

A roller coaster with red cars and white tracks is shown in a vertical loop against a clear blue sky. The cars are filled with people, and the track is supported by a white lattice structure.

**HALLIDAY  
RESNICK • WALKER**

**PODSTAWY  
FIZYKI**

**4**

## 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 oddległej 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**

**4**

Przekład z języka angielskiego

wydanie 1: **Jerzy Prochorow, Rafał Bożek**

wydanie 2: **Rafał Bożek**

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

4

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: **Jerzy Prochorow** (rozdz. 34–37)

**Rafał Bożek** (rozdz. 38)

wydanie 2: **Rafał Bożek**

Wydawca **Izabela Ewa Mika**

Redaktor prowadzący **Irena Puchalska**

Redaktor merytoryczny **Anna Bogdanienko**

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 978-83-01-18125-3 tom 4

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. Równania 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, leptoni i Wielki Wybuch

## Dodatki





# S P I S T R E Ś C I

Od Wydawcy do drugiego wydania polskiego ix

Przedmowa xi

Podziękowania xix

## 33. Fale elektromagnetyczne 1

### 33.1. Fale elektromagnetyczne 1

O fizyce 1

Tęcza Maxwella 2

Rozchodzenie się fali elektromagnetycznej. Opis jakościowy 3

Rozchodzenie się fali elektromagnetycznej. Opis ilościowy 8

### 33.2. Przepływ energii i wektor Poyntinga 11

Przepływ energii i wektor Poyntinga 11

### 33.3. Ciśnienie promieniowania 15

Ciśnienie promieniowanie 15

### 33.4. Polaryzacja 17

Polaryzacja 18

### 33.5. Odbicie i załamanie 23

Odbicie i załamanie 24

Rozszczepienie światła 26

### 33.6. Całkowite wewnętrzne odbicie 31

Całkowite wewnętrzne odbicie 31

### 33.7. Polaryzacja przy odbiciu 32

Polaryzacja przy odbiciu 33

Podsumowanie 34 Pytania 35 Zadania 37

## 34. Obrazy 49

### 34.1. Obrazy i zwierciadła płaskie 49

O fizyce 49

Dwa rodzaje obrazów 50

Zwierciadła płaskie 51

### 34.2. Zwierciadła sferyczne 54

Zwierciadła sferyczne 55

Obrazy wytwarzane przez zwierciadła sferyczne 57

### 34.3. Sferyczne powierzchnie załamujące 62

Sferyczne powierzchnie załamujące 62

### 34.4. Soczewki cienkie 65

Soczewki cienkie 66

### 34.5. Przyrządy optyczne 75

Przyrządy optyczne 75

### 34.6. Trzy wyprowadzenia 80

Podsumowanie 83 Pytania 84 Zadania 85

## 35. Interferencja 97

### 35.1. Światło jako fala 97

O fizyce 97

Światło jako fala 98

### 35.2. Doświadczenie interferencyjne Younga 104

Dyfrakcja 105

Doświadczenie Younga 106

### 35.3. Natężenie światła w obrazie interferencyjnym 112

Spójność 112

Natężenie światła w obrazie interferencyjnym 113

### 35.4. Interferencja w cienkich warstwach 117

Interferencja w cienkiej warstwie 118

### 35.5. Interferometr Michelsona 127

Interferometr Michelsona 127

Podsumowanie 128 Pytania 129 Zadania 131

## 36. Dyfrakcja 141

### 36.1. Dyfrakcja na pojedynczej szczelinie 141

O fizyce 141

Dyfrakcja i falowa teoria światła 142

Dyfrakcja na pojedynczej szczelinie: położenia minimów 143

- 36.2. Natężenie światła w obrazie dyfrakcyjnym pojedynczej szczeliny** 147  
Natężenie światła w obrazie dyfrakcyjnym pojedynczej szczeliny. Opis jakościowy. 148  
Natężenie światła w obrazie dyfrakcyjnym pojedynczej szczeliny. Opis ilościowy 150
- 36.3. Dyfrakcja na otworze kołowym** 153  
Dyfrakcja na otworze kołowym 154
- 36.4. Dyfrakcja na dwóch szczelinach** 158  
Dyfrakcja na dwóch szczelinach 158
- 36.5. Siatki dyfrakcyjne** 162  
Siatki dyfrakcyjne 163
- 36.6. Siatki dyfrakcyjne: dyspersja i zdolność rozdzielcza** 167  
Siatki dyfrakcyjne: Dyspersja i zdolność rozdzielcza 167
- 36.7. Dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego** 170  
Dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego 171  
Podsumowanie 174 Pytania 175 Zadania 176

## **37. Teoria względności** 187

- 37.1. Równoczesność i dylatacja czasu** 187  
O fizyce 187  
Postulaty 189  
Jak „mierzyć” zdarzenie 190  
Względność równoczesności 192  
Względność czasu 193
- 37.2. Względność długości** 199  
Względność długości 200
- 37.3. Transformacja Lorentza** 204

- Transformacja Lorentza 204  
Kilka wniosków z transformacji Lorentza 207  
Skrócenie długości 208

- 37.4. Względność prędkości** 210  
Względność prędkości 210
- 37.5. Zjawisko Dopplera dla światła** 211  
Zjawisko Dopplera dla światła 211
- 37.6. Pęd i energia** 215  
Nowe spojrzenie na pęd 215  
Nowe spojrzenie na energię 216  
Podsumowanie 222 Pytania 223 Zadania 225

## **Dodatki** 235

- A. Międzynarodowy Układ Jednostek (SI)** 235
- B. Niektóre podstawowe stałe fizyczne** 237
- C. Niektóre dane astronomiczne** 239
- D. Współczynniki zamiany jednostek** 241
- E. Wzory matematyczne** 245
- F. Właściwości pierwiastków** 248
- G. Układ okresowy pierwiastków** 251

## **Autorzy zdjęć** 252

## **Odpowiedzi** 253

## **Skorowidz** 256

## 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 informację o podstawowych faktach, które należy przyswoić. Dodatkowo znacznie zmodyfikowano rozdziały o prawie Gaussa i potencjale elektrycznym, które sprawiały studentom największą trudność. 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 udostępnia 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](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*).



# P R Z E D M O W A

## DLACZEGO NAPISAŁEM TĘ KSIĄŻKĘ

Fizyka to wielkie wyzwanie, ale również świetna zabawa. Uprzytomniłem to sobie w pełni w dniu, gdy Sharon, jedna w moich studentek, zapytała mnie nagle: „A czy cokolwiek z tego wszystkiego ma jakiś związek z moim codziennym życiem?”. Oczywiście natychmiast odpowiedziałem: „Sharon, to wszystko ma związek z twoim codziennym życiem — taka już jest fizyka”.

Poprosiła, bym wyjaśnił jej to na jakimś przykładzie. Myślałem i myślałem, i żaden dobry przykład nie przychodził mi do głowy. Wieczorem tego dnia zacząłem pisać książkę *The Flying Circus of Physics* (*Latający cyrk fizyki*, John Wiley & Sons Inc., 1975), głównie dla Sharon, ale i dla siebie, gdyż zdałem sobie sprawę, że czuję to samo, co ona. Przez sześć lat szukałem najbardziej mi odpowiadającego podręcznika fizyki. Testowałem ich dziesiątki, były dobrze napisane i oparte na najlepszych koncepcjach dydaktycznych, lecz czegoś mi w nich brakowało. Fizyka to najciekawszy na świecie przedmiot, gdyż mówi o tym, jak świat naprawdę działa. Tymczasem większość podręczników fizyki jest niemal całkiem pozbawiona informacji o związkach fizyki z otaczającym nas światem. Cała przyjemność studiowania fizyki gdzieś więc umyka.

W *Podstawach fizyki* zawarłem wiele fizyki związanej ze światem wokół nas, a także powiązałem ten podręcznik z nowym wydaniem *Latającego cyrku fizyki*. Materiał czerpałem w większości z treści moich zajęć z podstaw fizyki, podczas których mogę najlepiej poznać po wyrazie twarzy i szczerych uwagach studentów, które tematy i sposoby ich przedstawienia trafiają do słuchaczy, a które nie. Zapisywałem przypadki, w których odniosłem sukcesy, i te, w których poniosłem porażki, co mi potem pomogło zdecydować, co umieścić w tej książce. Od dość już odległego czasu, gdy spotkałem Sharon, mówię wszystkim studentom wciąż to samo: „Tak, wychodząc od podstawowych pojęć fizyki, możesz naprawdę dojść na drodze rozumowania aż do wniosków dotyczących świata, z którym stykasz się na co dzień, a dopiero zrozumienie, jak działa świat wokół nas, to prawdziwa przyjemność, jakiej dostarcza nam fizyka”.

Pisząc tę książkę, miałem wiele celów, a najważniejszym z nich było danie wykładowcom narzędzi do nauczania studentów, jak skutecznie czytać tekst podręcznika, identyfikować podstawowe pojęcia, rozumować, zadając istotne pytania, i wreszcie rozwiązywać zagadnienia ilościowe. To nie jest proces łatwy ani dla studentów, ani dla wykładowców. Zajęcia, których podstawą będzie ta książka, mogą się okazać najtrudniejsze z odbywanych przez studenta. Mogą być też jednak najbardziej pożyteczne, gdyż dotyczą podstawowych metod poznania, jak działa świat, z których korzystają wszystkie inne nauki przyrodnicze i dziedziny techniki.

