

# SPIS TREŚCI

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| Od autorów .....                                                    | 8         |
| <b>INSTRUKCJA WSTĘPNA .....</b>                                     | <b>10</b> |
| <b>I. Pomiary. Błędy i niepewności pomiarowe .....</b>              | <b>10</b> |
| I.1. Niepewności pomiarów bezpośrednich .....                       | 11        |
| I.1.1. Niepewności standardowe typu A .....                         | 11        |
| I.1.2. Niepewności maksymalne .....                                 | 12        |
| I.2. Niepewności pomiarów pośrednich .....                          | 13        |
| I.2.1. Niepewności standardowe typu A dla pomiarów pośrednich ..... | 13        |
| I.2.2. Niepewności standardowe typu B dla pomiarów pośrednich ..... | 14        |
| I.2.3. Niepewności rozszerzone. Niepewność względna .....           | 15        |
| <b>II. Wykonywanie ćwiczeń .....</b>                                | <b>16</b> |
| II.1. Wykonanie pomiarów. Zapis wyników pomiarów .....              | 17        |
| II.2. Opracowanie wyników .....                                     | 18        |
| II.2.1. Obliczenia wyników pomiarów pośrednich i niepewności .....  | 18        |
| II.2.2. Zaokrąglanie i porównywanie wyników końcowych .....         | 19        |
| II.2.3. Sporządzanie wykresów .....                                 | 23        |
| II.2.4. Metoda najmniejszych kwadratów. Regresja liniowa .....      | 26        |
| II.2.4.1. Program REGLINP .....                                     | 29        |
| <b>1. BADANIE RUCHÓW .....</b>                                      | <b>32</b> |
| 1.1. Kinematyka .....                                               | 32        |
| 1.2. Zasady dynamiki .....                                          | 34        |
| 1.3. Środek masy .....                                              | 35        |
| 1.4. Układ pomiarowy .....                                          | 36        |
| 1.5. Sprawdzanie zasad dynamiki .....                               | 38        |
| 1.6. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                        | 41        |
| <b>2. WSPÓLCZYNNIK SPRĘŻYSTOŚCI .....</b>                           | <b>43</b> |
| 2.1. Własności sprężyste ciał stałych .....                         | 43        |
| 2.2. Prawo Hooke'a .....                                            | 45        |
| 2.3. Sprężyna śrubowa .....                                         | 49        |
| 2.4. Metody pomiarów .....                                          | 50        |
| 2.5. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                        | 53        |

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. WAHADŁO FIZYCZNE .....</b>                                   | <b>55</b> |
| 3.1. Dynamika bryły sztywnej .....                                 | 55        |
| 3.2. Moment siły .....                                             | 56        |
| 3.3. Moment bezwładności .....                                     | 57        |
| 3.4. Środek masy .....                                             | 58        |
| 3.5. Twierdzenie Steinera .....                                    | 60        |
| 3.6. Środek ciężkości .....                                        | 61        |
| 3.7. Ruch wahadła fizycznego .....                                 | 62        |
| 3.8. Metoda pomiaru .....                                          | 64        |
| 3.9. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                       | 66        |
| <b>4. GĘSTOŚĆ CIAŁ STAŁYCH .....</b>                               | <b>68</b> |
| 4.1. Pojęcie gęstości .....                                        | 68        |
| 4.2. Ciśnienie hydrostatyczne .....                                | 69        |
| 4.3. Prawo Archimiedesa .....                                      | 71        |
| 4.4. Metoda hydrostatyczna .....                                   | 73        |
| 4.5. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                       | 75        |
| <b>5. LEPKOŚĆ CIECZY .....</b>                                     | <b>77</b> |
| 5.1. Zjawisko lepkości .....                                       | 77        |
| 5.2. Wzór Stokesa .....                                            | 78        |
| 5.3. Pomiar współczynnika lepkości .....                           | 80        |
| 5.4. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                       | 81        |
| <b>6. CHARAKTERYSTYKI DWÓJNIKÓW .....</b>                          | <b>83</b> |
| 6.1. Dwójniki i ich charakterystyki .....                          | 83        |
| 6.2. Prawo Ohma i opór elektryczny przewodników metalicznych ..... | 85        |
| 6.3. Model charakterystyki prądowo-napięciowej żarówki .....       | 87        |
| 6.4. Dioda półprzewodnikowa .....                                  | 88        |
| 6.5. Wykonanie pomiarów .....                                      | 93        |
| 6.6. Opracowanie wyników .....                                     | 93        |
| <b>7. KONDENSATOR .....</b>                                        | <b>95</b> |
| 7.1. Pole elektryczne .....                                        | 95        |
| 7.2. Kondensator i jego pojemność .....                            | 96        |
| 7.3. Energia kondensatora .....                                    | 97        |
| 7.4. Ładowanie i rozładowanie kondensatora .....                   | 99        |
| 7.5. Wykonanie badań procesów rozładowania kondensatora .....      | 103       |
| 7.6. Opracowanie wyników .....                                     | 105       |

|                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8. OPÓR ELEKTRYCZNY PRZEWODNIKA .....</b>                             | <b>107</b> |
| 8.1. Natężenie i gęstość prądu elektrycznego .....                       | 107        |
| 8.2. Elementy klasycznej teorii przewodnictwa elektrycznego metali ..... | 108        |
| 8.3. Zależność oporu przewodnika od temperatury .....                    | 111        |
| 8.4. Mostek Wheatstone'a .....                                           | 111        |
| 8.5. Metoda pomiaru .....                                                | 112        |
| 8.6. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                             | 113        |
| <b>9. OPÓR PÓLPRZEWODNIKA .....</b>                                      | <b>115</b> |
| 9.1. Przewodnictwo elektryczne półprzewodników .....                     | 115        |
| 9.2. Prawo Ohma i opór elektryczny .....                                 | 118        |
| 9.3. Mostek Wheatstone'a .....                                           | 118        |
| 9.4. Wykonanie pomiarów .....                                            | 120        |
| 9.5. Opracowanie wyników .....                                           | 121        |
| <b>10. ELEKTROMAGNES .....</b>                                           | <b>123</b> |
| 10.1. Pole magnetyczne .....                                             | 123        |
| 10.2. Siła Lorentza .....                                                | 124        |
| 10.3. Siła elektrodynamiczna .....                                       | 125        |
| 10.4. Zjawisko Halla .....                                               | 126        |
| 10.5. Własności magnetyczne materii .....                                | 128        |
| 10.6. Elektromagnes .....                                                | 129        |
| 10.7. Cel i metoda wykonania zadania .....                               | 130        |
| 10.8. Wykonanie pomiarów .....                                           | 132        |
| 10.9. Opracowanie wyników .....                                          | 133        |
| <b>11. WŁASNOŚCI TERMICZNE FERROMAGNETYKA .....</b>                      | <b>135</b> |
| 11.1. Moment magnetyczny .....                                           | 135        |
| 11.2. Własności magnetyczne ciał .....                                   | 141        |
| 11.3. Wpływ temperatury na ferromagnetyk .....                           | 145        |
| 11.4. Metoda pomiaru .....                                               | 146        |
| 11.5. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                            | 148        |
| 11.6. Uzupełnienie. Model ferromagnetyka .....                           | 150        |
| <b>12. OBWODY RLC .....</b>                                              | <b>154</b> |
| 12.1. Oscyloskop i pomiar różnicy faz sygnałów elektrycznych .....       | 154        |
| 12.2. Prąd przemienny .....                                              | 158        |
| 12.3. Spadki napięć w obwodach prądu przemiennego .....                  | 159        |
| 12.4. Szeregowy obwód RLC .....                                          | 161        |

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 12.5. Równoległy obwód RLC .....                                      | 163        |
| 12.6. Pomiar przesunięcia fazowego w szeregowym obwodzie RLC .....    | 163        |
| 12.7. Opracowanie wyników pomiarów .....                              | 165        |
| <b>13. TERMOPARA .....</b>                                            | <b>167</b> |
| 13.1. Zjawisko termoelektryczne Seebecka .....                        | 167        |
| 13.2. Topnienie i krzepnięcie .....                                   | 172        |
| 13.3. Wykonanie pomiarów .....                                        | 173        |
| 13.4. Opracowanie wyników .....                                       | 173        |
| <b>14. TERMOEMISJA ELEKTRONÓW .....</b>                               | <b>175</b> |
| 14.1. Termoemisja elektronowa .....                                   | 175        |
| 14.2. Rozkład Maxwella – Boltzmann .....                              | 178        |
| 14.3. Prąd anodowy przy hamującym napięciu katoda-anoda .....         | 179        |
| 14.4. Napięcie międzyelektrodowe w otwartym obwodzie anodowym .....   | 181        |
| 14.5. Wykonanie pomiarów .....                                        | 182        |
| 14.6. Opracowanie wyników .....                                       | 184        |
| <b>15. PRZEWODNICTWO CIEPLNE METALI .....</b>                         | <b>185</b> |
| 15.1. Struktura krystaliczna metali .....                             | 185        |
| 15.2. Zjawisko przewodnictwa ciepła .....                             | 185        |
| 15.3. Przewodnictwo ciepłe metali .....                               | 186        |
| 15.4. Związek między przewodnością elektryczną i cieplną metali ..... | 188        |
| 15.5. Metoda pomiaru .....                                            | 189        |
| 15.6. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                         | 190        |
| <b>16. CIEPŁO WŁAŚCIWE .....</b>                                      | <b>192</b> |
| 16.1. I zasada termodynamiki .....                                    | 192        |
| 16.2. Bilans cieplny .....                                            | 193        |
| 16.3. Metoda pomiaru .....                                            | 195        |
| 16.4. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                         | 197        |
| <b>17. SIATKA DYFRAKCYJNA .....</b>                                   | <b>199</b> |
| 17.1. Rodzaje fal. Wielkości opisujące fale .....                     | 199        |
| 17.2. Natężenie fali .....                                            | 201        |
| 17.3. Zasada Huygensa. Ugięcie fali .....                             | 202        |
| 17.4. Interferencja światła na dwóch szczelinach .....                | 204        |
| 17.5. Siatka dyfrakcyjna .....                                        | 209        |
| 17.6. Metoda pomiaru .....                                            | 209        |
| 17.7. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                         | 211        |

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>18. OGNISKOWA SOCZEWKI .....</b>                                   | <b>213</b> |
| 18.1. Odbicie i załamanie światła .....                               | 213        |
| 18.2. Soczewki sferyczne .....                                        | 215        |
| 18.3. Konstrukcja obrazów w soczewkach. Równanie soczewki .....       | 218        |
| 18.4. Obrazy wytwarzane przez cienkie soczewki .....                  | 219        |
| 18.5. Aberracja sferyczna .....                                       | 221        |
| 18.6. Wyznaczanie ogniskowej soczewki .....                           | 221        |
| 18.7. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                         | 223        |
| <b>19. SKRĘCENIE PŁASZCZYZNY POLARYZACJI ŚWIATŁA .....</b>            | <b>225</b> |
| 19.1. Polaryzacja fal świetlnych .....                                | 225        |
| 19.2. Polaryzacja przez odbicie .....                                 | 227        |
| 19.3. Polaryzacja światła przy załamaniu na kryształach .....         | 228        |
| 19.4. Skręcenie płaszczyzny polaryzacji .....                         | 230        |
| 19.5. Zasada działania polarymetru .....                              | 230        |
| 19.6. Budowa polarymetru .....                                        | 233        |
| 19.7. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                         | 233        |
| <b>20. PRĘDKOŚĆ DŹWIĘKU .....</b>                                     | <b>235</b> |
| 20.1. Rodzaje fal .....                                               | 235        |
| 20.2. Wielkości opisujące fale .....                                  | 236        |
| 20.3. Prędkość fal sprężystych .....                                  | 239        |
| 20.4. Metoda bezpośrednia pomiaru prędkości dźwięku w powietrzu ..... | 240        |
| 20.5. Metoda pośrednia .....                                          | 240        |
| 20.6. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                         | 242        |
| <b>21. ZJAWISKO FOTOELEKTRYCZNE .....</b>                             | <b>244</b> |
| 21.1. Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne .....                       | 244        |
| 21.2. Fotokomórka .....                                               | 245        |
| 21.3. Badanie zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego .....           | 248        |
| 21.4. Wykonanie i opracowanie ćwiczenia .....                         | 249        |
| Tablica podstawowych stałych fizycznych .....                         | 251        |
| Streszczenie .....                                                    | 252        |
| Summary .....                                                         | 252        |
| Długości fal linii widmowych.....                                     | 253        |
| Gęstości ciał stałych i cieczy .....                                  | 254        |