

Ewa Klugmann-Radziemska

**termo
dynamika
techniczna**

dla studentów technologii chemicznej

Gdańsk 2016

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ
Janusz T. Cieśliński

RECENZENT
Jarosław Mikielewicz

PROJEKT OKŁADKI
Katarzyna Olszonowicz

Wydanie II – 2013

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
<http://www.pg.edu.pl/wydawnictwo/katalog>
zamówienia prosimy kierować na adres wydaw@pg.gda.pl

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

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej
Gdańsk 2016

ISBN 978-83-7348-481-8

Spis treści

Wstęp	5
1. Podstawowe jednostki miar	7
2. Podstawowe pojęcia termodynamiki	8
2.1. Stan układu termodynamicznego	9
2.2. Parametry stanu	10
2.2.1. Temperatura. Skale temperatury..... <i>Termometry zbudowane na podstawie różnych parametrów termometrycznych</i> <i>ciał</i>	10 14
2.2.2. Ciśnienie	17
2.2.3. Objętość	17
2.2.4. Energia wewnętrzna	17
2.2.5. Entalpia	18
2.2.6. Entropia	19
2.2.7. Energia swobodna	19
2.2.8. Entalpia swobodna	19
2.2.9. Egzergia	20
2.3. Przemiana termodynamiczna. Klasyfikacja procesów termodynamicznych	21
2.3.1. Proces odwracalny	28
2.3.2. Proces nieodwracalny	28
2.3.3. Proces samorzutny	28
2.3.4. Proces quasi-statyczny	29
2.3.5. Model gazu doskonałego	29
<i>Prawo Avogadra</i>	30
2.3.6. Mieszaniny gazów doskonałych i półdoskonałych	31
3. Zasady termodynamiki	33
3.1. Zerowa zasada termodynamiki = prawo równocенności stanów układów termodynamicznych	33
3.2. Pierwsza zasada termodynamiki = prawo zachowania energii	33
<i>Bilans energetyczny układu (I zasada termodynamiki w układzie zamkniętym)</i>	35
<i>Bilans energetyczny w układzie otwartym (I zasada termodynamiki w układzie przepływowym)</i>	36
<i>Konsekwencje pierwszej zasady termodynamiki</i>	39
3.3. Druga zasada termodynamiki = prawo stałego wzrostu entropii	40
3.3.1. Znaczenie II zasady termodynamiki w chemii	42
3.3.2. Termodynamiczna strzałka czasu	43
3.4. Trzecia zasada termodynamiki = prawo dążenia entropii do 0 ze spadkiem temperatury	44
3.5. Czwarta zasada termodynamiki = symetria macierzy współczynników w twierdzeniu Onsagera	45
4. Termodynamika procesów odwracalnych	46

5. Podstawy termodynamiki procesów nieodwracalnych	46
6. Właściwości gazów rzeczywistych. Przemiany charakterystyczne	47
6.1. Przemiana izobaryczna (stałe ciśnienie $p = \text{const.}$)	48
6.2. Przemiana izotermiczna (stała temperatura $T = \text{const.}$)	50
6.3. Przemiana izochoryczna (stała objętość $V = \text{const.}$)	51
6.4. Przemiana adiabatyczna (brak wymiany ciepła z otoczeniem $Q = \text{const.}$)	52
6.5. Przemiana politropowa ($pV^\nu = \text{const.}$, gdzie ν wykładnik politropy)	53
6.6. Przemiana izentalpowa (stała entalpia $H = \text{const.}$)	55
7. Obiegi termodynamiczne	56
7.1. Cykl Carnota	57
7.2. Obieg Rankine'a	58
7.3. Obieg Otta	59
7.4. Obieg Diesla	60
7.5. Obieg Seiligera-Sabathé'a	61
7.6. Obieg Braytona-Joule'a	61
7.7. Obieg Lindego	63
7.8. Obieg chłodniczy Joule'a	63
8. Podstawy wymiany ciepła przez konwekcję, promieniowanie i przewodzenie	64
8.1. Wymiana ciepła przez przewodzenie	64
8.2. Wymiana ciepła przez konwekcję	66
8.3. Wymiana ciepła przez promieniowanie	69
9. Obliczenia termodynamiczne	70
Przykłady do rozdziału 2	70
Przykłady do rozdziału 3 – I zasada termodynamiki	82
Przykłady do rozdziału 3 – II zasada termodynamiki	88
Przykłady do rozdziału 6	95
Przykłady do rozdziału 7	109
Przykłady do rozdziału 8	112
Literatura	116
Dodatek – Przemiany charakterystyczne gazów doskonałych i półdoskonałych	117