

## SPIS TREŚCI

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PRZEDMOWA DO WYDANIA PIĄTEGO .....                                                   | 1  |
| PRZEDMOWA DO WYDANIA SZÓSTEGO .....                                                  | 2  |
| 1. PODSTAWOWE POJĘCIA CHEMII. MASA ATOMOWA I CZĄSTECZKOWA ...                        | 3  |
| 1.1. Zadania i zakres chemii nieorganicznej .....                                    | 3  |
| 1.2. Wczesny rozwój teorii atomistycznej .....                                       | 4  |
| 1.3. Jądrowy model atomu .....                                                       | 6  |
| 1.4. Masa atomowa i cząsteczkowa. Fizyczne metody wyznaczania masy atomowej. ....    | 8  |
| 1.5. Zasady obliczeń stechiometrycznych .....                                        | 14 |
| 1.6. Stała Avogadra i objętość molowa gazu. Bezwzględna masa atomu i cząsteczki .... | 16 |
| 1.7. Chemiczne metody wyznaczania mas atomowych .....                                | 16 |
| 1.8. Rozpowszechnienie pierwiastków w skorupie ziemskiej .....                       | 17 |
| 2. JĄDRO ATOMOWE .....                                                               | 20 |
| 2.1. Nukleony jako składniki jądra atomowego. Izotopy .....                          | 20 |
| 2.2. Energia wiązania nukleonów w jądrze .....                                       | 24 |
| 2.3. Samorzutne przemiany jądrowe .....                                              | 27 |
| 2.4. Szybkość rozpadu promieniotwórczego .....                                       | 29 |
| 2.5. Równowaga promieniotwórcza .....                                                | 31 |
| 2.6. Szeregi promieniotwórcze .....                                                  | 32 |
| 2.7. Proste reakcje jądrowe .....                                                    | 35 |
| 2.8. Sztuczna promieniotwórczość .....                                               | 38 |
| 2.9. Rozszczepienie jąder atomowych .....                                            | 39 |
| 2.10. Reakcje termojądrowe .....                                                     | 43 |
| 2.11. Zastosowanie izotopów w badaniach chemicznych .....                            | 45 |
| 2.12. Rozpowszechnienie i powstanie pierwiastków we Wszechświecie .....              | 47 |
| 3. ELEKTRONOWA STRUKTURA ATOMU .....                                                 | 52 |
| 3.1. Dwoista natura światła i elektronów .....                                       | 52 |
| 3.2. Zasada nieoznaczoności Heisenberga .....                                        | 58 |
| 3.3. Funkcje falowe i równanie Schrödingera .....                                    | 61 |
| 3.4. Atom wodoru .....                                                               | 63 |
| 3.5. Orbitale atomowe wodoru .....                                                   | 67 |
| 3.6. Widmo emisyjne i absorpcyjne wodoru .....                                       | 79 |
| 3.7. Spin elektronowy .....                                                          | 84 |
| 3.8. Orbitale w atomach wieloelektronowych .....                                     | 85 |

|       |                                                                                                                                                 |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.9.  | Rozbudowa powłok elektronowych . . . . .                                                                                                        | 88  |
| 3.10. | Orbitalne i spinowe momenty magnetyczne . . . . .                                                                                               | 100 |
| 3.11. | Termy atomowe . . . . .                                                                                                                         | 102 |
| 3.12. | Energia termów atomowych . . . . .                                                                                                              | 107 |
| 3.13. | Właściwości magnetyczne atomów wieloelektronowych i powstających z nich prostych jonów . . . . .                                                | 111 |
| 3.14. | Efektywna liczba atomowa i ekranowanie elektronów w atomach wieloelektronowych . . . . .                                                        | 116 |
| 4.    | BUDOWA CZĄSTECZKI . . . . .                                                                                                                     | 118 |
| 4.1.  | Główne rodzaje wiązań chemicznych . . . . .                                                                                                     | 118 |
| 4.2.  | Orbitale molekularne . . . . .                                                                                                                  | 123 |
| 4.3.  | Homojądrowe cząsteczki dwuatomowe. Orbitale molekularne $\sigma$ . . . . .                                                                      | 126 |
| 4.4.  | Homojądrowe cząsteczki dwuatomowe zawierające orbitale molekularne $\sigma$ i $\pi$ : cząsteczki $N_2$ , $O_2$ , $F_2$ . . . . .                | 132 |
| 4.5.  | Rząd wiązania . . . . .                                                                                                                         | 136 |
| 4.6.  | Heterojądrowe cząsteczki dwuatomowe . . . . .                                                                                                   | 139 |
| 4.7.  | Wiązania pośrednie pomiędzy wiązaniami kowalencyjnymi a jonowymi. Elektryczność . . . . .                                                       | 142 |
| 4.8.  | Cząsteczki wieloatomowe. Hybrydyzacja orbitali . . . . .                                                                                        | 148 |
| 4.9.  | Cząsteczki wieloatomowe z wiązaniami podwójnymi i potrójnymi. Cząsteczka etylenu i cząsteczka acetylenu . . . . .                               | 156 |
| 4.10. | Promienie kowalencyjne, długość i energia wiązania. Orbitale zdelokalizowane . . . . .                                                          | 159 |
| 5.    | SYMETRIA CZĄSTECZEK . . . . .                                                                                                                   | 166 |
| 5.1.  | Elementy i operacje symetrii . . . . .                                                                                                          | 166 |
| 5.2.  | Punktowe grupy symetrii . . . . .                                                                                                               | 169 |
| 5.3.  | Reprezentacje grup symetrii . . . . .                                                                                                           | 177 |
| 5.4.  | Charaktery reprezentacji grup symetrii . . . . .                                                                                                | 182 |
| 5.5.  | Hybrydyzacja orbitali a symetria cząsteczek . . . . .                                                                                           | 188 |
| 6.    | GAZ DOSKONAŁY I GAZY RZECZYWISTE. SIŁY MIĘDZYCZĄSTECZKOWE . . . . .                                                                             | 195 |
| 6.1.  | Ogólna charakterystyka stanów skupienia . . . . .                                                                                               | 195 |
| 6.2.  | Równanie stanu gazu doskonałego . . . . .                                                                                                       | 195 |
| 6.3.  | Kinetyczna teoria gazów . . . . .                                                                                                               | 199 |
| 6.4.  | Gazy rzeczywiste i równanie van der Waalsa . . . . .                                                                                            | 203 |
| 6.5.  | Siły międzycząsteczkowe . . . . .                                                                                                               | 205 |
| 7.    | CIAŁO STAŁE . . . . .                                                                                                                           | 210 |
| 7.1.  | Ciała anizotropowe i izotropowe . . . . .                                                                                                       | 210 |
| 7.2.  | Symetria kryształów . . . . .                                                                                                                   | 211 |
| 7.3.  | Sieć przestrzenna . . . . .                                                                                                                     | 213 |
| 7.4.  | Prawo wymiernych wskaźników . . . . .                                                                                                           | 217 |
| 7.5.  | Rentgenograficzne metody badania struktury kryształów . . . . .                                                                                 | 219 |
| 7.6.  | Wiązania w sieci przestrzennej kryształów . . . . .                                                                                             | 223 |
| 7.7.  | Promienie atomowe i jonowe . . . . .                                                                                                            | 225 |
| 7.8.  | Sieci przestrzenne: regularna ściennie centrowana, regularna przestrzennie centrowana oraz heksagonalna o najgęstszym ułożeniu atomów . . . . . | 228 |
| 7.9.  | Sieci przestrzenne kryształów jonowych . . . . .                                                                                                | 231 |
| 7.10. | Sieci przestrzenne soli kwasów tlenowych i związków kompleksowych . . . . .                                                                     | 234 |
| 7.11. | Energia sieciowa kryształów jonowych . . . . .                                                                                                  | 236 |
| 7.12. | Teoria pasmowa ciała stałego. Metale, półprzewodniki i izolatory . . . . .                                                                      | 237 |

|         |                                                                                              |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.13.   | Związki chemiczne o niestechiometrycznym składzie .....                                      | 245 |
| 7.14.   | Izomorfizm i polimorfizm .....                                                               | 250 |
| 7.15.   | Wybrane metody badania struktury powierzchni ciał stałych .....                              | 251 |
| 7.15.1. | Skaningowa mikroskopia elektronowa .....                                                     | 252 |
| 7.15.2. | Skaningowy mikroskop tunelowy .....                                                          | 254 |
| 8.      | SPEKTROSKOPOWE METODY BADANIA STRUKTURY CZĄSTECZEK .....                                     | 256 |
| 8.1.    | Fizyczne metody badania struktury cząsteczek .....                                           | 256 |
| 8.2.    | Ogólna charakterystyka metod i zakresu spektroskopii molekularnej .....                      | 257 |
| 8.3.    | Widma rotacyjne .....                                                                        | 260 |
| 8.4.    | Widma oscylacyjne cząsteczek dwuatomowych .....                                              | 265 |
| 8.5.    | Widma oscylacyjne cząsteczek wieloatomowych .....                                            | 269 |
| 8.6.    | Widma oscylacyjne a symetria cząsteczek .....                                                | 272 |
| 8.7.    | Widma oscylacyjno-rotacyjne .....                                                            | 278 |
| 8.8.    | Spektroskopia cząsteczek wody .....                                                          | 280 |
| 8.9.    | Widma elektronowe cząsteczek .....                                                           | 281 |
| 8.10.   | Spektroskopia fotoelektronów .....                                                           | 283 |
| 8.11.   | Elektronowy rezonans paramagnetyczny (EPR) .....                                             | 287 |
| 8.12.   | Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR) .....                                                     | 293 |
| 9.      | TERMOCHEMIA .....                                                                            | 298 |
| 9.1.    | Wstęp .....                                                                                  | 298 |
| 9.2.    | Pierwsza zasada termodynamiki. Energia wewnętrzna .....                                      | 299 |
| 9.3.    | Ciepło reakcji chemicznej, entalpia, prawo Hessa .....                                       | 302 |
| 9.4.    | Równania termochemiczne .....                                                                | 304 |
| 9.5.    | Standardowe entalpie tworzenia związków chemicznych .....                                    | 306 |
| 9.6.    | Entalpie wiązań chemicznych .....                                                            | 308 |
| 10.     | RÓWNOWAGI CHEMICZNE I RÓWNOWAGI FAZOWE .....                                                 | 311 |
| 10.1.   | Układy heterogeniczne i układy homogeniczne .....                                            | 311 |
| 10.2.   | Entalpia swobodna układu i prawo działania mas .....                                         | 312 |
| 10.3.   | Prawo działania mas w zastosowaniu do równowag chemicznych w układach homogenicznych .....   | 319 |
| 10.4.   | Prawo działania mas w zastosowaniu do równowag chemicznych w układach heterogenicznych ..... | 321 |
| 10.5.   | Entropia .....                                                                               | 323 |
| 10.6.   | Molekularna interpretacja entropii .....                                                     | 326 |
| 10.7.   | Zależność położenia stanu równowagi od temperatury i ciśnienia. Reguła przekory ..           | 327 |
| 10.8.   | Równowagi fazowe w układach jednoskładnikowych .....                                         | 329 |
| 10.8.1. | Równowaga ciecz–para i ciało stałe–para .....                                                | 329 |
| 10.8.2. | Diagram fazowy wody .....                                                                    | 333 |
| 10.8.3. | Równowagi odmian polimorficznych .....                                                       | 335 |
| 10.9.   | Reguła faz .....                                                                             | 337 |
| 10.10.  | Roztwory gazów w cieczach .....                                                              | 339 |
| 10.11.  | Roztwory ciał stałych w cieczach .....                                                       | 340 |
| 10.12.  | Prężność pary nasyconej nad roztworami. Temperatura wrzenia i krzepnięcia roztworów .....    | 343 |
| 11.     | RÓWNOWAGI W WODNYCH I NIEWODNYCH ROZTWORACH ELEKTROLITÓW. KWASY I ZASADY .....               | 346 |
| 11.1.   | Wstęp .....                                                                                  | 346 |
| 11.2.   | Solvatacja jonów .....                                                                       | 347 |

|         |                                                                                                   |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.3.   | Kwasy i zasady według Brønsteda . . . . .                                                         | 352 |
| 11.4.   | Dysocjacja wody i pH . . . . .                                                                    | 354 |
| 11.5.   | Dysocjacja kwasów i zasad w roztworach wodnych . . . . .                                          | 356 |
| 11.5.1. | Zastosowanie prawa działania mas do dysocjacji kwasów i zasad . . . . .                           | 356 |
| 11.5.2. | Czynniki decydujące o mocy kwasów . . . . .                                                       | 359 |
| 11.6.   | Wodne roztwory soli . . . . .                                                                     | 363 |
| 11.7.   | Roztwory buforowe . . . . .                                                                       | 365 |
| 11.8.   | Iloczyn rozpuszczalności . . . . .                                                                | 366 |
| 11.9.   | Aktywność elektrolitów . . . . .                                                                  | 369 |
| 11.10.  | Reakcje kwasowo-zasadowe w protonowych rozpuszczalnikach niewodnych . . . . .                     | 371 |
| 11.11.  | Kwasy i zasady według Lewisa . . . . .                                                            | 374 |
| 11.12.  | Twarde i miękkie kwasy i zasady . . . . .                                                         | 376 |
| 12.     | UTLENIANIE I REDUKCJA . . . . .                                                                   | 380 |
| 12.1.   | Utlenianie i redukcja jako proces wymiany elektronów . . . . .                                    | 380 |
| 12.2.   | Stopień utlenienia . . . . .                                                                      | 382 |
| 12.3.   | Ogniwa elektrochemiczne. Elektrody redoks . . . . .                                               | 384 |
| 12.4.   | Elektrody metaliczne i elektrody gazowe . . . . .                                                 | 388 |
| 12.5.   | Potencjały standardowe i szereg napięciowy metali . . . . .                                       | 391 |
| 12.6.   | Termodynamika ogniw elektrochemicznych . . . . .                                                  | 396 |
| 12.7.   | Czynniki decydujące o wartości potencjałów standardowych metali . . . . .                         | 398 |
| 12.8.   | Diagramy Frosta i Ebswortha . . . . .                                                             | 400 |
| 12.9.   | Ogniwa paliwowe . . . . .                                                                         | 407 |
| 13.     | ZJAWISKA POWIERZCHNIOWE I UKŁADY DYSPERSYJNE . . . . .                                            | 410 |
| 13.1.   | Energia powierzchniowa . . . . .                                                                  | 410 |
| 13.2.   | Adsorpcja gazów na powierzchni ciała stałego . . . . .                                            | 412 |
| 13.2.1. | Uwagi wstępne . . . . .                                                                           | 412 |
| 13.2.2. | Izotermy adsorpcji . . . . .                                                                      | 413 |
| 13.2.3. | Powierzchnia adsorbentu . . . . .                                                                 | 416 |
| 13.3.   | Adsorpcja z roztworów na powierzchni ciał stałych . . . . .                                       | 417 |
| 13.4.   | Chromatografia . . . . .                                                                          | 418 |
| 13.5.   | Układy dyspersyjne . . . . .                                                                      | 419 |
| 13.6.   | Roztwory koloidalne . . . . .                                                                     | 420 |
| 13.6.1. | Właściwości fizyczne roztworów koloidalnych . . . . .                                             | 420 |
| 13.6.2. | Otrzymywanie i oczyszczanie koloidów . . . . .                                                    | 421 |
| 13.6.3. | Koloidy hydrofobowe i hydrofilowe. Koagulacja i peptyzacja koloidów . . . . .                     | 423 |
| 13.7.   | Żele i inne spoiste układy dyspersyjne . . . . .                                                  | 425 |
| 14.     | KINETYKA I MECHANIZM REAKCJI CHEMICZNYCH . . . . .                                                | 427 |
| 14.1.   | Rząd reakcji . . . . .                                                                            | 427 |
| 14.2.   | Proste reakcje jedno-, dwu- i trójcząsteczkowe w fazie gazowej . . . . .                          | 432 |
| 14.3.   | Szybkość reakcji odwracalnych . . . . .                                                           | 434 |
| 14.4.   | Zależność szybkości reakcji od temperatury. Teoria zderzeń i teoria stanu przejściowego . . . . . | 435 |
| 14.5.   | Mechanizm reakcji w roztworach . . . . .                                                          | 441 |
| 14.6.   | Reakcje łańcuchowe . . . . .                                                                      | 442 |
| 14.7.   | Reakcje szybkie . . . . .                                                                         | 446 |
| 14.8.   | Reaktywność a struktura elektronowa cząsteczek . . . . .                                          | 450 |
| 14.9.   | Reakcje w układach heterogenicznych . . . . .                                                     | 454 |

|                                                                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 14.9.1. Ogólna charakterystyka reakcji w układach heterogenicznych. Metody badania reakcji ciał stałych . . . . . | 454        |
| 14.9.2. Rozkład ciał stałych . . . . .                                                                            | 457        |
| 14.9.3. Utlenianie metali . . . . .                                                                               | 459        |
| 14.9.4. Reakcje przebiegające wyłącznie z udziałem ciał stałych . . . . .                                         | 461        |
| 14.10. Reakcje katalityczne . . . . .                                                                             | 463        |
| 14.10.1. Pojęcia podstawowe . . . . .                                                                             | 463        |
| 14.10.2. Kataliza homogeniczna . . . . .                                                                          | 465        |
| 14.10.3. Kataliza heterogeniczna . . . . .                                                                        | 467        |
| <b>15. ZWIĄZKI KOORDYNACYJNE . . . . .</b>                                                                        | <b>469</b> |
| 15.1. Pojęcia podstawowe . . . . .                                                                                | 469        |
| 15.2. Nomenklatura związków kompleksowych . . . . .                                                               | 474        |
| 15.3. Izomeria związków kompleksowych . . . . .                                                                   | 475        |
| 15.4. Równowagi w roztworach związków kompleksowych . . . . .                                                     | 480        |
| 15.5. Stałe trwałości kompleksów w roztworach wodnych . . . . .                                                   | 483        |
| 15.6. Empiryczne korelacje dotyczące trwałości kompleksów . . . . .                                               | 485        |
| 15.7. Trwałość kompleksów chelatowych . . . . .                                                                   | 487        |
| 15.8. Kinetyka i mechanizm wymiany ligandów w kompleksach . . . . .                                               | 488        |
| 15.9. Wymiana ligandów w kompleksach oktaedrycznych . . . . .                                                     | 490        |
| 15.10. Wymiana ligandów w kompleksach kwadratowych . . . . .                                                      | 493        |
| 15.11. Reakcje utleniania i redukcji związków kompleksowych . . . . .                                             | 495        |
| 15.12. Kondensacja akwa- i oksojonów w roztworach wodnych . . . . .                                               | 497        |
| 15.13. Zastosowanie teorii pola krystalicznego w chemii koordynacyjnej . . . . .                                  | 502        |
| 15.13.1. Teoria pola krystalicznego: kompleksy oktaedryczne . . . . .                                             | 502        |
| 15.13.2. Teoria pola krystalicznego: kompleksy tetraedryczne . . . . .                                            | 511        |
| 15.13.3. Teoria pola krystalicznego: kompleksy tetragonalne i kwadratowe. Efekt Jahn–Tellera . . . . .            | 513        |
| 15.13.4. Widma absorpcyjne kompleksów metali przejściowych . . . . .                                              | 516        |
| 15.14. Zastosowanie teorii orbitali molekularnych w chemii koordynacyjnej . . . . .                               | 522        |
| 15.14.1. Kompleksy oktaedryczne ze zdelokalizowanymi orbitalami cząsteczkowymi typu $\sigma$ . . . . .            | 522        |
| 15.14.2. Orbitale $\pi$ w kompleksach oktaedrycznych . . . . .                                                    | 528        |
| <b>16. UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW . . . . .</b>                                                                  | <b>533</b> |
| 16.1. Prawo okresowości . . . . .                                                                                 | 533        |
| 16.2. Okresowość fizycznych i chemicznych właściwości pierwiastków . . . . .                                      | 538        |
| 16.2.1. Promienie atomowe . . . . .                                                                               | 538        |
| 16.2.2. Energia jonizacji . . . . .                                                                               | 540        |
| 16.2.3. Elektroujemność . . . . .                                                                                 | 545        |
| 16.2.4. Okresowość właściwości chemicznych . . . . .                                                              | 547        |
| <b>17. WODÓR . . . . .</b>                                                                                        | <b>550</b> |
| 17.1. Ogólna charakterystyka wodoru . . . . .                                                                     | 550        |
| 17.2. Występowanie wodoru w przyrodzie . . . . .                                                                  | 551        |
| 17.3. Otrzymywanie wodoru . . . . .                                                                               | 552        |
| 17.4. Właściwości fizyczne wodoru . . . . .                                                                       | 554        |
| 17.5. Właściwości chemiczne wodoru . . . . .                                                                      | 556        |
| 17.6. Zastosowanie wodoru . . . . .                                                                               | 558        |
| 17.7. Deuter i tryt . . . . .                                                                                     | 560        |
| 17.8. Wodór atomowy i wodór aktywny . . . . .                                                                     | 563        |