



# Spis rzeczy

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| Przedmowa .....                           | V      |
| Spis tabel zamieszczonych w tekście ..... | XXVIII |

## MECHANIKA

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. KINEMATYKA .....</b>                                                     | <b>3</b>  |
| <b>1.1. Opis ruchu .....</b>                                                   | <b>3</b>  |
| 1.1.1. Układy odniesienia .....                                                | 3         |
| 1.1.2. Czas .....                                                              | 8         |
| 1.1.3. Długość, powierzchnia, objętość .....                                   | 9         |
| 1.1.4. Kąt .....                                                               | 11        |
| 1.1.5. Układy mechaniczne .....                                                | 13        |
| <b>1.2. Ruch w jednym wymiarze .....</b>                                       | <b>14</b> |
| 1.2.1. Prędkość .....                                                          | 15        |
| 1.2.1.1. Prędkość średnia .....                                                | 15        |
| 1.2.1.2. Prędkość chwilowa .....                                               | 16        |
| 1.2.2. Przyspieszenie .....                                                    | 17        |
| 1.2.3. Proste ruchy w jednym wymiarze .....                                    | 19        |
| <b>1.3. Ruch w wielu wymiarach .....</b>                                       | <b>22</b> |
| 1.3.1. Wektor prędkości .....                                                  | 23        |
| 1.3.2. Wektor przyspieszenia .....                                             | 25        |
| 1.3.3. Spadek swobodny i rzut ukośny .....                                     | 29        |
| <b>1.4. Ruch obrotowy .....</b>                                                | <b>31</b> |
| 1.4.1. Prędkość kątowna .....                                                  | 31        |
| 1.4.2. Przyspieszenie kątowe .....                                             | 33        |
| 1.4.3. Prędkość liniowa .....                                                  | 34        |
| <b>2. DYNAMIKA .....</b>                                                       | <b>36</b> |
| <b>2.1. Podstawowe prawa dynamiki .....</b>                                    | <b>36</b> |
| 2.1.1. Masa i pęd .....                                                        | 36        |
| 2.1.1.1. Masa .....                                                            | 36        |
| 2.1.1.2. Pęd .....                                                             | 38        |
| 2.1.2. Zasady dynamiki Newtona .....                                           | 38        |
| 2.1.2.1. Zasada bezwładności .....                                             | 38        |
| 2.1.2.2. Podstawowe prawo dynamiki (druga zasada dynamiki Newtona) .....       | 39        |
| 2.1.2.3. Siła .....                                                            | 40        |
| 2.1.2.4. Zasada równej akcji i reakcji (trzecia zasada dynamiki Newtona) ..... | 41        |
| 2.1.2.5. Siły bezwładności .....                                               | 42        |
| 2.1.2.6. Zasada d'Alemberta .....                                              | 43        |
| 2.1.2.7. Składanie sił .....                                                   | 44        |
| 2.1.2.8. Rozkład sił na składowe .....                                         | 45        |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.3. Moment pędu . . . . .                                                                 | 47 |
| 2.1.4. Moment siły . . . . .                                                                 | 48 |
| 2.1.5. Zasady dynamiki dla ruchu obrotowego . . . . .                                        | 51 |
| <b>2.2. Siły . . . . .</b>                                                                   | 52 |
| 2.2.1. Siła ciężkości . . . . .                                                              | 52 |
| 2.2.2. Siły sprężystości i siły skrętne . . . . .                                            | 53 |
| 2.2.3. Tarcie . . . . .                                                                      | 55 |
| 2.2.3.1. Tarcie statyczne . . . . .                                                          | 55 |
| 2.2.3.2. Tarcie kinetyczne . . . . .                                                         | 56 |
| 2.2.3.3. Tarcie toczne . . . . .                                                             | 57 |
| 2.2.3.4. Tarcie liny . . . . .                                                               | 58 |
| <b>2.3. Siły bezwładności w obracającym się układzie odniesienia . . . . .</b>               | 59 |
| 2.3.1. Siła dośrodkowa i odśrodkowa . . . . .                                                | 59 |
| 2.3.2. Siła Coriolisa . . . . .                                                              | 61 |
| <b>2.4. Praca i energia . . . . .</b>                                                        | 62 |
| 2.4.1. Praca . . . . .                                                                       | 62 |
| 2.4.2. Energia . . . . .                                                                     | 64 |
| 2.4.3. Energia kinetyczna . . . . .                                                          | 65 |
| 2.4.4. Energia potencjalna . . . . .                                                         | 66 |
| 2.4.4.1. Praca wykonana przez siłę ciężkości . . . . .                                       | 66 |
| 2.4.4.2. Praca wykonana przy odkształceniu sprężystym . . . . .                              | 67 |
| 2.4.5. Praca wykonana przeciwko sile tarcia kinetycznego . . . . .                           | 69 |
| <b>2.5. Moc . . . . .</b>                                                                    | 69 |
| 2.5.1. Sprawność . . . . .                                                                   | 70 |
| <b>2.6. Zderzenia . . . . .</b>                                                              | 71 |
| 2.6.1. Zderzenia sprężyste, centralne, proste . . . . .                                      | 73 |
| 2.6.2. Zderzenia sprężyste, centralne, skośne . . . . .                                      | 74 |
| 2.6.3. Zderzenie sprężyste skośne (niecentralne) z ciałem pozostającym w spoczynku . . . . . | 75 |
| 2.6.4. Zderzenia niesprężyste . . . . .                                                      | 76 |
| 2.6.4.1. Zderzenie częściowo niesprężyste . . . . .                                          | 76 |
| 2.6.4.2. Zderzenie całkowicie niesprężyste . . . . .                                         | 77 |
| <b>2.7. Rakiety . . . . .</b>                                                                | 77 |
| 2.7.1. Siła ciągu . . . . .                                                                  | 77 |
| 2.7.2. Równanie ruchu rakiety . . . . .                                                      | 79 |
| <b>2.8. Układ punktów materialnych . . . . .</b>                                             | 80 |
| 2.8.1. Równania ruchu . . . . .                                                              | 80 |
| 2.8.2. Zasada zachowania pędu . . . . .                                                      | 82 |
| 2.8.3. Zasada zachowania momentu pędu . . . . .                                              | 83 |
| 2.8.4. Zasada zachowania energii . . . . .                                                   | 84 |
| <b>2.9. Równania Lagrange'a i Hamiltona . . . . .</b>                                        | 85 |
| 2.9.1. Równania Lagrange'a i zasada Hamiltona . . . . .                                      | 85 |
| 2.9.2. Równania Hamiltona . . . . .                                                          | 87 |
| <b>3. CIAŁA SZTYWNE . . . . .</b>                                                            | 90 |
| <b>3.1. Kinematyka . . . . .</b>                                                             | 90 |
| 3.1.1. Gęstość . . . . .                                                                     | 90 |
| 3.1.2. Środek ciężkości . . . . .                                                            | 90 |
| 3.1.3. Kinematyczne wielkości podstawowe . . . . .                                           | 92 |
| <b>3.2. Statyka . . . . .</b>                                                                | 94 |

|                                                         |            |
|---------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.1. Wektory siły . . . . .                           | 94         |
| 3.2.2. Moment siły . . . . .                            | 96         |
| 3.2.3. Para sił . . . . .                               | 98         |
| 3.2.4. Warunki równowagi statycznej . . . . .           | 99         |
| 3.2.5. Mechanika techniczna . . . . .                   | 101        |
| 3.2.5.1. Reakcja podpory . . . . .                      | 101        |
| 3.2.5.2. Kratownica . . . . .                           | 102        |
| 3.2.6. Maszyny . . . . .                                | 102        |
| 3.2.6.1. Dźwignia . . . . .                             | 103        |
| 3.2.6.2. Kliny i śruby . . . . .                        | 104        |
| 3.2.6.3. Krążki . . . . .                               | 104        |
| <b>3.3. Dynamika ciała sztywnego . . . . .</b>          | <b>107</b> |
| <b>3.4. Moment bezwładności i moment pędu . . . . .</b> | <b>108</b> |
| 3.4.1. Moment bezwładności . . . . .                    | 108        |
| 3.4.1.1. Twierdzenie Steinera . . . . .                 | 110        |
| 3.4.1.2. Momenty bezwładności brył . . . . .            | 111        |
| 3.4.2. Moment pędu . . . . .                            | 113        |
| 3.4.2.1. Równowaga w ruchach obrotowych . . . . .       | 115        |
| <b>3.5. Praca, energia i moc . . . . .</b>              | <b>115</b> |
| 3.5.1. Energia kinetyczna . . . . .                     | 116        |
| 3.5.2. Energia potencjalna skręcenia . . . . .          | 118        |
| <b>3.6. Teoria żyroskopu . . . . .</b>                  | <b>118</b> |
| 3.6.1. Tensor momentu bezwładności . . . . .            | 119        |
| 3.6.2. Nutacja i precesja . . . . .                     | 121        |
| 3.6.2.1. Nutacja . . . . .                              | 121        |
| 3.6.2.2. Precesja . . . . .                             | 123        |
| 3.6.2.3. Momenty żyroskopowe . . . . .                  | 124        |
| 3.6.3. Zastosowania żyroskopów . . . . .                | 125        |
| <b>4. MIKROMECHANIKA . . . . .</b>                      | <b>126</b> |
| 4.1. Technologia cienkowarstwowa . . . . .              | 126        |
| 4.2. Technika naświetlania i wytrawiania . . . . .      | 127        |
| 4.3. Zastosowania . . . . .                             | 129        |
| 4.3.1. Czujniki . . . . .                               | 129        |
| 4.3.2. Elementy wykonawcze (siłowniki) . . . . .        | 131        |
| 4.3.3. Zastosowania techniczne . . . . .                | 132        |
| <b>5. GRAWITACJA I TEORIA WZGLĘDNOŚCI . . . . .</b>     | <b>133</b> |
| <b>5.1. Pole grawitacyjne . . . . .</b>                 | <b>133</b> |
| 5.1.1. Prawo powszechnego ciążenia . . . . .            | 133        |
| 5.1.2. Ruchy planet . . . . .                           | 135        |
| 5.1.3. Układ Słoneczny . . . . .                        | 137        |
| 5.1.3.1. Słońce i planety . . . . .                     | 137        |
| 5.1.3.2. Satelity . . . . .                             | 140        |
| <b>5.2. Szczególna teoria względności . . . . .</b>     | <b>141</b> |
| 5.2.1. Zasada względności . . . . .                     | 142        |
| 5.2.2. Przekształcenie Lorentza . . . . .               | 144        |
| 5.2.2.1. Składanie prędkości . . . . .                  | 147        |
| 5.2.3. Efekty relatywistyczne . . . . .                 | 148        |
| 5.2.3.1. Skrócenie podłużne . . . . .                   | 148        |
| 5.2.3.2. Dylatacja czasu . . . . .                      | 149        |

|                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.4. Dynamika relatywistyczna . . . . .                            | 150        |
| 5.2.4.1. Relatywistyczny przyrost masy . . . . .                     | 150        |
| 5.2.4.2. Relatywistyczna energia kinetyczna . . . . .                | 152        |
| <b>5.3. Ogólna teoria względności i kosmologia . . . . .</b>         | <b>154</b> |
| 5.3.1. Gwiazdy i galaktyki . . . . .                                 | 155        |
| 5.3.1.1. Ewolucja gwiazd . . . . .                                   | 156        |
| <b>6. MECHANIKA CIAŁ ODKSZTAŁCALNYCH . . . . .</b>                   | <b>158</b> |
| <b>6.1. Teoria sprężystości . . . . .</b>                            | <b>158</b> |
| 6.1.1. Naprężenie . . . . .                                          | 158        |
| 6.1.1.1. Rozciąganie, zginanie, ścinanie, skręcanie . . . . .        | 160        |
| 6.1.2. Odkształcenie sprężyste . . . . .                             | 161        |
| 6.1.2.1. Wydłużenie . . . . .                                        | 161        |
| 6.1.2.2. Odkształcenie poprzeczne . . . . .                          | 163        |
| 6.1.2.3. Wszechstronne ściskanie . . . . .                           | 164        |
| 6.1.2.4. Zginanie pręta (belki) . . . . .                            | 166        |
| 6.1.2.5. Ścinanie . . . . .                                          | 170        |
| 6.1.2.6. Skręcanie . . . . .                                         | 170        |
| 6.1.2.7. Energia sprężysta . . . . .                                 | 172        |
| 6.1.3. Odkształcenie plastyczne . . . . .                            | 173        |
| 6.1.3.1. Zakresy odkształceń przy naprężeniu rozciągającym . . . . . | 174        |
| 6.1.3.2. Wyboczenie . . . . .                                        | 175        |
| 6.1.3.3. Twardość . . . . .                                          | 176        |
| <b>6.2. Hydrostatyka . . . . .</b>                                   | <b>178</b> |
| 6.2.1. Ciecze i gazy . . . . .                                       | 178        |
| 6.2.2. Ciśnienie . . . . .                                           | 178        |
| 6.2.2.1. Ciśnienie wywierane przez tłok . . . . .                    | 180        |
| 6.2.2.2. Ciśnienie hydrostatyczne . . . . .                          | 181        |
| 6.2.2.3. Ściśliwość . . . . .                                        | 183        |
| 6.2.2.4. Ciśnienie aerostatyczne . . . . .                           | 184        |
| 6.2.2.5. Pompy . . . . .                                             | 185        |
| 6.2.3. Wypór . . . . .                                               | 188        |
| 6.2.4. Spójność, przyczepność, napięcie powierzchniowe . . . . .     | 191        |
| 6.2.4.1. Włokowatość . . . . .                                       | 193        |
| <b>6.3. Dynamika cieczy i gazów . . . . .</b>                        | <b>194</b> |
| 6.3.1. Pole przepływu . . . . .                                      | 194        |
| 6.3.2. Równania podstawowe przepływu doskonałego . . . . .           | 195        |
| 6.3.2.1. Równanie ciągłości . . . . .                                | 196        |
| 6.3.2.2. Równanie Eulera . . . . .                                   | 199        |
| 6.3.2.3. Prawo Bernoulliego . . . . .                                | 200        |
| 6.3.2.4. Prawo wypływu Torricellego . . . . .                        | 202        |
| 6.3.2.5. Zjawisko zasysania . . . . .                                | 204        |
| 6.3.2.6. Siły działające na ciała opływane . . . . .                 | 205        |
| 6.3.3. Przepływy rzeczywiste . . . . .                               | 207        |
| 6.3.3.1. Lepkość . . . . .                                           | 207        |
| 6.3.3.2. Równanie Naviera–Stokesa . . . . .                          | 209        |
| 6.3.3.3. Przepływ laminarny cieczy w rurze . . . . .                 | 210        |
| 6.3.3.4. Opływ kuli . . . . .                                        | 212        |
| 6.3.3.5. Równanie Bernoulliego . . . . .                             | 213        |

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| 6.3.4. Przepływy burzliwe . . . . .                           | 213        |
| 6.3.4.1. Współczynnik oporu . . . . .                         | 214        |
| 6.3.5. Prawa podobieństwa . . . . .                           | 216        |
| 6.3.5.1. Przepływ w rurach . . . . .                          | 218        |
| 6.3.6. Przepływy ze zmianą gęstości . . . . .                 | 219        |
| <b>7. DYNAMIKA NIELINIOWA, CHAOS I FRAKTALE . . . . .</b>     | <b>221</b> |
| 7.1. Układy dynamiczne i chaos . . . . .                      | 222        |
| 7.1.1. Układy dynamiczne . . . . .                            | 222        |
| 7.1.1.1. Przestrzeń stanów i przestrzeń fazowa . . . . .      | 224        |
| 7.1.2. Układy zachowawcze . . . . .                           | 228        |
| 7.1.2.1. Twierdzenie Liouville'a . . . . .                    | 229        |
| 7.1.2.2. Całkowalność . . . . .                               | 229        |
| 7.1.3. Układy dyssypatywne . . . . .                          | 230        |
| 7.1.3.1. Dziwne atraktory, chaos deterministyczny . . . . .   | 231        |
| 7.2. Bifurkacje . . . . .                                     | 232        |
| 7.2.1. Odwzorowanie logistyczne . . . . .                     | 233        |
| 7.2.2. Uniwersalność . . . . .                                | 236        |
| 7.3. Fraktale . . . . .                                       | 237        |
| <b>OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE MECHANIKA . . . . .</b> | <b>240</b> |
| <b>8. TABELA DO DZIAŁU MECHANIKA . . . . .</b>                | <b>242</b> |
| 8.1. Gęstości . . . . .                                       | 242        |
| 8.1.1. Ciała stałe . . . . .                                  | 242        |
| 8.1.1.1. Stopy metaliczne . . . . .                           | 243        |
| 8.1.1.2. Niemetale . . . . .                                  | 244        |
| 8.1.2. Ciecze . . . . .                                       | 247        |
| 8.1.3. Gazy . . . . .                                         | 249        |
| 8.2. Właściwości sprężyste . . . . .                          | 249        |
| 8.3. Właściwości dynamiczne . . . . .                         | 253        |
| 8.3.1. Współczynniki tarcia . . . . .                         | 253        |
| 8.3.2. Ścisłość . . . . .                                     | 255        |
| 8.3.2.1. Gazy . . . . .                                       | 255        |
| 8.3.2.2. Ciecze i ciała stałe . . . . .                       | 258        |
| 8.3.3. Lepkość . . . . .                                      | 258        |
| 8.3.4. Opór przepływu . . . . .                               | 261        |
| 8.3.5. Napięcie powierzchniowe . . . . .                      | 262        |
| <b>DRGANIA, FALE, AKUSTYKA I OPTYKA</b>                       |            |
| <b>9. DRGANIA . . . . .</b>                                   | <b>265</b> |
| 9.1. Swobodne drgania nietłumione . . . . .                   | 267        |
| 9.1.1. Wahadło sprężynowe . . . . .                           | 267        |
| 9.1.2. Wahadło . . . . .                                      | 270        |
| 9.1.2.1. Drgania i ruch po okręgu . . . . .                   | 272        |
| 9.1.3. Wahadło fizyczne . . . . .                             | 273        |
| 9.1.4. Drgania torsyjne . . . . .                             | 275        |
| 9.1.5. Wahadło cieczowe . . . . .                             | 276        |
| 9.1.6. Elektryczny obwód drgający . . . . .                   | 278        |

|           |                                                                   |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.2.      | Drgania tłumione                                                  | 279 |
| 9.2.1.    | Tarcie                                                            | 279 |
| 9.2.1.1.  | Tarcie poślizgowe i tarcie toczne                                 | 279 |
| 9.2.1.2.  | Opór ośrodka                                                      | 281 |
| 9.2.1.3.  | Tarcie proporcjonalne do kwadratu prędkości                       | 283 |
| 9.2.2.    | Tłumiony elektryczny obwód drgający                               | 283 |
| 9.3.      | Drgania wymuszone                                                 | 285 |
| 9.4.      | Nakładanie się drgań                                              | 287 |
| 9.4.1.    | Nakładanie się drgań o tej samej częstotliwości                   | 287 |
| 9.4.2.    | Nakładanie się drgań o różnej częstotliwości                      | 289 |
| 9.4.3.    | Nakładanie się drgań o różnych kierunkach i różnej częstotliwości | 290 |
| 9.4.4.    | Analiza fourierowska, rozkład drgań                               | 292 |
| 9.5.      | Drgania sprzężone                                                 | 293 |
| 10.       | FALE                                                              | 296 |
| 10.1.     | Podstawowe własności fal                                          | 296 |
| 10.2.     | Polaryzacja                                                       | 302 |
| 10.3.     | Interferencja                                                     | 303 |
| 10.3.1.   | Spójność                                                          | 303 |
| 10.3.2.   | Interferencja                                                     | 303 |
| 10.3.3.   | Fale stojące                                                      | 305 |
| 10.3.3.1. | Fale stojące w jednostronnie umocowanym pręcie                    | 306 |
| 10.3.3.2. | Fale stojące w strunach                                           | 306 |
| 10.3.3.3. | Fale stojące w rurze Kundta                                       | 307 |
| 10.3.4.   | Fale o różnych częstotliwościach                                  | 308 |
| 10.4.     | Zjawisko Dopplera                                                 | 309 |
| 10.4.1.   | Fala Macha i fale uderzeniowe                                     | 311 |
| 10.5.     | Załamanie fali                                                    | 311 |
| 10.6.     | Odbicie                                                           | 312 |
| 10.6.1.   | Zależności fazowe                                                 | 313 |
| 10.7.     | Dyspersja                                                         | 313 |
| 10.8.     | Ugięcie                                                           | 314 |
| 10.8.1.   | Ugięcie na szczelinie                                             | 314 |
| 10.8.2.   | Siatka dyfrakcyjna                                                | 316 |
| 10.9.     | Modulacja fal                                                     | 317 |
| 10.10.    | Fale na powierzchni cieczy                                        | 318 |
| 11.       | AKUSTYKA                                                          | 320 |
| 11.1.     | Fale dźwiękowe                                                    | 320 |
| 11.1.1.   | Prędkość dźwięku                                                  | 320 |
| 11.1.2.   | Charakterystyczne wielkości akustyczne                            | 322 |
| 11.1.2.1. | Wychylenie akustyczne                                             | 323 |
| 11.1.2.2. | Prędkość akustyczna i opór falowy                                 | 324 |
| 11.1.2.3. | Gęstość energii                                                   | 325 |
| 11.1.2.4. | Natężenie dźwięku i moc akustyczna                                | 325 |
| 11.1.3.   | Wielkości niemianowane (bezwymiarowe)                             | 326 |
| 11.2.     | Źródła i odbiorniki dźwięku                                       | 328 |
| 11.2.1.   | Mechaniczne źródła dźwięku                                        | 328 |
| 11.2.1.1. | Drgające słupy powietrza                                          | 329 |

|           |                                                           |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 11.2.2.   | Przetworniki elektroakustyczne . . . . .                  | 330 |
| 11.2.2.1. | Odbiorniki dźwięku . . . . .                              | 332 |
| 11.2.3.   | Absorpcja dźwięku . . . . .                               | 334 |
| 11.2.4.   | Tłumienie dźwięku . . . . .                               | 336 |
| 11.2.4.1. | Pogłos . . . . .                                          | 337 |
| 11.2.5.   | Szum przepływu . . . . .                                  | 338 |
| 11.3.     | Ultradźwięki . . . . .                                    | 338 |
| 11.4.     | Akustyka fizjologiczna i słuch . . . . .                  | 339 |
| 11.4.1.   | Percepcja dźwięku . . . . .                               | 340 |
| 11.4.2.   | Równoważny poziom dźwięku . . . . .                       | 341 |
| 11.5.     | Akustyka muzyczna . . . . .                               | 341 |
| 12.       | OPTYKA . . . . .                                          | 345 |
| 12.1.     | Optyka geometryczna . . . . .                             | 346 |
| 12.1.1.   | Powstawanie obrazu – podstawowe pojęcia . . . . .         | 348 |
| 12.1.2.   | Odbicie . . . . .                                         | 351 |
| 12.1.2.1. | Zwierciadło płaskie . . . . .                             | 352 |
| 12.1.2.2. | Zwierciadło wklęsłe . . . . .                             | 352 |
| 12.1.2.3. | Zwierciadło wypukłe . . . . .                             | 355 |
| 12.1.3.   | Załamane . . . . .                                        | 355 |
| 12.1.3.1. | Współczynnik załamania . . . . .                          | 356 |
| 12.1.3.2. | Prawo załamania . . . . .                                 | 356 |
| 12.1.3.3. | Wzory Fresnela . . . . .                                  | 357 |
| 12.1.3.4. | Tęcza . . . . .                                           | 358 |
| 12.1.3.5. | Całkowite wewnętrzne odbicie . . . . .                    | 359 |
| 12.1.3.6. | Światłowod . . . . .                                      | 360 |
| 12.1.3.7. | Załamane w pryzmacie . . . . .                            | 365 |
| 12.1.3.8. | Załamane w płytkach płasko-równoległych . . . . .         | 367 |
| 12.1.3.9. | Załamane na powierzchniach kulistych . . . . .            | 368 |
| 12.2.     | Soczewki . . . . .                                        | 369 |
| 12.2.1.   | Grube soczewki . . . . .                                  | 370 |
| 12.2.2.   | Cienkie soczewki . . . . .                                | 375 |
| 12.3.     | Układy soczewek . . . . .                                 | 376 |
| 12.3.1.   | Soczewki z przysłonami . . . . .                          | 377 |
| 12.3.2.   | Wady układu optycznego . . . . .                          | 377 |
| 12.3.2.1. | Soczewki gradientowe . . . . .                            | 379 |
| 12.4.     | Przyrządy optyczne . . . . .                              | 380 |
| 12.4.1.   | Kamera otworkowa . . . . .                                | 380 |
| 12.4.2.   | Aparat fotograficzny . . . . .                            | 381 |
| 12.4.3.   | Oko . . . . .                                             | 382 |
| 12.4.4.   | Oko i przyrządy optyczne . . . . .                        | 383 |
| 12.4.4.1. | Lupa . . . . .                                            | 383 |
| 12.4.4.2. | Mikroskop . . . . .                                       | 384 |
| 12.4.4.3. | Luneta . . . . .                                          | 385 |
| 12.5.     | Optyka falowa . . . . .                                   | 388 |
| 12.5.1.   | Rozpraszanie . . . . .                                    | 388 |
| 12.5.2.   | Dyfrakcja i ograniczenie zdolności rozdzielczej . . . . . | 389 |
| 12.5.3.   | Załamane w obrazie falowym . . . . .                      | 392 |
| 12.5.4.   | Interferencja . . . . .                                   | 392 |
| 12.5.5.   | Dyfrakcyjne elementy optyczne . . . . .                   | 397 |

|                                                                                      |                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 12.5.5.1.                                                                            | Siatka dyfrakcyjna . . . . .                                       | 397 |
| 12.5.5.2.                                                                            | Płytką strefową Fresnela . . . . .                                 | 397 |
| 12.5.5.3.                                                                            | Soczewka Fresnela . . . . .                                        | 398 |
| 12.5.5.4.                                                                            | Hologramy . . . . .                                                | 399 |
| 12.5.5.5.                                                                            | Hologramy komputerowe . . . . .                                    | 400 |
| 12.5.6.                                                                              | Dyspersja . . . . .                                                | 402 |
| 12.5.7.                                                                              | Przyrządy spektralne . . . . .                                     | 403 |
| 12.5.8.                                                                              | Polaryzacja światła . . . . .                                      | 404 |
| 12.5.8.1.                                                                            | Polaryzacja przez odbicie . . . . .                                | 405 |
| 12.5.8.2.                                                                            | Polaryzacja przez załamanie . . . . .                              | 406 |
| 12.6.                                                                                | <b>Fotometria</b> . . . . .                                        | 409 |
| 12.6.1.                                                                              | Wielkości fotometryczne . . . . .                                  | 409 |
| 12.6.1.1.                                                                            | Promiennik . . . . .                                               | 411 |
| 12.6.1.2.                                                                            | Wielkości widmowe . . . . .                                        | 413 |
| 12.6.1.3.                                                                            | Odbicie, absorpcja, transmisja . . . . .                           | 414 |
| 12.6.2.                                                                              | Wielkości fotometryczne wizualne . . . . .                         | 416 |
| <b>OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE DRGANIA, FALE, AKUSTYKA I OPTYKA</b> . . . . . |                                                                    | 420 |
| 13.                                                                                  | <b>TABELE DO DZIAŁU DRGANIA, FALE, AKUSTYKA I OPTYKA</b> . . . . . | 422 |
| 13.1.                                                                                | Drgania i akustyka . . . . .                                       | 422 |
| 13.2.                                                                                | Optyka . . . . .                                                   | 427 |
| <br><b>ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM</b>                                                 |                                                                    |     |
| 14.                                                                                  | <b>ŁADUNKI I PRĄDY</b> . . . . .                                   | 433 |
| 14.1.                                                                                | Ładunek elektryczny . . . . .                                      | 433 |
| 14.1.1.                                                                              | Prawo Coulomba . . . . .                                           | 435 |
| 14.2.                                                                                | Gęstość ładunku elektrycznego . . . . .                            | 436 |
| 14.3.                                                                                | Prąd elektryczny . . . . .                                         | 438 |
| 14.3.1.                                                                              | Prawo Ampère'a . . . . .                                           | 440 |
| 14.4.                                                                                | Gęstość prądu elektrycznego . . . . .                              | 440 |
| 14.4.1.                                                                              | Pole powodowane przepływem prądu elektrycznego . . . . .           | 442 |
| 14.5.                                                                                | Opór elektryczny i przewodność elektryczna . . . . .               | 443 |
| 14.5.1.                                                                              | Opór elektryczny . . . . .                                         | 443 |
| 14.5.2.                                                                              | Przewodność elektryczna . . . . .                                  | 444 |
| 14.5.3.                                                                              | Opór właściwy i przewodność elektryczna właściwa . . . . .         | 444 |
| 14.5.4.                                                                              | Ruchliwość nośników ładunku . . . . .                              | 446 |
| 14.5.5.                                                                              | Zależność oporu elektrycznego od temperatury . . . . .             | 446 |
| 14.5.6.                                                                              | Oporniki o zmiennym oporze . . . . .                               | 448 |
| 14.5.7.                                                                              | Łączenie oporników . . . . .                                       | 448 |
| 15.                                                                                  | <b>POLE ELEKTRYCZNE I POLE MAGNETYCZNE</b> . . . . .               | 450 |
| 15.1.                                                                                | Pole elektryczne . . . . .                                         | 450 |
| 15.2.                                                                                | Indukcja elektrostatyczna . . . . .                                | 451 |
| 15.2.1.                                                                              | Linie pola elektrycznego . . . . .                                 | 452 |
| 15.2.2.                                                                              | Natężenie pola elektrycznego ładunków punktowych . . . . .         | 454 |
| 15.3.                                                                                | Siła . . . . .                                                     | 456 |
| 15.4.                                                                                | Napięcie elektryczne . . . . .                                     | 456 |

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>15.5. Potencjał elektryczny</b>                                 | 458 |
| 15.5.1. Powierzchnie ekwipotencjalne                               | 459 |
| 15.5.2. Natężenie pola i potencjał niektórych rozkładów ładunku    | 459 |
| 15.5.3. Strumień elektryczny                                       | 463 |
| 15.5.4. Indukcja elektrostatyczna                                  | 464 |
| <b>15.6. Polaryzacja elektryczna</b>                               | 466 |
| 15.6.1. Dielektryk                                                 | 467 |
| <b>15.7. Pojemność</b>                                             | 468 |
| 15.7.1. Kondensator płaski                                         | 469 |
| 15.7.2. Równoległe połączenie kondensatorów                        | 470 |
| 15.7.3. Szeregowe połączenie kondensatorów                         | 470 |
| 15.7.4. Pojemność prostych układów przewodników                    | 471 |
| <b>15.8. Energia i gęstość energii pola elektrycznego</b>          | 472 |
| <b>15.9. Pole elektryczne na powierzchni granicznej</b>            | 473 |
| <b>15.10. Pole magnetyczne</b>                                     | 474 |
| <b>15.11. Magnetyzm</b>                                            | 474 |
| 15.11.1. Linie pola magnetycznego                                  | 475 |
| <b>15.12. Indukcja magnetyczna</b>                                 | 477 |
| <b>15.13. Strumień magnetyczny</b>                                 | 479 |
| <b>15.14. Natężenie pola magnetycznego</b>                         | 480 |
| <b>15.15. Obwód magnetyczny</b>                                    | 482 |
| 15.15.1. Prawo Ampère'a                                            | 484 |
| 15.15.2. Prawo Biota-Savarta                                       | 485 |
| 15.15.3. Pole magnetyczne prostoliniowego przewodnika z prądem     | 487 |
| 15.15.4. Pola magnetyczne niektórych rozkładów prądu               | 488 |
| <b>15.16. Materia w polu magnetycznym</b>                          | 490 |
| 15.16.1. Diamagnetyzm                                              | 491 |
| 15.16.2. Paramagnetyzm                                             | 492 |
| 15.16.3. Ferromagnetyzm                                            | 492 |
| 15.16.4. Antyferromagnetyzm                                        | 495 |
| 15.16.5. Ferrimagnetyzm                                            | 496 |
| <b>15.17. Pola magnetyczne na powierzchniach granicznych</b>       | 496 |
| <b>15.18. Indukcja elektromagnetyczna</b>                          | 497 |
| 15.18.1. Siła elektromotoryczna indukcji dla ruchomego przewodnika | 497 |
| 15.18.2. Siła elektromotoryczna indukcji                           | 499 |
| <b>15.19. Samoindukcja</b>                                         | 499 |
| 15.19.1. Indukcyjności geometrycznych układów przewodników         | 501 |
| 15.19.2. Przewodność magnetyczna                                   | 502 |
| <b>15.20. Indukcja wzajemna</b>                                    | 503 |
| 15.20.1. Transformator                                             | 504 |
| <b>15.21. Energia i gęstość energii pola magnetycznego</b>         | 505 |
| <b>15.22. Równania Maxwella</b>                                    | 507 |
| 15.22.1. Prąd przesunięcia                                         | 508 |
| 15.22.2. Fale elektromagnetyczne                                   | 509 |
| 15.22.3. Wektor Poyntinga                                          | 511 |
| <b>16. ELEKTROTECHNIKA</b>                                         | 512 |
| <b>16.1. Obwód prądu stałego</b>                                   | 513 |
| 16.1.1. Prawa Kirchhoffa w obwodzie prądu stałego                  | 514 |
| 16.1.2. Oporniki w obwodzie prądu stałego                          | 514 |

|              |                                                                         |            |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| 16.1.3.      | Rzeczywiste źródło napięcia . . . . .                                   | 516        |
| 16.1.4.      | Moc i praca w obwodzie prądu stałego . . . . .                          | 517        |
| 16.1.5.      | Dopasowanie energetyczne . . . . .                                      | 519        |
| 16.1.6.      | Pomiar natężenia prądu i napięcia . . . . .                             | 519        |
| 16.1.6.1.    | Pomiar natężenia prądu . . . . .                                        | 519        |
| 16.1.6.2.    | Pomiar napięcia . . . . .                                               | 520        |
| 16.1.6.3.    | Pomiar mocy . . . . .                                                   | 520        |
| 16.1.7.      | Wyznaczanie oporu metodą kompensacyjną . . . . .                        | 521        |
| 16.1.8.      | Ładowanie i rozładowywanie kondensatorów . . . . .                      | 522        |
| 16.1.9.      | Włączanie i wyłączanie prądu w obwodzie <i>RL</i> . . . . .             | 523        |
| <b>16.2.</b> | <b>Obwód prądu zmiennego . . . . .</b>                                  | <b>525</b> |
| 16.2.1.      | Wielkości zmienne . . . . .                                             | 525        |
| 16.2.1.1.    | Wartości średnie wielkości zmiennych okresowo . . . . .                 | 526        |
| 16.2.2.      | Przedstawienie wielkości sinusoidalnych na wykresie wskazowym . . . . . | 527        |
| 16.2.3.      | Reguły rachunków dla wielkości wskazowych . . . . .                     | 529        |
| 16.2.4.      | Podstawowe pojęcia techniki prądu zmiennego . . . . .                   | 532        |
| 16.2.4.1.    | Impedancja . . . . .                                                    | 532        |
| 16.2.4.2.    | Prawo Ohma w dziedzinie zespolonej . . . . .                            | 533        |
| 16.2.4.3.    | Admitancja . . . . .                                                    | 534        |
| 16.2.4.4.    | Moc w obwodzie prądu zmiennego . . . . .                                | 535        |
| 16.2.4.5.    | Moc zespolona . . . . .                                                 | 536        |
| 16.2.4.6.    | Prawa Kirchhoffa dla obwodów prądu zmiennego . . . . .                  | 537        |
| 16.2.4.7.    | Szeregowe połączenie impedancji . . . . .                               | 538        |
| 16.2.4.8.    | Równoległe połączenie impedancji . . . . .                              | 538        |
| 16.2.5.      | Podstawowe elementy w obwodzie prądu przemiennego . . . . .             | 538        |
| 16.2.5.1.    | Opornik . . . . .                                                       | 539        |
| 16.2.5.2.    | Kondensator . . . . .                                                   | 540        |
| 16.2.5.3.    | Cewka . . . . .                                                         | 541        |
| 16.2.5.4.    | Impedancja najprostszych dwójników . . . . .                            | 542        |
| 16.2.6.      | Szeregowe połączenie opornika i kondensatora . . . . .                  | 543        |
| 16.2.7.      | Równoległe połączenie opornika i kondensatora . . . . .                 | 543        |
| 16.2.8.      | Równoległe połączenie opornika i cewki . . . . .                        | 544        |
| 16.2.9.      | Szeregowe połączenie opornika i cewki . . . . .                         | 545        |
| 16.2.10.     | Szeregowy obwód drgający . . . . .                                      | 546        |
| 16.2.11.     | Równoległy obwód drgający . . . . .                                     | 548        |
| 16.2.12.     | Równoważność połączenia szeregowego i równoległego . . . . .            | 550        |
| 16.2.13.     | Fale radiowe . . . . .                                                  | 551        |
| <b>16.3.</b> | <b>Maszyny elektryczne . . . . .</b>                                    | <b>553</b> |
| 16.3.1.      | Zasada działania maszyn elektrycznych . . . . .                         | 554        |
| 16.3.2.      | Maszyna prądu stałego . . . . .                                         | 555        |
| 16.3.3.      | Maszyna trójfazowa . . . . .                                            | 557        |
| 16.3.3.1.    | Maszyna synchroniczna . . . . .                                         | 557        |
| 16.3.3.2.    | Maszyna asynchroniczna . . . . .                                        | 559        |
| <b>17.</b>   | <b>PRZEWODZENIE PRĄDU W CIECZACH, W GAZACH I W PRÓŻNI . . . . .</b>     | <b>561</b> |
| <b>17.1.</b> | <b>Elektroliza . . . . .</b>                                            | <b>561</b> |
| 17.1.1.      | Liczność materii . . . . .                                              | 561        |
| 17.1.2.      | Jony . . . . .                                                          | 561        |
| 17.1.3.      | Elektrody . . . . .                                                     | 562        |
| 17.1.4.      | Elektrolity . . . . .                                                   | 562        |

|              |                                                                       |            |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 17.1.4.1.    | Przewodność elektryczna elektrolitu . . . . .                         | 562        |
| 17.1.4.2.    | Prawa elektrolizy Faradaya . . . . .                                  | 564        |
| 17.1.4.3.    | Elektryczna warstwa podwójna . . . . .                                | 565        |
| 17.1.4.4.    | Równanie Nernsta . . . . .                                            | 566        |
| 17.1.5.      | Ogniwa galwaniczne . . . . .                                          | 567        |
| 17.1.5.1.    | Polaryzacja elektrolityczna . . . . .                                 | 567        |
| 17.1.5.2.    | Ogniwa paliwowe . . . . .                                             | 568        |
| 17.1.5.3.    | Akumulatory . . . . .                                                 | 569        |
| 17.1.5.4.    | Łączenie ogniów galwanicznych . . . . .                               | 569        |
| 17.1.6.      | Zjawiska elektrokinetyczne . . . . .                                  | 570        |
| 17.1.6.1.    | Elektroforeza . . . . .                                               | 570        |
| 17.1.6.2.    | Elektroosmoza . . . . .                                               | 570        |
| 17.1.6.3.    | Potencjał przepływu . . . . .                                         | 570        |
| <b>17.2.</b> | <b>Prąd elektryczny w gazach . . . . .</b>                            | <b>571</b> |
| 17.2.1.      | Niesamoistne wyładowanie w gazie . . . . .                            | 571        |
| 17.2.1.1.    | Prędkość dryfu jonów w gazach . . . . .                               | 571        |
| 17.2.1.2.    | Przewodność właściwa gazów . . . . .                                  | 572        |
| 17.2.1.3.    | Rekombinacja . . . . .                                                | 572        |
| 17.2.1.4.    | Charakterystyka prądowo-napięciowa przepływu prądu w gazach . . . . . | 573        |
| 17.2.2.      | Samoistne wyładowanie w gazie . . . . .                               | 574        |
| 17.2.2.1.    | Rodzaje wyładowań samoistnych w gazie . . . . .                       | 574        |
| 17.2.2.2.    | Charakterystyka prądowo-napięciowa wyładowania w gazie . . . . .      | 575        |
| <b>17.3.</b> | <b>Emisja elektronów . . . . .</b>                                    | <b>575</b> |
| 17.3.1.      | Termoemisja . . . . .                                                 | 576        |
| 17.3.2.      | Fotoemisja . . . . .                                                  | 576        |
| 17.3.3.      | Emisja polowa . . . . .                                               | 577        |
| 17.3.4.      | Emisja elektronów wtórnych . . . . .                                  | 577        |
| <b>17.4.</b> | <b>Lampy elektronowe . . . . .</b>                                    | <b>578</b> |
| 17.4.1.      | Dioda . . . . .                                                       | 579        |
| 17.4.2.      | Trioda . . . . .                                                      | 579        |
| 17.4.2.1.    | Wartości charakterystyczne . . . . .                                  | 580        |
| 17.4.3.      | Tetroda . . . . .                                                     | 582        |
| 17.4.4.      | Promienie katodowe . . . . .                                          | 582        |
| 17.4.5.      | Promieniowanie kanalikowe . . . . .                                   | 582        |
| <b>18.</b>   | <b>FIZYKA PLAZMY . . . . .</b>                                        | <b>584</b> |
| <b>18.1.</b> | <b>Własności plazmy . . . . .</b>                                     | <b>584</b> |
| 18.1.1.      | Wielkości charakterystyczne plazmy . . . . .                          | 584        |
| 18.1.1.1.    | Stopień jonizacji . . . . .                                           | 584        |
| 18.1.1.2.    | Funkcja rozkładu energii w plazmie . . . . .                          | 585        |
| 18.1.1.3.    | Energia plazmy . . . . .                                              | 587        |
| 18.1.1.4.    | Przewodność elektryczna plazmy . . . . .                              | 587        |
| 18.1.1.5.    | Przewodność cieplna plazmy . . . . .                                  | 589        |
| 18.1.1.6.    | Ekranowanie i długość Debye'a . . . . .                               | 589        |
| 18.1.1.7.    | Częstotliwość drgań plazmy . . . . .                                  | 590        |
| 18.1.2.      | Promieniowanie plazmy . . . . .                                       | 590        |
| 18.1.3.      | Plazma w polach magnetycznych . . . . .                               | 591        |
| 18.1.3.1.    | Ruch cząstek naładowanych w polach zewnętrznych . . . . .             | 591        |

|                                                                               |                                                                                |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 18.1.3.2.                                                                     | Ruch nośników ładunku w polu magnetycznym przy uwzględnieniu zderżeń . . . . . | 593        |
| 18.1.3.3.                                                                     | Dryf w zewnętrznym polu elektrycznym . . . . .                                 | 593        |
| 18.1.3.4.                                                                     | Teorie kontinuum . . . . .                                                     | 593        |
| 18.1.4.                                                                       | Fale plazmowe . . . . .                                                        | 594        |
| 18.1.4.1.                                                                     | Fale elektroakustyczne w plazmie . . . . .                                     | 594        |
| 18.1.4.2.                                                                     | Fale magnetohydrodynamiczne . . . . .                                          | 595        |
| 18.1.4.3.                                                                     | Fale elektromagnetyczne w plazmie . . . . .                                    | 595        |
| 18.1.4.4.                                                                     | Tłumienie Landaua . . . . .                                                    | 596        |
| 18.2.                                                                         | Wytwarzanie plazmy . . . . .                                                   | 596        |
| 18.2.1.                                                                       | Termiczne wytwarzanie plazmy . . . . .                                         | 597        |
| 18.2.2.                                                                       | Wytwarzanie plazmy przez kompresję . . . . .                                   | 597        |
| 18.2.2.1.                                                                     | Skurcz magnetyczny . . . . .                                                   | 597        |
| 18.3.                                                                         | Wytwarzanie energii za pomocą plazmy . . . . .                                 | 599        |
| 18.3.1.                                                                       | Generator MHD . . . . .                                                        | 599        |
| 18.3.2.                                                                       | Reaktory termojądrowe . . . . .                                                | 600        |
| 18.3.3.                                                                       | Reakcja termojądrowa w pułapce magnetycznej . . . . .                          | 601        |
| 18.3.4.                                                                       | Reakcje termojądrowe w zamknięciu bezwładnościowym . . . . .                   | 602        |
| <b>OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM . . . . .</b> |                                                                                | <b>604</b> |
| <b>19. TABELA DO DZIAŁU ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM . . . . .</b>               |                                                                                | <b>606</b> |
| 19.1.                                                                         | Metale i stopy . . . . .                                                       | 606        |
| 19.1.1.                                                                       | Opór elektryczny właściwy (oporność) . . . . .                                 | 606        |
| 19.1.2.                                                                       | Szereg napięciowy . . . . .                                                    | 608        |
| 19.2.                                                                         | Dielektryki . . . . .                                                          | 611        |
| 19.3.                                                                         | Praktyczne tabele elektrotechniki . . . . .                                    | 617        |
| 19.4.                                                                         | Własności magnetyczne . . . . .                                                | 619        |
| 19.5.                                                                         | Własności ferromagnetyczne . . . . .                                           | 622        |
| 19.5.1.                                                                       | Anizotropia magnetyczna . . . . .                                              | 624        |
| 19.6.                                                                         | Ferryty . . . . .                                                              | 626        |
| 19.7.                                                                         | Antyferromagnetyki . . . . .                                                   | 626        |
| 19.8.                                                                         | Ruchliwość jonów . . . . .                                                     | 627        |
| <b>TERMODYNAMIKA</b>                                                          |                                                                                |            |
| <b>20. RÓWNOWAGA TERMODYNAMICZNA I RÓWNANIA STANU . . . . .</b>               |                                                                                | <b>631</b> |
| 20.1.                                                                         | Układy, fazy i równowaga . . . . .                                             | 631        |
| 20.1.1.                                                                       | Układy . . . . .                                                               | 631        |
| 20.1.1.1.                                                                     | Układy izolowane . . . . .                                                     | 631        |
| 20.1.1.2.                                                                     | Układy zamknięte . . . . .                                                     | 632        |
| 20.1.1.3.                                                                     | Układy otwarte . . . . .                                                       | 632        |
| 20.1.2.                                                                       | Fazy . . . . .                                                                 | 632        |
| 20.1.3.                                                                       | Równowaga . . . . .                                                            | 633        |
| 20.1.3.1.                                                                     | Warunki równowagi . . . . .                                                    | 634        |
| 20.2.                                                                         | Parametry termodynamiczne . . . . .                                            | 635        |
| 20.2.1.                                                                       | Parametr termodynamiczny, czyli parametr stanu: definicja pojęcia . . . . .    | 635        |

|              |                                                                        |     |
|--------------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 20.2.1.1.    | Ekstensywne parametry stanu                                            | 636 |
| 20.2.1.2.    | Intensywne parametry stanu                                             | 636 |
| 20.2.1.3.    | Wielkości właściwe i molowe                                            | 637 |
| 20.2.2.      | Temperatura                                                            | 637 |
| 20.2.2.1.    | Jednostki temperatury                                                  | 638 |
| 20.2.2.2.    | Punkty wzorcowe                                                        | 639 |
| 20.2.2.3.    | Pomiar temperatury                                                     | 639 |
| 20.2.2.4.    | Skala Kelvina i zero bezwzględne                                       | 641 |
| 20.2.3.      | Ciśnienie                                                              | 642 |
| 20.2.3.1.    | Jednostki ciśnienia                                                    | 643 |
| 20.2.3.2.    | Pomiar ciśnienia                                                       | 645 |
| 20.2.4.      | Liczba cząstek, liczność materii i liczba Avogadra                     | 646 |
| 20.2.5.      | Entropia                                                               | 649 |
| <b>20.3.</b> | <b>Potencjały termodynamiczne</b>                                      | 651 |
| 20.3.1.      | Zasada maksymalnej entropii — zasada minimalnej energii                | 651 |
| 20.3.2.      | Energia wewnętrzna jako potencjał termodynamiczny                      | 651 |
| 20.3.2.1.    | Energia wewnętrzna gazu doskonałego                                    | 652 |
| 20.3.3.      | Entropia jako potencjał termodynamiczny                                | 652 |
| 20.3.3.1.    | Entropia gazu doskonałego                                              | 652 |
| 20.3.4.      | Energia swobodna                                                       | 653 |
| 20.3.5.      | Entalpia                                                               | 654 |
| 20.3.5.1.    | Entalpia gazu doskonałego                                              | 655 |
| 20.3.5.2.    | Entalpia i przemiany fazowe                                            | 655 |
| 20.3.5.3.    | Entalpia reakcji i prawo Hessa                                         | 656 |
| 20.3.6.      | Entalpia swobodna                                                      | 656 |
| 20.3.6.1.    | Reakcje chemiczne                                                      | 657 |
| 20.3.6.2.    | Reguła Le Chateliera–Brauna                                            | 658 |
| 20.3.7.      | Relacje Maxwella                                                       | 658 |
| 20.3.8.      | Stabilność termodynamiczna                                             | 659 |
| <b>20.4.</b> | <b>Gaz doskonały</b>                                                   | 660 |
| 20.4.1.      | Prawo Boyle’a–Mariotte’a                                               | 660 |
| 20.4.2.      | Prawo Gay-Lussaca                                                      | 661 |
| 20.4.3.      | Równanie stanu                                                         | 663 |
| <b>20.5.</b> | <b>Kinetyczna teoria gazów doskonałych</b>                             | 663 |
| 20.5.1.      | Ciśnienie i temperatura                                                | 663 |
| 20.5.1.1.    | Prędkość średnia kwadratowa                                            | 664 |
| 20.5.2.      | Rozkład Maxwella–Boltzmann                                             | 665 |
| 20.5.3.      | Stopnie swobody                                                        | 667 |
| 20.5.4.      | Zasada ekwipartycji energii                                            | 668 |
| 20.5.5.      | Zjawiska transportu w gazach                                           | 668 |
| <b>20.6.</b> | <b>Równania stanu</b>                                                  | 671 |
| 20.6.1.      | Równanie stanu gazu doskonałego                                        | 671 |
| 20.6.1.1.    | Stale gazowe                                                           | 672 |
| 20.6.1.2.    | Mieszaniny gazów                                                       | 674 |
| 20.6.1.3.    | Obliczanie poszczególnych parametrów z równania stanu gazu doskonałego | 674 |
| 20.6.1.4.    | Wzór barometryczny                                                     | 675 |
| 20.6.2.      | Równanie stanu gazów rzeczywistych                                     | 675 |
| 20.6.2.1.    | Rozwinięcie wirialne równania stanu gazu rzeczywistego                 | 676 |
| 20.6.2.2.    | Równanie van der Waalsa                                                | 676 |

|           |                                                        |     |
|-----------|--------------------------------------------------------|-----|
| 20.6.2.3. | Obszar współistnienia faz . . . . .                    | 678 |
| 20.6.2.4. | Punkt krytyczny . . . . .                              | 679 |
| 20.6.2.5. | Zredukowane równanie van der Waalsa . . . . .          | 680 |
| 20.6.2.6. | Rozwinięcie wirialne równania van der Waalsa . . . . . | 680 |
| 20.6.3.   | Równania stanu dla ciał stałych i cieczy . . . . .     | 681 |
| 20.6.3.1. | Anomalna rozszerzalność wody . . . . .                 | 683 |

## 21. CIEPŁO I PRZEMIANY TERMODYNAMICZNE . . . . . 685

|           |                                                                   |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 21.1.     | Formy energii . . . . .                                           | 685 |
| 21.1.1.   | Jednostki energii . . . . .                                       | 685 |
| 21.1.1.1. | Jednostki poza układem SI . . . . .                               | 685 |
| 21.1.2.   | Praca . . . . .                                                   | 686 |
| 21.1.3.   | Potencjał chemiczny . . . . .                                     | 687 |
| 21.1.4.   | Ciepło . . . . .                                                  | 688 |
| 21.1.4.1. | Ciepło właściwe . . . . .                                         | 689 |
| 21.2.     | Przemiany energii . . . . .                                       | 689 |
| 21.2.1.   | Przemiana energii w ciepło . . . . .                              | 689 |
| 21.2.1.1. | Energia elektryczna . . . . .                                     | 689 |
| 21.2.1.2. | Energia mechaniczna . . . . .                                     | 690 |
| 21.2.1.3. | Ciepło spalania . . . . .                                         | 691 |
| 21.2.1.4. | Energia słoneczna . . . . .                                       | 692 |
| 21.2.2.   | Przemiana ciepła w inne formy energii . . . . .                   | 693 |
| 21.2.3.   | Egzergia i anergia . . . . .                                      | 693 |
| 21.3.     | Pojemność cieplna . . . . .                                       | 694 |
| 21.3.1.   | Całkowita pojemność cieplna . . . . .                             | 694 |
| 21.3.1.1. | Pojemność cieplna mieszaniny substancji . . . . .                 | 695 |
| 21.3.1.2. | Równoważnik wodny . . . . .                                       | 695 |
| 21.3.2.   | Ciepło molowe . . . . .                                           | 696 |
| 21.3.3.   | Ciepło właściwe . . . . .                                         | 697 |
| 21.3.3.1. | Inne własności ciepła właściwego . . . . .                        | 698 |
| 21.3.3.2. | Ciepło właściwe mieszanin substancji . . . . .                    | 698 |
| 21.3.3.3. | Ciepło właściwe gazów . . . . .                                   | 699 |
| 21.3.3.4. | Ciepło właściwe gazu doskonałego . . . . .                        | 699 |
| 21.3.3.5. | Wykładnik adiabaty . . . . .                                      | 701 |
| 21.3.3.6. | Ciepło właściwe cieczy i ciał stałych . . . . .                   | 701 |
| 21.4.     | Przemiany termodynamiczne . . . . .                               | 701 |
| 21.4.1.   | Procesy odwracalne i nieodwracalne . . . . .                      | 701 |
| 21.4.2.   | Przemiana izotermiczna . . . . .                                  | 703 |
| 21.4.3.   | Przemiana izobaryczna . . . . .                                   | 704 |
| 21.4.4.   | Przemiana izochoryczna . . . . .                                  | 705 |
| 21.4.5.   | Przemiana adiabatyczna (izentropowa) . . . . .                    | 706 |
| 21.4.5.1. | Przemiana politropowa . . . . .                                   | 707 |
| 21.4.6.   | Stany równowagowe . . . . .                                       | 708 |
| 21.5.     | Zasady termodynamiki . . . . .                                    | 709 |
| 21.5.1.   | Zasada zerowa . . . . .                                           | 709 |
| 21.5.2.   | Pierwsza zasada termodynamiki . . . . .                           | 709 |
| 21.5.2.1. | Równoważne sformułowania pierwszej zasady termodynamiki . . . . . | 711 |
| 21.5.2.2. | Aspekty mikroskopowe pierwszej zasady termodynamiki . . . . .     | 711 |
| 21.5.3.   | Druga zasada termodynamiki . . . . .                              | 712 |
| 21.5.4.   | Trzecia zasada termodynamiki . . . . .                            | 713 |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>21.6. Cykl Carnota</b>                                                | 713 |
| 21.6.1. Zasada i zastosowanie                                            | 713 |
| 21.6.1.1. Etapy cyklu Carnota                                            | 714 |
| 21.6.1.2. Bilans energetyczny i sprawność cyklu Carnota                  | 716 |
| 21.6.2. Ciepło zredukowane                                               | 717 |
| <b>21.7. Silniki cieplne</b>                                             | 718 |
| 21.7.1. Cykl prosty i cykl odwrótny                                      | 718 |
| 21.7.2. Pompa ciepła i chłodziarka                                       | 718 |
| 21.7.3. Cykl Stirlinga                                                   | 720 |
| 21.7.4. Maszyna parowa (silnik parowy)                                   | 721 |
| 21.7.5. Układy otwarte                                                   | 722 |
| 21.7.6. Silniki: Otta i Diesla                                           | 723 |
| 21.7.6.1. Cykl Otta                                                      | 723 |
| 21.7.6.2. Cykl (obieg) Diesla                                            | 724 |
| 21.7.7. Turbiny gazowe (spalinowe)                                       | 725 |
| <b>21.8. Skraplanie gazów</b>                                            | 726 |
| 21.8.1. Wytwarzanie niskich temperatur                                   | 726 |
| 21.8.1.1. Mieszaniny chłodzące                                           | 726 |
| 21.8.1.2. Ciepło rozpuszczania                                           | 726 |
| 21.8.1.3. Pompa ciepła                                                   | 727 |
| 21.8.2. Efekt Joule'a-Thomsona                                           | 727 |
| 21.8.2.1. Obieg Lindego                                                  | 728 |
| 21.8.2.2. Obieg Claude'a                                                 | 729 |
| <b>22. PRZEMIANY FAZOWE</b>                                              | 730 |
| <b>22.1. Fazy i stany skupienia</b>                                      | 730 |
| 22.1.1. Faza                                                             | 730 |
| 22.1.2. Stany skupienia                                                  | 730 |
| 22.1.3. Zmiany stanu skupienia                                           | 731 |
| 22.1.4. Para                                                             | 732 |
| <b>22.2. Rodzaj przemiany fazowej</b>                                    | 733 |
| 22.2.1. Przemiana fazowa pierwszego rodzaju                              | 734 |
| 22.2.2. Przemiana fazowa drugiego rodzaju                                | 734 |
| 22.2.3. Przejścia typu lambda                                            | 735 |
| 22.2.4. Obszar współistnienia faz                                        | 735 |
| 22.2.5. Wykładniki (indeksy) krytyczne                                   | 735 |
| <b>22.3. Przemiany fazowe i gaz van der Waalsa</b>                       | 737 |
| 22.3.1. Równowaga faz                                                    | 737 |
| 22.3.2. Konstrukcja Maxwella                                             | 737 |
| 22.3.3. Przegrzanie cieczy, zahamowanie wrzenia i zahamowanie skraplania | 739 |
| 22.3.4. Zasada stanów zgodnych                                           | 740 |
| <b>22.4. Przykłady przemian fazowych</b>                                 | 741 |
| 22.4.1. Magnetyczne przemiany fazowe                                     | 741 |
| 22.4.2. Przemiany fazowe typu porządek-nieporządek                       | 741 |
| 22.4.3. Przemiany struktury krystalicznej                                | 742 |
| 22.4.4. Ciekłe kryształy                                                 | 744 |
| 22.4.5. Nadprzewodnictwo                                                 | 744 |
| 22.4.6. Nadciekłość (nadpłynność)                                        | 745 |
| <b>22.5. Mieszaniny gazów</b>                                            | 745 |

|                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>27. FIZYKA CZĄSTEK ELEMENTARNYCH — MODEL STANDARDOWY</b>                          | <b>894</b> |
| <b>27.1. Unifikacja opisu oddziaływań</b>                                            | 894        |
| 27.1.1. Model Standardowy                                                            | 894        |
| 27.1.1.1. Oddziaływanie grawitacyjne                                                 | 895        |
| 27.1.1.2. Oddziaływanie elektromagnetyczne                                           | 895        |
| 27.1.1.3. Oddziaływanie słabe                                                        | 896        |
| 27.1.1.4. Oddziaływanie silne                                                        | 897        |
| 27.1.2. Bozony cechowania                                                            | 898        |
| 27.1.3. Fermiony i bozony                                                            | 900        |
| <b>27.2. Leptony, kwarki i bozony wektorowe</b>                                      | 902        |
| 27.2.1. Leptony                                                                      | 902        |
| 27.2.2. Kwarki                                                                       | 903        |
| 27.2.3. Hadrony                                                                      | 905        |
| 27.2.4. Akceleratory i detektory                                                     | 910        |
| <b>27.3. Symetrie a prawa zachowania</b>                                             | 912        |
| 27.3.1. Zachowanie parzystości a oddziaływania słabe                                 | 912        |
| 27.3.2. Zachowanie ładunku i tworzenie się par                                       | 914        |
| 27.3.3. Sprzężenie ładunkowe a antycząstki                                           | 915        |
| 27.3.4. Niezmienniczość względem przekształcenia odwrócenia czasu i reakcje odwrotne | 915        |
| 27.3.5. Prawa zachowania                                                             | 916        |
| 27.3.6. Poza Modelem Standardowym                                                    | 917        |
| <b>28. FIZYKA JĄDROWA</b>                                                            | 919        |
| <b>28.1. Elementy strukturalne jądra atomowego</b>                                   | 919        |
| <b>28.2. Podstawowe elementy opisu jądra atomowego</b>                               | 922        |
| <b>28.3. Oddziaływanie nukleon–nukleon</b>                                           | 925        |
| 28.3.1. Fenomenologiczne postaci potencjału oddziaływania nukleon–nukleon            | 925        |
| 28.3.2. Mezonowe potencjały wymiany                                                  | 926        |
| <b>28.4. Modele jądra atomowego</b>                                                  | 927        |
| 28.4.1. Model gazu Fermiego                                                          | 927        |
| 28.4.2. Materia jądrowa                                                              | 928        |
| 28.4.3. Model kropłowy                                                               | 928        |
| 28.4.4. Model powłokowy                                                              | 930        |
| 28.4.5. Model kolektywny                                                             | 933        |
| <b>28.5. Reakcje jądrowe</b>                                                         | 935        |
| 28.5.1. Kanały reakcji i przekroje czynne                                            | 935        |
| 28.5.2. Prawa zachowania w reakcjach jądrowych                                       | 939        |
| 28.5.2.1. Zachowanie energii i pędu                                                  | 939        |
| 28.5.2.2. Zachowanie momentu pędu                                                    | 940        |
| 28.5.3. Rozpraszanie sprężyste                                                       | 941        |
| 28.5.4. Reakcje z udziałem jąder złożonych                                           | 942        |
| 28.5.5. Model optyczny                                                               | 944        |
| 28.5.6. Reakcja bezpośrednia                                                         | 945        |
| 28.5.7. Reakcje ciężkojonowe                                                         | 946        |
| 28.5.8. Rozszczepienie jądra                                                         | 950        |

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| <b>28.6. Rozpad jądra</b>                                | 952  |
| 28.6.1. Prawo rozpadu promieniotwórczego                 | 953  |
| 28.6.2. Rozpad $\alpha$                                  | 957  |
| 28.6.3. Rozpad $\beta$                                   | 958  |
| 28.6.4. Rozpad $\gamma$                                  | 961  |
| 28.6.5. Emisja nukleonów i gron                          | 962  |
| <b>28.7. Reaktor jądrowy</b>                             | 963  |
| 28.7.1. Typy reaktorów                                   | 965  |
| <b>28.8. Synteza jąder</b>                               | 967  |
| <b>28.9. Oddziaływanie promieniowania z materią</b>      | 970  |
| 28.9.1. Cząstki jonizujące                               | 970  |
| 28.9.2. Promieniowanie $\gamma$                          | 973  |
| <b>28.10. Dozymetria</b>                                 | 975  |
| 28.10.1. Metody pomiaru dawki                            | 979  |
| 28.10.2. Promieniotwórczość środowiska                   | 981  |
| <b>29. FIZYKA CIAŁA STAŁEGO</b>                          | 984  |
| <b>29.1. Struktura ciała stałego</b>                     | 984  |
| 29.1.1. Niektóre podstawowe pojęcia fizyki ciała stałego | 984  |
| 29.1.2. Budowa kryształów                                | 985  |
| 29.1.3. Sieci Bravais'go                                 | 987  |
| 29.1.3.1. Proste struktury krystalograficzne             | 990  |
| 29.1.4. Metody badań strukturalnych                      | 991  |
| 29.1.5. Porównanie wiązań w kryształach                  | 994  |
| <b>29.2. Defekty sieci krystalicznej</b>                 | 998  |
| 29.2.1. Defekty punktowe                                 | 998  |
| 29.2.2. Defekty jednowymiarowe                           | 999  |
| 29.2.3. Defekty powierzchniowe                           | 1001 |
| 29.2.4. Amorficzne ciała stałe                           | 1002 |
| <b>29.3. Mechaniczne właściwości materiałów</b>          | 1003 |
| 29.3.1. Wielkocząsteczkowe ciała stałe                   | 1003 |
| 29.3.1.1. Polimery                                       | 1004 |
| 29.3.1.2. Termoplasty                                    | 1006 |
| 29.3.1.3. Elastomery                                     | 1006 |
| 29.3.1.4. Duroplasty                                     | 1006 |
| 29.3.2. Tworzywa wielowarstwowe                          | 1007 |
| 29.3.3. Stopy                                            | 1007 |
| 29.3.4. Ciekłe kryształy                                 | 1010 |
| <b>29.4. Fonony i drgania sieci</b>                      | 1011 |
| 29.4.1. Fale sprężyste                                   | 1011 |
| 29.4.2. Fonony i ciepło właściwe                         | 1015 |
| 29.4.3. Model Einsteina                                  | 1016 |
| 29.4.4. Model Debye'a                                    | 1017 |
| 29.4.5. Przewodzenie ciepła                              | 1019 |
| <b>29.5. Elektrony w ciele stałym</b>                    | 1021 |
| 29.5.1. Swobodny gaz elektronowy                         | 1021 |
| 29.5.2. Model pasmowy                                    | 1027 |
| <b>29.6. Półprzewodniki</b>                              | 1032 |
| 29.6.1. Przewodnictwo niesamoistne                       | 1035 |

|                                                               |                                                                                         |             |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 29.6.2.                                                       | Dioda półprzewodnikowa . . . . .                                                        | 1038        |
| 29.6.3.                                                       | Tranzystor . . . . .                                                                    | 1046        |
| 29.6.3.1.                                                     | Tranzystory bipolarne . . . . .                                                         | 1046        |
| 29.6.3.2.                                                     | Układy podstawowe . . . . .                                                             | 1048        |
| 29.6.3.3.                                                     | Tranzystor Darlingtona . . . . .                                                        | 1053        |
| 29.6.4.                                                       | Tranzystory polowe . . . . .                                                            | 1053        |
| 29.6.4.1.                                                     | Tranzystor polowy złączowy (Junction FET) . . . . .                                     | 1053        |
| 29.6.4.2.                                                     | Tranzystory polowe z izolowaną bramką (Insulated Gate FET<br>– IGFET, MOSFET) . . . . . | 1055        |
| 29.6.5.                                                       | Tyrystor . . . . .                                                                      | 1056        |
| 29.6.5.1.                                                     | Triak (tyrystor dwukierunkowy) . . . . .                                                | 1057        |
| 29.6.5.2.                                                     | Tyrystor wyłączany bramką (GTO) . . . . .                                               | 1058        |
| 29.6.5.3.                                                     | Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) . . . . .                                      | 1058        |
| 29.6.6.                                                       | Układy scalone (IC) . . . . .                                                           | 1059        |
| 29.6.6.1.                                                     | Wytwarzanie układów scalonych . . . . .                                                 | 1059        |
| 29.6.6.2.                                                     | Wytwarzanie struktur połączeń . . . . .                                                 | 1059        |
| 29.6.7.                                                       | Wzmacniacz operacyjny . . . . .                                                         | 1061        |
| 29.6.7.1.                                                     | Wzmacniacz operacyjny z ujemnym sprzężeniem zwrotnym . . . . .                          | 1063        |
| 29.6.7.2.                                                     | Wzmacniacz odwracający . . . . .                                                        | 1063        |
| 29.6.7.3.                                                     | Wzmacniacz sumujący . . . . .                                                           | 1064        |
| 29.6.7.4.                                                     | Integrator . . . . .                                                                    | 1065        |
| 29.6.7.5.                                                     | Wzmacniacz różniczkujący . . . . .                                                      | 1065        |
| 29.6.7.6.                                                     | Wtórnik napięciowy . . . . .                                                            | 1066        |
| 29.6.7.7.                                                     | Wzmacniacz operacyjny z dodatnim sprzężeniem zwrotnym . . . . .                         | 1066        |
| 29.6.7.8.                                                     | Przerzutnik Schmitta . . . . .                                                          | 1066        |
| 29.7.                                                         | Nadprzewodnictwo . . . . .                                                              | 1067        |
| 29.7.1.                                                       | Podstawowe właściwości nadprzewodników . . . . .                                        | 1068        |
| 29.7.2.                                                       | Nadprzewodniki wysokotemperaturowe . . . . .                                            | 1072        |
| 29.8.                                                         | Właściwości magnetyczne . . . . .                                                       | 1074        |
| 29.8.1.                                                       | Ferromagnetyzm . . . . .                                                                | 1076        |
| 29.8.2.                                                       | Antyferromagnetyzm i ferrimagnetyzm . . . . .                                           | 1079        |
| 29.9.                                                         | Właściwości dielektryczne . . . . .                                                     | 1080        |
| 29.9.1.                                                       | Paraelektryki . . . . .                                                                 | 1084        |
| 29.9.2.                                                       | Ferroelektryki . . . . .                                                                | 1085        |
| 29.10.                                                        | Właściwości optyczne kryształów . . . . .                                               | 1086        |
| 29.10.1.                                                      | Ekscytyny i ich właściwości . . . . .                                                   | 1086        |
| 29.10.2.                                                      | Fotoprzewodnictwo . . . . .                                                             | 1088        |
| 29.10.3.                                                      | Luminescencja . . . . .                                                                 | 1089        |
| 29.10.4.                                                      | Właściwości optoelektryczne . . . . .                                                   | 1089        |
| <b>OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE FIZYKA KWANTOWA . .</b> |                                                                                         | <b>1091</b> |
| <b>30. TABELA DO DZIAŁU FIZYKA KWANTOWA . . . . .</b>         |                                                                                         | <b>1096</b> |
| 30.1.                                                         | Potencjały jonizacji . . . . .                                                          | 1096        |
| 30.1.1.                                                       | Energie jonizacji pierwiastków . . . . .                                                | 1096        |
| 30.2.                                                         | Promienie atomów i jonów pierwiastków . . . . .                                         | 1101        |
| 30.3.                                                         | Emisja elektronów . . . . .                                                             | 1104        |
| 30.4.                                                         | Promieniowanie rentgenowskie . . . . .                                                  | 1108        |
| 30.5.                                                         | Reakcje jądrowe . . . . .                                                               | 1108        |

|                                                                        |      |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| 30.6. Oddziaływanie promieniowania z materią                           | 1109 |
| 30.7. Zjawisko Halla                                                   | 1110 |
| 30.8. Nadprzewodniki                                                   | 1111 |
| 30.9. Półprzewodniki                                                   | 1113 |
| 30.9.1. Ciepłne, magnetyczne i elektryczne właściwości półprzewodników | 1113 |

## DODATEK

|                                                |      |
|------------------------------------------------|------|
| 31. POMIAR I BŁĄD POMIARU                      | 1117 |
| 31.1. Opis pomiaru                             | 1117 |
| 31.1.1. Wielkości i jednostki SI               | 1117 |
| 31.2. Rachunek błędów i statystyka             | 1120 |
| 31.2.1. Rodzaje błędów                         | 1120 |
| 31.2.1.1. Wynik pomiaru                        | 1120 |
| 31.2.2. Błąd pomiaru                           | 1120 |
| 31.2.2.1. Propagacja błędów                    | 1122 |
| 31.2.3. Wartości średnie serii pomiarowych     | 1122 |
| 31.2.4. Rozrzut                                | 1124 |
| 31.2.5. Korelacja                              | 1125 |
| 31.2.6. Rachunek wyrównawczy, regresja         | 1125 |
| 31.2.7. Rozkłady częstości zdarzeń             | 1126 |
| 31.2.7.1. Szczególne rozkłady dyskretne        | 1128 |
| 31.2.7.2. Szczególne rozkłady ciągłe           | 1129 |
| 31.2.8. Niezawodność                           | 1131 |
| 32. RACHUNEK WEKTOROWY                         | 1134 |
| 32.1. Wektory i skalary                        | 1134 |
| 32.2. Mnożenie wektora przez skalar            | 1135 |
| 32.3. Dodawanie i odejmowanie wektorów         | 1135 |
| 32.4. Mnożenie wektorów                        | 1136 |
| 33. RACHUNEK RÓŻNICZKOWY I CAŁKOWY             | 1139 |
| 33.1. Rachunek różniczkowy                     | 1139 |
| 33.1.1. Reguły różniczkowania                  | 1139 |
| 33.2. Rachunek całkowy                         | 1140 |
| 33.2.1. Reguły całkowania                      | 1141 |
| 33.2.2. Pochodne i całki funkcji elementarnych | 1142 |
| 34. UKŁAD SI                                   | 1143 |
| Skorowidz                                      | 1149 |