

---

## spis rzeczy

---

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Spis rzeczy części 2 tomu I . . . . .                                       | 9  |
| Przedmowa Feynmana . . . . .                                                | 11 |
| Słowo wstępne . . . . .                                                     | 15 |
| Od Wydawnictwa . . . . .                                                    | 17 |
| Rozdział 1. <i>Atomy w ruchu</i> . . . . .                                  | 19 |
| 1-1. Wstęp . . . . .                                                        | 19 |
| 1-2. Materia składa się z atomów . . . . .                                  | 21 |
| 1-3. Procesy zachodzące między atomami . . . . .                            | 25 |
| 1-4. Reakcje chemiczne . . . . .                                            | 28 |
| Rozdział 2. <i>Podstawy fizyki</i> . . . . .                                | 33 |
| 2-1. Wstęp . . . . .                                                        | 33 |
| 2-2. Sytuacja w fizyce przed rokiem 1920 . . . . .                          | 36 |
| 2-3. Fizyka kwantowa . . . . .                                              | 40 |
| 2-4. Jądra i cząstki . . . . .                                              | 43 |
| Rozdział 3. <i>Związek fizyki z innymi naukami przyrodniczymi</i> . . . . . | 49 |
| 3-1. Wstęp . . . . .                                                        | 49 |
| 3-2. Chemia . . . . .                                                       | 49 |
| 3-3. Biologia . . . . .                                                     | 51 |
| 3-4. Astronomia . . . . .                                                   | 57 |
| 3-5. Geologia . . . . .                                                     | 58 |
| 3-6. Psychologia . . . . .                                                  | 60 |
| 3-7. Jak do tego doszło? . . . . .                                          | 60 |
| Rozdział 4. <i>Zasada zachowania energii</i> . . . . .                      | 63 |
| 4-1. Co to jest energia? . . . . .                                          | 63 |
| 4-2. Grawitacyjna energia potencjalna . . . . .                             | 65 |
| 4-3. Energia kinetyczna . . . . .                                           | 70 |
| 4-4. Inne postacie energii . . . . .                                        | 71 |
| Rozdział 5. <i>Czas i odległość</i> . . . . .                               | 75 |
| 5-1. Ruch . . . . .                                                         | 75 |
| 5-2. Czas . . . . .                                                         | 76 |

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| 5-3. Krótkie okresy czasu . . . . .                      | 77  |
| 5-4. Długie okresy czasu . . . . .                       | 79  |
| 5-5. Jednostki i wzorce czasu . . . . .                  | 81  |
| 5-6. Duże odległości . . . . .                           | 82  |
| 5-7. Małe odległości . . . . .                           | 85  |
| Rozdział 6. <i>Prawdopodobieństwo</i> . . . . .          | 89  |
| 6-1. Szansa i prawdopodobieństwo . . . . .               | 89  |
| 6-2. Fluktuacje . . . . .                                | 91  |
| 6-3. Błądzenie przypadkowe . . . . .                     | 95  |
| 6-4. Rozkład prawdopodobieństwa . . . . .                | 99  |
| 6-5. Zasada nieoznaczoności . . . . .                    | 103 |
| Rozdział 7. <i>Teoria grawitacji</i> . . . . .           | 106 |
| 7-1. Ruchy planet . . . . .                              | 106 |
| 7-2. Prawa Keplera . . . . .                             | 107 |
| 7-3. Powstanie dynamiki . . . . .                        | 108 |
| 7-4. Prawo powszechnego ciążenia Newtona . . . . .       | 109 |
| 7-5. Prawo powszechnego ciążenia . . . . .               | 112 |
| 7-6. Doświadczenie Cavendisha . . . . .                  | 118 |
| 7-7. Czym jest grawitacja? . . . . .                     | 119 |
| 7-8. Grawitacja a teoria względności . . . . .           | 122 |
| Rozdział 8. <i>Ruch</i> . . . . .                        | 124 |
| 8-1. Opis ruchu . . . . .                                | 124 |
| 8-2. Szybkość . . . . .                                  | 127 |
| 8-3. Szybkość jako pochodna . . . . .                    | 131 |
| 8-4. Droga jako całka . . . . .                          | 133 |
| 8-5. Przyspieszenie . . . . .                            | 135 |
| Rozdział 9. <i>Prawa dynamiki Newtona</i> . . . . .      | 139 |
| 9-1. Pęd i siła . . . . .                                | 139 |
| 9-2. Szybkość a prędkość . . . . .                       | 141 |
| 9-3. Składowe prędkości, przyspieszenia i siły . . . . . | 142 |
| 9-4. Co to jest siła? . . . . .                          | 143 |
| 9-5. Znaczenie równań ruchu . . . . .                    | 144 |
| 9-6. Numeryczne rozwiązanie równań ruchu . . . . .       | 145 |
| 9-7. Ruchy planet . . . . .                              | 148 |
| Rozdział 10. <i>Zasada zachowania pędu</i> . . . . .     | 153 |
| 10-1. Trzecie prawo Newtona . . . . .                    | 153 |
| 10-2. Zasada zachowania pędu . . . . .                   | 155 |
| 10-3. Zachowanie pędu jest faktem! . . . . .             | 158 |
| 10-4. Pęd i energia . . . . .                            | 163 |
| 10-5. Pęd relatywistyczny . . . . .                      | 165 |
| Rozdział 11. <i>Wektory</i> . . . . .                    | 168 |
| 11-1. Symetria w fizyce . . . . .                        | 168 |
| 11-2. Przesunięcia . . . . .                             | 169 |
| 11-3. Obroty . . . . .                                   | 171 |
| 11-4. Wektory . . . . .                                  | 174 |
| 11-5. Algebra wektorów . . . . .                         | 176 |

|                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------|------------|
| 11-6. Wektorowy zapis praw Newtona . . . . .                   | 178        |
| 11-7. Iloczyn skalarny wektorów . . . . .                      | 180        |
| <b>Rozdział 12. Cechy charakterystyczne siły . . . . .</b>     | <b>183</b> |
| 12-1. Co to jest siła? . . . . .                               | 183        |
| 12-2. Tarcie . . . . .                                         | 186        |
| 12-3. Siły molekularne . . . . .                               | 190        |
| 12-4. Siły podstawowe. Pola . . . . .                          | 191        |
| 12-5. Siły pozorne . . . . .                                   | 196        |
| 12-6. Siły jądrowe . . . . .                                   | 199        |
| <b>Rozdział 13. Praca i energia potencjalna (I) . . . . .</b>  | <b>200</b> |
| 13-1. Energia spadającego ciała . . . . .                      | 200        |
| 13-2. Praca siły ciężkości . . . . .                           | 204        |
| 13-3. Sumowanie energii . . . . .                              | 208        |
| 13-4. Pole grawitacyjne wielkich ciał . . . . .                | 210        |
| <b>Rozdział 14. Praca i energia potencjalna (II) . . . . .</b> | <b>214</b> |
| 14-1. Praca . . . . .                                          | 214        |
| 14-2. Ruch ciała nieswobodnego . . . . .                       | 216        |
| 14-3. Siły zachowawcze . . . . .                               | 217        |
| 14-4. Siły niezachowawcze . . . . .                            | 221        |
| 14-5. Potencjały i pola . . . . .                              | 223        |
| <b>Rozdział 15. Szczególna teoria względności . . . . .</b>    | <b>227</b> |
| 15-1. Zasada względności . . . . .                             | 227        |
| 15-2. Przekształcenie Lorentza . . . . .                       | 230        |
| 15-3. Doświadczenie Michelsona–Morleya . . . . .               | 231        |
| 15-4. Transformacja czasu . . . . .                            | 234        |
| 15-5. Skrócenie lorentzowskie . . . . .                        | 237        |
| 15-6. Równoczesność . . . . .                                  | 237        |
| 15-7. Czerowektory . . . . .                                   | 238        |
| 15-8. Dynamika relatywistyczna . . . . .                       | 239        |
| 15-9. Równoważność masy i energii . . . . .                    | 240        |
| <b>Rozdział 16. Relatywistyczna energia i pęd . . . . .</b>    | <b>243</b> |
| 16-1. Teoria względności a filozofowie . . . . .               | 243        |
| 16-2. Paradoks bliźniąt . . . . .                              | 246        |
| 16-3. Przekształcenie prędkości . . . . .                      | 247        |
| 16-4. Masa relatywistyczna . . . . .                           | 250        |
| 16-5. Energia relatywistyczna . . . . .                        | 254        |
| <b>Rozdział 17. Czasoprzestrzeń. . . . .</b>                   | <b>257</b> |
| 17-1. Geometria czasoprzestrzeni . . . . .                     | 257        |
| 17-2. Interwały czasoprzestrzenne . . . . .                    | 260        |
| 17-3. Przeszłość, teraźniejszość i przyszłość . . . . .        | 262        |
| 17-4. Więcej o czterowektorach . . . . .                       | 263        |
| 17-5. Algebra czterowektorów . . . . .                         | 266        |
| <b>Rozdział 18. Obroty w dwu wymiarach . . . . .</b>           | <b>269</b> |
| 18-1. Środek masy . . . . .                                    | 269        |
| 18-2. Obrót ciała sztywnego . . . . .                          | 271        |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 18-3. Moment pędu . . . . .                                                          | 275 |
| 18-4. Zachowanie momentu pędu . . . . .                                              | 277 |
| Rozdział 19. <i>Środek masy, moment bezwładności</i> . . . . .                       | 280 |
| 19-1. Własności środka masy . . . . .                                                | 280 |
| 19-2. Znajdowanie położenia środka masy . . . . .                                    | 284 |
| 19-3. Znajdowanie momentu bezwładności . . . . .                                     | 285 |
| 19-4. Energia kinetyczna obrotu . . . . .                                            | 289 |
| Rozdział 20. <i>Obroty w przestrzeni</i> . . . . .                                   | 292 |
| 20-1. Moment siły w trzech wymiarach . . . . .                                       | 292 |
| 20-2. Równania ruchu obrotowego zapisane przy pomocy iloczynów wektorowych . . . . . | 297 |
| 20-3. Girooskop . . . . .                                                            | 299 |
| 20-4. Moment pędu ciała sztywnego . . . . .                                          | 303 |
| Rozdział 21. <i>Oscylator harmoniczny</i> . . . . .                                  | 305 |
| 21-1. Liniowe równania różniczkowe . . . . .                                         | 305 |
| 21-2. Oscylator harmoniczny . . . . .                                                | 306 |
| 21-3. Ruch harmoniczny a ruch po okręgu . . . . .                                    | 309 |
| 21-4. Warunki początkowe . . . . .                                                   | 311 |
| 21-5. Drgania wymuszone . . . . .                                                    | 312 |
| Rozdział 22. <i>Algebra</i> . . . . .                                                | 314 |
| 22-1. Dodawanie i mnożenie . . . . .                                                 | 314 |
| 22-2. Działania odwrotne . . . . .                                                   | 316 |
| 22-3. Abstrahowanie i uogólnianie . . . . .                                          | 317 |
| 22-4. Przybliżanie liczb niewymiernych . . . . .                                     | 318 |
| 22-5. Liczby zespolone . . . . .                                                     | 323 |
| 22-6. Urojone wykładniki potęgowe . . . . .                                          | 326 |
| Rozdział 23. <i>Rezonans</i> . . . . .                                               | 329 |
| 23-1. Liczby zespolone a ruch harmoniczny . . . . .                                  | 329 |
| 23-2. Wymuszony oscylator harmoniczny z tłumieniem . . . . .                         | 332 |
| 23-3. Rezonans elektryczny . . . . .                                                 | 335 |
| 23-4. Rezonans w przyrodzie . . . . .                                                | 338 |
| Rozdział 24. <i>Stany nieustalone</i> . . . . .                                      | 344 |
| 24-1. Energia oscylatora . . . . .                                                   | 344 |
| 24-2. Drgania tłumione . . . . .                                                     | 346 |
| 24-3. Stany nieustalone w obwodach elektrycznych . . . . .                           | 349 |
| Rozdział 25. <i>Układy liniowe; przegląd</i> . . . . .                               | 353 |
| 25-1. Liniowe równania różniczkowe . . . . .                                         | 353 |
| 25-2. Superpozycja rozwiązań . . . . .                                               | 355 |
| 25-3. Drgania w układach liniowych . . . . .                                         | 360 |
| 25-4. Analogie w fizyce . . . . .                                                    | 362 |
| Zadania . . . . .                                                                    | 365 |
| Odpowiedzi do zadań . . . . .                                                        | 407 |
| Skorowidz . . . . .                                                                  | 411 |