

ЗМІСТ

1. Загальна частина	4
2. Домашні розрахункові завдання	9
3. Індивідуальне розрахунково-графічне завдання	19
4. Перелік контрольних запитань	44
Список літератури	47

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Розподіл навчальних годин курсу у 8-му тетраестрі

Всього за навчальним планом	– 180.
Кредитів	– 5.
Аудиторні заняття	– 72,
– лекції	– 32,
– лабораторні роботи	– 32,
– практичні заняття	– 8.
Самостійна робота	– 90,
– підготовка до лекцій	– 12,
– підготовка до лабораторних робіт	– 16,
– підготовка до практичних занять	– 8,
– домашні завдання	– 16,
– підготовка до модульної контрольної роботи	– 12,
– опрацювання тем, які не викладаються на лекціях	– 8.
Виконання індивідуальних завдань	
– розрахунково-графічних робіт	– 18.
Контрольні заходи	– 18.
– кількість модулів у тетраестрі	– 1,
– підсумковий контроль	іспит,
– форма відокремлених КЗ	РГЗ, МКР

1.2. Зміст модулів навчальної дисципліни, їх оцінювання в балах, форми і терміни поточного і модульного контролю

Елементи модуля	Кількість балів			Поточний і модульний контроль навчальної роботи студентів	
	Рівень допуску,	Мінімальна, рівень заліку $\leq 10\%$	Максимальна,	Форма контролю	Термін
1	2	3	4	5	6
Модуль 2 – Розчини. Термодинаміка і будова поверхневого шару.					
Семестр 4, тетраестр 8					
Лабораторна робота 9. Кріоскопія	3	4	6	Виконання і захист лабораторної роботи	$\frac{1}{8}$
Лабораторна робота 10. Визначення взаємної розчинності в дво- і трикомпонентних системах	3	4	6	Виконання і захист лабораторної роботи	$\frac{2}{8}$

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6
Лабораторна робота 11. Електропровідність розчинів електролітів	3	4	6	Виконання і захист лабораторної роботи	$\frac{3}{8}$
Лабораторна робота 12. Визначення коефіцієнтів активності методом електрорушійних сил	3	4	6	Виконання і захист лабораторної роботи	$\frac{4}{8}$
Домашнє завдання 3. Властивості розбавлених розчинів нелетких речовин	3	4	7	Захист розрахункового завдання, виконаного самостійно	$\frac{4}{8}$
Лабораторна робота 13. Вимірювання електрорушійної сили (ЕРС) і електродних потенціалів	3	4	6	Виконання і захист лабораторної роботи	$\frac{5}{8}$
Індивідуальне розрахунково-графічне завдання. Аналіз діаграм стану і розрахунки кількості речовини, що може виділитися з бінарної багатофазної системи перегонкою або кристалізацією	5	8	14	Захист індивідуального розрахунково-графічного завдання	$\frac{5}{8}$
Лабораторна робота 14. Дослідження адсорбції поверхнево-активних речовин (ПАР) на межі поділу розчин – повітря	3	4	6	Виконання і захист лабораторної роботи	$\frac{6}{8}$
Домашнє завдання 4. Обчислення електрорушійної сили і константи рівноваги реакції, що перебігає у гальванічному елементі	3	4	7	Захист розрахункового завдання, виконаного самостійно	$\frac{7}{8}$
Лабораторна робота 15. Дослідження адсорбції ПАР і органічних барвників на межі адсорбент – розчин	3	4	6	Виконання і захист лабораторної роботи	$\frac{7}{8}$
Лабораторна робота 16. Визначення парохору та рефракції речовини	3	4	6	Виконання і захист лабораторної роботи	$\frac{8}{8}$
Розділи III-V лекційного курсу. Розчини. Електрохімія. Термодинаміка і будова поверхневого шару. Адсорбція	9	13	24	Модульна контрольна за лекційним курсом	$\frac{9}{8}$

1.3. Тематичний план та зміст лекційного курсу

Назва розділів, теми лекцій та їх зміст	Годин
III. Розчини неелектролітів та електролітів	
13. Розчини неелектролітів Способи вираження складу розчинів. Термодинамічна класифікація розчинів (ідеальні, гранично розведені, реальні). Парціальні мольні величини і методи їх визначення. Рівняння Гіббса-Дюгема. Ідеальні та неідеальні розчини. Активність компонента розчину, коефіцієнт активності. Хімічний потенціал компонента реального розчину. Методи експериментального визначення активності. Залежність коефіцієнтів активності від складу розчину і температури	2
14. Ідеальні розчини Адитивність екстенсивних властивостей ідеальних розчинів. Колігативні властивості ідеальних розчинів. Хімічні потенціали компонентів ідеальних розчинів. Розчинність газів. Закон Генрі. Тиск пари над ідеальним розчином. Закон Рауля. Відхилення від закону Рауля, як результат міжмолекулярної взаємодії в розчинах. Рівняння Ван-Лаара	2
15. Розчини твердих речовин у рідині Рівняння Шредера. Гранично розведені розчини нелетких речовин. Закон Рауля для цих розчинів. Кріоскопія та ебуліоскопія, визначення молекулярної маси розчиненої речовини. Осмос. Дифузія	2
16. Розчини летких рідин Діаграми тиск-склад і температура-склад летких рідин. Закони Коновалова та їх термодинамічне обґрунтування. Азеотропні суміші. Закони Вревського. Перегонка. Ректифікація	2
17. Рідини, малорозчинні одна в одній Рідини практично нерозчинні одна в одній. Діаграми тиск-склад, температура кипіння-склад. Фізико-хімічні основи перегонки з водяною парою. Розподіл речовини між рідинами, які не змішуються. Закон розподілу Шилова-Нернста. Екстрагування. Рідини обмежено розчинні одна в одній. Ліквіація. Діаграми P(T) – склад	2
18. Властивості слабких та сильних електролітів Відмінності у властивостях електролітів та неелектролітів. Ізотонічний коефіцієнт. Теорія електролітичної дисоціації. Залежність ступеня дисоціації від різних чинників. Стандартний стан у розчинах електролітів. Активність. Електростатична теорія сильних електролітів Дебая-Гюкеля. Залежність коефіцієнта активності від іонної сили розчину	2
19. Електрична провідність розчинів Механізм перенесення струму у розчинах електролітів. Електрична провідність розчинів. Рухливість іонів, її залежність від температури, природи іонів і глейкості розчинника. Закон незалежного руху іонів Кольрауша. Аномальна рухливість іонів гідроксиду і гідроксонію. Особливості електропровідності у розчинах сильних електролітів. Електрофоретичний і релаксаційний ефекти. Числа перенесення і методи їх визначення. Електродні баланси. <i>Електропровідність твердих та розплавлених електролітів (1 година)</i>	2 CP

IV. Електрохімічна термодинаміка	
20. Рівноважні електродні процеси Електрорушійні сили та електродні потенціали. Механізм виникнення електродного потенціалу. Електродний потенціал. Рівняння Нернста. Гальвані-потенціал, вольт-потенціал. Стандартні електродні потенціали у водневій шкалі	2
21. Класифікація електродів Класифікація електродів. Електроди 1-го, 2-го, окисно-відновні, мембранні та іон-селективні. Електроди для вимірювання рН розчинів. Електроди порівняння. <i>Взаємні перетворення хімічної та електрохімічної енергії. Закони Фарадея (1 година)</i>	2 CP
22. Електрохімічні кола Термодинаміка гальванічного елемента. Гальванічні кола: хімічні і концентраційні. Кола без переносу та з переносом. Дифузійний потенціал. Методи вимірювання ЕРС гальванічних елементів і електродних потенціалів. Електроди порівняння. Визначення коефіцієнтів активності і рН на основі вимірювання ЕРС. Потенціометрія	2
V. Термодинаміка і будова поверхневого шару. Адсорбція	
23. Термодинаміка поверхневого шару Поверхневі сили і поверхневий шар. Природа поверхневих сил. Внутрішній тиск. Товщина поверхневого шару. Термодинамічні функції поверхневого шару. Метод Надлишків Гіббса. Поверхневий натяг як міра вільної поверхневої енергії. Повне об'єднання рівняння 1-го і 2-го законів термодинаміки для поверхневого шару і його аналіз за різних умов. Рівняння Гіббса-Гельмгольца для поверхневого шару. Вплив температури на поверхневий натяг, ентропію і теплоту утворення поверхневого шару	2
24. Поверхневі явища Поверхневі явища, пов'язані зі зміною вільної поверхневої енергії. Адгезія, змочування, капілярні явища. Рівняння Дюпре, Юнга, Юнга-Дюпре, Лапласа-Юнга, Кельвіна-Томсона. Електрокапілярність, рівняння Ліпмана. <i>Методи вимірювання поверхневого натягу (1 година)</i>	2 CP
25. Поверхневі явища і адсорбція Основні визначення, розмірності. Вивід адсорбційного рівняння Гіббса, його аналіз для різних бінарних систем (межа розділу рідина/газ). Термодинаміка адсорбції. Константа адсорбційної рівноваги. Вплив температури на процес адсорбції	2
26. Адсорбція на межі поділу розчин/газ (пара) Ізотерми поверхневого натягу. Поверхнева активність. Поверхнево-активні речовини (ПАР). Правило Траубе, рівняння Шишковського. Ізотерми адсорбції на межі розчин/газ. Виведення, аналіз, лінеаризація ізотерми Ленгмюра, адсорбція з бінарних розчинів необмеженої концентрації. Атракційна взаємодія у поверхневому шарі. Рівняння ізотерми Фрумкіна	2
27. Молекулярна адсорбція із бінарного розчину на твердій поверхні Модельні уявлення Ленгмюра, Фрумкіна та ін. Методи визначення адсорбції. Емпіричні дані з молекулярної адсорбції. Правило зрівнювання полярностей Ребіндера. Селективність і конкурентний характер адсорбції. Використання рівнянь Ленгмюра і Генрі для вивчення адсорбції ПАР. <i>Теоретичні уявлення про адсорбцію (1 година)</i>	2 CP
28. Поверхневі плівки Рівняння стану поверхневих плівок. Типи поверхневих плівок і визначення їх параметрів. Ваги Ленгмюра. Зв'язок поверхневого тиску з розмірами молекул ПАР	2

1.4. Індивідуальні та домашні завдання для самостійної роботи студентів

Вид та тема завдання	Кількість годин СР	Діяльність студентів
Домашнє завдання для самостійного опрацювання окремих розділів програми:		
Розділ III. Тема 19. Питання: Електропровідність твердих та розплавлених електролітів	2	За допомогою спеціальної і навчальної літератури самостійно опрацювати теми та окремі питання, які не викладаються на лекціях
Розділ IV. Тема 21. Питання: Взаємні перетворення хімічної і електричної енергії. Закони Фарадея	2	
Розділ V. Тема 24. Питання: Методи вимірювання поверхневого натягу	2	
Розділ V. Тема 27. Питання: Теоретичні уявлення про адсорбцію	2	
Індивідуальні розрахунково-графічні домашні завдання:		
2. Аналіз діаграм стану і розрахунки кількості речовини, що може виділитися з бінарної багатофазної системи перегонкою або кристалізацією	18	Згідно з експериментальними даними побудувати діаграми плавкості або кипіння двокомпонентної системи. Проаналізувати зміни в системі, що відбуваються при її нагріванні або охолодженні. Розрахувати кількість компонентів та фаз, які можуть виділитися з системи заданого складу
Домашні розрахункові завдання:		
3. Властивості розбавлених розчинів нелетких речовин	8	За даними зниження тиску пари над розчином нелеткої речовини відомої масової концентрації визначити молярну масу розчиненої речовини, полярність і молярність розчину, осмотичний тиск, зниження температури замерзання. Підвищення температури кипіння розчинів
4. Обчислення електрорушійної сили і константи рівноваги реакції, що протікає у гальванічному елементі	8	Навчитися за допомогою таблиці стандартних електродних потенціалів записувати рівняння реакції, що перебігає у гальванічному елементі; використовувати рівняння Нернста для обчислення електродних потенціалів та електрорушійної сили елементів при активностях іонів, що не є стандартними; обчислити константу рівноваги Red-Ox реакції

2. ДОМАШНІ РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ

Завдання 3. Властивості розбавлених розчинів нелетких речовин

При температурі T тиск пари розчину концентрації c мас. % невідомої нелеткої речовини у рідкому розчиннику дорівнює p Па, густина цього розчину – d (таблиця 2.1). Залежність тиску насиченої пари від температури над рідким і твердим чистим розчинником надана в таблиці 2.2.

1. Обчислити молярну масу розчиненої речовини.
2. Визначити молярну і моляльну концентрації розчину.
3. Обчислити осмотичний тиск розчину.
4. Побудувати криву $p = f(T)$ для даного розчину.
5. Визначити графічно підвищення температури кипіння при тиску p розчину даної концентрації c .
6. Обчислити ебуліоскопічну сталу.
7. Визначити зниження температури замерзання.
8. Обчислити криоскопічну сталу.

Таблиця 2.1

Вихідні дані до завдання 3

№	c , мас. %	Молярна маса розчинника	p , Па	T , К	$d \cdot 10^{-3}$, кг/м ³
1	0,5	18	1598	288,2	1,000
2	8	27	38714	278	0,750
3	5	28	31740	69	0,850
4	8,5	30	33841	114	1,300
5	5	32	16108	306,7	1,590
6	9	34	55000	207	1,985
7	8	44	650000	223	1,500
8	7	46	2375	283,2	1,210
9	5	52	91912	252,5	2,900
10	4,5	52,5	776	1991	6,800
11	5	58	35896	303	3,560
12	6	64	7328	216	1,590
13	3	68	12420	149	1,780
14	3	78	5807	283,2	0,750
15	6	81	49431	194	1,210
16	5	83,5	84990	119,6	2,160
17	2,5	84	5962	283,3	0,790
18	5	122	1024	403,7	1,120
19	4	127,5	59030	226,7	2,880
20	5	128	1219	358,2	1,145
21	5	154	3745	282,5	1,640
22	4,4	174	12324	523	1,460
23	6	27	35640	275	0,747
24	7	30	36367	114,5	1,290
25	8	34	58722	209	1,980
26	6	46	2394	283	1205
27	6	58	38783	305	3,565
28	3,5	68	11478	148	1,780
29	6	28	28428	68	0,86
30	5	254	15828	397,2	3,970

Таблиця 2.2

Вихідні дані до завдання 3

№	Стан				Умови
	твердий		рідкий		
	Т, К	р, Па	Т, К	р, Па	
1	2	3	4	5	6
1	268,2 269,2 270,2 271,2 272,2	401,2 437,2 475,9 517,2 533,2	269,2 272,2 273,2 275,2 278,2 283,2 288,2	505 533,2 573 656 760 982 1600	M = 18 p = 40,5·10 ⁵ Па d _{ТВ} = 918 d _{рід} = 1000
2	248 254,4 258 259 260	7998 13300 17995 19995 23327	260 265 270 278 282	23327 27190 31860 40290 47990	M = 27 p = 800·10 ⁵ Па d _{ТВ} = 718 d _{рід} = 709
3	55 58 59,2 63 64	1333 3999 11997 14663 17329	60 64 66 67,8 69 71	12663 17329 22394 27993 31993 39990	M = 28 P = 500·10 ⁵ Па d _{ТВ} = 1026 d _{рід} = 808
4	100 104 107 109 110,5 112	4132 8531 14663 19995 25367 29653	105 112 114 115 116 117	17329 29653 34738 38657 46435 53053	M = 30 p = 900·10 ⁵ Па d _{ТВ} = 1272 d _{рід} = 1260
5	229,2 248 257 267,2 273,2	133,3 694,5 1333 2966 4786	273,2 282,5 298,2 306,7 312,5 316,5	4786 6665 12697 16396 18929 21328	M = 32 p = 300·10 ⁵ Па d _{ТВ} = 837 d _{рід} = 825
6	173 178 183 184 190	7330 11600 16795 19995 31192	190 195 200 207 215 221	31192 38657 46655 55986 69476 77314	M = 34 p = 450·10 ⁵ Па d _{ТВ} = 1010 d _{рід} = 980
7	196 203 213 220	101325 190461 402360 648480	212 220 223 239 241 243	592751 648480 674824 1005114 1065237 1131722	M = 44 p = 750·10 ⁵ Па d _{ТВ} = 1542 d _{рід} = 1510

1	2	3	4	5	6
8	276,6 278,2 279,2 280,2 281,4	1413 1706 1879 2066 2372	277,2 279,2 281,4 283,2 285,2 288,7	1826 2052 2372 2626 2932 3279	$M = 46$ $p = 950 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{тв}} = 1240$ $d_{\text{рід}} = 1230$
9	230 233 237 240 243 245	26260 31458 39990 49997 58818 66650	236 246 248 249 252,5 253,5	63315 78647 83979 86645 96942 100508	$M = 52$ $p = 350 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{тв}} = 3010$ $d_{\text{рід}} = 2955$
10	1758,2 1788,2 1810,2 1835,2 1873,2	22,68 63,98 99,97 115,99 300,00	1832 1873,2 1905 1938 1956 1991 2040	187 300 387 486 573 800 973	$M = 52,5$ $P = 500 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{тв}} = 6800$ $d_{\text{рід}} = 6750$
11	242,1 252,4 263,8 271,2 280,9 293,0	1333 2666 5332 7998 13330 26660	293 303 308 311 313 316	26600 37724 46188 51720 56186 63317	$M = 58$ $p = 700 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{тв}} = 822$ $d_{\text{рід}} = 812$
12	183,2 188,0 196,2 199,2 203,7	333,3 586,5 1850 3000 5305	201 203,7 214 216 230,2 244	4665,5 5305 7198 7998 13328 21728	$M = 64$ $p = 1000 \cdot 10^5$ $d_{\text{тв}} = 1600$ $d_{\text{рід}} = 1560$
13	135 137 139,5 141,5 144 146	1999,5 2666 3999 5332 7998 9997,5	137 141 144 146 149 151,4	6665 7331,5 8664,5 9997,5 12663 15996	$M = 68$ $p = 200 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{тв}} = 1450$ $d_{\text{рід}} = 1434$
14	273,2 274,2 276,2 277,2 278,2	3265,8 3465,8 3923,3 4305,6 4530	274,2 275,2 276,2 278,2 283,2 290,2	3730 4000 4160 4530 6050 8930	$M = 78$ $p = 900 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{тв}} = 893$ $d_{\text{рід}} = 890$

1	2	3	4	5	6
15	177,3 180 182,0 184 185,5	15996 19995 23994 28659 32992	180 185,5 188 191 194 196,8	26660 32992 37057 43456 51987 59985	M = 81 p = 300·10 ⁵ Па d _{тв} = 1625 d _{рід} = 1610
16	99 101,9 103 104,5 107,2 115,5	10675 13995 17330 19995 26660 68649	111 115,5 117 118 119 119,6	63984 68649 72782 77980 82646 87711	M = 83,5 p = 800·10 ⁵ Па d _{тв} = 3330 d _{рід} = 2150
17	272,5 273,4 275,7 277,2 279,2 281,7	3332,5 3599,1 4065,6 4398,9 5065 5798,6	275,7 280,2 281,7 283,3 285,2 287,5	4878,8 5598,6 5798,6 6198,6 6931,6 7731,4	M = 84 p = 120·10 ⁵ Па d _{тв} = 796 d _{рід} = 788
18	353,2 363,2 373,2 383,2 393,2	39,99 79,98 186,6 393,2 679,8	363,2 393,2 395,2 400,7 403,7 408,7	186,6 679,8 733,1 973,1 1133 1399,6	M = 122 p = 850·10 ⁵ Па d _{тв} = 1105 d _{рід} = 1095
19	208 209,2 213,2 216,4 220 224,2	19195 22662 29859 35991 45988 59985	219,2 224,2 226,7 229,2 231,2 232,7	55319 59985 6665 75981 83979 87975	M = 127,5 p = 500·10 ⁵ Па d _{тв} = 2970 d _{рід} = 2850
20	334,6 338,4 343,2 348,2 353,2 353,7	266,6 352,2 533,2 733,1 1039,7 1266,3	348,2 353,7 358,2 363,8 368,8 373,8	1046 1266,3 1399 1666 2066 2466	M = 128 p = 180·10 ⁵ Па d _{тв} = 1145 d _{рід} = 982
21	223,2 237,2 246,2 252,2 253,2	133,3 466,5 799,8 1213 1319	244,2 253,2 270,1 282,5 285,7 303,2	1200 1319 2465 3865 4398 7664	M = 154 p = 60,8·10 ⁵ Па d _{тв} = 1680 d _{рід} = 1650

Продовження табл. 2. 2

1	2	3	4	5	6
22	418 446,5 460,2 474,9 490,5	133,3 667 1333 2666 5332	490,5 504,8 523 552,2 583,2 612	5332 8020 13300 26660 53320 101308	$M = 174$ $p = 220 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{ТВ}} = 954$ $d_{\text{рід}} = 948$
23	252 255 257,5 260	10950 14198 17344 23327	258 260 263 267 275 281	22112 23327 25703 29095 36810 45791	$M = 27$ $p = 500 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{ТВ}} = 718$ $d_{\text{рід}} = 709$
24	106 108 110 112	12487 17326 23510 29653	107 112 113 114,5 116 117	20635 29653 32057 37107 46435 52354	$M = 30$ $p = 500 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{ТВ}} = 1272$ $d_{\text{рід}} = 1260$
25	180 185 188 190	13905 21613 26874 31192	186 190 195 202 209	27117 31192 37587 49485 59602	$M = 34$ $p = 500 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{ТВ}} = 1010$ $d_{\text{рід}} = 980$
26	279 280 280,7 281,4	1842 2033 2190 2372	280 281,4 283 284 286	2155 2372 2607 2754 3082	$M = 46$ $p = 700 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{ТВ}} = 1240$ $d_{\text{рід}} = 1230$
27	275 280 288 293	9256 11570 19016 26660	287 293 300 305 310	23125 26660 33950 40987 49890	$M = 58$ $p = 400 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{ТВ}} = 822$ $d_{\text{рід}} = 812$
28	142 143 145 146	5816 6786 8905 9997	143 145 146 148 150	8138 9319 9997 11758 13869	$M = 68$ $p = 300 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{ТВ}} = 1450$ $d_{\text{рід}} = 1434$
29	61 62 63,5 64	9151 12074 15962 17329	62 64 65 67 68 70	14172 17329 19844 25583 28727 35436	$M = 28$ $p = 300 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{ТВ}} = 1026$ $d_{\text{рід}} = 808$
30	377,2 381,2 383,2 386,2 389,2 392,2	7064 8531 9331 10397 11997 13997	373,2 388,2 392,2 393,2 397,2 401,2	10662 12397 13997 14796 16929 19462	$M = 254$ $p = 200 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $d_{\text{ТВ}} = 3960$ $d_{\text{рід}} = 3900$

Приклади розв'язування задач

Умова завдання. При температурі 460 К тиск пари розчину концентрації 7 мас.% невідомої нелеткої речовини у рідкому розчиннику з молярною масою 152 г дорівнює 52219 Па, густина цього розчину $0,850 \cdot 10^3$ кг/м³. Залежність тиску насиченої пари від температури над твердим і рідким розчинником дана в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Стан твердий		Стан рідкий	
T, К	p, Па	T, К	p, Па
437,7	35324	446,4	47000
441,2	39323	448,2	47454
444,2	42659	451,2	49563
448,2	47454	460	55986
		470	63317

Задача 1. Обчислити молярну масу розчиненої речовини.

Розв'язування. Молярну масу розчиненої речовини обчислюємо за даними зниження тиску насиченої пари розчину в порівнянні з чистим розчинником. Так, при температурі 460 К тиск пари розчинника $p_0 = 55986$ Па, а тиск пари розчину $p = 52219$ Па.

За законом Рауля:

$$N_2 = \frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{55986 - 52219}{55986} = 0,0673,$$

де N_2 – мольна частка розчиненої речовини.

За визначенням:

$$N_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}, \quad (2.1)$$

де n_1 і n_2 – числа молей розчинника і розчиненої речовини відповідно.

В 100 г 7 мас.% розчину знаходяться 7 г розчиненої речовини і 93 г розчинника. Тоді:

$$n_1 = \frac{93}{M_1} \quad \text{і} \quad n_2 = \frac{7}{M_2},$$

де M_1 і M_2 – молярна маса розчинника і розчиненої речовини відповідно.

Використовуючи закон Рауля складаємо рівняння:

$$\frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} = \frac{\frac{7}{M_2}}{\frac{93}{M_1} + \frac{7}{M_2}}, \quad \frac{55986 - 52219}{55986} = \frac{\frac{7}{M_2}}{\frac{93}{152} + \frac{7}{M_2}}.$$

Звідки маса розчиненої речовини $M_2 = 158,6$ г/моль.

Задача 2. Визначити молярну концентрацію розчину.

Розв'язування. В 100 г 7 мас.% розчину $n_2 = 7/M_2$ молей речовини розчинено у 93 г розчинника, відповідно в 1000 г розчинника знаходиться m молей (m – молярність розчину):

$$\frac{7/M_2 - 93}{m - 1000}; \quad m = \frac{7 \cdot 1000}{158,6 \cdot 93} = 0,475 \text{ моль/кг.}$$

Задача 3. Визначити молярну концентрацію розчину.

Розв'язування. В 100 г 7 мас.% розчину $n_2 = 7/M_2$ молей речовини розчинено у 100 г розчину, тобто в $100/d$ мл (d – густина розчину в г/см³), а в 1000 мл розчиниться c молей (c – молярність розчину):

$$\frac{7/M_2 - 100/d}{c - 1000}; \quad c = \frac{7 \cdot 1000 \cdot 0,86}{158,6 \cdot 100} = 0,38 \text{ моль/л.}$$

Задача 4. Обчислити осмотичний тиск розчину.

Розв'язування. Осмотичний тиск розчину обчислюємо за рівнянням

$$\pi = cRT, \quad (2.2)$$

де c – молярна концентрація в моль/м³.

$$\pi = 0,38 \cdot 10^3 \cdot 8,314 \cdot 460 = 1453287 \text{ Па.}$$

Задача 5. Побудувати криву $p = f(T)$ для даного розчину.

Розв'язування. Для будування кривої $p = f(T)$ розрахуємо тиск насиченої пари розчину (p) користуючись законом Рауля:

$$p = N_1 p_0. \quad (2.3)$$

Для цього необхідно обчислити мольну частку розчинника N_1 :

$$N_1 = 1 - N_2 = 1 - 0,0673 = 0,9327.$$

Помножимо тиск насиченої пари рідкого розчинника (p_0) на його мольну частку при всіх зазначених температурах. Отримані результати занесемо у таблицю 2.4, за ними будемо графік (рис. 2.1).

Таблиця 2.4

T, К	446,4	448,2	451,2	460	470
p, Па	43837	44260	46227	52219	59056

На тому ж рисунку за вихідними даними будемо також криві залежності тиску насиченої пари рідкого і твердого розчинника від температури ($p_{0 \text{ рід}} = f(T)$ і $p_{0 \text{ тв}} = f(T)$ відповідно).

Задача 6. Визначити графічно підвищення температури кипіння заданого 7 мас.% розчину при тиску 52219 Па.

Розв'язування. На графіку проводимо ізобару $p = 52219$ Па, яка перетинає криві $p = f(T)$ і $p_{0 \text{ рід}} = f(T)$ у точках a і b . Підвищення температури кипіння розчину ΔT_K знаходимо як різницю абсцис точок a і b .

$$\Delta T_K = T_{K \text{ розчину}} - T_{K \text{ розчинника}} = 460 - 455 = 5 \text{ К.}$$

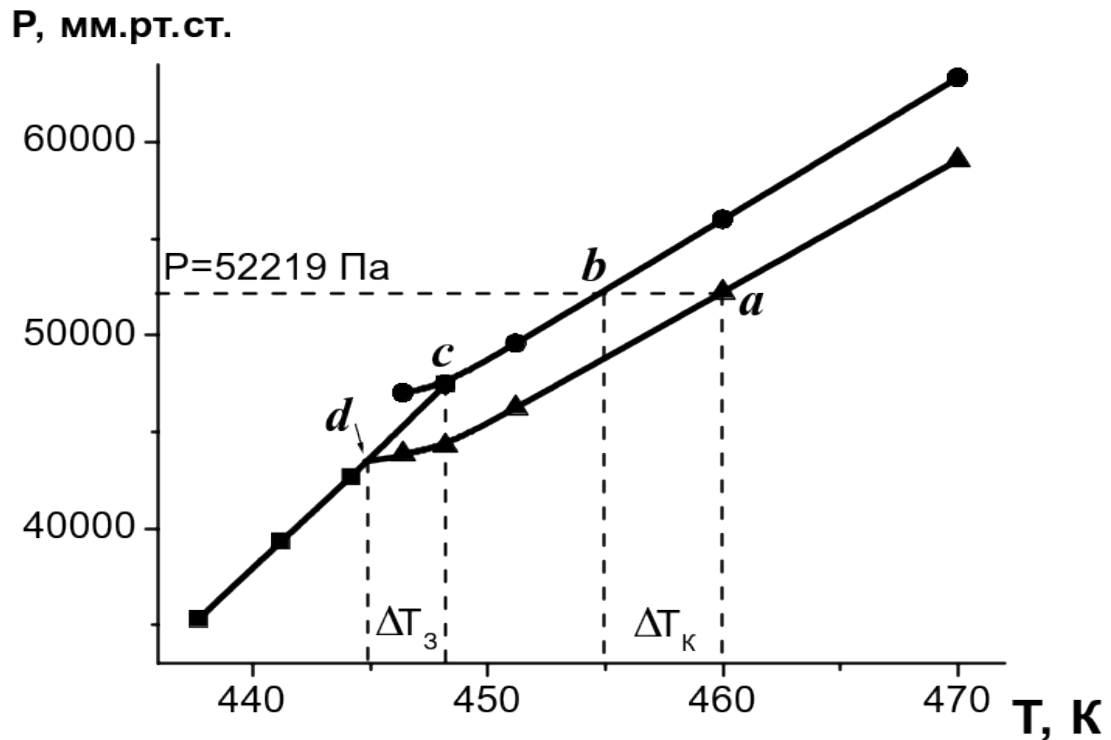


Рис. 2.1

Задача 7. Обчислити ебуліоскопічну сталу.

Розв'язування. Ебуліоскопічна стала розраховується за рівнянням:

$$E = \frac{\Delta T_K}{m}, \quad (2.4)$$

де m – моляльність розчину.

$$E = \frac{5}{0,475} = 10,53 \text{ К} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{кг}.$$

Задача 8. Визначити зниження температури замерзання розчину.

Розв'язування. Зниження температури замерзання розчину може визначатися графічно як різниця абсцис точок c і d :

$$\Delta T_3 = T_{3 \text{ розчинника}} - T_{3 \text{ розчину}} = 448,2 - 444,8 = 3,4 \text{ К.}$$

Задача 9. Обчислити кріоскопічну сталу.

Розв'язування. Кріоскопічна стала обчислюється за рівнянням:

$$K = \frac{\Delta T_3}{m} = \frac{3,4}{0,475} = 7,16 \text{ К} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{кг}.$$

Завдання 4. Обчислення електрорушійної сили і константи рівноваги реакції, що йде у гальванічному елементі.

Для окисно-відновного елемента типу Pt | A, B || C, D | Pt за стандартними електродними потенціалами [6] записати рівняння катодної, анодної та сумарної реакцій. Визначити значення ЕРС елемента при T = 298К, якщо активності іонів у розчині дорівнюють: a_A, a_B, a_C, a_D (табл. 2.9). Обчислити стандартну константу рівноваги електрохімічної реакції за T = 298 К.

Таблиця 2.5

Вихідні дані до завдання 4

Варіант	A	B	C	D	a _A	a _B	a _C	a _D
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Cr ³⁺	Cr ²⁺	MnO ₄ ⁻	Mn ²⁺	0,01	0,01	0,1	0,02
2	AsO ₄ ³⁻	AsO ₂ ⁻	MnO ₄ ⁻	Mn ²⁺	0,001	0,03	0,005	0,015
3	MnO ₄ ⁻	MnO ₄ ²⁻	MnO ₄ ⁻	Mn ²⁺	0,009	0,014	0,001	0,07
4	Sn ⁴⁺	Sn ²⁺	MnO ₄ ⁻	Mn ²⁺	0,08	0,15	0,02	0,01
5	V ³⁺	V ²⁺	MnO ₄ ⁻	MnO ₄ ²⁻	0,1	0,15	0,018	0,005
6	Cr ³⁺	Cr ²⁺	Fe ³⁺	Fe ²⁺	0,01	0,001	0,005	0,15
7	Fe(CN) ₆ ³⁻	Fe(CN) ₆ ⁴⁻	Co ³⁺	Co ²⁺	0,06	0,06	0,04	0,005
8	Cr ³⁺	Cr ²⁺	Tl ³⁺	Tl ⁺	0,006	0,1	0,08	0,002
9	Fe(CN) ₆ ³⁻	Fe(CN) ₆ ⁴⁻	Co ³⁺	Co ²⁺	0,06	0,001	0,04	0,009
10	MnO ₄ ⁻	Mn ²⁺	Co ³⁺	Co ²⁺	0,01	0,007	0,1	0,006
11	Cr ³⁺	Cr ²⁺	Co ³⁺	Co ²⁺	0,005	0,06	0,012	0,01
12	Cu ²⁺	Cu ⁺	UO ₂ ⁺	U ⁴⁺	0,007	0,016	0,002	0,05
13	Sn ⁴⁺	Sn ²⁺	Cu ²⁺	Cu ⁺	0,002	0,08	0,14	0,009
14	AsO ₄ ³⁻	AsO ₂ ⁻	MnO ₄ ⁻	MnO ₄ ²⁻	0,08	0,04	0,02	0,007
15	V ³⁺	V ²⁺	AsO ₄ ³⁻	AsO ₂ ⁻	0,005	0,01	0,15	0,005
16	V ³⁺	V ²⁺	Tl ³⁺	Tl ⁺	0,016	0,007	0,001	0,1
17	Sn ⁴⁺	Sn ²⁺	AsO ₄ ³⁻	AsO ₂ ⁻	0,006	0,008	0,04	0,003
18	Sn ⁴⁺	Sn ²⁺	Pu ⁴⁺	Pu ³⁺	0,08	0,06	0,007	0,005
19	Sn ⁴⁺	Sn ²⁺	Tl ³⁺	Tl ⁺	0,01	0,05	0,02	0,01
20	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Co ³⁺	Co ²⁺	0,08	0,007	0,02	0,005
21	MnO ₄ ⁻	MnO ₄ ²⁻	Fe ³⁺	Fe ²⁺	0,01	0,04	0,01	0,02
22	Tl ³⁺	Tl ⁺	Cu ²⁺	Cu ⁺	0,009	0,04	0,02	0,02
23	UO ₂ ⁺	U ⁴⁺	AsO ₄ ³⁻	AsO ₂ ⁻	0,012	0,01	0,01	0,1

Продовження табл. 2. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	UO ₂ ⁺	U ⁴⁺	Fe ³⁺	Fe ²⁺	0,04	0,08	0,06	0,003
25	UO ₂ ⁺	U ⁴⁺	Pu ⁴⁺	Pu ³⁺	0,08	0,01	0,02	0,1

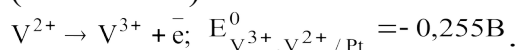
26	MnO ₄ ⁻	MnO ₄ ²⁻	Fe ³⁺	Fe ²⁺	0,05	0,06	0,03	0,04
27	V ³⁺	V ²⁺	Co ³⁺	Co ²⁺	0,03	0,025	0,008	0,015
28	Cr ³⁺	Cr ²⁺	MnO ₄ ⁻	MnO ₄ ²⁻	0,04	0,03	0,06	0,05
29	Cu ²⁺	Cu ⁺	AsO ₄ ³⁻	AsO ₂ ⁻	0,02	0,08	0,03	0,06
30	Fe ³⁺	Fe ²⁺	MnO ₄ ⁻	MnO ₄ ²⁻	0,009	0,05	0,07	0,04

Приклад розв'язування задачі

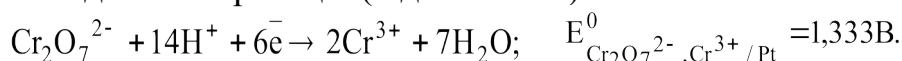
Умова завдання. Для елемента Pt | V³⁺, V²⁺ || Cr₂O₇²⁻, Cr³⁺, H⁺ | Pt записати рівняння катодної анодної та сумарної реакцій. Визначити значення ЕРС елемента при T = 298 К, якщо a_{V³⁺} = 0,04, a_{V²⁺} = 0,06, a_{Cr₂O₇²⁻} = 0,2, a_{Cr³⁺} = 0,5, a_{H⁺} = 1, a_{H₂O} = 1. Визначити стандартну константу рівноваги електрохімічної реакції за T = 298 К.

Розв'язування. Знаходимо у [6] відповідні напівреакції та їх стандартні потенціали.

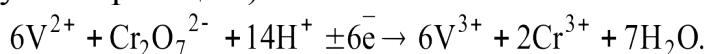
Анодна напівреакція (окиснення):



Катодна напівреакція (відновлення)



Рівняння сумарної реакції (зверніть увагу на необхідність урівняти кількість електронів у напівреакціях):



Потенціали електродів знаходимо за рівнянням Нернста:

$$E_{V^{3+}, V^{2+}/Pt} = E_{V^{3+}, V^{2+}/Pt}^0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{V^{3+}}}{a_{V^{2+}}};$$

$$E_{V^{3+}, V^{2+}/Pt} = -0,255 + \frac{8,314 \cdot 298}{1 \cdot 96500} \cdot \ln \frac{0,04}{0,06} = -0,265 \text{ В.}$$

$$E_{Cr_2O_7^{2-}, Cr^{3+}/Pt} = E_{Cr_2O_7^{2-}, Cr^{3+}/Pt}^0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{Cr_2O_7^{2-}} \cdot a_{H^+}^{14}}{a_{Cr^{3+}}^2};$$

$$E_{Cr_2O_7^{2-}, Cr^{3+}/Pt} = 1,333 + \frac{8,314 \cdot 298}{6 \cdot 96500} \ln \frac{0,2 \cdot 1^{14}}{0,5^2} = 1,332 \text{ В.}$$

Значення ЕРС гальванічного елемента:

$$E = E_+ - E_- = E_{Cr_2O_7^{2-}, Cr^{3+}/Pt} - E_{V^{3+}, V^{2+}/Pt} = 1,332 - (-0,265) = 1,597 \text{ В.}$$

Стандартну константу рівноваги електрохімічної реакції можна обчислити за рівнянням:

$$K = \exp\left(\frac{zFE^0}{RT}\right), \quad (2.5)$$

для цього знаходимо значення стандартної ЕРС:

$$E^0 = E_{Cr_2O_7^{2-}, Cr^{3+}/Pt}^0 - E_{V^{3+}, V^{2+}/Pt}^0 = 1,333 - (-0,255) = 1,588 \text{ В}$$

і підставляємо отримане значення її у (2.5).

Тоді маємо: $K = \exp\left(\frac{6 \cdot 96500 \cdot 1,588}{8,314 \cdot 298}\right) = e^{371,1}$.

3. ІНДИВІДУАЛЬНЕ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Аналіз діаграм стану і розрахунки кількості речовин, що можуть виділитися з бінарної багатофазної системи перегонкою або кристалізацією

Завдання А. Аналіз діаграм плавкості

1. На основі даних про температуру початку кристалізації двокомпонентної системи (таблиця 3.1) побудувати діаграму фазового стану (діаграму плавкості системи А –В).

2. Позначити точками:

I – рідкий плав, що містить **a** % речовини А при температурі T_1 ;

II – плав, що містить **a** % речовини А і знаходиться у рівновазі з кристалами хімічної сполуки;

III – систему, що складається із твердої речовини А в рівновазі з розплавом, який містить **b** % речовини А;

IV – рівновагу фаз однакового складу;

V – рівновагу трьох фаз (таблиця 3.2).

3. Визначити склади хімічних сполук.

4. Визначити якісні і кількісні склади евтектик.

5. У якому стані знаходяться системи, які містять **v**, **z**, **d** % речовини А при температурі T_1 ? Що відбувається з цими системами, якщо їх охолодити до температури T_2 ?

6. Визначити число фаз і число термодинамічних ступенів свободи системи при евтектичній температурі і вмісту речовини А 95 мол.% і 5 мол.%?

7. При якій температурі почне твердіти сплав, що містить **v** % речовини А? При якій температурі він затвердіє повністю? Який склад перших кристалів, що випали?

8. При якій температурі почне плавитися сплав, який містить **z** % речовини А? При якій температурі він розплавиться повністю? Який склад перших крапель розплаву?

9. Який компонент і у якій кількості викристалізується, якщо 2 кг сплаву, що містить **a** % речовини А, охолодити від T_1 до T_2 ?

10. Накреслити типові криві охолодження для даної системи.

Таблиця 3.1

Вихідні дані до завдання А

№	Система	Склад, мол.% А	T, К початку кристалізації	Склад, мол.% А	T, К початку кристалізації
1	2	3	4	5	6

1	A – KCl B – SnCl ₂	0	512	40	460
		5	507	45	481
		10	496	50	497
		15	479	52,5	583
		20	477	55	658
		25	481	70	853
		30	478	80	952
		35	473	100	1050
2	A – KCl B – PbCl ₂	0	769	45	693
		10	748	50	703
		20	713	55	733
		25	701	65	811
		30	710	75	893
		33,5	713	90	1003
		40	707	100	1048
3	A – KCl B – MnCl ₂	0	923	50	769
		8	895	60	731
		15	865	65	705
		25	815	66	701
		34	745	75	705
		36	722	85	925
		38	735	100	1047
		40	747		
4	A – Li ₂ CO ₃ B – K ₂ CO ₃	0	1133	50	788
		9	1050	54,5	778
		20	955	62	765
		33	765	66,6	798
		39,5	773	83,5	911
		44,2	778	100	983
5	A – MgSO ₄ B – Cs ₂ SO ₄	0	1292	55	1048
		10	1241	60	1083
		20	1193	63	1098
		30	1116	65	1113
		40	1013	70	1163
		45	953	80	1238
		47	969	90	1323
		50	999	100	1397

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
6	A – Li ₂ SO ₄ B – Cs ₂ SO ₄	0	1293	65	983
		10	1216	75,5	903
		20	1113	77,5	906
		25	1063	80	910
		31	953	85	905
		35	963	89,5	893
		45	1003	90	910
		50	1011	95	1055
		55	1007	100	1129
7	A – KI B – CdI ₂	0	658	53	504
		10	643	55	515
		30	596	60	575

		45	520	65	656
		47	470	80	833
		49	468	100	951
8	A – CsCl B – SrCl ₂	0	1147	50	1180
		10	1124	60	1158
		15	1089	70	1071
		20	1059	80	877
		25	1102	85	862
		35	1155	95	875,8
		40	1166	100	876,8
9	A – RbCl B – SrCl ₂	0	1147	55	968
		10	1089	65	896
		20	980	70	827
		30	906	75	853
		40	964	80	879
		45	975	90	960
		50	978	100	999
10	A – KCl B – CaCl ₂	0	1043	40	1027
		5	1023	45	1015
		10	978	55	961
		18,5	911	67	873
		20	828	70	899
		25	980	90	1021
		35	1022	100	1040
11	A – CuCl B – CsCl	0	912	65	542
		10	868	66,6	547
		20	814	70	541
		35	645	75	521
		45	571	80	541
		50	549	90	623
		60	533	100	695
12	A – CdCl ₂ B – TiCl	0	702	50	699
		10	656	57,5	697
		20	604	67,5	673
		28	572	80	754
		30	589	85	777
		36,5	645	95	823
		47	694	100	841

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
13	A – SrBr ₂ B – KBr	0	1003	57	832
		10	972	66,7	847
		25	872	75	843
		29	829	82	835
		33,3	832	85	851
		40	826	95	897
		50	807	100	916
14	A – InCl ₃ B – NaCl	0	1073	53	983
		13,3	1052	61,6	753
		22,2	1033	66,8	680
		35,8	989	74,6	641

		37,6	975	80,6	622
		40	983	81,6	642
		47	999	84,8	697
		50,6	1003	100	859
15	A – FeCl ₃ B – TiCl	0	702	35	525
		10	658	37	506
		22	598	45	533
		26	535	52	553
		29	549	62	560
		33	563	100	585
16	A = NiF ₂ B – KF	0	1121	23,8	1212
		4,9	1099	26	1224
		9,2	1060	30,3	1289
		13,4	1120	37,9	1359
		15,2	1141	46,7	1397
		18,4	1168	50,5	1403
		21,8	1193	58	1391
17	A – KI B – PbI ₂	0	685	45	618
		10	668	50	622
		20	640	55	651
		25	622	60	695
		30	579	70	773
		31	594	80	858
		35	603	90	914
		40	610	100	959
18	A – SrBr ₂ B – LiBr	0	825	50	768
		5	813	60	773
		20	772	66,6	803
		30	736	85	865
		34	720	100	916
		40	744		
19	A – LiNO ₃ B – PbNO ₃	0	585	50	464
		10	535,5	60	457,6
		20	489	65	449
		22	479	70	567
		32,5	424	80	598
		36	438	90	519,5
		40	449,5	100	527

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
20	A – MgCl ₂ B – TiCl	0	708	50	767
		5	698	66,6	796
		15	682	75	658
		28	635	90	950
		33,3	685	100	991

21	A – MgCl ₂ B – RbCl	0	991	36,2	759
		17,5	868	37,5	784
		22,7	800	43,8	816
		23,7	764	50	823
		25,9	746	58,1	809
		28	736	65	783
		29	732	68,3	821
		30,4	743	78,7	898
		33,1	749	100	984
		35,5	745		
22	A – MnCl ₂ B – RbCl	0	999	45	793
		15	879	50	799
		22	813	55	797
		27	749	65	755
		30	741	68	733
		32	733	70	743
		35	713	80	803
		40	767	100	923
23	A – MgSO ₄ B – K ₂ SO ₄	0	1349	63,9	1200
		10	1308	66,6	1203
		20	1236	71	1193
		30	1123	75,3	1177
		40	1019	82,2	1247
		50	1103	100	1397
24	A – PbCl ₂ D – TiCl	0	708	50	680
		10	679	60	705
		15,5	661	66,6	708
		20	675	70	707
		25	680	75	700
		30	676	80	720
		36,5	650	90	752
		40	658	100	773
25	A – NaCl B – ZnCl ₂	0	595	35	623
		5	589	46	683
		10	577	52,5	769
		15	573	58	813
		25	543	67,7	882
		27	535	100	1073
		30	569		

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

26	A – RbCl B – SrCl ₂	0	1147	53	974
		15	996	60	938
		25	943	65	896
		30	906	70	827
		35	936	77	964
		42	973	85	920
		47	975	92	969
		50	978	100	999
27	A – KCl B – CaCl ₂	0	1043	40	1027
		7	994	50	985
		15	935	60	923
		17	918	67	873
		20	898	75	930
		23	932	80	955
		27	970	95	1020
		30	988	100	1049
28	A – CuCl B – CsCl	0	912	63	538
		5	894	66,6	547
		15	842	71	538
		25	750	75	521
		40	606	82	554
		50	549	85	576
		55	541	95	666
		60	533	100	695
29	A – InCl ₃ B – NaCl	0	1073	50	1003
		10	1056	55	880
		20	1037	60	791
		30	1010	70	664
		35	991	78	632
		38	975	81	622
		42	988	90	758
		45	995	100	859
30	A – FeCl ₃ B - TiCl	0	702	34	538
		5	680	37	506
		15	628	40	517
		20	605	50	548
		26	535	70	565
		30	553	85	571
		33	563	100	575

Таблиця 3.2

Вихідні дані до завдання А

№	T ₁ , К	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	T ₂ , К
1	500	45	75	5	25	75	463
2	753	30	75	5	25	75	703
3	873	40	80	10	40	80	733
4	923	40	75	10	40	86	768
5	1173	55	90	10	40	72	1023
6	1173	40	95	10	40	95	973
7	723	55	75	10	40	70,5	503
8	1173	35	90	10	50	75	1093
9	1073	35	85	5	35	85	923
10	1023	25	75	5	25	85	923
11	773	55	80	10	25	60	533
12	773	42	80	10	40	90	643
13	973	60	90	10	50	75	844
14	1033	45	95	10	45	75	983
15	673	30	50	5	30	50	543
16	1273	15	90	5	20	40	1113
17	773	40	75	10	40	80	603
18	873	50	80	10	50	90	753
19	523	40	75	10	40	95	443
20	923	50	80	10	50	85	703
21	873	40	90	10	40	75	793
22	873	30	95	10	30	60	733
23	1273	50	90	10	50	85	1073
24	723	50	85	10	20	75	673
25	723	35	60	10	50	60	583
26	1000	40	90	10	40	90	940
27	1025	30	80	5	25	80	950
28	750	63	90	15	30	70	534
29	1020	42	90	15	45	80	980
30	640	29	60	10	40	80	540

Пояснення до діаграм плавкості і приклади розв'язування задач

1. *Аналіз діаграми стану двокомпонентної системи з безмежною взаємною розчинністю компонентів у рідкому і твердому станах.*

Дана система називається також *подвійною системою з ізоморфних речовин*. Прикладом діаграми такої системи є діаграма плавкості Cu – Ni (рис. 3.1).

На діаграмі крива *abec* називається лінією ліквідуса. Вище цієї лінії всі системи знаходяться в рідкому стані. Кількість фаз $\Phi = 1$, число компонентів $K = 2$, $n = 1$ (так як тиск не впливає на рівновагу в системі), число термодинамічних ступенів свободи дорівнює:

$$C = K - \Phi + n = 2 - 1 + 1 = 2.$$

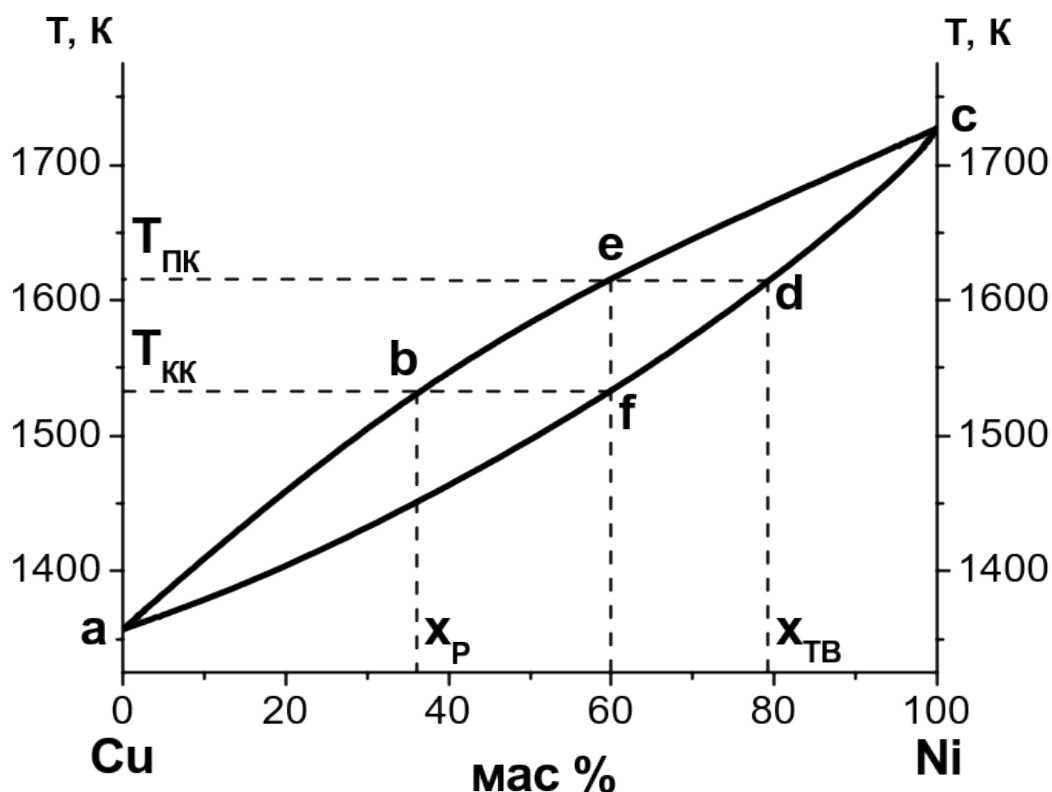


Рис. 3.1

Тобто можна змінювати склад і температуру одночасно в обмежених межах і при цьому не буде змінюватись ні число, ні вид фаз.

Крива *afdc* називається лінією (кривою) солідуса. Нижче лінії солідуса всі системи знаходяться в стані твердого розчину, склад якого може змінюватись безперервно. Фаза одна – твердий розчин ($\Phi = 1$), компонентів $K = 2$, $n = 1$, тоді:

$$C = 2 - 1 + 1 = 2.$$

Між кривими ліквідуса і солідуса всі системи гетерогенні. В рівновазі знаходяться дві фази – кристали твердого розчину і розплав. $\Phi = 2$, $K = 2$, $n = 1$. $C = 2 = 2 + 1 = 1$. Можна змінювати або склад, або температуру.

За кривою солідуса знаходять склад твердого розчину, який знаходиться в рівновазі з розплавом, а також температуру початку плавлення (кінця кристалізації) системи.

За кривою ліквідуса знаходять склад розплаву, який знаходиться у рівновазі з кристалами твердого розчину, а також температуру кінця плавлення (початку кристалізації) системи.

Наприклад, розплав, який містить 60 мас.% Ni почне твердіти (кристалізуватись) при температурі, яка визначається ординатою точки *e* ($T_{ПК} = 1623$ K). Склад перших кристалів твердого розчину визначаємо за

абсцисою точки d – точки перетину ізотерми початку кристалізації з кривою солідуса ($x_{ТВ} = 82\% \text{ Ni}$).

Температура кінця кристалізації визначається за ординатою точки f на кривій солідуса ($T_{КК} = 1530 \text{ K}$). Склад останньої краплі розчину знаходимо по абсцисі точки b – точки перетину ізотерми кінця кристалізації з кривою ліквідуса ($x_P = 35\% \text{ Ni}$).

2. Аналіз діаграми стану двокомпонентної системи з безмежною розчинністю компонентів у рідкому і взаємною нерозчинністю у твердому станах.

Ця система також називається *системою двох неізоморфних речовин*. Прикладом діаграми такої системи є діаграма плавкості Sb - Pb (рис. 3.2).

Криві aE і Ec називаються кривими ліквідуса. Вище кривих ліквідуса в області I всі системи гомогенні, одна рідка фаза – розплав. $\Phi = 1$, компоненти $K = 2$, $n = 1$. Число термодинамічних ступенів свободи:

$$C = K - \Phi + n = 2 - 1 + 1 = 2.$$

В області II системи гетерогенні ($\Phi = 2$), у рівновазі знаходяться кристали Sb і розплав, склад якого визначається по лінії ліквідуса aE . Для цієї області:

$$C = 2 - 2 + 1 = 1.$$

В області III всі системи гетерогенні ($\Phi = 2$). В рівновазі знаходяться кристали Pb і розплав, склад якого визначається по лінії ліквідуса Ec :

$$C = 2 - 2 + 1 = 1.$$

В області IV всі системи знаходяться у твердому стані, системи гетерогенні, дві тверді фази – кристали Sb і кристали Pb:

$$C = 2 - 2 + 1 = 1.$$

Фігуративна точка E – точка перетину ліній ліквідуса з лінією солідуса називається евтектичною точкою. В точці E в рівновазі знаходяться 3 фази: кристали Sb, кристали Pb і розплав, система гетерогенна, для неї:

$$C = 2 - 3 + 1 = 0.$$

Суміш кристалів Sb і Pb, що випадають із розплаву, вміст якого відповідає точці E , називається евтектичною сумішшю або евтектикою. В даній системі склад евтектики – 87% Pb.

Температуру початку кристалізації розплаву, що містить 40% Pb знаходимо за ординатою точки k ($T_{ПК} = 802 \text{ K}$). З'являється тверда фаза – кристали Sb. Кристалізація заданого розплаву закінчиться при евтектичній температурі ($T_{КК} = 519 \text{ K}$). Склад останньої краплі розплаву відповідає евтектичному ($x_E = 87\% \text{ Pb}$).

Задача. Визначіть, який компонент і в якій кількості викристалізується, якщо 10 кг розплаву, що містить 20 мас.% Pb, охолодити від 950 до 700 К.

Розв'язування. На діаграмі за вихідними даними ($x = 20\%$, $T = 700 \text{ K}$) визначаємо фігуративну точку O . Вона лежить у зоні II, де у рівновазі знаходяться дві фази – розплав і твердий Sb, що кристалізується. Через точку O проведемо ізотерму, яка перетинає ординату в точці N і лінію ліквідуса в точці M .

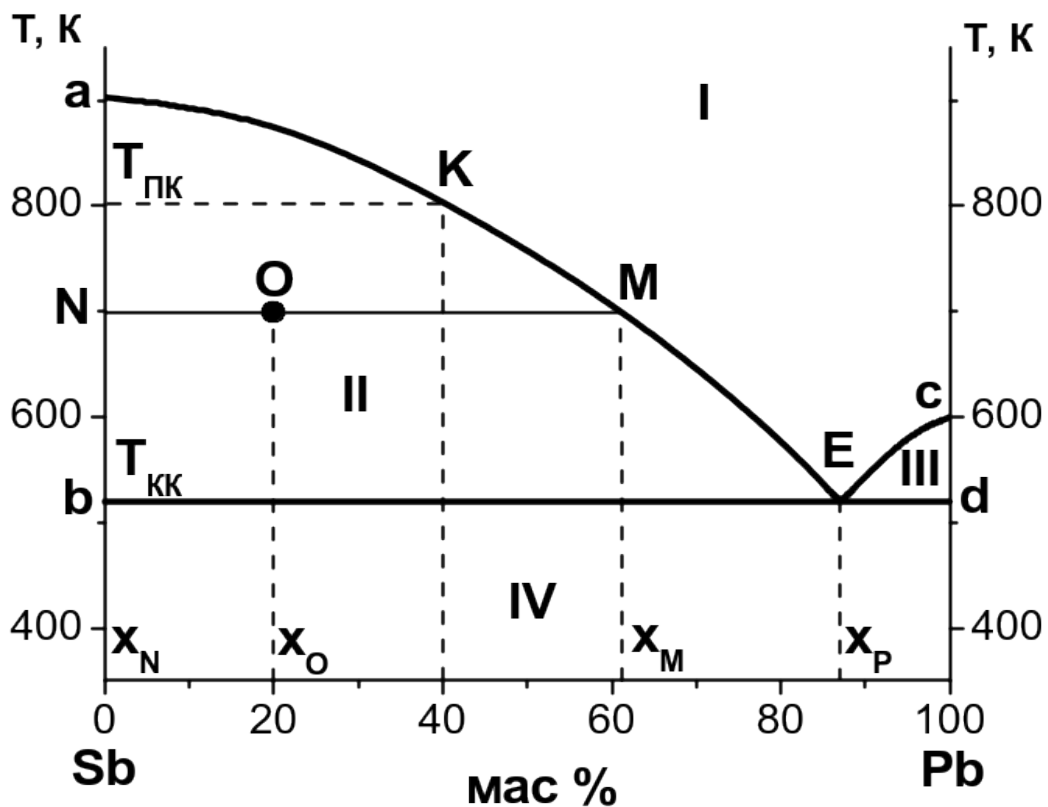


Рис. 3.2

Для розрахунку кількості речовини, що викристалізується, скористаємося правилом важеля:

$$\frac{\text{маса розплаву}}{\text{маса кристалів Sb}} = \frac{NO}{OM}.$$

Якщо маса кристалів $X_{\text{ТВ}}$, то маса розплаву буде $X_{\text{Р}} = 10 - X_{\text{ТВ}}$.

Відрізки NO і OM визначаємо за діаграмою, як різницю абсцис відповідних точок:

$$OM = x_M - x_O = 61 - 20 = 41.$$

$$NO = x_O - x_N = 20 - 0 = 20.$$

Тоді:

$$\frac{10 - X_{\text{ТВ}}}{X_{\text{ТВ}}} = \frac{20}{41}, \quad \text{звідки знаходимо } X_{\text{ТВ}} = 6,72 \text{ кг.}$$

Тобто, за умов зниження температури від 950 К до 700 К з 10 кг розплаву викристалізується 6,72 кг твердого Sb.

3. Аналіз діаграми двокомпонентної системи з безмежною розчинністю компонентів у рідкому та обмеженою взаємною розчинністю у твердому стані.

Аналіз виконаємо на прикладі діаграми системи Pb – Bi (рис. 3.3).

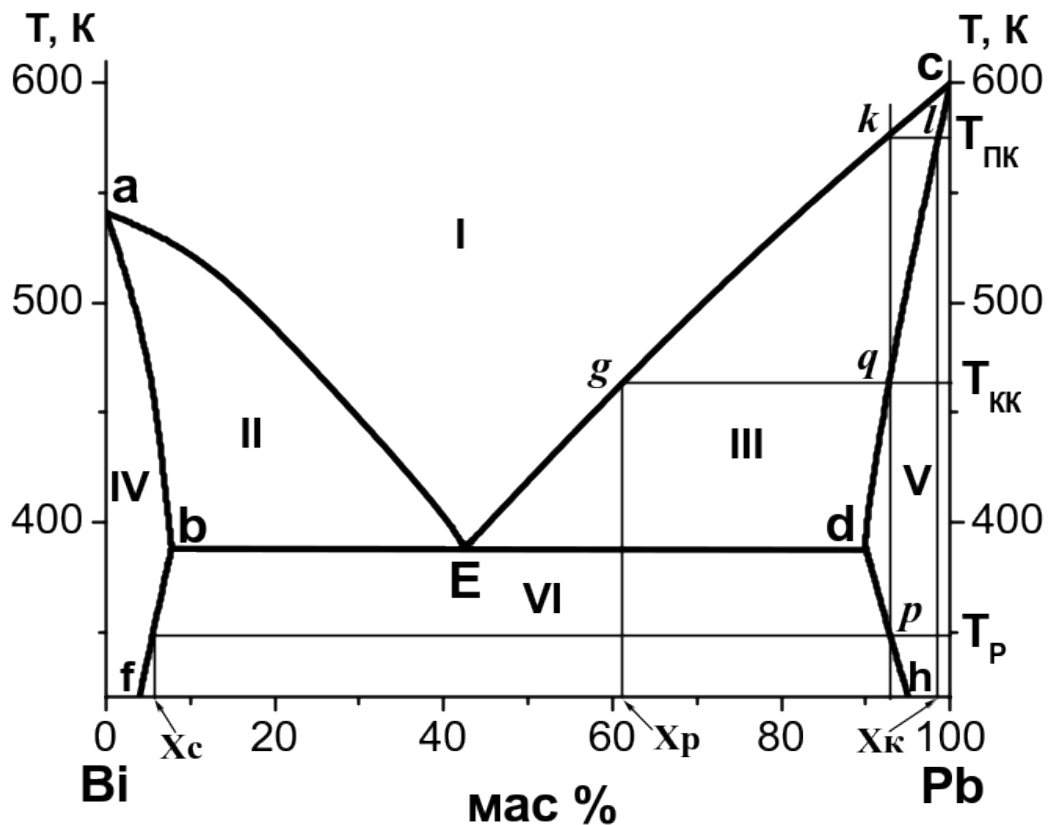


Рис. 3.3

В області I всі системи гомогенні, одна рідка фаза – розплав. $\Phi = 1$, компонентів $K = 2$. З урахуванням того, що тиск не впливає на фазову рівновагу ($n = 1$), число термодинамічних ступенів свободи буде:

$$C = K - \Phi + n = 2 - 1 + 1 = 2.$$

Можна змінювати як склад, так і температуру.

У системах з обмеженою взаємною розчинністю компонентів у твердому стані із розплаву кристалізуються не чисті компоненти, а тверді розчини.

В області II у рівновазі знаходяться 2 фази: твердий розчин Pb у Bi і розплав. В області III – 2 фази: твердий розчин Bi у Pb і розплав.

$$C = 2 - 2 + 1 = 1.$$

В області IV система гомогенна, одна фаза – твердий розчин Pb у Bi, в області V також одна фаза – твердий розчин Bi у Pb.

$$C = 2 - 1 + 1 = 2.$$

В області VI система гетерогенна, 2 тверді фази: кристали твердого розчину Pb у Bi і кристали твердого розчину Bi у Pb. $C = 1$.

У точці E в рівновазі знаходяться 3 фази: два твердих розчину і розплав.

$$C = 2 - 3 + 1 = 0.$$

Лінії aE і Ec є лінії ліквідусу, лінії ab , bd і dc є лінії солідуса, лінії bf і dh – лінії сольвуса.

Лінія сольвуса bf характеризує розчинність Pb у Ві, а лінія dh – розчинність Ві у Pb у твердому стані при різних температурах.

Здійснимо процес кристалізації розплаву, що містить 92,5% Pb. Температура початку кристалізації визначається ординатою точки k на лінії ліквідуса ($T_{пк} = 566$ К). При цій температурі з'являються перші кристали твердого розчину Ві в Pb, склад якого характеризується точкою l ($x_{ТВ} = 98\%$ Pb). При подальшому охолодженні системи склад розплаву змінюється за кривою ліквідусу, а склад кристалів твердого розчину – за кривою солідуса.

Температура кінця кристалізації визначається як ордината точки q ($T_{кк} = 466$ К). Склад останньої краплі розплаву знайдемо за точкою перетину ізотерми кінця кристалізації з лінією ліквідусу – т. g ($x_P = 61,5\%$ Pb). Далі відбувається охолодження твердого розчину зі складом 92,5% Pb.

При температурі $T_P = 366$ К, яка визначається точкою p на лінії сольвуса, з'являється друга тверда фаза – твердий розчин на основі Ві, склад якого характеризується точкою m ($x_C = 6,5\%$ Pb).

4. *Аналіз діаграми двокомпонентної неізоморфної системи, компоненти якої утворюють стійку хімічну сполуку (що плавиться конгруентно).*

Прикладом такої системи є система Mg – Pb, діаграма якої зображена на рис. 3.4.

Магній і свинець утворюють між собою хімічну сполуку, склад якої характеризується точкою x_C : 33,3 мол.% Pb і 66,7 мол.% Mg. Тобто, її формула – $PbMg_2$.

При аналізі даної діаграми можна уявити, що вона складена з двох незалежних діаграм плавкості Mg – $PbMg_2$ і $PbMg_2$ – Pb.

В області I всі системи гомогенні. Фаза одна – розплав. В області II – системи гетерогенні, в рівновазі знаходяться дві фази: розплав і кристали Mg.

В областях III і IV – системи гетерогенні, в рівновазі існують дві фази: розплав і кристали хімічної сполуки $PbMg_2$. В області V – дві фази: розплав і кристали Pb. В областях II – V число термодинамічних ступенів свободи дорівнює:

$$C = K - \Phi + n = 2 - 2 + 1 = 1.$$

В області VI системи гетерогенні, в рівновазі знаходяться дві тверді фази: кристали Mg і кристали хімічної сполуки $PbMg_2$. $C = 1$. В області VII системи гетерогенні, в рівновазі дві тверді фази: кристали хімічної сполуки $PbMg_2$ і кристали Pb. $C = 1$.

В евтектичних точках E_1 і E_2 системи гетерогенні, в рівновазі знаходяться три фази. В т. E_1 : розплав, кристали Mg і кристали $PbMg_2$. В т. E_2 : розплав, кристали $PbMg_2$ і кристали Pb.

На діаграмі лінії aE_1 , E_1c , cE_2 і E_2g є лінії ліквідусу. Лінії bd і fp є лінії солідуса.

Евтектика E_1 складається з кристалів Mg і $PbMg_2$, її хімічний склад – 20% Pb , 80% Mg . Евтектика E_2 складається з кристалів $PbMg_2$ і Pb , її хімічний склад – 74% Pb , 26% Mg .

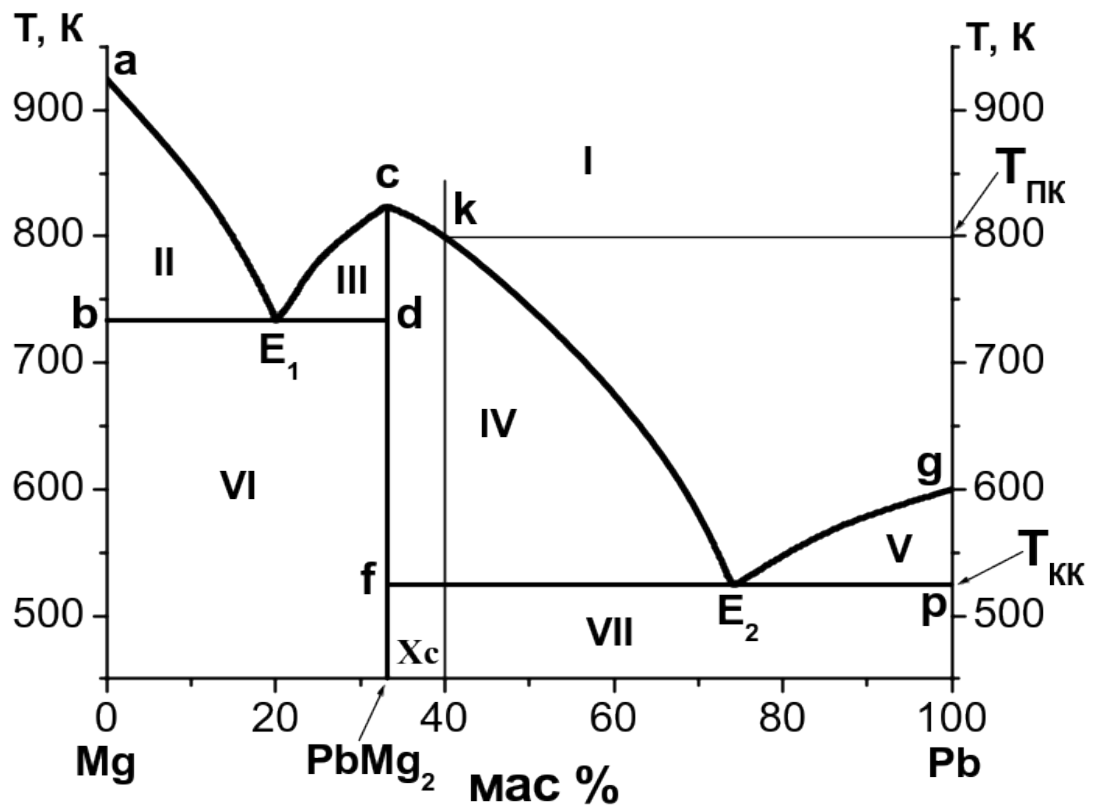


Рис. 3.4

Виконаємо аналіз процесу охолодження розплаву, який містить 40% Pb . Система почне кристалізуватися при температурі, яка визначається точкою k на лінії ліквідусу cE_2 ($T_{ПК} = 800$ K). В процесі охолодження виділяється тверда фаза сталого складу – кристали хімічної сполуки $PbMg_2$. Склад розплаву змінюється по лінії ліквідусу cE_2 . При евтектичній температурі система затвердіє повністю ($T_{КК} = 523$ K). При цій температурі розплав стає насиченим також відносно Pb . Відбувається одночасна кристалізація двох твердих фаз: кристалів $PbMg_2$ і кристалів Pb .

Склад останньої краплі розплаву відповідає складу евтектики E_2 (74% Pb , 26% Mg).

При температурах нижче евтектичної відбувається охолодження двох твердих фаз.

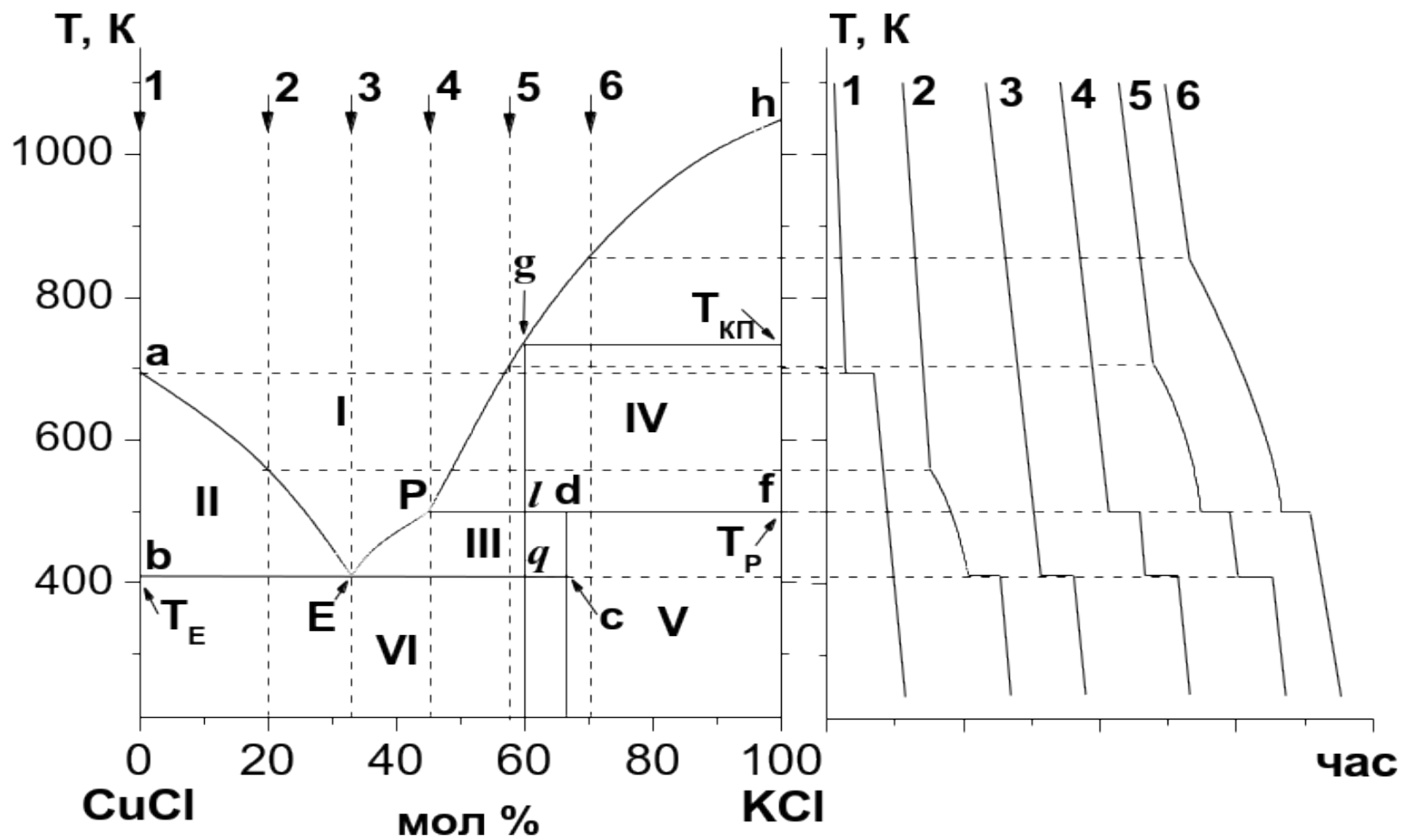


Рис. 3.5

5. Аналіз діаграми двокомпонентної неізоморфної системи, компоненти якої утворюють нестійку хімічну сполуку (що плавиться інконгруентно).

В системі KCl – CuCl (діаграма показана на рис. 3.5) утворюється хімічна сполука складу, який характеризується точкою x (66,7 мол.% KCl і 33,3 мол.% CuCl). Таке мольне співвідношення свідчить, що формулою сполуки є CuCl \cdot 2KCl. Ця речовина є стійкою тільки до температури, що характеризується точкою d ($T_p = 499$ K). За більш високої температури хімічна сполука розпадається на розплав (його склад характеризується точкою P) і кристали KCl. Точка P називається перитектичною.

Розглянемо фазові стани систем у різних областях діаграми.

В області I всі системи гомогенні. Одна рідка фаза, розплав. В області II системи гетерогенні, в рівновазі знаходяться 2 фази: кристали CuCl і розплав:

$$C = K - \Phi + n = 2 - 2 + 1 = 1.$$

В області III системи гетерогенні, в рівновазі знаходяться 2 фази: розплав і кристали хімічної сполуки CuCl \cdot 2KCl:

$$C = 2 - 2 + 1 = 1.$$

В області IV системи гетерогенні, в рівновазі знаходяться 2 фази: кристали KCl і розплав.

$$C = 2 - 2 + 1 = 1.$$

В області V всі системи гетерогенні, 2 тверді фази: кристали KCl і кристали CuCl \cdot 2KCl. $C = 1$. В області VI всі системи гетерогенні, 2 тверді фази: кристали CuCl і кристали CuCl \cdot 2KCl. $C = 1$. В евтектичній точці E в рівновазі співіснують 3 фази: розплав, кристали CuCl і кристали CuCl \cdot 2KCl.

$$C = 2 - 3 + 1 = 0.$$

В перитектичній точці P у рівновазі 3 фази: розплав, кристали KCl і кристали CuCl \cdot 2KCl. $C = 0$.

Розглянемо процес нагрівання системи, що містить 60 мол.% KCl. До температури точки q (евтектичної температури T_E) система знаходиться в твердому стані. При температурі $T_E = 409$ K система почне плавиться.

Перші краплі розплаву мають склад, що характеризується точкою E (евтектична точка): 33 мол.% KCl. Температура не буде змінюватися, доки не розплавиться вся евтектика. Далі починається плавлення кристалів CuCl \cdot 2KCl. Склад розплаву змінюється по лінії EP . При температурі точки l ($T_p = 499$ K) хімічна сполука CuCl \cdot 2KCl стає нестійкою. Вона розкладається на кристали KCl і розплав. Система при цій температурі безваріантна ($C = 0$), тому на кривій нагрівання спостерігається температурна зупинка. Після зникнення останнього кристала CuCl \cdot 2KCl, починається плавлення кристалів KCl. Склад розплаву змінюється по лінії ліквідусу Ph , змінюється і температура плавлення системи. Температура кінця плавлення визначається як ордината точки g , що лежить на лінії ліквідусу ($T_{кл} = 780$ K). За цієї температури зникає останній кристал KCl, система стає гомогенною і при подальшому нагріванні її склад не змінюється.

На рис. 3.5 показані також типові криві охолодження для системи CuCl – KCl.

Завдання Б. Аналіз діаграм стану рідина – пара.

Дана залежність складу рідкої (x) і газоподібної (y) фаз від температури (T) для бінарної рідкої системи А – В при сталому тиску p . Склади x і y виражені у молярних процентах речовини А (таблиця 3.3).

1. Побудуйте графік залежності складу пари (y) від складу рідкої фази (x) при $p = \text{const}$.

2. Побудуйте графік залежності склад – температура кипіння.

3. Визначте температуру кипіння системи, яка містить a мол. % компонента А. Який склад першої бульбашки пари? При якій температурі зникне остання крапля рідини та який її склад (таблиця 3.4)?

4. Визначте склад пари, що знаходиться у рівновазі з рідкою бінарною системою, яка кипить при температурі T_1 .

5. Який компонент і у якій кількості може виділитися із системи, що містить b кг речовини А і v кг речовини В?

6. Якого компонента та яку кількість необхідно додати до зазначеної в п. 5 суміші, щоб вийшла азеотропна суміш?

7. Яка кількість речовини А (кг) буде в парах і у рідкій фазі, якщо 2 кг суміші, що містить a % речовини А, нагріти до температури T_1 ?

Таблиця 3.3

Вихідні дані до завдання Б

№	Система	Молярний склад, А%		Т,К	Молярний склад, А%		Т,К
		x	y		x	y	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	А – HNO ₃ В – H ₂ O при $p = 10,333 \cdot 10^4$ Па	0,0	0,0	373	40,2	60,2	394,0
		8,4	0,6	379,5	46,5	75,9	391,0
		12,3	1,8	385	53,0	89,1	385
		22,1	6,6	391,5	61,5	92,1	372
		30,8	16,6	394,6	100,0	100,0	357
		38,3	38,3	394,9			
2	А – HNO ₃ В – C ₂ H ₂ O ₂ при $p = 10,079 \cdot 10^4$ Па	0,0	0,0	391,1	40,0	47,0	400,3
		10,0	3,0	395,1	50,0	82,0	393,3
		20,0	8,0	399,5	60,0	96,0	378,0
		33,3	34,0	401,6	100,0	100,0	358,3
3	А – HF В – H ₂ O при $p = 10,133 \cdot 10^4$ Па	4,95	0,8	374,6	44,4	63,3	381,7
		9,2	1,8	375,8	50,3	81,0	374,7
		18,9	6,4	379,8	52,2	86,2	371,9
		22,8	10,6	381,4	56,0	92,2	369,9
		27,9	17,8	383,3	58,2	95,8	359,6
		33,8	30,5	384,7	61,7	98,9	352,0
		34,4	32,1	385,0	79,8	98,2	318,1
		35,8	35,8	385,4	87,9	99,5	306,5
39,7	47,5	384,4	100,0	100,0	292,4		

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
4	А – H ₂ O В – C ₅ H ₄ O ₂ при p = 10,333·10 ⁴ Па	0,0 2,0 4,0 6,0 8,0 10,0 20,0	0,0 10,0 19,0 36,0 68,0 81,1 89,0	435,0 431,8 427,8 419,0 395,5 382,5 373,6	30,0 50,0 90,8 96,0 98,0 99,0 100,0	90,5 90,8 90,8 91,8 92,0 94,5 100,0	371,7 370,9 370,9 370,9 371,1 371,6 373,0
5	А – H ₂ O В – <i>n</i> -C ₄ H ₁₀ O при p = 10,133·10 ⁴ Па	3,9 4,7 5,5 7,0 25,7 27,5 29,2 30,5 49,6 50,6	26,7 29,9 32,3 35,2 62,9 64,1 65,5 66,2 73,6 74,0	384,5 383,6 382,6 381,8 370,9 370,2 369,7 369,3 366,5 366,4	55,2 57,7 97,5 98,0 98,8 99,2 99,4 99,7 99,9	75,0 75,0 75,2 75,6 80,8 84,3 88,4 92,9 98,1	365,9 365,8 365,7 366,0 366,7 368,4 369,8 371,7 372,5
6	А – H ₂ O В – <i>iso</i> -C ₄ H ₁₀ O при p = 10,133·10 ⁴ Па	13,5 15,0 15,9 17,2 39,7 40,5 56,4	40,1 42,0 43,7 44,6 62,6 63,3 66,6	370,8 370,1 369,6 369,0 363,3 363,2 362,5	60,5 67,0 97,5 97,8 98,6 99,1 99,8	66,7 67,0 67,2 67,3 71,4 78,2 95,7	362,4 362,2 362,5 363,1 364,5 366,4 371,9
7	А – H ₂ O В – C ₃ H ₁₂ O (2-метил-3бутил-2-ол) при p = 10,246·10 ⁴ Па	0,0 18,9 34,2 53,8 66,7 75,7 82,4	0,0 42,7 55,3 63,4 65,7 66,9 67,5	377,5 367,5 365,3 364,3 364,1 364,2 364,25	87,5 91,6 94,9 97,7 99,5 100,0	68,1 69,1 70,3 75,7 91,0 100,0	364,3 364,3 364,8 366,4 369,0 373,3
8	А – CS ₂ В – CH ₃ COCH ₃ при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0 1,9 4,8 13,4 18,6 29,1 38,0	0,0 8,3 18,5 35,1 44,3 52,5 57,4	329,2 327,0 324,4 319,6 317,0 314,4 313,3	44,8 53,6 65,3 78,9 87,9 96,8 100,0	59,8 62,7 66,1 70,5 76,0 88,6 100,0	312,8 312,3 312,1 312,3 313,5 316,5 319,3

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
9	А – CH ₃ OH В – CCl ₄ при p = 10,333·10 ⁴ Па	0,0	0,0	349,7	55,0	55,2	327,7
		0,2	2,0	349,1	56,6	55,2	328,7
		0,4	12,0	345,4	72,5	59,1	329,0
		1,3	24,2	340,6	76,4	60,3	329,4
		1,7	26,4	339,9	81,3	63,0	329,8
		3,0	38,3	335,0	83,8	64,9	330,1
		5,1	44,5	332,4	88,3	69,6	331,2
		10,7	49,0	330,2	91,8	75,3	332,5
		12,4	50,0	330,0	94,8	82,3	333,9
		24,8	52,2	329,3	97,9	91,0	335,8
		40,1	53,7	328,8	99,3	96,7	337,1
45,3	54,1	328,8	100,0	100,0	337,7		
10	А – CH ₃ OH В – C ₆ H ₆ при p = 9,670·10 ⁴ Па	0,0	0,0	351,6	24,9	59,9	329,4
		2,4	17,5	341,2	64,5	64,5	329,4
		3,6	30,1	336,9	78,5	66,6	329,9
		4,7	43,5	333,3	84,7	71,3	330,6
		5,2	48,7	331,8	90,2	77,1	331,3
		5,9	51,1	330,7	94,1	84,4	332,6
		6,3	52,1	330,5	98,3	93,6	334,9
		8,3	53,4	330,3	100,0	100,0	336,1
		9,2	54,6	329,8			
11	А – CH ₃ OH В – C ₆ H ₆ при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	363,2	58,6	61,0	330,7
		2,8	31,0	342,4	69,5	62,5	330,6
		5,0	39,5	339,8	81,7	65,5	331,1
		5,7	42,0	338,7	88,3	70,0	331,9
		9,0	48,5	334,4	90,2	73,0	332,9
		11,8	56,5	332,0	94,5	82,2	333,2
		27,0	57,5	331,0	96,8	90,0	335,4
		44,0	58,5	330,8	98,8	94,2	336,4
12	А – C ₂ H ₆ O В – C ₆ H ₆ при p = 10,000·10 ⁴ Па	0,0	0,0	342,8	62,9	50,5	341,4
		4,0	15,1	342,6	71,08	54,9	342,0
		15,0	35,3	342,5	79,8	60,6	343,3
		29,8	40,5	341,2	87,2	68,3	344,8
		42,1	43,6	340,8	93,9	78,7	347,4
		53,7	46,6	341,0	100,0	100,0	351,1
13	А – C ₃ H ₆ O В – CH ₃ OH при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	337,7	60,0	65,6	329,1
		4,8	14,0	335,9	80,0	80,0	328,6
		17,6	31,7	333,1	95,0	94,0	328,7
		28,0	42,0	331,3	98,2	97,6	329,1
		40,0	51,6	330,2	100,0	100,0	329,5
14	А – C ₃ H ₆ O В – CHCl ₃ при p = 9,760·10 ⁴ Па	0,0	0,0	332,9	53,6	59,8	334,3
		7,9	6,0	333,3	61,8	69,8	333,3
		14,3	11,6	334,2	71,5	79,2	331,9
		18,6	16,0	334,8	77,0	84,8	331,2
		26,6	23,5	335,2	82,1	90,1	330,2
		39,4	39,4	335,4	91,5	95,4	329,0
		46,2	52,0	335,0	100,0	100,0	328,2

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
15	А – C ₃ H ₆ O В – CHCl ₃ при p = 10,000·10 ⁴ Па	0,0	0,0	334,3	75,5	83,2	332,9
		18,6	10,3	336,0	82,7	89,0	331,8
		34,0	31,8	336,8	89,2	93,6	330,8
		46,8	51,5	336,4	94,9	97,3	330,0
		57,8	65,2	335,2	100,0	100,0	329,0
		67,3	75,7	334,0			
16	А – C ₃ H ₈ O В – H ₂ O при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	373,0	50,0	45,2	360,9
		1,0	11,0	368,0	60,0	49,2	361,3
		2,0	21,6	365,0	70,0	55,1	362,0
		4,0	32,0	363,5	80,0	64,1	363,5
		6,0	35,1	362,3	85,0	70,4	364,5
		10,0	37,2	361,5	90,0	77,8	365,8
		20,0	39,2	361,1	96,0	90,0	367,0
		30,0	40,4	360,9	100,0	100,0	370,3
17	А – C ₄ H ₁₀ O В – C ₆ H ₁₂ O ₂ (бутилацетат) при p = 0,668·10 ⁴ Па	0,0	0,0	325,6	59,1	50,4	324,2
		18,0	22,5	324,5	76,5	64,5	325,3
		28,2	32,2	324,1	8638	75,2	326,5
		35,5	36,3	323,8	92,1	83,3	327,7
		37,0	37,0	323,7	100,0	100,0	329,1
		43,5	41,6	323,8			
18	А – C ₄ H ₁₀ O В – C ₆ H ₁₂ O ₂ (бутилацетат) при p = 2,200·10 ⁴ Па	0,0	0,0	353,6	61,3	57,8	349,5
		16,1	21,0	351,2	77,7	70,5	350,2
		31,3	37,5	349,9	87,3	80,7	351,3
		47,4	47,9	349,4	100,0	100,0	353,3
19	А – C ₄ H ₁₀ O В – C ₆ H ₁₂ O ₂ (бутилацетат) при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	399,0	72,2	74,1	389,9
		21,9	33,4	394,2	77,9	78,6	389,8
		37,2	48,2	391,9	84,7	84,4	390,0
		51,4	58,0	390,9	89,6	88,0	390,1
		66,4	69,2	390,1	100,0	100,0	390,5
20	А – CHCl ₃ В – CH ₃ OH при p = 10,000·10 ⁴ Па	0,0	0,0	337,6	28,7	48,8	328,9
		2,9	8,3	337,1	38,5	54,2	327,5
		6,3	16,1	335,4	51,8	58,9	326,7
		10,3	24,0	333,7	70,7	67,8	326,7
		15,2	32,3	332,1	84,7	82,3	330,0
		21,2	41,2	330,5	100,0	100,0	334,4
21	А – CCl ₄ В – C ₂ H ₆ O при p = 9,933·10 ⁴ Па	0,0	0,0	350,9	41,1	56,9	337,4
		7,0	26,5	345,4	55,7	59,7	336,9
		11,4	35,4	343,3	63,0	63,0	336,6
		16,6	43,5	341,4	72,9	66,9	337,3
		23,0	49,8	339,6	89,0	84,0	343,0
		31,0	53,6	338,3	100,0	100,0	348,9
22	А – CCl ₄ В – C ₄ H ₈ O ₂ при p = 9,140·10 ⁴ Па	0,0	0,0	347,1	57,2	57,7	344,6
		7,3	10,0	346,3	61,3	61,0	344,6
		15,9	20,2	345,8	69,3	67,5	344,8
		28,0	32,4	345,2	79,2	76,5	345,1
		35,2	38,9	344,9	89,4	87,1	345,6
		42,9	45,9	344,7	100,0	100,0	346,4

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
23	А – C ₇ H ₈ В – C ₄ H ₁₀ O при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	381,0	63,8	57,0	373,9
		11,4	21,8	376,6	68,2	59,8	374,4
		15,0	26,7	375,8	76,2	64,1	374,9
		21,1	33,4	374,9	84,4	71,2	376,3
		33,3	42,1	374,2	87,0	73,6	376,8
		44,1	48,0	373,8	89,7	77,3	377,7
		55,0	53,6	373,5	96,5	87,0	380,2
		58,8	54,4	373,6	100,0	100,0	383,4
24	А – <i>транс</i> -C ₂ H ₂ Cl ₂ В – CH ₃ OH при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	337,6	43,8	72,8	316,0
		2,1	13,8	335,9	73,7	76,0	315,6
		2,8	16,8	333,5	76,9	76,9	314,9
		11,2	45,2	325,3	88,6	79,0	315,6
		13,4	48,5	324,1	96,5	83,0	316,1
		18,7	53,8	321,1	98,7	90,6	317,8
		24,6	59,3	319,0	99,6	94,4	319,0
		29,4	65,3	317,8	100,0	100,0	321,3
25	А – <i>цис</i> -C ₂ H ₂ Cl ₂ В – CH ₃ OH при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	337,6	57,1	63,4	324,8
		4,8	13,7	334,8	65,1	65,1	324,5
		7,0	18,7	333,6	70,5	65,5	324,8
		13,6	33,1	331,0	85,0	70,8	325,3
		16,9	37,1	329,9	91,6	74,0	325,9
		25,9	45,4	327,5	98,6	84,0	328,4
		31,4	50,4	326,7	99,6	87,3	329,3
		36,5	53,9	326,1	99,8	93,9	330,8
42,6	57,6	325,4	100,0	100,0	333,3		
26	А – CS ₂ В – CH ₃ COCH ₃ при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	329,2	53,5	62,7	312,9
		3,9	13,8	325,0	65,3	66,1	312,1
		8,1	25,2	322,3	78,9	70,5	312,3
		13,8	36,7	318,8	84,5	73,0	313,0
		22,8	46,7	316,0	93,5	84,1	315,3
		31,5	53,4	314,3	98,1	92,4	317,7
		47,9	62,5	313,5	100,0	100,0	319,3
		27	А – CH ₃ OH В – CCl ₄ при p = 10,13·10 ⁴ Па	0,0	0,0	349,7	55,0
0,3	10,1			346,0	70,3	58,3	328,7
2,4	32,4			337,2	79,1	63,0	329,9
11,5	44,5			332,3	90,5	74,1	332,2
20,5	50,3			330,0	98,1	93,5	336,4
36,8	53,9			328,5	100,0	100,0	337,7
28	А – CH ₃ OH В – C ₆ H ₆ при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	363,2	62,0	62,0	330,6
		1,9	18,1	347,0	81,5	65,2	331,0
		6,4	44,8	336,7	91,1	75,0	332,5
		11,7	51,7	333,3	96,2	86,5	334,3
		20,0	56,2	331,5	98,1	92,8	336,0
		58,6	61,0	330,7	100,0	100,0	337,7

1	2	3	4	5	6	7	8
29	А – C ₂ H ₆ O В – C ₆ H ₆ при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	352,8	48,5	45,1	340,9
		4,1	17,2	347,7	68,8	53,0	341,8
		5,6	23,4	345,9	82,1	62,2	343,5
		10,0	30,7	343,8	88,8	70,3	345,3
		19,2	37,5	342,0	95,1	80,5	347,8
		33,5	41,8	341,2	100,0	100,0	351,1
		42,8	42,8	340,8			
30	А – C ₃ H ₆ O В – CH ₃ OH при p = 10,133·10 ⁴ Па	0,0	0,0	337,7	57,1	63,9	329,2
		3,0	11,7	336,5	69,3	73,5	328,8
		10,9	23,5	334,3	80,0	80,0	328,6
		20,7	35,0	332,4	95,0	94,0	328,7
		32,8	45,6	330,8	98,2	97,6	329,1
		47,5	57,2	329,7	100,0	100,0	329,5

Таблиця 3.4

Вихідні дані до завдання Б

№	T ₁	a	б	в	№	T ₁	a	б	в
1	388	55	81	19	16	365	80	93	7
2	394	60	62,2	38,8	17	325	65	54,2	45,8
3	383	65	67,4	32,6	18	350,5	75	65,5	34,5
4	372	50	12,8	84,2	19	390,2	65	54,2	45,8
5	368	50	19,6	80,4	20	330,5	25	55,5	44,5
6	365	35	68,8	31,2	21	343	25	36,8	63,2
7	367	25	6,4	93,6	22	345,4	25	52,7	47,3
8	317	25	30,4	69,6	23	377	80	83,4	46,6
9	333	25	27,1	72,9	24	320	25	50,5	49,5
10	331	80	62,2	37,8	25	339	25	50,5	49,5
11	335	10	4,4	56,4	26	319	20	17,9	41
12	345	75	64	36	27	338	10	15,9	42,8
13	329,2	60	73	27	28	334	20	7,6	75,9
14	334,5	55	37,2	62,8	29	443	65	21,2	21,2
15	336	55	37,2	62,8	30	331	35	16	16

**Пояснення до діаграми стану температура кипіння – склад і
прикладі розв'язання задач**

Розглянемо діаграму кипіння системи C₄H₈O₂ (етилацетат) – C₂H₆O (етанол), наведену на рис. 3.6.

Крива *abcde* є кривою складу насиченої пари. Вище кривої насиченої пари система гомогенна, фаза одна – пара. Крива *agcfe* є кривою складу рідини, що кипить. Нижче кривої рідини система гомогенна, фаза одна – рідина. Між кривими насиченої пари *abcde* і рідини *agcfe* система гетерогенна – двофазна. В рівновазі знаходяться рідина і насичена пара.

Склад пари визначається за кривою пари *abcde*, склад рідкої фази визначається за кривою рідини *agcfe*.

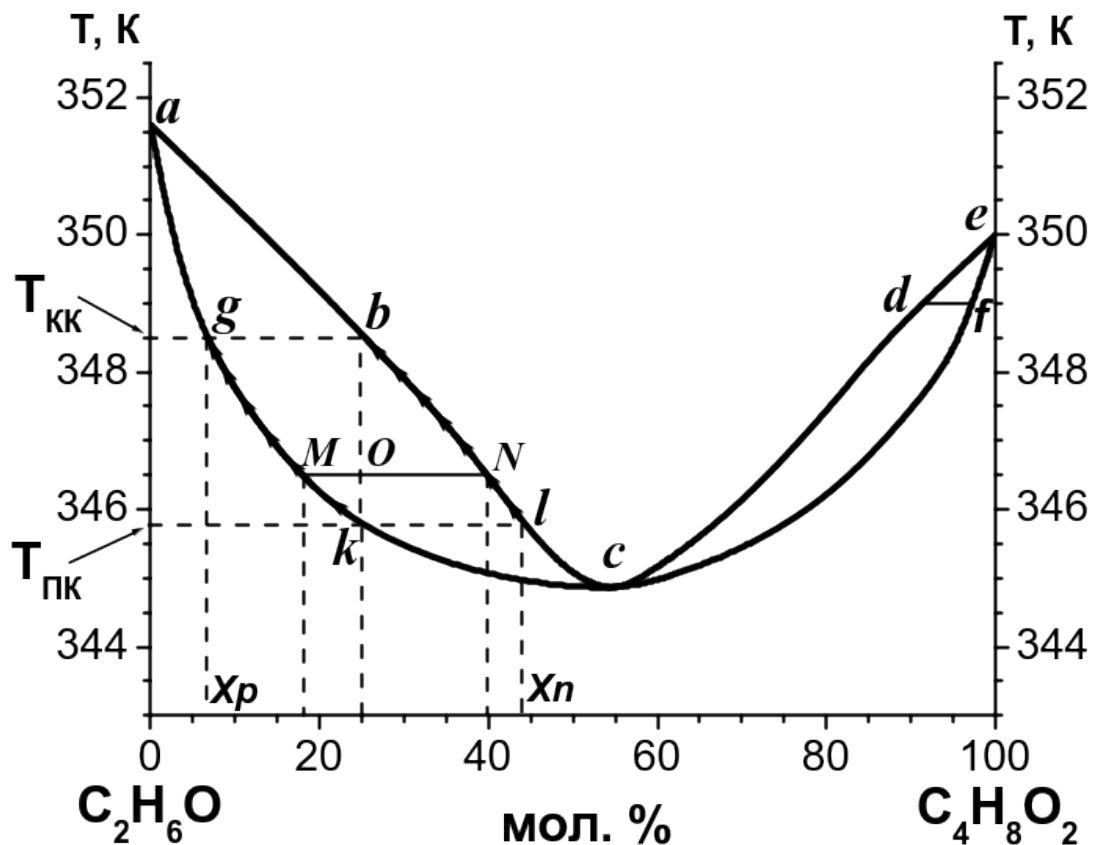


Рис. 3.6

Для визначення складів рівноважних фаз через точку заданого стану (або для зазначеної температури) проводиться ізотерма. Точка перетину ізотерми з кривою рідини *agcfe* характеризує склад рідкої фази, який визначається по осі абсцис. Точка перетину ізотерми з кривою насиченої пари *abcde* дає склад пари.

Наприклад, необхідно визначити склад пари, який знаходиться в рівновазі з рідиною, що кипить при температурі 348,5 К.

Проводимо ізотерму при зазначеній температурі. Абсциса точки перетину ізотерми з кривою рідини *g* показує склад рідини, що кипить – x_p (6,0 мол.% $C_4H_8O_2$, 94,0 мол.% C_2H_6O). В рівновазі з цією рідиною буде насичена пара, склад якої визначається абсцисою точки *b* – точки перетину ізотерми з кривою насиченої пари. Склад пари $x_{п}$ – 25,0 мол.% $C_4H_8O_2$, 75,0 мол.% C_2H_6O .

У системі $C_4H_8O_2 - C_2H_6O$ існує ще одна рідина, що кипить при температурі 348,5 К. Склад її визначається точкою *f* (96 мол.% $C_4H_8O_2$). Склад пари, що знаходиться в рівновазі з цією рідиною, характеризується точкою *d* (87 мол.% $C_4H_8O_2$).

На діаграмі точка *c* визначає склад азеотропної суміші (55 мол.% $C_4H_8O_2$). Ця точка характеризується однаковим складом рідкої фази і пари.

Проаналізуємо процес нагрівання бінарної рідкої системи. За кривою рідини *agcfe* визначається температура початку кипіння суміші (або

температура кінця конденсації). За кривою насиченої пари *abcde* визначається температура кінця кипіння рідини (або температура початку конденсації).

Система, що містить 25 мол.% $C_4H_8O_2$, закипить (тобто стає двофазною) при температурі, яка визначається ординатою точки *k* ($T_{пк} = 345,6$ К). При цій температурі визначаємо склад пари (першої бульбашки пари). Для цього проводимо ізотерму ($T = 345,6$ К) до перетину з кривою насиченої пари. Абсциса точки *l* показує склад пари ($x_{ll} = 45$ мол.% $C_4H_8O_2$). Пара має вміст етилацетату $C_4H_8O_2$ більший, ніж рідина, тобто у пару переважно переходить цей компонент, тому при кипінні рідка фаза збіднюється на етилацетат і її склад змінюється. Разом зі зміною складу рідкої фази змінюється і температура кипіння системи. Зміна складу рідкої фази призводить до зміни складу насиченої пари, що знаходиться у рівновазі з рідиною. Зміна складу пари показана стрілками на кривій *bl*. Зміна складу рідкої фази показана стрілками на кривій *gk*.

Температуру кінця кипіння показує ордината точки *b* ($T_{кк} = 348,5$ К). При цій температурі зникає остання крапля рідини. Її склад визначаємо по абсцисі точки *g* – точки перетину кривої рідини з ізотермою $T = 348,5$ К ($x_p = 6,0$ мол.% $C_4H_8O_2$).

При температурі вище 348,5 К система стає гомогенною (пара). Склад пари дорівнює складу вихідної рідини і при подальшому нагріванні не змінюється.

Задача 1. Визначити, який компонент і в якій кількості може виділитися із системи, що містить 13,64 кг етилацетату $C_4H_8O_2$ і 13,57 кг етанолу C_2H_6O .

Розв'язування. Оскільки склад системи на діаграмі (рис. 2.7) наданий у мольних процентах, розрахуємо кількість молей компонентів у заданій системі.

Молярна маса етилацетату дорівнює $M_E = 88$.

Молярна маса етанолу дорівнює $M_C = 46$.

Число молей етилацетату:

$$n_E = \frac{m_E}{M_E} = \frac{13640}{88} = 155 \text{ моль.}$$

Число молей етанолу:

$$n_C = \frac{m_C}{M_C} = \frac{13570}{46} = 295 \text{ моль.}$$

Мольний процент $C_4H_8O_2$ у заданій суміші становить:

$$\text{мол.\%}C_4H_8O_2 = \frac{n_E \cdot 100}{n_E + n_C} = \frac{155 \cdot 100}{155 + 295} = 34,44\%.$$

Оскільки даний склад знаходиться ліворуч від азеотропної точки, то виділити перегонкою в чистому вигляді можна тільки етанол. Весь етилацетат (155 моль) перейде в азеотропну суміш, склад якої визначається точкою *c* (55 мол.% $C_4H_8O_2$, 45 мол.% C_2H_6O). Тобто в азеотропній суміші 55 молей

етилацетату зв'язані з 45 молями етанолу. Відповідно 155 молей етилацетату зв'яжуть x_C молей етанолу:

$$\begin{array}{l} 55 - 45 \\ 155 - x_C, \end{array} \quad x_C = 126,82 \text{ моль.}$$

Отже, в азеотропну суміш перейде 126 моль етанолу, а в чистому вигляді можна виділити:

$$n_{\text{чС}} = n_C - x_C = 295 - 126,82 = 168,18 \text{ моль.}$$

Це становить:

$$G_C = n_{\text{чС}} \cdot M_C = 168,18 \cdot 46 \cdot 10^{-3} = 7,736 \text{ кг етанолу.}$$

Задача 2. Визначити, якого компонента та яку кількість необхідно додати до суміші, що містить 13,64 кг етилацетату $C_4H_8O_2$ і 13,57 кг етанолу C_2H_6O , щоб утворилась азеотропна суміш.

Розв'язування. Користуючись діаграмою стану “температура кипіння – склад” (рис. 3.6) визначаємо склад азеотропної суміші (точка e). Він становить 55 мол.% $C_4H_8O_2$, 45 мол.% C_2H_6O .

У вихідній суміші кількість молей етилацетату дорівнює:

$$n_E = \frac{m_E}{M_E} = \frac{13640}{88} = 155 \text{ моль,}$$

а кількість молей етанолу –

$$n_C = \frac{m_C}{M_C} = \frac{13570}{46} = 295 \text{ моль.}$$

Мольний процент етилацетату складає:

$$\text{мол.\%}C_4H_8O_2 = \frac{n_E \cdot 100}{n_E + n_C} = \frac{155 \cdot 100}{155 + 295} = 34,44\%.$$

Тобто, вихідна суміш збагачена етанолом у порівнянні з азеотропом. Отже, необхідно додати до системи етилацетат, щоб отримати із вихідної суміші азеотропну.

В азеотропній суміші 45 моль етанолу зв'язані з 55 моль етилацетату.

Для отримання азеотропної суміші необхідно зв'язати всі присутні в системі 295 моль етанолу, що потребує x_E моль етилацетату:

$$\begin{array}{l} 45 - 55 \\ 295 - x_E, \end{array} \quad x_E = 360,56 \text{ моль.}$$

Вихідна система вже містить 155 моль етилацетату. Ще необхідно додати:

$$n_{\text{ДЕ}} = x_E - n_E = 360,56 - 155 = 205,56 \text{ моль,}$$

або

$$G_E = n_{DE} \cdot M_E = 205,56 \cdot 88 \cdot 10^{-3} = 18,089 \text{ кг етилацетату.}$$

Задача 3. Визначити, яка кількість етилацетату (в кг) буде в парі і у рідкій фазі, якщо 10 кг, що містить 25 мол.% етилацетату, нагріти до температури 346,5 К.

Розв'язування. За вихідними даними знайдемо на діаграмі стану “температура кипіння – склад” (рис. 3.6) фігуративну точку **O** ($x = 25$ мол.%, $T = 346,5$ К), яка лежить у гетерогенній зоні, тобто за даних умов у рівновазі знаходяться насичена пара з рідиною, що кипить.

Через точку **O** проведемо ізотерму, що перетинає діаграмні лінії у точці **M** (фігуративна точка рідкої фази – 17 мол.% $C_4H_8O_2$) і точці **N** (фігуративна точка пари – 40 мол.% $C_4H_8O_2$).

Кількість рідкої фази і пари розрахуємо за правилом важеля:

$$\frac{\text{кількість пари}}{\text{кількість рідини}} = \frac{MO}{ON}.$$

Оскільки на діаграмі склад поданий у мольних процентах, а кількість вихідної речовини – у кілограмах, для визначення відрізків **MO** і **ON** мольні проценти точок **M**, **O** і **N** необхідно перерахувати на масові:

$$\text{мас.\%}C_4H_8O_2 \text{т.}M = \frac{17 \cdot M_E \cdot 100}{17 \cdot M_E + 83 \cdot M_C} = \frac{17 \cdot 88 \cdot 100}{17 \cdot 88 + 83 \cdot 46} = 28,15;$$

$$\text{мас.\%}C_4H_8O_2 \text{т.}O = \frac{25 \cdot M_E \cdot 100}{25 \cdot M_E + 75 \cdot M_C} = \frac{25 \cdot 88 \cdot 100}{25 \cdot 88 + 75 \cdot 46} = 38,94;$$

$$\text{мас.\%}C_4H_8O_2 \text{т.}N = \frac{40 \cdot M_E \cdot 100}{40 \cdot M_E + 60 \cdot M_C} = \frac{40 \cdot 88 \cdot 100}{40 \cdot 88 + 60 \cdot 46} = 56,05.$$

Отже, у масових процентах відрізок **MO** дорівнює:

$$38,94 - 28,15 = 10,79.$$

Відрізок **ON**:

$$56,05 - 38,94 = 17,11.$$

Визначимо як X_{II} кількість пари, тоді кількість рідини буде – 10 - X_{II} .
За правилом важеля:

$$\frac{X_{II}}{10 - X_{II}} = \frac{10,79}{17,11}; \quad \text{звідки } X_{II} = 3,85 \text{ кг пари.}$$

Кількість рідини буде: $X_p = 10 - 3,85 = 6,15$ кг.

Знаючи масовий відсоток етилацетату в парі, $N_{II} = 56,05$ мас.%, розрахуємо кількість етилацетату в парі:

$$G_{II} = X_{II} \cdot N_{II} = 3,85 \cdot 0,5605 = 2,16 \text{ кг.}$$

Кількість етилацетату в розчині визначаємо за його масовим процентом ($M_p = 28,15$ мас.%):

$$G_p = X_p \cdot M_p = 6,15 \cdot 0,2815 = 1,73 \text{ кг.}$$

4. ПЕРЕЛІК КОНТРОЛЬНИХ ЗАПИТАНЬ

1. Густина водного розчину NaCl, який містить 8 г солі на 100 г розчину, дорівнює $1,054 \text{ г/см}^3$ при 25°C . Розрахувати: а) моляльну; б) молярну концентрації розчину.

2. Скільки мл 98%-ної сірчаної кислоти необхідно взяти для приготування 2 л 0,5 М розчину? Густина 98%-ної сірчаної кислоти дорівнює $1,96 \text{ г/см}^3$.

3. Для приготування антифризу було взято 10 кг води і 3,5 кг гліцерину $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$. Обчислити температуру початку замерзання антифризу, якщо кріоскопічна стала води дорівнює 1,86.

4. Розрахувати температуру кипіння розчину, що містить 5 г карбаміду в 75 г води, якщо ебуліоскопічна стала розчинника дорівнює 0,52, молярна маса карбаміду – 60 г.

5. Мольна частка нелеткої речовини у водному розчині дорівнює 0,07. Визначте коефіцієнт активності води у цьому розчині при 298 К, якщо тиск насиченої пари над розчином дорівнює $26,17 \cdot 10^2 \text{ Па}$, а тиск насиченої пари над чистою водою – $32,17 \cdot 10^2 \text{ Па}$.

6. Що відбуватиметься у системі, якщо по один бік проникній для молекул розчинника перегородки (мембрани) налити розчин, а по іншій – розчинник до того ж рівня?

7. Парціальні мольні об'єми ацетону і хлороформу у розчині з мольною долею хлороформу 0,469 дорівнюють 74,166 і $80,235 \text{ см}^3/\text{моль}$ відповідно. Розрахуйте об'єм такого розчину, що має масу 1 кг.

8. Користуючись діаграмою “температура кипіння – склад” для бінарної системи ацетон – сірковуглець (рис. 4.1) визначити склад азеотропної суміші і температуру її кипіння. За якої температури почне кипіти розчин, що містить 40% CS_2 , на які складові можна розділити цей розчин перегонкою?

9. На рис. 4.2 наведена діаграма “температура кипіння – склад” для системи $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} - \text{CCl}_4$.

Який характер відхилення від закону Рауля для цієї системи?

Укажіть число компонентів, фаз і ступенів свободи для системи, позначеної на діаграмі точкою “с”.

10. Використовуючи діаграму “температура кипіння – склад” для бінарної системи $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} - \text{CCl}_4$ (рис. 4.2), вкажіть склад останніх крапель конденсату, що утворюється при охолодженні пари, яка містить 20 мол.% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$; який склад азеотропної суміші; як зміниться її склад при підвищенні тиску?

11. Використовуючи діаграму “температура кипіння – склад” для бінарної системи $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} - \text{CCl}_4$ (рис. 4.2), вкажіть точки (дайте їх координати), які відповідають рівновазі фаз однакового складу. Як зміниться температура початку кипіння системи, що містить 40 мол.% CCl_4 , якщо знизити тиск?

12. Використовуючи діаграму “температура кипіння – склад” для бінарної системи $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5 - \text{CCl}_4$ (рис. 4.3), визначити, за якої температури почнеться кипіння системи, яка містить 40 мол.% CCl_4 ; який при цьому буде склад пари;

скільки кг CCl_4 можна отримати ректифікацією системи, що містить 20 мол.% CCl_4 , якщо загальна вага системи – 1 кг?

13. Визначте масу пари і масу рідини, якщо 1 кг рідини, яка містить 30 мол.% CCl_4 , нагріти до 60°C (рис. 4.3).

14. На рис. 4.4 наведена діаграма “температура – склад” обмежено розчинних рідин анілін – гексан. Встановити, із чого складена система, утворена змішуванням 2 молей аніліну і 3 молей гексану, при 30°C . До якої температури необхідно нагріти цю суміш, щоб вона була гомогенною?

15. Обчислити рН у $0,05 \text{ M}$ розчині HCl з урахуванням коефіцієнта активності іонів водню.

16. Обчислити іонну силу розчину, який містить у 1 л $0,01$ моля CaCl_2 і $0,1$ моля Na_2SO_4 .

17. Нарисуйте графік залежності питомої електропровідності κ електроліту від його концентрації c і поясніть його.

18. Є в наявності водні розчини NaCl ($0,01\text{M}$) і NaOH ($0,01\text{M}$). Який з цих розчинів має більшу електропровідність і чому?

19. Питома електропровідність $0,1 \text{ M}$ розчину оцтової кислоти дорівнює $0,051 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$. Обчислити ступінь дисоціації і константу дисоціації CH_3COOH . Еквівалентна електропровідність оцтової кислоти при нескінченному розбавленні дорівнює $\lambda_0 = 39,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{Омекв})$.

20. Наведіть приклад електрода 1-го роду і напишіть рівняння Нернста для нього.

21. Наведіть приклад електрода 2-го роду і запишіть рівняння Нернста для нього.

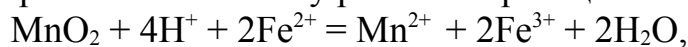
22. Наведіть приклад окисно-відновного електрода і запишіть рівняння Нернста для нього.

23. Нарисуйте та опишіть будову скляного електрода.

24. опишіть будову і виготовлення хлоросрібного електрода.

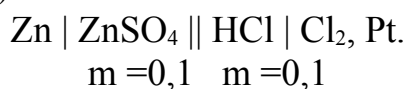
25. Знайдіть рН розчину, в якому потенціал хінгідронного електрода дорівнює $0,400 \text{ В}$ (н.в.е.).

26. Розрахуйте при 298 K константу рівноваги реакції



використовуючи дані довідника про стандартні електродні потенціали.

27. Обчислити потенціал електродів і ЕРС гальванічного елемента при 25°C (E_i° і γ_{\pm} взяти із довідника):



28. ЕРС гальванічного елемента як функція температури виражається рівнянням

$$E = a + bT.$$

Виведіть рівняння для розрахунку ΔS і ΔG при температурі T .

29. ЕРС гальванічного елемента:



дорівнює $0,49 \text{ В}$, $dE/dT = -1,86 \cdot 10^{-4} \text{ В/К}$. Напишіть рівняння реакції, що відбувається в елементі, розрахуйте ΔG і ΔH при 25°C .

30. Які гальванічні елементи називають хімічними. Наведіть приклади. Як розраховується ЕРС такого елемента?

31. Чи можна відновити іони нікелю цинковим пилом із водного розчину NiCl_2 ($a_{\text{Ni}^{2+}}=1$)? Для відповіді використовуйте таблицю стандартних електродних потенціалів.

32. Катодний процес виділення міді із розчину CuSO_4 здійснюється зі 100%-вим виходом за струмом. Визначити, яка кількість міді виділиться на катоді, поверхня якого 1 см^2 при густині струму $5 \cdot 10^{-3} \text{ А/дм}^2$ і тривалості електролізу 20 хв ?

33. Яким чином пояснюється наявність вільної енергії на межі розділу фаз?

34. Які поверхневі явища Вам відомі? Коротко охарактеризуйте кожне.

35. Запишіть і поясніть рівняння Кельвіна (Томсона).

36. Яким чином залежать від температури термодинамічні параметри поверхневого шару? Наведіть відповідні рівняння та графіки.

37. Опишіть 3-4 методи визначення поверхневого натягу.

38. Запишіть і проаналізуйте рівняння Гіббса-Гельмгольца для поверхневого шару.

39. Запишіть і поясніть рівняння Лапласа для викривленої поверхні.

40. Яким чином залежить поверхневий натяг розчину від концентрації ПАР?

41. Що таке когезія та адгезія? Як обчислити роботу когезії та адгезії? Яким чином пов'язані між собою ці величини?

42. Чи залежить поверхневий натяг рідини від її полярності? Якщо ні, то чому, якщо так, то яким чином?

43. У чому полягають явища змочування і розтікання?

44. Яким чином можна поліпшити змочування поверхні твердого тіла рідиною?

45. Запишіть і поясніть рівняння Дюпре-Юнга.

46. Наведіть рівняння Юнга для крайового кута змочування.

47. Що таке флотація, де її використовують?

48. Дайте визначення адсорбції, адсорбенту, адсорбату. Наведіть розмірності адсорбції.

49. Виведіть і проаналізуйте адсорбційне рівняння Гіббса.

50. Що таке поверхнева активність? Які речовини називаються поверхнево-активними (ПАР)?

51. Дайте загальну характеристику ПАР, наведіть приклади таких речовин.

52. Сформулюйте правило Траубе-Дюкло.

53. Перелічіть основні положення теорії мономолекулярної адсорбції.

55. У яких координатах лінеаризується ізотерма Ленгмюра? Яку інформацію можна здобути шляхом такої лінеаризації?

55. Запишіть емпіричне адсорбційне рівняння Фрейдліха. Яким чином можна визначити константи цього рівняння?

56. Перелічіть особливості молекулярної адсорбції з розчинів на твердих адсорбентах.

57. Що таке питома поверхня адсорбенту? Яким чином її можна визначити?

58. Запишіть і поясніть адсорбційне рівняння Генрі.

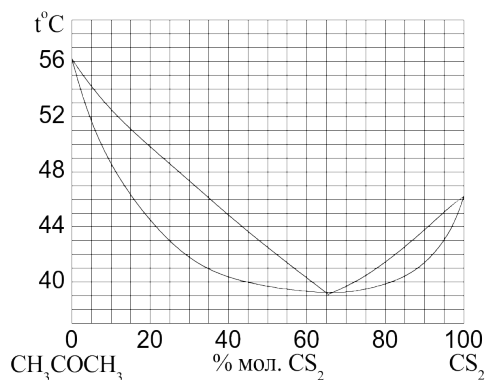


Рис. 4.1

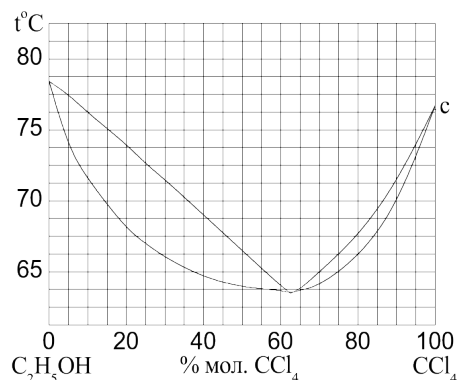


Рис. 4.2

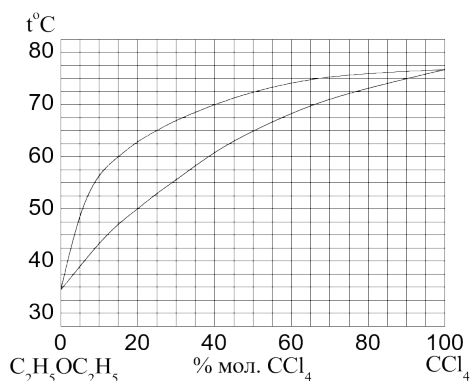


Рис.4.3

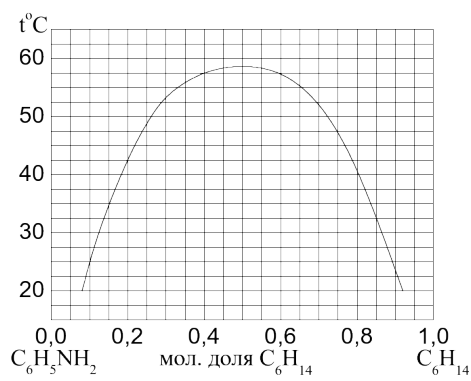


Рис.4.4

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. – М.: Высш. шк., 1988. – 496 с.
2. Физическая химия / И.Н.Годнев, К.С.Краснов, Н.К.Воробьев и др./ Под ред. К.С.Краснова. – М.: Высш. шк., 1982. – 687 с.
3. Даниэлс Ф., Олберти Р. Физическая химия. – М.: Высш. шк., 1982. – 645 с.
4. Киреев В.А. Курс физической химии. – М.: Химия, 1975. – 775 с.
5. Білий О.В. Фізична хімія. – К.: ЦУЛ, 2002. – 364 с.
6. Лебідь В.І. Фізична фімія. – Харків: Гімназія, 2008. – 478 с.
7. Киселева Е.В., Каретников Г.С., Кудряшов И.В. Сборник примеров и задач по физической химии. – М.: Высш. шк., 1983. – 456 с.

8. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. Мищенко К.С., Равделя А.А. – Л.: Химия, 1983. – 231 с.
9. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1989. – 462 с.
10. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Фролова Ю.Г. – М.: Химия, 1986. – 214 с.
11. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.
12. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1975. – 512 с.