

SKRYPTY DLA SZKÓŁ WYŻSZYCH  
POLITECHNIKA ŁÓDZKA

Praca zbiorowa

ĆWICZENIA LABORATORYJNE  
Z CHEMII FIZYCZNEJ

DLA STUDENTÓW WYDZIAŁU INŻYNIERII CHEMICZNEJ  
I OCHRONY ŚRODOWISKA

Wydanie II poprawione

ŁÓDŹ 2006

---

NAKŁADEM

POLITECHNIKI

ŁÓDZKIEJ



Ze zbiorów Biblioteki Głównej Politechniki Łódzkiej

Poszczególne rozdziały napisali

Jan Perkowski 2, 7, 8, 9, 14

Witold Świątkowski 12, 13 i redakcja ogólna

Stefan Tilk 3, 4, 5, 6, 10, 11, 14.

Urszula Cywińska i Elwira Tomczak współpraca przy opracowaniu II wydania

Recenzent

Prof. dr hab. Jacek Tyczkowski

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ  
93-005 Łódź, ul. Wólczańska 223



Ze zbiorów Biblioteki Głównej Politechniki Łódzkiej

# SPIS TREŚCI

|                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>WYKAZ NAJWAŻNIEJSZYCH SYMBOLI.....</b>                                                       | <b>7</b>  |
| <b>PRZEDMOWA.....</b>                                                                           | <b>8</b>  |
| <b>1. WSTĘP.....</b>                                                                            | <b>9</b>  |
| <b>2. MATEMATYCZNE OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW.....</b>                                        | <b>10</b> |
| <b>3. LEPKOŚĆ CIECZY .....</b>                                                                  | <b>15</b> |
| 3.1. Pomiar lepkości.....                                                                       | 16        |
| 3.2. Lepkość względna.....                                                                      | 18        |
| 3.3. Wpływ temperatury na lepkość .....                                                         | 18        |
| 3.4. Wskazówki do wykonania ćwiczeń .....                                                       | 18        |
| 3.4.1. Pomiar lepkości roztworów .....                                                          | 18        |
| 3.4.2. Wyznaczanie energii płynięcia cieczy .....                                               | 19        |
| 3.5. Pytania .....                                                                              | 20        |
| <b>4. NAPIĘCIE POWIERZCHNIOWE CIECZY.....</b>                                                   | <b>21</b> |
| 4.1. Kąt zwilżania.....                                                                         | 22        |
| 4.2. Włoskowatość .....                                                                         | 23        |
| 4.3. Pomiar napięcia powierzchniowego.....                                                      | 23        |
| 4.4. Wpływ temperatury na napięcie powierzchniowe .....                                         | 25        |
| 4.5. Wpływ substancji rozpuszczonej na napięcie powierzchniowe<br>cieczy .....                  | 25        |
| 4.6. Wskazówki do wykonania ćwiczenia.....                                                      | 26        |
| 4.7. Pytania .....                                                                              | 27        |
| <b>5. ADSORPCJA.....</b>                                                                        | <b>28</b> |
| 5.1. Rodzaje adsorpcji.....                                                                     | 28        |
| 5.2. Izoterma adsorpcji .....                                                                   | 29        |
| 5.3. Adsorpcja z roztworu.....                                                                  | 30        |
| 5.4. Wskazówki do wykonania ćwiczenia.....                                                      | 31        |
| 5.5. Pytania .....                                                                              | 32        |
| <b>6. POMIAR REFRAKcji ROZTWORÓW.....</b>                                                       | <b>33</b> |
| 6.1. Współczynnik załamania światła.....                                                        | 33        |
| 6.2. Refrakcja właściwa i molowa .....                                                          | 34        |
| 6.3. Wskazówki do wykonania ćwiczenia.....                                                      | 36        |
| 6.4. Pytania .....                                                                              | 37        |
| <b>7. RÓWNOWAGI FAZOWE .....</b>                                                                | <b>38</b> |
| 7.1. Równowaga w układach jednoskładnikowych.....                                               | 38        |
| 7.2. Równowaga w układach wieloskładnikowych.....                                               | 40        |
| 7.2.1. Równowaga dwóch cieczy.....                                                              | 40        |
| 7.2.2. Równowaga trzech cieczy .....                                                            | 41        |
| 7.2.3. Prawo podziału.....                                                                      | 43        |
| 7.2.4. Równowaga roztwór ciała stałego w cieczy -para .....                                     | 44        |
| 7.3. Wskazówki do wykonania ćwiczeń.....                                                        | 47        |
| 7.3.1. Wyznaczanie standardowego molowego ciepła parowania<br>cieczy metodą tensometryczną..... | 47        |
| 7.3.2. Badanie równowagi trzech cieczy.....                                                     | 48        |
| 7.3.3. Oznaczanie stałej podziału kwasu benzoowego.....                                         | 49        |



|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.3.4. Oznaczanie stałej podziału acetonu metodą refraktometryczną.....                                 | 51 |
| 7.3.5. Wyznaczanie stałej równowagi reakcji $J_2 + J^- = [J_3^-]$<br>na podstawie prawa podziału.....   | 52 |
| 7.3.6. Wyznaczanie masy cząsteczkowej metodą kriometryczną.....                                         | 55 |
| 7.4. Pytania.....                                                                                       | 57 |
| <b>8. TERMOCHEMIA</b> .....                                                                             | 58 |
| 8.1. Podstawowe pojęcia.....                                                                            | 58 |
| 8.2. Prawo Hessa.....                                                                                   | 59 |
| 8.3. Prawo Kirchoffa.....                                                                               | 59 |
| 8.4. Ciepła wybranych reakcji.....                                                                      | 60 |
| 8.4.1. Standardowe molowe ciepło spalania.....                                                          | 60 |
| 8.4.2. Standardowe molowe ciepło tworzenia.....                                                         | 60 |
| 8.4.3. Molowe ciepła rozpuszczania i rozcieńczania.....                                                 | 60 |
| 8.5. Metodyka badań.....                                                                                | 62 |
| 8.5.1. Rodzaje kalorymetrów.....                                                                        | 62 |
| 8.5.2. Pomiary temperatury.....                                                                         | 64 |
| 8.5.3. Pomiar ciepła w kalorymetrze diatermicznym.....                                                  | 65 |
| 8.5.4. Wzorce termochemiczne.....                                                                       | 67 |
| 8.6. Wskazówki do wykonania ćwiczeń.....                                                                | 69 |
| 8.6.1. Pomiar ciepła spalania substancji stałych.....                                                   | 69 |
| 8.6.2. Pomiar ciepła rozpuszczania.....                                                                 | 70 |
| 8.6.3. Pomiar ciepła zobojętniania.....                                                                 | 71 |
| 8.6.4. Pomiar ciepła krzepnięcia.....                                                                   | 72 |
| 8.7. Pytania.....                                                                                       | 73 |
| <b>9. KINETYKA CHEMICZNA</b> .....                                                                      | 74 |
| 9.1. Szybkość reakcji.....                                                                              | 74 |
| 9.2. Wpływ stężenia na szybkość reakcji.....                                                            | 75 |
| 9.3. Cząsteczkowość i rząd reakcji.....                                                                 | 75 |
| 9.4. Reakcje nieodwracalne I rzędu.....                                                                 | 76 |
| 9.5. Reakcje nieodwracalne II rzędu.....                                                                | 77 |
| 9.6. Reakcje nieodwracalne rzędu zerowego.....                                                          | 79 |
| 9.7. Reakcje nieodwracalne n-tego rzędu.....                                                            | 79 |
| 9.8. Wpływ temperatury.....                                                                             | 80 |
| 9.9. Katalizatory.....                                                                                  | 81 |
| 9.10. Wskazówki do wykonania ćwiczeń.....                                                               | 82 |
| 9.10.1. Wyznaczanie stałej szybkości hydrolizy estru<br>w środowisku kwaśnym.....                       | 83 |
| 9.10.2. Wyznaczanie energii aktywacji hydrolizy estru<br>w środowisku kwaśnym.....                      | 86 |
| 9.10.3. Wyznaczanie stałej szybkości hydrolizy estru<br>w środowisku zasadowym.....                     | 86 |
| 9.10.4. Kinetyka hydrolizy sacharozy.....                                                               | 89 |
| 9.10.5. Wyznaczanie stałej szybkości jodowania acetonu.....                                             | 91 |
| 9.10.6. Wyznaczanie energii aktywacji jodowania acetonu.....                                            | 94 |
| 9.10.7. Kinetyka rozkładu jonowego kompleksu<br>triszczawianomanganu (III), $[Mn(C_3O_4)_3]^{3-}$ ..... | 95 |



|                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.10.8. Kinetyka konwersji błękitu bromofenylowego .....                      | 97         |
| 9.11. Pytania .....                                                           | 100        |
| <b>10. PRZEWODNICTWO ELEKTRYCZNE ROZTWORÓW .....</b>                          | <b>101</b> |
| 10.1. Dysocjacja elektrolityczna .....                                        | 101        |
| 10.2. Definicja przewodnictwa .....                                           | 101        |
| 10.3. Pomiar przewodnictwa .....                                              | 104        |
| 10.4. Miareczkowanie konduktometryczne .....                                  | 106        |
| 10.5. Wskazówki do wykonania ćwiczeń .....                                    | 107        |
| 10.5.1. Wyznaczania przewodnictwa granicznego mocnego elektrolitu .....       | 107        |
| 10.5.2. Wyznaczanie stałej dysocjacji słabego kwasu .....                     | 108        |
| 10.5.3. Pomiar rozpuszczalności soli trudno rozpuszczalnej .....              | 109        |
| 10.5.4. Miareczkowanie konduktometryczne .....                                | 110        |
| 10.6. Pytania .....                                                           | 111        |
| <b>11. POMIAR WSPÓŁCZYNNIKA DYFUZJI .....</b>                                 | <b>112</b> |
| 11.1. Szybkość dyfuzji .....                                                  | 112        |
| 11.2. Wskazówki do wykonywania ćwiczenia .....                                | 113        |
| 11.3. Pytania .....                                                           | 114        |
| <b>12. POTENCJOMETRIA .....</b>                                               | <b>115</b> |
| 12.1. Aktywność jonowa .....                                                  | 115        |
| 12.2. Podstawowe pojęcia i definicje .....                                    | 117        |
| 12.3. Metody pomiaru SEM .....                                                | 118        |
| 12.4. Mechanizm powstawania potencjału w półogniwie .....                     | 121        |
| 12.5. Termodynamiczna klasyfikacja półogniw .....                             | 122        |
| 12.6. Standardowy potencjał półogniwa .....                                   | 126        |
| 12.7. Reakcje chemiczne w półogniwie .....                                    | 126        |
| 12.8. Konwencja zapisu schematu ogniwa .....                                  | 128        |
| 12.9. Obliczanie SEM .....                                                    | 128        |
| 12.10. Potencjał dyfuzyjny .....                                              | 130        |
| 12.11. Ogniwa stężeniowe .....                                                | 131        |
| 12.12. Podstawy miareczkowania potencjometrycznego .....                      | 132        |
| 12.13. Potencjometryczny pomiar stężenia jonów wodorowych (pehametria) .....  | 134        |
| 12.14. Roztwory buforowe .....                                                | 136        |
| 12.15. Miareczkowanie pehametryczne .....                                     | 137        |
| 12.16. Wskazówki do wykonania ćwiczeń .....                                   | 138        |
| 12.16.1. Pomiar SEM .....                                                     | 138        |
| 12.16.2. Wyznaczanie standardowej wartości SEM .....                          | 138        |
| 12.16.3. Pomiar ilości srebra metodą miareczkowania potencjometrycznego ..... | 140        |
| 12.16.4. Miareczkowanie potencjometryczne .....                               | 141        |
| 12.16.5. Miareczkowanie pehametryczne .....                                   | 141        |
| 12.16.6. Wyznaczanie stałej dysocjacji słabego kwasu .....                    | 141        |
| 12.17. Pytania .....                                                          | 142        |
| <b>13. UKŁADY KOLOIDALNE .....</b>                                            | <b>144</b> |
| 13.1. Podstawowe pojęcia .....                                                | 144        |
| 13.2. Podział układów koloidalnych .....                                      | 144        |



|                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| 13.3. Potencjał elektrokinetyczny .....                                   | 145        |
| 13.4. Koagulacja .....                                                    | 148        |
| 13.5. Elektroforeza .....                                                 | 150        |
| 13.6. Wskazówki do wykonania ćwiczeń .....                                | 153        |
| 13.6.1. Wyznaczanie punktu izoelektrycznego.....                          | 153        |
| 13.6.2. Elektroforeza bibułowa roztworów aminokwasów .....                | 154        |
| 13.7. Pytania.....                                                        | 155        |
| <b>14. BUDOWA I DZIAŁANIE PRZYRZĄDÓW OPTYCZNYCH.....</b>                  | <b>156</b> |
| 14.1. Refraktometr .....                                                  | 156        |
| 14.1.1. Budowa refraktometru .....                                        | 156        |
| 14.1.2. Refraktometryczny pomiar współczynnika<br>załamania światła ..... | 157        |
| 14.2. Polarymetr.....                                                     | 158        |
| 14.2.1. Skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła .....                   | 158        |
| 14.2.2. Budowa polarymetru.....                                           | 159        |
| 14.2.3. Wykonanie pomiaru polarymetrycznego .....                         | 161        |
| 14.3. Fotokolorymetr.....                                                 | 161        |
| 14.3.1. Absorbancja .....                                                 | 161        |
| 14.3.2. Schemat budowy fotokolorymetru.....                               | 162        |
| 14.4. Pytania.....                                                        | 165        |
| <b>TABLICE.....</b>                                                       | <b>167</b> |
| Tabela I. Masy molowe pierwiastków .....                                  | 167        |
| Tabela II. Gęstości wodnych roztworów  wybranych związków.....            | 168        |
| Tabela III Gęstość wodnego roztworu acetonu.....                          | 168        |
| <b>LITERATURA .....</b>                                                   | <b>169</b> |



Rysunek ze strony PŁ: <http://www.p.lodz.pl>