

MICHAŁ HALAUNBRENNER

ĆWICZENIA PRAKTYCZNE Z FIZYKI

KURS ŚREDNI

WARSZAWA
WYDAWNICTWA SZKOLNE i PEDAGOGICZNE

Okladka
Stanisław Szczuka

Redaktorzy
Maria Boniecka, Halina Unatowska

Redaktor techniczny
Stefania Rzęcka

Korektorzy
Bogusława Biernacka, Witold Darmetko

Przystosował do układu SI i uzupełnił ćwiczeniami Juliusz Domański
(54, 59, 66, 124, 131, 132, 138, 140, 141, 152, 153, 154, 157, 158, 161, 178,
179, 180, 181, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 204, 205, 206, 207, 208,
209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 248, 249, 250, 252, 253, 254, 258, 259,
260, 261, 262, 263, 267, 269, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 285)

Copyright by
Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne
Warszawa 1952

Książka zatwierdzona do użytku szkolnego

Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1982
Wydanie siódme zmienione i poprawione
Nakład 5000+210 egz. Ark druk. 48,75; wyd. 56,72
Oddano do składania 7.V.1979 r. Podpisano do druku 11.XII.1981 r.
Druk ukończono we wrześniu 1982 r.
Papier druk 70x100 cm, 71 g, kl. V
Zakłady Graficzne WSiP w Bydgoszczy

SPIS TREŚCI

Przedmowa	3
Podstawowe wiadomości o pomiarach fizycznych	5

Rozdział I. Pomiary podstawowe

11

1. Mierzenie długości z dokładnością do 1 mm za pomocą przydziału metrowego	11
2. Ważniejsze błędy popełniane przy mierzeniu długości	14
3. Mierzenie długości z dokładnością do 0,1 mm za pomocą suwmiarki	16
4. Mierzenie długości z dokładnością do 0,01 mm za pomocą mikrometru	19
5. Mierzenie długości z dokładnością do 0,001 mm za pomocą sferometru	21
6. Mierzenie długości linii krzywych	23
7. Mierzenie kątów. Wyznaczanie kierunku pionowego i poziomego	25
8. Wyznaczanie pól i objętości brył o foremnych kształtach geometrycznych	27
9. Mierzenie objętości za pomocą naczyń miarowych	30
10. Mierzenie masy za pomocą wagi	33
11. Mierzenie czasu	39
12. Pomiar częstotliwości szybkich periodycznych procesów mechanicznych za pomocą stroboskopu	42
Układy jednostek podstawowych	44

Rozdział II. Mechanika cz. I

47

§ 1. Statyka ciała sztywnego

13. Statystyczny pomiar siły. Cechowanie wagi sprężynowej. Metody graficzne przedstawiania wyników pomiarów	49
14. Siła jako wielkość wektorowa. Warunki równowagi sił działających na ciało sztywne. Zasada równoległoboku sił	54
15. Wypadkowa sił działających na ciało sztywne wzdłuż prostych wzajemnie równoległych	57
16. Wyznaczanie środka ciężkości ciał stałych	60
17. Moment siły. Prawo momentów	63
18. Dźwignia	65
19. Wyznaczanie gęstości ciał stałych	68
20. Wyznaczanie gęstości wody	69
21. Wyznaczanie gęstości ciał ciekłych i sypkich za pomocą piknometru	70

§ 2. Statyka cieczy (hydrostatyka)

22. Wyznaczanie gęstości względnych cieczy za pomocą naczyń połączonych	72
23. Wyznaczanie gęstości względnych cieczy mieszających się ze sobą	74
24. Prawo Archimedesesa	75
25. Wyznaczanie gęstości względnych ciał stałych na podstawie prawa Archimedesesa	77
26. Wyznaczanie gęstości względnych ciał ciekłych na podstawie prawa Archimedesesa	79
27. Wyznaczanie gęstości względnych ciał stałych za pomocą wazki Jolly'ego	79
28. Pływanie ciał. Sporządzanie areometru	81

§ 3. Statyka gazów (aerostatyka)

29. Barometr, odczytywanie jego stanu i uwzględnianie poprawek	84
30. Sprawdzanie prawa Boyle'a-Mariotte'a za pomocą rurki Meldego	88

31. Sprawdzanie prawa Boyle'a-Mariotte'a za pomocą rurki kształtu litery J.	90
32. Sprawdzanie prawa Boyle'a-Mariotte'a za pomocą naczyń połączonych	91

§ 4. Kinematyka.

33. Ruch prostoliniowy jednostajny. Składanie prędkości	93
34. Wyznaczanie prędkości pocisku	97
35. Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony. Pojęcie przyspieszenia	99
36. Droga w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym	102
37. Badanie ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego za pomocą rynienki ...	104
38. Swobodne spadanie ciał. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego	106
39. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego na podstawie swobodnego spadania ciał	109
40. Badanie swobodnego spadania ciał	111
41. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przez mierzenie czasu spadania za pomocą wahadła	113
42. Składanie ruchów. Rzut poziomy i ukośny	114

§ 5. Dynamika.

43. Dynamiczny pomiar siły	120
44. Trzecia zasada dynamiki	124
45. Właściwości wektorowe sił	126
46. Tarcie. Wyznaczanie współczynnika tarcia kinetycznego	129
47. Tarcie. Wyznaczanie współczynnika tarcia statycznego	132

§ 6. Praca, moc, energia

48. Maszyny proste	136
49. Sprawność maszyn prostych. Kołowrót	140
50. Równia pochyła	144

Rozdział III. Mechanika cz. II

147

§ 7. Ruchy krzywoliniowe. Moment bezwładności.

51. Ruch po okręgu. Siła dośrodkowa	150
52. Ruch obrotowy ciała sztywnego wokół stałej osi. Moment bezwładności	155
53. Wyznaczanie momentu bezwładności krążka osadzonego na osi	157
54. Wyznaczanie momentu bezwładności na podstawie drgań mechanicznych	158
55. Wyznaczanie momentu i ramienia bezwładności walca względem jego osi geometrycznej przez obserwację staczania się walca po równi pochyłej	160

§ 8. Ruch drgający.

56. Ruch drgający ciała zawieszonoego na sprężynie	161
57. Wahadło matematyczne. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego	165
58. Wahadło fizyczne	167
59. Sprawdzanie słuszności twierdzenia Steinera za pomocą wahadła fizycznego	171
60. Wahadło rewersyjne	172
61. Wyznaczanie momentu bezwładności długiego pręta względem osi doń prostopadłej i przechodzącej przez jego koniec oraz sprawdzenie wzoru na okres wahadła fizycznego	173
62. Zasada zachowania pędu. Wahadło balistyczne	174
63. Wahadło balistyczne. Sprawdzenie zasady zachowania pędu	178

64. Drgania słupów cieczy	180
65. Drgania złożone. Figury Lissajous	181
66. Obserwacje krzywych Lissajous za pomocą oscyloskopu	184

§ 9. Właściwości sprężyste ciał stałych.

67. Odształcanie ciał stałych. Badanie wydłużenia i wyznaczanie modułu Younga	186
68. Zginanie prętów	188
69. Skręcenie prętów	190

Rozdział IV. Aerodynamika

70. Badanie oporu powietrza za pomocą karuzeli aerodynamicznej	200
71. Badanie oporu powietrza za pomocą tunelu i wagi aerodynamicznej	203
72. Badanie oporu powietrza za pomocą suszarki elektrycznej	205
73. Wykazanie zależności oporu powietrza od kształtu ciała	206
74. Wykazanie siły aerodynamicznej działającej na ciała poruszające się w powietrzu ...	209
75. Doświadczenia ilustrujące występowanie siły aerodynamicznej	212
76. Działanie śmigła i sterów samolotu	214

Rozdział V. Molekularna budowa ciał

77. Próba wyznaczenia rozmiarów molekuly i obliczenie liczby Avogadra	222
78. Spójność i przyleganie	225
79. Napięcie powierzchniowe cieczy	227
80. Wyznaczanie napięcia powierzchniowego w błonie mydlanej	228
81. Wyznaczanie napięcia powierzchniowego wody za pomocą spadających kropeł	230
82. Wyznaczanie napięcia powierzchniowego wody na podstawie jej wzniesienia w rurkach włoskowatych	231
83. Dyfuzja. Ruchy Browna	233
84. Wyznaczanie współczynnika lepkości cieczy	236
85. Krystaliczna budowa ciał stałych	239
86. Powstawanie kryształów	244

Rozdział VI. Ciepło

§ 10. Termometria

87. Sporządzanie i cehowanie termoskopu	251
88. Sprawdzanie punktów zasadniczych na termometrze rtęciowym	252
89. Porównywanie termometrów	257

§ 11. Rozszerzalność cieplna ciał

90. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności liniowej metali	260
91. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności liniowej w sposób bezpośredni	263
92. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności objętościowej cieczy	265
93. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności objętościowej cieczy na podstawie prawa Archimedesesa	269
94. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności objętościowej wody w określonym zakresie temperatur powyżej +4°C	271

95. Rozszerzalność cieplna wody	272	
96. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności objętościowej powietrza ogrzewanego pod stałym ciśnieniem	274	
97. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności objętościowej powietrza ogrzewanego pod stałym ciśnieniem	276	
98. Wyznaczanie współczynnika rozprężliwości termicznej powietrza ogrzewanego w stałej objętości	277	
 § 12. Kalorymetria i ruch ciepła		
99. Ogrzewanie metodą mieszania z ciałem o wyższej temperaturze	280	
100. Ostygnięcie. Prawo ostygnięcia Newtona	282	
101. Zależność szybkości ostygnięcia od rodzaju powierzchni ciała	284	
102. Kalorymetr wodny. Wyznaczanie ciepła właściwego metali	280	
103. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy	289	
104. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy na podstawie szybkości ostygnięcia	290	
105. Wyznaczanie wysokich temperatur metodą kalorymetryczną	291	
106. Rozkład temperatur w płomieniu palnika Bunsena	293	
107. Przewodzenie ciepła. Wyznaczanie współczynnika cieplnego metali	294	
108. Gotowanie na gazie	296	
 § 13. Zmiany stanu skupienia ciał		
109. Zjawisko topnienia. Wyznaczanie temperatury topnienia naftaliny	297	
110. Wyznaczanie ciepła topnienia lodu	300	
111. Zjawisko wrzenia. Wyznaczanie temperatury wrzenia wody	301	
112. Zależność temperatury wrzenia wody od ciśnienia zewnętrznego	302	
113. Wyznaczanie ciepła parowania wody	305	
114. Wyznaczanie ciśnienia pary nasyconej alkoholu w różnych temperaturach	307	
115. Destylacja wody. Destylacja mieszanin. Frakcjonowanie	309	
116. Higrometria. Wyznaczanie wilgotności powietrza	311	
117. Wyznaczanie gęstości pary eteru metodą Dumasa	301	
118. Roztwory. Krystalizacja	301	
119. Wyznaczanie ciepła rozpuszczania sialmiaku	301	
120. Wyznaczanie ciepła rozpuszczania kwasu siarkowego w wodzie	312	
121. Wyznaczanie masy molekularnej rozpuszczonej w wodzie soli kuchennej na podstawie obniżenia temperatury krzepnięcia roztworu	321	
 Rozdział VII. Ruch falowy		324
122. Pokaz fal. Cechy fali harmonicznej	324	
123. Odbicie i załamanie fal	329	
124. Badanie fal mechanicznych za pomocą falownicy uniwersalnej	334	
125. Dyfrakcja i interferencja fal	336	
126. Fale stojące	339	
 Rozdział VIII. Akustyka		342
127. Wyznaczanie prędkości dźwięku w powietrzu	344	
128. Rura Kundta. Wyznaczanie prędkości rozchodzenia się dźwięku w szkle	347	
129. Wyznaczanie częstotliwości drgań widełek stroikowych	350	
130. Wyznaczanie prędkości dźwięku w powietrzu metodą rezonansu	351	

131. Wyznaczanie prędkości dźwięku metodą składania drgań wzajemnie prostopadłych	353
132. Wyznaczanie prędkości dźwięku w prętach	354
133. Drgania strun	355
134. Wyznaczanie częstotliwości tonu widełek stroikowych przez dostrojenie do niego częstotliwości dźwięku struny	358
135. Piszczalki zamknięte	358

Rozdział IX. Elektryczność i magnetyzm 361

§ 14. Elektrostatyka

136. Prawo Coulomba	363
137. Linie pola elektrostatycznego. Cechowanie elektroskopu	368
138. Wyznaczanie linii równego potencjału	374
139. Pojemność elektryczna. Wyznaczanie stałej dielektrycznej	375
140. Wyznaczanie stałej dielektrycznej metodą wagi elektrostatycznej	380
141. Doświadczenia z generatorem Van de Graaffa	381
142. Ruch ładunków elektrycznych	385

§ 15. Prąd elektryczny

143. Prawo Ohma	390
144. Zależność oporu elektrycznego od długości i przekroju przewodnika. Opór właściwy	392
145. Opór elektryczny przewodników połączonych szeregowo i równolegle	394
146. Spadek potencjału wzdłuż drogi prądu	398
147. Mierzenie oporów metodą podstawiania	399
148. Pomiar oporu elektrycznego mostkiem Wheatstone'a	400
149. Zależność oporu elektrycznego od długości i przekroju przewodnika wyznaczana mostkiem Wheatstone'a	404
150. Wyznaczanie oporu właściwego metali mostkiem Wheatstone'a	404
151. Opór elektryczny przewodników połączonych szeregowo i równolegle, mierzony mostkiem Wheatstone'a	405
152. Wyznaczanie pojemności metodą mostkową	405
153. Wyznaczanie pojemności metodą aperiodycznego rozładowania kondensatora	407
154. Wyznaczanie stałej dielektrycznej metodą mostkową	409
155. Użycie boczników	409
156. Zależność oporu elektrycznego metali czystych od temperatury	411
157. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy	413
158. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy metodą dwóch kalorymetrów	414
159. Wyznaczanie sprawności garnka elektrycznego	414
160. Charakterystyka żarówek	416
161. Wyznaczanie temperatury włókna żarówki (wolframowej)	418
162. Sprawność silnika elektrycznego	420
163. Prądy termoelektryczne	421

§ 16. Elektrochemia

164. Elektroliza. Pierwsze prawo Faradaya. Sprawdzenie wskazań amperomierza za pomocą woltametu miedziowego	423
165. Woltametr tlenowo-wodorowy. Drugie prawa Faradaya	426
166. Woltametr tlenowo-wodorowy. Wyznaczanie elektrochemicznego równoważnika wodoru	429

167. Pomiar oporu właściwego elektrolitów prądem stałym	431
168. Wyznaczanie przewodności właściwej elektrolitów	433
169. Ogniwo Volty. Polaryzacja ogniw. Depolaryzatory	436
170. Pomiar oporu wewnętrznego ogniwa	439
171. Łączenie ogniw	441
172. Pomiar siły elektromotorycznej ogniwa metodą kompensacyjną	443

§ 17. Pole magnetyczne prądu elektrycznego

173. Pole magnetyczne przewodnika prostoliniowego przewodzącego prąd stały	444
174. Siły pola magnetycznego	446
175. Pole magnetyczne w otoczeniu liniowego przewodnika z prądem	449
176. Jaki związek zachodzi między wektorem indukcji magnetycznej pola magnetycznego w środku kołowego przewodnika z prądem a promieniem obwodu, liczbą zwojów i natężeniem prądu	450
177. Pole magnetyczne solenoidu	452
178. Badanie właściwości magnetycznych różnych ciał	455
179. Zdejmowanie pętli histerezy	456
180. Obserwacja pętli histerezy za pomocą oscyloskopu	457
181. Wyznaczanie indukcji magnetycznej	459
182. Siły działające pomiędzy dwoma równoległymi przewodnikami z prądem elektrycznym	460
183. Galwanometry. Wyznaczanie oporu własnego i czułości galwanometru	463
184. Galwanometr zwierciadłowy	469
185. Budowa silnika elektrycznego prądu stałego	470

§ 18. Indukcja elektromagnetyczna

186. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej	473
187. Prądnice. Prąd stały i zmienny	478
188. Doświadczenia z transformatorem	481
189. Pojemność w obwodzie prądu zmiennego	481
190. Indukcja własna w obwodzie prądu zmiennego	493
191. Wyznaczanie współczynnika indukcji własnej	495
192. Wyznaczanie współczynnika indukcji własnej metodą mostkową	496
193. Przesunięcia fazowe w obwodach RLC prądu zmiennego	497
194. Rezonans napięć i prądów	499
195. Krzywa rezonansu. Wyznaczanie indukcyjności zwojnicy	500
196. Wyznaczanie względnej przenikalności magnetycznej	501
197. Zależność przesunięcia fazowego od obciążenia transformatora	503

Rozdział X. Drgania i fale elektromagnetyczne

198. Właściwości fal elektromagnetycznych	514
199. Dipol iskrowy jako obwód drgający otwarty. Właściwości fal elektromagnetycznych	515
200. Radioodbiorniki kryształkowe	520

§ 19. Lampa elektronowa

201. Charakterystyka i niektóre zastosowania lampy elektronowej dwuelektrodowej, czyli diody	523
----------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

202. Lampa elektronowa trójelektrodowa (triada). Charakterystyki statyczne i stałe triody	525
203. Wyznaczanie prędkości maksymalnej termoelektronów	530
204. Trioda jako wzmacniacz małej częstotliwości	531
205. Trioda jako detektor i wzmacniacz. Budowa audionu	534
206. Rozładowanie kondensatora. Drgania gasnące	535
207. Trioda jako generator drgań niegasnących o częstotliwości akustycznej	537
208. Generator drgań wielkiej częstotliwości i niektóre właściwości fal elektromagnetycznych	538
209. Wykorzystanie fal elektromagnetycznych do przekazywania informacji. Nadajnik i odbiornik fal modulowanych	543
210. Prędkość fal elektromagnetycznych w dielektryku	534

§ 20. Mikrofałe

211. Odbicie i załamanie mikrofal	547
212. Dyfrakcja i interferencja fal elektromagnetycznych	550
213. Polaryzacja fal elektromagnetycznych	552
214. Skręcenie płaszczyzny polaryzacji	552
215. Wyznaczenie współczynnika załamania i względnej stałej dielektrycznej cieczy	553

Rozdział XI. Optyka

§ 21. Fotometria

216. Fotometr cieniowy	559
217. Fotometr Bouguera-Ritchiego	562
218. Fotometr Bunsena	563
219. Fotometr Lummera-Brodhuna	564
220. Pomiar rozkładu światła w zależności od kierunku emisji światłości	565
221. Badanie przejrzystości ciał	566
222. Wielkości i jednostki fotometryczne	567

§ 22. Optyka geometryczna

223. Odbicie światła	567
224. Pomiar kąta łamiącego pryzmatu na podstawie praw odbicia	572
225. Zwierciadła wklęsłe	573
226. Załamanie światła	576
227. Pomiar współczynnika załamania cieczy	580
228. Załamanie światła w pryzmacie. Pomiar współczynnika załamania szkła za pomocą pryzmatu przez wyznaczenie kąta najmniejszego odchylenia	581
229. Pomiar współczynnika załamania szkła za pomocą pryzmatu, gdy kąt padania wynosi 0°	583
230. Pomiar kąta granicznego przy przejściu światła ze szkła do powietrza	584
231. Własności soczewek	585
232. Obrazy tworzone przez soczewki skupiające	591
233. Sprawdzenie wzoru soczewkowego	595
234. Powiększenia wywoływane przez soczewki skupiające	597
235. Pomiar ogniskowej soczewki rozpraszającej	598
236. Pomiar promieni krzywizny soczewki metodą optyczną	599
237. Wady soczewek: aberracja sferyczna, aberracja chromatyczna, astygmatyzm	600

238. Narzędzia optyczne. Powiększenia lupy	602
239. Powiększenie mikroskopu	604
240. Budowa lunet	607

§ 24. Optyka fizyczna

241. Wyznaczanie długości fal świetlnych na podstawie doświadczenia Younga	612
242. Wyznaczanie długości fal świetlnych na podstawie doświadczenia Younga przy użyciu prostych środków	614
243. Pomiar długości fal świetlnych za pomocą zwierciadeł Fresnela	615
244. Wyznaczanie długości fali światła, wysyłanego przez świecące pary sodu, za pomocą pierścieni Newtona	618
245. Wyznaczanie długości fal świetlnych na podstawie dyfrakcji przy przejściu światła przez wąską szczelinę	622
246. Wyznaczanie długości fal świetlnych na podstawie dyfrakcji na cienkim pręcie	624
247. Wyznaczanie długości fal świetlnych par sodu za pomocą siatki dyfrakcyjnej	626
248. Polaryzacja światła przez odbicie. Pomiar kąta polaryzacji	629
249. Polaryzacja światła przez załamanie. Przyrząd polaryzacyjny. Sacharymetria	632
250. Polaryzacja światła. Doświadczenia z wykorzystaniem polaroidów	636
251. Substancje optycznie czynne. Skręcenie płaszczyzny polaryzacji	639
252. Dwójłomność kryształów i dwójłomność wymuszona	640
253. Analiza widmowa. Spektroskop	642
254. Doświadczenia z wykorzystaniem wiązki laserowej	646

Rozdział XII. Półprzewodniki i elementy elektroniki

255. Sporządzanie charakterystyki prądowo-napięciowej oporników nieliniowych	653
256. Badanie termistora	655
257. Badanie fotooporu	656
258. Półprzewodniki. Charakterystyka diody półprzewodnikowej	657
259. Badanie właściwości tranzystorów	659
260. Badanie fotodiody	664
261. Proste układy tranzystorowe	665
262. Układy scalone	667
263. Badanie tyrystora	670
264. Badanie hallotronu	672
265. Prostownik jedno- i dwupołówkowy	674

Rozdział XIII. Fizyka atomowa i jądra

266. Jonizacja gazów. Prądy elektryczne w gazach	679
267. Prądy elektryczne w gazach rozrzedzonych	681
268. Oscylograf katodowy	687
269. Wyznaczanie stosunku e/m dla elektronu	690
270. Kondensacja pary wodnej na jonach zawartych w powietrzu. Komora Wilsona	692
271. Detekcja promieniowania za pomocą komory dyfuzyjnej	695
272. Pomiar współczynnika lepkości cieczy na podstawie prawa Stokesa	697
273. Wyznaczanie ładunku elektronu metodą Millikana	699
274. Promieniotwórczość. Scyntylacja.	702
275. Licznik Geigera-Müllera.	703
276. Charakterystyk napięciowa licznika Geigera-Müllera	705

277. Doświadczenia z licznikiem Geigera-Müllera	710
278. Kwantowy charakter promieniowania gamma	711
279. Rejestrator śladów cząstek alfa za pomocą klisz fotograficznych	712
280. Detekcja promieniowania za pomocą elektrometru	713
281. Charakterystyka komory jonizacyjnej	714
282. Badanie absorpcji promieni Roentgena	715
283. Akceleratory cząstek naładowanych	717
284. Zderzenie niecentralne dwóch „sprężystych” walców	719
285. Potwierdzenie zasady zachowania pędu na podstawie fotografii zderzenia dwóch krążków o równych masach na podłożu o znikomym tarciu przy oświetleniu stroboskopowym	722
286. Zjawisko fotoelektryczne. Kwantowa natura światła	723
287. Wyznaczanie stałej Plancka za pomocą fotokomórki	726
288. Widmo wodoru. Wyznaczanie stałej Rydberga	728
Tablice stałych fizycznych	731
Spis tablic stałych fizycznych	770

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