

A photograph of a roller coaster with red cars and white tracks, looping upside down against a clear blue sky. The cars are filled with people, and the track forms a large circular loop.

**HALLIDAY  
RESNICK • WALKER**

**PODSTAWY  
FIZYKI**

**2**

## WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE (WARTOŚCI ZAOKRĄGLONE)

### Powietrze (suche, w temp. 20°C i pod ciśn. 1 atm)

gęstość	1,21 kg/m <sup>3</sup>
ciepło właściwe pod stałym ciśnieniem	1010 J/(kg · K)
stosunek ciepła właściwych $c_p/c_v$	1,40
prędkość dźwięku	343 m/s
natężenie pola elektrycznego przebicia	$3 \cdot 10^6$ V/m
efektywna masa molowa	0,0289 kg/mol

### Woda

gęstość	1000 kg/m <sup>3</sup>
prędkość dźwięku	1460 m/s
ciepło właściwe pod stałym ciśnieniem	4190 J/(kg · K)
ciepło topnienia (w temp. 0°C)	333 kJ/kg
ciepło parowania (w temp. 100°C)	2260 kJ/kg
współczynnik załamania ( $\lambda = 589$ nm)	1,33
masa molowa	0,0180 kg/mol

### Ziemia

masa	$5,98 \cdot 10^{24}$ kg
średni promień	$6,37 \cdot 10^6$ m
przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni Ziemi	9,8 m/s <sup>2</sup>
standardowe ciśnienie atmosferyczne	$1,01 \cdot 10^5$ Pa
okres ruchu satelity na orbicie odległej od Ziemi o 100 km	86,3 min
promień orbity geostacjonarnej	42 200 km
prędkość ucieczki	11,2 km/s
dipolowy moment magnetyczny	$8,0 \cdot 10^{22}$ A · m <sup>2</sup>
średnie pole elektryczne na powierzchni Ziemi	150 V/m, skierowane w dół

### Odległości od Ziemi

do Księżyca	$3,82 \cdot 10^8$ m
do Słońca	$1,50 \cdot 10^{11}$ m
do najbliższej gwiazdy	$4,04 \cdot 10^{16}$ m
do środka naszej Galaktyki	$2,2 \cdot 10^{20}$ m
do galaktyki Andromedy	$2,1 \cdot 10^{22}$ m
do granicy obserwowalnego Wszechświata	$\sim 10^{26}$ m

## WZORY MATEMATYCZNE — PATRZ DODATEK E

### ALFABET GRECKI

alfa	A	$\alpha$	iota	I	$\iota$	ro	P	$\rho$
beta	B	$\beta$	kappa	K	$\kappa$	sigma	$\Sigma$	$\sigma$
gamma	$\Gamma$	$\gamma$	lambda	$\Lambda$	$\lambda$	tau	T	$\tau$
delta	$\Delta$	$\delta$	mi	M	$\mu$	ypsilon	$\Upsilon$	$\upsilon$
epsilon	E	$\epsilon$	ni	N	$\nu$	fi	$\Phi$	$\phi, \varphi$
dzeta	Z	$\zeta$	ksi	$\Xi$	$\xi$	chi	X	$\chi$
eta	H	$\eta$	omikron	O	$o$	psi	$\Psi$	$\psi$
theta	$\Theta$	$\theta$	pi	$\Pi$	$\pi$	omega	$\Omega$	$\omega$

**HALLIDAY  
RESNICK • WALKER**

---


**PODSTAWY  
FIZYKI**

**2**

Przekład z języka angielskiego

wydanie 1: **Rafał Bożek, Włodzimierz Komar, Mirosław Łukaszewski**

wydanie 2: **Rafał Bożek, Mirosław Łukaszewski**

A blue-tinted photograph of a roller coaster track forming a large loop. The coaster cars are filled with people, and the track is supported by a white metal structure. The background is a light blue gradient.

David  
**HALLIDAY**  
Robert **RESNICK** • **WALKER** Jearl

# PODSTAWY FIZYKI

2

WYDANIE 2

 PWN

Dane oryginału

*Fundamentals of Physics Extended*, 10th edition, by Jearl Walker, David Halliday, Robert Resnick

Copyright © 2014, 2011, 2008, 2005 John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. This translation under licence with the original publisher John Wiley & Sons, Inc.

Projekt okładki i stron tytułowych **Przemysław Spiechowski**

Ilustracja na okładce **jabiru/Depositphotos**

Przekład z języka angielskiego: wydanie 1: **Rafał Bożek** (rozdz. 19–21)

**Włodzimierz Komar** (rozdz. 16–18)

**Mirosław Łukaszewski** (rozdz. 13–15)

wydanie 2: **Rafał Bożek** (rozdz. 18–20)

**Mirosław Łukaszewski** (rozdz. 12–17)

Wydawca **Izabela Ewa Mika**

Redaktor prowadzący **Irena Puchalska**

Redaktor merytoryczny **Anna Bogdanienko** (rozdz. 12)

**Ewa Charitonow** (rozdz. 13–20)

Produkcja **Mariola Grzywacka**

Łamanie **FixPoint, Warszawa**

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość 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. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo.

Więcej na [www.legalnakultura.pl](http://www.legalnakultura.pl)

*Polska Izba Książki*

Copyright © for the Polish edition by Wydawnictwo Naukowe PWN SA

Warszawa 2003, 2015

ISBN 978-83-01-18122-2 tom 2

ISBN 978-83-01-18123-9 tomy 1–5

Wydanie drugie

Wydawnictwo Naukowe PWN SA

02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2

infolinia 801 33 33 88

tel. 22 69 54 321, faks 22 69 54 288

e-mail: [pwn@pwn.com.pl](mailto:pwn@pwn.com.pl), [www.pwn.pl](http://www.pwn.pl)

Druk i oprawa: Drukarnia Art-Druk, Kobyłka

# S P I S T R E Ś C I

## TOM 1

1. Pomiar
2. Ruch prostoliniowy
3. Wektory
4. Ruch w dwóch i trzech wymiarach
5. Siła i ruch I
6. Siła i ruch II
7. Energia kinetyczna i praca
8. Energia potencjalna i zachowanie energii
9. Środek masy i pęd
10. Obroty
11. Toczenie się ciał, moment siły i moment pędu

## TOM 2

12. Równowaga i sprężystość
13. Grawitacja
14. Płyny
15. Drgania
16. Fale I
17. Fale II
18. Temperatura, ciepło i pierwsza zasada termodynamiki
19. Kinetyczna teoria gazów
20. Entropia i druga zasada termodynamiki

## TOM 3

21. Prawo Coulomba
22. Pole elektryczne

23. Prawo Gaussa
24. Potencjał elektryczny
25. Pojemność elektryczna
26. Prąd elektryczny i opór elektryczny
27. Obwody elektryczne
28. Pole magnetyczne
29. Pole magnetyczne wywołane przepływem prądu
30. Zjawisko indukcji i indukcyjność
31. Drgania elektromagnetyczne i prąd zmienny
32. Równanie Maxwella: magnetyzm materii

## TOM 4

33. Fale elektromagnetyczne
34. Obrazy
35. Interferencja
36. Dyfrakcja
37. Teoria względności

## TOM 5

38. Fotony i fale materii
39. Jeszcze o falach materii
40. Wszystko o atomach
41. Przewodnictwo elektryczne ciał stałych
42. Fizyka jądrowa
43. Energia jądrowa
44. Kwarki, leptony i Wielki Wybuch

## Dodatki





# S P I S T R E Ś C I

Od Wydawcy do drugiego wydania polskiego xi

Przedmowa xiii

Podziękowania xxi

## 12. Równowaga i sprężystość 1

### 12.1. Równowaga 1

- O fizyce 1
- Równowaga 2
- Warunki równowagi 3
- Środek ciężkości 5

### 12.2. Kilka przykładów równowagi statycznej 7

- Kilka przykładów równowagi statycznej 7

### 12.3. Sprężystość 14

- Układy nieoznaczone 15
- Sprężystość 16
- Podsumowanie 20 Pytania 21 Zadania 23

## 13. Grawitacja 36

### 13.1. Prawo powszechnego ciążenia 36

- O fizyce 36
- Prawo powszechnego ciążenia 37

### 13.2. Grawitacja a zasada superpozycji 39

- Grawitacja a zasada superpozycji 40

### 13.3. Grawitacja w pobliżu powierzchni Ziemi 43

- Grawitacja w pobliżu powierzchni Ziemi 43

### 13.4. Grawitacja wewnątrz Ziemi 47

- Grawitacja wewnątrz Ziemi 47

### 13.5. Grawitacyjna energia potencjalna 49

- Grawitacyjna energia potencjalna 50

### 13.6. Planety i satelity: prawa Keplera 55

- Planety i satelity: prawa Keplera 55

### 13.7. Satelity: orbity i energia 58

- Satelity: orbity i energia 59

### 13.8. Grawitacja według Einsteina 62

- Grawitacja według Einsteina 62
- Podsumowanie 65 Pytania 66 Zadania 68

## 14. Płyny 78

### 14.1. Płyny, gęstość i ciśnienie 78

- O fizyce 78
- Co to jest płyn? 79
- Gęstość i ciśnienie 79

### 14.2. Płyny w spoczynku 81

- Płyny w spoczynku 82

### 14.3. Jak się mierzy ciśnienie? 86

- Jak się mierzy ciśnienie? 86

### 14.4. Prawo Pascala 87

- Prawo Pascala 88

### 14.5. Prawo Archimedesesa 90

- Prawo Archimedesesa 90

### 14.6. Równanie ciągłości 94

- Ruch płynów doskonałych 95
- Równanie ciągłości 96

### 14.7. Równanie Bernoulliego 99

- Równanie Bernoulliego 99
- Podsumowanie 103 Pytania 104 Zadania 105

## 15. Drgania 116

### 15.1. Ruch harmoniczny 116

- O fizyce 117
- Ruch harmoniczny 118
- Siła w ruchu harmonicznym 123

## VIII SPIS TREŚCI

### 15.2. Energia w ruchu harmonicznym 127

Energia w ruchu harmonicznym 127

### 15.3. Wahadło torsyjne 129

Wahadło torsyjne 129

### 15.4. Wahadła, ruch po okręgu 131

Wahadła 131

Ruch harmoniczny a ruch jednostajny po okręgu 135

### 15.5. Ruch harmoniczny tłumiony 137

Ruch harmoniczny tłumiony 138

### 15.6. Drgania wymuszone i rezonans 140

Drgania wymuszone i rezonans 140

Podsumowanie 142 Pytania 143 Zadania 145

## 16. Fale I 156

### 16.1. Fale poprzeczne 156

O fizyce 157

Rodzaje fal 157

Fale poprzeczne i podłużne 157

Długość fali i częstotliwość 159

Prędkość fali biegnącej 162

### 16.2. Prędkość fali w napiętej linie 165

Prędkość fali w napiętej linie 165

### 16.3. Energia i moc fali biegnącej w linie 168

Energia i moc fali biegnącej w linie 168

### 16.4. Równanie falowe 170

Równanie falowe 171

### 16.5. Interferencja fal 173

Zasada superpozycji fal 173

Interferencja fal 174

### 16.6. Wskazy 178

Wskazy 178

### 16.7. Fale stojące i rezonans 181

Fale stojące 182

Fale stojące i rezonans 184

Podsumowanie 188 Pytania 189 Zadania 190

## 17. Fale II 200

### 17.1. Prędkość dźwięku 200

O fizyce 200

Fale dźwiękowe 201

Prędkość dźwięku 201

### 17.2. Biegące fale dźwiękowe 204

Biegące fale dźwiękowe 204

### 17.3. Interferencja 208

Interferencja 208

### 17.4. Natężenie i głośność dźwięku 211

Natężenie i głośność dźwięku 212

### 17.5. Źródła dźwięków w muzyce 216

Źródła dźwięków w muzyce 216

### 17.6. Dudnienia 221

Dudnienia 221

### 17.7. Zjawisko Dopplera 223

Zjawisko Dopplera 224

### 17.8. Prędkości naddźwiękowe, fale uderzeniowe 229

Prędkości naddźwiękowe, fale uderzeniowe 229

Podsumowanie 230 Pytania 231 Zadania 232

## 18. Temperatura, ciepło i pierwsza zasada termodynamiki 244

### 18.1. Temperatura 244

O fizyce 244

Temperatura 245

Zerowa zasada termodynamiki 245

Pomiary temperatury 247

### 18.2. Skale Celsjusza i Fahrenheita 249

Skale Celsjusza i Fahrenheita 249

### 18.3. Rozszerzalność cieplna 251

Rozszerzalność cieplna 251

### 18.4. Pochłanianie ciepła 254

Temperatura i ciepło 255

Pochłanianie ciepła przez ciała stałe i ciecze 256

### 18.5. Pierwsza zasada termodynamiki 261

Bliższe spojrzenie na ciepło i pracę 262

Pierwsza zasada termodynamiki 265

Niektóre szczególne przypadki pierwszej zasady termodynamiki 266

### 18.6. Mechanizmy przekazywania ciepła 269

Mechanizmy przekazywania ciepła 270

Podsumowanie 275 Pytania 276 Zadania 278

## 19. Kinetyczna teoria gazów 288

### 19.1. Liczba Avogadra 288

O fizyce 288

Liczba Avogadra 289

### 19.2. Gazy doskonałe 290

Gazy doskonałe 290

### 19.3. Ciśnienie, temperatura i prędkość średnia kwadratowa 294

Ciśnienie, temperatura i prędkość średnia kwadratowa 295

### 19.4. Energia kinetyczna ruchu postępowego 297

Energia kinetyczna ruchu postępowego 298

### 19.5. Średnia droga swobodna 298

Średnia droga swobodna 299

### 19.6. Rozkład prędkości cząsteczek 301

Rozkład prędkości cząsteczek 302

### 19.7. Molowe ciepła właściwe gazu doskonałego 306

Molowe ciepła właściwe gazu doskonałego 307

### 19.8. Stopnie swobody a molowe ciepła właściwe 312

Stopnie swobody a molowe ciepła właściwe 313

Nieco fizyki kwantowej 315

### 19.9. Rozprężanie adiabatyczne gazu doskonałego 316

Rozprężanie adiabatyczne gazu doskonałego 317

Podsumowanie 322 Pytania 323 Zadania 324

## 20. Entropia i druga zasada termodynamiki 332

### 20.1. Entropia 332

O fizyce 333

Procesy nieodwracalne i entropia 333

Zmiana entropii 334

Druga zasada termodynamiki 339

### 20.2. Entropia w świecie rzeczywistym: silniki 341

Entropia w świecie rzeczywistym: silniki 342

### 20.3. Chłodziarki i silniki rzeczywiste 348

Entropia w świecie rzeczywistym: chłodziarki 349

Sprawność silników rzeczywistych 351

### 20.4. Statystyczne spojrzenie na entropię 352

Statystyczne spojrzenie na entropię 353

Podsumowanie 357 Pytania 358 Zadania 359

## Dodatki 367

A. Międzynarodowy Układ Jednostek (SI) 367

B. Niektóre podstawowe stałe fizyczne 369

C. Niektóre dane astronomiczne 371

D. Współczynniki zamiany jednostek 373

E. Wzory matematyczne 377

F. Właściwości pierwiastków 380

G. Układ okresowy pierwiastków 383

## Autorzy zdjęć 384

## Odpowiedzi 385

## Skorowidz 389



## OD WYDAWCY DO DRUGIEGO WYDANIA POLSKIEGO

Od czasu gdy do rąk polskich Czytelników trafiło I wydanie *Podstaw fizyki*, będące tłumaczeniem VI wydania oryginalnego, na rynku amerykańskim ukazały się trzy kolejne wydania tego znakomitego podręcznika. Obecne, II wydanie polskie jest tłumaczeniem **X wydania oryginalnego**.

W książce poczyniono pewne zmiany. Podzielono na nowo rozdziały, tak by podrozdziały dotyczyły jednego podstawowego pojęcia. Na początku każdego z nich dodano listę celów nauczania, a po nich informacje o podstawowych faktach, które należy przyswoić. Dodatkowo znacznie zmodyfikowano rozdziały o prawie Gaussa i potencjale elektrycznym, które sprawiały studentom najwięcej trudności. W rozdziałach dotyczących fizyki kwantowej rozszerzono natomiast omówienie równania Schrödingera. Oddzielono również opis modelu atomu Bohra od rozwiązania równania Schrödingera dla atomu wodoru. Dodano także podrozdział o promieniowaniu ciała doskonale czarnego i prawie Plancka.

Cenne uzupełnienie stanowi 16 nowych przykładów napisanych z myślą o dokładniejszym wyjaśnieniu fragmentów wykładu oraz 250 nowych zadań domowych i 50 pytań.

Dodatkowo wydawca oryginału na swojej platformie WileyPLUS udostępni czytelnikom dynamiczne centrum kształcenia (strony <https://www.wileyplus.com/WileyCDA/> oraz <http://www.webassign.net/index.html>). Opis jego zawartości znajduje się w Przedmowie. Studenci uczelni w USA otrzymują dostęp do materiałów po wykonaniu trzech kroków: zalogowaniu się, podaniu kodu (który otrzymali wraz zakupionym podręcznikiem lub który zakupili osobno) i podaniu URL, który uzyskali od wykładowcy.

Polscy czytelnicy mogą uzyskać dostęp do części tych udogodnień ze strony\*:

<http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118230728.html>

Natomiast strona

<http://bcs.wiley.com/he-bcs/Books?action=index&bcsId=1074&itemId=0471320005>

zawiera podobne zasoby dla szóstego wydania amerykańskiego.

---

\*Stan na 27 lutego 2015 r. Po kliknięciu *Visit Companion Site* (w polu *Students Resources*) otwiera się strona *Students Companion Site*. Po wybraniu *Browse by Resource* jest wyświetlana lista obejmująca: symulacje (*Concept Simulations*), eseje Jearla Walkera (*Jearl Walker Essays*), instrukcje użycia kalkulatorów (*Programmable Calculator Instructions*) oraz interaktywne rozwiązania zadań (*Interactive Learning Ware*).