

HENRYK SZYDŁOWSKI

# POMIARY FIZYCZNE

Podręcznik dla nauczycieli

WARSZAWA 1977  
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

Tytuł dotowany przez Ministerstwo Nauki,  
Szkolnictwa Wyższego i Techniki

Okładkę projektował: *Andrzej Pilich*

Redaktor: *Magdalena Gajewska*

Redaktor techniczny: *Aleksandra Korsakowa*

Korektorzy: *Ewa Dąbrowska, Wacława Klim*

Copyright 1977

By Państwowe Wydawnictwo Naukowe

Printed In Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE – WARSZAWA 1977

Wydanie I. Nakład 9750 + 250 egz. Arkuszy wydawniczych 32,50. Arkuszy drukarskich 26,5. Papier druk. sat. kl. V, 65 g, 70 x 100 cm. Oddano do składania w listopadzie 1976. Podpisano do druku w sierpniu 1977. F-31. Druk ukończono w sierpniu 1977. Zamówienie nr 1621/76. Cena zł. 71.—

DRUKARNIA im. REWOLUCJI PAŹDZIERNIKOWEJ WARSZAWA

## SPIS RZECZY

<b>Przedmowa</b> .....	11
<b>Część I. Pomiary i ich dokładność</b> .....	13
1. Pomiary fizyczne .....	13
2. Wielości fizyczne .....	17
2.1. Jednostki fizyczne .....	17
2.2. Wielości wektorowe i skalarne .....	23
3. Niepewności pomiarowe i błędy systematyczne pomiarów bezpośrednich .....	28
3.1. Niepewności systematyczne .....	28
3.2. Błędy systematyczne .....	35
4. Niepewności systematyczne pomiarów pośrednich .....	37
4.1. Elementarne metody obliczania niepewności .....	37
4.2. Różniczkowe metody obliczania niepewności pomiarów pośrednich .....	44
5. Wyniki pomiarów .....	50
5.1. Zaokrąglanie wyników .....	50
5.2. Porównywanie wyników .....	54
6. Niepewności przypadkowe .....	57
6.1. Statystyczny rozrzut wyników; zasady pomiarów bezpośrednich .....	57
6.2. Średnia arytmetyczna i odchylenie standardowe pomiarów bezpośrednich .....	61
6.3. Obliczanie średniej i odchylenia standardowego pomiarów pośrednich .....	68
7. Graficzne metody przedstawiania danych .....	71
7.1. Wykreślanie .....	71
7.2. Odczytywanie wartości z wykresu i wyznaczanie nachylenia .....	76
<b>Część II. Bezpośrednie pomiary wielkości mechanicznych</b> .....	80
8. Bezpośrednie pomiary długości .....	80
8.1. Pomiar długości z dokładnością 1 mm .....	80
8.2. Pomiar długości za pomocą suwmiarki .....	85
8.3. Pomiar długości za pomocą mikromierza .....	88
8.4. Inne przyrządy do bezpośrednich pomiarów długości .....	90
9. Bezpośrednie pomiary masy, ciężaru i gęstości .....	93
9.1. Konstrukcja wagi i odważników .....	93
9.2. Ważenie z dokładnością do 0,1 g .....	94
9.3. Dokładne ważenie metodą interpolacji .....	99
9.4. Wążenie za pomocą wag innych typów .....	102
9.5. Konstrukcja areometru .....	106

10. Bezpośrednie pomiary czasu .....	108
10.1. Budowa i działanie zegarów .....	108
10.2. Pomiar okresu .....	111
10.3. Pomiar czasu trwania zjawisk powtarzalnych .....	114
10.4. Pomiar częstości .....	115
11. Bezpośrednie pomiary siły .....	117
11.1. Dynamometry .....	117
11.2. Wzorcowanie dynamometru .....	120
11.3. Dodawanie sił .....	121
11.4. Dodawanie sił równoległych .....	123
<b>Część III. Pośrednie pomiary wielkości mechanicznych .....</b>	<b>126</b>
12. Pomiary gęstości ciał stałych i cieczy .....	126
12.1. Wyznaczanie gęstości z pomiarów masy i objętości .....	126
12.2. Wyznaczanie gęstości za pomocą wagi hydrostatycznej .....	127
12.3. Wyznaczanie gęstości cieczy za pomocą naczyń połączonych .....	129
12.4. Wyznaczanie gęstości cieczy za pomocą wagi Mohra .....	132
12.5. Wyznaczanie gęstości za pomocą piknometru .....	135
13. Kinematyka .....	137
13.1. Proste metody pomiaru przyspieszenia ziemskiego .....	137
13.2. Wyznaczanie czasu spadania kulki za pomocą wahadła .....	139
13.3. Badanie ruchu jednostajnie przyspieszonego .....	140
13.4. Badanie ruchu przyspieszonego za pomocą rynny .....	144
14. Dynamika .....	145
14.1. Wyznaczanie współczynnika tarcia .....	145
14.2. Wyznaczanie współczynnika tarcia za pomocą równi pochyłej .....	147
14.3. Sprawdzenie trzeciej zasady dynamiki Newtona .....	148
14.4. Badanie zderzeń niesprężystych .....	150
14.5. Sprawdzenie zasady zachowania pędu .....	152
15. Własności sprężyste ciał .....	155
15.1. Własności sprężyste gumy .....	155
15.2. Pomiar wydłużenia drutu .....	159
15.3. Wyznaczanie modułu Younga drutu .....	162
15.4. Inne metody pomiaru modułu Younga .....	164
16. Ruch drgający, moment bezwładności .....	166
16.1. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła matematycznego ...	166
16.2. Wyznaczanie momentu bezwładności wahadła fizycznego .....	167
16.3. Wyznaczanie momentu bezwładności metodą drgań torsyjnych .....	169

16.4. Sprawdzenie twierdzenia o momentach bezwładności za pomocą wahadła balansowego .....	172
16.5. Badanie rezonansu mechanicznego.....	175
17. Akustyka .....	178
17.1. Wyznaczanie granic słyszalności .....	178
17.2. Wyznaczanie prędkości dźwięku za pomocą rezonansu akustycznego .....	179
17.3. Wyznaczanie prędkości dźwięku za pomocą rury Kundta .....	181
17.4. Wyznaczanie częstości drgań kamertonu metodą dudnień .....	184
 <b>Część IV. Pomiary dotyczące ciepła, zachowania energii, statyki gazów i fizyki cząsteczkowej</b> .....	
18. Termometria .....	186
18.1. Bezpośredni pomiar temperatury za pomocą termometru cieczowego .....	186
18.2. Inne metody bezpośrednich pomiarów temperatury .....	189
18.3. Wzorcowanie termoogniwa .....	192
18.4. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności liniowej ciał stałych .....	192
18.5. Wyznaczanie współczynnika rozprężliwości termicznej powietrza .....	195
18.6. Pomiar temperatury za pomocą termometru gazowego .....	196
19. Kalorymetria .....	198
19.1. Zasady kalorymetrii .....	198
19.2. Wyznaczanie pojemności cieplnej kalorymetru .....	200
19.3. Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych .....	202
19.4. Wyznaczanie ciepła topnienia lodu .....	203
19.5. Wyznaczanie ciepła parowania wody .....	205
20. Zasada zachowania energii .....	207
20.1. Wyznaczanie mechanicznego równoważnika ciepła za pomocą termoergometru ..	207
20.2. Wyznaczanie mechanicznego równoważnika ciepła za pomocą śrutu ołowiowego	209
20.3. Wyznaczanie ciepła spalania -alkoholu metylowego .....	211
20.4. Wyznaczanie ciepła Joule'a .....	212
20.5. Wyznaczanie ciepła parowania metodą elektryczną .....	213
20.6. Wyznaczanie własnej mocy użytecznej .....	215
21. Statyka gazów .....	216
21.1. Pomiar ciśnienia manometrem cieczowym .....	216
21.2. Pomiar ciśnienia płuc .....	220
21.3. Pomiar ciśnienia gazu rozrzedzonego .....	221
21.4. Doświadczenie Boyle'a_Mariotte'a .....	223
21.5. Sprawdzenie prawa Archimedesesa dla gazów .....	225
22. Własności powietrza .....	226
22.1. Pomiar ciśnienia atmosferycznego .....	226

22.2. Wyznaczanie gęstości powietrza metodą rozrzedzenia .....	229
22.3. Wyznaczanie wilgotności powietrza za pomocą higrometru kondensacyjnego .....	230
22.4. Pomiar wilgotności powietrza psychrometrem .....	232
23. Fizyka cząsteczkowa .....	235
23.1. Badanie ruchów Browna .....	235
23.2. Wymiary i średnia droga swobodna cząsteczek azotu .....	237
23.3. Wymiary i średnia droga swobodna cząsteczek dwutlenku węgla .....	242
23.4. Wymiary i średnia droga swobodna cząsteczek wody .....	242
23.5. Wyznaczanie współczynnika lepkości metodą Stokesa .....	243
23.6. Wyznaczanie współczynnika napięcia' powierzchniowego za pomocą kapilar .....	247
<b>Część V. Pomiary w obwodach prądu stałego i badanie własności elektrycznych</b>	
<b>materii</b> .....	249
24. Najprostsze obwody elektryczne .....	249
24.1. Podstawowe narzędzia pomiarowe stosowane w elektryczności .....	249
24.2. Potencjometr .....	258
24.3. Wyznaczanie oporu właściwego .....	262
24.4. Sprawdzanie praw Kirchhoffa .....	254
24.5. Pomiar oporu wewnętrznego i siły elektromotorycznej ogniwa Leclanchégo .....	268
24.6. Badanie zależności napięcia źródła od czerpanego prądu .....	269
25. Bezpośrednie pomiary wielkości elektrycznych .....	272
25.1. Mierniki elektryczne .....	272
25.2. Pomiar prądu za pomocą amperomierza .....	277
25.3. Pomiar napięcia za pomocą woltomierza .....	280
25.4. Pomiar oporu elektrycznego za pomocą omomierza .....	284
25.5. Pomiar oporu za pomocą mostka .....	285
25.6. Inne metody bezpośrednich pomiarów wielkości elektrycznych .....	287
26. Wzorcowanie mierników i zastosowanie mostka Wheatstone'a .....	288
26.1. Wzorcowanie amperomierza i rozszerzenie jego zakresu .....	288
26.2. Wzorcowanie woltomierza .....	291
26.3. Wyznaczanie oporu elektrycznego za pomocą mostka Wheatstone'a .....	193
26.4. Wyznaczanie siły elektromotorycznej metodą kompensacji .....	296
27. Elektrostatyka .....	298
27.1. Uwagi o doświadczeniach i przyrządach elektrostatycznych .....	298
27.2. Linie sił pola elektrycznego .....	303
27.3. Wyznaczanie indukcji elektrycznej .....	304
27.4. Wyznaczanie pojemności elektrometru i kondensatora .....	306
27.5. Wyznaczanie stałej dielektrycznej materiału .....	308

28. Przewodnictwo elektryczne i elektrochemia .....	311
28.1. Zależność oporu elektrycznego od temperatury .....	311
28.2. Elektroliza siarczanu miedzi .....	313
28.3. Wyznaczanie elektrochemicznego równoważnika wodoru .....	315
28.4. Ogniwo Volty .....	317
<b>Część VI. Pomiary z dziedziny magnetyzmu prądu przemiennego i elektroniki .....</b>	<b>320</b>
29. Magnetyzm .....	320
29.1. Wytwarzanie pól magnetycznych .....	320
29.2. Wyznaczanie składowej poziomej magnetycznego pola lokalnego .....	322
29.3. Wyznaczanie dipolowego momentu magnetycznego .....	326
29.4. Zastosowanie metody Gaussa do wyznaczania indukcji magnetycznej .....	328
29.5. Wyznaczanie indukcji magnetycznej .....	332
30. Prąd przemienny .....	334
30.1. Zasady bezpieczeństwa pracy z prądem przemiennym .....	334
30.2. Pomiar mocy za pomocą watomierza .....	336
30.3. Wyznaczanie współczynnika indukcji własnej w obwodzie prądu przemiennego .....	338
30.4. Wyznaczanie pojemności kondensatora w obwodzie prądu przemiennego .....	341
30.5. Pomiar przesunięcia fazowego i wyznaczanie współczynnika indukcji własnej lub pojemności za pomocą watomierza .....	342
30.6. Wyznaczanie przekładni i sprawności transformatora .....	344
31. Prądy w gazach i próżni .....	347
31.1. Zasady bezpieczeństwa pracy z prądem stałym .....	347
31.2. Wyznaczanie charakterystyki lampy neonowej .....	348
31.3. Badanie charakterystyki łuku elektrycznego .....	349
31.4. Badanie charakterystyki diody .....	351
31.5. Wyznaczanie charakterystyki triody .....	352
31.6. Wyznaczanie czułości elektrycznej oscyloskopu .....	355
31.7. Wyznaczanie czułości magnetycznej lampy oscyloskopowej .....	357
31.8. Wyznaczanie prędkości termoelektronów .....	359
32. Półprzewodniki i elektronika .....	361
32.1. Badanie charakterystyki diody germanowej .....	361
32.2. Badanie tranzystora .....	362
32.3. Badanie fotoopornika .....	364
32.4. Wyznaczanie przesunięcia fazowego za pomocą oscyloskopu .....	365
32.5. Obserwacja napięć zmiennych za pomocą oscyloskopu .....	369
32.6. Rezonans obwodów drgań .....	370
32.7. Badanie struktury fali elektromagnetycznej .....	372

<b>Część VII. Doświadczenia z optyki</b> .....	375
33. Optyka geometryczna .....	375
33.1. Sprawdzanie praw odbicia i załamania światła .....	375
33.2. Wyznaczanie współczynnika załamania metodą kąta najmniejszego odchylenia ...	278
33.3. Wyznaczanie ogniskowych soczewek z odległości przedmiotu i obrazu .....	381
33.4. Wyznaczanie ogniskowych soczewek metodą Bessela .....	382
33.5. Wyznaczanie współczynnika załamania światła za pomocą mikroskopu .....	384
34. Przyrządy optyczne .....	385
34.1. Wyznaczanie powiększenia lupy .....	385
34.2. Wyznaczanie powiększenia mikroskopu .....	388
34.3. Wyznaczanie natężenia światła za pomocą fotometru .....	392
34.4. Wyznaczanie sprawności świetlnej żarówki .....	394
35. Falowe własności światła .....	397
35.1. Interferencja światła ugiętego na podwójnej szczelinie (doświadczenie Younga) .	397
35.2. Wyznaczanie długości fali światła za pomocą siatki dyfrakcyjnej i rzutnika .....	400
35.3. Najprostsze szacowanie długości fali za pomocą siatki dyfrakcyjnej .....	402
35.4. Badanie dyfrakcji światła laserowego .....	403
35.5. Sprawdzenie prawa Malusa .....	404
<b>Część VIII. Tablice fizyczne</b> .....	407
<b>Skorowidz</b> .....	419

Red. dokumentu: Tadeusz M. Molenda, Instytut Fizyki, Uniwersytet Szczeciński, 2010 r.