

תוכן העניינים

הקדמה למהדורה העברית xxv
פתח דבר xxix
כיצד להשתמש בגיליונות העבודה, בתרגילים ובשאלות xxxvii

פרק 1 טמפרטורה, לחץ, נפח מולי ושיווי משקל 1

הקדמה 1

מערכת וסביבה 1

טמפרטורה ושיווי משקל תרמי 2

מדחום 2

סולמות של טמפרטורה 3

לחץ ושיווי משקל מכני 8

לחץ 8

חישוב הלחץ בגליל 9

יחידות של לחץ 9

היחידות טור, אטמוספירה, בר ו-psi 10

המרה בין יחידות 11

נפח, צפיפות ונפח מולי 12

גדלים אינטנסיביים וגדלים אקסטנסיביים 14

שיווי משקל 15

שיווי משקל עם הסביבה 15

סעיף העשרה 1.1 קטע ממאמרו של פרנהייט 16

סעיף העשרה 1.2 מקור יחידות הלחץ אטמוספירה וטור 18

שאלות 21

פרק 2 משוואת המצב 23

הקדמה 23

מצבו של גז או של נוזל בשיווי משקל 23

משוואת המצב 24

המוצקים שונים 25

משוואת הגז האידיאלי 26

יחידות 26

מתי ומדוע חוק הגז האידיאלי תקף? 29

משוואת המצב של ואן דר ואלס 31

משוואות מצב מדויקות 32

סיכום ומבט קדימה 32

שאלות 34

פרק 3 כיצד משתמשים במשוואת המצב 35

חישוב הלחץ כאשר הנפח המולי והטמפרטורה ידועים 35

מדוע תרצו לחשב את הלחץ? 35

כיצד מחשבים לחץ 36

חישוב הנפח המולי כאשר הלחץ והטמפרטורה ידועים 39

מדוע תרצו לחשב את הנפח המולי? 39

דוגמה לחישוב נפח מולי 40

חישוב הטמפרטורה כאשר הנפח המולי והלחץ ידועים 42

מתי תזדקקו לחישובים כאלה? 42

סיכום פרקים 1-3 43

שאלות 44

סעיף העשרה 3.1 כיצד תפתחו משוואת מצב משלכם 48

התאמה לפי שיטת הריבועים המינימליים 53

מדוע משתמשים בריבוע השגיאה? 54

מזעור השגיאה הגלובלית 55

קביעת הפרמטרים במשוואת ואן דר ואלס 57

שאלות 60

פרק 4 תהליכים תרמודינמיים 63

- הגדרה ודוגמאות של תהליכים תרמודינמיים 63
- תהליכים שאינם בשיווי משקל 65
- מצב התחלתי ומצב סופי 65
- מסלול התהליך 65
- תהליכי שיווי משקל 66
- מדוע חשוב ללמוד תהליכי שיווי משקל? 68
- סעיף העשרה 4.1 עוד על תהליכי שיווי משקל ומסלוליהם 69
- שני תהליכי שיווי משקל עם אותו מצב התחלתי ואותו מצב סופי אבל עם מסלולים שונים 70

פרק 5 עבודה 73

- הקדמה 73
- הגדרת עבודה 74
- מוסְכֶּמֶת הסימן 75
- יחידות 75
- עבודה היא גודל אקסטנסיבי 76
- אם אין שינוי בנפח אין עבודה 76
- עבודה מתבצעת כנגד כוח מתנגד 77
- חילופי עבודה יכולים להתבצע בדרכים רבות 77
- איך מחשבים את העבודה בתהליך המתרחש במידה סופית 77
- העבודה המתבצעת בתהליך המתרחש במידה סופית 77
- העבודה המתבצעת בתהליך איזותרמי 81
- מהו תהליך איזותרמי? 81
- העבודה המתבצעת בהתפשטות איזותרמית 81
- חישוב מספרי של עבודה איזותרמית 83
- העבודה המתבצעת בתהליך איזוברי 85
- מהו תהליך איזוברי? 85
- חישוב מספרי של העבודה המתבצעת בתהליך איזוברי 86

- העבודה המתבצעת בתהליך תרמודינמי תלויה במסלול 88
 עבודה איננה פונקציית מצב 92
 שאלות 93

פרק 6 חום 95

מהו חום? 95

- קצת היסטוריה: תיאוריית הקלוריק 96
 מה מועבר מגוף חם לגוף קר? 97
 איך מודדים את כמות החום 98
 חום ועבודה הם "שקולים" 98
 לפי המוסכמה, לכמות החום יש סימן 99
 מקדמים תרמיים: הגדרות 99
 חילופי חום בלחץ קבוע 100
 החום המוחלף בנפח קבוע 101
 קצת היסטוריה 101
 החום המוחלף כאשר הלחץ משתנה והטמפרטורה נשמרת קבועה 101
 חילופי חום בתהליך כללי 102
 מה ידוע לנו על המקדמים התרמיים 103
 קיבול חום בלחץ קבוע 103
 התלות של C_p בטמפרטורה 106
 התלות של C_p בלחץ 108
 קיבול חום בנפח קבוע 110
 חישוב החום המוחלף בתהליכים פשוטים 112
 החום הדרוש כדי לשנות את הטמפרטורה תוך שמירה על לחץ קבוע 112
 החום המועבר כאשר מערכת מחוממת בנפח קבוע 114
 חילופי חום המתרחשים כאשר שני גופים בטמפרטורות שונות באים
 במגע 115
 מספר המולים 117
 שאלות 120
 סעיף העשרה 6.1 חום הוא צורה של תנועה: ניסוי בקידוח קנה תותח 122
 סעיף העשרה 6.2 ג'וזף בלאק, קיבול חום 129

- סעיף העשרה 6.3 מבט מדוקדק יותר על תורת החום ועל חישובים 134
- מידע בנוגע ל- ℓ_p ול- ℓ_v 137
- ℓ_p ו- ℓ_v עבור גז אידיאלי 138
- החום המוחלף בתהליך אינפיניטסימלי 139
- החום המוחלף בתהליך המתרחש במידה סופית 139
- החום המוחלף בדחיסה איזותרמית: משוואה כללית 140
- החום המוחלף בדחיסה איזותרמית של גז אידיאלי 141
- החום המוחלף בדחיסה איזותרמית של גז ואן דר ואלס 142
- המקרה של גז אמיתי: יישום 145
- דוגמה מספרית לחישוב של q_T 146
- שאלות 149

פרק 7 תהליכים הפיכים ותהליכים בלתי הפיכים 151

- הקדמה 151
- הגדרה 151
- מעבר חום 152
- דיפוזיה 153
- תהליך שיווי משקל הוא תהליך הפיך 154

פרק 8 גדלים תלויי מסלול וגדלים שאינם תלויי מסלול 157

- אינטגרלים קווים תלויי מסלול 157
- אינטגרלים קווים בתרמודינמיקה 157
- רוב האינטגרלים הקווים תלויים במסלול (בקו) 161
- אינטגרלים שאינם תלויי מסלול: דוגמה 162
- דיפרנציאלים מדויקים 165
- אינטגרלים קווים שאינם תלויי מסלול: משפטים 166
- יישומים לתרמודינמיקה 169
- עבודה וחום תלויים במסלול 169
- הוכחה לכך ש- $\int \delta W$ תלוי במסלול 170
- דיפרנציאלים מדויקים ופונקציות מצב 171

פרק 9 החוק הראשון והחוק השני של התרמודינמיקה 173

- ניסוח החוקים 173
- הקדמה 173
- החוק הראשון 173
- החוק השני 174
- החוק השלישי 174
- קווי דמיון בין אנרגיה לאנטרופיה 175
- dU ו- dS אינם תלויי מסלול 175
- U ו- S הן פונקציות מצב 176
- יחסי מקסוול 177
- הוספת קבוע לאנטרופיה או לאנרגיה אינה גורמת לשינוי בר־מדידה 178
- U ו- S הן תכונות אקסטנסיביות 178
- הערות אחדות לגבי החוק הראשון 178
- שימור אנרגיה 178
- החוק הראשון כיום 183
- הערות אחדות לגבי החוק השני 184
- כיוון התהליך 184
- תהליכים בלתי אפשריים 186
- למה זה שימושי? 186

פרק 10 האנרגיה החופשית של הלמהולץ והאנרגיה החופשית**של גיבס 189**

- הקדמה 189
- למה אנו זקוקים לפונקציות נוספות חוץ מאנטרופיה? 189
- ניסוח נוח עבור החוק הראשון והחוק השני 189
- החוק השני עבור תהליך שבו U ו- V נשמרים קבועים 190
- האנרגיה החופשית של הלמהולץ (A) 192
- החוק השני במונחים של שינויים ב- V וב- T 192
- תהליכים שבהם T ו- V קבועים 193
- השימוש ב- A : רמז 194
- האנרגיה החופשית של גיבס (G) 194
- הגדרת האנרגיה החופשית של גיבס 194

- תכונות אחדות של האנרגיה החופשית של גיבס 195
 השינוי של G בתהליך שבו T ו- p נשמרים קבועים 195
 השימוש באנרגיה החופשית של גיבס: רמז 196

פרק 11 כיצד מחשבים את השינוי באנטרופיה בתהליך שיווי משקל 197

- הקדמה 197
 באיזה משתנה עליי להשתמש? 197
 המשתנים T ו- p : תיאוריה 198
 השינוי ds באנטרופיה כאשר הלחץ משתנה בשיעור dp
 והטמפרטורה משתנה בשיעור dT 199
 הערה לגבי סימון נגזרות חלקיות 199
 שיטת מקסוול 201
 הנגזרת $(\partial s/\partial p)_T$ 202
 הנגזרת $(\partial s/\partial T)_p$ 202
 צרפו את התוצאות האלה כדי למצוא ביטוי עבור ds 203
 השינוי באנטרופיה בתהליך שבו T ו- p משתנים במידה סופית 203
 המשתנים T ו- v : תיאוריה 204
 חישוב $(\partial s/\partial v)_T$ 205
 השינוי באנטרופיה כאשר הן T והן v משתנים 205
 השינוי באנטרופיה בתהליך המתרחש במידה סופית 206
 חישוב השינוי באנטרופיה בתהליכים שונים 207
 השינוי באנטרופיה בתהליך איזוברי 207
 השינוי באנטרופיה בתהליך איזותרמי 210
 השינוי באנטרופיה בתהליך כללי 213
 השינוי באנטרופיה: תוצאות מספריות 215
 כיצד להשתמש בטבלאות נתונים לצורך חישוב שינויים באנטרופיה 216
 שאלות 218
 סעיף העשרה 11.1 שימוש בשיטת מקסוול לצורך פיתוח משוואות שימושיות 221
 שימוש ביחסי מקסוול 221
 סעיף העשרה 11.2 קבלת משוואות חדשות באמצעות החלפת משתנים 224

- 225 $(\partial v/\partial T)_p$ משוואה עבור
 226 $(\partial v/\partial T)_p$ שיטה כללית יותר לחישוב
 227 $C_p - C_v$ משוואה עבור
 228 סעיף העשרה 11.3 תהליכים אדיאבטיים
 229 מסלול התהליך האדיאבטי
 230 המשוואה עבור הטמפרטורה הסופית
 231 דוגמה של דחיסה אדיאבטית

פרק 12 השינוי באנתלפיה ובאנרגיה בתהליך תרמודינמי 233

הקדמה 233

- 235 חום ואנתלפיה
 236 הקשר בין השינוי באנתלפיה לבין החום
 236 חום ואנרגיה
 237 איך מחשבים את שינוי האנתלפיה בתהליך: תיאוריה
 237 השינוי באנתלפיה בתהליך אינפיניטסימלי
 239 השינוי באנתלפיה המתרחש במידה סופית
 239 בחירת המסלול
 241 איך מחשבים את השינוי באנתלפיה בתהליך: דוגמה
 242 השינוי באנתלפיה Δh_A כאשר T משתנה ו- p קבוע (מסלול A)
 השינוי באנתלפיה Δh_B כאשר הלחץ משתנה
 243 והטמפרטורה נשמרת קבועה
 243 הקושי הראשון
 246 הקושי השני
 248 התוצאה הסופית עבור Δh_B
 248 דוגמה לחישוב Δh_B
 249 סדר הגודל של Δh_B
 השימוש בטבלאות לצורך חישוב השינויים באנתלפיה כתלות
 בטמפרטורה 250
 סעיף העשרה 12.1 שינויי האנרגיה בתהליך תרמודינמי 253
 השינוי באנרגיה בתהליך אינפיניטסימלי שבו T ו- v משתנים 253
 השינוי באנרגיה בתהליך המתרחש במידה סופית שבו T ו- v משתנים 254

- 255 דרך אחרת לחישוב שינויים באנרגיה
- 255 סעיף העשרה 12.2 תהליכים איזואנתלפיים
- 256 התהליך הזה מתרחש ללא שינוי באנתלפיה
- 258 השינוי בטמפרטורה הנגרם על ידי תהליך איזואנתלפי
- 260 תהליכים איזואנתלפיים משמשים לקירור
- 262 גז אידיאלי

פרק 13 תרמוכימיה 263

- 263 הקדמה
- 264 הגדרת חום התגובה
- 264 שתי תגובות המשמשות כדוגמאות
- 265 הגדרת חום התגובה
- 265 המצב ההתחלתי
- 265 המצב הסופי
- 266 מוסכמת הסימן
- 266 הצגת הנתונים: מצב סטנדרטי
- 267 הקשר בין חום התגובה לאנתלפיה של המשתתפים
- 268 השינוי באנתלפיה בתגובה
- 271 התלות של חום התגובה בטמפרטורה ובלחץ
- 272 השינוי באנתלפיה בתהליך שבו עוברת המערכת מ- σ_i ל- σ_f
- 272 חום התגובה בטמפרטורה T_f ובלחץ p_f
- 273 שינוי חום התגובה עם השינוי בטמפרטורה
- 274 השינוי בחום התגובה עם השינוי בלחץ
- 274 דוגמה: חום התגובה בסינתזה של אמוניה
- 276 $\Delta H(623.15 \text{ K}, 394.8 \text{ atm})$ חום התגובה
- 277 התלות של חום התגובה בטמפרטורה
- 279 חום התגובה בטמפרטורה 623.15 K ובלחץ 394.8 atm
- 281 חישוב חום התגובה מתוך חום ההתהוות או חום הבעירה
- 283 חום ההתהוות: הגדרה
- 284 הקשר בין חום התגובה לחום ההתהוות של התרכובות
- 287 היכן מוצאים נתוני חום התהוות?

- שימוש בחום הבעירה לחישוב חום התגובה 288
 סעיף העשרה 13.1 חישוב החום של תגובה אחת מתוך נתוני החום של
 תגובות אחרות 292
 שאלות 300

פרק 14 השינוי בפוטנציאל הכימי בזמן תהליך שיווי משקל 305

- הקדמה 305
 חישוב השינוי בפוטנציאל הכימי באמצעות משוואה 14.4 306
 איך מחשבים את $\Delta\mu_1 \equiv \mu(T_f, p_i) - \mu(T_i, p_i)$ 307
 דוגמה לחישוב $\Delta\mu_1 \equiv \mu(T_f, p_i) - \mu(T_i, p_i)$ 307
 איך לחשב את $\Delta\mu_2 \equiv \mu(T_f, p_f) - \mu(T_f, p_i)$ 310
 באמצעות משוואה 14.7 310
 חישוב $\Delta\mu = \mu(130 \text{ K}, 600 \text{ atm}) - \mu(298.15 \text{ K}, 1 \text{ atm})$ 314
 עוד על אודות הפוטנציאל הכימי 315
 תלות הפוטנציאל הכימי של גז אידיאלי בלחץ 316
 פוגסיות 316
 תלות הפוטנציאל הכימי בטמפרטורה 317
 חישוב $\mu = h - Ts$ מתוך 318
 שאלות 319

פרק 15 הפוטנציאל הכימי של תרכובת בתוך תערובת 323

- הערות כלליות 323
 תהליכים אינפיניטסימליים 325
 הפוטנציאל הכימי של תרכובת בתוך תערובת 325
 השינוי שחל באנרגיה החופשית של גיבס כאשר אני משנה את
 הטמפרטורה, הלחץ וההרכב 325
 החלפת משתנים 327
 הפוטנציאל הכימי של תערובות אידיאליות 329
 הלחץ החלקי של גז בתוך תערובת אידיאלית 330
 הפוטנציאל הכימי של גז בתוך תערובת אידיאלית 331
 כמה מילים על ג'וזיה ווילארד גיבס 332

פרק 16 תערובות: פעילות וגדלים מוליים חלקיים 333

- גדלים מוליים חלקיים 333
- הנוסחה הנכונה 336
- הנפח המולי החלקי כגודל אינטנסיבי 338
- גדלים מוליים חלקיים אחרים 339
- האנתלפיה המולית החלקית וחום הערבוב 340
- הפוטנציאל הכימי כגודל מולי חלקי: משוואת גיבס-דוהם 342
- משוואות דומות למשוואת גיבס-דוהם עבור גדלים מוליים חלקיים אחרים 343
- כיצד קובעים גדלים מוליים חלקיים על סמך מדידות 344
- קשרים בין גדלים מוליים חלקיים 347
- תלות הפוטנציאל הכימי בהרכב: תמיסות אידיאליות 350
- הגדרת התמיסה האידיאלית 350
- השינוי שחל בנפח כאשר מערבבים תרכובות ליצירת תמיסה אידיאלית 350
- האנתלפיה של תערובת אידיאלית 351
- חום הערבוב הדרוש ליצירת תמיסה אידיאלית 352
- אנטרופיית הערבוב ליצירת תמיסה אידיאלית 352
- הפוטנציאל הכימי של תמיסות אמיתיות: פעילות ופוטנציאל הייחוס 353

פרק 17 שיווי משקל כימי 359

- הקדמה 359
- מגיבים ותוצרים 360
- שיווי משקל כימי סטבילי ומטה-סטבילי 362
- מידת התגובה והרכב התערובת המגיבה 364
- מידת התגובה 364
- שימור המסה 365
- שבר מולי 366
- דוגמאות לשימוש במידת התגובה 367
- כמה תכונות של מידת התגובה 370
- תנאי שיווי המשקל וכיוון התגובה 372
- תנאי שיווי המשקל 372

- כיוון התגובה הכימית 373
 הזיקה הכימית של תגובה 374
 פרשנות גיאומטרית 375
 כיצד להשתמש בזיקה כדי לענות על שאלות מעשיות בכימיה:
 כיוון התגובה 377
 תנאי שיווי המשקל במונחי הפוטנציאל הכימי וקבוע שיווי המשקל 378
 זיקת התגובה במונחי הפוטנציאל הכימי 378
 זיקת התגובה במקרה של תערובות אידיאליות 380
 תנאי שיווי המשקל במקרה של תערובות אמיתיות 383

פרק 18 שיווי משקל כימי: הקשר בין קבוע שיווי המשקל והרכב שיווי המשקל
 387

- הקדמה 387
 כיצד לחשב את קבוע שיווי המשקל על סמך מדידת ריכוז שיווי המשקל של מרכיב אחד 388
 כיצד לחשב את הרכב שיווי המשקל כאשר ידועים קבוע שיווי המשקל ומספר המולים ההתחלתי 391
 התלות של מידת התגובה במספר המולים ההתחלתי 393
 התפקיד של מספר המולים ההתחלתי 393
 סעיף העשרה 18.1 דוגמה נוספת לחישובי הרכב 399
 סעיף העשרה 18.2 דוגמה שנייה וניתוח שגיאות 402
 סעיף העשרה 18.3 כיוון התגובה 409
 מצב מטה־סטבילי 412

פרק 19 שיווי משקל כימי: כיצד לחשב את K מתוך $\Delta G^0 = -RT \ln K$
 415

- חישוב $\Delta G^0(T, p)$ מתוך ΔG של יצירת התרכובות 416
 הקבלה ל- ΔH 416
 כיצד לחשב את ΔG^0 בלחץ של 1 bar מתוך משוואה 19.5 417
 חישוב ΔG^0 מתוך $\Delta G^0(T, p) = \Delta H^0(T, p) - T\Delta S^0(T, p)$: השיטה 422
 חישוב $\Delta H^0(T, p)$ 423
 חישוב ΔS^0 424

- חישוב $\Delta G^0(T, p)$ מתוך $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$: השינוי ב- K כתלות
 בטמפרטורה 425
 חישוב ΔH^0 427
 חישוב $\Delta S^0(T, p)$ 428
 חישוב $\Delta G^0(T, p)$ 429
 חישוב ΔG^0 ו- K : השינוי בקבוע שיווי המשקל כתלות בלחץ 431
 חישוב $\mathcal{I}_H(\text{H}_2\text{O}; 1000 \text{ K}, p)$ 433
 תוצאות מספריות של הנפח המולי ו- \mathcal{I}_H 435
 חישוב $\mathcal{I}_S(i; 1000 \text{ K}, p)$ 436
 חישוב $\Delta G^0(T, p)$ מתוך $\Delta G^0(T, p) = \sum_i \nu(i)\mu^0(i; T, p)$ 437
 שאלות 440

פרק 20 שיווי משקל כימי: התלות של קבוע שיווי המשקל

בטמפרטורה ובלחץ 443

- השינוי בקבוע שיווי המשקל, K , בעקבות השינוי בלחץ ובטמפרטורה:
 המשוואות 444
 השינוי בקבוע שיווי המשקל עם הטמפרטורה 444
 השינוי בקבוע שיווי המשקל עם הלחץ 445
 עקרון לה שטלייה 445
 ניסוח העיקרון 445
 פיתוח העיקרון 446
 חישוב השינוי של קבוע שיווי המשקל K עם הטמפרטורה 448
 הרכב שיווי המשקל עבור טמפרטורות והרכבים התחלתיים שונים 454
 תלות קבוע שיווי המשקל בלחץ 458
 השימוש ב- $(\partial \ln K / \partial p)_{T, n} = -\Delta V^0 / RT$ (משוואה 20.5) 458
 חישוב הנפחים המוליים 460
 חישוב $\mathcal{I}_V(i; T = 1000 \text{ K}, p)$ 461
 חישוב קבוע שיווי המשקל בתנאי לחץ שונים מתוך משוואה 20.18 462
 כיצד לחשב את השינוי בקבוע שיווי המשקל כאשר הטמפרטורה והלחץ משתנים גם יחד 463
 סיכום 465

פרק 21 שיווי משקל של תגובות מצומדות 467

- הקדמה 467
- מאזן המסה ותנאי שיווי המשקל של תגובות מצומדות 468
- מאזן המסה 468
- תנאי שיווי המשקל 469
- קבועי שיווי המשקל 471
- חישוב ΔG_1^0 , ΔG_2^0 , K_1 ו- K_2 472
- חישוב הרכב שיווי המשקל של תגובות מצומדות 472
- השברים המוליים 473
- מספרי המולים 473
- קבועי שיווי המשקל 477
- חישוב מידות התגובה במצב שיווי המשקל 477
- הרכב שיווי המשקל 478
- כמה דקויות מעניינות לגבי תגובות הטרונגניות 478
- הכללה 479
- המקדמים הסטויכיומטריים $\nu(i, \alpha)$ 479
- מספרי המולים והשברים המוליים 480
- קבועי שיווי המשקל 481
- יישום נוסף 482
- תוצאות החישובים 482
- שימוש בעקרון לה שטלייה 486

פרק 22 מעברי פאזה במערכות בנות מרכיב אחד:

- התופעות 489**
- הקדמה 489
- התופעות המתרחשות במהלך מעבר פאזה 490
- התהליך הפיך 493
- עקומת הדו־קיום 493
- דיאגרמת הפאזות השלמה 496
- כיצד להשתמש בדיאגרמת פאזות 498
- לחץ האדים 498

פרק 23 מעברי פאזה במערכות בנות מרכיב אחד: תנאי שיווי

המשקל 503

- תנאי שיווי המשקל לדו־קיום של פאזות 503
 - הקדמה 503
 - תנאי שיווי המשקל (הדו־קיום) 504
 - כיצד להשתמש במשוואה 505
 - יציבות של פאזה 506
 - אנלוגיה לתגובה כימית 508
 - משוואת קלפרון 508
 - אנטרופיית המעבר קשורה לחום המעבר 511
- סעיף העשרה 23.1 אידוי של טיפות ובועות, ומסתרי ההתגרענות
 - (nucleation) 513
 - קיים גבול בין הפאזות 513
 - היציבות של טיפות נוזל 513
 - מעבר הפאזה הוא שינוי של רדיוס 514
 - אם $\mu(g) < \mu(l)$, הטיפה אינה יציבה 516
 - "היציבות" המשונה כאשר $\mu(l; T, p) < \mu(g; T, p)$ 516
 - שיווי משקל יציב למחצה (metastable) 517
 - התגרענות 518
 - התגרענות הטרוגנית 520

פרק 24 מעברי פאזה במערכות בנות מרכיב אחד: שימוש

בתנאי שיווי המשקל לחישוב גרף הדו־קיום 523

- הקדמה 523
- מעברים הכוללים שתי פאזות מעובות 525
 - היתוך 525
 - דוגמה למעבר פאזה מוצק-מוצק 526
- מעברים הכוללים פאזה מעובה אחת ופאזה גזית אחת 530
 - תיאוריה פשוטה 530
- שימוש במשוואת קלפרון על מנת לחשב את לחץ האדים של NH_3 539

פרק 25 שיווי משקל בין פאזות במערכות בינאריות: התופעות 545

הקדמה 545

המשתנים הבלתי תלויים 546

כיצד להכין דיאגרמת פאזות בלחץ קבוע של מצב שיווי המשקל נוזל-אדים

במערכת בת שני מרכיבים 548

שרטוט דיאגרמת פאזות בלחץ קבוע 549

דיאגרמת הפאזות המלאה עבור נוזל-אדים בלחץ קבוע 554

כמה חומר יש בכל פאזה במסגרת דו-קיום? 556

מערכות בעלות אזאוטרופ 559

כיצד להכין דיאגרמת פאזות נוזל-אדים בטמפרטורה קבועה 561

פרק 26 תנאי שיווי המשקל עבור מערכות בינאריות בשתי**פאזות: יישום לגבי שיווי משקל אדים-נוזל** 565

הקדמה 565

תנאי שיווי המשקל עבור שתי פאזות הקיימות זו בצד זו במערכת

בינארית 566

קבלת תנאי שיווי המשקל 566

מספר המשתנים הבלתי תלויים 568

חוק הפאזה 569

יישום עבור שיווי משקל נוזל-אדים: תערובות אידיאליות 570

מתנאי שיווי משקל לדיאגרמות פאזה 570

דיאגרמות פאזות עבור תערובות בינאריות אידיאליות 571

המרת $\mu_i^0(g)$ ו- $\mu_i^0(l)$ בגדלים בני מדידה 572לחץ האדים $p_i^0(T)$ של התרכובת הטהורה 575

חישוב עקום הטל ועקום הבועות עבור תערובת של פחמן דו-גפרי

ובנוזן 575

עקום הטל 576

עקום הבועות 576

חישובים נומריים והשוואה 577

סעיף העשרה 26.1 שיווי המשקל נוזל-אדים כאשר הנוזל

הוא תמיסה אמיתית והאדים הם תערובת אידיאלית של גזים

אידיאליים 582

- מקדמי הפעילות 584
התלות של מקדם הפעילות בשבר המולי 585
כיצד מחשבים את דיאגרמת הפאזות בטמפרטורה קבועה
כאשר אתם יודעים את מקדמי הפעילות 586
חישוב מקדמי הפעילות מתוך נתוני שיווי משקל נוזל-אדים 589
מה לא בסדר במשוואת מרגולס? 590
- פרק 27 תמיסות אלקטרוליטיות 595**
הקדמה 595
תמיסות אלקטרוליטיות 595
אינטראקציות ארוכות טווח 596
איזון מסות ומשתנים בלתי תלויים 598
סימון, איזון מסות ושימור המטען 598
ניטרליות המטען 600
תנאי שיווי משקל 600
השינוי באנרגיה החופשית של גיבס 600
קבוצה חדשה של משתנים 602
שיווי המשקל של היינון 603
שיווי משקל הכולל שתי פאזות 604
דיון בפוטנציאלים כימיים שונים 605
למה $\mu(+)$ ו- $\mu(-)$ אינם רלוונטיים כל אחד כשלעצמו? 606
פעילות ומקדם הפעילות 607
מולליות (molality) 608
הגדרת הפעילות בסקלה המוללית 610
סימון חדש לצורך כתיבה מחדש של משוואה 27.38 613
התיאוריה של דביי-היקל לגבי תמיסות אלקטרוליטיות 616
נוסחאות ושימוש 616
דוגמה 618
- פרק 28 תאים גלווניים: תופעות 621**
הקדמה 621
תאים גלווניים (Galvanic cells) 622

- איך יוצרים תא דניאל 622
 תא דניאל: התגובות בתא 623
 תא דניאל: מחצית התגובה באלקטרודת ה- Cu 624
 תא דניאל: מחצית התגובה באלקטרודת ה- Zn 626
 פוטנציאלי המגע 627
 בשיווי משקל, הפוטנציאל בתוך כל פאזה מוליכה קבוע (מרחב) 627
 תא דניאל במעגל פתוח 629
 גילוי נאות 630
 תא דניאל במעגל סגור 630
 הסוללה הופכת אנרגיה כימית לעבודה חשמלית 631
 נומנקלטורה 633
 תרגול סימולים של תאים 633
 אלקטרוליזה (electrolysis) 636
 סעיף העשרה 28.1 תאי דלק (fuel cells) 638
 תא דלק מודרני 641
 האלקטרוליט 644
 הקתודה 645
 למה תאי דלק? 645
 גורמי המאקרו 647
 סעיף העשרה 28.2 קיצור תולדות התאים הגליוניים האלקטרוליטיים 648
 סעיף העשרה 28.3 מטבעות של אירו אחד ושל שני אירו 649

פרק 29 תאים גליוניים: תנאי שיווי משקל 651

- הקדמה 651
 תנאי שיווי המשקל עבור צורונים טעונים בשתי פאזות מוליכות
 הנמצאות במגע 652
 הקדמה 652
 חזרה על התרמודינמיקה של תערובות 654
 תמיסות אלקטרוליטיות בהיעדר שדה חשמלי 655
 תמיסות אלקטרוליטיות בנוכחות פוטנציאל אלקטרוסטטי 655
 השינוי באנרגיה החופשית של גיבס 657

- תנאי שיווי המשקל עבור חלקיקים טעונים בשתי פאזות סמוכות 657
הקדמה 657
- פוטנציאל המגע של שתי מתכות 658
- תנאי שיווי המשקל עבור תא גלווני 659
- מתי תא גלווני נמצא בשיווי משקל? 659
- תנאי שיווי המשקל בתא: דוגמה 600
- פרשנות לתנאי שיווי המשקל 663
- הרכב שיווי המשקל בתא 664
- קביעת הכוח האלקטרומניע הסטנדרטי E_0 668
- הקביעה של E_0 באמצעות ניסוי 668
- ממשיכים מעבר לתיאוריית דביי-היקל 674
- הכוח האלקטרומניע של חצי תא 675
- הקדמה 675
- למה ערכי הכא"מ של חצאי תאים שימושיים? 679
- תרגול נוסף 679
- הנטייה של תגובת חמצון-חיזור להתרחש 680
- השימוש במדידות כוח אלקטרומניע לצורך קביעת מקדמי הפעילות של תמיסה אלקטרוליטית 683
- שימוש במדידות כוח אלקטרומניע לצורך קביעת מקדמי פעילות 683
- השימוש במקדמי הפעילות של אלקטרוליטים לצורך חישוב השינוי בכוח האלקטרומניע של תא כפונקציה של מולליות התמיסה האלקטרוליטית 687
- הקדמה 687
- הקשר בין הרכב שיווי המשקל של תגובה המבוצעת בתוך תא לבין אותה התגובה המבוצעת בכלי זכוכית 690
- הקדמה 690
- גם שיווי המשקל גז-נוזל משפיע 692
- כיצד אנו יכולים להשתמש בתנאים האלה? 693
- ההרכב והלחצים החלקיים 698
- יישום 698
- סיכום התוצאות 700
- סיכום 701

נספחים 703

- 705 נספח 1. מקדמי המרה של יחידות לחץ
- 705 נספח 2. נתונים עבור אתאן
- 710 energy/mol K נספח 3. קבוע הגז R ביחידות של
- 710 נספח 4. מקדמי ואן דר ואלס
- 712 נספח 5. ערכי המקדמים המופיעים במשוואת בייטי-ברידג'מן
- 713 נספח 6. ערכי המקדמים המופיעים במשוואת בנדיקט-וב-רובין
- 717 נספח 7. יחידות של עבודה, אנרגיה וחום
- 718 נספח 8. התלות של קיבול החום בטמפרטורה
- 720 נספח 9. תכונות תרמודינמיות בכמה טמפרטורות ובלחץ של 1 bar

לקריאה נוספת 737

מפתח 741