

EGZAMIN pisemny z CHEMII FIZYCZNEJ 1

Lista pytań egzaminacyjnych (semestr zimowy 2024/25)

WSTĘP

Zadania egzaminacyjne będą występowały w dwóch formach - jako *pytania* z poniższej listy oraz *zadania dodatkowe*, nieco bardziej złożone, w zasadzie dowolne. Proporcja pomiędzy dwoma rodzajami pytań będzie tak dobrana, żeby rozwiązując poprawnie zadania z poniższej listy mieć gwarancję uzyskania oceny z egzaminu co najmniej na poziomie 3,5.

Wiele *pytań* odnosi się do konkretnego układu/ procesu, który będzie doprecyzowany na egzaminie.

Zarówno *pytania*, dla których należy „obliczyć/ oszacować/ wyznaczyć/ sprawdzić itp.” jak i *zadania dodatkowe*, nie wymagają wykonywania obliczeń na liczbach. Kalkulator jest zbyteczny. Rozwiązanie zadania polega na doprowadzeniu wyrażenia do postaci, na podstawie której, po *podstawieniu podstawowych danych* (ewentualnie wymienionych w treści zadania) można bezpośrednio obliczyć szukany parametr. Rozwiązaniem będzie równanie (układ równań itp.) zawierające symbole lub liczby i ewentualnie wskazanie na konieczność znalezienia rozwiązania numerycznego (np. równania nieliniowego, które musi być rozwiązane względem konkretnej zmiennej itp.). To samo dotyczy wielomianu drugiego stopnia, którego rozwiązanie analityczne jest czasochłonne.

Podstawowe dane (też w postaci symboli), o ile nie będą podane w treści pytania, należy samemu wybrać ze *skrótowych* (egzaminacyjnych) *Tablic*, dostępnych na egzaminie, a w przypadku braku danych - założyć ich posiadanie, przypisując ich wartościom określony symbol. Za *podstawowe dane* uznajemy: standardowe entalpie tworzenia i standardowe entropie w temperaturze $T_0 = 298$ (lub 289,15) K; zależności temperaturowe standardowych pojemności cieplnych; standardowe potencjały półogniw ($T = 298$ (lub 298,15) K), parametry krytyczne, parametry opisujące krzywą parowania czystej substancji (np. w postaci równania Antoine’a), normalne temperatury topnienia, parowania, przejścia polimorficznego, gęstości oraz współczynniki rozszerzalności i ściśliwości ($T = 298$ (lub 298,15) K).

Przykładowe *pytanie*. Obliczyć efekt cieplny towarzyszący izobarycznemu ogrzewaniu czystego związku A od temperatury T_1 do T_2 .

Rozwiązanie: Potrzebne dane: zależność $c_p(T)$ dla A.

Odpowiedź: $Q = \Delta H = n \int_{T_1}^{T_2} c_p(T) dT$, gdzie $c_p(T)$ jest wielkością molową.

I jeszcze jedno wyjaśnienie: Przy opisywaniu równowagi chemicznej niezbędna jest wartość stałej równowagi. Danej takiej nie znajdziemy w Tablicach, a oblicza się ją na podstawie standardowych entalpii tworzenia, standardowych entropii i zależności temperaturowych standardowych pojemności cieplnych dla wszystkich reagentów. Jedynie te ostatnie trzy dane traktujemy jako podstawowe i dostępne.

Na egzaminie niezbędne będą skrócone Tablice, znajdujące się na końcu tego dokumentu. Trzeba je wydrukować, podpisać i mieć ze sobą na egzaminie.

Użyte symbole: Z – czysta substancja, M – mieszanina. Znak „*” - oznacza, że na egzaminie dane będą tutaj uściślone (konkretny związek chemiczny, reakcja, warunki itp.).

Pytania napisane drukiem pogrubionym, są to tak zwane **NIEZAPOMINAJKI**, które będą oceniane średnio dwa razy wyżej niż zwykłe *pytania*.

PYTANIA**Zagadnienia ogólne**

1. Sformułować I Zasadę termodynamiki oraz zdefiniować entalpię.
2. **Sformułować II Zasadę termodynamiki, podać statystyczną definicję entropii oraz Zasadę wzrostu entropii.**
3. Sformułować III Zasadę termodynamiki.

Termochemia

4. Obliczyć efekt cieplny reakcji* zachodzącej w reaktorze izochorycznym okresowym/ reaktorze przepływowym, przy założonych ilościach początkowych substratów i stopniu przemiany względem jednego z nich.
5. **Wykorzystując podstawowe dane termochemiczne obliczyć dla reakcji*:**
 - 5.1. standardową entalpię w dowolnej temperaturze,
 - 5.2. efekt cieplny albo końcową temperaturę przy założonych: ilościach początkowych reagentów, stopniu przemiany, początkowej i końcowej temperaturze albo założonej wymianie ciepła.
6. Oszacować standardową entalpię reakcji* na podstawie średnich termochemicznych energii wiązań.
7. **Zdefiniować zmienną reakcji.** Dla reakcji* i zadanych początkowych ilości reagentów*, określić zakres zmienności zmiennej reakcji.
8. Czy Z^* przy ustalonych warunkach* znajduje się w stanie standardowym? Jeśli nie, określić dla jakiego procesu należy dodatkowo obliczyć/ oszacować zmianę entalpii, aby można było obliczyć rzeczywisty efekt cieplny z wykorzystaniem standardowej entalpii.

Ogólne warunki równowagi

9. **Definicja entalpii swobodnej.** Jak zmienia się ona dla procesów spontanicznych zachodzących w przyrodzie? Określić ogólny warunek równowagi względem procesu z wykorzystaniem entalpii swobodnej. Rozważyć dwa przypadki: (1) układ wykonuje jedynie pracę objętościową; (2) układ może wykonywać dowolną pracę.
10. **Sformułować ogólne warunki równowagi w układzie wieloskładnikowym i wielofazowym.** Wyrazić je szczegółowo dla układu wielofazowego M^* będącego w stanie równowagi.
11. Sprawdzić, czy (Z^*, M^*) dla którego pewne parametry opisywane są podanymi zależnościami, jest stabilny termodynamicznie.

Zmiany funkcji termodynamicznych, ciepło i praca

12. Z^* opisywane równaniem stanu*, poddawane jest przemianie. Obliczyć: (1) efekt cieplny; (2) pracę objętościową; (3) zmiany funkcji termodynamicznych.
13. Dla $Z_{(c,s)}^*$ obliczyć względną zmianę objętości pod wpływem zmiany ciśnienia lub zmiany temperatury.

Równania stanu

14. Naskicować kilka izoterm $p = p(V)$ dla Z^* opisywanego równaniem van der Waalsa. Zilustrować obszar równowagi cieczeniowo-pary oraz istnienie punktu krytycznego. Podać warunek matematyczny spełniony przez współrzędne punktu krytycznego oraz sposób przeprowadzenia izotermy w obszarze dwufazowym.
15. Dla $Z_{(g)}^*$ opisywanego równaniem van der Waalsa, obliczyć: (1) ciśnienie dla podanej temperatury i objętości molowej; (2) temperaturę dla podanego ciśnienia i objętości molowej.

Właściwości cząsteczkowe

16. Na przykładowym wykresie zależności współczynnika kompresji (ściśliwości) Z^* od ciśnienia w stałej temperaturze, zaznaczyć zakres dominacji odpychających i przyciągających oddziaływań międzycząsteczkowych.
17. (Z^*, M^*) został umieszczony w stałym polu elektrycznym. Jakie zmiany wywoła to w jego strukturze? W jaki sposób można określić ilościowo udziały poszczególnych czynników wywołujących te zmiany?
18. Dla (Z^*, M^*) określić najważniejsze rodzaje oddziaływań międzycząsteczkowych i podać ich cechy.

19. Dla podanego potencjału oddziaływań* pary cząsteczek* w funkcji odległości, obliczyć siłę z jaką oddziałują na siebie dwie cząsteczki dla zadanej odległości między środkami ich mas.
20. Obliczyć energię kinetyczną 1 mola cząsteczek Z^* w temperaturze T . Dla $Z_1, Z_2, \dots$ * i stałej temperatury, uszeregować średnie prędkości cząsteczek według wzrastającej wartości.

Właściwości elektrolitów

21. Obliczyć ładunek przepływający w czasie τ/s przez przekrój poprzeczny o powierzchni A bardzo rozcieńczonego elektrolitu*, w którym przyłożono stałe napięcie U pomiędzy elektrodami oddalonymi względem siebie o x . Stężenie elektrolitu wynosi $c/\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ i znane są przewodności molowe jonów – składników elektrolitu.
22. Narysować orientacyjną zależność przewodności elektrolitycznej elektrolitu* od stężenia.
23. Obliczyć graniczną przewodność molową elektrolitu* na podstawie znajomości przewodności jonów. Narysować orientacyjną zależność przewodności molowej elektrolitu od stężenia w zakresie do $0,1 \text{ mol/kg}$.
24. Znane są ruchliwości kationu (u^+) i anionu (u^-) albo ich graniczne przewodności molowe. Obliczyć średnią drogę przebytą przez każdy jon w czasie τ/s i w polu elektrycznym o natężeniu $E/V\cdot\text{cm}^{-1}$. Jak (jakościowo) zmienia się w wyniku przepływu prądu stężenia jonów elektrolitu w przestrzeni katodowej i anodowej dla przypadków: (1) $u^+ \approx u^-$; (2) $u^+ > u^-$; (3) $u^+ < u^-$; (4) $u^+ \approx 0$; (5) $u^- \approx 0$.
25. Lepkość roztworu elektrolitu* zależy od temperatury zgodnie ze wzorem Arrheniusa. Wyznaczyć zależność granicznej przewodności molowej elektrolitu od temperatury i naszkicować jej orientacyjny przebieg tak dobierając współrzędne, aby charakter zależności był liniowy.

Opis układów wieloskładnikowych; modele roztworów

26. **Definicja potencjału chemicznego.**
27. **Zdefiniować pojęcie roztworu doskonałego**, aktywności i współczynników aktywności.
28. Dla elektrolitu* o danym stężeniu obliczyć siłę jonową, oszacować współczynniki aktywności jonów i średni współczynnik aktywności.
29. Dla składnika w M^* przedstawić najwygodniejszą formę zależności potencjału chemicznego od stężenia (i ewentualnie T i p).
30. **Określić charakter odchyłań od doskonałości w $M_{(c)}^*$ (dodatnie, ujemne, pomijalnie małe).**
31. $Z_{1(c)}^*$, $Z_{2(c)}^*$, $Z_{3(c)}^*$ mają zbliżone objętości molowe, ale różnią się entalpiami parowania. Dla podanych wartości tych ostatnich, porównać jakościowo współczynniki aktywności jednego składnika (np. Z_1) w mieszaninie ($Z_1 + Z_2$) i ($Z_1 + Z_3$), o takim samym stężeniu Z_1 .
32. W układzie dwuskładnikowym $M_{(c)}^*$ znana jest zależność współczynnika aktywności jednego składnika od stężenia. Obliczyć analogiczną zależność dla drugiego składnika.

Równowagi fazowe

33. Obliczyć liczbę stopni swobody dla M^* w stanie równowagi oraz określić maksymalną liczbę faz, które mogłyby ze sobą współistnieć przy zachowaniu tych samych składników.
34. Dla Z^* oszacować temperaturę przejścia fazowego przy założonym ciśnieniu (albo ciśnienie przy założonej temperaturze).
35. Przedstawić w punktach algorytm wyznaczenia krzywej sublimacji na podstawie znajomości krzywej parowania i parametrów opisujących proces topnienia (entalpia, normalna temperatura topnienia).
36. **Zilustrować zmiany ciśnienia oraz opisać ewentualne przemiany jakościowe, które zachodzą podczas zmniejszania objętości $Z_{(g)}^*$ w stałej podanej temperaturze*, rysując orientacyjny wykres zależności.**
37. Dla diagramu fazowego $Z^*(p = p(T) \text{ albo } p = p(V))$ oraz zaznaczonych punktów początkowych, opisać zmiany jakościowe zachodzące podczas zaznaczonej na nim przemiany.
38. Naszkicować najprostsze (tzn. 3 fazy - stała, ciekła i gazowa) diagramy fazowe substancji czystej we współrzędnych (p, T) i (p, V) ; zaznaczyć obszary występowania poszczególnych faz, punkt potrójny i krytyczny.

39. Obliczyć skład fazy gazowej oraz prężność pary nasyconej (dla $T = \text{const}$) albo temperaturę wrzenia (dla $p = \text{const}$) dla ciekłego roztworu* o podanym składzie. W przypadku konieczności użycia współczynników aktywności, przyjąć, że ich funkcje od pozostałych parametrów są znane.
40. Obliczyć rozpuszczalność stałego składnika w $M_{(c)}$ * w podanej temperaturze. W przypadku konieczności użycia współczynników aktywności, przyjąć, że ich funkcje od pozostałych parametrów są znane.
41. Dla $Z_{1(c)}, Z_{2(c)}, Z_{3(c)}, \dots$ * porównać prawdopodobieństwo: (1) wystąpienia azeotropu; (2) pojawienia się luki mieszalności w układach dwuskładnikowym: $(Z_{1(c)} + Z_{2(c)})$, $(Z_{1(c)} + Z_{3(c)})$, Odpowiedź uzasadnić.
42. Dla układu dwuskładnikowego M^* , obliczyć prężność pary nasyconej w temperaturze T w zakresie stężeń odpowiadającym znacznemu nadmiarowi jednego i drugiego składnika. Znajomość jakich danych niezaliczanych do podstawowych (patrz wstęp do Pytań egzaminacyjnych), jest niezbędna?
43. Obliczyć prężność pary nasyconej oraz skład fazy gazowej będącej w równowadze nad mieszaniną dwóch cieczy praktycznie nie mieszających się w temperaturze T . Prężności pary nad czystymi substancjami wynoszą w tej temperaturze p_1^o i p_2^o .
44. Na podstawie jakich danych (poza bezpośrednim pomiarem) można wyznaczyć współczynnik podziału $Z_{(c)}$ * pomiędzy dwie fazy ciekłe w układzie M^* . Uwaga: Nie są to dane podstawowe $\rightarrow$ patrz wstęp do Pytań egzaminacyjnych.
45. **Opisać przemianę przedstawioną na diagramie fazowym* poprzez określenie w zaznaczonych punktach: rodzaju, ilości współistniejących faz i składu (stężeń) każdej z nich oraz ewentualnie scharakteryzowanie prowadzonego procesu (np. odparowanie składnika, izotermiczne sprężanie itp. Dotyczy następujących równowag: (1) równowagi ciecz-para, układ dwuskładnikowy; (2) równowagi ciecz-ciecz, układ dwu- i trójskładnikowy; (3) równowagi ciecz-ciało stałe, układ dwu- i trójskładnikowy. Zaznaczyć ewentualne punkty charakterystyczne (np. punkt azeotropowy, eutektyczny, perytektyczny, krytyczny mieszalności).**
46. Dla układu dwuskładnikowego M^* o założonym charakterze odchylenia od doskonałości, w którym występuje równowaga fazowa (ciecz-para, ciecz-ciecz, ciecz-ciało stałe) narysować przybliżony diagram fazowy (izotermę lub izobarę), zaznaczając: opis osi, opis krzywych w postaci ogólnej zależności funkcyjnej (np. $p(x_1)$), postaci matematyczne wspomnianych zależności i ewentualnie wyjaśnienie, w jaki sposób można je wyznaczyć oraz fazy współistniejące w równowadze w poszczególnych polach.
47. Niepełny diagram fazowy dla układu dwuskładnikowego M^* uzupełnić o brakujące elementy oraz zaznaczyć fazy współistniejące w równowadze w poszczególnych polach wykresu.
48. Narysować dowolny diagram fazowy w układzie trójskładnikowym ($p, T = \text{const}$) składającym się z wody oraz dwóch soli o wspólnym jonie (A, B)* tworzących związki międzycząsteczkowe w fazie stałej (np. $A \cdot 2H_2O$ i $B \cdot H_2O$), które występują w równowadze z fazą ciekłą. Opisać pola oraz zilustrować zmianę składu podczas odparowywania wody z dowolnego wyjściowego roztworu nienasyconego.
49. Na podstawie trzech diagramów fazowych równowagi ciecz - ciało stałe [$T = f(x, p = \text{const})$] w układach dwuskładnikowych ($A+B$, $A+C$ i $B+C$), o sprecyzowanych cechach, wykreślić możliwy diagram fazowy w układzie trójskładnikowym ($A+B+C$) [$F(x_1, x_2, p = \text{const}, T = \text{const})$] dla podanej temperatury.
50. Na podstawie diagramu fazowego równowagi ciecz-ciało stałe w układzie dwuskładnikowym M^* , narysować krzywe chłodzenia dla podanego składu.
51. Dla dwóch rozcieńczonych roztworów M_1^* , M_2^* o podanych składach, odgraniczonych od siebie przegrodą umożliwiającą jedynie dyfuzję rozpuszczalnika, określić: (1) kierunek dyfuzji; (2) warunki, które będą spełnione w stanie równowagi.
52. Jakiego ciśnienia należy użyć, aby za pomocą odwróconej osmozy usunąć składnik (składniki) w rozcieńczonym roztworze M^* ?
53. Opisać (jakościowo) wpływ temperatury na adsorpcję oraz różnice pomiędzy adsorpcją chemiczną i fizyczną.
54. Opisać (jakościowo) zależność pomiędzy napięciem powierzchniowym a nadmiarem powierzchniowym składnika w roztworze rozcieńczonym.

Równowagi chemiczne

55. Wymienić i zdefiniować ograniczenia limitujące możliwy przebieg reakcji chemicznej.
56. Obliczyć wartość stałej równowagi reakcji* w temperaturze T .
57. **Dla reakcji* obliczyć skład/ stężenia reagentów w stanie równowagi.** Wartość stałej równowagi wynosi K .
58. **Dla reakcji*, wyrazić iloraz reakcji jako szczegółową funkcję stężeń reagentów – w postaci termodynamicznie ścisłej oraz uproszczonej, o ile takie uproszczenie jest uzasadnione oraz napisać warunki, które muszą być spełnione, aby reakcja: (1) osiągnęła stan równowagi; (2) zachodziła w prawo; (3) zachodziła w lewo przy znanej wartości stałej równowagi.**
59. Określić kierunek zachodzenia reakcji*, przy założonych początkowych ilościach/ stężeniach reagentów i znanej wartości stałej równowagi.
60. **Określić jakościowo jak zmiana: a) temperatury; b) ciśnienia; c) gazu obojętnego; wpływa na położenie stanu równowagi reakcji*.** Podane będą wartości standardowych entalpii tworzenia reagentów.
61. **Zdefiniować ciśnienie rozkładowe dla substratu* w reakcji* i określić jakie reagenty występują w stanie równowagi dla znanego ciśnienia cząstkowego produktu gazowego.**
62. Obliczyć zakres temperatur, w którym substrat będący czystą fazą skondensowaną i mogący się rozpaść z wydzielaniem produktu gazowego zgodnie z reakcją*, będzie trwały przy określonym ciśnieniu cząstkowym wspomnianego produktu. Założyć znajomość standardowej entalpii i entropii reakcji oraz zerowanie się standardowej pojemności cieplnej reakcji.
63. **Skonstruować ogniwo, w którym zachodzi reakcja*, zapisując: (1) jego schemat; (2) równania reakcji zachodzących na półogniwach; (3) szczegółowe wyrażenie na siłę elektromotoryczną (w tym obliczyć standardową siłę elektromotoryczną).** Założyć znajomość stałej równowagi reakcji sumarycznej zachodzącej w układzie.
64. **Dla schematu ogniwa*, napisać: (1) równania reakcji zachodzących na półogniwach; (2) równanie sumarycznej reakcji; (3) wyrażenie na siłę elektromotoryczną.** Założyć znajomość stałej równowagi reakcji sumarycznej zachodzącej w układzie.
65. Obliczyć standardową sprawność ogniwa pracującego odwracalnie zgodnie z reakcją* na podstawie znanej standardowej entalpii i entropii i pominięciu standardowej pojemności cieplnej reakcji.
66. Obliczyć rozpuszczalność soli Z^* , całkowicie zdysocjowanej w roztworze: (1) w wodzie; (2) w roztworze wodnym elektrolitu o podanym stężeniu.
67. **Czy reakcja utlenienia/ redukcji* może zajść w warunkach standardowych i w temperaturze 298,0 K? Odpowiedź uzasadnić.**
68. Obliczyć minimalne napięcie, które należy przyłożyć do elektrod, żeby elektrochemicznie wymusić bieg reakcji*: (1) w warunkach standardowych; (2) przy założonych stężeniach/ aktywnościach reagentów. Założyć znajomość stałej równowagi reakcji sumarycznej zachodzącej w układzie.
69. Scharakteryzować potencjały elektryczne występujące na granicy międzyfazowej.
70. Dla układu z kilkoma reakcjami chemicznymi* dochodzącymi do stanu równowagi, obliczyć równowagowe wartości współrzędnych reakcji. Przyjąć znajomość odpowiednich stałych równowagi.

	T_k/K	p_k/bar	T_p/K
Ar	150,8	48,7	par top 87,3 83,8
CO	132,9	35,0	par top 81,7 68,0
Cl ₂	417	77	par top 238,7 172,2
H ₂	33,2	13,0	par top 20,4 14,0
H ₂ O	647,3	220,5	par top 373,2 273,2
HCl	324,6	83,1	par top 188,1 159,0
HF	461	64,8	par top 292,7 190
NH ₃	405,6	112,8	par top 239,7 195,4
NO	180	64,8	par top 121,4 106,5
NO ₂	431,4	101	par top 294,3 261,9
N ₂	126,2	33,9	par top 77,4 63,3
O ₂	154,6	50,5	par top 90,2 54,4
SO ₂	430,8	78,8	par top 263 197,7

Parametry krytyczne i normalne temperatury ($p = 1 \text{ atm}$) przejść fazowych

C ₄ H ₁₀	<i>n</i> -butan	425,2	38,0	par top 272,7 134,8
C ₄ H ₁₀ O	di-etyl eter	466,7	36,4	par top 307,7 156,9
C ₄ H ₁₀ O	1-butanol	562,9	44,2	par top 390,9 183,9
C ₅ H ₁₂	<i>n</i> -pentan	469,6	33,7	par top 309,2 143,4
C ₆ H ₆	benzen	562,1	48,9	par top 353,3 278,7
C ₆ H ₁₂	<i>c</i> -heksan	553,4	40,7	par top 353,9 279,7
C ₆ H ₁₄	<i>n</i> -heksan	507,4	29,7	par top 341,9 177,8
C ₇ H ₈	toluen	591,7	41,1	par top 383,8 178
C ₇ H ₁₆	<i>n</i> -heptan	540,2	27,4	par top 371,6 182,6
C ₁₀ H ₈	naftalen	748,4	40,5	par top 491,1 353,5
C ₁₀ H ₂₂	<i>n</i> -dekan	617,6	21,1	par top 447,3 243,5
C ₁₂ H ₂₆	<i>n</i> -dodekan	658,3	18,0	par top 489,4 263,6

Stand. potencjały półogniw $T = 298 \text{ K}$	E^0/V
$\text{Ag}^+ + e^- = \text{Ag}_{(s)}$	+0,800
$\text{Ag}_2\text{O}_{(s)} + 2\text{H}^+ + 2e^- = 2\text{Ag}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}$	+1,17
$\text{Ag}_2\text{S}_{(s)} + 2e^- = 2\text{Ag}_{(s)} + \text{S}^{2-}_{(aq)}$	-0,69
$\text{AgBr}_{(s)} + e^- = \text{Ag}_{(s)} + \text{Br}^-$	+0,071
$\text{AgCl}_{(s)} + e^- = \text{Ag}_{(s)} + \text{Cl}^-$	+0,222
$\text{Al}(\text{OH})_{3(s)} + 3e^- = \text{Al}_{(s)} + 3\text{OH}^-$	-2,31
$\text{Al}^{3+} + 3e^- = \text{Al}_{(s)}$	-1,662
$\text{Au}^{3+} + 3e^- = \text{Au}_{(s)}$	+1,52
$\text{Ba}(\text{OH})_2 + 2e^- = \text{Ba}_{(s)} + 2\text{OH}^-$	-2,99
$\text{Ba}^{2+} + 2e^- = \text{Ba}_{(s)}$	-2,912
$\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2e^- = \text{Ca}_{(s)} + 2\text{OH}^-$	-3,02
$\text{Ca}^{2+} + 2e^- = \text{Ca}_{(s)}$	-2,868
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- = \text{Cd}_{(s)}$	-0,40
$\text{Cl}_{2(g)} + 2e^- = 2\text{Cl}^-$	+1,36
$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e^- = \text{Cl}_{2(g)} + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,49
$\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,20
$\text{CO}_{(g)} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{C}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}$	+0,52
$\text{CO}_{2(g)} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{CO}_{(g)} + \text{H}_2\text{O}$	-0,11
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e^- = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+1,33
$\text{Cr}^{3+} + 3e^- = \text{Cr}_{(s)}$	-0,74
$\text{Cr}^{3+} + e^- = \text{Cr}^{2+}$	-0,42
$\text{Cu}^+ + e^- = \text{Cu}_{(s)}$	+0,520

$\text{Cu}^{2+} + 2e^- = \text{Cu}_{(s)}$	+0,337
$\text{Cu}^{2+} + e^- = \text{Cu}^+$	+0,159
$\text{Cu}_2\text{O}_{(s)} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- = 2\text{Cu}_{(s)} + 2\text{OH}^-$	-0,360
$\text{F}_{2(g)} + 2e^- = 2\text{F}^-$	+2,87
$\text{F}_{2(g)} + 2\text{H}^+ + 2e^- = 2\text{HF}_{(aq)}$	+3,05
$\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)} + 2e^- = \text{Fe}_{(s)} + 2\text{OH}^-$	-0,89
$\text{Fe}^{2+} + 2e^- = \text{Fe}_{(s)}$	-0,44
$\text{Fe}^{3+} + 3e^- = \text{Fe}_{(s)}$	-0,04
$\text{Fe}^{3+} + e^- = \text{Fe}^{2+}$	+0,77
$2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_{2(g)}$	0,0000
$\text{H}_{2(g)} + 2e^- = 2\text{H}^-$	-2,23
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-$	-0,828
$\text{H}_2\text{O}_{2(aq)} + 2\text{H}^+ + 2e^- = 2\text{H}_2\text{O}$	+1,78
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- = 2\text{Hg}_{(c)}$	+0,80
$2\text{Hg}^{2+} + 2e^- = \text{Hg}_2^{2+}$	+0,91
$\text{HgO}_{(s)} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{Hg}_{(c)} + 2\text{OH}^-$	+0,098
$\text{I}_{2(s)} + 2e^- = 2\text{I}^-$	+0,54
$\text{K}^+ + e^- = \text{K}_{(s)}$	-2,931
$\text{Mg}^{2+} + 2e^- = \text{Mg}_{(s)}$	-2,372
$\text{Mn}^{2+} + 2e^- = \text{Mn}_{(s)}$	-1,185
$\text{MnO}_{2(s)} + 4\text{H}^+ + 2e^- = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,23
$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e^- = \text{MnO}_{2(s)} + 4\text{OH}^-$	+1,692
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e^- = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,51
$\text{MnO}_4^- + \text{H}^+ + e^- = \text{HMnO}_4^-$	+0,90
$\text{Na}^+ + e^- = \text{Na}_{(s)}$	-2,71
$3\text{N}_{2(g)} + 2\text{H}^+ + 2e^- = 2\text{HN}_{3(aq)}$	-3,09
$\text{NO}_3^-(aq) + 2\text{H}^+ + e^- = \text{NO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}$	+0,80
$\text{NO}_3^-(aq) + 4\text{H}^+ + 3e^- = \text{NO}_{(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(c)}$	+0,958
$\text{O}_{2(g)} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$	+0,70
$\text{O}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = 4\text{OH}^-(aq)$	+0,401
$\text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+ + 4e^- = 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
$\text{O}_{3(g)} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{O}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}$	+2,075
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- = \text{Pb}_{(s)}$	-0,126
$\text{Pb}^{4+} + 2e^- = \text{Pb}^{2+}$	+1,69
$\text{PbO}_{(s)} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{Pb}_{(s)} + 2\text{OH}^-$	-0,58
$\text{PbO}_{2(s)} + 4\text{H}^+ + 2e^- = \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,468
$\text{PbSO}_{4(s)} + 2e^- = \text{Pb}_{(s)} + \text{SO}_4^{2-}$	-0,359
$\text{Pt}^{2+} + 2e^- = \text{Pt}_{(s)}$	+1,188
$\text{S}_{(s)} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2\text{S}_{(g)}$	+0,14
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2e^- = 2\text{SO}_4^{2-}$	+2,010
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2e^- = 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	+0,08
$\text{SO}_{2(aq)} + 4\text{H}^+ + 4e^- = \text{S}_{(s)} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,50
$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- = \text{SO}_{2(aq)} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,17
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- = \text{Zn}_{(s)}$	-0,762

		T_k/K	p_k/bar	T_p/K
CCl ₄		556,4	45,6	par top 349,7 250
CH ₄	metan	190,6	46,0	par top 111,7 90,7
CH ₄ O	metanol	512,6	81,0	par top 337,8 175,5
C ₂ H ₄	eten	282,4	50,4	par top 169,4 104,0
C ₂ H ₆	etan	305,4	48,8	par top 184,5 89,9
C ₂ H ₆ O	etanol	516,2	63,8	par top 351,5 159,1
C ₃ H ₆ O	aceton	508,1	47,0	par top 329,4 178,2
C ₃ H ₈	propan	369,8	42,5	par top 231,1 85,5
C ₃ H ₈ O	1-propanol	536,7	51,7	par top 370,4 146,9
C ₃ H ₈ O	2-propanol	508,3	47,6	par top 355,4 184,7

Zależności ogólne	1-3	Właściwości elektrolitów	14
Równania stanu	4-6	Równowagi fazowe	15-19
Oddziaływania międzycząsteczkowe	7	Równowagi chemiczne	20
Potencjał chemiczny, aktywności, współczynniki aktywności	8-11	Skrócone tablice Bridgmana	21
Modele roztworów	12,13		

1.	Różniczki zupełne niektórych potencjałów termodynamicznych	$dG = -SdT + Vdp + \sum \mu_i dn_i$; $dU = TdS - pdV + \sum \mu_i dn_i$
2.	Równanie Gibbsa-Helmholtza	$H = \left[\frac{\partial(G/T)}{\partial T^{-1}} \right]_p$
3.	Warunki stabilności	$c_V \geq 0 \quad \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T \leq 0 \quad \left(\frac{\partial^2 G_m}{\partial x_1^2} \right)_{T,p} = \left(\frac{\partial^2 G_m^M}{\partial x_1^2} \right)_{T,p} > 0$
4.	Równanie van der Waalsa	$p = \frac{nRT}{V-nb} - \frac{n^2 a}{V^2}$; $b = \frac{RT_k}{8p_k}$; $a = \frac{27R^2 T_k^2}{64p_k} = 27b^2 p_k$
5.	Równanie wirialne obcięte do drugiego współczynnika	$pV_m = RT + Bp$; $pV = n(RT + Bp)$
6.	Współczynniki mechaniczne	$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad \kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$
7.	Polaryzacja dielektryczna	$P_m = \frac{\epsilon-1}{\epsilon+2} V_m = \frac{N_A}{3\epsilon_0} (\alpha_{at} + \alpha_{el} + \frac{\mu^2}{3kT}) \quad R_m = \frac{n^2-1}{n^2+2} V_m = \frac{N_A}{3\epsilon_0} \alpha_{el}$
8.	Potencjał chemiczny w funkcji stężenia	$\mu_i(T, p) = \mu_i^0(T, p) + RT \ln a_i = \mu_i^0(T, p) + RT \ln(x_i \gamma_i)$ $\mu_i(T, p) = \mu_i^{oid}(T, p^0) + RT \ln(f_i/p^0)$ $= \mu_i^{oid}(T, p^0) + RT \ln(p x_i \phi_i / p^0)$
9.	Zamiana współczynników aktywności	$\gamma_i' = \left(\frac{c_i' \gamma_i'}{c_i'' \gamma_i''} \right)^0 \frac{c_i'' \gamma_i''}{c_i'}$
10.	Równanie Gibbsa-Duhema	$\sum_{i=1}^k x_i d\mu_i = -S_m dT + V_m dp$; $\sum_{i=1}^k x_i \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial x_j} \right)_{T,p,x} = 0$ $\sum_{i=1}^k x_i \left(\frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial x_j} \right)_{T,p,x} = 0$ dla $j = 1, 2, 3, \dots, k-1$
11.	Nadmiarowa entalpia swobodna	$G_m = \sum x_i \mu_i^0 + RT \sum x_i \ln x_i + G^E \quad G^E = G_m^M - G_m^{M,id}$

12.	Model Debye'a-Hückela	$\ln \gamma_i = -\frac{Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + aB\sqrt{I}} \quad \ln \gamma_{\pm} = -\frac{Az_{\pm} z_{\pm} \sqrt{I}}{1 + aB\sqrt{I}}$ $I = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2$ dla $H_2O(298,15 K)$ $aB \cong 1,0$; $A = 1,174$
13.	Model roztworu regularnego Scatcharda-Hildebranda	$RT \ln \gamma_1 = V_1^0 \phi_2^2 (\delta_1 - \delta_2)^2 \quad RT \ln \gamma_2 = V_2^0 \phi_1^2 (\delta_1 - \delta_2)^2$ $\delta_i = (\Delta U_{par(i)}^o / V_i^o)^{1/2}$
14.	Przewodność molowa, ruchliwość i liczba przenoszenia jonów	$\Lambda = \kappa / c = F \sum v_i z_i u_i \quad t_i = q_i / \sum q_j = v_i \lambda_i / \Lambda$
15.	Równanie Clapeyrona	$\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_{sat} = \frac{\Delta H}{T \Delta V}$
16.	Równanie Clausiusa-Clapeyrona	$\ln \frac{p_2}{p_1} = -\frac{\Delta H_{trans}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$, $trans = (par, sub)$
17.	Równanie Antoine'a	$\ln p = A - \frac{B}{T - C}$
18.	Prawo Raoult'a	$p y_i = p_i^0 x_i$
19.	Rozpuszczalność czystego ciała stałego w ciekłym roztworze	$R \ln x_1 = -\Delta H_{t1} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{t1}} \right) - R \ln \gamma_1$
20.	Równanie Nernsta	$E = -\frac{\Delta G^0}{zF} - \frac{RT}{zF} \ln \prod a_i^{v_i}$

21. Skrócone tablice Bridgmana

T	1	$(\partial X)_Y = -(\partial Y)_X$
V	$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$	$-\left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$
S	c_p / T	$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$
U	$c_p - p \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$	$T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p + p \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$
H	c_p	$-V + T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$
$\partial X)_Y \uparrow X \rightarrow$	p	T