie.

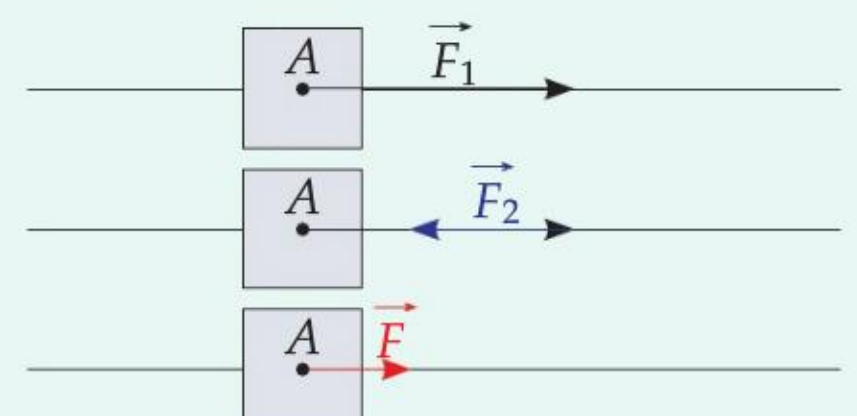
Aby wyznaczyć wypadkową sił działających na ciało o zwrotach zgodnych, należy:

- 1 narysować prostą przechodzącą przez środek ciała, zaznaczyć punkt A będący początkiem pierwszego wektora i od niego narysować wektor $\overrightarrow{F_1}$,
- 2 od końca wektora $\overrightarrow{F_1}$ narysować wektor $\overrightarrow{F_2}$,
- 3 wektor siły wypadkowej ma początek w punkcie A , a koniec w końcu wektora $\overrightarrow{F_2}$, co oznacza, że wartość siły wypadkowej jest równa sumie wartości sił składowych: $F = F_1 + F_2$



Aby wyznaczyć wypadkową sił działających na ciało o zwrotach przeciwnych, należy:

- 1 narysować prostą przechodzącą przez środek ciała, zaznaczyć punkt A będący początkiem pierwszego wektora i od niego narysować wektor $\overrightarrow{F_1}$,
- 2 od końca wektora $\overrightarrow{F_1}$ narysować wektor z przeciwnym zwrotem $\overrightarrow{F_2}$,
- 3 wektor siły wypadkowej $\overrightarrow{F}$ ma początek w punkcie A , a koniec w końcu wektora $\overrightarrow{F_2}$, wartość wektora siły wypadkowej jest równa różnicy wartości sił składowych.



Więcej na temat

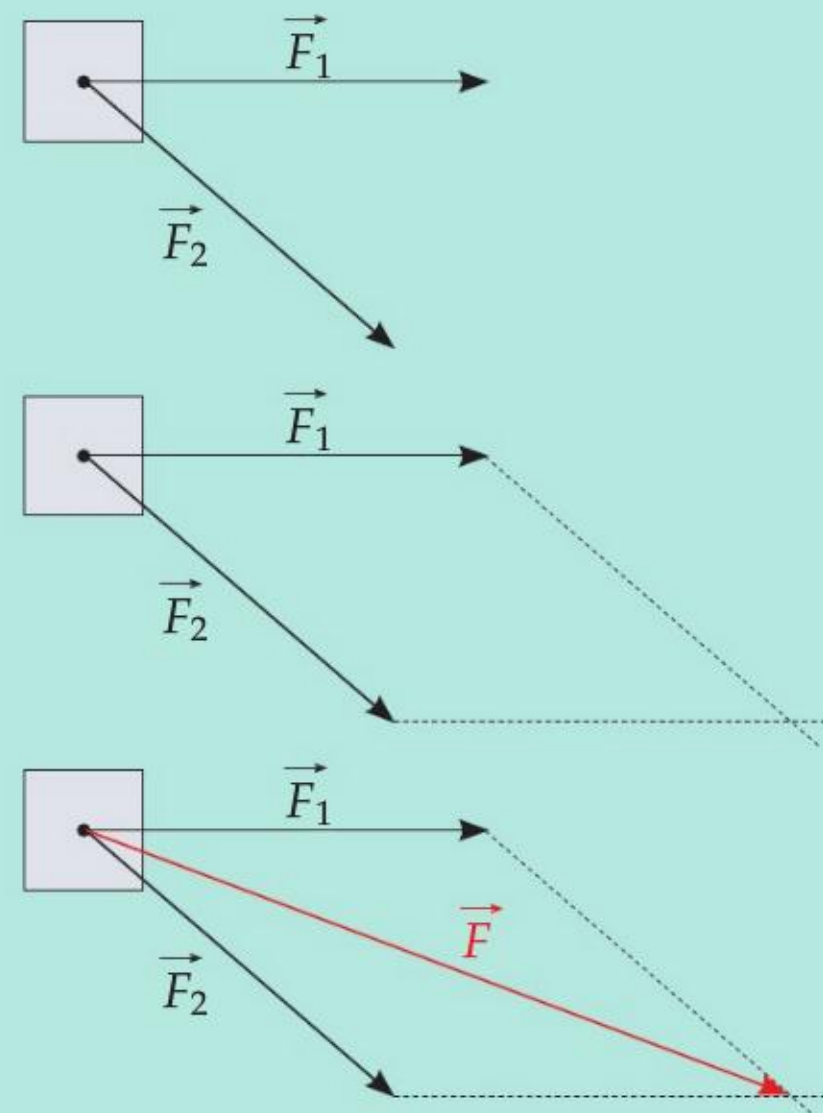
Dodawanie wektorów sił o różnych kierunkach

W rzeczywistości nie zawsze jest tak, że działające na ciało siły są do siebie równoległe. W tym przypadku również możesz wyznaczyć graficznie siłę wypadkową za pomocą **metody równoległoboku**.

Wykreśl linie pomocnicze (linia przerywana na rysunkach) równoległe do wektorów $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$.

Narysuj przekątną powstałego w ten sposób równoległoboku i zaznacz zwrot wektora $\vec{F}$.

Narysowany wektor to wektor siły wypadkowej.



Siły równoważące się

Spróbujmy teraz sprawdzić, jakie siły się równoważą i jaki będzie skutek działania takich sił. Wykonaj kolejne doświadczenie.

Doświadczenie 44.

Badamy siły równoważące się

Niezbędne przedmioty: klocek z haczykami, siłomierze (najlepiej o tych samych zakresach)

Wykonanie:

- Do klocka doczep dwa siłomierze, po jego przeciwnych stronach.
- Ciągnij za siłomierze tak, aby klocek pozostał w spoczynku.
- Odczytaj wskazania siłomierzy (wartości sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$).



Obserwacje: Rozpatrujemy siły działające w kierunku poziomym. Wskazania siłomierzy są jednakowe: $F_1 = F_2$. Klocek pozostaje w spoczynku.

Wnioski:

- Mówimy, że dwie siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ przyłożone do tego samego ciała równoważą się, gdy mają ten sam kierunek, te same wartości i przeciwne zwroty.
- Gdy działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku.
- Wypadkowa tych sił jest równa zeru.

W skrócie

- Wszystkie oddziaływania (mechaniczne, grawitacyjne, elektrostatyczne, magnetyczne) są wzajemne.
- Skutki wzajemnego oddziaływania ciał możemy podzielić na:
 - dynamiczne – związane ze zmianą prędkości (jej wartości, kierunku lub zwrotu),
 - statyczne – związane ze zmianą kształtu ciała.
- Siłę, która zastępuje działanie na ciało dwu lub więcej sił i wywołuje taki sam skutek, nazywamy siłą wypadkową. Siły zastępowane siłą wypadkową nazywamy siłami składowymi, a czynność polegającą na znajdowaniu wypadkowej – składaniem sił.
- Wypadkowa dwóch lub więcej sił działających wzdłuż tej samej prostej lub prostych równoległych, zgodnie zwróconych, działa wzdłuż tej samej prostej, ma zwrot zgodny ze zwrotem tych sił i równa jest co do wartości sumie tych sił.
- Wypadkowa dwóch sił działających wzdłuż tej samej prostej, przeciwnie zwróconych, działa wzdłuż tej samej prostej, jest równa co do wartości różnicy tych sił i ma zwrot siły o większej wartości.
- Wypadkową dwóch sił działających na ciało w różnych kierunkach można wyznaczyć graficznie za pomocą metody równoległoboku.
- Dwie siły działające na ciało wzdłuż tej samej prostej, mające jednakowe wartości i przeciwne zwroty, równoważą się wzajemnie. Gdy siły się równoważą, to ich wypadkowa jest równa zero. Jeśli na ciało działają siły o kierunku poziomym i pionowym, to ich równoważenie rozpatrujemy osobno.

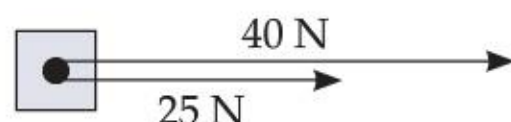
Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Określ wartość, kierunek i zwrot siły wypadkowej.

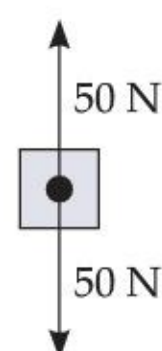
A.



B.

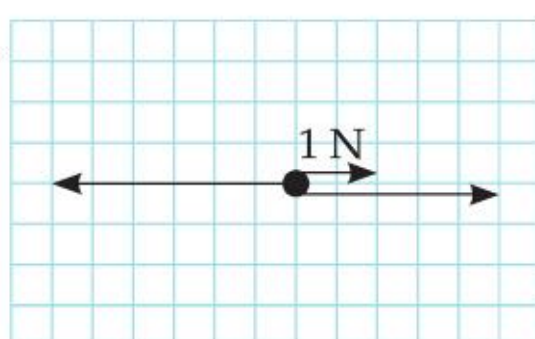


C.

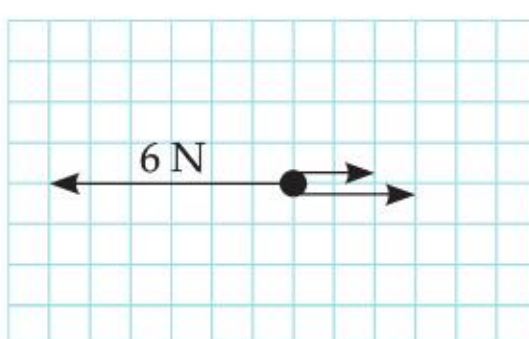


- W każdym z przypadków określ siłę wypadkową. Narysuj w zeszycie wektory tych sił, a następnie dorysuj wektory sił równoważących. Określ w każdym przypadku – kierunek, zwrot i wartość siły równoważącej.

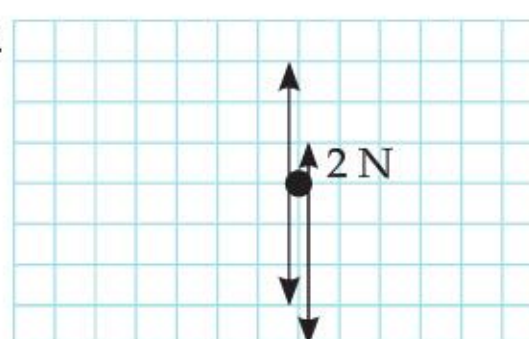
A.



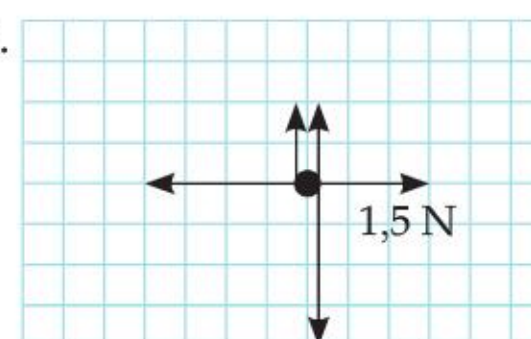
B.



C.



D.



- Ciężar lampy wiszącej pod sufitem wynosi 6 N. Określ poprawne uzupełnienia zdań.

Siły działające na lampę	A.	równoważą się.	Wypadkowa tych sił wynosi	A.	6 N
	B.	nie równoważą się.		B.	12 N
				C.	0 N



6.2 Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Podejmij temat

- Dlaczego wagon kolejowy raz pchnięty toczy się przez dłuższy czas?
- Dlaczego surowe jajko trudniej wprowadzić w ruch niż jajko ugotowane?
- Co ma wspólnego trzepanie dywanów z pierwszą zasadą dynamiki Newtona?

Jeszcze o siłach równoważących się

Na podstawie doświadczenia z klockiem doszliśmy do wniosku, że gdy siły działające na klocek równoważyły się, czyli ich wypadkowa była równa zeru, to klocek pozostawał w spoczynku. Rozpatrzmy jeszcze inny przykład.

Przykład 39.

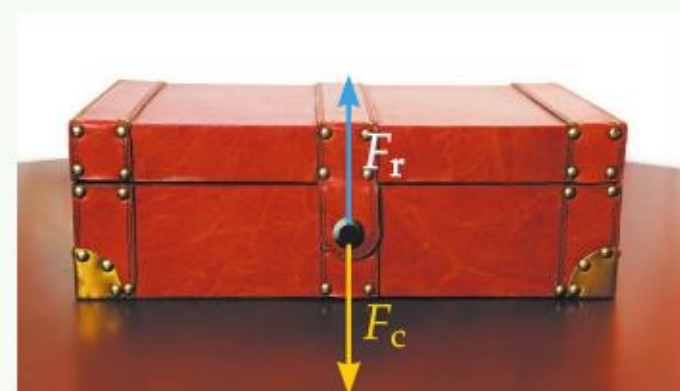
Na stole stoi kufer, który pozostaje w spoczynku. Zastanówmy się, jakie siły na niego działają.

Na zdjęciu obok zaznaczamy tylko siły działające na kufer.

Siła działająca w dół: $\vec{F}_c$ – siła przyciągania ziemskiego, siła, z jaką Ziemia działa na kufer.

Siła działająca w górę: $\vec{F}_r$ – siła reakcji podłoża, z jaką stół działa na kufer.

Wniosek: Kufer pozostaje w spoczynku, to znaczy, że siły działające na kufer się równoważą. Ich wypadkowa jest równa zeru.



Gdyby stół wysunięto, siła przyciągania ziemskiego byłaby niezrównoważona i kufer spadłby w dół. Aby ciało zmieniło swój stan, tzn. będąc w spoczynku, poruszyło się, trzeba użyć niezrównoważonej siły.

Pierwsza zasada dynamiki

Jadący samochód porusza się ruchem jednostajnym po poziomej powierzchni przy niezmienionej pozycji pedału gazu. Siła ciągu silnika równoważy siły oporu ruchu. Podobnie jest w przypadku spadochroniarza. Jego siła ciężkości, skierowana pionowo w dół, jest równoważona siłą oporu powietrza skierowaną pionowo do góry – spadochroniarz porusza się ruchem jednostajnym (il. 6.8). Powyższe rozważania prowadzą do następującego stwierdzenia:

jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym po linii prostej.

Określenie to nosi nazwę **pierwszej zasady dynamiki** i jest jednym z podstawowych praw mechaniki. Zasada ta została sformułowana przez Isaaca Newtona (czyt. izaaka niutona) i dlatego często mówimy: **pierwsza zasada dynamiki Newtona**.



6.8 Spadochroniarz



Rozpatrując bezwładność ciał, czasami mówimy o masie, używając określenia: masa bezwładna. Biorąc pod uwagę przyciąganie grawitacyjne, mówimy z kolei o masie grawitacyjnej. Obie masy są sobie równe, o czym dowiesz się więcej w szkole średniej.

Ciekawe!



Isaac Newton (1642–1727) to słynny angielski fizyk, astronom i matematyk. Odkrył prawo powszechnego ciążenia, jest twórcą zasad dynamiki. Zauważył, że światło białe jest mieszaniną różnych barw. Opracował teorię ruchu planet i księżyców. Już za życia cieszył się sławą największego uczonego swych czasów. Ukazanie się w 1687 roku epokowego dzieła Newtona pt. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (czytaj filozofia (...) principia matematyka) było przełomowym momentem w historii mechaniki. W pracy tej (napisanej po łacinie) Newton wprowadził pojęcia: czasu bezwzględnego, który upływa z natury rzeczy jednostajnie; przestrzeni bezwzględnej, nieograniczonej i nieskończonej; masy; przyspieszenia; siły i energii kinetycznej.

Określenie „nie działają żadne siły” dotyczy **sił zewnętrznych** w stosunku do oddziałujących wzajemnie ciał zwanych **układem ciał**. Siły, którymi oddziałują wzajemnie (w wybranym przez nas układzie) ciała tworzące układ, nazwiemy **siłami wewnętrznymi**. W naszych przykładach układem ciał jest kufer i stół oraz spadochroniarz i otaczające go powietrze.

Bezwładność

Na podstawie pierwszej zasady dynamiki należy wnioskować, że jeśli ciało w momencie równoważenia się sił spoczywało, to nadal będzie spoczywać, a jeśli w tym momencie się poruszało, to nadal będzie się poruszać ruchem jednostajnym prostoliniowym. Czyli prędkość ciała nie ulega zmianie – jest zachowana. Tę skłonność ciała do zachowywania stanu spoczynku lub ruchu jednostajnego po linii prostej, gdy nie działają na nie żadne siły (lub siły równoważą się), nazywamy często **bezwładnością ciała** (lub inercją). Stąd pierwszą zasadę dynamiki nazywamy również **zasadą bezwładności**. Ciało tym trudniej jest wprowadzić w ruch lub zatrzymać, im większą ma masę. Mówimy, że ciało o większej masie ma większą bezwładność. Zatem **masa ciała jest miarą jego bezwładności**.

Obserwacja bezwładności ciał

Występowanie bezwładności ciał potwierdzone jest wieloma przykładami z codziennego życia. Gdy ruszamy samochodem z miejsca, odczuwamy wciskanie w fotel. W czasie hamowania samochodu nasze ciało przesuwają się dalej do przodu, ponieważ siła hamująca działa na samochód, a nie na pasażera (stąd obowiązek zakładania pasów bezpieczeństwa) (il. 6.9). Bezwładność ciał wykorzystujemy, nabijając metalową część młotka (obuch) na trzonek. Uderzając czymś w drewniany trzonek, łatwiej wprowadzimy go w ruch, niż uderzając w metalowy obuch, który ma większą masę, a więc większą bezwładność. Zamiast uderzania możemy obuch nabijać, zatrzymując koniec trzonka np. uderzeniem w stół (il. 6.10). Duża bezwładność obucha powoduje, że nasuwa się on na drewniany trzonek młotka.

O bezwładności ciał musimy pamiętać przy załadunku towarów na samochody, platformy, naczepy. Źle ułożone ładunki, wystające i nieprzymocowane, mogą być przyczyną groźnych wypadków. Przy nagłej zmianie prędkości będą się dalej poruszać i wyrządzać szkody.



6.9 Zachowanie się ciała człowieka podczas wypadku samochodowego



6.10 Nabijanie metalowej części młotka na trzonek przez uderzenie w stół

Doświadczenie 45.

Obserwujemy bezwładność ciał

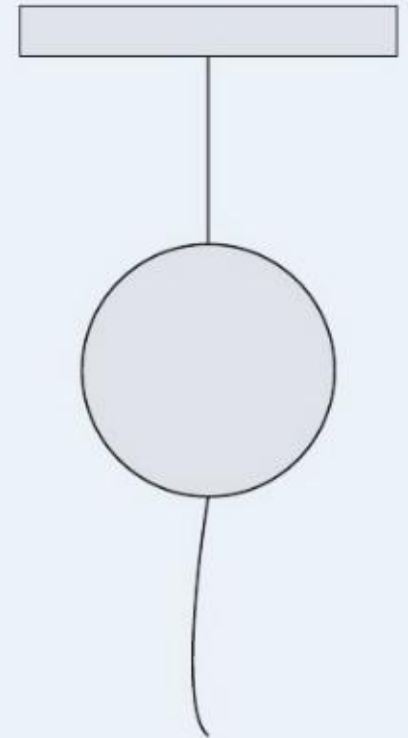
Niezbędne przedmioty: metalowa kulka (ciężarek) z dwoma haczykami (można ją zastąpić np. plastikową butelką napełnioną wodą), grubsza nitka, którą łatwo zerwać, nożyczki, bawełniana rękawiczka (nie jest niezbędna), ciężki, stabilny statyw (może być hak w suficie lub kij wsparty o ławki)

Wykonanie:

- Zawieś na nitce kulkę i do kulki przywiąż drugą nitkę. Wszystko zawieś na stabilnym statywie (lub kiju wspartym o ławki).
- Pociągnij powoli za dolną nitkę i zaobserwuj, co się stało.
- Ponownie zawiąż nitkę i tym razem mocno szarpnij za dolną nitkę.

Obserwacje: W pierwszym przypadku nitka zerwała się nad kulką, a w drugim – pod kulką.

Wnioski: Jeżeli za nitkę ciągniemy ostrożnie, powoli ją naprężając, to zerwiemy górną nitkę, bo będzie działała na nią siła, z którą ciągniemy, oraz ciężar kulki. Jeżeli za nitkę szarpniemy, to wytworzona przez nas siła nie będzie działała na górną nitkę. Bezwładność kulki związana z jej dużą masą zapobiegnie szybkiej zmianie jej prędkości, czyli wytrąceniu kulki ze stanu spoczynku. Uchroni to górną nitkę przed zerwaniem.



W skrócie

- Pierwsza zasada dynamiki Newtona: jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.
- Pierwszą zasadę dynamiki nazywamy też zasadą bezwładności.
- Aby ciało zmieniło swój stan – zmieniło swoją prędkość – trzeba użyć niezrównoważonej siły pochodzącej od innego ciała.
- Bezwładność (inercja) to zjawisko zachowania przez ciało prędkości, gdy nie działają żadne siły lub działające siły wzajemnie się równoważą.
- Miarą bezwładności ciała jest jego masa.
- Siły, którymi oddziałują wzajemnie ciała w wybranym przez nas układzie ciał, nazywamy siłami wewnętrznymi.
- Siły zewnętrzne to siły spoza układu ciał.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Stojący na parkingu samochód nie porusza się, gdyż działające na niego siły się równoważą.
 - B. Jadący samochód porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, gdyż siła ciągu silnika równoważy siłę ciężkości działającą na samochód.
 - C. Jadący samochód porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, gdyż siła ciągu silnika równoważy siły oporu ruchu.
- 2 Wyjaśnij, dlaczego oprócz pasów bezpieczeństwa w samochodach montuje się poduszki powietrzne. Jaka jest zasada działania poduszek powietrznych?



- 3 Wyjaśnij, w oparciu o poznaną zasadę bezwładności, na czym polega trzepanie dywanów.

6.3 Trzecia zasada dynamiki Newtona

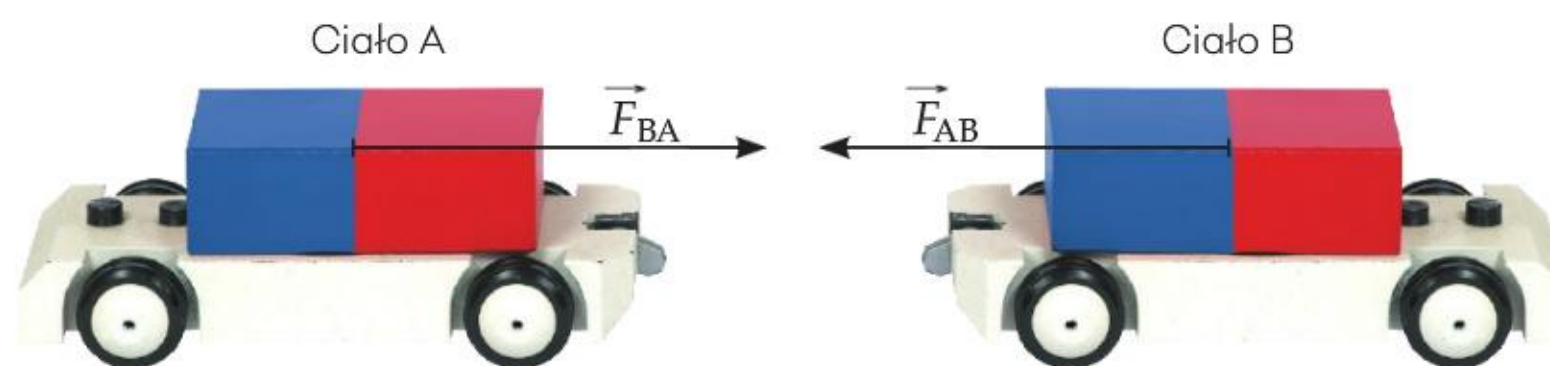
Podejmij temat

- Dlaczego odczuwamy większy ból przy silnym uderzeniu niż przy lekkim klepnięciu dłonią w ścianę?

Siły wzajemnych oddziaływań

Wiesz już, że wiele przykładów z życia codziennego potwierdza, że siły nie występują pojedynczo. Gdy naciskamy ręką na stół, odczuwamy również nacisk stołu na rękę. W czasie pływania kajakiem wiosło oddziałuje na wodę, a woda oddziałuje na wiosło, co pozwala na poruszanie się kajaka. Również wykonane wcześniej doświadczenia z magnesami i naelektryzowanymi ciałami wyraźnie wykazały, że oddziaływania tych ciał są wzajemne, a zatem ciała wzajemnie działają na siebie siłami (il. 6.11).

Zauważmy, że zwroty sił wzajemnie oddziałujących na siebie ciał są przeciwne. Siły te działają wzdłuż tej samej prostej – mają taki sam kierunek. Każda z tych dwóch sił jest przyłożona do innego ciała. Zbadamy teraz dokładniej te siły.



6.11 Oddziałujące na siebie wózki z magnesami

Doświadczenie 46.

Badamy, jakie wartości mają siły wzajemnego oddziaływania ciał

Niezbędne przedmioty: dwa wózki, sprężyna, nitka, nożyczki (zapałki)

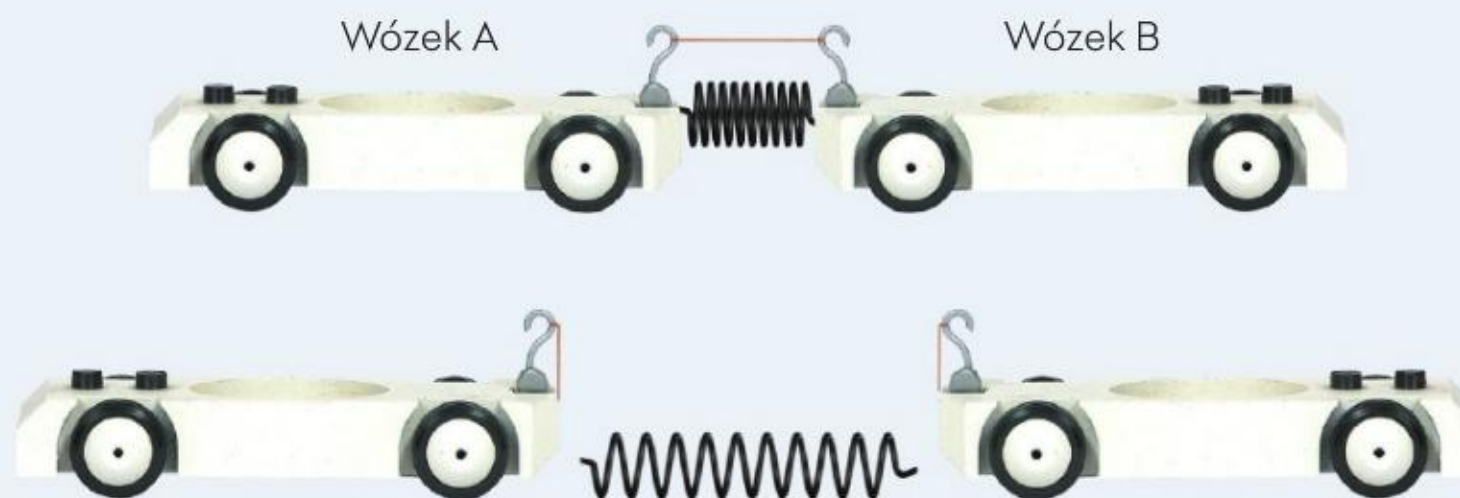
Wykonanie:

- Pomiedzy dwa jednakowe wózki wstaw ściśniętą sprężynę.
- Zwiąż wózki nitką tak, aby sprężyna pozostała ściśnięta, a następnie przetnij nitkę lub ją przepal.

Obserwacje: Obserwujemy, że wózki odjechały na jednakowe odległości, w przeciwne strony.

Wnioski: Siły, z jakimi te wózki oddziaływały na siebie, miały tę samą wartość, ale przeciwne zwroty. Możemy to stwierdzenie zapisać, stosując symboliczne oznaczenia:

$$F_{AB} = F_{BA} \text{ lub wektorowo } \vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$



Trzecia zasada dynamiki

Wiesz już, że siły, z jakimi wózki oddziaływały na siebie, mają tę samą wartość, ale przeciwne zwroty, co zapisaliśmy za pomocą oznaczenia:

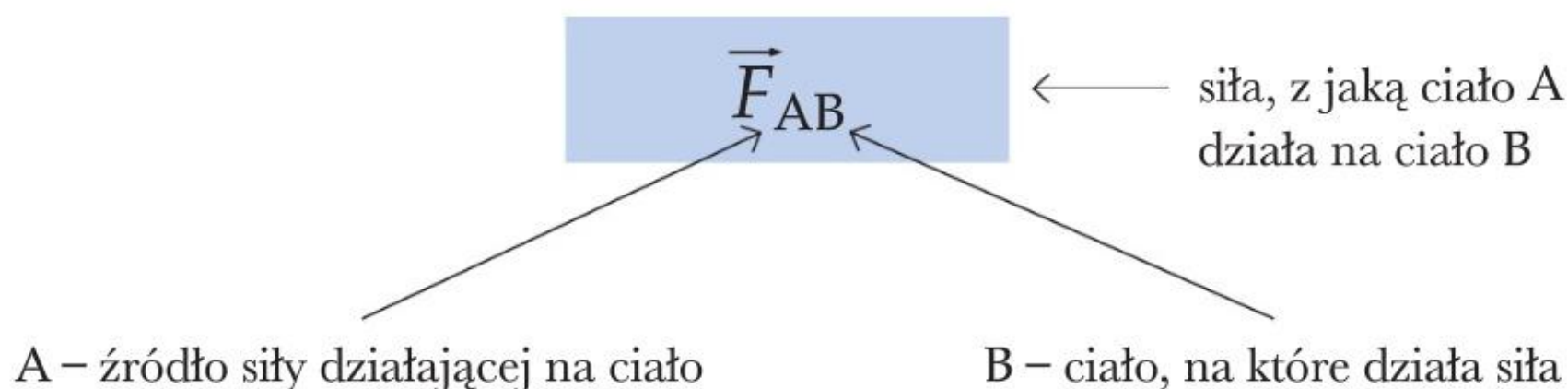
$$F_{AB} = F_{BA}$$

lub wektorowo

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Indeksy AB i BA wskazują, które z ciał jest źródłem siły, oraz na które z nich ta siła działa. Znak „-” w zapisie wektorowym oznacza, że siły te mają przeciwne zwroty.

Przyjęto następujące oznaczenia:



Na podstawie dotychczasowych obserwacji i dociekań możemy powiedzieć, że:

jeżeli jedno ciało działa na drugie z pewną siłą,
to również drugie ciało oddziałuje na pierwsze siłą równą co do wartości,
o tym samym kierunku lecz przeciwnie zwróconą.
Siły te przyłożone są do dwóch różnych ciał.

Sformułowany przez nas wniosek znany jest w fizyce jako **trzecia zasada dynamiki Newtona**.

Siły akcji i reakcji

Inne nazwy tej zasady: zasada działania i przeciwdziałania lub zasada **akcji i reakcji** wypowiedane są następująco: każdemu działaniu, czyli akcji, towarzyszy równe przeciwdziałanie, czyli reakcja.

Musisz pamiętać, że siła działania jest przyłożona do jednego ciała, a siła przeciwdziałania do ciała drugiego. Źródłem siły $\vec{F}_{BA}$ jest ciało B, a źródłem siły $\vec{F}_{AB}$ jest ciało A.

Siły akcji i reakcji nigdy się nie równoważą, gdyż przyłożone są do różnych ciał.

Pływak odpycha wodę, a woda – zgodnie z trzecią zasadą dynamiki – oddziałuje na pływaka, wprawiając go w ruch (il. 6.12). Z im większą siłą pływak działa na wodę, tym siła nadająca pływakowi przyspieszenie jest większa i jego prędkość ma większą wartość.



W zapisie wektorowym siła wypadkowa $\vec{F}$ zawsze jest sumą wektorów.

Stosowane są również inne oznaczenia, np. $\vec{F}_{12}$. Wtedy obowiązuje ta sama zasada: ciało 1. jest źródłem siły. Siła ta działa na ciało 2. i do niego jest przyłożona.



6.12 Pływak płynie, odpychając wodę rękami



Pierwszą teoretyczną analizę ruchu rakiety przeprowadził rosyjski uczonego polskiego pochodzenia Konstantin Ciolkowski. Wykazał on matematycznie, że rakietę osiąga tym większą prędkość, im większa jest prędkość wylotu substancji odrzutowych i im większą część początkowej masy rakiety stanowi masa materiału pędnego. Zwiększenie prędkości lotu możliwe jest także poprzez konstruowanie rakiet wielocłonowych, tzn. zespołów połączonych ze sobą dwóch lub więcej rakiet.

Zjawisko odrzutu

Trzecią zasadę dynamiki można obserwować na przykładzie zjawiska odrzutu. Ze zjawiskiem odrzutu mieliśmy do czynienia podczas wykonywania doświadczenia 46. Odrzut następował po przepaleniu nici wiążącej wózki ze ściśniętą sprężyną. Moglibyśmy doświadczenie powtórzyć przy różnych masach wózków. Okazałoby się, że wózek o większej masie odjeżdża na mniejszą odległość, a więc uzyskuje mniejszą wartość prędkości.

Odrzut to zjawisko wzajemnego oddziaływania ciał będących w spoczynku, w wyniku którego oddziałujące ciała poruszają się w przeciwnie strony z prędkościami zależnymi od ich mas. Wartości prędkości uzyskiwanych przez ciało w zjawisku odrzutu są odwrotnie proporcjonalne do ich mas:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

Korzystamy z własności proporcji i otrzymujemy równość:

$$m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$$

Iloczyn masy i wartości prędkości obu odrzucających się ciał są równe.

Zjawisko odrzutu występuje w czasie strzelania z broni palnej – z karabinu czy armaty. Armata odjeżdża do tyłu, a karabin, z którego strzelamy, uderza nas w ramię. Wartość prędkości odrzucanego karabinu (czy armaty) jest niewielka, gdyż jego masa jest dużo większa od masy pocisku. Dzięki odrzutowi możliwe są loty samolotów odrzutowych i rakiet. W silnikach odrzutowych w wyniku spalania specjalnego paliwa powstają gazy spalinowe. Z dyszy wylotowej rakiety wylatują one z prędkością o olbrzymich wartościach. Gazy te zgodnie z trzecią zasadą dynamiki oddziałują na raketę, wprowadzając ją w ruch w stronę przeciwną.

Przykład 40.

Z karabinu o masie 6 kg wylatuje pocisk o masie 15 g z szybkością $800 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz wartość prędkości karabinu, jaką uzyskuje on przy odrzucie.

Dane:

$$m_1 = 15 \text{ g} = 0,015 \text{ kg}$$

$$m_2 = 6 \text{ kg}$$

$$v_1 = 800 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Szukane:

$$v_2 = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy z zależności: $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$

skąd obliczamy $v_2 = \frac{m_1 \cdot v_1}{m_2}$

$$\text{Po podstawieniu danych: } v_2 = \frac{0,015 \text{ kg} \cdot 800 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6 \text{ kg}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Szybkość, jaką uzyskuje karabin w czasie odrzutu, wynosi $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Więcej na temat



Pęd ciała i zasada zachowania pędu

W szybę samochodu uderzyła lecąca mucha i uderzył rzucony przez kogoś kamień. Czy skutki ich uderzeń będą takie same? Jak pewnie się spodziewasz – nie. Ważna jest również masa tych ciał. Wprowadzono więc wielkość, która opisuje nie tylko ruch, ale i oddziaływanie ciała – jest nią **pęd**.

Pęd obliczamy, mnożąc masę ciała przez wartość jego prędkości:

$$p = m \cdot v$$

W układzie SI jednostka pędu nie ma własnej nazwy i określona jest następująco:

$$[p] = [m] \cdot [v]$$

$$[p] = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Pęd jest wielkością wektorową o kierunku i zwrocie zgodnym ze zwrotem prędkości ciała.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Można się przekonać, wykonując doświadczenia, że wskutek oddziaływań pomiędzy ciałami (bez udziału sił zewnętrznych) suma ich pędów nie zmienia się:

$$\Delta \vec{p} = 0, \vec{p} = \text{const}$$

W skrócie

- Trzecia zasada dynamiki Newtona mówi:
jeżeli jedno ciało działa na drugie z pewną siłą, to również drugie ciało oddziałuje na pierwsze siłą równą co do wartości, o tym samym kierunku lecz przeciwnie zwróconą. Siły te przyłożone są do dwóch różnych ciał.
 $F_{12} = F_{21}$ lub wektorowo $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$
Znak „-” w zapisie wektorowym oznacza, że siły te mają przeciwne zwroty.
- Źródłem siły $\vec{F}_{12}$ jest ciało 1. Siła działa na ciało 2. i jest do niego przyłożona. Źródłem siły $\vec{F}_{21}$ jest ciało 2. Siła działa na ciało 1. i jest do niego przyłożona.
- Trzecia zasada dynamiki nosi również nazwę zasady akcji i reakcji. Siły akcji i reakcji nigdy się nie równoważą, gdyż przyłożone są do różnych ciał.
- Odrzut to zjawisko wzajemnego oddziaływania ciał będących w spoczynku, w wyniku którego oddziałujące ciała poruszają się w przeciwne strony z szybkościami zależnymi od ich mas. Zjawisko odrzutu uwidacznia trzecią zasadę dynamiki.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

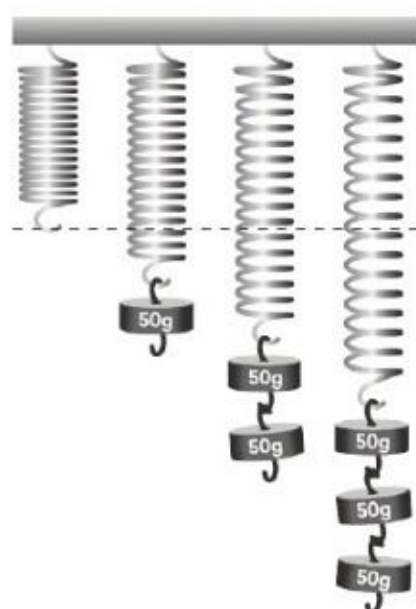
- 1 Na czym polega różnica między siłami równoważącymi się a siłami akcji i reakcji?
- 2 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Gdy uderzysz pięścią w ścianę i zadziałasz pewną siłą, to ściana będzie w tym samym czasie działała na twoją pięść siłą o takiej samej wartości.
 - B. Uderzona ściana się nie poruszy, ponieważ siła jej reakcji równoważy siłę akcji.
 - C. Pływak może poruszać się dzięki temu, że odpycha on wodę, a woda odpycha jego.
- 3 Wskaż przykłady występowania działania i przeciwdziałania znane ci z codziennego życia.
- 4 Wyszukaj w internecie i spróbuj wykonać doświadczenie demonstrujące zasadę odrzutu. Wykorzystaj w tym celu przyrządy domowego użytku.
- 5 Dwa wózki, jeden o masie $m_1 = 2 \text{ kg}$, a drugi o masie $m_2 = 8 \text{ kg}$, połączono ściśniętą sprężyną. Po uwolnieniu sprężyny wózki rozjechały się w przeciwne strony. Wózek o masie m_2 uzyskał prędkość o wartości $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jaką wartość prędkości uzyskał wózek o masie m_1 ?

6.4 Siła sprężystości

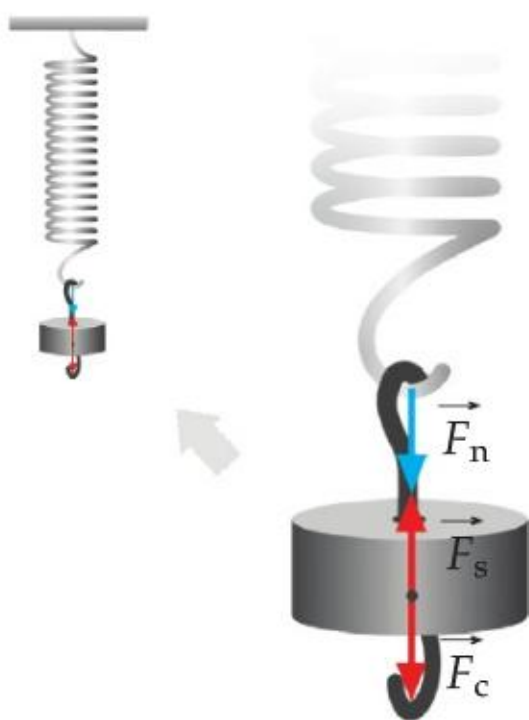
Podejmij temat



Jak działa huśtawka na sprężynie?



6.13 Zależność wydłużenia sprężyny od masy obciążnika



Siły działające na sprężynę:

$\vec{F}_n$ – siła naciągu sprężyny, źródłem jest obciążnik

Siły działające na obciążnik:

$\vec{F}_c$ – siła ciężkości, źródłem jest Ziemia

$\vec{F}_s$ – siła sprężystości, źródłem jest sprężyna

6.14 Siły działające na obciążnik i sprężynę

Badamy oddziaływania sprężyste

Gdy badałeś różne oddziaływania i siły, nieraz korzystałeś z siłomierza. Wiesz również, że oddziaływanie ciała na sprężynę siłomierza jest oddziaływaniem bezpośrednim, wymagającym kontaktu ciał, zwanym oddziaływaniem sprężystym. Oddziaływania sprężyste są dość powszechne i często spotykasz je wokół siebie. Przyjrzymy się im bliżej i dokładniej zbadamy siłę sprężystości. Powróćmy do doświadczenia ze sprężyną, wykonanym według opisu w rozdziale drugim. Badaliśmy, jak wydłużenie sprężyny zależy od masy obciążników (teraz już wiesz, że również od ciężaru odważników) (il. 6.13). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdziliśmy, że jednakowym masom zawieszonych obciążników odpowiadało jednakowe wydłużenie sprężyny i że im większa jest liczba zawieszonych na sprężynie obciążników (większa masa i siła), tym większe jest jej wydłużenie.

Od czego zależy wartość siły sprężystości?

Możemy teraz podsumować nasze wnioski stwierdzeniem, że wydłużenie sprężyny jest wprost proporcjonalne do wartości siły rozciągającej sprężynę. Narysujmy teraz siły działające na układ ciał – sprężynę i zawieszony na niej obciążnik (il. 6.14).

Na obciążnik działa siła ciężkości $\vec{F}_c$, której źródłem jest Ziemia. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki obciążnik oddziałuje również na Ziemię, ale tę siłę pomijamy w rozpatrywanym układzie ciał.

Skoro obciążnik działa na sprężynę siłą $\vec{F}_n$, to zgodnie z trzecią zasadą dynamiki sprężyna oddziałuje na obciążnik siłą $\vec{F}_s$. Jak pamiętasz, siły te przyłożone są do dwóch różnych ciał. Ponieważ obciążnik nie porusza się (jest w równowadze), to zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki działająca na obciążnik ze strony Ziemi siła ciężkości $\vec{F}_c$ jest równoważona przez pochodzącą od sprężyny siłę $\vec{F}_s$. Siły te oczywiście przyłożone są do jednego ciała – obciążnika – i mają takie same wartości i przeciwne zwroty, czyli:

$$F_c = F_s \quad (\vec{F}_c = -\vec{F}_s)$$

Skoro wydłużenie jest proporcjonalne do wartości siły ciężkości F_c , ($x \sim F_c$), to możemy również powiedzieć, że im większe jest wydłużenie sprężyny, tym większa jest wartość siły sprężystości.

Wartość siły sprężystości, którą sprężyna działa na zawieszone na niej ciało, jest wprost proporcjonalna do wydłużenia sprężyny:

$$F_s \sim x$$

Wykres zależności $x(F_s)$

Spróbujemy teraz narysować wykres zależności wydłużenia sprężyny od wartości działającej na nią siły. Wykonaj doświadczenie dla dwóch różnych sprężyn.

Doświadczenie 47.

Badamy, jak wydłużenie sprężyny zależy od wartości działającej na nią siły

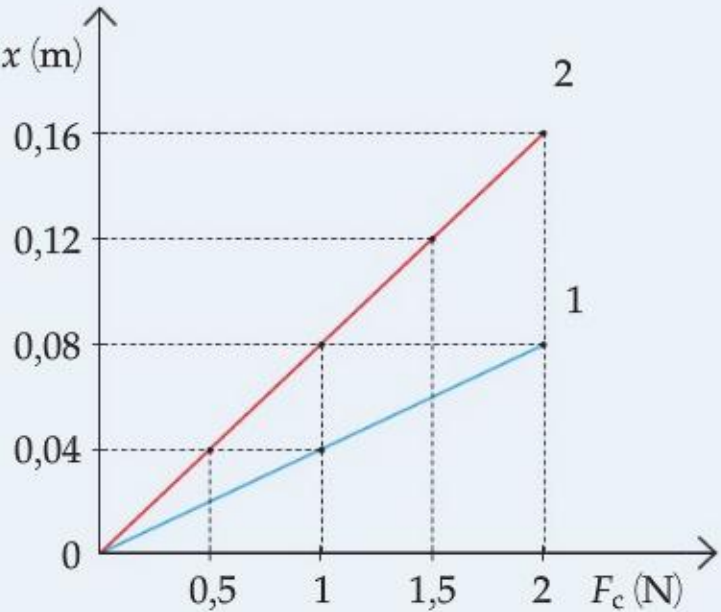
Niezbędne przedmioty: statyw, dwie sprężyny (może być zestaw sprężyn), komplet odważników po 50 g, linijka

Wykonanie:

- Przymocuj sprężynę 1. do statywu i zmierz jej długość.
- Obciąż sprężynę jednym obciążnikiem i zmierz jej długość.
- Oblicz, o ile wydłużyła się sprężyna – odejmij od zmierzonej długości długość początkową sprężyny. Podaj wynik w centymetrach.
- Dokładaj kolejno po jednym obciążniku i za każdym razem mierz długość sprężyny i obliczaj w ten sam sposób jej wydłużenie.
- Wyniki pomiarów zapisuj w tabeli (wzór poniżej).
- Powtórz czynności dla sprężyny 2.
- Oblicz wartość siły F_c dla $g = 10 \frac{N}{kg}$
- Wykonaj wykres $x(F_c)$

Wyniki: W jednej ze szkół uzyskano wyniki:

Liczba obciążników (szt.)	Siła F_c w N	Wydłużenie x sprężyny 1.		Wydłużenie x sprężyny 2.	
		w cm	w m	w cm	w m
1	0,5	2	0,02	4	0,04
2	1	4	0,04	8	0,08
3	1,5	6	0,06	12	0,12
4	2,0	8	0,08	16	0,16



Wnioski:

- Dla każdej ze sprężyn jej wydłużenie jest wprost proporcjonalne do działającej siły $x \sim F_c$. Im większa siła obciążająca, tym większa siła sprężystości oraz $x \sim F_s$.
- Dla każdej ze sprężyn nachylenie półprostej wychodzącej z początku układu współrzędnych jest inne.

Siły sprężystości wokół nas

Przedstawione wyżej rozważania dotyczą nie tylko rozciągniętej sprężyny, ale również każdego ciała odkształcanego sprężystości. Pamiętaj, że wcześniej mówiliśmy o ciałach sprężystych: cięciwie łuku, resorach samochodowych, sprężynach w materacach, o gumie czy gąbce.

Siły sprężystości występują powszechnie wokół nas i pojawiają się zawsze, kiedy ciało sprężyste ulega deformacji. Sprężystość ciała przejawia się tym, że podczas rozciągania ciała, kiedy odległości między cząsteczkami wzrastają, oraz podczas ściskania, kiedy odległości między cząsteczkami maleją – **siły oddziaływania** zmuszają cząsteczki do powrotu do pierwotnego położenia i **powodują powrót odkształconego ciała do pierwotnego kształtu**. Przy wzroście odległości między cząsteczkami siły przyciągania stają się większe od sił odpychania, a gdy odległości między cząsteczkami maleją, większe stają się siły odpychania. Ciało odkształcane (rozciągane lub ściskane) działa siłą sprężystości na ciało, które je rozciąga lub ściska.

Większość ciał stałych, a nawet powierzchnie wielu cieczy, wykazuje właściwości sprężyste, choć nie zawsze obserwujemy skutki ich działania.

Więcej na temat

Współczynnik sprężystości

Już wiesz, że wartość siły sprężystości jest wprost proporcjonalna do wydłużenia sprężyny: $F_s \sim x$ (oczywiście dla niewielkich odkształceń, kiedy sprężyna po ustaniu działania siły powraca do pierwotnego kształtu). Oznacza to, że ile razy rośnie wydłużenie x , tyle razy rośnie wartość siły sprężystości F_s .

Dla danej sprężyny iloraz siły sprężystości do jej wydłużenia jest stały: $\frac{F_s}{x} = \text{const}$ (sprawdź dla wyników z ostatniego doświadczenia). Iloraz ten nazywamy współczynnikiem sprężystości i obliczamy ze wzoru: $k = \frac{F_s}{x}$

Jednostka współczynnika sprężystości: $[k] = \frac{[F_s]}{[x]} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

W skrócie

- Wartość siły sprężystości, którą sprężyna działa na zawieszone na niej ciało, jest wprost proporcjonalna do wydłużenia sprężyny: $F_s \sim x$
- Dla danej sprężyny iloraz siły sprężystości do jej wydłużenia jest stały, równy współczynnikowi sprężystości:
 $\frac{F_s}{x} = \text{const} = k$
- Ciało odkształcane (rozciągane lub ściskane) jest źródłem siły sprężystości działającej na ciało, które je rozciąga lub ściska.
- Sprężystość powoduje powrót odkształconego ciała do jego pierwotnego kształtu.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Sprężystość powoduje powrót odkształconego ciała do jego pierwotnego kształtu.
 - B. Wartość siły sprężystości działającej na odważnik podczas rozciągania sprężyny maleje.
 - C. Wartość siły sprężystości działającej na odważnik, pochodzącej od ściskanej sprężyny, jest proporcjonalna do skrócenia sprężyny.
- O ile wydłuży się sprężyna pod działaniem siły o wartości 4 N, jeśli siła o wartości 1 N wydłużyła sprężynę o 1,5 cm? Narysuj wykres zależności wydłużenia sprężyny od działającej na nią siły.
- Oblicz współczynniki sprężystości dla sprężyn z doświadczenia 46.

6.5 Wpływ oporów ruchu na poruszające się ciała

Podjmij temat

- Czym są opory ruchu?
- Dlaczego mokre mydło trudno utrzymać w ręku?

Opory ruchu

Niebagatelny wpływ na ruch ciał mają **opory ruchu** występujące pomiędzy obiektem poruszającym się po ziemi lub w powietrzu. Zmniejszają one wartość prędkości ruchu pojazdów i ludzi. Idący człowiek odczuwa te opory szczególnie mocno, gdy porusza się pod wiatr. Z drugiej strony siły te ułatwiają hamowanie pojazdów, to one mają wpływ np. na wyhamowanie wahadłowca (w tym celu instalowane są specjalne spadochrony). Na ciała poruszające się w wodzie działa opór wody. **Wartość sił oporu w powietrzu i wodzie zależy od prędkości i kształtu poruszającego się ciała.**

Oporami ruchu nazywamy wszystkie siły działające na poruszające się ciało fizyczne, które przeciwdziałają poruszaniu się tego ciała.

Doświadczenie 48.

Badamy siłę oporu powietrza

Niezbędne przedmioty: kartki papieru A4 (może być cienka bibuła), nitka, igła, nożyczki, plastelina, dwie jednakowe monety (niekoniecznie)

Wykonanie:

- Przygotowanie spadochronu.
Wytnij z kartki papieru kwadrat o boku ok. 20 cm. Przygotuj 4 nitki o długości ok. 30 cm. Zrób dziurki w rogach kartki, przeciągnij i przywiąż nitki. Zwiąż razem drugie końce nitek i przymocuj do nich kulkę plasteliny. Możesz wbić w plastelinę monetę. W ten sam sposób przygotuj identyczny drugi spadochron.
- Puść spadochrony z tej samej wysokości (ok. 2 m); obserwuj ich spadek i czas, w którym dotrą na podłogę.
- Następnie zgnieć w kulkę jeden ze spadochronów i ponownie upuść obydwa spadochrony z tej samej wysokości.
- Teraz zgnieć drugi spadochron i znów upuść je z tej samej wysokości.
- Doświadczenie możesz wykonać również z dwiema kartkami papieru A4, bez wykonywania spadochronów. Kartki papieru należy przed ich upuszczeniem ustawiać poziomo do powierzchni ziemi.

Obserwacje:

- Dwa rozłożone spadochrony spadają jednocześnie na podłogę.
- Zgnieciony spadochron spada szybciej niż rozłożony.
- Dwa zgniecione spadochrony spadają na podłogę jednocześnie, ale w krótszym czasie niż rozłożone.

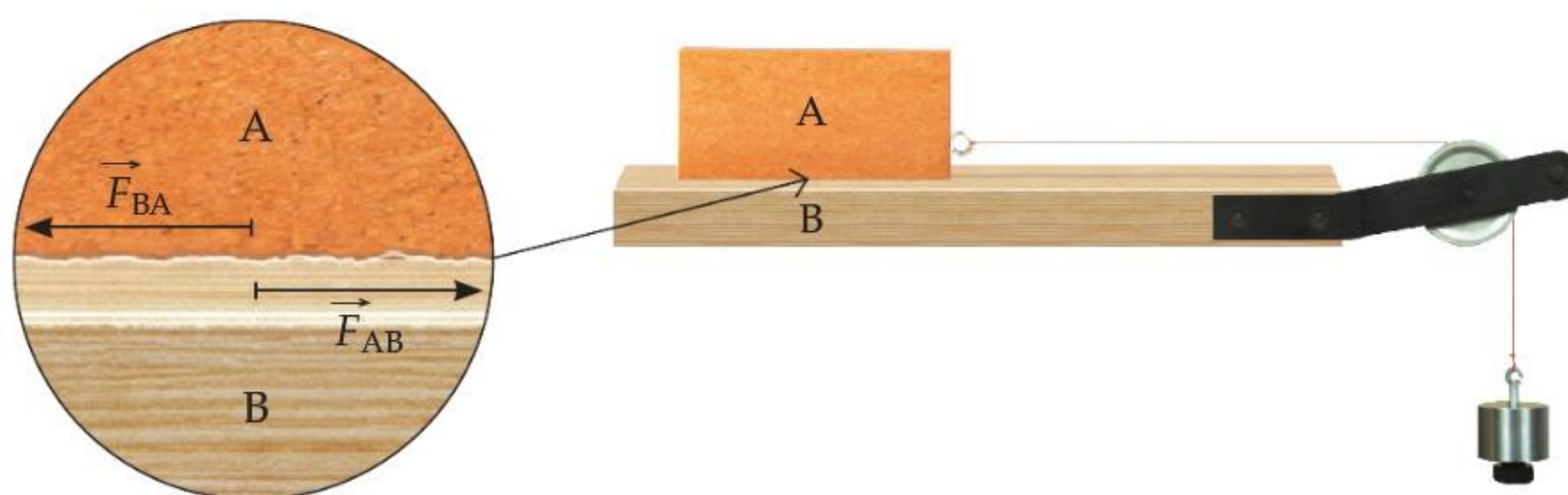
Wnioski:

- Na dwa identyczne spadochrony działa taka sama siła oporu.
- Zmniejszenie siły oporu powietrza (zgniecenie kulki papieru) powoduje, że wypadkowa siła działająca w dół jest większa i ciała w krótszym czasie docierają do podłogi.
- Wartość siły oporu powietrza zależy od kształtu ciała poruszającego się w powietrzu i od wielkości powierzchni tego ciała.

Siłę tarcia nazywamy siłę, która powstaje na styku powierzchni dwóch ciał i przeciwdziała ich względnemu ruchowi.

Siły tarcia

Inną, powszechnie występującą siłą, przyczyniającą się do zmiany szybkości ciała, jest **siła tarcia**. Powstaje ona na styku powierzchni dwóch ciał, przede wszystkim z powodu nierówności ich powierzchni, które – choć ich nie widzimy gołym okiem – to w rzeczywistości istnieją (il. 6.15). Możesz je zobaczyć pod mikroskopem. Siła tarcia przeciwdziała względnemu ruchowi stykających się ciał. Tarcie stanowi szczególny przypadek oddziaływań ciał na siebie. I jak w innych przypadkach wzajemnego oddziaływania ciał na siebie, tak i w przypadku tarcia występuje zgodność z trzecią zasadą dynamiki. Oznacza to, że wskutek tarcia pojawiają się dwie siły. Jedna z nich jest przyłożona do poruszającego się ciała A, zaś druga do ciała B, względem którego ciało A się porusza. Obydwie te siły mają taką samą wartość, ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty: $-\vec{F}_{AB} = \vec{F}_{BA}$



6.15 Siły tarcia działające na przesuwany przedmiot i podłoże

Tarcie statyczne i kinetyczne

Zajmiemy się teraz dokładniej siłami tarcia występującymi między ciałami stałymi. Jeżeli te ciała są względem siebie w spoczynku, to oddziałują między sobą **siłami tarcia statycznego**, a jeżeli dwa stykające się ciała względem siebie są w ruchu, to występuje między nimi **tarcie kinetyczne**.

Doświadczenie 49.

Badamy siły tarcia statycznego i kinetycznego

Hipoteza: Siły tarcia statycznego i kinetycznego są jednakowe.

Niezbędne przedmioty: okrągły ołówek, rolka taśmy klejącej (mogą być klucze na kółku), klocek drewniany z haczykiem, siłomierz (przed pomiarami odczytaj jego zakres i dokładność)

Wykonanie:

Część I

- Zawieś rolkę taśmy na ołówku opartym jednym końcem o ławkę, pochyloną pod kątem ostrym do powierzchni. Ustaw ołówek tak, aby rolka taśmy się nie zsuwała.
- Obróć powoli ołówek wokół jego osi i obserwuj, co się dzieje z rolką taśmy.

Część II

- Połóż klocek na ławce i zaczepek siłomierz.
- Postaraj się, ciągnąc za siłomierz, wprowadzić powoli klocek w ruch. Obserwuj w tym czasie wskazanie siłomierza.
- Przemieszczaj dalej klocek po ławce ruchem jednostajnym i obserwuj wskazania siłomierza.

Obserwacje:

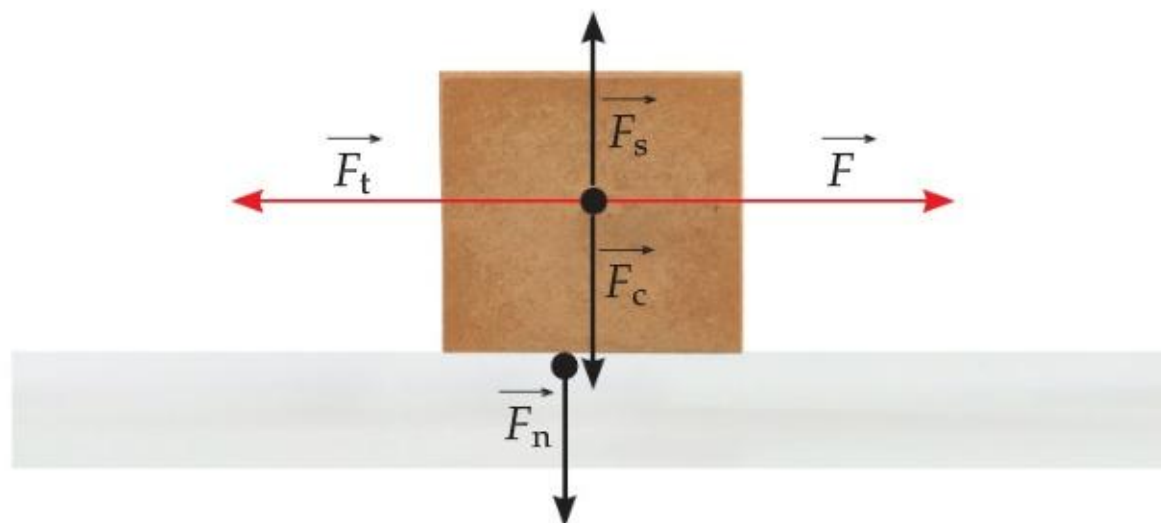
Część I Spoczywająca na ołówku taśma w trakcie obrotu ołówka zaczęła się z niego zsuwać.

Część II Dopóki klocek nie ruszył się z miejsca, rosła wartość siły, którą działaliśmy na klocek. W momencie wprowadzenia klocka w ruch wartość siły była największa. W trakcie ruchu jednostajnego klocka siłomierz wskazywał mniejszą wartość.

Wniosek: Postawiona hipoteza jest nieprawdziwa – zostaje odrzucona. Dla danych dwóch powierzchni **maksymalna wartość siły tarcia statycznego jest większa od wartości siły tarcia kinetycznego**.

Siły działające na poruszające się po powierzchni ciało

Jak już wiesz, oddziaływanie grawitacyjne powoduje, że wszystkie ciała swobodnie spadają na ziemię. Jeśli jednak ciało wisi lub leży, to działające na ciało siły równoważą się wzajemnie. Siłą równoważącą siłę ciężkości obciążnika na sprężynie jest siła sprężystości (il. 6.17). Przeanalizujmy raz jeszcze, jakie siły działają na ciało poruszające się ruchem jednostajnym (il. 6.16).



6.16 Siły działające na powierzchnię i ciało poruszające się po niej ruchem jednostajnym

Na klocek w kierunku poziomym działają siły:

$\vec{F}$ – siła powodująca ruch, z jaką działamy na ciało

$\vec{F}_t$ – siła tarcia, z jaką podłoże działa na klocek

$F = F_t$ (siły się równoważą – ruch jednostajny)

W kierunku pionowym działają siły:

- klocek oddziałuje z Ziemią

$\vec{F}_c$ – siła, z jaką Ziemia przyciąga klocek

- klocek oddziałuje z podłożem

$\vec{F}_n$ – siła nacisku, z jaką klocek oddziałuje na podłoże (kierunek siły nacisku jest prostopadły do powierzchni stykających się ciał)

$\vec{F}_s$ – siła sprężystości (inaczej zwana siłą reakcji podłoża), z jaką podłoże oddziałuje na klocek

$F_s = F_c$ (siły się równoważą)



6.17 Siły działające na odważnik równoważą się

Ciekawe!

Metodę przetaczania po balach wykorzystywano min. w starożytnym Egipcie. Transportowano w ten sposób duże ciężary, takie jak budowlane bloki skalne czy maszyny oblężnicze.

Tarcie kinetyczne: poślizgowe i toczne

Rozróżniamy dwa rodzaje tarcia kinetycznego – w zależności od tego, w jaki sposób przemieszcza się jedno ciało po drugim. Gdy jedno ciało przesuwa się (ślizga się) po drugim, to siła tarcia towarzysząca temu ruchowi nazywa się **tarciem poślizgowym** (il. 6.18). Gdy toczymy np. beczkę lub koło po podłożu, to występującą podczas takiego ruchu siłę tarcia nazywamy **tarciem tocznym** (il. 6.19). Łatwo sprawdzić, od czego zależy wartość siły tarcia kinetycznego. Do doświadczenia użyjemy prostopadłościennego klocka.



6.18 Tarcie poślizgowe



6.19 Tarcie toczne

Doświadczenie 50.

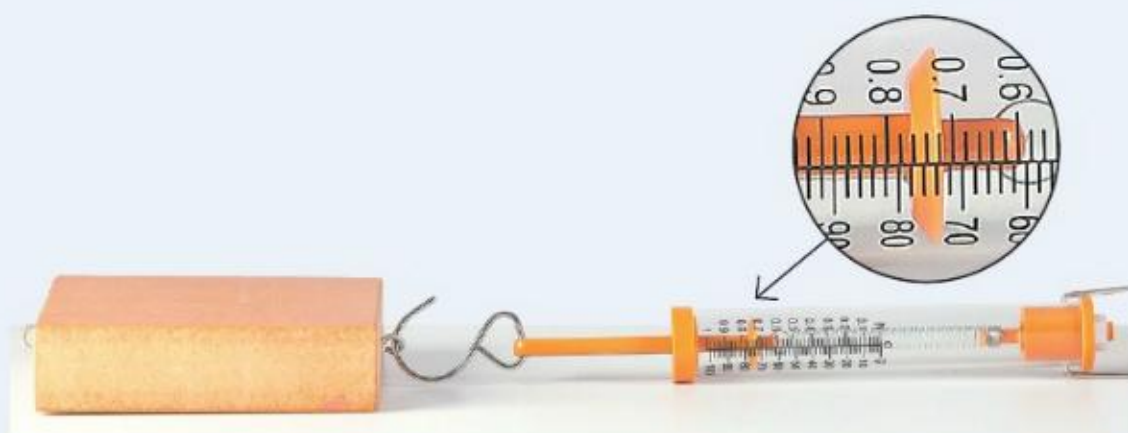
Badamy siły tarcia poślizgowego i tocznego

Hipoteza: Wartość siły tarcia poślizgowego i tocznego jest jednakowa.

Niezbędne przedmioty: klocek drewniany z haczykiem, siłomierz, kilka okrągłych ołówków (mogą być cienkie i okrągłe flamastry lub okrągłe patyczki)

Wykonanie:

- Obejrzyj siłomierz, odczytaj jego zakres i dokładność.
- Połóż klocek na ławce i zaczeń siłomierz.
- Ciągnij za siłomierz i wpraw klocek w ruch jednostajny – wtedy siła tarcia będzie równa sile, z którą ciągniesz klocek. Obserwuj wskazanie siłomierza.
- Umieść klocek na ołówkach i ciągnij go ruchem jednostajnym. Obserwuj wskazanie siłomierza.



Obserwacje: Po porównaniu wskazań siłomierzy możemy stwierdzić, że w trakcie ruchu klocka na ołówkach siłomierz wskazywał mniejszą wartość.

Wniosek: Postawiona hipoteza jest nieprawdziwa i zostaje odrzucona. **Wartość siły tarcia tocznego jest mniejsza od wartości siły tarcia poślizgowego.**

Od czego zależy tarcie kinetyczne?

Łatwo sprawdzić, od czego zależy wartość siły tarcia kinetycznego. Do doświadczenia ponownie użyjemy prostopadłościennych klocków.

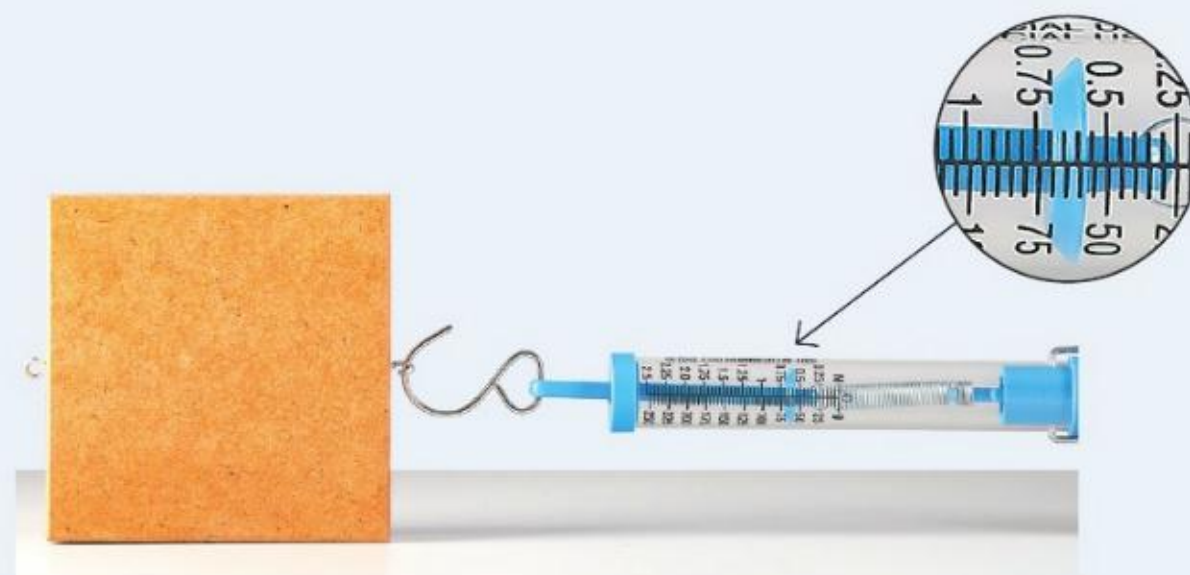
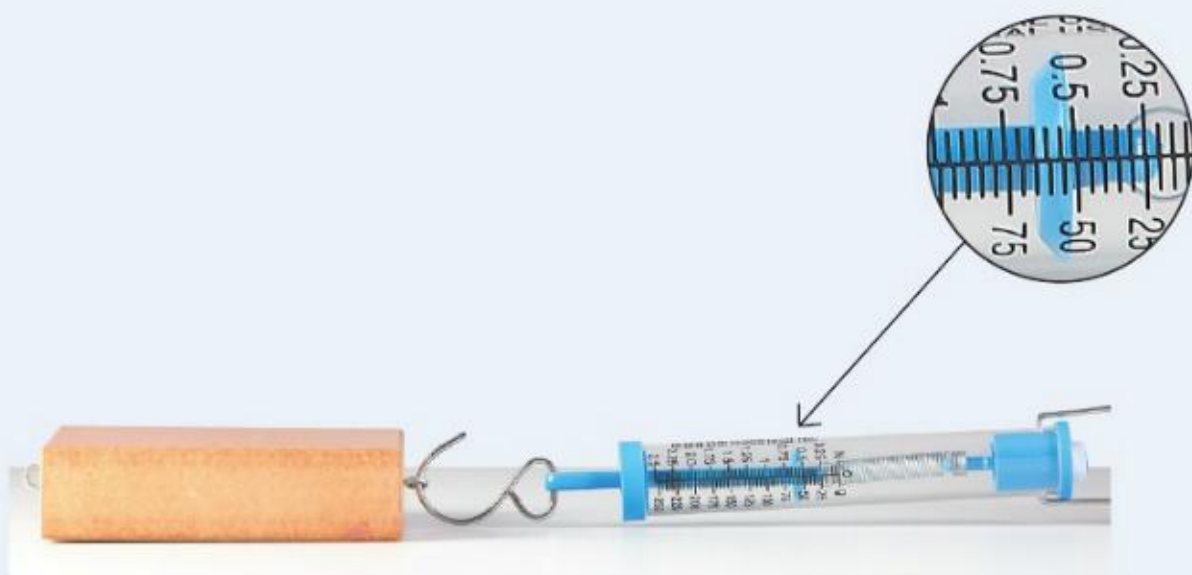
Doświadczenie 51.

Badamy, od czego zależy wartość siły tarcia kinetycznego

Niezbędne przedmioty: 2–3 klocki drewniane z haczykiem, siłomierz, obrus (może być sukno)

Wykonanie:

- Obejrzyj siłomierz, odczytaj jego zakres i dokładność.
- Połóż klocek na ławce (stole), zaczeprz siłomierz i przesuwaj ruchem jednostajnym, układając kolejno:
 - A. klocek na boku o większej powierzchni i na boku o mniejszej powierzchni,



- B. dwa, a potem trzy klocki jeden na drugim, położone na boku o większej powierzchni,



- C. klocek na gładkiej powierzchni, a potem na stole pokrytym obrusem (suknem).

Obserwacje:

- A. Wskazania siłomierzy są takie same, gdy klocek jest przesuwany na większej i na mniejszej powierzchni.
- B. Im więcej klocków leży na sobie, tym wskazanie siłomierza jest większe.
- C. Trudniej przesunąć klocek po obrusie i wskazanie siłomierza w tym przypadku jest większe niż w trakcie przesuwania klocka po gładkiej powierzchni.

Wnioski:

- Wartość siły tarcia kinetycznego nie zależy od wielkości stykających się powierzchni.
- Wartość siły tarcia kinetycznego jest tym większa, im większa jest siła nacisku.
- Wartość siły tarcia kinetycznego zależy od rodzaju stykających się powierzchni.

 Siła tarcia a siła nacisku

Na podstawie doświadczenia wiesz, że wartość siły tarcia zależy od rodzaju stykających się powierzchni oraz wartości siły nacisku. Iloraz wartości siły tarcia F_t przez wartość siły nacisku F_n (dla tego samego rodzaju powierzchni) jest stały:

$$\frac{F_t}{F_n} = \text{const}$$

Wartość tego ilorazu zależy od rodzaju materiałów, z których zbudowane są trące o siebie ciała. W fizyce nazywa się on współczynnikiem tarcia i oznacza się go literą f .

$$\frac{F_t}{F_n} = f$$

Z powyższego wzoru łatwo obliczyć, że wartość siły tarcia jest równa iloczynowi siły nacisku i współczynnika tarcia.

$$F_t = f \cdot F_n$$

Wzór ten jest prawdziwy dla siły tarcia kinetycznego i maksymalnej wartości siły tarcia statycznego. Dla danej pary materiałów współczynnik tarcia statycznego jest większy niż współczynnik tarcia kinetycznego.

Tabela współczynników tarcia poślizgowego dla kilku powierzchni

Oddziałujące ze sobą powierzchnie	Współczynnik tarcia f
opona po suchym betonie	0,7
drewno po drewnie	0,2–0,5
opona po mokrym betonie	0,5
stal po betonie	0,3
stal po stali	0,15
narty po śniegu	0,04
łyżwy po lodzie	0,015



6.20 Hamowanie podczas zjazdu na ślizgu



Podczas hamowania wykorzystujemy zjawisko tarcia. Jakie są skutki tarcia w tym przypadku?

Znaczenie tarcia

Jak już wiesz, tarcie wpływa na ruch. Siła tarcia kinetycznego powoduje zmniejszenie wartości prędkości ciała, a jeżeli jest to jedyna działająca siła, to ciało po pewnym czasie się zatrzyma. Kierujący pojazdem może skrócić drogę hamowania, naciskając na hamulec. Zwiększa on wówczas wartość siły tarcia i droga hamowania staje się krótsza. Bez siły tarcia spoczynkowego żaden pojazd kołowy nie mógłby ruszyć z miejsca, bo jego koła kręciłyby się w miejscu i nie byłoby przyczepności kół do podłoża. Taką sytuację możesz zaobserwować zimą – na śliskiej powierzchni koła samochodu buksują. Bez tarcia niemożliwe byłoby również poruszanie się ludzi i zwierząt po ziemi. Zimą, kiedy powierzchnie chodników są oblodzone, zbyt mała siła tarcia utrudnia chodzenie. Posypywanie chodników piaskiem zwiększa siłę tarcia między butami a podłożem i poruszanie się po nich staje się bezpieczniejsze. Siła ta pozwala utrzymać różne przedmioty w rękach. Teraz już wiesz, dlaczego mokre mydło trudno jest utrzymać. Dzięki tarcu nie przesuwają się sprzęty po podłodze ani przedmioty po blatach mebli.

Jak widać z powyższych rozważań, siły oporu ruchu mogą wywoływać pozytywne skutki i często zwiększenie ich wartości jest korzystne. W wielu wypadkach jednak jest to szkodliwe. Może powodować zużywanie się części maszyn, jeśli nie są odpowiednio nasmarowane, czy wycieranie się odzieży podczas chodzenia. Tarcie zmniejszamy, wygładzając stykające się powierzchnie ciał lub stosując smary i oleje.

Jeśli jest to możliwe, w wielu urządzeniach tarcie poślizgowe zamieniane jest na toczne – wówczas elementy zamiast trzeć o siebie, toczą się np. po kulkach w łożyskach kulkowych. Aby zmniejszyć opory powietrza, pojazdom nadaje się opływowe kształty.

W skrócie

- Oporami ruchu nazywamy wszystkie siły działające na poruszające się ciało fizyczne, które przeciwdziałają poruszaniu się tego ciała. Wartość sił oporu w powietrzu i w wodzie zależy od prędkości oraz kształtu i wielkości powierzchni poruszającego się ciała.
- Siłę, która powstaje na styku powierzchni dwóch ciał i przeciwdziała ich względnemu ruchowi, nazywamy siłą tarcia.
- Jeżeli ciała są względem siebie w spoczynku, oddziałują między sobą siłami tarcia statycznego, a jeżeli są względem siebie w ruchu, to występuje między nimi tarcie kinetyczne.
- Dla danych dwóch powierzchni maksymalna wartość siły tarcia statycznego jest większa od wartości siły tarcia kinetycznego.
- Tarcie kinetyczne może być poślizgowe, gdy jedno ciało przesuwa się (ślizga się) po drugim, albo toczne, gdy ciało toczy się po drugim ciele. Wartość siły tarcia tocznego jest mniejsza niż wartość siły tarcia poślizgowego.
- Wartość siły tarcia kinetycznego zależy od rodzaju stykających się powierzchni, ale nie zależy od ich wielkości; jest tym większa, im większa jest siła nacisku.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
Siła oporu powietrza
A. rośnie wraz ze wzrostem wartości prędkości poruszającego się ciała.
B. rośnie wraz ze wzrostem wielkości powierzchni poruszającego się ciała.
C. nie zależy od wartości prędkości, a jedynie od kształtu poruszającego się ciała.
- 2 Podaj trzy przykłady z życia codziennego, w których zmniejszamy opory ruchu.
- 3 Wyjaśnij, dlaczego trudno się przemieszczać po śliskiej powierzchni.
- 4 Oceń, czy w podanych sytuacjach tarcie jest użyteczne czy nieużyteczne.
 - hamowanie roweru
 - pisanie długopisem
 - ruch tłoków silnika
 - toczenie się kół tramwaju po szynach
 - trzymanie mydła w rękach

Ciekawe!



Łożyska kulkowe wielokrotnie zmniejszają tarcie. W łożyskach umieszczone są, między obracającymi się pierścieniami, toczące się kulki



6.21 Poduszkowiec



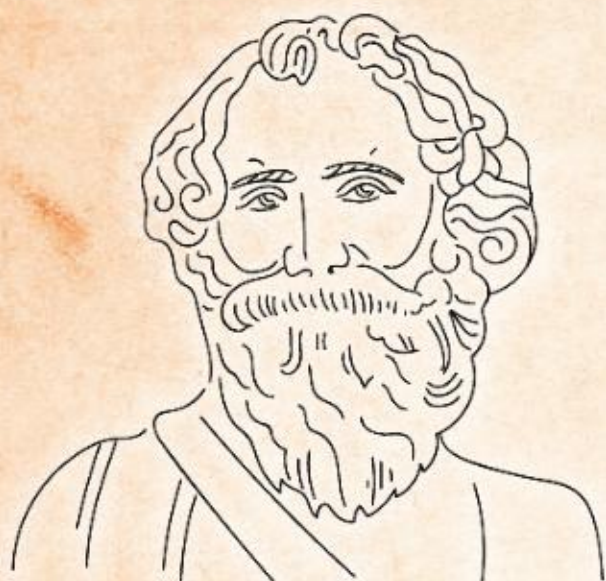
Wyjaśnij, dlaczego poduszkowce mogą się poruszać po grząskich i podmokłych terenach.



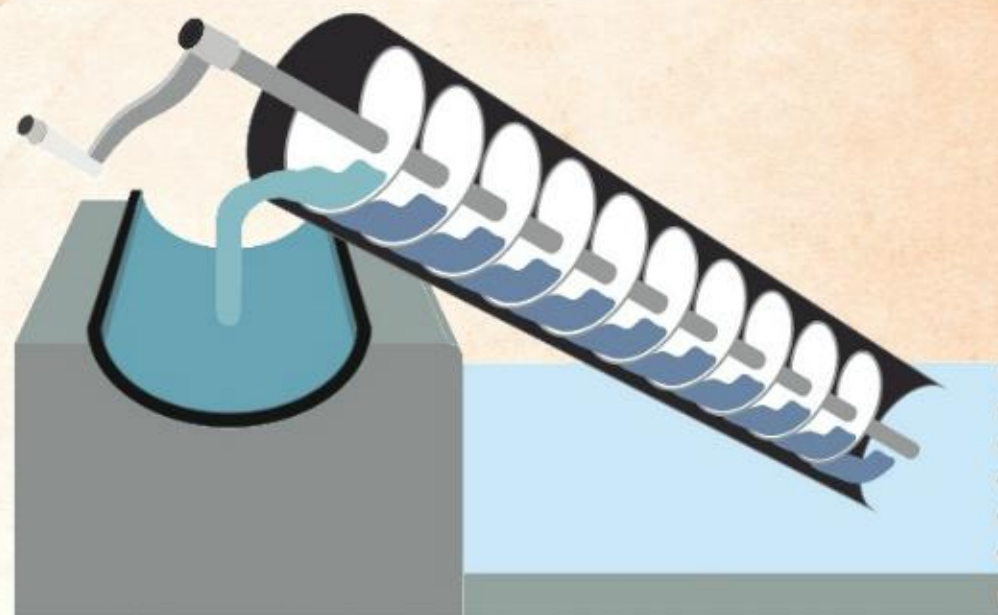
MASZYNY PROSTE

Dźwignie i inne maszyny proste – ułatwiają wykonanie określonych czynności poprzez zmianę wartości lub kierunku działania siły.

dźwignie (dwustronna i jednostronna) | kołowroty | bloki (ruchome i nieruchome)
pochylnie | śruby | kliny



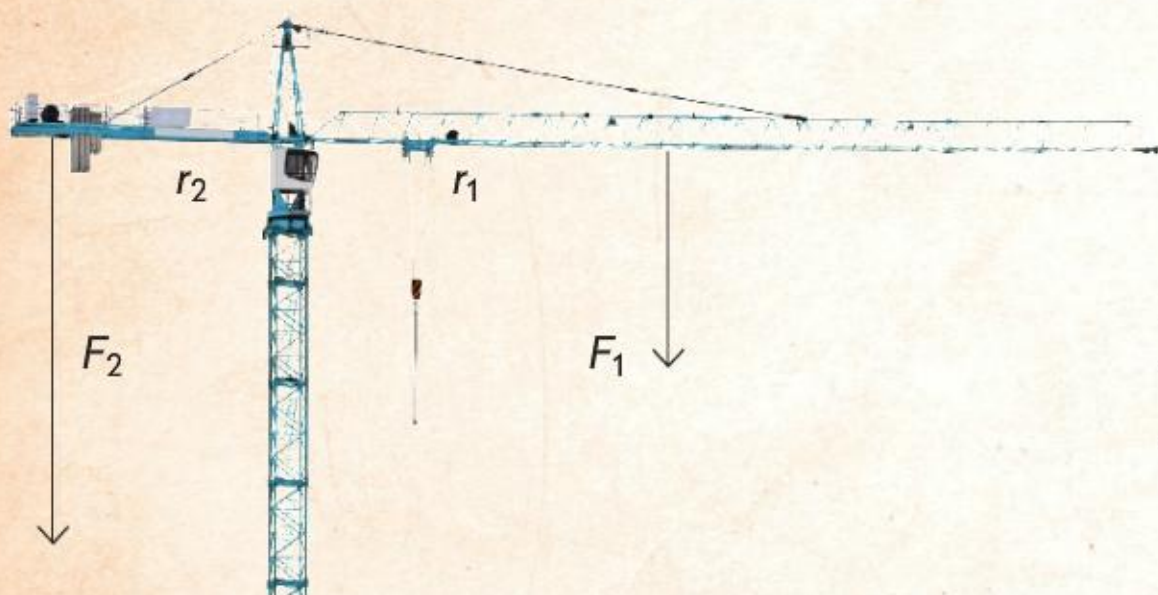
Prawo równowagi dźwigni odkrył i sformułował Archimedes, wybitny fizyk i matematyk starożytności. Zasłynął również jako konstruktor machin wojennych, które składały się z dźwigni i innych maszyn prostych. Archimedes znał prawo równowagi dźwigni, więc wiedział, że za pomocą tego urządzenia można dowolnie dużą siłę zrównoważyć małą siłą.



Dźwignie

Do najpospolitszych wśród nich zaliczamy **dźwignię dwustronną**. Jest to sztywny pręt, drążek lub belka, który może obracać się względem określonej osi (zwanej osią obrotu), dwie działające na nią siły, które są przyłożone po obu stronach tej osi. Odległości punktu przyłożenia sił od osi obrotu nazywamy ramionami sił.

dwustronne



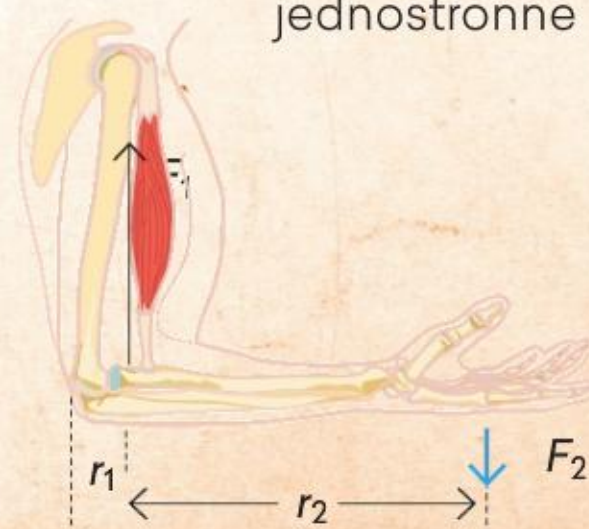
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_2}{r_1}$$



Wartość siły przyłożonej po jednej stronie osi obrotu jest tyle razy mniejsza od wartości siły przyłożonej po drugiej stronie osi obrotu, ile razy ramię pierwszej siły jest większe od ramienia drugiej siły.

W praktyce wykorzystujemy zasadę działania dźwigni dwustronnej w wielu przedmiotach codziennego użytku. Należą do nich: nożyczki, obcęgi, kombinerki, dawniej też żuraw do czerpania wody. Równie często stosujemy dźwignię jednostronną. Jest to również bryła (sztywny pręt, drążek lub belka) wyposażona w oś obrotu, tylko w przypadku tego rodzaju dźwigni działające na nią siły znajdują się po tej samej stronie osi obrotu i są skierowane przeciwnie. Przykładami dźwigni jednostronnej są taczki, składający się z dwóch dźwigni jednostronnych dziadek do orzechów, a także ręka.

jednostronne



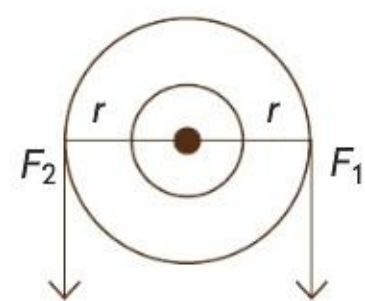


$$F_1 \cdot r = F_2 \cdot R$$

Kołowrót

Głównym elementem budowy kołowrotu jest walec o promieniu r , na który nawijana jest linka. Do walca przytwierdzona jest korba o promieniu obrotu R . Obracając ją, powodujemy nawijanie się linki na walec i wyciąganie do góry danego ciężaru F_1 . Obracając korbę, działamy na nią siłą F_2 .

Zgodnie z prawem równowagi dźwigni: $F_1 \cdot r = F_2 \cdot R$. Z zasady równowagi w kołowrocie korzystamy w czasie jazdy na rowerze, w którym długości ramienia korby odpowiada odległość pedału od osi obrotu, a promieniowi walca z kołowrotu – promień zębatego, do której przymocowany jest pedał.



$$F_1 \cdot r = F_2 \cdot r$$

Blok

Bardzo często używaną maszyną prostą jest blok nieruchomy. Przy użyciu tej maszyny prostej nie zyskujemy na sile, gdyż działa on na zasadzie dźwigni dwustronnej o jednakowej długości ramion, czyli $r_1 = r_2$, a więc $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_1$, a stąd $F_1 = F_2$.

Szerokie zastosowanie bloku nieruchomego wynika z tego, że przy podnoszeniu ciężarów wygodniej jest ciągnąć linę w dół, niż podnosić ciężar w górę.



W wielu wypadkach zamiast podnosić przedmiot o znacznym ciężarze na pewną wysokość, wtacza się go lub wciąga na tę wysokość po równi pochyłej. Równia pochyła jest to ciało sztywne, którego jedną powierzchnię stanowi płaszczyznę ustawioną pod pewnym kątem do kierunku działania siły. Wartość siły F utrzymującej ciało w równowadze na równi jest tyle razy mniejsza od wartości jego ciężaru F_G , ile razy wysokość równi h jest mniejsza od długości równi l .

Zadania

1. Zaproponuj doświadczenie, w którym wyznaczysz za pomocą dźwigni dwustronnej masę nieznanego ciała.
2. Sprawdź przy użyciu siłomierza, jak się zmienia siła potrzebna do wciągnięcia ciała po równi pochyłej w zależności od kąta jej nachylenia. Porównaj tę siłę z ciężarem ciała.
3. Wyszukaj w internecie lub w innych źródłach informacji na temat maszyn prostych zbudowanych przez Archimedesa. Przygotuj krótką prezentację na ten temat.
4. Wykorzystaj dźwignie oraz bloczki i zbuduj model dowolnego urządzenia ułatwiającego codzienne czynności.

6.6 Druga zasada dynamiki Newtona

Podejmij temat

- Jakim ruchem porusza się ciało, gdy działa na nie stała niezrównoważona siła – stała siła wypadkowa?

Jak się zachowują ciała pod działaniem stałej niezrównoważonej siły

Wiesz już, że ciało porusza się ruchem jednostajnym, gdy działają na nie siły równoważące się, a więc gdy ich wypadkowa jest równa zero. A jeśli siły nie będą się równoważyć?

Intuicyjnie możesz stwierdzić, że będzie się zmieniać prędkość ciała. Znasz takie przypadki z życia codziennego. Zawsze, gdy się pojawia dodatkowa siła, np. motorowerzysta obraca manetkę (rączkę) gazu, prędkość pojazdu rośnie.

Zastanówmy się teraz nad warunkami, jakie muszą zostać spełnione, aby ciało poruszało się ruchem jednostajnie zmiennym z określonym przyspieszeniem. Sprawdźmy, od czego zależy wartość przyspieszenia, z jakim porusza się wózek, a właściwie układ: wózek – obciążniki.

Doświadczenie 52.

Badamy związek między przyspieszeniem ciała a działającą siłą wypadkową

Hipoteza: Wzrost wartości siły wypadkowej działającej na ciało powoduje proporcjonalny wzrost przyspieszenia ciała.

Niezbędne przedmioty: wózek, stoper, nieruchomy bloczek, 4 jednakowe obciążniki (najlepiej każdy o masie równej masie wózka), mocna nić

Uwaga! Doświadczenie jest dość trudne i wymaga precyzji w pomiarze czasu. Można wykorzystać nowe technologie i nakręcić film, dzięki któremu precyzyjnie zostanie określony czas przejazdu danego odcinka drogi. Doświadczenie można wykonać również na torze powietrznym. Przed rozpoczęciem doświadczenia należy dopasować zarówno masę wózka, jak i masy ciężarków.

Można również wykonać pomiary, określając stały czas, np. 2 s, i mierzyć drogę, którą przebędzie w tym czasie wózek.

Wykonanie:

- Zmontuj układ, taki jak na rysunku. Na wózku umieść 3 obciążniki, a na końcu nici 1 obciążnik.
- Na stole zaznacz odległość, np. 0,5 m.
- Ustaw wózek na początku zaznaczonej drogi.
- Jednocześnie włącz stoper i puść wózek. Zmierz czas, w którym pokonuje on określoną odległość.
- Przełóż jeden obciążnik z wózka i dołącz go do obciążnika umieszczonego na końcu nici.
- Ponownie zmierz czas, w którym wózek pokonuje zaznaczoną drogę.
- Przełóż kolejny obciążnik, zmierz czas. Ostatni pomiar wykonaj dla pustego wózka.
- Wyniki zapisuj w tabeli. Dla każdego pomiaru oblicz wartość przyspieszenia.
- Narysuj wykres $a(F)$

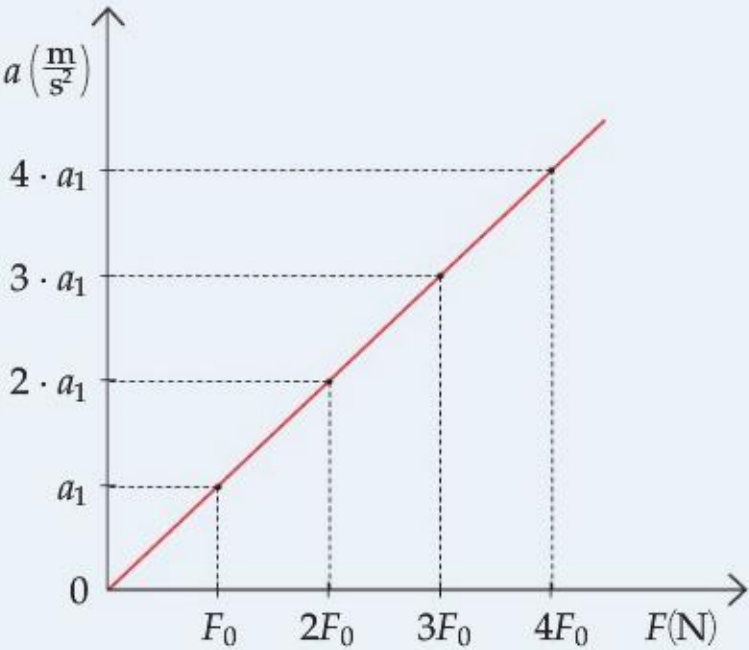


Obserwacje i wyniki:

- Tabela pomiarów

Siła wypadkowa rozpędzająca układ F (N) F_0 – ciężar jednego obciążnika	Czas t (s)	Przyspieszenie $a = \frac{2s}{t^2} \left(\frac{m}{s^2} \right)$
$F_0 = m \cdot g$	t_1	a_1
$2F_0 = 2 \cdot m \cdot g$	t_2	$a_2 = 2 \cdot a_1$
$3F_0 = 3 \cdot m \cdot g$	t_3	$a_3 = 3 \cdot a_1$
$4F_0 = 4 \cdot m \cdot g$	t_4	$a_4 = 4 \cdot a_1$

- Wykres $a(F)$



Wniosek: Wartość przyspieszenia a_2 jest dwa razy większa niż wartość przyspieszenia a_1 . Wartość przyspieszenia a_3 jest trzy razy większa niż wartość przyspieszenia a_1 .

Gdy wartość siły wypadkowej rośnie, to rośnie również przyspieszenie układu, na które ona działa. Przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do przyłożonej siły: $a \sim F$

W naszym doświadczeniu przyspieszeniu podlegał cały układ, czyli wózek wraz z obciążnikami i połączone z nim nicią dodatkowe obciążenie. Masa układu się nie zmieniała. Zmieniała się siła wypadkowa – ściągająca i rozpędzająca układ. Przyspieszenie układu wózek–obciążniki zwiększało się proporcjonalnie do liczby obciążników wiszących na nici. Możemy zatem stwierdzić, że

wartość przyspieszenia ciała jest wprost proporcjonalna do wartości siły wypadkowej działającej na ciało:
 $a \sim F$

Doświadczenie 53.

Czy przyspieszenie, które uzyskuje ciało pod wpływem niezrównoważonej siły, zależy od masy ciała?

Hipoteza: Przyspieszenie jest tym mniejsze, im większa jest masa ciała, na które ta siła działa.

Niezbędne przedmioty: wózek, stoper, nieruchomy bloczek, 5 jednakowych obciążników, każdy o masie równej masie wózka, mocna nić, linijka

Wykonanie:

- Zmontuj układ, taki jak na rysunku. Na wózku nie umieszczaj obciążników, a na końcu nici zawieś ich dwa.
- Zmierz drogę, jaką przebędzie wózek w czasie 2 sekund.
- Na wózku ustaw trzy obciążniki (masa układu zwiększa się dwukrotnie) i ponownie zmierz drogę przebytą w czasie 2 sekund.
- Wyniki zapisz w tabeli i oblicz wartość przyspieszenia wózka.



Obserwacje i wyniki:

- Tabela pomiarów

Masa wózka m_0 (g)	Droga s (m)	Przyspieszenie $a = \frac{2s}{t^2} \left(\frac{m}{s^2} \right)$
m_0	s_1	a_1
$2m_0$	s_2	$a_2 = \frac{1}{2} \cdot a_1$

- Dwukrotny wzrost masy układu ciał, na który działa ta sama siła, spowodował dwukrotne zmniejszenie wartości przyspieszenia układu.

Wniosek: Wartość przyspieszenia uzyskiwanego przez ciało pod wpływem stałej niezrównoważonej siły (siły wypadkowej) zależy od masy ciała. Im jest ona większa, tym mniejsza jest wartość przyspieszenia.

Wartość przyspieszenia, które uzyskują ciała pod wpływem działania siły wypadkowej o ustalonej wartości, jest odwrotnie proporcjonalna do ich masy: $a \sim \frac{1}{m}$



A.



B.

6.22 Siła wypadkowa powoduje:
A. przyspieszenie bolidu,
B. hamowanie bolidu

Sformułowanie drugiej zasady dynamiki

Wnioski z naszych doświadczeń i stwierdzone zależności są zgodne z odkrytym przez Newtona prawem, znanym jako **druga zasada dynamiki Newtona**:

pod wpływem stałej siły wypadkowej
ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym,
w którym przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do wartości tej siły,
a odwrotnie proporcjonalne do masy ciała.

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

a – przyspieszenie, F_w – siła wypadkowa, m – masa

Możemy tę zależność zapisać również wektorowo: $\vec{a} = \frac{\vec{F_w}}{m}$

Wynika stąd, że przyspieszenie ma zwrot zgodny ze zwrotem siły wypadkowej. A zatem, jeśli siła ma zwrot zgodny ze zwrotem prędkości, to pod jej wpływem ciało porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym (il. 6.22 A.). Jeśli jednak siła ma zwrot przeciwny do zwrotu prędkości, to przyspieszenie ma zwrot przeciwny do zwrotu prędkości i ciało porusza się ruchem jednostajnie opóźnionym (il. 6.22 B.).

Ciało, pod działaniem wypadkowej siły, może więc przyspieszać, zwalniać, jak również zmieniać kierunek ruchu, o czym dowiesz się więcej w toku dalszej nauki.

Druga zasada dynamiki Newtona ma podstawowe znaczenie w fizyce – pozwala opisać ruch wszystkich ciał, tych niezwykle małych, cząstek elementarnych, jak i bardzo wielkich, np. planet, jeśli ich szybkości są dużo mniejsze od prędkości światła (o tym również dowiesz się później).

Obliczanie siły i jednostka siły

Po przekształceniu sformułowanego w drugiej zasadzie dynamiki wzoru na przyspieszenie ciała otrzymujemy wzór na wartość siły F :

$$F = m \cdot a$$

Znając wartość przyspieszenia oraz masę ciała, możemy obliczyć wartość siły nadającej ciało to przyspieszenie. Wzór ten pozwala też na określenie jednostki siły, której nazwa – niuton – pochodzi od nazwiska autora zasad dynamiki, angielskiego fizyka Izaaka Newtona.

$$[F] = [m] \cdot [a] = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

Siła o wartości 1 N nadaje ciało o masie 1 kg przyspieszenie $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Przykład 41.

Samochód o masie 1 t rusza z przyspieszeniem $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Jaka jest wartość siły wypadkowej działającej na ten samochód?

Dane:

$$m = 1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$$

$$a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$F = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy z zależności na siłę wypadkową, wynikającej z drugiej zasady dynamiki Newtona: $F = m \cdot a$

$$\text{Po podstawieniu danych: } F = 1000 \text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2000 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2000 \text{ N} = 2 \text{ kN}$$

Odpowiedź: Wartość siły wypadkowej wynosi 2 kN.

Przykład 42.

Spoczywające pierwotnie ciało pod działaniem siły o wartości 4 N uzyskało przyspieszenie o wartości $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Oblicz masę tego ciała.

Dane:

$$F = 4 \text{ N}$$

$$a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$m = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy z drugiej zasady dynamiki Newtona: $a = \frac{F}{m}$, skąd obliczamy $m = \frac{F}{a}$

$$\text{Po podstawieniu danych: } m = \frac{4 \text{ N}}{2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2 \frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2 \text{ kg}$$

Odpowiedź: Masa ciała wynosi 2 kg.

Przykład 43.

Oblicz masę pojazdu, którego rozpędzenie w czasie 5 s do szybkości $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ wymaga wypadkowej siły 5 N.

Dane:

$$F = 5 \text{ N}$$

$$\Delta v = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{18 \cdot 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{18000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta t = 5 \text{ s}$$

Szukane:

$$m = ?$$

Rozwiązanie:

Pojazd w czasie $\Delta t = 5 \text{ s}$ poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Wiedząc, że zwiększył w tym czasie swoją szybkość o $\Delta v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, możemy obliczyć wartość przyspieszenia ze wzoru:

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

Ponieważ to siła wypadkowa nadała ciału przyspieszenie $a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, to aby obliczyć masę pojazdu, skorzystamy

z drugiej zasady dynamiki Newtona: $a = \frac{F}{m}$

Po przekształceniu wzoru otrzymamy: $m = \frac{F}{a}$

Po podstawieniu wartości liczbowych:

$$m = \frac{5 \text{ N}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{5 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5 \text{ kg}$$

Odpowiedź: Masa pojazdu wynosi 5 kg.

W skrócie

- Druga zasada dynamiki Newtona: pod wpływem stałej siły wypadkowej ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym, w którym przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do wartości tej siły, a odwrotnie proporcjonalne do masy ciała: $a = \frac{F}{m}$

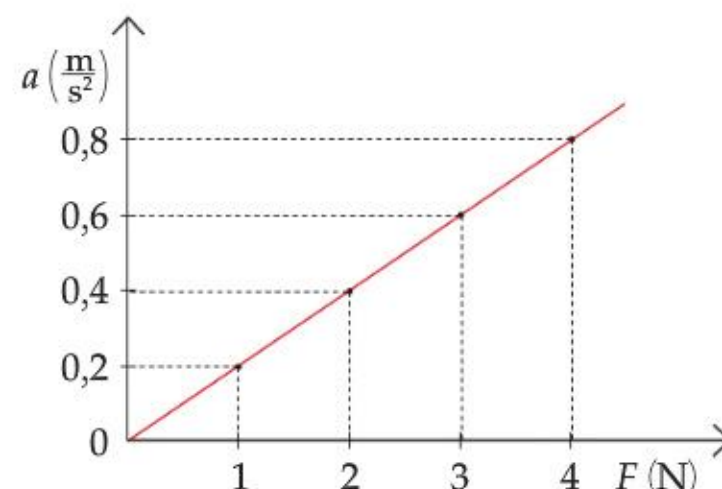
- Siłę wypadkową możemy obliczyć, mnożąc masę ciała przez jego przyspieszenie:

$$F = m \cdot a$$

- Jeden niuton (1 N) to wartość siły wypadkowej, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wykres przedstawia zależność wartości przyspieszenia ciała od wartości działającej na niego siły. Oblicz masę tego ciała.
- 2 Ciało o masie 100 kg rusza z miejsca pod działaniem siły wypadkowej 40 N. Jakie uzyskuje przyspieszenie w tym ruchu? Jaką szybkość osiągnie po 5 sekundach ruchu? Jaką drogę przebędzie w tym czasie?
- 3 Oblicz wartość siły, z jaką odbija się od podłogi koszykarz o masie 60 kg, jeżeli osiąga szybkość $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a czas odbicia wynosi 0,2 s.



6.7 Swobodne spadanie ciał

Podejmij temat

- Dwie doniczki o jednakowych masach i objętościach spadły na ziemię. Jedna z okna pierwszego piętra, a druga z piętra trzeciego. Z jakim przyspieszeniem spadały doniczki i co można powiedzieć o wartościach ich prędkości w chwili upadku na ziemię?

Ruch ciał pod wpływem siły ciężkości

Wiesz już, że każde ciało uniesione nad ziemię lub znajdujące się nad nią, niepodparte, niepodtrzymywane lub nieprzymocowane do innego ciała, spada na jej powierzchnię ruchem jednostajnie przyspieszonym. To, że spadające ciała poruszają się w ten sposób, wiadomo już od początku XVII wieku, kiedy to Galileo Galilei (Galileusz) w wyniku wielu badań stwierdził, że gdy nie ma oporów ruchu lub gdy są one zanedbywalnie małe, to ciała spadają z jednakowym przyspieszeniem. Spadanie ciał w próżni wyłącznie pod wpływem siły grawitacji, bez szybkości początkowej, nazywamy **spadaniem swobodnym**. Ciała ciężkie, o niewielkich rozmiarach, spadają w powietrzu podobnie jak w próżni. Obserwując spadanie ciał, możemy z łatwością potwierdzić, że ich ruch jest przyspieszony. Proste doświadczenie pozwoli nam przekonać się o tym.

Doświadczenie 54.

Badamy swobodny spadek ciał

Hipoteza: Ciała spadają swobodnie ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym.

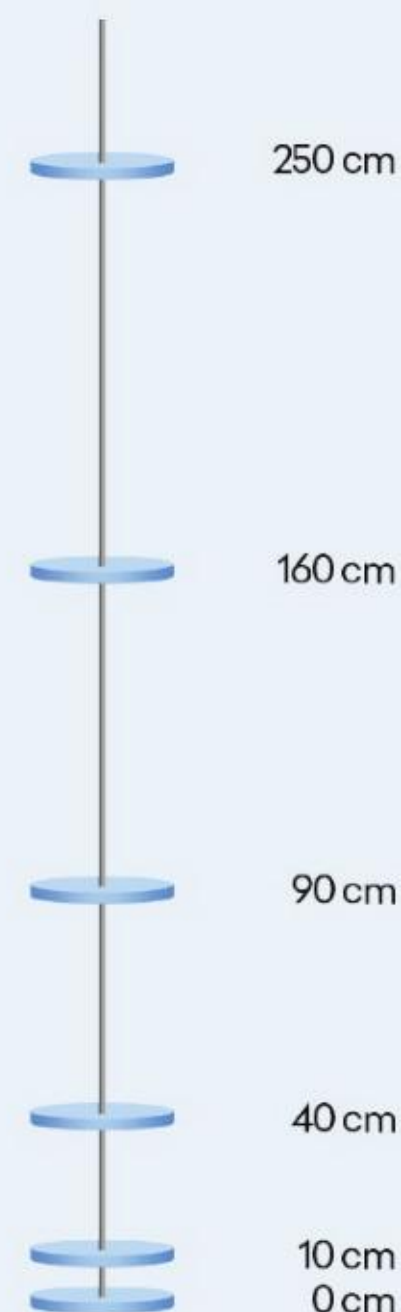
Niezbędne przedmioty: metalowe nakrętki, cienka bawełniana linka, taśma miernicza (długa linijka)

Wykonanie:

- Przymocuj do linki metalowe nakrętki, pierwszą na początku linki, a potem w odległości: 10 cm, 40 cm, 90 cm, 160 cm, 250 cm, mierząc od jednego końca linki.
- Wejdź na krzesło i przytrzymaj napiętą linkę tak, aby pierwsza nakrętka leżała na podłożu. Następnie puść linkę.

Obserwacje: W równych odstępach czasu słyszymy kolejne uderzenia nakrętek o podłoże.

Wnioski: Drogi między nakrętkami były przebyte w jednakowym czasie. Ponieważ te drogi (10 cm, 30 cm, 50 cm, 70 cm, 90 cm) mają się do siebie jak kolejne liczby nieparzyste, to oznacza, że ruch ten odbywał się ze stałym przyspieszeniem. Pamiętając również o zależności: $s_1 : s_2 : s_3 : s_4 = 1 : 4 : 9 : 16$ widzimy, że ciała spadają swobodnie ruchem jednostajnie przyspieszonym.





Współczynnik proporcjonalności g nazywamy przyspieszeniem ziemskim dla ciał spadających przy powierzchni Ziemi. Na innych planetach czy Księżycu ciała spadałyby z innym przyspieszeniem, dlatego ogólnie g nosi nazwę: przyspieszenie grawitacyjne.



Wcześniej wyrażaliśmy przyspieszenie ziemskie g w $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$, a teraz, jak widzisz, w $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Korzystając z poznanej definicji niutona, możemy pokazać, że:

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 10 \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{kg}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Swobodne spadanie ciał możemy zaobserwować w rurze, z której za pomocą pompy próżniowej wypompujemy powietrze. Jeśli użyć do tego doświadczenia trzech różnych ciał, np. monetę groszową, piórko i krążek papieru, to w tej rurze wszystkie spadną równocześnie, a ich ruch będzie się odbywał bez oporów powietrza.

Wszystkie ciała spadają swobodnie (w próżni) ruchem jednostajnie przyspieszonym ze stałym przyspieszeniem.

Przyspieszenie w swobodnym spadku ciał

Jak już wiesz, ruch jednostajnie przyspieszony odbywa się pod wpływem stałej, niezrównoważonej siły. Informuje o tym druga zasada dynamiki $a = \frac{F}{m}$. Zatem swobodny spadek ciał też musi być wywołany stałą, niezrównoważoną siłą. Jest nią siła przyciągania ziemskiego $F = m \cdot g$. Działa ona na spadające ciało, jest przyłożona do jego środka ciężkości i ma zwrot do środka Ziemi. Jej wartość możemy uznać za stałą, jeżeli rozpatrujemy spadanie ciała z wysokości kilku czy nawet kilkuset metrów. Przyspieszenie, z jakim ciała spadają swobodnie, **nie zależy od ich masy**:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{m \cdot g}{m} = g \text{ (przyspieszenie ziemskie)}$$

Dokładne pomiary wykazały, że wartość przyspieszenia ziemskiego jest różna w różnych miejscach Ziemi – najmniejsza na równiku ($9,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$), największa na biegunach ($9,83 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$). Wynika to z faktu, że Ziemia na biegunach jest lekko spłaszczona i wykonuje ruch wirowy wokół własnej osi.

Przy całkowitym braku tarcia czas swobodnego spadku ciała oraz czas wznoszenia się na tę samą wysokość jest jednakowy. Wartość prędkości w chwili upadku na ziemię jest równa wartości prędkości, z jaką było ono wyrzucone pionowo do góry. Dzieje się tak, ponieważ wartość przyspieszenia w ruchu ciała przy wznoszeniu się oraz przy swobodnym spadku jest taka sama. Pamiętaj, że zwroty przyspieszeń podczas ruchu w górę i w dół są przeciwnie.

W skrócie

- Wszystkie ciała, pod wpływem siły ciężkości spadają swobodnie (w próżni) ruchem jednostajnie przyspieszonym ze stałym przyspieszeniem.
- Przyspieszenie, z jakim ciała spadają swobodnie, nie zależy od ich masy.
- Czas swobodnego spadku ciała z danej wysokości nie zależy od jego masy.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.

Przyspieszenie, z jakim ciała spadają na Ziemię, gdy opór powietrza pomijamy,

- A. zależy od masy ciał i jest w danym miejscu na Ziemi jednakowe dla wszystkich ciał.
- B. nie zależy od masy ciał i jest w danym miejscu na Ziemi różne dla ciał o różnych masach.
- C. nie zależy od masy ciał i jest w danym miejscu na Ziemi jednakowe dla wszystkich ciał.

Podsumowanie działu 6

Ważne pojęcia

wzajemność oddziaływań		skutki wzajemnego oddziaływania			skutki statyczne						
skutki dynamiczne		siła wypadkowa		siły równoważące się		pierwsza zasada dynamiki Newtona					
zasada bezwładności		bezwładność		siły wewnętrzne		siły zewnętrzne					
trzecia zasada dynamiki		odrzut		siła sprężystości		współczynnik sprężystości					
opory ruchu		siła tarcia		siła nacisku		tarcie statyczne		tarcie kinetyczne		tarcie poślizgowe	
tarcie toczne		druga zasada dynamiki Newtona			niuton		siła ciężkości		swobodny spadek		

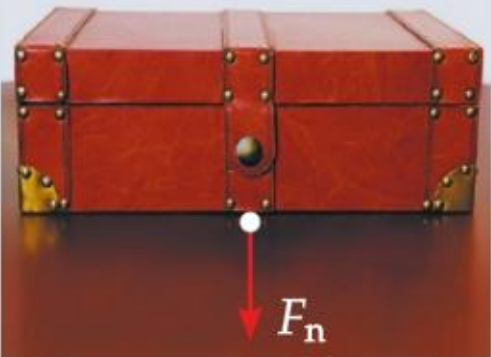
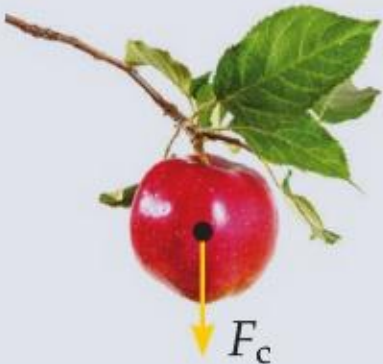
- Wszystkie oddziaływania (mechaniczne, grawitacyjne, elektrostatyczne, magnetyczne) są wzajemne.
- Wyróżniamy statyczne i dynamiczne skutki wzajemnego oddziaływania ciał.** Skutki dynamiczne związane są ze zmianą prędkości, a statyczne – ze zmianą kształtu ciała.
- Siłę, która zastępuje działanie na ciało dwu lub więcej sił i wywołuje taki sam skutek, nazywamy **siłą wypadkową**.
- Dwie siły działające na ciało wzdłuż tej samej prostej równoważą się wzajemnie, gdy mają jednakowe wartości i przeciwne zwroty. Wypadkowa tych sił jest równa zeru.
- Zasady dynamiki Newtona.**

Pierwsza (zwana zasadą bezwładności)	Druga	Trzecia (zwana zasadą akcji i reakcji)
Jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.	Pod wpływem stałej siły wypadkowej ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym, w którym przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do wartości tej siły, a odwrotnie proporcjonalne do masy ciała: $a = \frac{F}{m}$	Jeżeli jedno ciało działa na drugie z pewną siłą, to również drugie ciało oddziałuje na pierwsze siłą równą co do wartości, lecz przeciwnie zwróconą. Siły te przyłożone są do dwóch różnych ciał. $F_{12} = F_{21}$

- Bezwładność (inercja)** to zjawisko zachowania przez ciało prędkości, gdy nie działają żadne siły lub działające siły wzajemnie się równoważą. Miarą bezwładności ciała jest jego masa.
- Odrzut** to zjawisko wzajemnego oddziaływania ciał będących w spoczynku, w wyniku którego oddziałujące ciała poruszają się w przeciwne strony, z szybkościami zależnymi od ich mas. Zjawisko odrzutu uwiadcza trzecią zasadę dynamiki.
- Jeden niuton (1 N)** to wartość siły wypadkowej, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie $1 \frac{m}{s^2}$.
- Siłę wypadkową możemy obliczyć ze wzoru:

$$F = m \cdot a$$

Siły wokół nas

Siła sprężystości	powoduje powrót odkształconego ciała do jego pierwotnego kształtu.		Wartość siły sprężystości, którą sprężyna działa na zawieszone na niej ciało, jest wprost proporcjonalna do wydłużenia sprężyny: $F_s \sim x$
Siły oporów ruchu	to wszystkie siły działające na poruszające się ciało fizyczne, które przeciwdziałają poruszaniu się tego ciała.		Wartość sił oporu w powietrzu i wodzie zależy od prędkości oraz kształtu i wielkości powierzchni poruszającego się ciała: $F_o \sim v$
Siła nacisku	to siła, z jaką ciało działa na daną powierzchnię w kierunku prostopadłym do tej powierzchni.		Gdy powierzchnia jest płaska i pozioma, to siła nacisku jest równa ciężarowi ciała.
Siła tarcia	powstaje na styku powierzchni dwóch ciał i przeciwdziała ich względnemu ruchowi.		Siła tarcia zależy od rodzaju stykających się powierzchni, ale nie zależy od ich wielkości. Wartość siły tarcia jest tym większa, im większa jest siła nacisku: $F_t = f \cdot F_n$
Siła ciężkości (ciężar, siła grawitacji, siła przyciągania ziemskiego)	to siła, z jaką Ziemia przyciąga wszystkie ciała.		Siła ciężkości zależy od masy ciała: $F_c = m \cdot g$ Wszystkie ciała pod wpływem siły ciężkości spadają swobodnie (w próżni) ruchem jednostajnie przyspieszonym ze stałym przyspieszeniem. Przyspieszenie, z jakim ciała spadają swobodnie, nie zależy od ich masy.

Tarcie

Tarcie		
statyczne	kinetyczne	
siłami tarcia statycznego oddziałują między sobą ciała będące względem siebie w spoczynku	siła tarcia kinetycznego występuje, jeżeli ciała są względem siebie w ruchu	
	poślizgowe , gdy jedno ciało przesuwają się (ślizga się) po drugim	toczne , gdy ciało toczy się po drugim ciele
	wartość siły tarcia tocznego jest mniejsza niż wartość siły tarcia poślizgowego	
dla danych dwóch powierzchni maksymalna wartość siły tarcia statycznego jest większa od siły tarcia kinetycznego		

Czy już umiesz? Sprawdź się!

1 Bartek w trakcie meczu:

1. kopnął piłkę do kolegi,
2. ścisnął piłkę w rękach,
3. wyrzucił piłkę w górę,
4. siedział na piłce.

Statyczny skutek działania siły wystąpił w sytuacjach:

- A. 1 i 3 B. 3 C. 4 D. 2 i 4

2 Wokół Ziemi krąży satelita. Oceń prawdziwość podanych zdań.

Siła, z jaką Ziemia przyciąga satelitę,

- A. ma taką samą wartość, jak siła z jaką satelita przyciąga Ziemię.
B. jest tyle razy większa, ile razy większa jest masa Ziemi od masy satelity.

3 Na skrzynię działają siły przedstawione na rysunku.

Skutek tych sił jest taki, jak skutek działania siły o wartości

- A. 2 N B. 3 N
C. 6 N D. 1 N



Wskaż zdanie prawdziwe.

- A. Siła równoważąca będzie zwrócona w lewo, ponieważ siła wypadkowa zwrócona jest w prawo.
B. Siła równoważąca będzie zwrócona w prawo, ponieważ siła wypadkowa zwrócona jest w lewo.
C. Wartość siły równoważącej wynosi 1 N.

4 Kierowca zapomniał o książce położonej na dachu samochodu. Oceń prawdziwość podanych zdań.

- A. Gdy samochód ruszy bardzo powoli z miejsca, to książka pozostanie na dachu.
B. Gdy samochód z książką na dachu ostro zahamuje, to książka przesunie się do tyłu.
C. Gdy samochód z książką na dachu wejdzie ostro w zakręt w lewo, to książka przesunie się po dachu w prawo.

5 Na jednakowe wagoniki o masach 20 kg każdy działają siły przedstawione na rysunkach.

I.



II.



III.



IV.



Z przyspieszeniem o wartości $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ porusza się wózek

- A. I B. II C. III D. IV

6 Na wózek o masie 500 g działa siła wypadkowa o wartości 10 N. Z jakim przyspieszeniem porusza się wózek?

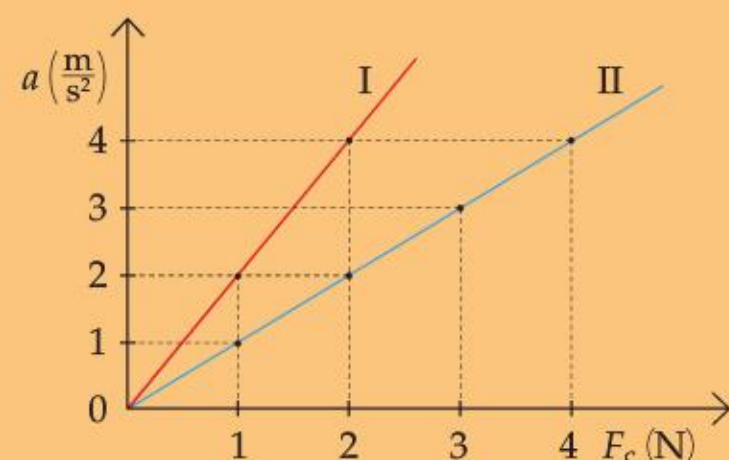
- A. $5000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ B. $0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ C. $20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ D. $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

7 Pod działaniem stałej niezrównoważonej siły ciało porusza się

- a) ze stałym przyspieszeniem,
b) ze stałą wartością prędkości,
c) z rosnącym przyspieszeniem,
d) z rosnącą wartością prędkości.

8 Wykres przedstawia zależność wartości przyspieszenia od wartości siły działającej na ciała I i II. Wskaż zdanie fałszywe.

- A. Ciało I pod wpływem siły 1 N porusza się z przyspieszeniem $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
B. Masa ciała I jest dwa razy większa od masy ciała II.
C. Przy sile o takiej samej wartości przyspieszenie ciała II jest dwa razy mniejsze niż ciała I.
D. Masa ciała I wynosi 0,5 kg, a ciała II wynosi 1 kg.

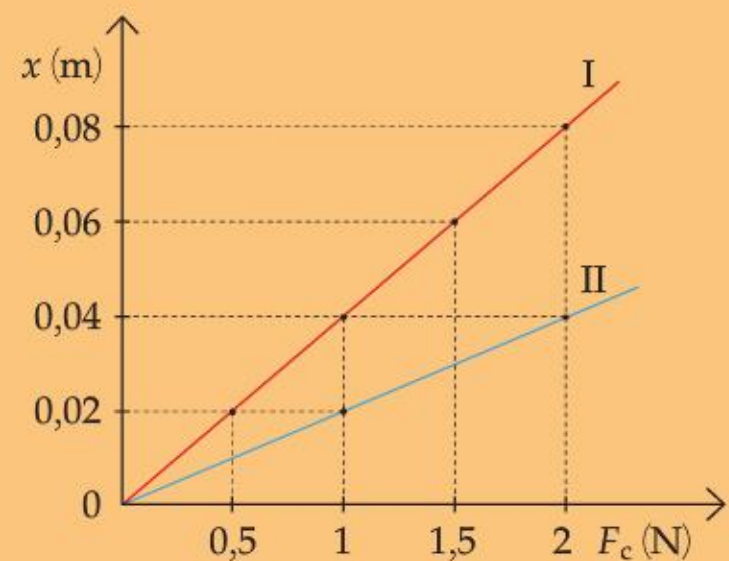


9 Balon meteorologiczny opada pionowo ze stałą prędkością. Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

Siły działające na balon	A.	równoważą się.	Tymi siłami są	A.	skierowana w górę siła wyporu i skierowane w dół siła ciężkości oraz siła oporu powietrza.
	B.	nie równoważą się.		B.	skierowane w górę siła wyporu i siła oporu powietrza oraz skierowana w dół siła ciężkości.

10 Na wykresie przedstawiono zależność wydłużenia sprężyny od działającej na nią siły dla dwóch różnych sprężyn. Wskaż zdanie fałszywe.

- A. Siła sprężystości powoduje powrót odkształconego ciała do jego pierwotnego kształtu.
B. Dla każdej ze sprężyn jej wydłużenie jest odwrotnie proporcjonalne do działającej siły.
C. Wydłużenie sprężyny I, przy tej samej działającej sile, jest dwa razy większe niż sprężyny II.
D. Im większa siła obciążająca sprężynę, tym większa siła sprężystości.



11 Robotnik przesuwa po podłodze paczkę o ciężarze 1000 N ruchem jednostajnym, działając siłą o wartości 400 N. Siła tarcia paczki o podłogę ma wartość

- A. 1000 N B. 400 N C. 1400 N D. 600 N

12 Oceń prawdziwość podanych zdań.

Przyspieszenie g , z jakim ciała spadają na Ziemię (pomijamy opór powietrza),

- A. jest takie samo na Ziemi.
B. zależy od masy ciał.
C. jest w danym miejscu na Ziemi jednakowe dla wszystkich ciał.

7. Praca, moc, energia



1. Jakie są formy energii?
2. Kiedy wykonywana jest praca mechaniczna?
3. Czym jest moc?
4. Jak obliczyć energię potencjalną grawitacji?
5. Od czego zależy energia kinetyczna?
6. O czym mówi zasada zachowania energii mechanicznej?

7.1 Energia i jej rodzaje

Podejmij temat

- Co wspólnego mają ze sobą bułka, benzyna, wiatr, płynąca woda?

Energia jest wielkością charakteryzującą stan ciała zdolnego do funkcjonowania, wykonywania różnych czynności.

Czym jest energia?

Aby motocykl, traktor czy samochód mogły się poruszać, w ich silnikach musi być spalane paliwo, np. benzyna, gaz lub olej napędowy. Człowiek jest zdolny do życia i działania tylko wówczas, gdy jego organizm otrzymuje odpowiednie ilości pokarmów wysokokalorycznych. Skrzydła wiatraka poruszają się pod wpływem wiatru. Tratwa płynie tylko z prądem wody. Wspólną cechą żywności, paliw, wiatru i płynącej wody jest to, że posiadają **energię**, są jej nośnikami (źródłami). Nie jest możliwe funkcjonowanie jakiegokolwiek urządzenia, człowieka czy zwierzęcia bez dostarczenia energii. To ona właśnie jest źródłem wszelkiej aktywności, wszelkiego działania na Ziemi i we Wszechświecie.

Różne rodzaje energii

Chociaż energii nie możemy dotknąć ani zobaczyć, to możemy wskazać efekty jej wykorzystania: poruszanie się ludzi i pojazdów, działanie maszyn i urządzeń, ogrzane pomieszczenia, ugotowane potrawy, wyprodukowane dobra materialne. Energia wykorzystywana jest w różnych postaciach: **energii chemicznej** – zmagazynowanej w wiązaniach związków chemicznych, zawartej np. w żywności i paliwach (il. 7.1); **energii mechanicznej** – związanej z ruchem i oddziaływaniem ciał materialnych, **energii elektrycznej** – produkowanej w elektrowniach różnego typu; **energii wewnętrznej** – związanej z temperaturą ciał; **energii promieniowania**, **energii jądrowej** (il. 7.2).



7.1 Elektrownie węglowe pozyskują energię przez spalanie węgla brunatnego lub kamiennego



7.2 W elektrowniach jądrowych energia elektryczna pozyskiwana jest dzięki rozszczepieniom pierwiastków ciężkich



W Polsce aż 76,8% energii pozyskuje się ze spalania węgla, a tylko jej 12,7% pochodzi z odnawialnych źródeł energii (OZE) (dane z 2018 r.)

Większość energii zużywanej przez człowieka (ok. 90%) wciąż wytwarzana jest w oparciu o paliwa kopalne i przemiany jądrowe, co potwierdzają dane statystyczne (Diagram 2., 3., 4.). Energia, której dostarczają nam drewno, węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny, jest tak naprawdę energią pochodzącą od Słońca – zmagazynowaną przez organizmy żywe w ciągu miliardów lat istnienia Ziemi. Jednak współczesne procesy wytwarzania energii z tych paliw niosą liczne zagrożenia i niebezpieczeństwa dla środowiska, w którym żyjemy. Dlatego wciąż poszukuje się alternatywnych źródeł energii, zwanych **odnawialnymi (OZE)** lub niekonwencjonalnymi (il. 7.3). Zaliczamy do nich m.in. wiatr, płynące rzeki, słońce, wody geotermalne, biomasę, przyływy i odpływy morza. Podstawową zaletą tych źródeł jest to, że ich zasoby są praktycznie niewyczerpalne, a wytwarzanie energii z tych źródeł nie zanieczyszcza środowiska.



Elektrownie wodne zamieniają energię przepływającej wody na energię elektryczną



Elektrownie słoneczne przekształcają energię promieniowania słonecznego na energię cieplną lub elektryczną



Elektrownie wiatrowe wytwarzają energię za pomocą urządzeń napędzanych energią wiatru



W elektrowniach geotermalnych energia pozyskiwana jest z energii cieplnej skał, wody i gruntu znajdujących się pod powierzchnią ziemi

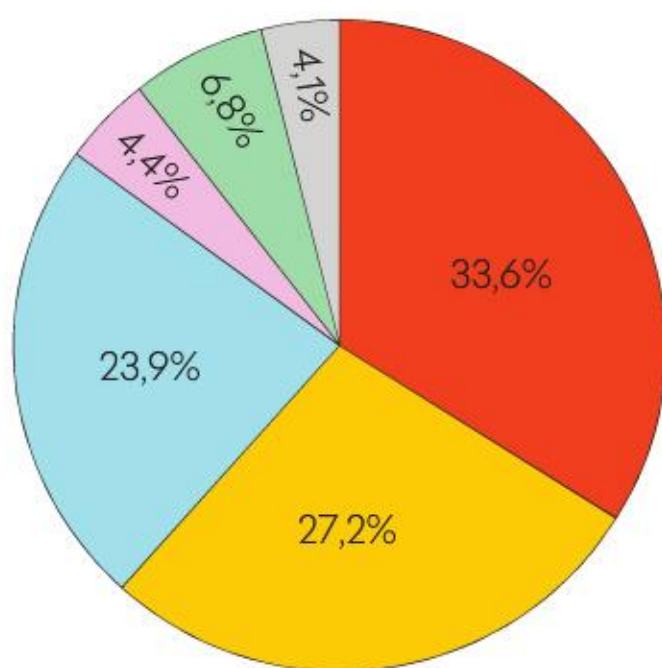


Elektrownie pływowe wykorzystują przyływy i odpływy morza



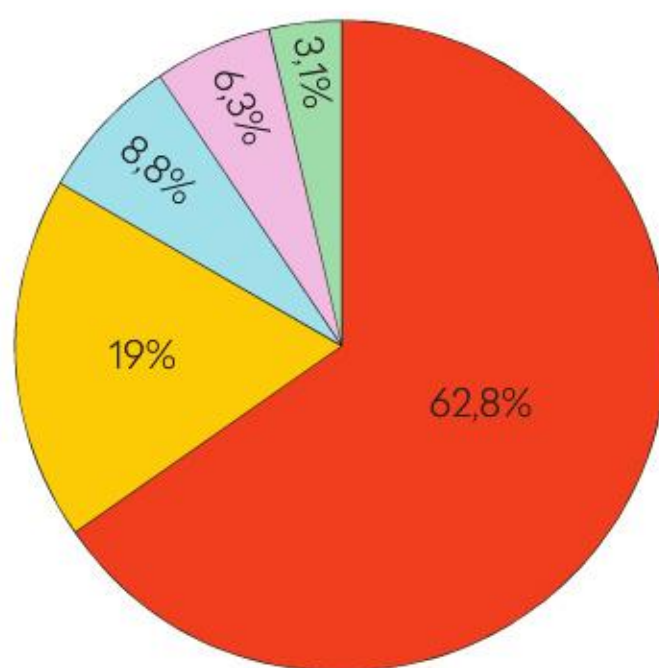
W elektrowniach biomasowych energię cieplną lub elektryczną uzyskuje się przez spalanie biomasy lub produktów jej rozkładu

Pozyskiwanie energii z różnych źródeł na świecie



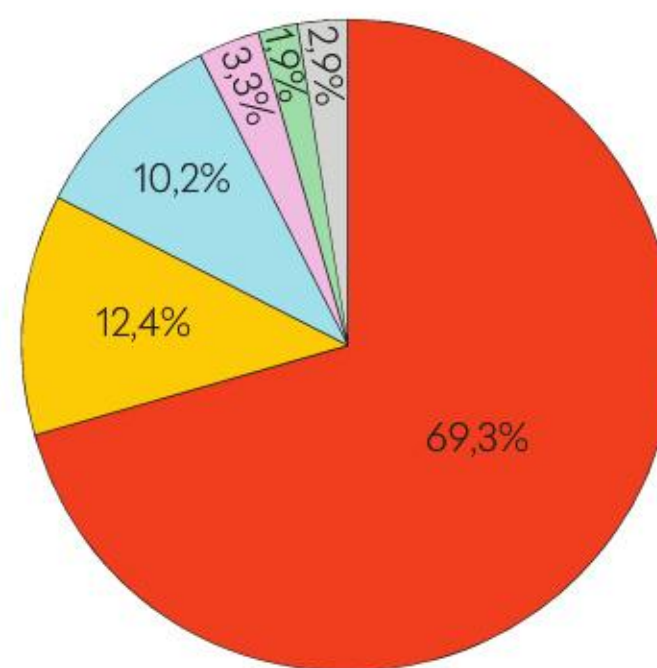
■ ropa naftowa
■ węgiel
■ gaz ziemny
■ energia jądrowa
■ energia wodna
■ pozostałe odnawialne

Diagram 2. Pozyskiwanie energii z różnych źródeł na świecie (2018 r.)



■ energia grawitacyjna wody
■ wiatr
■ energia słoneczna
■ biopaliwa
■ geotermia

Diagram 3. Pozyskiwanie energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) na świecie (2018 r.)



■ biopaliwa stałe
■ energia wiatru
■ biopaliwa ciekłe
■ biogaz
■ energia wody
■ pozostałe

Diagram 4. Struktura pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych w Polsce (w 2018 r.)



7.4 Dzieci grające w koszykówkę



7.5 Startująca rakietka

Przemiany energii

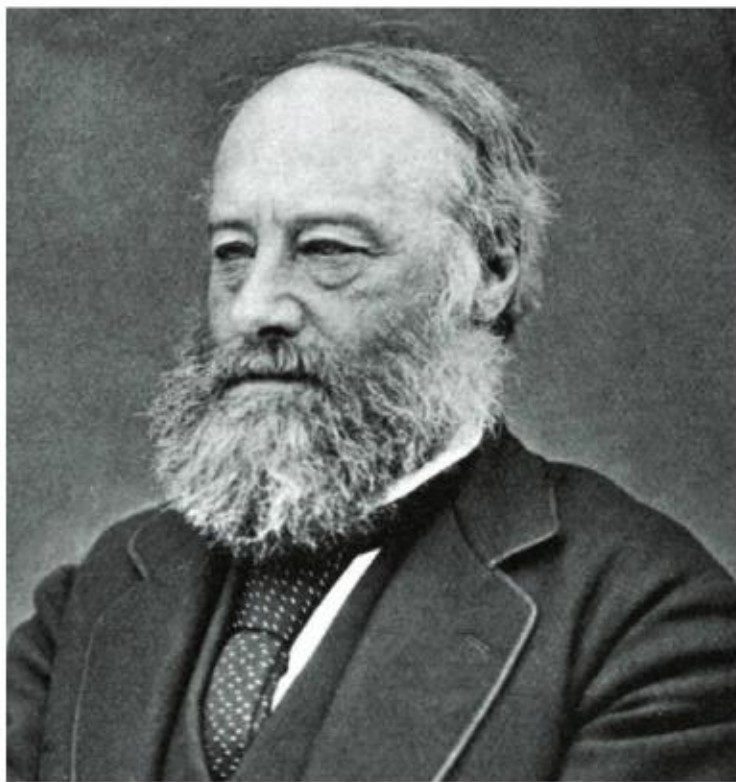
Kiedy uprawiamy sport, np. gramy w koszykówkę (il. 7.4), zawarta w naszych mięśniach energia pochodząca z pożywienia bezustannie jest przetwarzana w energię mechaniczną niezbędną do biegania, rzucania piłki itp. Gdy człowiek biegnie, tylko 25% energii chemicznej jego mięśni przekształca się w energię mechaniczną, reszta ulega zamianie na inne rodzaje energii. Jeśli jemy za dużo, organizm magazynuje nadmiar energii w postaci tłuszczu.

W większości samochodów z silnikami spalinowymi tylko 25% energii paliwa przekształca się w energię mechaniczną, reszta energii ulega rozproszeniu.

Do wysłania statku kosmicznego w przestrzeń kosmiczną potrzeba ogromnej ilości energii. Podczas startu energia chemiczna zawarta w paliwie rakietowym jest przetwarzana w sposób kontrolowany w energię ruchu, niezbędną do oderwania się rakiety od ziemi. W silnikach odrzutowych, w wyniku spalania specjalnego paliwa, powstają gazy spalinowe. Wyrzucane są one z olbrzymią szybkością z dyszy wylotowej rakiety (bądź samolotu), która zaczyna się poruszać z dużą szybkością w przeciwną stronę niż gazy spalinowe (il. 7.5).

Energia i jej jednostki

Jednostką energii w układzie SI jest dżul (symbol – J). Jednostka ta została nazwana tak dla upamiętnienia Jamesa Prescotta Joule'a (czytaj: dżejmsa preskota dżula), który odkrył, że ciepło jest sposobem przekazywania energii.



James Prescott Joule (1818–1889) – angielski fizyk, członek Towarzystwa Królewskiego. Ze względu na słabe zdrowie naukę rozpoczął dopiero w wieku 15 lat, ale już jako 19-letni fizyk amator, wówczas pracownik browaru, ogłosił swoją pierwszą pracę opisującą silnik elektryczny własnego pomysłu. Joule był niezwykle pracowity i sumienny. W zorganizowanej przez siebie pracowni fizycznej wykonywał doświadczenia, powtarzając każde wielokrotnie, i osiągał – mimo braku przygotowania naukowego – wspaniałe rezultaty. W wieku 22 lat odkrył prawo przemiany pracy prądu elektrycznego na ciepło, zwane dziś prawem Joule’a (lub Joule’a-Lenza). Zajmował się zagadnieniami związanymi z elektrycznością, energią, ciepłem i magnetyzmem.

Jednostki większe to kilodżul (kJ), megadżul (MJ) oraz gigadżul (GJ).

- 1 kJ = 1000 J
- 1 MJ = 1 000 000 J
- 1 GJ = 1 000 000 000 J

Tabela 11. Przykłady nośników energii i ich wartości energetycznych

Nośnik energii	Wartość energetyczna
bochenek chleba o masie 0,75 kg	8000 kJ
czekolada o masie 100 g	1988 kJ
jogurt o masie 100 g	408 kJ
płatki kukurydziane o masie 100 g	1567 kJ
ser żółty o masie 100 g	1265 kJ

Kromka chleba z masłem zawiera około 315 000 J energii. Korzystając z tej energii, człowiek mógłby np.:

- biec truchtem przez 6 minut,
- jechać rowerem przez 10 minut,
- iść szybkim krokiem przez 15 minut,
- pływać przez 10 minut.

W skrócie

- Energia jest wielkością charakteryzującą stan ciała zdolnego do funkcjonowania, wykonywania różnych czynności. Mierzona jest w jednostkach zwanych dżulami (1 J).
- Energia może przyjmować wiele postaci, np. energii mechanicznej (związanej z ruchem i oddziaływaniem ciał), chemicznej, wewnętrznej, elektrycznej, jądrowej, promieniowania.
- Energię pozyskujemy ze źródeł konwencjonalnych (ropa naftowa, gaz, węgiel) i z odnawialnych źródeł energii (OZE), do których zaliczamy wiatr, wodę, słońce, wody geotermalne, biopaliwa (biogaz, biomasa), przypływy i odpływy.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Podaj przykłady OZE.
- 2 Wskaż przykłady urządzeń lub zakładów przemysłowych, które mogą zamieniać energię z jej naturalnych postaci na postać użyteczną.
- 3 Wyszukaj w internecie informacje na temat udziału różnych źródeł w produkcji energii w Unii Europejskiej. Sporządź, na podstawie tych danych, diagram kołowy.

7.2 Praca i jej jednostki

Podejmij temat

- Kiedy możemy powiedzieć, że wykonaliśmy pracę?

Praca mechaniczna

Pojęcie pracy w języku potocznym jest bardzo szerokie. Określa się tak dowolne czynności wykonywane przez człowieka i powodujące zmęczenie, a także niektóre czynności wykonywane przez zwierzęta czy jakieś urządzenia. Pracuje urzędnik w biurze, prezenter telewizyjny, dziecko uczące się w szkole czy w domu, naukowiec wykonujący badania, robotnik w fabryce, koń ciągnący wóz z ładunkiem, prąd elektryczny w mikserze itd. W fizyce pojęcie pracy jest zawężone. Fizyka zajmuje się przede wszystkim pracą mechaniczną. Jest to wielkość ściśle związana z działaniem na ciało siły, która powoduje jego przemieszczenie lub odkształcenie.

Praca mechaniczna zostaje wykonana, gdy pod wpływem przyłożonej do ciała siły następuje jego przemieszczenie lub odkształcanie.

Rozpatrzmy przykłady pracy mechanicznej (il. 7.6).



Mężczyzna podnosi ruchem jednostajnym pudełko z podłogi. Oddziałując siłą przyłożoną do pudełka, wykonuje on pracę mechaniczną. Siła, jaką mężczyzna działa na pudełko, jest siłą równoważącą siłę ciężkości pudełka.



Gdy napinamy cięciwę łuku, wykonujemy pracę przeciwko sile sprężystości cięciwy. Przy wystrale z łuku siła sprężystości jego cięciwy, działając na strzałę, wprawia ją w ruch – wykonuje więc pracę mechaniczną.



Kucharka zagniała ciasto. Działa na nie siłą mięśni rąk, w wyniku czego ciasto zmienia swój kształt. I w tym wypadku jest wykonywana praca mechaniczna.

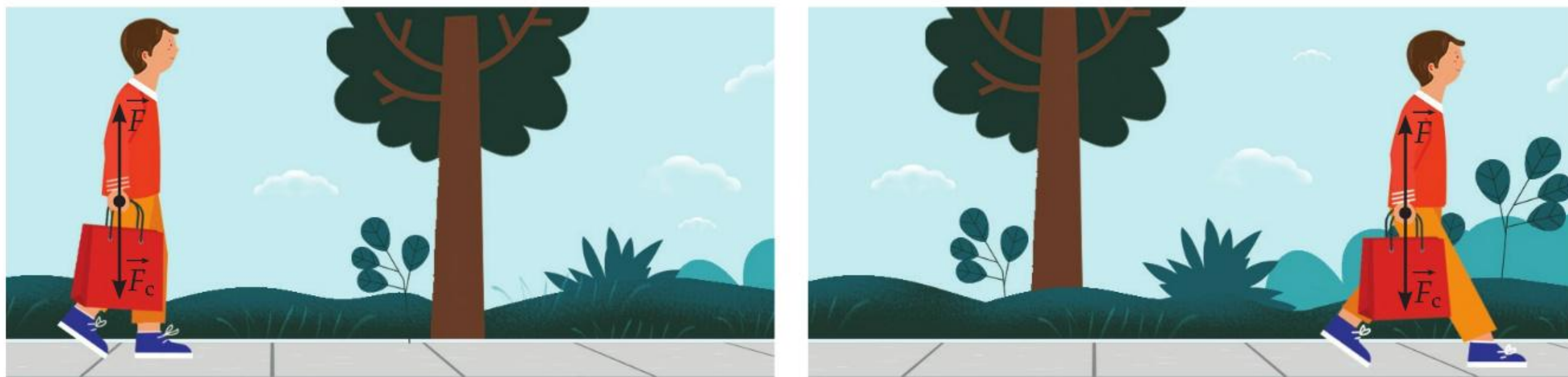
7.6 Przykłady wykonywania pracy mechanicznej

Kiedy wykonywana jest praca mechaniczna?

Zastanówmy się teraz, czy działaniu siły na ciało zawsze towarzyszy wykonanie pracy. Wiesz już, że jeśli na ciało działa siła, ale nie następuje jego przemieszczenie ani odkształcenie, to praca nie jest wykonywana. Gdy np. chcemy przesunąć ciężką szafę i naciskamy na nią z pewną siłą, ale szafa przy tym nie zostaje wprowadzona w ruch, to nie wykonujemy pracy mechanicznej. Sztangista, utrzymując ciężar na stałej wysokości, również nie wykonuje pracy mechanicznej. Okazuje się także, że nawet nie każda siła działająca na poruszające się ciało wykonuje pracę. Na przykład pasażer siedzący w autobusie jadącym po szosie działa na autobus siłą równą swojej sile ciężkości. Ale jasne jest, że to nie siła ciężkości pasażera wprowadza samochód w ruch. Siła ciężkości, działająca na pasażera pionowo w dół, nie wykonuje pracy.

Praca mechaniczna nie zostaje wykonana przez taką siłę, której kierunek działania jest prostopadły do kierunku przemieszczenia.

Rozpatrzmy sytuację, kiedy chłopiec niesie siatkę (il. 7.7).



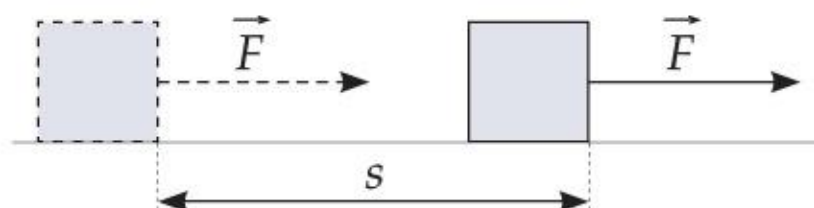
7.7 Chłopiec niosący siatkę

Siła ciężkości działa na siatkę pionowo w dół, chłopiec na siatkę działa siłą skierowaną pionowo w górę, ale siatka przemieszcza się w kierunku poziomym na stałej wysokości. Choć chłopiec może czuć zmęczenie ręki, to siła, którą działał na siatkę, nie wykonała pracy w sensie fizycznym. Pracę wykonały natomiast mięśnie jego rąk i nóg. Mówimy wówczas o pracy fizjologicznej.

Od czego zależy wartość wykonanej pracy?

Zastanówmy się teraz, od czego zależy wartość wykonanej pracy. Załóżmy, że podnieśliśmy ruchem jednostajnym torebkę z cukrem o masie 1 kg na wysokość 1 m. Musieliśmy w tym celu przyłożyć siłę o wartości około 10 N, o kierunku pionowym i zwrocie w górę. Aby podnieść na tę samą wysokość 5 kg cukru, musimy przyłożyć siłę 5 razy większą. Wykonana praca będzie więc w tym wypadku 5 razy większa. Jeśli chcemy podnieść 1 kg cukru na wysokość 5 m, praca wykonana na każdym odcinku 1 m będzie taka sama, ale w rezultacie całkowita praca na drodze 5 m będzie 5 razy większa niż na drodze 1 m. **Gdy kierunki oraz zwroty siły i przemieszczenia są zgodne, to praca mechaniczna jest proporcjonalna do wartości siły oraz do wartości przemieszczenia (drogi).**

W takim wypadku pracę możemy przedstawić jako iloczyn wartości siły i przebytej drogi.





Jak pamiętasz, dla ruchu prostoliniowego to wartość przemieszczenia $\vec{r}$ jest równa drodze s . Z tego względu, definiując pracę, w tym podręczniku będziemy używać pojęcia: droga.

W fizyce pracę oznacza się literą W (od pierwszej litery angielskiego słowa *work*, 'praca'), wartość siły – literą F , wartość przemieszczenia równą drodze – literą s .

Gdy zastosujemy te oznaczenia, otrzymujemy wzór:

$$W = F \cdot s$$

W – praca, F – siła, s – droga

Wzór ten możemy stosować tylko wtedy, gdy:

- wartość siły działającej na ciało jest stała,
- ciało przemieszcza się po linii prostej i siła ma zwrot zgodny ze zwrotem przemieszczenia (czyli siła jest zwrócona w tę samą stronę, w którą ciało się porusza).

O sposobach obliczania pracy, w przypadkach gdy wartość siły ulega zmianie, dowiesz się więcej w szkole średniej.

Więcej na temat



Siła nierównoległa do kierunku ruchu

Może się zdarzyć, że chcemy obliczyć pracę siły, której kierunek i zwrot nie są zgodne z kierunkiem i zwrotem przemieszczenia. Taka sytuacja występuje wówczas, gdy np. ktoś ciągnie sanki z dzieckiem, wózek z ładunkiem lub pcha taczki z ładunkiem.

W takich przypadkach musimy znaleźć siłę składową równoległą do kierunku przemieszczenia. Aby to uczynić, dokonujemy rozkładu siły F na siły F_1 i F_2 (il. obok). Pracę wykonuje składowa F_1 równoległa do kierunku przemieszczenia. Wartość tej składowej siły wyznaczamy, budując prostokąt na siłę F , która stanowi przekątną tego prostokąta.

$$W = F_1 \cdot s$$

Składowa F_2 zmniejsza siłę nacisku sanek na podłoże, a przez to zmniejsza siłę tarcia.



Jednostka pracy

Jednostkę pracy nazwano dżulem (jego symbolem jest J), tak jak jednostkę energii. Jednostkę pracy możemy wyprowadzić ze wzoru:

$$[W] = [F] \cdot [s] = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$

Pracę 1 dżula wykonuje siła o wartości 1 N przy przemieszczeniu ciała na drodze 1 m, przy założeniu, że siła jest zwrócona w tę samą stronę, w którą ciało się porusza.

Praca 1 dżula jest stosunkowo niewielka. Taką pracę wykonujemy np. wówczas, gdy podnosimy na wysokość 1 m tabliczkę czekolady lub mandarynkę o masie 100 g.

Poniższe przykłady ilustrują sposoby obliczania pracy.

Przykład 44.

Jaką pracę wykonuje chłopiec, gdy przesuwa fotel na odległość 2 m, jeśli siła, z jaką działa, ma kierunek poziomy i wartość 100 N?

Dane:

$$s = 2 \text{ m}$$

$$F = 100 \text{ N}$$

Szukane:

$$W = ?$$

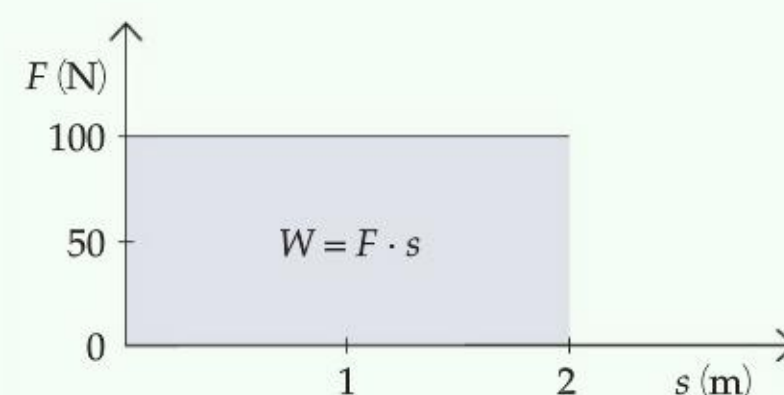
Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na pracę, siła jest zwrócona w tę samą stronę, w którą ciało się porusza: $W = F \cdot s$.

Po podstawieniu danych: $W = 100 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 200 \text{ J}$.



Wartość pracy możemy również obliczyć metodą graficzną na podstawie wykresu zależności wartości siły od przebytej drogi, przy założeniu, że w czasie ruchu wartość siły jest stała. Praca jest liczbowo równa polu figury powstałej pod wykresem $F(s)$.



Odpowiedź: Chłopiec, przesuując ten fotel, wykonuje pracę 200 J.

Przykład 45.

Jaką pracę wykona dźwig, podnoszący ruchem jednostajnym płytę o masie 2000 kg na wysokość 12 m, a następnie przesuwał ją poziomo także ruchem jednostajnym na odległość 5 m?

Dane:

$$s = h = 12 \text{ m}$$

$$m = 2000$$

Szukane:

$$W = ?$$

Rozwiązanie:

Gdy dźwig podnosi płytę ruchem jednostajnym, wówczas działa siłą równą ciężarowi płyty $F = F_c$

$$F = m \cdot g$$

$$F = 2000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 20\,000 \text{ N}$$

Praca wykonana przy podnoszeniu płyty jest więc równa: $W = F \cdot h$

$$W = 20\,000 \text{ N} \cdot 12 \text{ m} = 240\,000 \text{ J} = 240 \text{ kJ}$$

Gdy płyta jest przesuwana poziomo, dźwig nie wykonuje pracy w sensie fizycznym, bo kierunki siły i przemieszczenia są do siebie prostopadłe. Pomijamy opory ruchu występujące przy przemieszczaniu płyty poziomo.

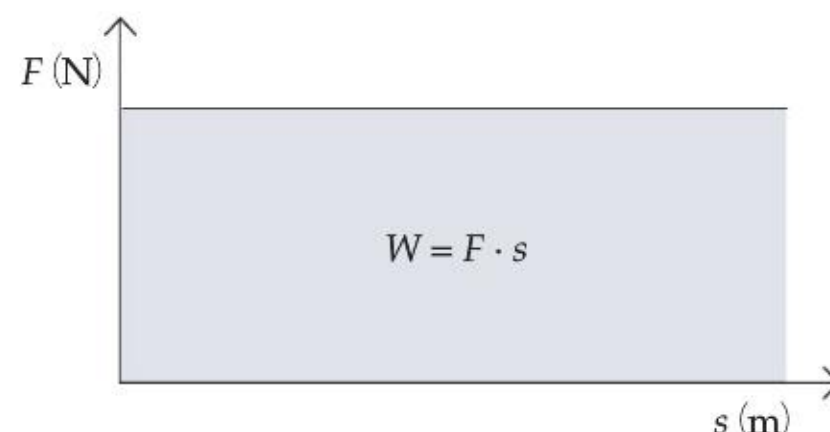
Odpowiedź: Dźwig ten wykonuje pracę tylko wtedy, gdy podnosi płytę do góry; jest ona równa 240 kJ.

W skrócie

- Praca zostaje wykonana, gdy:
 - pod wpływem przyłożonej do ciała siły następuje jego przemieszczenie lub odkształcenie,
 - kierunek siły i przemieszczenia ciała nie są do siebie prostopadłe.
- Gdy kierunki oraz zwroty siły i przemieszczenia są zgodne, to wartość pracy mechanicznej jest proporcjonalna do wartości siły oraz do wartości przemieszczenia.
- Pracę możemy obliczyć ze wzoru: $W = F \cdot s$

Wzór ten możemy stosować tylko wtedy, gdy:

 - wartość siły działającej na ciało jest stała,
 - ciało przemieszcza się po linii prostej i siła ma zwrot zgodny ze zwrotem przemieszczenia (czyli siła jest zwrócona w tę samą stronę, w którą ciało się porusza).
- Wartość pracy możemy również obliczyć metodą graficzną na podstawie wykresu zależności wartości siły od przebytej drogi, przy założeniu, że w czasie ruchu wartość siły jest stała. Praca jest liczbowo równa polu figury powstałej pod wykresem.
- Jednostką pracy jest dżul ($1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$). Pracę 1 dżula wykonuje siła o wartości 1 N przy przemieszczeniu ciała na drodze 1 m, gdy ciało przemieszcza się zgodnie ze zwrotem siły.



Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Kiedy siła ciężkości wykonuje pracę?

Oceń prawdziwość podanych zdań.

 - A. Kula toczy się po poziomym torze, np. po podłodze.
 - B. Chłopiec podnosi kulę ruchem jednostajnym do góry.
 - C. Kula spada swobodnie z wysokości h .
- Jaką pracę wykonuje dziewczynka, pchając ścianę siłą o wartości 120 N?
- Jaką pracę wykonał chłopiec, o masie 50 kg, gdy wspinał się ruchem jednostajnym na drzewo o wysokości 3 m?
- Wykonaj poniższe doświadczenie.

Doświadczenie

Wyznaczamy wartość siły i wykonaną pracę

Niezbędne przedmioty: klocek z uchwytem, siłomierz, rolka papieru ściernego (co najmniej 0,6 m długości), taśma miernicza, taśma klejąca, mazak

Wykonanie:

- Zaznacz na stole odcinek 0,5 m.
- Przesuń klocek ruchem jednostajnym na zaznaczonym odcinku drogi i odczytaj w tym czasie wartość siły, z jaką działasz na klocek.
- Przy pomocy taśmy klejącej przyklej papier ścierny do stołu i przesuń po nim klocek ruchem jednostajnym na 0,5 m odcinku drogi. Odczytaj wartość siły, jaką działasz w tym czasie na klocek.
- Skorzystaj ze wzoru $W = F \cdot s$ i oblicz wykonaną w każdym przypadku pracę.

7.3 Moc i jej jednostki

Podjmij temat

- Anegdota głosi, że współtwórca maszyny parowej, mechanik i konstruktor James Watt (czytaj dżejms łot) (1736–1819) założył się z właścicielem browaru, że koń obracający kierat, który napędzał pompę, nie sprostą zbudowanej przez niego maszynie. I rzeczywiście, przy użyciu maszyny Watta została w tym samym czasie wypompowana większa ilość wody niż za pomocą urządzenia poruszanego dzięki pracy konia. Watt wygrał więc zakład. Co zadecydowało o takim wyniku?

O czym informuje nas moc?

Rozpatrzmy konieczność dostarczenia kilkuset cegieł na drugie piętro budowanego obiektu. Praca ta może być wykonana za pomocą dźwigu, przy użyciu bloczka budowlanego, przez człowieka wnoszącego te cegły (il. 7.8).

Dźwig wykona tę pracę w kilka minut. Za pomocą bloczka i pojemnika operacja wciągania cegieł będzie trwała znacznie dłużej, a człowiek musiałby tę pracę wykonywać cały dzień. Taka sama praca może być wykonana w różnym czasie albo w takim samym czasie różne maszyny czy urządzenia mogą wykonać różną pracę. Wielkość, która informuje nas o szybkości wykonywanej pracy, nazywamy **mocą**.

Moc informuje nas o tym, jaka praca jest wykonywana w jednostce czasu (w ciągu 1 sekundy).



7.8 Praca wykonywana przez mężczyznę ręcznie, za pomocą dźwigu i za pomocą bloczka

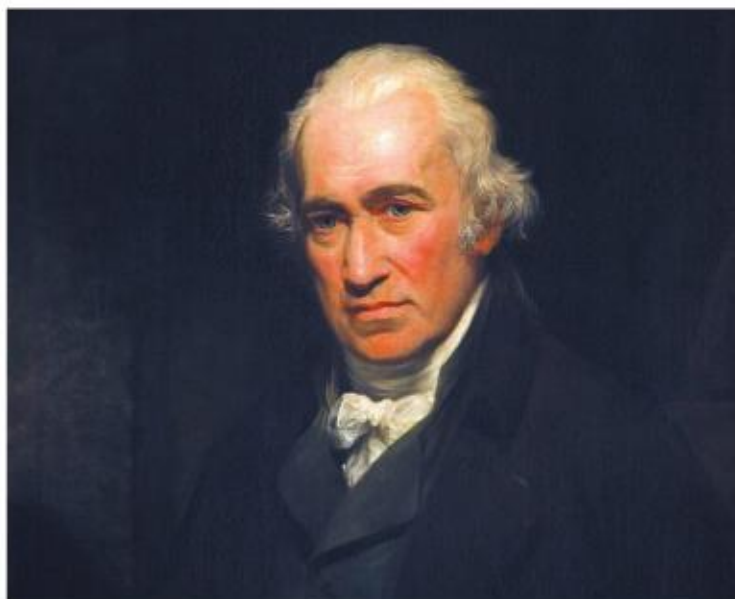
Definicja i jednostki mocy

Aby obliczyć moc, należy pracę podzielić przez czas jej wykonania. Moc oznaczamy literą P od pierwszej litery angielskiego słowa *power*, czyli 'moc'.

Mocą nazywamy wielkość równą ilorazowi pracy i czasu, w którym została ona wykonana.

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

P – moc, W – praca, t – czas



James Watt (czyt. dżejms łot) (1736–1819) – szkocki inżynier, wynalazca i konstruktor. Zasłynął kilkoma ulepszeniami maszyny parowej Thomasa Newcomena (czyt. tomasa njukamena), czym przyczynił się do zapoczątkowania rewolucji przemysłowej.

Woda, ogrzewana w silniku parowym maszyny, zamienia się w parę wodną, która wywiera ciśnienie na tłok, a ten porusza element maszyny parowej.

Podstawową jednostkę mocy nazwano watem (1 W) dla uczczenia Jamesa Watta.

Wyprowadzimy jednostkę 1 W na podstawie wzoru definiującego moc:

$$[P] = \frac{[W]}{[t]} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ W}$$

1 wat (1 W) określa moc urządzenia, które w ciągu 1 sekundy wykonuje pracę 1 dżula. Moc 1 wata jest niewielka, odpowiada w przybliżeniu mocy naszych mięśni, gdy podnosimy czekoladę lub mandarynkę o masie 100 gram, na wysokość 1 metra, w czasie 1 sekundy. Stąd w praktyce powszechnie stosuje się jednostki większe:

- 1 kilowat – $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$
- 1 megawat – $1 \text{ MW} = 1\,000\,000 \text{ W}$
- 1 gigawat – $1 \text{ GW} = 1\,000\,000\,000 \text{ W}$

W technice używa się też jednostki **1 koń mechaniczny (1 KM)**. Jest to moc urządzenia, które w ciągu 1 sekundy wykonuje pracę około 736 J.

$$1 \text{ KM} \approx 736 \text{ J}$$

Obliczanie mocy oraz innych wielkości

Człowiek, realizując różne czynności związane z wykonywaniem pracy mechanicznej, może osiągać różną moc. Średnia moc człowieka wynosi 70–80 W. Biegając po schodach, człowiek może osiągnąć moc około 700 W. Jego chwilowa moc może być jeszcze większa. Inny przykład: sztangista w chwili podnoszenia sztangi osiąga moc chwilową rzędu 2 kW.

Przykład 46.

Jaką moc osiąga strażak o masie 70 kg wspinający się pionowo po linie ruchem jednostajnym na wysokość 5 m w ciągu 7 s?

Dane:

$$m = 70 \text{ kg}$$

$$s = 5 \text{ m}$$

$$t = 7 \text{ s}$$

Szukane:

$$W = ?$$

Rozwiązanie:

Strażak wspinający się ruchem jednostajnym działa siłą mięśni swojego ciała równą co do wartości jego ciężarowi, więc:

$$F = F_c = m \cdot g$$

$$F = 70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 700 \text{ N}$$

Pracę, którą wykonuje, możemy obliczyć, stosując wzór: $W = F \cdot s$

Po podstawieniu danych: $W = 700 \text{ N} \cdot 5 \text{ m} = 3500 \text{ J}$

Zatem moc obliczymy ze wzoru: $P = \frac{W}{t}$,

$$\text{czyli } P = \frac{3500 \text{ J}}{7 \text{ s}} = 500 \text{ W}$$

Odpowiedź: Strażak wspinający się po linie osiąga moc 500 W.

Gdy wiemy, o czym informuje nas moc, niektóre wielkości możemy oszacować lub nawet obliczyć na podstawie podanej wartości mocy. Na przykład: jeśli silnik wentylatora pokojowego ma moc 35 W, oznacza to, że w ciągu 1 sekundy wykonuje on pracę 35 J, w ciągu 2 sekund 70 J, a w czasie 10 sekund 350 J. W ten sposób możesz obliczyć, jaką pracę silnik wentylatora wykonałby w danym czasie.

Moc silnika pojazdu poruszającego się ruchem jednostajnym możemy wyznaczyć, znając siłę ciągu i szybkość, z jaką ten pojazd się porusza. Wynika to z przekształcenia wzoru: $P = \frac{W}{t}$, ale $W = F \cdot s$

Po podstawieniu otrzymujemy: $P = F \cdot \frac{s}{t}$

Jak wiemy, w ruchu jednostajnym $\frac{s}{t} = v$, po uwzględnieniu tej zależności otrzymujemy:

$$P = F \cdot v$$

Przykład 47.

Elektrowóz ciągnie skład pociągu z siłą 240 kN ze stałą szybkością $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz moc, z jaką pracuje elektrowóz.

Dane:

$$F = 240 \text{ kN} = 240\,000 \text{ N}$$

$$v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{72\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Szukane:

$$P = ?$$

Rozwiązanie:

Wstawiamy wartość siły ciągu i szybkość składu pociągu do wzoru: $P = F \cdot v$ i obliczamy moc, z jaką pracuje elektrowóz:

$$P = 240\,000 \text{ N} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4\,800\,000 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4\,800\,000 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 4\,800\,000 \text{ W} = 4,8 \text{ MW}$$

Odpowiedź: Elektrowóz pracuje z mocą 4,8 MW.

Gdy znamy moc urządzenia (maszyny, człowieka), obliczymy pracę, którą może ono wykonać w określonym czasie. W tym celu przekształcimy wzór na moc: $P = \frac{W}{t}$, stąd

$$W = P \cdot t$$

Przykład 48.

Jaką pracę wykona silnik odkurzacza o mocy 1,2 kW w ciągu 10 minut?

Dane:

$$P = 1,2 \text{ kW} = 1200 \text{ W}$$

$$t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

Szukane:

$$W = ?$$

Rozwiązanie:

Pracę, jaką wykonuje silnik, obliczymy ze wzoru: $W = P \cdot t$

$$W = 1200 \text{ W} \cdot 600 \text{ s} = 1200 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 600 \text{ s} = 720\,000 \text{ J} = 720 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Silnik wykonuje w ciągu 10 minut pracę 720 kJ.

Ciekawe!



Kolarze biorący udział w wyścigu, jadąc ze średnią szybkością $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ po płaskim terenie bez wiatru, muszą pedałować z mocą około 245 W przez kilka godzin. Łatwo wyliczyć, że na dystansie 100 km praca wykonana przez kolarza wynosi 2200 kJ.

Tabela 12. Przykłady mocy niektórych urządzeń

Urządzenie	Moc (kW)
pralka automatyczna	2
wiatrak	5
silnik samochodu	20–300
samolot odrzutowy	30 000
elektrownia wodna	5 000 000
rakieta kosmiczna	20 000 000

W skrócie

- Moc danego urządzenia informuje nas, jaką pracę wykonuje ono w czasie jednej sekundy.
- Mocą nazywamy wielkość równą ilorazowi pracy i czasu, w którym została ona wykonana:

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

- Jednostką mocy jest wat (1 W). Jeden wat określa moc urządzenia, które w czasie 1 sekundy wykonuje pracę 1 dżula:

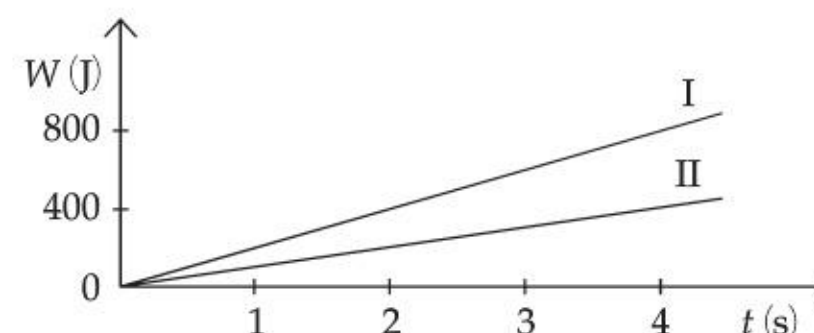
$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Przepisz do zeszytu i uzupełnij tabelę, oblicz odpowiednie wielkości fizyczne.

Moc (W)	Praca (J)	Czas (s)	Wzór
	400	10	
200		20	
200	400		

- Agata wykonała pracę 2000 J w czasie 20 s, a Dagmara pracę 500 J w ciągu 10 s. Która z dziewcząt wykonywała pracę z większą mocą i ile razy jej moc była większa od mocy drugiej?
- Na wykresie przedstawiono zależność pracy od czasu dla dwóch różnych urządzeń – I i II.



Oceń prawdziwość podanych zdań.

- Urządzenie I wykonuje pracę 400 J w czasie 2 s, a pracę 2000 J w czasie 10 s.
 - Moc urządzenia I jest dwa razy większa od mocy urządzenia II.
 - Urządzenie II wykona taką samą pracę w dwukrotnie krótszym czasie.
- Zawodnik podniósł sztangę o masie 100 kg na wysokość 2 m w czasie 2 s. Oblicz wykonaną pracę oraz średnią moc tego sportowca podczas podnoszenia sztangi.

7.4 Energia mechaniczna

Podejmij temat

- Co wspólnego mają ze sobą: napięty łuk, lecący pocisk, podniesiony na pewną wysokość młot?

Praca a energia mechaniczna

Pojęcie energii mechanicznej jest ściśle związane z pojęciem pracy mechanicznej. Ciała mogą wykonywać pracę, jeśli posiadają energię. Inaczej możemy powiedzieć, że **energia określa zdolność ciał do wykonania pracy**. Nakręcona zabawka może się poruszać; meteoryt spadający na Ziemię dąży w niej zagłębienie (dół); zsuwająca się lawina śnieżna lub błotna niszczy napotkane na swej drodze domy, samochody, drzewa; sprężony gaz powstały ze spalania paliwa w silniku, rozprężając się, przesuwając tłok tego silnika; jadący samochód z pługiem odśnieża jezdnię. We wszystkich tych przykładach (il. 7.9) ciała wykonywały pracę, ponieważ posiadały energię mechaniczną.

Niektóre ciała uzyskują energię mechaniczną w sposób naturalny kosztem zjawisk zachodzących w przyrodzie, np. meteoryt lub spadająca z pewnej wysokości woda. Można jednak zgromadzić w ciele lub układzie ciał energię mechaniczną, wykonując nad nim pracę.



7.9 Przykłady ciał wykonujących pracę kosztem posiadanej energii

Energia układu ciał

Jak już wiesz, dwa lub więcej oddziałujących ciał nazywamy układem ciał, a siły, którymi ciała tworzące układ działają na siebie wzajemnie, nazywamy siłami wewnętrznymi układu. Jeśli więc siły pochodzące spoza układu, zwane siłami zewnętrznymi, wykonują nad tym układem (lub przynajmniej jednym ciałem układu) pracę, to jego energia mechaniczna wzrasta i układ ten uzyskuje zdolność do wykonania pracy mechanicznej. Mówimy, że uzyskał on energię mechaniczną albo że jej wartość wzrosła. Jeśli sam układ (siły wewnętrzne układu) wykonuje pracę, wtedy jego energia mechaniczna maleje.



Jeśli siły zewnętrzne wykonują nad układem pracę, to jego energia mechaniczna rośnie. Jeśli układ (siły wewnętrzne układu) wykonuje pracę, wtedy jego energia mechaniczna maleje.

Łucznik, napinając cięciwę łuku, wykonuje nad nim pracę (il. 7.10). Po puszczeniu przez niego cięciwy strzała wylatuje z dużą szybkością i trafia w tarczę strzelniczą (il. 7.11).



7.10 Łucznik wykonuje pracę nad układem: strzała – łuk (siła mięśni łucznika jest siłą zewnętrzną do układu). Układ strzała – łuk uzyskuje energię mechaniczną



7.11 Układ strzała – łuk wykonuje pracę. Energia mechaniczna układu maleje

Mężczyzna podnosi młot do góry (il. 7.12). Układ ciał: młot – ziemia uzyskał energię mechaniczną. Spadający młot rozbija bryłę węgla (il. 7.13).



7.12 Człowiek wykonuje nad układem: młot – ziemia pracę mechaniczną, w wyniku czego młot uzyskuje energię mechaniczną



7.13 Układ: młot – ziemia wykonuje nad bryłą węgla pracę. Energia mechaniczna układu młot – ziemia maleje

Kobieta wprawia w ruch kulę (il. 7.14), która uderza w kręgle i je przewraca (il. 7.15).



7.14 Kobieta, wprawiając w ruch kulę, wykonuje nad nią pracę. Poruszająca się kula ma energię mechaniczną



7.15 Kula uderza w kręgle i przewraca je – wykonuje nad nimi pracę. Kula zatrzymuje się, tracąc energię mechaniczną

W każdym z przykładów ciało, które ma energię, wykonuje pracę, a w końcowym stanie układ nie jest zdolny do wykonania pracy – nie ma energii mechanicznej. Aby układ ciał ponownie mógł wykonać pracę, najpierw siła zewnętrzna musi wykonać pracę nad układem lub przynajmniej nad jednym z ciał układu. Łucznik musi naciągnąć łuk, mężczyzna podnieść młot, a kobieta – wprowadzić kulę w ruch. **Im większą pracę wykonają siły zewnętrzne, tym większą energię będzie miał układ ciał i większą pracę, kosztem swojej energii, będzie mógł wykonać.**

Przyrost energii mechanicznej układu ciał jest równy pracy sił zewnętrznych, wykonanych nad układem

$$\Delta E = W$$

Rodzaje energii mechanicznej

Energię mechaniczną magazynowaną w różnych ciałach, związaną ze zmianą wzajemnej odległości ciał oddziałujących ze sobą lub odkształconych sprężystości, nazywamy **energiją potencjalną**, a energię wynikającą z ruchu postępowego lub obrotowego ciała nazywamy **energiją kinetyczną**.

W skrócie

- Energia określa zdolność ciał do wykonania pracy.
- Energię mechaniczną układu ciał można zwiększyć, wykonując nad nim (lub przynajmniej nad jednym z ciał układu) pracę.
- Przyrost energii mechanicznej układu ciał jest równy pracy sił zewnętrznych wykonanych nad układem: $\Delta E = W$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Jeśli układ ciał jest zdolny do wykonania pracy, to ma energię mechaniczną.
 - B. Energia mechaniczna układu ciał zmniejsza się, gdy siła zewnętrzna wykonuje nad nim pracę.
 - C. Im większą pracę wykonają siły zewnętrzne, tym większą energię będzie miał układ ciał i większą pracę, kosztem swojej energii, będzie mógł wykonać.
- 2 Układ ciał tworzy piłka leżąca na trawie i Ziemia. Zaproponuj sposób zwiększenia energii mechanicznej układu.



Ciekawe!



Zdjęcie przedstawia urządzenie wykorzystujące energię potencjalną i kinetyczną spadającego bijaka. Jest to katar do wbijania np. pali w dno morza.

7.5 Energia potencjalna grawitacji i sprężystości

Podejmij temat

- Dlaczego nakręcony zegarek chodzi, a nakręcany samochodzik zabawka jeździ?

Energia potencjalna grawitacji

Energia potencjalna grawitacji związana jest z oddziaływaniem grawitacyjnym, np. Ziemia – ciało. Bardzo często zamiast: energia potencjalna układu Ziemia – ciało używamy określenia: energia potencjalna ciała.

Energię potencjalną grawitacji posiadają wszystkie ciała unoszone lub znajdujące się na pewnej wysokości nad powierzchnią Ziemi i zdolne do wykonywania pracy.



Wybór poziomu zerowego energii potencjalnej jest sprawą umowną. Wybieramy poziom odniesienia, względem którego energia potencjalna ciała wynosi zero. Wszystkie ciała umieszczone na zerowym poziomie odniesienia mają zerową energię potencjalną.

Na przykład spiętrzona przez zapórę woda (il. 7.16), spadając, porusza łopatki turbiny. Młotek podniesiony do góry, spadając, wbija gwóźdź w deskę. Wzniesiona w górę siekierka, spadając, rozcina klocek drewna. We wszystkich tych przypadkach ciała, przechodząc do pierwotnego położenia, wykonują pracę, a ich energia potencjalna grawitacji wówczas maleje. Dla ułatwienia obliczeń energię potencjalną ciała leżącego na powierzchni Ziemi względem tej powierzchni przyjmujemy najczęściej jako równą zero. Czasami wygodnie jest przyjąć za **poziom zerowy** inny dowolny poziom odniesienia, np. podłogę w pokoju czy powierzchnię szafki (il. 7.17), z którego będziemy podnosić ciało.



7.16 Woda spiętrzona przez zapórę



7.17 Przedmioty umieszczone na różnych poziomach odniesienia

Od czego zależy energia potencjalna grawitacji?

Zastanówmy się, od czego zależy wartość energii potencjalnej grawitacji. W tym celu wykonaj doświadczenie.

Doświadczenie 55.

Badamy, od czego zależy wartość energii potencjalnej grawitacji

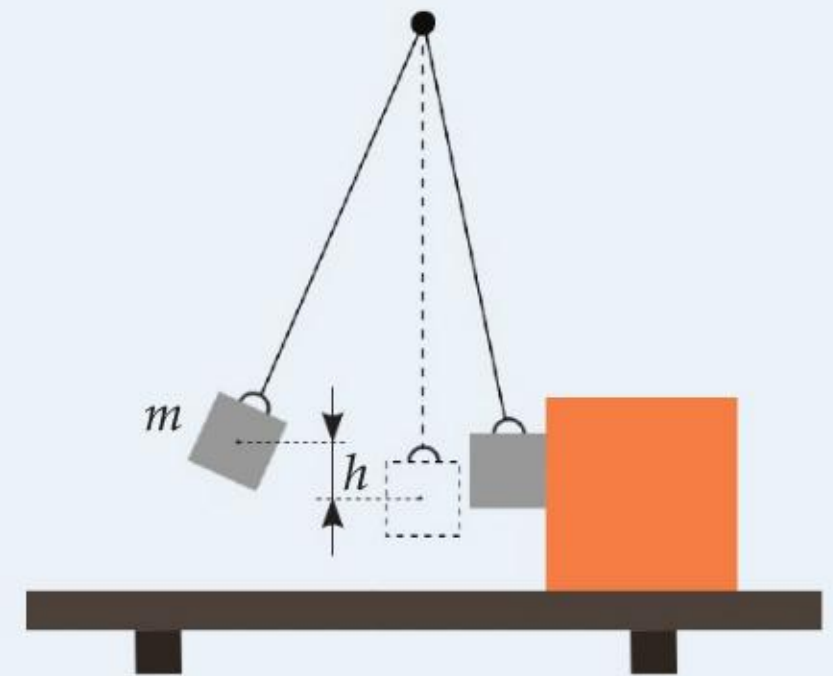
Niezbędne przedmioty: statyw, pręt (sztywny, mogący się obracać) zakończony haczykiem, mały metalowy klocek z haczykiem, duży metalowy klocek z haczykiem (np. o czterokrotnie większej masie), można wykorzystać również np. odważniki 50 g i 200 g, drewniany klocek, kreda

Możesz linijką mierzyć odległości, na jakie przesunął się klocek, ale w tym doświadczeniu nie chodzi o dokonanie precyzyjnych pomiarów, a jedynie o zauważenie pewnych prawidłowości

Wykonanie:

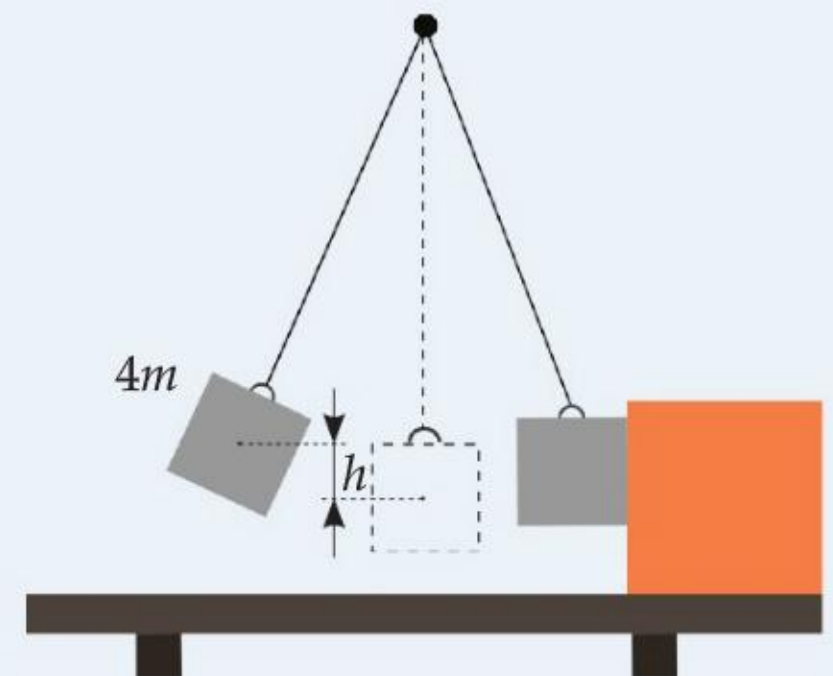
Część I

- Na statywie umocuj sztywny pręt zakończony haczykiem, który będzie mógł się obracać wokół punktu zaczepienia.
- Na haczyku pręta zawieś metalowy klocek.
- Ustaw na stole drewniany klocek tak, aby klocek metalowy mógł w niego uderzyć (jak na rysunku).
- Odchyl metalowy pręt z zawieszonym na nim klockiem o pewien kąt w taki sposób, aby znalazł się na pewnej wysokości względem stołu, i puść go. Co obserwujesz?
- Zaznacz kredą położenie drewnianego klocka.



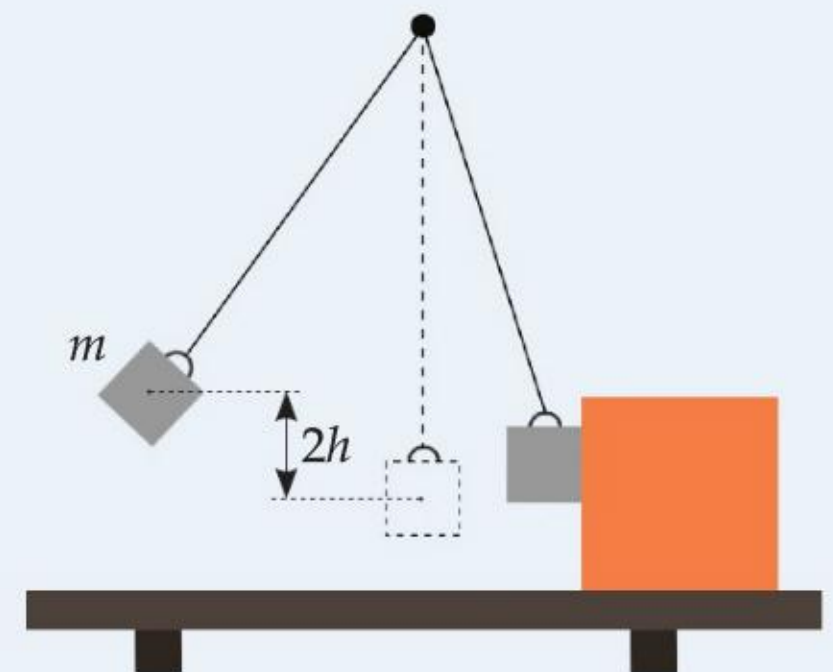
Część II

- Teraz zawieś na pręcie metalowy klocek o czterokrotnie większej masie i powtórz czynności z części I.
- Na końcu zaznacz położenie drewnianego klocka.



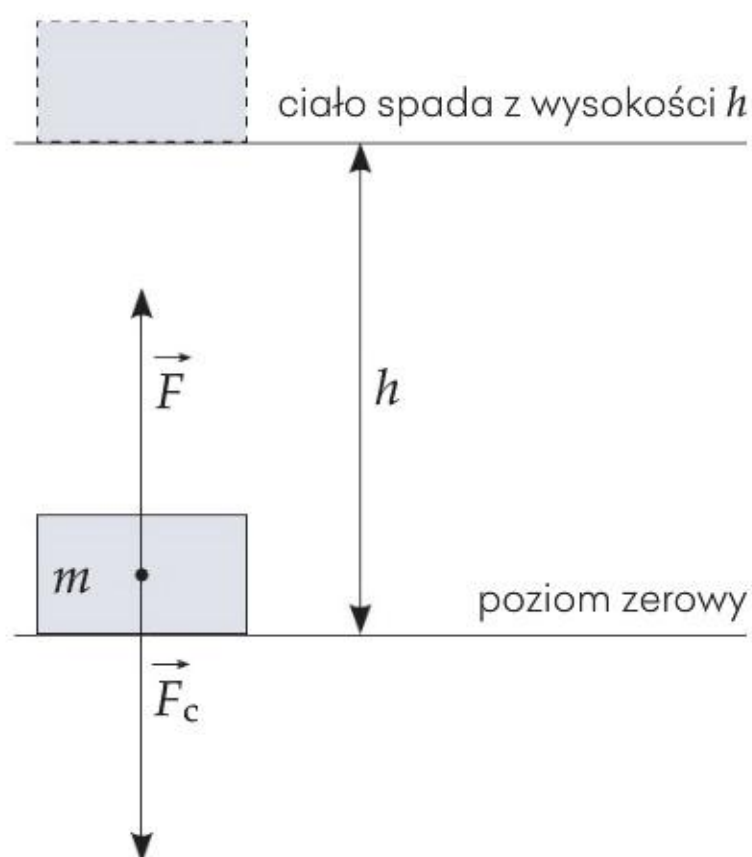
Część III

- Zawieś na pręcie ponownie metalowy klocek o mniejszej masie.
- Odchyl pręt z klockiem o odpowiednio większy kąt w taki sposób, aby znalazł się na wysokości dwukrotnie większej niż w części I.
- I tym razem zaznacz położenie drewnianego klocka.



Obserwacje: Drewniany klocek ulega przesunięciu, a więc spadający metalowy klocek wykonuje nad nim pracę. Najmniej przesuwa się w części I, a najwięcej – w części II doświadczenia.

Wnioski: Im większe przesunięcie drewnianego klocka, tym większą pracę wykonał spadający metalowy klocek. Wartość wykonanej pracy jest większa, gdy większa jest masa spadającego klocka lub większa wysokość, z której on spada.



7.18 Ciało na poziomie zerowym, które spadło z wysokości h

W jaki sposób obliczamy energię potencjalną grawitacji?

Możemy teraz wyprowadzić wzór na obliczanie energii potencjalnej grawitacji, jaką posiada ciało na wysokości h nad poziomem zerowym (il. 7.18).

Jeśli poziom, na który ciało spada, przyjmujemy jako zerowy, to wykonana praca jest równa energii potencjalnej E_p , jaką miało ciało na wysokości h .

$$W = E_p$$

Pracę nad ciałem o masie m wykonuje siła ciężkości F_c (siłą F działalibyśmy, podnosząc ciało na wysokość h)

$$W = F_c \cdot h$$

$$F_c = F = m \cdot g$$

czyli:

$$W = m \cdot g \cdot h$$

$$\text{i stąd } E_p = m \cdot g \cdot h$$

Energia potencjalna grawitacji jest proporcjonalna do masy ciała i do wysokości, na jaką zostało ono podniesione względem danego poziomu odniesienia

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

E_p – energia potencjalna grawitacji, m – masa ciała, g – przyspieszenie ziemskie, h – wysokość

Energię potencjalną grawitacji wyrażamy w jednostkach pracy, czyli w dżulach:

$$[E_p] = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$

Przykład 49.

Oblicz energię potencjalną grawitacji bijaka (kafara – urządzenia do wbijania pali) o masie 200 kg, znajdującego się na wysokości 10 m nad powierzchnią Ziemi.

Dane:

$$m = 200 \text{ kg}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$E_p = ?$$

Rozwiązanie:

Energię bijaka obliczamy, korzystając ze wzoru:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Po podstawieniu danych:

$$E_p = 200 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m} = 20\,000 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 20 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Energia potencjalna bijaka tego kafara wynosi 20 kJ.

Zmiana energii potencjalnej

Możemy też obliczać zmianę energii potencjalnej grawitacji. Z taką sytuacją będziemy mieć do czynienia wówczas, gdy ciało będzie zmieniać poziom z jednego na inny.

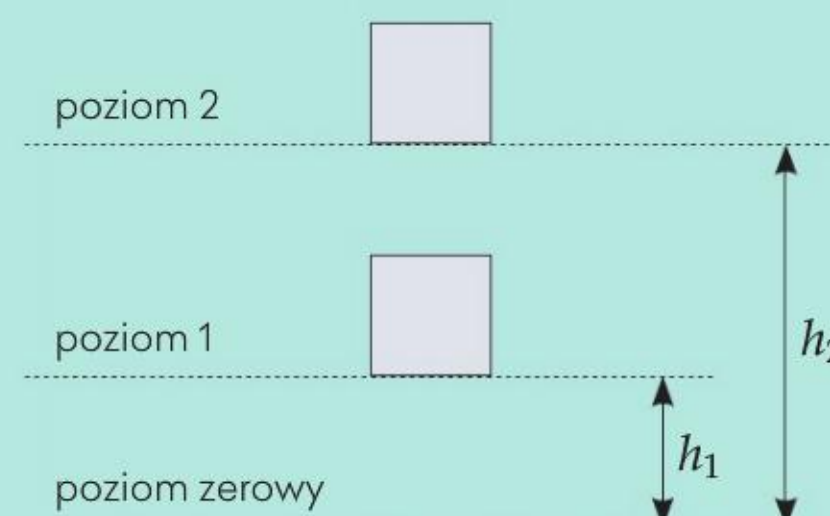
$$\Delta E_p = E_{p2} - E_{p1}$$

$$E_{p2} = m \cdot g \cdot h_2$$

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot h_1$$

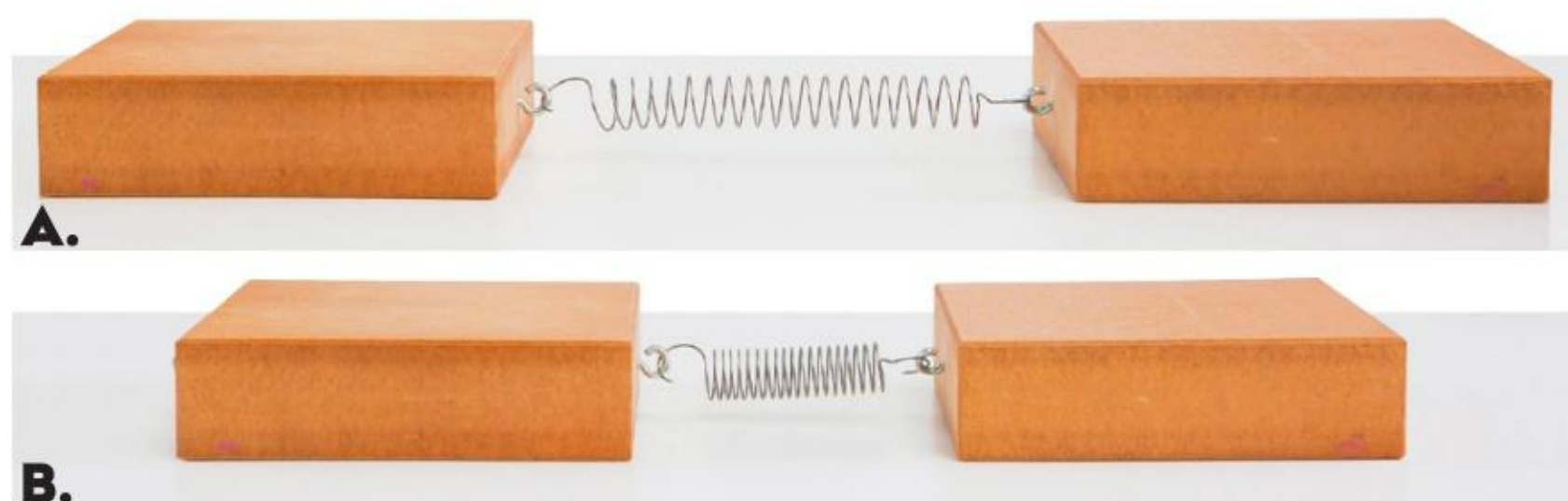
Po podstawieniu i wyciągnięciu $m \cdot g$ przed nawias: $\Delta E_p = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$

otrzymujemy: $\Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h$



Energia potencjalna sprężystości

Przy rozciąganiu lub ściskaniu sprężyny siły zewnętrzne wykonują nad nią pracę, w wyniku czego uzyskuje ona energię zwaną **energią potencjalną sprężystości**. Podczas powrotu sprężyny do stanu początkowego może ona wykonać pracę (il. 7.19).



7.19 Rozciągnięta sprężyna (il. A.) wykonała pracę i przesunęła klocki (il. B)

Energię potencjalną sprężystości mają: naciągnięta proca, naprężony łuk, sprężony gaz, odkształcone resory samochodowe, ugięta trampolina, ugięta tyczka. Każde z tych ciał, wracając do poprzedniego kształtu, może wykonać pracę nad innym ciałem. Podczas strzelania z łuku dzięki energii naprężonej cięciwy strzała jest wprowadzana w ruch. Energia sprężonego gazu może wprowadzić w ruch np. tłoki w silniku spalinowym. Ten rodzaj energii jest powszechnie wykorzystywany w życiu codziennym i w technice. Ludzie wykonują skoki w górę kosztem energii odkształconej trampoliny, a ona wraca do swojego początkowego stanu (il. 7.20). Podczas skoku w dal sportowiec wykorzystuje energię zmagazynowaną w mięśniach (il. 7.21). Podczas skoku wzwyż tyczkarz wykorzystuje energię potencjalną odkształconej tyczki (il. 7.22).

Energię potencjalną sprężystości mają ciała odkształcone sprężystością.

Ciekawe!

Umiejętność wykorzystywania energii zgromadzonej w odkształconych ciałach człowiek posiadał już kilkanaście tysięcy lat temu, np. gdy używał łuku lub budował pułapki na zwierzęta, używając silnie napiętych prętów drewnianych.



7.20 Skaczący ludzie wykorzystujący energię odkształconej trampoliny



7.21 Dziewczyna wykorzystuje energię mięśni



7.22 Osoba wykorzystuje energię odkształconej tyczki

Od czego zależy energia potencjalna sprężystości?

Energia potencjalna sprężystości ujawnia się tylko wtedy, gdy ciała mają możliwość powrotu do swojego początkowego stanu, a więc są odkształcone sprężysto. **Im większe odkształcenie, tym większa wartość jego energii potencjalnej sprężystości. Jej wartość zależy też od właściwości sprężystych ciała.** Oznacza to, że im bardziej ciało jest odkształcone, tym jego energia potencjalna sprężystości jest większa.

Miarą energii potencjalnej ciała odkształconego sprężystością jest praca, jaką może ono wykonać, powracając do swojego początkowego stanu (kształtu).

Istnieje jednak pewna granica sprężystości, po przekroczeniu której ciało traci właściwości sprężyste i odkształca się trwale. Wówczas praca włożona w proces odkształcenia nie może być odzyskana. Tak się dzieje w przypadku złamania resorów, pęknięcia sprężyn, złamania tyczki itp. Ciała te nie mogą już powrócić do początkowego kształtu.

Wykorzystanie energii potencjalnej sprężystości

Energia potencjalna sprężystości jest wykorzystywana w różnych, czasami skomplikowanych urządzeniach. Odkształcona sprężyna, wracając do stanu początkowego, wprawia w ruch mechanizmy: zegarka, samochodziku lub innej zabawki, np. katarynki. Energię potencjalną ściśniętych lub rozciągniętych sprężyn wykorzystuje się też w karabinach i pistoletach na kulki, strzały czy naboje oraz w drzwiach zaopatrzonych w automaty ze sprężyną. Nawet gdy naciskasz klamkę w drzwiach, ściskasz sprężynę w zamku, która rozprężając się, uruchamia mechanizm zamykający drzwi. Gdy wstajesz z łóżka, przestajesz naciskać sprężyny, które przywracają pierwotny kształt materaca.

W skrócie

- Energię potencjalną grawitacji posiadają wszystkie ciała unoszone lub znajdujące się na pewnej wysokości nad powierzchnią Ziemi i zdolne do wykonania pracy.
- Energia potencjalna grawitacji jest proporcjonalna do masy ciała i do wysokości, na jaką zostało ono podniesione względem danego poziomu odniesienia. Obliczamy ją ze wzoru:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

- Gdy zmienia się położenie ciała względem danego poziomu odniesienia, czy względem ciała, z którym oddziałuje, zmienia się również jego energia potencjalna.
- Energię potencjalną sprężystości mają ciała odkształcone sprężystości. Im większe odkształcenie, tym większa wartość energii potencjalnej sprężystości. Energia potencjalna sprężystości zależy też od właściwości sprężystych ciał.
- Miarą energii potencjalnej ciała odkształconego sprężystości jest praca, jaką może ono wykonać, powracając do swojego początkowego stanu (kształtu).

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Energia potencjalna ciała zależy od jego położenia względem drugiego ciała, z którym ono oddziałuje.
 - B. Energia potencjalna grawitacji jest proporcjonalna do masy ciała i odwrotnie proporcjonalna do wysokości, na jaką zostało ono podniesione względem danego poziomu odniesienia.
 - C. Przyrost energii potencjalnej równy jest pracy, którą trzeba wykonać, aby podnieść ciało na daną wysokość.
 - D. Energia potencjalna grawitacji nie zależy od masy ciała, a jedynie od wysokości, na której ciało się znajduje.
- 2 Krzysiek wszedł do windy na parterze budynku, a wysiadł na drugim piętrze. Jego energia potencjalna wzrosła w tym czasie o 3 kJ.

Wybierz zdanie fałszywe.

 - A. Gdyby wszedł na pierwszym piętrze, a wysiadł na czwartym, jego energia potencjalna zwiększyłaby się o 4,5 kJ.
 - B. Gdyby wszedł na czwartym piętrze, a wysiadł na parterze, to jego energia potencjalna zmalałaby o 6 kJ.
 - C. Gdyby Krzysiek jechał z kolegą o masie takiej samej, jak jego masa, to energia potencjalna każdego z chłopców między parterem a drugim piętrzem zwiększyłaby się o 6 kJ.
 - D. Gdyby mężczyzna o masie dwa razy większej od masy Krzysia wjechał z parteru na piętro trzecie, to jego energia potencjalna zwiększyłaby się o 9 kJ.
- 3 Oblicz energię potencjalną grawitacji skoczka narciarskiego o masie (razem z nartami) równej 70 kg, znajdującego się na wysokości 15 m nad ziemią.
- 4 Na jaką wysokość wzniósł się z powierzchni Ziemi bocian o masie 3 kg, skoro jego energia potencjalna grawitacji wzrosła o 0,6 kJ?
- 5 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Zmiana energii potencjalnej sprężystości wiąże się zawsze z odkształceniem ciała.
 - B. Im większe odkształcenie ciała, tym wartość jego energii potencjalnej sprężystości jest mniejsza.
 - C. Odkształcone ciało powracające do pierwotnego kształtu wykonuje pracę dzięki energii potencjalnej sprężystości.
 - D. Energia potencjalna sprężystości nie zależy od właściwości sprężystych odkształconego ciała.

7.6 Energia kinetyczna

Podejmij temat

- Czy samochód ciężarowy jadący bez ładunku z prędkością o wartości $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ spala na określonej trasie taką samą ilość paliwa, jak gdyby był załadowany?



7.23 Żaglówka wprowadzana w ruch przez wiatr

Energia ciał będących w ruchu

Poruszające się obiekty (ciała) są zdolne do wykonania pracy, mają więc energię mechaniczną. Przemieszczające się powietrze (wiatr) może obracać skrzydła wiatraka, poruszać żaglem (il. 7.23). Płynąca woda w rzece może przemieszczać tratwę, łódkę, wprowadzać w ruch łopatki turbiny. Jadące samochody mogą przewozić ludzi czy towary. Lecząca strzała może uderzyć w tarczę i ją przebić. Kamień rzucony w kierunku okna może wybić szybę. Samochód, uderzając w przeszkodę, może ją odkształcić lub przesunąć, a sam ulec deformacji i zmienić swoją prędkość. We wszystkich tych przykładach praca jest wykonywana kosztem energii wynikającej z ruchu ciał, zwanej energią ruchu lub **energiją kinetyczną**, od greckiego słowa *kinetikos* oznaczającego 'ruchowy, związany z ruchem'.

Od czego zależy energia kinetyczna ciał?

Jeśli poruszające się ciało wykonuje pracę kosztem energii kinetycznej i nie jest ona uzupełniana, to jej wartość maleje aż do zera przy zatrzymaniu się ciała. Fakt ten wykorzystamy do zbadania, od jakich wielkości zależy wartość energii kinetycznej danego ciała.

Doświadczenie 56.

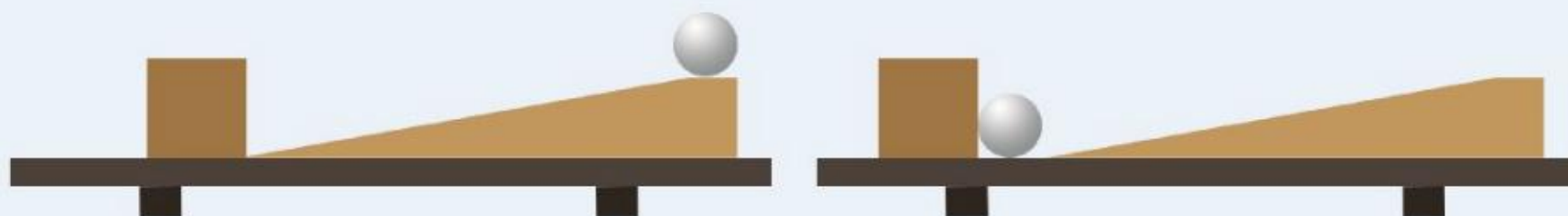
Badamy, od czego zależy wartość energii kinetycznej ciała

Niezbędne przedmioty: pochylnia (równia pochyła) o zmiennym kącie (może być aluminiowa rynna lub wyprofilowana drewniana listwa i podpórki), metalowe kulki o mniejszej i większej masie, drewniany klocek, kreda

Wykonanie:

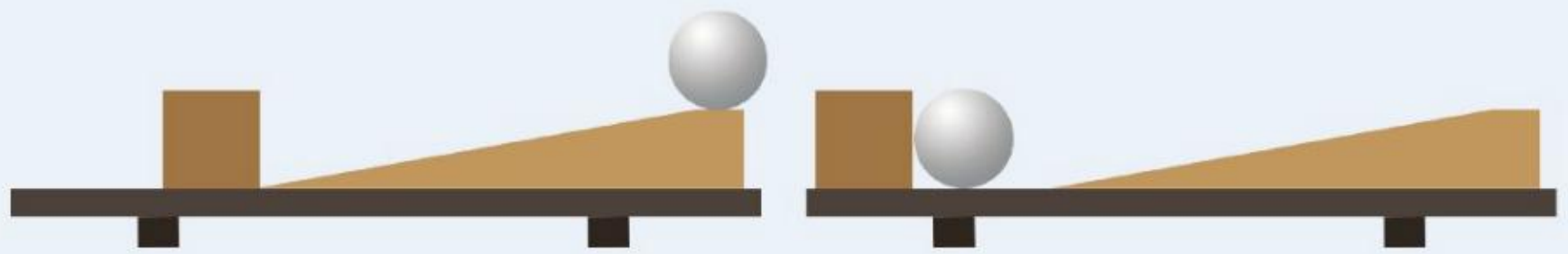
Część I

- Przygotuj równię pochyłą i u podnóża równi postaw drewniany klocek.
- Spuść ze szczytu równi małą metalową kulkę i zaobserwuj, co się stanie z klockiem.
- Zaznacz kredą położenie drewnianego klocka.



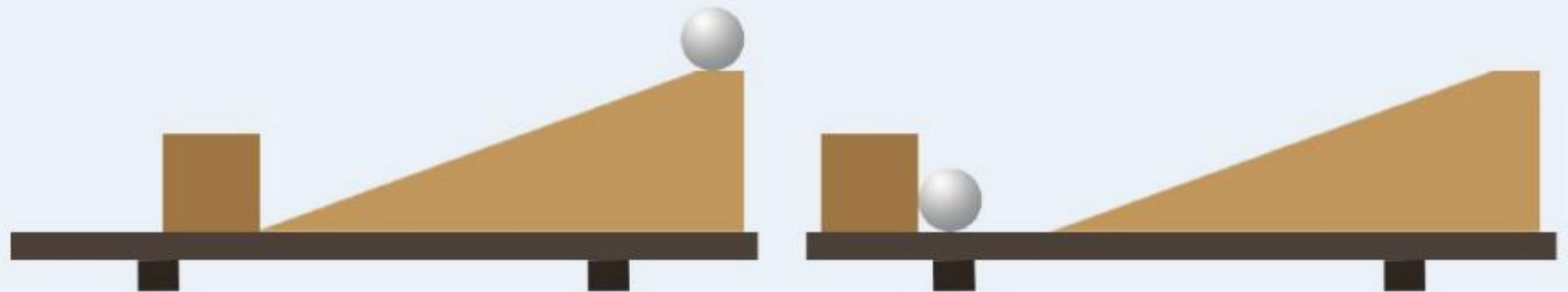
Część II

- Powtórz doświadczenie dla kulki o większej masie, spuszczając ją z tej samej wysokości.
- Tym razem również zaznacz położenie drewnianego klocka.



Część III

- Powtórz doświadczenie, spuszczając małą kulkę z równi o większej wysokości niż w części I.
- Zaznacz położenie drewnianego klocka i porównaj z poprzednimi położeniami.



Obserwacje: Kulka, uderzywszy w klocek, przesunęła go, wykonując nad nim pracę. Kulki z części II i III doświadczenia miały większą szybkość, przy uderzeniu w klocek, i przesunęły klocek dalej niż w części I.

Wnioski: Przemieszczenie, a więc i praca wykonana nad klockiem są tym większe, im większa jest masa kulki i wartość prędkości, z jaką uderza ona w klocek. Wynika stąd, że **energia kinetyczna ciała zależy od jego masy i wartości prędkości, z jaką ono się porusza.**

Jak obliczamy energię kinetyczną?

Wiesz już, że energia kinetyczna ciała zależy od jego masy i wartości prędkości, z jaką ono się porusza. Ciała będące w spoczynku mają energię kinetyczną równą zero.

Energia kinetyczna ciała jest wprost proporcjonalna do masy ciała i kwadratu jego wartości prędkości.

Energię kinetyczną ciała możemy obliczyć ze wzoru:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

E_k – energia kinetyczna, m – masa ciała, v – wartość prędkości

Oznacza to, że ciało o dwukrotnie większej masie przy takiej samej wartości prędkości ma dwukrotnie większą energię kinetyczną. Z kolei dla ciała o masie m przy dwukrotnym wzroście jego szybkości energia kinetyczna rośnie czterokrotnie, a przy trzykrotnym wzroście szybkości jego energia rośnie aż dziewięć razy. Pamiętajmy, że przy większej masie, np. samochodu, większa jest siła nacisku na podłoże, a więc i większa siła tarcia. Wraz ze wzrostem siły tarcia wzrasta ilość spalanej paliwa.



Jednostką energii kinetycznej jest dżul:
 $[E_k] = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ J}$

Problem zależności energii kinetycznej od wartości prędkości powinni mieć na uwadze kierowcy pojazdów. W razie kolizji czy wypadku drogowego skutki są dużo groźniejsze przy większych wartościach prędkości pojazdów.

Przykład 50.

Dwa samochody osobowe, o masie 750 kg każdy, jadą sąsiednimi pasami jezdni. Pierwszy ma szybkość $54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a drugi $108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Który z nich ma większą energię kinetyczną i ile razy? Który z nich może wykonać większą pracę?

Dane:

$$v_1 = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 54 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{540 \text{ m}}{36 \text{ s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = 108 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 108 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{1080 \text{ m}}{36 \text{ s}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Szukane:

$$E_{k1} = ?$$

$$E_{k2} = ?$$

Rozwiązanie:

Energia kinetyczna pierwszego samochodu wynosi: $E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2$

$$E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot 750 \text{ kg} \cdot \left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 750 \text{ kg} \cdot 225 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 84\,375 \text{ J}$$

Energia kinetyczna drugiego samochodu wynosi: $E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$

$$E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot 750 \text{ kg} \cdot \left(30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 750 \text{ kg} \cdot 900 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 337\,500 \text{ J}$$

Energia kinetyczna drugiego samochodu jest większa niż pierwszego.

Obliczamy, ile razy większa: $\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = \frac{337\,500 \text{ J}}{84\,375 \text{ J}} = 4$

Odpowiedź: Energia kinetyczna drugiego samochodu jest 4 razy większa niż pierwszego. Drugi samochód może wykonać większą pracę.

Przykład 51.

Dzięki instynktowi niektóre zwierzęta potrafią wykorzystywać prawa fizyki. „Wiedzą” one, że rozpędzone mogą zadać silniejszy cios przeciwnikowi. Na przykład baran, kosztem pracy siły mięśni swych nóg rozpędza się na pewnym odcinku drogi i uzyskuje wystarczającą energię kinetyczną do zadania bolesnego ciosu innemu zwierzęciu. Jaką energię ma baran o masie 50 kg uderzający w przeciwnika z szybkością $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?

Dane:

$$m = 50 \text{ kg}$$

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

Szukane:

$$E_k = ?$$

Rozwiązanie:

Obliczamy energię kinetyczną barana, korzystając ze wzoru: $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 50 \text{ kg} \cdot \left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 50 \text{ kg} \cdot 25 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 625 \text{ J}$$

Odpowiedź: Baran ten, uderzając w przeciwnika, ma energię kinetyczną 625 J.

Więcej na temat



Wyprowadzenie wzoru na obliczanie energii kinetycznej ciała

W tym celu rozpatrzmy przypadek, gdy ciało, działając siłą F na drugie ciało, wykonało nad nim pracę, a samo się zatrzymało, czyli wykonało pracę kosztem swojej energii kinetycznej.

$$E_k = W \text{ ale } W = F \cdot s, \text{ więc } E_k = F \cdot s$$

Zgodnie z II zasadą dynamiki wartość siły obliczamy ze wzoru: $F = m \cdot a$

Ciało pod działaniem niezrównoważonej siły o zwrocie zgodnym ze zwrotem przemieszczenia porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, więc drogę, jaką przebywa, oblicza się ze wzoru:

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Gdy uwzględnimy powyższe wzory, otrzymamy:

$$E_k = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Wykonajmy kolejne przekształcenia:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot a^2 \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a \cdot t)^2$$

ale gdy $v_0 = 0$, to $a \cdot t = v$, więc następnie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$.

W skrócie

- Energia kinetyczna jest ściśle związana z ruchem ciała. Każde ciało, które w danym układzie odniesienia jest w ruchu, ma energię kinetyczną.
- Energia kinetyczna ciała jest wprost proporcjonalna do masy ciała i kwadratu jego wartości prędkości. Obliczamy ją ze wzoru:
$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$
- Jednostką energii kinetycznej jest dżul (1 J).

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oblicz, ile razy wzrośnie energia kinetyczna ciężarówki, jeżeli zwiększy ona swoją szybkość z $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- 2 Ciało A porusza się z dwukrotnie większą szybkością niż ciało B, a ma od niego dwukrotnie mniejszą masę.

Oceń prawdziwość podanych zdań.
A. Energia kinetyczna ciała A jest taka sama jak ciała B.
B. Energia kinetyczna ciała A jest dwukrotnie większa niż ciała B.
C. Energia kinetyczna ciała A jest czterokrotnie większa niż ciała B.
- 3 Oblicz energię kinetyczną barana o masie 50 kg, biegnącego z szybkością $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Porównaj ją z energią kinetyczną jelenia o masie 150 kg, biegnącego z szybkością $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Zwróć uwagę, że dwukrotne zwiększenie szybkości powoduje czterokrotne zwiększenie energii kinetycznej samochodu, a więc również czterokrotne wydłużenie drogi hamowania. Wynika to z tego, że energia kinetyczna jest równa pracy wykonanej przeciwko sile hamowania.

7.7 Zasada zachowania energii mechanicznej

Podejmij temat

- Co wspólnego ma zabawka jojo z prawami fizyki?
- Czy piłeczka kauczukowa może bez końca odbijać się od podłogi?

Ciekawe!

Jastrząb poluje w ten sposób, że atakuje upatrzony obiekt, szybując w dół i – tracąc energię potencjalną – uzyskuje wystarczającą energię kinetyczną do zadania swej ofierze groźnego ciosu.

Przemiany energii mechanicznej

W życiu codziennym ciągle spotykamy się z przekształcaniem jednego rodzaju energii mechanicznej w inny, np. energii potencjalnej w kinetyczną lub kinetycznej w potencjalną. Podczas spadania wody w wodospadzie jej energia potencjalna grawitacji zamienia się w energię kinetyczną. Energia potencjalna człowieka skaczącego z trampoliny przekształca się w energię kinetyczną w momencie, gdy człowiek ten wykonuje skok do wody. Energia potencjalna każdego spadającego przedmiotu zamienia się w energię kinetyczną.

Rozpatrzmy zjawisko przemiany energii na przykładzie kilku doświadczeń.

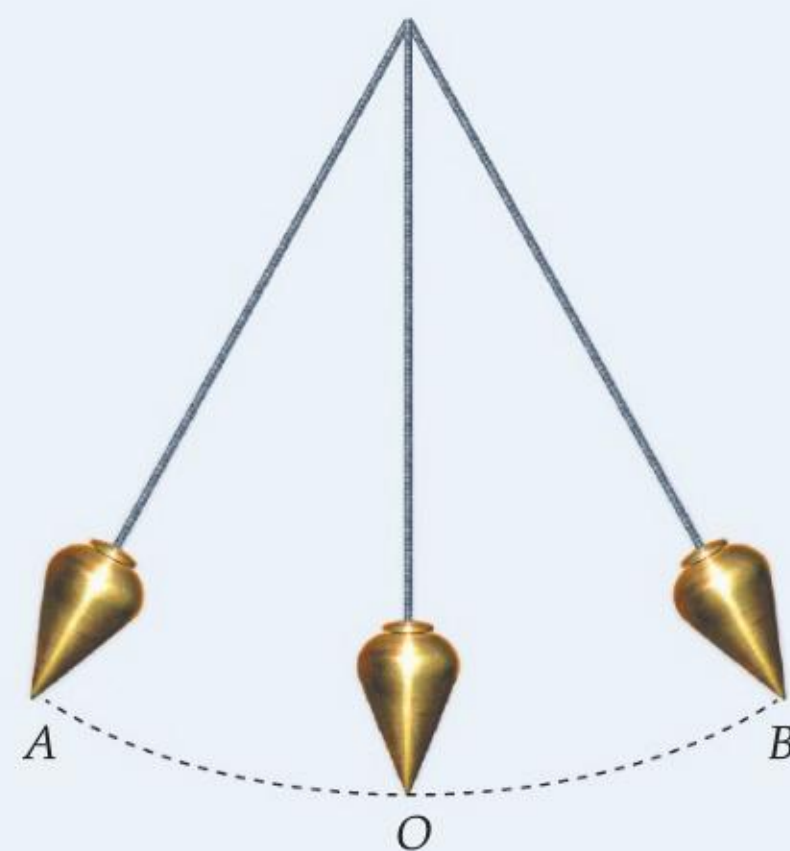
Doświadczenie 57.

Obserwujemy wahania ciężarka

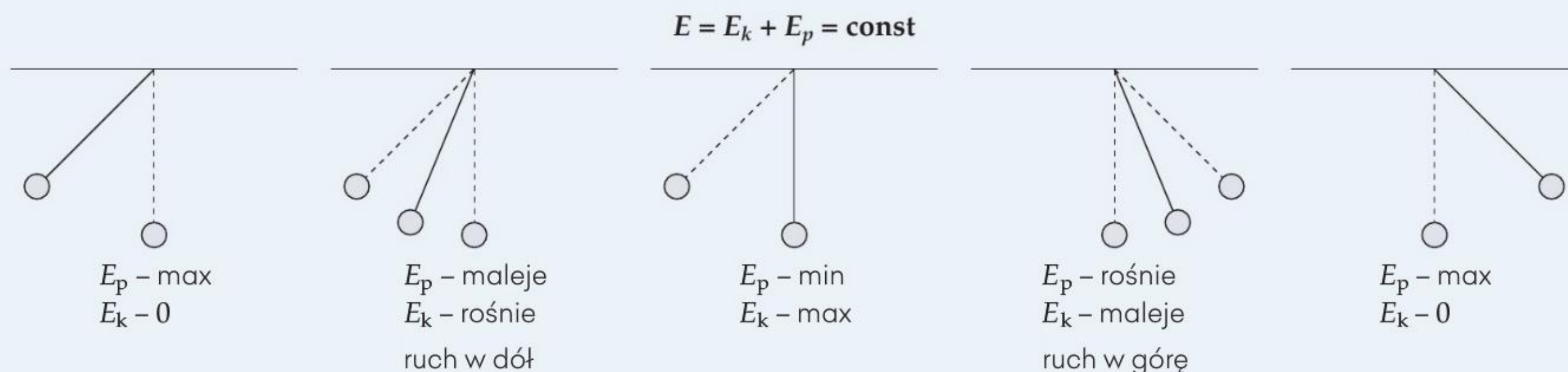
Niezbędne przedmioty: statyw, ciężarek na nitce

Wykonanie: Zawieś ciężarek na nitce na statywie i odchyl go z położenia równowagi. Obserwuj, w którym miejscu ciężarek ma największą szybkość. Gdzie energia kinetyczna będzie największa, a gdzie energia potencjalna będzie największa?

Obserwacje: Ciężarek wykonuje ruch po torze AOB . Zauważamy zmiany wysokości ciała względem położenia równowagi oraz zmiany jego szybkości. Zmienia się zatem energia potencjalna grawitacji oraz energia kinetyczna tego ciała. Na maksymalnej wysokości ciało się zatrzymuje, ma maksymalną energię potencjalną i energię kinetyczną równą zero. Podczas ruchu od A do O wysokość maleje, maleje więc energia potencjalna grawitacji, a wartość prędkości ciała rośnie, wzrasta więc jego energia kinetyczna. Gdy ciało mija położenie równowagi, wartość jego prędkości jest maksymalna. Największa jest też energia kinetyczna. Wysokość nad podłożem jest wtedy najmniejsza, minimalna jest też wtedy energia potencjalna grawitacji. Gdy ciało wznosi się od O do B , jego szybkość maleje, a wzrasta wysokość nad podłożem. Maleje więc energia kinetyczna, a rośnie energia potencjalna. Sytuacja powtarza się. Ciało o małych rozmiarach wznosi się przez długi czas na taką samą wysokość.



Wnioski: Wnioskujemy stąd, że **w czasie ruchu ciała jego energia potencjalna i energia kinetyczna ulegają zmianom, jedna zmienia się w drugą**. W dowolnym punkcie toru, między najwyższym a najniższym położeniem ciała, jego energia mechaniczna składa się zarówno z energii potencjalnej, jak i energii kinetycznej, ale całkowita jej wartość nie ulega zmianie (nie uwzględniamy strat związanych z oporami ruchu):



Doświadczenie 58.

Obserwujemy przemiany energii

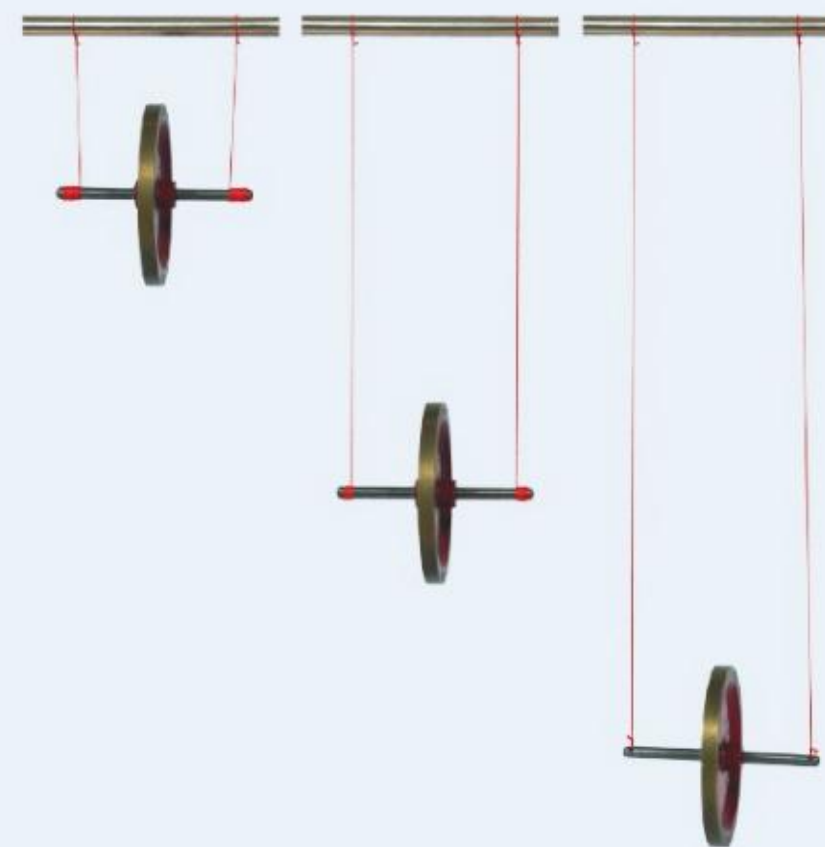
Niezbędne przedmioty: koło Maxwella (czytaj makszela) lub zabawka jojo, ewentualnie statyw

Wykonanie:

- Ustaw koło Maxwella na równej powierzchni (jeśli nie ma podstawy, to zaczeep na statywie).
- Nawiń nić na oś i podnieś w ten sposób koło przyrządu do góry (tak samo postąp z zabawką jojo).

Obserwacje: Podniesione do góry koło uzyskało energię potencjalną grawitacji dzięki wykonanej przez nas pracy. Jeśli je zwolnimy, to – wirując – będzie spadać. W miarę opadania koła jego energia potencjalna grawitacji maleje, a rośnie energia kinetyczna. W najniższym położeniu koło obraca się najszybciej, jego energia kinetyczna jest wtedy maksymalna. Kosztem tej energii koło może ponownie podnieść się prawie na pierwotną wysokość. Gdyby nie było tarcia, to osiągnęłoby dokładnie taką samą wysokość jak na początku.

Wnioski: W doświadczeniu tym energia potencjalna podczas ruchu koła w dół zamienia się w energię kinetyczną, a podczas ruchu w górę – energia kinetyczna zamienia się w energię potencjalną.



Zasada zachowania energii mechanicznej

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń możemy stwierdzić, że gdy nie ma oporów ruchu, to w dowolnym punkcie toru, między najwyższym a najniższym położeniem, energia ciała składa się z dwóch części: energii potencjalnej grawitacji i energii kinetycznej, ale całkowita wartość energii mechanicznej nie ulega zmianie.

W obydwu doświadczeniach na ciała działała siła grawitacji. Wzajemne przekształcanie się energii potencjalnej i kinetycznej obserwujemy nie tylko wtedy, gdy na ciało działają siły grawitacji, ale i wówczas, gdy ruch ciał odbywa się pod wpływem sił sprężystości. Podczas strzelania z łuku energia potencjalna sprężystości cięciwy zamienia się w energię kinetyczną strzały.



Gdy na układ nie działają siły zewnętrzne, wtedy nad układem nie jest wykonywana żadna praca, a zatem nie następuje zmiana energii mechanicznej.

Gdy nakręcamy sprężynę w zabawce mechanicznej, gromadzimy w niej energię potencjalną sprężystości, która następnie zamienia się w energię kinetyczną zabawki. Uogólniając wnioski, możemy zapisać, co następuje:

jeżeli w układzie ciał nie działają siły zewnętrzne,
to całkowita energia mechaniczna układu,
czyli suma energii potencjalnej i kinetycznej, jest zachowana.

$$E_m = E_k + E_p = \text{const}$$

Stwierdzenie to wyraża **zasadę zachowania energii mechanicznej**.
Wykorzystamy teraz zasadę zachowania energii mechanicznej do rozwiązywania zadań rachunkowych.

Przykład 52.

Z jakiej wysokości została upuszczona doniczka, jeśli tuż przy powierzchni Ziemi jej szybkość wynosiła $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$?
Pomiń opory ruchu i przyjmij $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Dane:

$$v = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$h_0 = ?$$

Rozwiązanie:

Układ stanowi doniczka i Ziemia. Na spadającą doniczkę działała jedynie siła grawitacji (siła wewnętrzna w układzie doniczka – Ziemia).
W chwili początkowej na wysokości h_0 doniczka posiadała tylko energię potencjalną grawitacji, więc:

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot h_0, E_{k1} = 0$$

Tuż przy powierzchni Ziemi ($h = 0$) jej energię mechaniczną stanowiła jedynie energia kinetyczna:

$$E_m = E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, E_{p2} = 0$$

Zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej:

$$E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2} = E_m$$

$$m \cdot g \cdot h_0 + 0 = 0 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

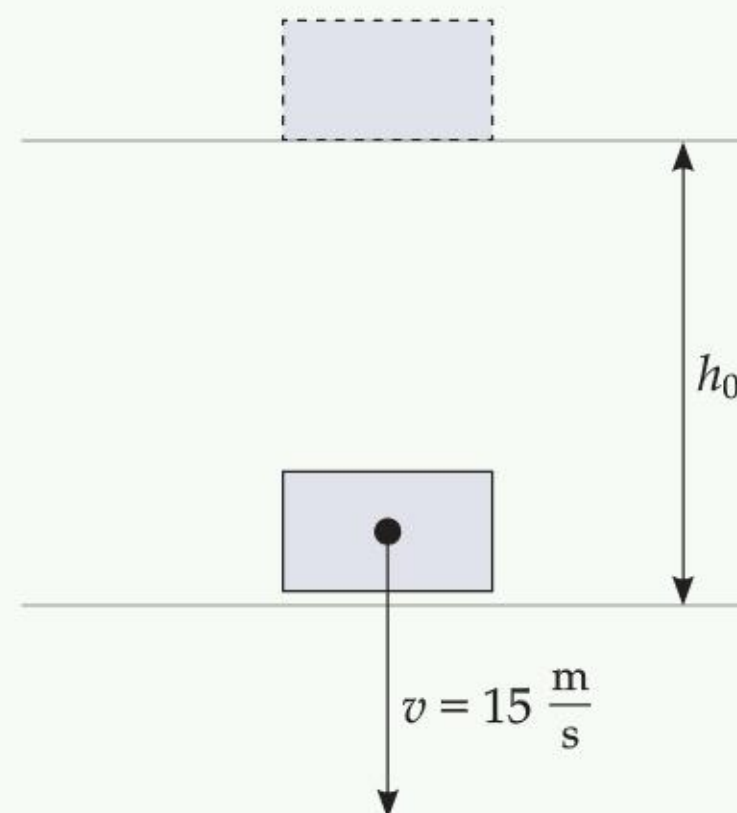
$$m \cdot g \cdot h_0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad / : (m \cdot g)$$

$$h_0 = \frac{v^2}{2g}$$

Po podstawieniu danych:

$$h_0 = \frac{(15 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{225 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 11,25 \text{ m}$$

Odpowiedź: Doniczka została upuszczona z wysokości 11,25 m.



Przykład 53.

Piłkę o masie 0,5 kg wyrzucono w górę z szybkością $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jaka będzie wartość jej energii kinetycznej, a jaka – energii potencjalnej grawitacji na wysokości 0,5 m? Na jaką wysokość wzniesie się ta piłka? Pomiń opory ruchu i przyjmij $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Dane:

$$m = 0,5 \text{ kg}$$

$$v = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_1 = 0,5 \text{ m}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

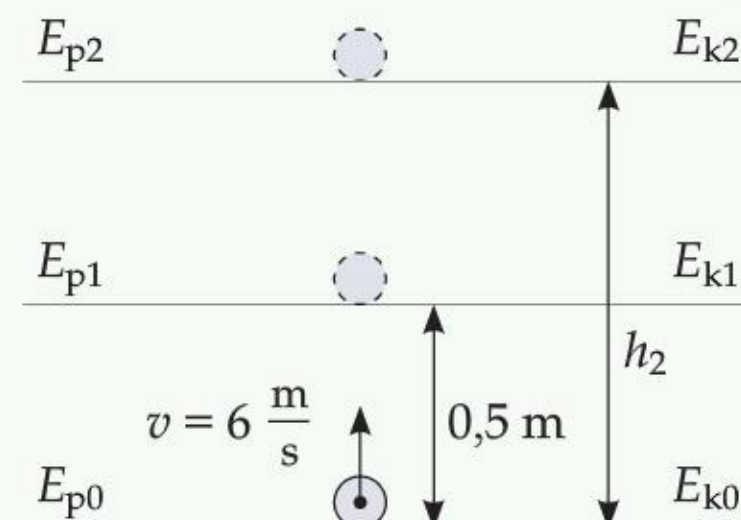
Szukane:

$$E_{p1} = ?$$

$$E_{p2} = ?$$

$$h_2 = ?$$

$$E_{k1} = ?$$



Rozwiązanie:

Układem ciał jest piłka i Ziemia, oddziałujące siłami grawitacji. Gdy człowiek wyrzuca piłkę w górę (siła zewnętrzna), wykonuje pracę równą całkowitej energii mechanicznej, którą będzie miał nasz układ. Przyjmujemy, że poziom zerowy jest na powierzchni Ziemi.

W momencie wyrzucania piłka ma energię kinetyczną o wartości:

$$E_{k0} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$E_{k0} = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot \left(6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot 36 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 9 \text{ J}$$

Na wysokości 0,5 m jej energia potencjalna będzie równa:

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot h_1$$

$$E_{p1} = 0,5 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ m} = 2,5 \text{ J}$$

Zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej całkowita energia mechaniczna układu jest w każdym punkcie drogi piłki stała i ma taką wartość, jak jej energia kinetyczna w momencie wyrzucania, wynosi więc 9 J. Zatem energię kinetyczną na wysokości 0,5 m obliczymy, odejmując od całkowitej energii mechanicznej wartość energii potencjalnej na tej wysokości:

$$E_{k1} = E_m - E_{p1}$$

$$E_{k1} = 9 \text{ J} - 2,5 \text{ J} = 6,5 \text{ J}$$

Energia potencjalna na maksymalnej wysokości stanowi całkowitą energię mechaniczną i jest równa $E_p = 9 \text{ J}$.

Aby obliczyć wysokość, na jaką wzniesie się piłka, wykorzystujemy informację, że $E_{p2} = 9 \text{ J}$. Przekształcamy wzór, aby obliczyć h_2

$$E_{p2} = m \cdot g \cdot h_2 / : (m \cdot g)$$

$$h_2 = \frac{E_{p2}}{m \cdot g}$$

Po podstawieniu danych:

$$h_2 = \frac{9 \text{ J}}{0,5 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{9 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{5 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,8 \text{ m}$$

Odpowiedź: Na wysokości 0,5 m piłka będzie miała energię potencjalną równą 2,5 J i energię kinetyczną 6,5 J. Piłka ta wzniesie się na wysokość 1,8 m.



7.24 Zegar z zawieszonym na łańcuszku ciężarkiem

Przemiany energii w przyrodzie

Wiesz już, na podstawie przeprowadzonych doświadczeń i rozwiązanych zadań, że gdy nie ma oporów ruchu, to całkowita wartość energii mechanicznej nie ulega zmianie. Rozpatrywaliśmy przypadki, np. spadku ciał, w których na ciała działała jedynie siła grawitacji, a siły zewnętrzne były równe zeru. W związku z tym nie było też pracy sił zewnętrznych i nie następowała zmiana energii mechanicznej układu. Gdy jednak siła oporu powietrza nie możemy pominąć, to energia kinetyczna spadającego ciała nie jest równa jego początkowej energii potencjalnej. Siła zewnętrzna (opory powietrza) wykonuje nad układem ciał pracę, zmieniając (zmniejszając) jego energię mechaniczną. Wzajemne przekształcanie się energii potencjalnej i kinetycznej obserwujemy tylko wtedy, gdy na ciało działają jedynie siły grawitacji, a opory ruchu pomijamy (swobodny spadek w próżni). Wówczas możemy powiedzieć, że o tyle wzrosła jedna forma energii, o ile zmniejszyła się druga.

Przemiany energii wykorzystywane są w wielu urządzeniach. W oparciu o wykorzystanie energii potencjalnej grawitacji działa zegar z zawieszonym na łańcuszku ciężarkiem (il. 7.24). Jeśli ciężarek podniesiemy na pewną wysokość względem pierwotnego położenia, to energia potencjalna ciężarka wzrośnie. Pod wpływem siły grawitacji ciężarek, opadając w dół do poprzedniego położenia, wprowadza w ruch mechanizm zegara i zegar chodzi.

W skrócie

- Zasada zachowania energii mechanicznej:
Jeżeli w układzie ciał nie działają siły zewnętrzne, to całkowita energia mechaniczna układu, czyli suma energii potencjalnej i kinetycznej, jest zachowana:
 $E_m = E_k + E_p = \text{const}$
- W danym układzie ciał, jeśli nie działają siły zewnętrzne, to określona ilość energii jednego rodzaju może zostać zamieniona w równą ilość energii innego rodzaju.
- Jeśli działają siły zewnętrzne (np. siły oporów ruchu), to energia mechaniczna układu maleje.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Opisz przemiany energii, jakie zachodzą podczas:
 - a) spadania piłki z pewnej wysokości pionowo w dół,
 - b) działania nakręconego zegara ściennego,
 - c) skoku człowieka z trampoliny do wody.
- 2 Podaj przykłady ciał posiadających równocześnie energię potencjalną i kinetyczną.
- 3 Jaką szybkość uzyska tuż przy ziemi kamień, który spada swobodnie z wysokości 5 m?

Podsumowanie działu 7

Ważne pojęcia

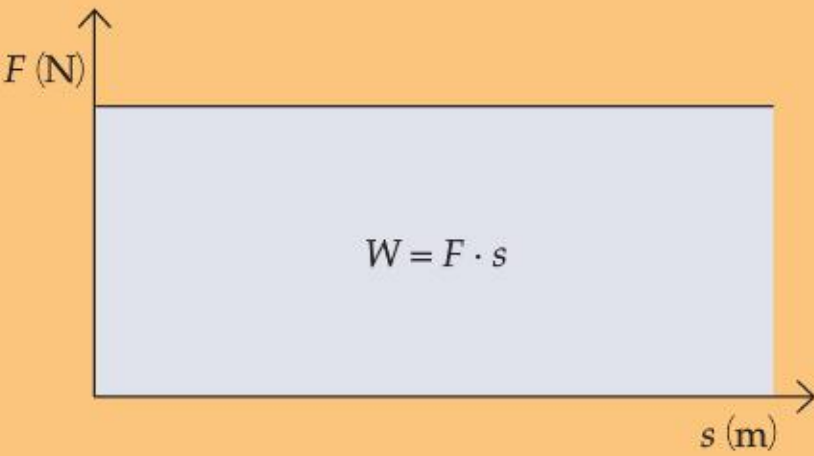
energia	energia mechaniczna	energia chemiczna	energia wewnętrzna	energia elektryczna
energia jądrowa		energia promieniowania		źródła konwencjonalne energii
odnawialne źródła energii	OZE	praca	dżul (J)	moc
energia potencjalna sprężystości		energia kinetyczna		zasada zachowania energii mechanicznej
				energia potencjalna grawitacji

Praca zostaje wykonana, gdy pod wpływem przyłożonej do ciała siły następuje jego przemieszczenie lub odkształcenie.

Gdy wartość działającej siły jest stała ($F = \text{const}$), pracę możemy obliczyć:

- gdy F równoległa do s
 $W = F \cdot s$
- gdy F prostopadła do s
 $W = 0$

Wartość pracy możemy również obliczyć metodą graficzną na podstawie wykresu zależności wartości siły od przebytej drogi. Praca jest liczbowo równa polu figury powstałej pod wykresem $F(s)$.



Jednostką pracy jest **dżul**: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$

Moc danego urządzenia informuje nas, jaka praca wykonywana jest w czasie jednej sekundy.

Mocą nazywamy wielkość równą ilorazowi pracy i czasu, w którym została ona wykonana:

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

Jednostką mocy jest **wat**: $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$

Energia mechaniczna to zdolność ciał do wykonania pracy. Może to być:

energia potencjalna		energia kinetyczna
grawitacji	sprężystości	związana z ruchem ciała $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
związana z położeniem ciała podniesionego na wysokość h $E_p = m \cdot g \cdot h$	związana z odkształceniem ciała (miarą jest praca, jaką może ciało wykonać, powracając do swojego początkowego kształtu)	

Zasada zachowania energii mechanicznej

Jeżeli w układzie ciał nie działają siły zewnętrzne, to całkowita energia mechaniczna układu, czyli suma energii potencjalnej i kinetycznej, jest zachowana: $E_m = E_k + E_p = \text{const}$.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Kasia, opierając się o ścianę, wykonuje pracę mechaniczną	A.	dodatnią,	ponieważ	A.	ściana działa na Kasię siłą o tej samej wartości, z jaką Kasia działa na ścianę.
	B.	ujemną,		B.	działa na ścianę siłą prostopadłą do jej powierzchni.
	C.	równą zero,		C.	ściana się nie porusza.

- 2 Piotrek przeniósł siatkę z zakupami o masie 10 kg na odcinku 100 m poziomego chodnika. Praca wykonana przez Piotrka jest równa

A. 1000 J B. 100 J C. 0 J D. 10 000 J

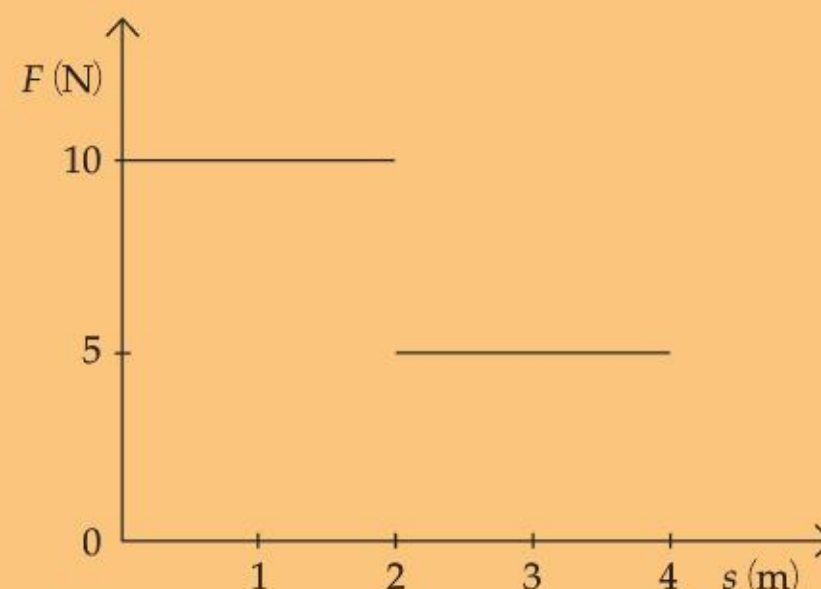
- 3 Bartek, działając na wózek siłą 10 N, przesunął go na odległość 50 cm. Wykonał on pracę równą

A. 500 J B. 5 J C. 0,5 J D. 50 J

- 4 Wykres przedstawia wartości działającej siły na poszczególnych odcinkach drogi podczas przesuwania sanek.

Wykonana praca wynosi

A. 10 J B. 30 J
C. 20 J D. 40 J



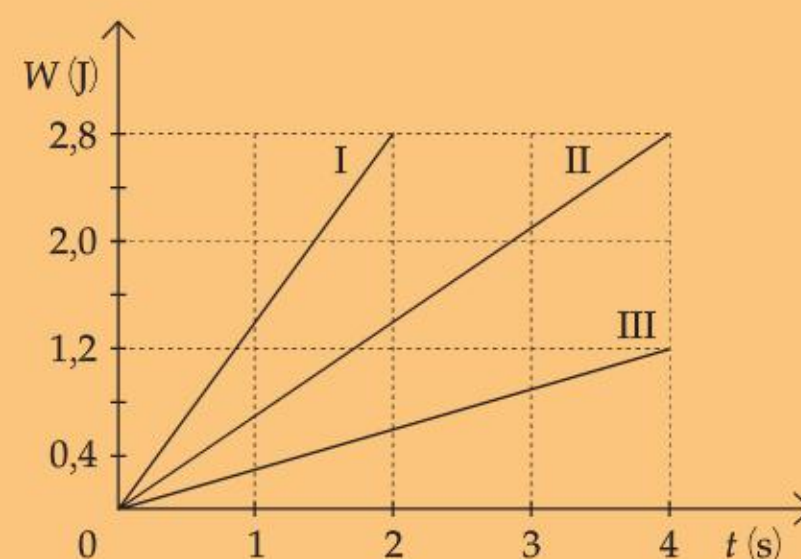
- 5 Jeżeli silnik, działając siłą 10 N, przesunął ciało o 20 m w ciągu 10 s, to jego moc wynosiła

A. 5 W B. 20 W C. 0,2 kW D. 2 kW

- 6 Na wykresie przedstawiono zależność pracy od czasu dla trzech różnych urządzeń (I, II i III).

Oceń prawdziwość podanych zdań.

- A. Urządzenie II wykonało taką samą pracę jak urządzenie I i pracowało z dwukrotnie większą mocą niż urządzenie III.
B. Urządzenie II wykonało pracę 0,7 J w czasie 1 s i pracowało z taką samą mocą jak urządzenie I.
C. Z największą mocą pracowało urządzenie I i wykonało taką samą pracę 2,8 J jak urządzenie II.



- 7 Robotnik wrzucił łopatą 1 tonę ziemi na samochód o wysokości 1,5 m. Pracował ze średnią mocą 5 W. Robotnik wykonał pracę w czasie

A. 300 s B. 3000 s C. 75 s D. 3 s

- 8 W wodospadzie o wysokości 10 m przepływa 5 ton wody na sekundę. Jeśli elektrownia wykorzystuje 50% energii spadającej wody, to jej moc wynosi około

A. 16 kW B. 25 kW C. 250 kW D. 25 MW

- 9 Konrad przeniósł doniczkę z kwiatkiem o masie 2 kg ze stołu o wysokości 1 m na szafę o wysokości 2 m.

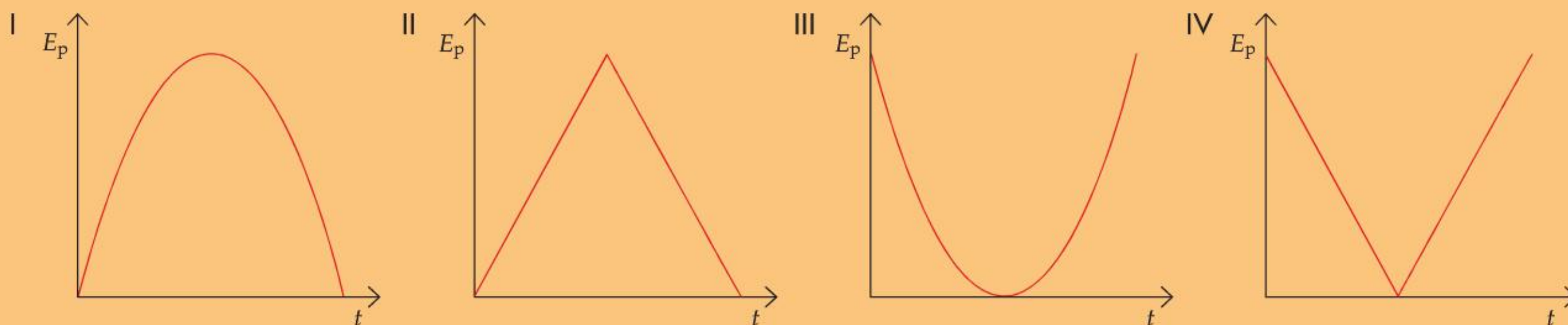
Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Konrad wykonał pracę	A.	4 J	Energia potencjalna doniczki	A.	wzrosła o 4 J
	B.	2 J		B.	wzrosła o 40 J
	C.	40 J		C.	wzrosła o 20 J
	D.	20 J		D.	zmałała o 20 J

- 10 Podczas rzutu ciała pionowo do góry

- A. jego energia kinetyczna rośnie, a energia potencjalna – maleje.
 B. jego energia kinetyczna maleje, a potencjalna – rośnie.
 C. jego energie kinetyczna i potencjalna rosną.
 D. jego energie kinetyczna i potencjalna maleją.

- 11 Który wykres najlepiej przedstawia zależność energii potencjalnej grawitacji od czasu, dla ciała rzuconego pionowo do góry?



- A. I B. II C. III D. IV

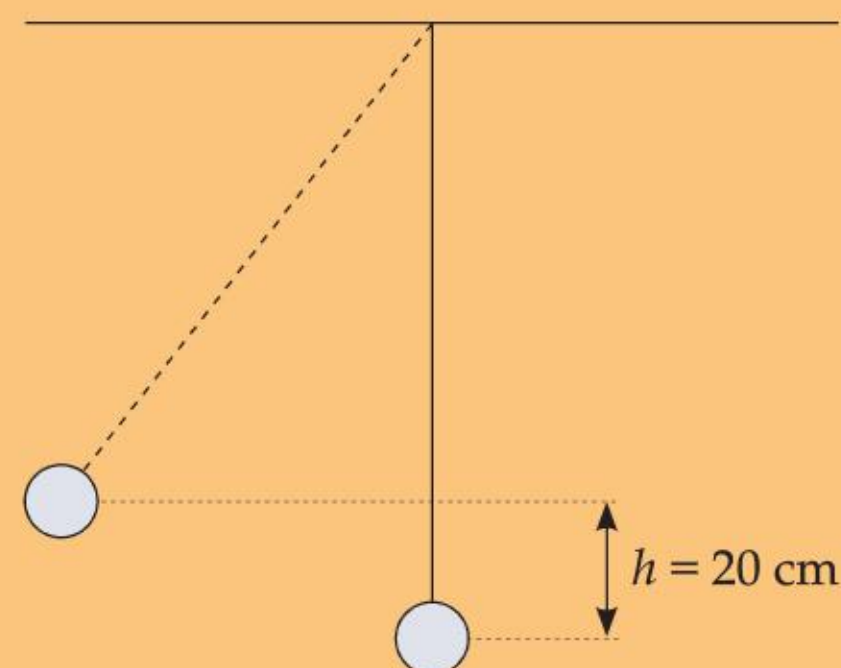
- 12 Ile wynosi energia kinetyczna samochodu o masie m równej 1000 kg, jadącego z szybkością $20 \frac{m}{s}$?

- A. 400 kJ B. 20 kJ C. 200 kJ D. 10 kJ

- 13 Kulkę zawieszoną na nitce odchylono tak, jak pokazano na rysunku, i puszczono.

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Energia kinetyczna w najniższym położeniu jest	A.	największa.	Szybkość kulki w tym położeniu wynosi	A.	$4 \frac{m}{s}$
				B.	$2 \frac{m}{s}$
	B.	najmniejsza.		C.	$20 \frac{m}{s}$
				D.	$400 \frac{m}{s}$



- 14 Energia mechaniczna Dagmary bujającej się swobodnie na huśtawce jest

- A. największa w chwili najwyższego położenia Dagmary.
 B. największa w chwili najniższego położenia.
 C. cały czas jednakowa, jeżeli zaniedbamy siły tarcia.
 D. najmniejsza w chwili najniższego położenia.

Indeks

A		energia	202	O	
aerostatyka	86	kinetyczna	217, 224–227	objętość	31
Archimedes	108, 114	mechaniczna	215–217	obserwacja	10
areometr	48, 111	potencjalna	217	oddziaływanie ciał	35
Arystoteles	7	potencjalna grawitacji	218–221	elektrostatyczne	35
atom	70, 73	potencjalna sprężystości	221–222	grawitacyjne	36
B		Einstein A.	71	magnetyczne	35
barometr	96	F		mechaniczne	36, 164
baroskop	110	fizyka	7	sprężyste	36, 164
bezwładność	172–173	G		opory ruchu	181, 186
BHP pracowni fizycznej	18	Galileusz	11	opóźnienie	156
bimetal	65	gaz	60, 75	P	
Brown R.	71	gęstość	46–53	paradoks hydrostatyczny	94
C		H		parcie	86
ciało		hipoteza	10	parowanie	61–62
bezpostaciowe	76	hydrostatyka	86	Pascal B.	88, 105
fizyczne	12	J		paskal (1 Pa)	88
stałe	58–59, 75	jednostka podstawowa	14	pęd ciała	176
sprężyste	59	Joule J.P.	204, 205	pierwiastek	73
plastyczne	59	K		pływanie ciał	112–114
kruche	59	kelwin (1 K)	15	pomiar	11, 14, 21
ciecze	58–59, 75	kilogram (1 kg)	15, 27	bezpośredni	19, 28, 29
zwilżające	76	koń mechaniczny (1 KM)	212	pośredni	29, 49, 129
niezwilżające	76	kryształ	76	praca mechaniczna	206–209
ciśnienie	87–90	krzepnięcie	61–62	prasa hydrauliczna	103
atmosferyczne	95–96	M		prawa fizyczne	10
hydrostatyczne	91–93	masa	27, 172	prawo	
ciśnieniomierz (manometr)	89	maszyny proste	188–189	Archimedes	108, 110, 111
cyfra znacząca	21	menisk		Bernoulliego	100
cylinder miarowy	31	wklęsły	77	Pascala	102–103
czas	26	wypukły	77	prędkość	135, 138
cząsteczka	70–73	metoda naukowa	10	chwilowa	142
czynniki istotne, nieistotne	12	metoda równoległoboku	169	średnia	140–143
D		metoda wyporu cieczy	32	procesy fizyczne	7
Demokryt z Abdera	70, 75	metr (1 m)	15, 26, 30	proporcjonalność	
delta	26	moc	211–213	prosta	40, 42, 55, 192, 207, 210, 220
detergent	80	N		odwrotna	192
długość	26	nacisk	86	próżnia	90
dokładność przyrządu	18, 19	naczynia połączone	93	przedrostki jednostek	15, 16
doświadczenia	10	napięcie powierzchniowe	77–80	przemiany energii	204, 228, 232
droga	125–127, 131, 137, 145–147, 152, 157	Newton I.	36, 172	przyspieszenie	149–150, 156, 190–196
dyfuzja	72	niepewność pomiarowa	19	jednostka	149
dżul (1 J)	204, 208, 209, 220, 225	niuton (1 N)	36, 193	ziemskie	42, 93, 153, 196
E				punkt materialny	121
eksperyment	10, 12			R	

gazów	68	sublimacja	61	zjawisko	
liniowa ciał stałych	65	substancja	12	fizyczne	7
wody	67–68	swobodne spadanie ciał	153, 195–196	odrztu	176
ruch	120	Ś		związek chemiczny	73
jednostajnie opóźniony	156–157	średnia arytmetyczna	20	Ż	
jednostajnie przyspieszony	144–147	ściśliwość	60	źródła odnawialne energii	203
jednostajny prostoliniowy	129–131	T			
ruch		temperatura	28		
krzywoliniowy	123	topnienia	62, 63		
opóźniony	142	krzepnięcia	62		
prostoliniowy	120	termoskop	11, 67		
przyspieszony	142	topnienie	61–62		
ruchy Browna	71	tor	123		
ruch zmienny	140	prostoliniowy	123		
S		krzywoliniowy	123		
siła	36–38	Torricelli E.	96		
ciężkości (ciężar)	41–44	U			
nacisku	86–89, 95	układ ciał	172		
nośna	101	układ odniesienia	121		
oporu	166, 171, 181, 186, 187	układ SI	14		
parcia	86, 93, 94	układ współrzędnych	124		
przylegania	76	W			
równoważąca	169	wartość			
sprężystości	178	prędkości (szybkość)	28, 135–136, 150–151, 156–158,		
spójności	76	przyspieszenia	149–150		
tarcia	182, 186	Watt J.	212		
kinetycznego	182–183	wat (1 W)	212		
statycznego	182–183	ważenie	27		
poślizgowego	184	wektor	37		
tocznego	184	wektor przemieszczenia	127		
wypadkowa	166–169	wielkość			
wyporu	106–110	fizyczna	14		
siłomierz	40, 41	skalarna	27		
siły		wektorowa	37, 45, 127, 135, 138, 149, 154, 156, 157, 177		
akcji – reakcji	175	włoskowatość	78		
elektryczne	164	wrzenie	62		
grawitacyjne	164	współczynnik sprężystości	180		
magnetyczne	164	wykreś	44		
sprężystości	164, 178–180	względność ruchu	121–122		
międzycząsteczkowe	74	Z			
równoważące	169	zakres przyrządu pomiarowego	18		
składowe	166	zasada			
wewnętrzne	172	zachowania energii mechanicznej	229–231		
zewewnętrzne	172	dynamiki Newtona I	171–172		
skraplanie	61	dynamiki Newtona II	192		
skutki oddziaływań	165	dynamiki Newtona III	174–175		
statyczne	165–166				
dynamiczne	165–166				
Smoluchowski M.	71, 75				
spoczynek	120				
stany skupienia					
ciekły	58				
gazowy	58				
stały	58				

Spis tabel

Tabela 1. Przykładowe jednostki podstawowe w układzie SI	15
Tabela 2. Niektóre przedrostki wielkości fizycznych	16
Tabela 3. Zestawienie wielkości fizycznych mierzonych na co dzień	30
Tabela 4. Masa jednostkowych objętości ciał stałych	47
Tabela 5. Przykładowe gęstości cieczy	50
Tabela 6. Przykładowe gęstości gazów	50
Tabela 7. Zestawienie wielkości fizycznych (Podsumowanie działu 2)	54
Tabela 8. Przyrosty długości wybranych substancji	65
Tabela 9. Przyrosty objętości wybranych substancji	66
Tabela 10. Przykładowe wartości prędkości spotykane w przyrodzie	138
Tabela 11. Przykłady nośników energii i ich wartości energetycznych	205
Tabela 12. Przykłady mocy niektórych urządzeń	214

Odpowiedzi do zadań

1. Z fizyką na ty

1.3 Wielkości fizyczne i ich jednostki (s. 17)

2. 152,4 cm

2. Pierwsze pomiary fizyczne

2.2 Wyznaczanie objętości ciał (s. 34)

3. $V = 0,25 \text{ dm}^3$

2.5 Wyznaczanie gęstości substancji (s. 53)

2. Al – A, mosiądz – C, Au – B

3. $V = 50 \text{ cm}^3$

4. $V = 0,00625 \text{ m}^3$ 5. Ze złota – C

Podsumowanie działu 2 (s. 56)

5. D 6. B

3. Budowa i właściwości materii

3.5 Oddziaływania międzycząsteczkowe (s. 78)

3. B

4. W powietrzu i w wodzie

4.1 Ciśnienie i jego pomiar (s. 90)

5. $p_1 = 20 \text{ Pa}$; $p_2 = 20 \text{ Pa}$; $p_3 = 20 \text{ Pa}$; $p_4 = 10\,000 \text{ Pa}$

6. $p_1 = 12\,000 \text{ Pa}$; $p_2 = 2000 \text{ Pa}$

4.3 Prawo Pascala i jego zastosowanie (s. 105)

3. $m = 600 \text{ kg}$; $x = 7 \text{ cm}$

4.4 Prawo Archimedesesa (s. 111)

2. $F = 1,6 \text{ N}$

3. $F_w \approx 0,99 \text{ N}$ dla alkoholu; $F_w = 1,25 \text{ N}$ dla wody

4.5. Warunki pływania ciał (s. 115)

5. $V_{\text{zanurzona}} = 0,6 V_{\text{bala}}$

Podsumowanie działu 4 (s. 118)

5. $F_w = 0,064 \text{ N}$ 6. $V_{\text{zanurzona}} = 0,9 V_{\text{lodu}}$

7. $F_w = 4 \text{ N}$; $V_z = 0,0005 \text{ m}^3$; $d_{\text{ciała}} = 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

5. Ruch i jego opis

5.2 Wielkości opisujące ruch (s. 128)

2. $s = 7 \text{ km}$

6. $\Delta s = 175 \text{ km}$; $h = 250 \text{ m}$

5.4 Wartość prędkości w ruchu jednostajnym prostoliniowym (s. 139)

4. $v_a = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $v_b = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $v_a = 2v_b$

5.5 Ruch prostoliniowy zmienny (s. 143)

1. $v = 176,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ 3. $t = 1,5 \text{ h}$ 4. a) $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

5.6 Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony (s. 148)

3. b) $v = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

5.7 Przyspieszenie w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym (s. 155)

2.* $a = 256\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ 3. $a = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

4. $a_I = 0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; $a_{II} = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; a) $\Delta s = 62,5 \text{ cm}$;

b) $v_I - v_{II} = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; c) $\frac{v_1}{v_2} = 1,5$

5.8 Ruch prostoliniowy jednostajnie opóźniony (s. 159)

1. $t = 3 \text{ s}$ 2.* $a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; $s = 200 \text{ m}$

3. $s = 112,5 \text{ m}$; $v_{\text{sr}} = 11,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Podsumowanie działu 5 (s. 161)

2. a) $s = 6 \text{ m}$; $v_{\text{sr}} = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; b) $s = 14 \text{ m}$; $v_{\text{sr}} = 0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$;

c) $s = 20 \text{ m}$; $v_{\text{sr}} = 0,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; d) $s = 28 \text{ m}$; $v_{\text{sr}} = 0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

6. $v = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ 8. $a = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

6. Siły wokół nas

6.3 Trzecia zasada dynamiki Newtona (s. 177)

5.* $v = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

6.4 Siła sprężystości (s. 180)

2. $x = 6 \text{ cm}$ 3.* $k_1 = 25 \frac{\text{N}}{\text{m}}$; $k_2 = 12,5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

6.6 Druga zasada dynamiki Newtona (s. 194)

1. $m = 5 \text{ kg}$ 2. $a = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; $v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $s = 5 \text{ m}$

3. $F = 600 \text{ N}$

Podsumowanie działu 6 (s. 199)

5. III 6. C 11. B

7. Praca, moc, energia

7.2 Praca i jej jednostki (s. 210)

3. $W = 1500 \text{ J}$

7.3 Moc i jej jednostki (s. 214)

1. $P = 40 \text{ W}$; $W = 4000 \text{ J}$; $t = 2 \text{ s}$

2. $P_A = 100 \text{ W}$; $P_D = 50 \text{ W}$; $\frac{P_A}{P_D} = 2$

4. $W = 2000 \text{ J}$; $P = 1000 \text{ W}$

7.5 Energia potencjalna grawitacji i sprężystości (s. 223)

3. $E_p = 10\,500 \text{ J}$ 4. $h = 20 \text{ m}$

7.6 Energia kinetyczna (s. 227)

1. 4 razy 3. $E_{kb} = 2500 \text{ J}$; $E_{kj} = 30\,000 \text{ J}$; Energia jaką posiada jelen jest większa niż energia posiadana przez barana.

7.7 Zasada zachowania energii mechanicznej (s. 232)

3. $v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Podsumowanie działu 7 (s. 234)

2. C 3. B 4. B 5. B 7. B 8. C

Wykaz dysponentów praw autorskich do obrazów i zdjęć zamieszczonych w publikacji:

Fizyka. Podręcznik dla klasy siódmej szkoły podstawowej

Archiwum wydawnictwa MAC / GE S.A.: (stoper, s. 11; taśma miernicza, s. 19; galenit, s. 52; termoskop, s. 67; żyletka na wodzie, s. 77); **NAC:** Koncern Ilustrowany Kurier Codzienny – Archiwum Ilustracji (Marian Smoluchowski, s. 75); **Shutterstock:** Dark Moon Pictures (wyładowanie atmosferyczne, s. 7); Senohrabek (lot samolotu, s. 7); bogdan ionescu (tęcza, s. 7); Ralf Lehmann (wylewająca się świecąca lawa, s. 7); Sky Antonio (spadochroniarz, s. 7); Chones (żarówka, s. 7); Soonthorn Wongsaita (wiatraki i ogniwa fotowoltaiczne, s. 8); Jenson (maszyny usprawniające prace w fabryce, s. 8); Anton Foltin (antena satelitarna, s. 8); nikkytok (laser, s. 8); D-VISIONS (fragment urządzenia do badania cząstek elementarnych, s. 8); NASA images (mgławica, s. 8); frantic00 (jezioro na tle gór, s. 9); s74 (Galileusz – popiersie, s. 11); Lukiyanova Natalia frenta (Krzywa Wieża w Pizie, s. 11); ajax (miernik uniwersalny, s. 11); Andrey Pavlov (mrówka, s. 12); Olga Miltsova (kwiatek w doniczce, s. 12); Victor Tyakht (ptak w locie, s. 12); Giovanni Love (samochód, s. 12); Vladyslav Starozhylov (rower, s. 12); Alex Gorun (CERN, s. 13); Dragance137 (linijka szkolna z podziałką co 1 mm, s. 19, 23); Winai Tepsuttinun (suwmiarka, s. 19); Sandra van der Steen (czerwona latarka, s. 20); Timmary (linijka, s. 20); Rose Carson (klocek czerwony, s. 23); seewhatmitchsee (ludzik z klocków, s. 24); Evgeny Karandaev (szklanka z sokiem, s. 24); Alistair Scott (zegar słoneczny, s. 26); Andrey Burmakin (klepsydra, s. 26); Marcin Siergiej (zegarek na rękę, s. 26); doomu (waga elektroniczna sklepowa, s. 27); Christopher Dodge (waga elektroniczna jubilerska, s. 27); litchima (waga elektroniczna domowa, s. 27); Photology1971 (szkolna waga szalkowa, s. 27); zcw (waga szalkowa, s. 27); Tatiana Popova (termometr lekarski, s. 28); frantic00 (termometr elektroniczny, s. 28); Mauro Rodrigues (termometr laboratoryjny, s. 28); VAV sima (szybkościomierz, s. 28); Shtyrov Dmitry (sześcian, s. 31); gloverk (cylinder miarowy, s. 31); Gjermund (cylinder miarowy, s. 31); Billion Photos (plecak, s. 37); azure1 (miś zabawka, s. 39); Vakrish (dwa odważniki, s. 41); Coatesy (jeź, s. 55); Valentyn Volkov (kostki lodu, s. 58); Andrey_Kuzmin (szklanka wody, s. 58); AlenKadr (garnek z parą wodną, s. 58); Alex Kosev (kreda, s. 59); Paulo Vilela (kula plazmowa, s. 60); tale (balon z helem, s. 60); Melissa King (góra lodowa, s. 61); Marina Poushkina (szron na roślinach, s. 61); sruilk (ciekły azot w butli, s. 62); Kari Marttila (ciekły azot, s. 62); Roberto Caucino (linie energetyczne latem, s. 65); Onishchenko Natalya (linie energetyczne zimą, s. 65); Kim Christensen (ogrzewany bimetal, s. 65); Stepan Bormotov (drewniana beczka, s. 69); HeinzTeh (winogrona, s. 70); Triff (planeta Ziemia, s. 70); Ramaikina Olga (benzyna w kałuży, s. 74); Vladimirkarp (kamień, s. 75); Tarasyuk Igor (szklanka z wodą, s. 75, 86); Prachaya Roekdeethaweesab (Demokryt z Abdery, s. 75); grafvision (kryształ soli, s. 76); Sundraw Photography (bursztyn, s. 76); bmf-foto.de (krople wody na liściach, s. 76); milatas (pisanie kredą po tablicy, s. 76); Karel Gallas (nartnik na powierzchni wody, s. 77); Carlos Marques (spadająca kropla wody z kranu, s. 77); Bohbeh (krople wody na materiale, s. 78); stefanolunardi (kawa rozlana na obrusie, s. 78); AL Robinson (krople wody na masce samochodu, s. 78); Cuson (bańki mydlane, s. 79); Dee Browning (puszczanie dużej bańki mydlanej, s. 80); Maxim Petrichuk (człowiek zapadający się w śniegu, s. 86); Pikoso.kz (mężczyzna spacerujący po śniegu w nartach, s. 86); SuriyaPhoto (skrzynia na blacie, s. 86); Boule (balon, s. 86); Ugorenkov Aleksandr (ciśnieniomierz, s. 89); Kirill Skorobogatko (himalaista w górach z butlą tlenową, s. 96); By NoPainNoGain (skrzydło, s. 101); By Dima Oris (łódź, s. 101); Nixx Photography (samochód na podnośniku hydraulicznym, s. 103); Blue Planet Studio (balon z gondolą, s. 110); Federico Rostagno (statek z ładunkiem, s. 115); Shairaa (płynąca rzeka, s. 120); WaitForLight (konie biegnące w wodzie, s. 120); ST_Travel (samolot na niebie, s. 120); rsooll (drzewo, s. 120); Ivanova Ksenia (dwie osoby na panoramie jeziora, s. 121); evakad17 (chłopcy obserwujący chomika w kołowrotku, s. 122); remik44992 (pociąg na szynach, s. 123); Grand Warszawski (samochody na autostradzie, s. 123); Montana Isabella (turysta na ścieżce w górach, s. 123); aapsky (samolot na niebie, s. 123); Carsten Medom Madsen (ślady zostawione przez zwierzęta na śniegu, s. 123); Siripong Jitchum (ślady zostawione przez opony samochodu na piasku, s. 123); FotograFFF (radiolokator, s. 125); Billion Photos (mrówka, s. 126, 161); Igor Corovic (tempomat, s. 131); Hadrian (ślimak na liściu, s. 135); AndreAnita (orzeł szybujący w powietrzu, s. 135); WildlifeWorld (skacząca żaba, s. 140); silentalex88 (szybkościomierz rowerowy, s. 142); Elana Erasmus (gepard, s. 148); COLOMBO NICOLA (zjeżdżający narciarz, s. 153); Richard Wayne Collens (sokół wędrowny, s. 155); Andrey Armyagov (satelita na orbicie, s. 164); lunamarina (rozciąganie taśmy do ćwiczeń, s. 164); Yuriy Golub (piłka uderzona rakieta tenisową, s. 165); riwkus (stłuczony kubek, s. 165); Suzanne Tucker (kopnięta piłka w powietrzu, s. 166); Uladimir Navumenka (lampa wisząca pod sufitem, s. 170); lunamarina (kuferek leżący na stole, s. 171, 198); Marcel Jancovic (spadochroniarz, s. 171); thieury (zachowanie człowieka podczas wypadku samochodowego, s. 172); ffolas (młotek trzymany w ręce, s. 172); Attapon Thana (wystrzelone poduszki powietrzne, s. 173); takoburito (pływak, s. 175); Vera Larina (lecząca rakietą, s. 176); hanmon (huśtawka na sprężynie, s. 178); wjarek (beczka toczona po podłożu, s. 184); GeorgeAA (dzieci zjeżdżające na ślizgu, s. 186); Ramona Heim (łożysko kulkowe, s. 187); Dave Turner (poduszkowiec, s. 187); Nadya Ershova (Archimedes, s. 188); udaix (infografiki dźwigni jednostronnej – ręki, s. 188); Fouad A. Saad (śruba Archimedes, s. 188); Olesia Bilkei (huśtawka, s. 188); XArtProduction (niepełnosprawny na wózku, s. 189); Stefano Ember (serpentyna w górach, s. 189); Who is Danny (schody, s. 189); HackLeR (blok, s. 189); Buld (rower, s. 189); Potapov Alexander (dźwig, s. 189); lapas77 (tło, s. 188-189); sydeen (przyspieszający bolid, s. 192); AHMAD FAIZAL YAHYA (hamujący bolid, s. 192); Jarun Tedjaem (spadochroniarz, s. 198); Burakova_Yulia (wiszące jabłko, s. 198); LU YAO (skrzynia, s. 199); Rudmer Zwerver (elektrownia węglowa, s. 202); Smileus (elektrownia jądrowa, s. 202); Constantine Androsoff (elektrownia wodna, s. 203); anyaiavanova (elektrownia słoneczna, s. 203); fokke baarssen (elektrownia wiatrowa, s. 203); Johann Ragnarsson (elektrownia geotermalna, s. 203); Francois BOIZOT (elektrownia pływowa, s. 203); nostalgíe (elektrownia biomasowa, s. 203); Sergey Novikov (dzieci grające w koszykówkę, s. 204); Zenobillis (startująca rakietą, s. 204); tommaso79 (mężczyzna podnoszący pudło, s. 206); andras_csontos (napinanie cięciwy łuku, s. 206); Africa Studio (zagniatanie ciasta, s. 206); RossHelen (osoba pchająca taczka z ładunkiem, s. 208); majatonni (ciągnięcie sanek z dzieckiem, s. 208); Bilanol (dźwig, s. 211); Farhad Ibrahimzade (mężczyźni noszący cegły, s. 211); jayk67 (bloczek linowy, s. 211); Enrique Alcala (kolarze, s. 214); Lysogor Roman (lawina, s. 215); Swapan Photography (zabawka bączek, s. 215); kaband (osoba w ciążniku odśnieżająca śnieg, s. 215); l i g h t p o e t (łuczniczka napinająca cięciwę łuku, s. 216); Butter45 (tarcza ze strzałą w środku, s. 216); nd3000 (kobieta rzucająca kulą do kręgli, s. 216); ESB Professional (kula uderzająca w kręgla, s. 216); Tanya Po (kafar, s. 217); Nixx Photography (piłka na trawie, s. 217); Gary Saxe (zapora wodna, s. 218); Mock_up_Room (fragment pokoju, s. 218); Monkey Business Images (ludzie skaczący na trampolinie, s. 222); wavebreakmedia (skok w dal kobiety, s. 222); Hans Christiansson (kobieta skacząca o tyczce, s. 222); De Visu (żaglówka na wodzie, s. 223); sizov (zegar, s. 232); **Tomasz Suszczyński:** (kot, s. 6; cylinder miarowy, s. 11; menzurki, s. 32, 33; gąbka, s. 36; siłomierze, s. 41; waga szalkowa, s. 46; menzurki, s. 49, 58; gąbka, s. 59; plastelina, s. 59; palnik gazowy, s. 60; strzykawka, s. 60; pierścień Gravesanda, s. 64; dylatoskop, s. 64; kolby kuliste z zabarwioną wodą, s. 66, 68; próbówki z wodą i denaturatem, s. 70; menzurki z kaszą i fasolą, s. 71; szklanki z wodą i saszetką herbaty, s. 72; szybki połączone wodą, s. 74; menisk wklęsły, s. 77; menisk wypukły, s. 77; pierścienie z drutu z nitką i detergentem, s. 79; szklanka z wodą i spinaczem, s. 80; ręcznik papierowy z powłoką hydrofobową i kroplami cieczy, s. 84; ręcznik papierowy z wsiąkniętą cieczą, s. 84; odważniki naciskające na gąbkę, s. 87; baloniki w pojemniku próżniowym, s. 89; cylinder z otworami i wylewającą się wodą, s. 91; cylinder z membraną z cieczą, s. 92, 93; cylinder z membraną z dolewaną cieczą, s. 92; cylindry z balonikami wypełnione wodą, olejem i denaturatem, s. 92; naczynia połączone, s. 93; butelka z cieczą w naczyniu, s. 95; odwrócona szklanka z cieczą na kartce papieru, s. 95; woda wyciekająca przez piłeczkę na strzykawce, s. 102; dwie strzykawki z cieczą połączone wężykiem, s. 105; woreczki z wodą zawieszane na siłomierzu, s. 106; wiaderko Archimedes, s. 107; metalowe sześciany zawieszane na siłomierzu, s. 107; jajka w szklance z wodą, s. 108; rurka napełniona wodą z pęcherzykiem powietrza, s. 129; tor powietrzny, s. 131; kroplomierz na torze powietrznym, s. 134; klocek z haczykami na siłomierzu, s. 167; klocek z haczykami na siłomierzach, s. 169; klocek na stole, s. 183; książka przesuwana po blacie stołu, s. 184, 198; klocki ciągnięte przez siłomierze, s. 184; układy klocków drewnianych przeciągane przez siłomierz, s. 185; wagoniki, s. 199; mężczyzna wykonujący zamach młotem w kierunku węgla na pniu, s. 216; pień drzewa z rozdrobnionym węglem, s. 216; klocki ze sprężyną, s. 221); **Wikipedia:** Eric Gaba / Sting (Arystoteles, s. 7); Japs 88 (wzorec masy, s. 27); Xosema (pręt platynowo-irydowy, s. 30); Gmhofmann (areometr, s. 50); Piotr Sosnowski (ortoklaz, s. 52); Mike Young (balon, s. 68); Saperaud (eksperyment Torricelliego, s. 91); 竹麦魚 (Searobin) (Daniel Bernoulli, s. 100); Château de Versailles (Blaise Pascal, s. 105); Gemäldegalerie Alte Meister (Archimedes, s. 114); Tech. Sgt. Mike Buytas (tankujące w powietrzu samoloty, s. 134); Dcoetzee (Isaac Newton, s. 172); Henry Roscoe (James Prescott Joule, s. 205); Antonia Reeve (James Watt, s. 212); **Grzegorz Wrzecionowski:** (szybkościomierz, s. 28; menzurka z wodą, s. 33; kamień, s. 33; menzurka z kamieniem, s. 33; menzurka wysoka ze zlaną wodą, s. 33; baloniki pod sufitem, s. 35; magnesy na wózkach, s. 35; skrawki papieru przyciągane przez linijkę, s. 35; baloniki odpychające się od siebie, s. 35; rozciąganie palcami gumki recepturki, s. 36; waga szalkowa, s. 46; sześcian z aluminium, s. 48, 53; sześcian z drewna, s. 48, 53; sześcian ze złota, s. 48, 53; sześcian z ołowiu, s. 48, 53; waga szalkowa z kubkiem, s. 56; baroskop, s. 110; tor powietrzny, s. 131; magnes przyciągający szpilki, s. 164; naelektryzowany bursztyn przyciągający skrawki papieru, s. 164; dwa wózki z magnesami, s. 174; dwa wózki połączone napiętą sprężyną i nitką, s. 174; dwa wózki połączone sprężyną w spoczynku z przeciętą nitką, s. 174; klocek na blacie z obciążnikiem, s. 182; wózek z trzema ciężarkami na blacie z jednym obciążnikiem, s. 190; wózek pusty na blacie z czterema obciążnikami, s. 190; wózek pusty na blacie z dwoma obciążnikami, s. 191; wózek z trzema ciężarkami na blacie z dwoma obciążnikami, s. 191; ciężarek zawieszony na nitce, s. 228; koło Maxwella, s. 229).



Grupa MAC S.A.
ul. Witosa 76
25-561 Kielce

www.mac.pl

ISBN 978-83-7873-529-8



9 788378 735298

indeks 881413