Jarosław Chojnacki, Anna Dołęga, Stanisław Konieczny, Antoni Konitz
Andrzej Okuniewski, Jerzy Pikies, Agnieszka Pladzyk, Łukasz Ponikiewski
Maciej Walewski, Aleksandra Wiśniewska

Chemia ogólna i nieorganiczna

ćwiczenia rachunkowe

pod redakcją
Andrzeja Okuniewskiego

Gdańsk 2026

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ
Dariusz Mikielewicz

RECENZENT
Lech Chmurzyński

REDAKCJA JĘZYKOWA
Agnieszka Frankiewicz

SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI
Andrzej Okuniewski

Wydanie I – 2019

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
https://sklep.pg.edu.pl/pl/

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiejkolwiek formie
i w jakikolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej
Gdańsk 2026

ISBN 978-83-7348-929-5

Spis treści

Przedmowa **9**

1. Podstawowe pojęcia chemiczne
Stanisław Konieczny, Antoni Konitz, Jerzy Pikies **11**

1.1. Jednostki miar . . . 12
1.1.1. Układ SI . . . 12
1.1.2. Inne jednostki miar . . . 14
1.1.3. Przeliczanie jednostek . . . 15
1.1.4. Cyfry znaczące oraz zasady zaokrąglania liczb . . . 17
1.2. Wzory związków chemicznych . . . 21
1.2.1. Wzory Lewisa . . . 21
1.2.2. Wzory związków jonowych . . . 22
1.2.3. Wzory związków kowalencyjnych . . . 24
1.2.4. Ładunek formalny – kryterium prawdopodobieństwa wzorów Lewisa . . . 26
1.3. Metoda VSEPR . . . 29
1.4. Mol, masa atomowa, masa cząsteczkowa i masa molowa . . . 41
1.4.1. Definicja mola . . . 41
1.4.2. Masa atomowa oraz masa molowa pierwiastków . . . 42
1.4.3. Masa cząsteczkowa oraz masa molowa związków chemicznych . . . 44
1.5. Zadania . . . 46
1.6. Odpowiedzi . . . 52

2. Prawa gazowe
Łukasz Ponikiewski **59**

2.1. Warunki normalne . . . 60
2.1.1. Objętość molowa gazów – prawo Avogadra . . . 61
2.1.2. Stała gazowa . . . 61
2.2. Równanie stanu gazu doskonałego (równanie Clapeyrona) . . . 62

2.2.1. Przemiana izotermiczna . . . 64
2.2.2. Przemiana izobaryczna . . . 64
2.2.3. Przemiana izochoryczna . . . 65
2.3. Prawo stosunków objętościowych Gay-Lussaca . . . 66
2.4. Prawo Daltona . . . 66
2.5. Gęstość gazów . . . 69
2.5.1. Gęstość bezwzględna . . . 69
2.5.2. Gęstość względna . . . 71
2.6. Obliczanie mas molowych na podstawie praw gazowych . . . 72
2.7. Równanie stanu gazu prawie rzeczywistego (równanie van der Waalsa) . . . 72
2.8. Zadania . . . 75
2.9. Odpowiedzi . . . 80

3. Stechiometria związków chemicznych i mieszanin
Agnieszka Pladzyk **83**
3.1. Podstawowe prawa stechiometrii . . . 84
3.1.1. Prawo zachowania masy . . . 84
3.1.2. Prawo stosunków stałych . . . 84
3.1.3. Prawo stosunków wielokrotnych . . . 84
3.2. Wyznaczanie składu wagowego związku na podstawie wzoru chemicznego . . . 85
3.3. Wyznaczanie wzoru chemicznego ze znajomości składu wagowego związku . . . 89
3.4. Wyprowadzanie wzorów rzeczywistych związków . . . 92
3.5. Stechiometria mieszanin . . . 94
3.6. Zadania . . . 98
3.7. Odpowiedzi . . . 103

4. Stechiometria reakcji chemicznych
Anna Dołęga **105**
4.1. Równania reakcji chemicznych . . . 106
4.2. Typy reakcji chemicznych . . . 106
4.2.1. Reakcje chemiczne wymiany ligandów i protonów (reakcje przebiegające bez wymiany elektronów) . . . 106
4.2.2. Bilansowanie reakcji przebiegających bez wymiany elektronów . . . 108
4.2.3. Reakcje utleniania i redukcji (reakcje redoksowe) . . . 109
4.2.4. Bilansowanie reakcji redoksowych . . . 109
4.3. Stechiometria reakcji chemicznych . . . 123

4.3.1. Obliczenia ilości substratów i produktów na podstawie równań reakcji chemicznych . . . 123
4.3.2. Reakcje równoległe i reakcje mieszanin . . . 125
4.3.3. Niestechiometryczne ilości reagentów . . . 128
4.3.4. Wydajność reakcji . . . 129
4.4. Zadania . . . 131
4.5. Odpowiedzi . . . 145

5. Stężenia roztworów, stechiometria reakcji w roztworach
Maciej Walewski **153**
5.1. Pojęcie roztworu . . . 154
5.2. Wyrażanie składu roztworu . . . 154
5.2.1. Stężenie procentowe masowe . . . 155
5.2.2. Stężenie procentowe objętościowe . . . 158
5.2.3. Stężenie molowe . . . 159
5.2.4. Stężenie normalne . . . 160
5.2.5. Stężenie molalne . . . 164
5.2.6. Ułamek molowy . . . 164
5.3. Sporządzanie roztworów z czystych składników . . . 165
5.4. Rozcieńczanie, zatężanie i mieszanie roztworów o tych samych jednostkach stężeń 168
5.5. Mieszanie dwóch roztworów tej samej substancji o różnych stężeniach . . . 170
5.6. Przeliczanie stężeń roztworów . . . 176
5.7. Stechiometria roztworów . . . 177
5.8. Zadania . . . 182
5.9. Odpowiedzi . . . 191

6. Równowaga chemiczna
Jarosław Chojnacki **195**
6.1. Reakcje homogeniczne . . . 196
6.2. Obliczanie liczby moli i stężeń reagentów z uwzględnieniem przebiegu reakcji chemicznej . . . 202
6.3. Reakcje heterogeniczne . . . 211
6.4. Zadania . . . 213
6.5. Odpowiedzi . . . 218

7. Równowagi w wodnych roztworach elektrolitów
Aleksandra Wiśniewska **221**

7.1. Elektrolity . . . 222
7.1.1. Elektrolity słabe, prawo rozcieńczeń Ostwalda . . . 222
7.1.2. Elektrolity mocne . . . 223
7.2. Iloczyn jonowy wody, pH . . . 224
7.2.1. Obliczanie pH roztworów mocnych kwasów i zasad . . . 225
7.2.2. Obliczanie pH roztworów słabych kwasów i zasad . . . 228
7.2.3. Obliczanie pH mieszaniny dwóch słabych elektrolitów o wspólnym jonie . 231
7.2.4. Obliczanie pH roztworów kwasów wieloprotonowych . . . 232
7.3. Bufory . . . 235
7.4. Hydroliza soli . . . 238
7.4.1. Sole mocnych kwasów i słabych zasad . . . 238
7.4.2. Sole słabych kwasów i mocnych zasad . . . 240
7.4.3. Sole słabych kwasów i słabych zasad . . . 241
7.4.4. Wodorosole . . . 243
7.5. Zadania . . . 245
7.6. Odpowiedzi . . . 250

8. Związki kompleksowe i trudno rozpuszczalne
Jarosław Chojnacki, Andrzej Okuniewski **253**

8.1. Roztwory zawierające związki kompleksowe . . . 254
8.2. Wzory i nazewnictwo prostych związków kompleksowych . . . 256
8.3. Stała trwałości kompleksu . . . 257
8.4. Równowagi w układach zawierających związki trudno rozpuszczalne . . . 261
8.4.1. Zależność między rozpuszczalnością a iloczynem rozpuszczalności . . . 263
8.4.2. Kryterium nasycenia roztworu elektrolitu . . . 264
8.4.3. Wpływ składu roztworu na rozpuszczalność elektrolitów . . . 267
8.4.4. Efekt wspólnego jonu . . . 267
8.4.5. Strącanie frakcjonowane . . . 269
8.4.6. Wpływ pH na rozpuszczalność osadów elektrolitów . . . 270
8.4.7. Wpływ kompleksowania na rozpuszczalność osadów elektrolitów . . . 279
8.4.8. Rozwiązywanie zagadnień prowadzących do równań wyższego rzędu . . . 282
8.5. Zadania . . . 285
8.6. Odpowiedzi . . . 290

Dodatek A. Stałe fizykochemiczne **293**

A.1. Stałe kwasowości 293

A.2. Iloczyny rozpuszczalności 293

A.3. Rozpuszczalność siarczków 294

A.4. Stałe tworzenia związków kompleksowych 294

Dodatek B. Układ okresowy pierwiastków **295**

Przedmowa

Szanowni Państwo!

Jest nam niezmiernie miło oddać w Wasze ręce kolejne wznowienie papierowego wydania skryptu zawierającego treści i zadania realizowane w ramach ćwiczeń rachunkowych z przedmiotów *podstawy chemii* i *chemia nieorganiczna* w Katedrze Chemii Nieorganicznej Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej. Skrypt ten jest kontynuacją opracowania Zofii Bądkowskiej, Edmunda Kolińskiego i Marii Wojnowskiej *Obliczenia z chemii nieorganicznej* wydanego po raz ostatni w 1996 roku.

W ośmiu rozdziałach opisane są najważniejsze zagadnienia z zakresu chemii ogólnej i nieorganicznej – począwszy od podstawowych pojęć chemicznych, przez prawa gazowe, stechiometrię związków i reakcji chemicznych, po zagadnienia dotyczące złożonych równowag w roztworach elektrolitów. Każdy rozdział zawiera wstęp teoretyczny wraz ze stosownymi przykładami oraz ich rozwiązaniami metodą „krok po kroku". Ponadto na końcu każdego rozdziału znajdują się przykładowe zadania oraz odpowiedzi. Skrypt zakończony jest dodatkami – w pierwszym z nich zebrano stałe fizykochemiczne niezbędne do rozwiązywania zadań, a w drugim zamieszczono układ okresowy pierwiastków.

W skrypcie konsekwentnie stosowane są jednostki układu SI, w zgodzie z ich aktualnymi definicjami, a obliczenia prowadzone są na liczbach z możliwie dużą liczbą cyfr i dopiero na sam koniec wynik jest zaokrąglany do odpowiedniej liczby cyfr znaczących. Stosowanie zaokrągleń w trakcie obliczeń może prowadzić do kilkuprocentowych rozbieżności pomiędzy uzyskanym wynikiem a zamieszczoną w skrypcie odpowiedzią.

Podczas redagowania papierowej wersji skryptu dołożyliśmy wszelkich starań, aby wykryć i poprawić błędy i niejasności. Gdyby jednak dostrzegli Państwo pewne usterki lub mieli inne uwagi dotyczące formy lub treści skryptu, to prosimy o kontakt[1] i dyskusję z pracownikami Katedry Chemii Nieorganicznej.

Życzymy owocnej nauki!

W imieniu wszystkich autorów
Andrzej Okuniewski

[1] chem.pg.edu.pl/kchn/kontakt