



UNIVERSITATEA
PEDAGOGICĂ DE STAT
ION CREANGĂ
DIN CHIȘINĂU

FACULTATEA BIOLOGIE ȘI CHIMIE
Catedra Chimie

Sergiu CODREANU

**CULEGERE DE EXERCITII ȘI
PROBLEME LA CHIMIA ANALITICĂ**

CZU

CULEGERE DE EXERCIȚII ȘI PROBLEME LA CHIMIA ANALITICĂ

Lucrare științifico-metodică cu caracter practico-aplicativ, utilizată în cadrul activităților practice la disciplina Chimia analitică, recomandată pentru Ciclul I, Studii superioare de licență, învățământ cu frecvență.

Programele de studii: Chimie, Chimie și biologie, Biologie și chimie, Ecologie.

Autor: Sergiu CODREANU, doctor în științe ale educației, conferențiar universitar, catedra Chimie, Facultatea Biologie și chimie a UPS „I. Creangă”, Chișinău.

Recenzenți:

Ilie Lupu – doctor habilitat în științe pedagogice, profesor universitar, UPS „I. Creangă”, Chișinău

Diana Chișca – dr., profesor de chimie, grad didactic superior, LT „Mircea cel Bătrân”, Chișinău

Aprobat la ședința Senatului UPSC

Proces verbal nr.11

din 31.05. 2023

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII DIN REPUBLICA MOLDOVA

Codreanu, Sergiu.

Culegere de exerciții și probleme la chimia analitică / Sergiu Codreanu ; Universitatea Pedagogică de Stat "Ion Creangă" din Chișinău, Facultatea Biologie și Chimie, Catedra Chimie. – [Chișinău] : [S. n.], 2023 (CEP UPSC). – 62 p. : tab.

Bibliogr.: p. 62 (10 tit.). – [100] ex.

ISBN 978-9975-46-769-8.

543(076.1)

C 60

© Sergiu CODREANU, 2023

© CEP UPSC, 2023

**Centrul Editorial-Poligrafic al Universității Pedagogice de Stat „Ion Creangă” din Chișinău,
str. Ion Creangă, nr. 1, MD-2069**

CUPRINS

P r e f a ț ă	4
I. ANALIZA CALITATIVĂ	5
1.1. Sisteme de analiză a amestecurilor de ioni și substanțe din soluție.....	5
1.2. Modalități de exprimare a compoziției soluției și corelațiile dintre ele.....	7
1.3. Soluții de electroliți slabi. Constanta și gradul de disociere.....	8
1.4. Produsul ionic al apei. Indice de hidrogen și hidroxilic. Echilibre în soluții apoase de acizi și baze.....	10
1.5. Soluții de electroliți tari. Forța ionică, activitatea ionilor.....	13
1.6. Echilibre în soluții tampon.....	15
1.7. Echilibre în soluții apoase de săruri. Hidroliza sărurilor.....	20
1.8. Echilibre în sisteme eterogene. Produs de solubilitate.....	25
II. ANALIZA CANTITATIVĂ	31
2.1. Probleme de calcul în analiza gravimetrică.....	32
2.2. Probleme de calcul în analiza volumetrică. Metoda de neutralizare.....	37
2.3. Probleme de calcul în analiza volumetrică. Metoda redox.....	41
2.4. Probleme de calcul în analiza volumetrică. Determinarea durității apei.....	45
A N E X E	50
B I B L I O G R A F I A	62

P r e f a ț ă

Îndrumarul de față este alcătuit din 2 capitole și 12 compartimente, care conțin noțiunile necesare pentru rezolvarea problemelor expuse conform curriculei, modele de probleme rezolvate cu explicațiile corespunzătoare, urmate de cele propuse pentru lucrul de sine stătător. Culegerea de probleme mai conține 10 anexe sub formă de tabele, unde sunt incluse valorile unor constante: constantele de disociere, densitatea și concentrația unor soluții de acizi și baze, produsul de solubilitate și solubilitatea electroliților puțin solubili, intervalul pH de sedimentare a unor hidroxizi, mantisele logaritmilor zecimali, antilogaritmi.

Culegerea de exerciții și probleme este propusă ca suport de curs studenților specialităților de chimie, chimie și biologie, biologie și chimie, ecologie, care studiază cursul de chimie analitică, în scopul aprofundării cunoștințelor în domeniul analizei calitative și cantitative, necesară pentru obținerea abilităților practice în rezolvarea problemelor de calcul cu grad diferit de dificultate, cât și pentru înțelegerea mai profundă a proceselor ce decurg în sistemele analizate.

Cunoașterea modalităților de aplicare a legilor fundamentale ale chimiei pentru analiza chimică, a aparatului matematic în rezolvarea problemelor expuse, vor duce la dezvoltarea gândirii logice, a creativității și ingeniozității viitorului chimist cu formarea competențelor specifice domeniului.

I. ANALIZA CALITATIVĂ

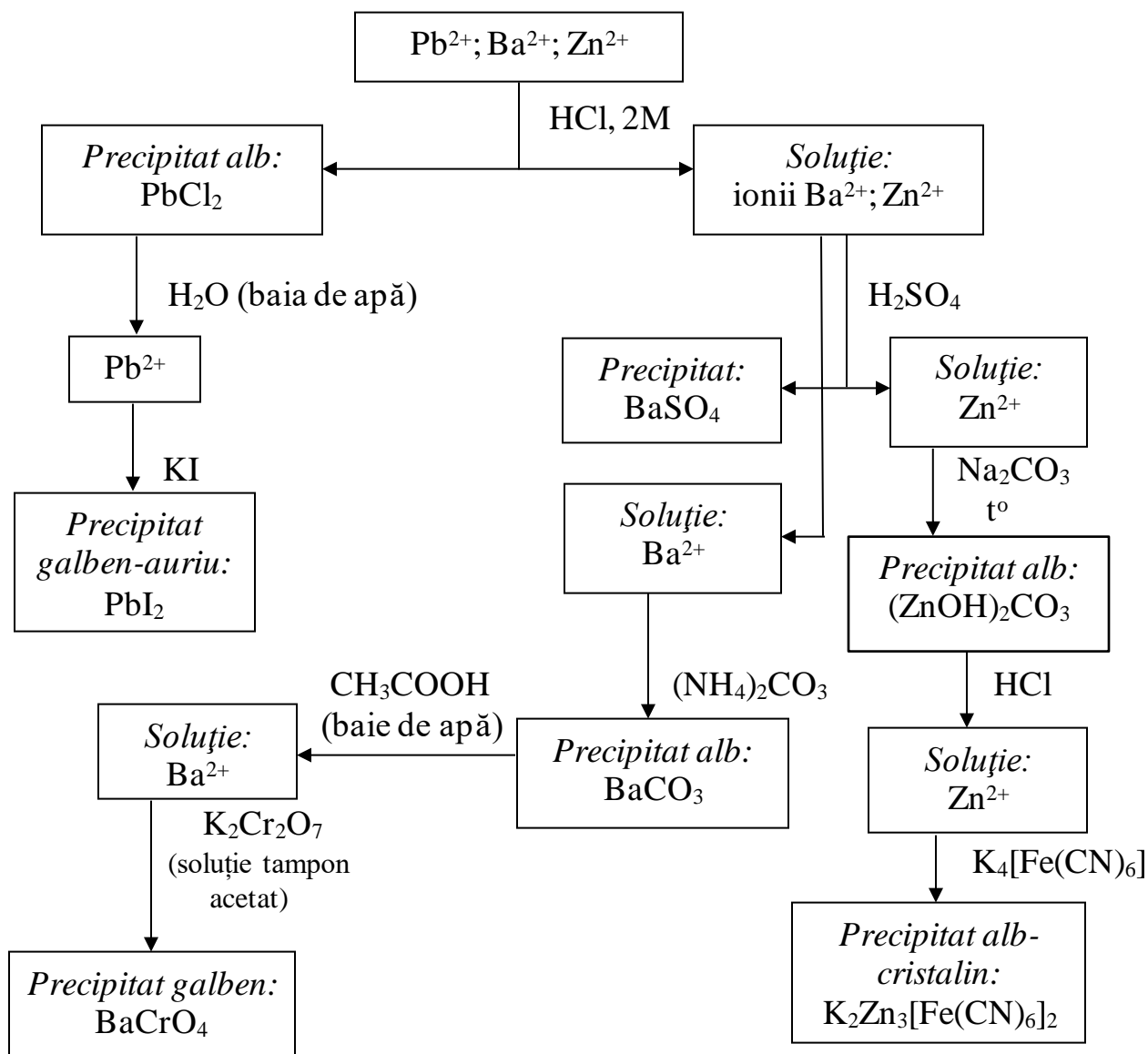
1.1. Sisteme de analiză a amestecurilor de ioni și substanțe din soluție

Considerații teoretice

Selectivitatea suficientă a reacțiilor de identificare a ionilor, precum și diversitatea proprietăților compușilor lor în raport cu condițiile de realizare a reacțiilor, permit efectuarea analizei amestecului de ioni atât prin metoda sistematică, cât și prin metoda fracționară. Cel mai frecvent amestecurile de ioni se analizează folosind ambele metode. Însă, indiferent de faptul că ordinea îndeplinirii reacțiilor de identificare a ionilor nu este strictă și în majoritatea cazurilor poate fi modificată, totuși se recomandă de efectuat analiza conform unei metodici (scheme), la elaborarea căreia se va ține cont de specificul și compoziția presupusă a probei de analizat.

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. Propune schema analizei sistematice a amestecului de cationi Pb^{2+} ; Ba^{2+} ; Zn^{2+} și scrie câte o reacție analitică de identificare a fiecărui ion cu indicarea semnalului analitic.



Reacții caracteristice de identificare a ionilor detectați în amestecul analizat:

- ✓ $\text{Pb}^{2+} + \text{K}_2\text{CrO}_4 = 2\text{K}^+ + \text{PbCrO}_4\downarrow$ (galben)
- ✓ $2\text{Ba}^{2+} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{BaCrO}_4\downarrow$ (galben) + $2\text{K}^+ + 2\text{H}^+$
- ✓ $3\text{Zn}^{2+} + 2\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] = \text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2\downarrow$ (alb cristalin) + 6K^+

Probleme propuse:

- 1.1.1. Alcătuiți schema analizei amestecului de cationi: Ag^+ , Cu^{2+} , Ca^{2+} și scrieți ecuațiile reacțiilor de identificare a fiecărui cation din amestec și indică semnalul analitic.
- 1.1.2. Propuneți algoritmul analizei amestecului de cationi Ca^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} și scrieți ecuațiile reacțiilor de identificare a fiecărui ion.
- 1.1.3. Alcătuiți schema analizei amestecului: FeCl_3 și $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Scrieți ecuațiile reacțiilor de identificare pentru fiecare cation și anion.
- 1.1.4. În 3 eprubete fără etichete se află soluții de azotat de bariu, azotat de aluminiu, azotat de argint. Propuneți planul de identificare a substanțelor din fiecare eprubetă și scrie ecuațiile reacțiilor respective.
- 1.1.5. Alcătuiți schema analizei amestecului: NH_4Cl și $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Scrieți ecuațiile reacțiilor caracteristice pentru fiecare cation și anion.
- 1.1.6. Propuneți schema de separare a amestecului de anioni: Cl^- , PO_4^{3-} , CH_3COO^- . Scrieți câte o ecuație a reacției de identificare pentru fiecare anion.
- 1.1.7. În 3 eprubete numerotate se află următoarele substanțe în stare cristalină: NH_4Cl , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, AlCl_3 . Propuneți algoritmul determinării acestor substanțe și scrieți ecuațiile reacțiilor corespunzătoare.
- 1.1.8. În eprubete numerotate se află următoarele substanțe: Na_2SO_3 , Na_2S și Na_2SO_4 . Propuneți schema determinării conținutului fiecărei eprubete, scrieți ecuațiile reacțiilor corespunzătoare.
- 1.1.9. Se propune o soluție ce conține amestec de clorură de sodiu și sulfat de aluminiu. Alcătuiți schema separării acestor substanțe și scrieți ecuațiile reacțiilor corespunzătoare.
- 1.1.11. În cinci eprubete numerotate se găsesc următoarele soluții: acid clorhidric, sulfat de sodiu, carbonat de potasiu, hidroxid de bariu și fluorură de argint. Propuneți schema determinării conținutului fiecărei eprubete și scrieți ecuațiile reacțiilor de depistare a fiecărei substanțe.
- 1.1.12. În cinci eprubete numerotate se află soluțiile diluate ale următoarelor substanțe: clorură de fier (III), clorură de amoniu, nitrat de cupru (II), sulfat de fier (II) și clorură de aluminiu. Propuneți algoritmul determinării fiecărei substanțe, folosind un singur reactiv, scrieți ecuațiile reacțiilor corespunzătoare.
- 1.1.13. În patru eprubete fără etichetă se găsesc următoarele soluții: acid clorhidric, carbonat de sodiu, nitrat de plumb și nitrat de zinc. Propuneți schema depistării fiecărei substanțe, folosind ca reactiv aceleași substanțe enumerate și scrieți ecuațiile reacțiilor corespunzătoare.

1.2. Modalități de exprimare a compoziției soluției și corelațiile dintre ele

Considerații teoretice

Concentrația unei soluții reprezintă expresia numerică, care arată conținutul subsstanței dizolvate (solutului) într-o anumită unitate de volum sau masă de soluție (solvent). Modalitățile de exprimare a compoziției și concentrației soluțiilor sunt variate și depind de domeniul aplicării și de scopul urmărit:

$$\omega(A) = \frac{m(A)}{m_{\text{sol.}}(A)} \cdot 100\% \quad 2.1 \quad M\left(\frac{1}{z}A\right) = M_{\varepsilon}(A) \quad 2.10$$

$$C_M(A) = \frac{m(A)}{V_{\text{sol.}}(A) \cdot M(A)} \quad 2.2 \quad C\left(\frac{1}{z}A\right) = z \cdot C(A) \quad 2.11$$

$$v(A) = \frac{m(A)}{M(A)} \quad 2.3 \quad n(A) = C_M \cdot V \quad 2.12$$

$$m(A) = C_M \cdot M \cdot V(L) \quad 2.4 \quad n_{\varepsilon} = \frac{m(A)}{M_{\varepsilon}(A)} \quad 2.13$$

$$m_{\text{sol.}}(A) = \rho \cdot V \quad 2.5 \quad C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad 2.14$$

$$m_{\text{sol.}}(A) = \frac{m(A) \cdot 100\%}{\omega(A)} \quad 2.6 \quad T_A = \frac{m(A)}{V(\text{ml})} \quad 2.15$$

$$m(A) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{100\%} \quad 2.7 \quad T_A = \frac{C_N(A) \cdot M\left(\frac{1}{z}A\right)}{1000} \quad 2.16$$

$$C\left(\frac{1}{z}A\right) = \frac{n\left(\frac{1}{z}A\right)}{V_{\text{sol.}}(A)} \quad 2.8 \quad T_{A/B} = \frac{C_N(A) \cdot M\left(\frac{1}{z}B\right)}{1000} \quad 2.17$$

$$C_N(A) = \frac{m(A)}{M\left(\frac{1}{z}A\right) \cdot V_{\text{sol.}}(L)} \quad 2.9$$

unde: A – substanța dizolvată;

$\omega(A)$ – partea de masă a componentului A în soluția dată, %;

$m_{\text{sol.}}(A)$ – masa soluției substanței A, g;

$V_{\text{sol.}}(A)$ – volumul soluției substanței A, L;

$n(A)$ – cantitatea de substanță a componentului A, mol;

$M(A)$ – masa molară a substanței A, g/mol;

$C_M(A)$ – concentrația molară a soluției substanței A, mol/L;

$n\left(\frac{1}{z}A\right)$ – cantitatea de substanță a echivalentului substanței A, mol;

$M\left(\frac{1}{z}A\right)$ – masa molară a echivalentului substanței A, g/mol;

T – titrul substanței dizolvate, g/mL;

$C\left(\frac{1}{z}A\right)$ – concentrația molară a echivalentului substanței A, mol·echiv./L;

ρ – densitatea soluției, g/cm³;

$\frac{1}{z}$ – factorul de echivalență;

z – numărul de echivalență.

Numărul de echivalență la următoarele clase de substanțe are valori diferite:

$z(E)$ – egal cu gradul de oxidare;

$z(E_xO_y)$ – numărul atomilor de oxigen dublat;

$z(Me(OH)_n)$ – numărul grupelor hidroxil (OH);

$z(HAn)$ – numărul atomilor de hidrogen;

$z(Ct_xAn_y)$ – produsul numărului de cationi și sarcina lor.

Deseori, în calcule, sunt necesare treceri de la o modalitate de exprimare a concentrației soluției la alta. În tabelul ce urmează, sunt prezentate corelațiile dintre diferite tipuri de concentrații și formulele de recalculare a acestora:

Modalitatea de exprimare a conținutului substanței (A) dizolvate	Modalitatea cunoscută de exprimare a conținutului substanței dizolvate			
	Partea de masă $\omega(A)$, %	Concentrația molară $C_M(A)$, mol/L	Concentrația molară a echivalentului $C(\frac{1}{z}A)$, mol·echiv./L	Titrul $T(A)$, g/cm ³
Partea de masă $\omega(A)$, %	-	$\frac{C_M(A) \cdot M(A)}{10 \cdot \rho}$	$\frac{C(\frac{1}{z}A) \cdot M(\frac{1}{z}A)}{10 \cdot \rho}$	$\frac{T(A) \cdot 100}{\rho}$
Concentrația molară $C_M(A)$, mol/L	$\frac{10 \cdot \rho \cdot \omega(A)}{M(A)}$	-	$C(\frac{1}{z}A) \cdot f(A)$	$\frac{T(A) \cdot 1000}{M(A)}$
Concentrația molară a echivalentului $C(\frac{1}{z}A)$, mol·echiv./L	$\frac{10 \cdot \rho \cdot \omega(A)}{M(\frac{1}{z}A)}$	$\frac{C_M(A)}{f(A)}$	-	$\frac{T(A) \cdot 1000}{M(A) \cdot f(A)}$
Titrul $T(A)$, g/cm ³	$\frac{\rho \cdot \omega(A)}{100}$	$\frac{C_M(A) \cdot M(A)}{1000}$	$\frac{C(\frac{1}{z}A) \cdot M(\frac{1}{z}A)}{1000}$	-

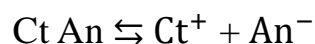
1.3. Soluții de electroliți slabi. Constanta și gradul de disociere

Considerații teoretice

Caracteristicile de bază a soluțiilor de electroliți sunt gradul și constanta de disociere. Gradul de disociere arată ce parte din cantitatea totală de electrolit dizolvat se descompune în ioni (disociază) și se notează prin – α . Gradul de disociere experimental poate fi determinat după conductibilitatea electrică a soluției, după scăderea t° de îngheț a dizolvantului în urma acțiunii substanței dizolvate. În conformitate cu teoria disociației electrolitice, trecerea curentului prin soluții se realizează datorită deplasării ionilor spre electrodul cu sarcina de sens opus.

Prin urmare, cu cât este mai mare concentrația ionilor în soluție și cu cât ei se mișcă mai repede, cu atât o mai mare cantitate de electricitate v-a fi transportată prin soluție și cu atât v-a fi mai mare conductibilitatea electrică a soluției.

Gradul de disociere are o importanță enormă pentru analiză, deoarece de el depinde activitatea chimică a substanțelor corespunzătoare. Procesul de disociere este reversibil și duce la stabilirea unui echilibru chimic, care se supune legii acțiunii maselor.



$$K_{\text{dis.}} = \frac{[\text{Ct}^+][\text{An}^-]}{[\text{CtAn}]} \quad 3.1 \quad \alpha = \frac{N_{\text{dis.}}}{N_{\text{diz.}}} \quad 3.2$$

$$K_{\text{dis.}} = \frac{C \cdot \alpha^2}{1 - \alpha} \quad 3.3 \quad K_{\text{dis.}} = C \cdot \alpha^2 \quad 3.4$$

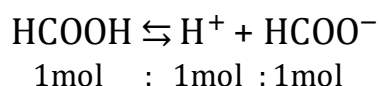
$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{dis.}}}{C}} \quad 3.5 \quad [\text{Ct}^+] = [\text{An}^-] = \sqrt{K_{\text{dis.}} \cdot C} \quad 3.6$$

$$[\text{Ct}^+] = [\text{An}^-] = C \cdot \alpha \quad 3.7 \quad [\text{Ct An}] = C_{\text{tot.}} - C \cdot \alpha \quad 3.8$$

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. De calculat concentrația ionilor, gradul de disociere, concentrația moleculelor nedisociate în soluția cu concentrația 0,13 mol/L acid metanoic, dacă $K_{\text{dis.}} = 1,77 \cdot 10^{-4}$.

Rezolvare:



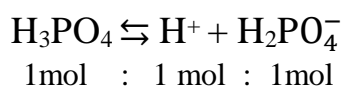
$$[\text{H}^+] = [\text{HCOO}^-] = \sqrt{K_{\text{dis.}} \cdot C} = \sqrt{1,77 \cdot 10^{-4} \cdot 0,13} = 0,48 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{dis.}}}{C}} = \sqrt{\frac{1,77 \cdot 10^{-4}}{0,13}} = 3,69 \cdot 10^{-2} \text{ sau } 3,69\%$$

$$[\text{HCOOH}] = C_{\text{tot.}} - C_{\text{tot.}} \cdot \alpha = 0,13 - (0,13 \cdot 3,69 \cdot 10^{-2}) = 0,1252 \text{ mol/L}$$

Exemplul 2. Determină concentrația ionilor, gradul de disociere și concentrația moleculelor nedisociate în soluția acidului fosforic cu concentrația 1,1 mol/L după prima treaptă a disociației, dacă $K_{1\text{dis}} = 7,6 \cdot 10^{-3}$.

Rezolvare:



$$[\text{H}^+] = [\text{H}_2\text{PO}_4^-] = \sqrt{K \cdot C} = \sqrt{7,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} = 9,14 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{c}} = \sqrt{\frac{7,6 \cdot 10^{-3}}{1,1}} = 8,31 \cdot 10^{-2} \text{ sau } 8,31\%$$

$$[\text{H}_3\text{PO}_4] = C_{\text{tot.}} - C_{\text{tot.}} \cdot \alpha = 1,1 - (1,1 \cdot 8,31 \cdot 10^{-2}) = 1,0086 \text{ mol/L}$$

Probleme propuse:

- 1.3.1. Calculați gradul și constanta de disociere în soluția acidului cianhidric cu concentrația 0,0235 mol/L, dacă $[\text{CN}^-] = 4,11 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$.
- 1.3.2. De calculat concentrația ionilor, gradul de disociere și concentrația moleculelor nedisociate în soluția acidului acetic cu concentrația 0,25 mol/L, dacă $K_{\text{dis.}} = 1,75 \cdot 10^{-5}$.
- 1.3.3. Determinați concentrația moleculelor nedisociate, concentrația ionilor și gradul de disociere în soluția hidroxidului de amoniu cu concentrația 0,35 mol/L, dacă $K_{\text{dis.}} = 1,79 \cdot 10^{-5}$.
- 1.3.4. Aflați gradul și constanta de disociere în soluția acidului acetic cu concentrația 0,15 mol/L, dacă $[\text{H}^+] = 1,325 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$.
- 1.3.5. De calculat concentrația ionilor, $K_{\text{dis.}}$ în soluția acidului metanoic HCOOH cu concentrația 0,46 mol/L, dacă $\alpha = 4,21\%$.
- 1.3.6. Calculați concentrația ionilor și gradul de disociere în soluția acidului azotos cu concentrația 0,154 mol/L, dacă $K_{\text{dis.}} = 4,0 \cdot 10^{-4}$.
- 1.3.7. Determinați concentrația ionilor, gradul de disociere în soluția acidului carbonic cu concentrația 0,01M după prima treaptă a disociației.
- 1.3.8. Calculați gradul și constanta de disociere în soluția hidroxidului de amoniu cu concentrația 0,27 mol/L, dacă $[\text{NH}_4^+] = 8,14 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$.

1.4. Produsul ionic al apei. Indice de hidrogen și hidroxilic. Echilibre în soluții apoase de acizi și baze

Considerații teoretice

Caracterul distructiv al moleculelor de apă, care se manifestă în procesul de dizolvare, nu dispare nici în lipsa substanței dizolvate. În această situație, moleculele de apă „se atacă” reciproc.

Respectiv, asocierea moleculei de apă cu ionul de hidrogen de la molecula de apă disociată, formează ionul hidroxoniu H_3O^+ .

Astfel, în apă se formează un număr redus de ioni, care și conferă o conductibilitate mică, procesul numindu-se autoionizarea apei, redat prin ecuația: $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$, deseori folosindu-se relația redusă – $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$.

Soluția apoasă de orice electrolit conține ioni de hidrogen și hidroxil, și produsul concentrației acestor ioni este o mărime constantă numită produsul ionic al apei. Această constantă se notează prin K_w și la 25°C este egală cu 10^{-14} .

$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$	4. 1	$[H^+] \cdot [OH^-] = K_w$	4. 1a
$K_{dis.} = \frac{[H^+] \cdot [OH^-]}{[HOH]}$	4. 2	$pH + pOH = 14$	4. 3
$pH = -\lg[H^+]$	4. 4	$pOH = -\lg[OH^-]$	4. 5
$[H^+] = 10^{-pH}$	4. 6	$[OH^-] = 10^{-pOH}$	4. 7
$\lg 10^{-x} = -x$	4. 8	$\lg x \cdot y = \lg x + \lg y$	4. 9
$\ln x = 2,303 \cdot \lg x$	4. 10	$\lg \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \cdot \lg a$	4. 11

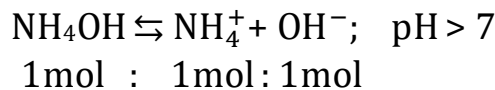
În dependență de raportul concentrației ionilor de hidrogen și hidroxil în soluțiile apoase de electroliți putem avea următoarele medii:

- mediu neutru: $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ mol/l; $pH = pOH = 7$;
- mediu acid: $[H^+] > 10^{-7}$, $pH < 7$; $[OH^-] < 10^{-7}$, $pOH > 7$;
- mediu bazic: $[H^+] < 10^{-7}$, $pH > 7$; $[OH^-] > 10^{-7}$, $pOH < 7$.

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. De calculat concentrația ionilor de amoniu și hidroxil, mediul soluției hidroxid de amoniu de 0,2 mol/L, dacă $K_{dis.} = 1,79 \cdot 10^{-5}$.

Rezolvare:



$$[OH^-] = \sqrt{K_{dis.} \cdot C} = \sqrt{1,79 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2} = \sqrt{17,9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2} = 1,89 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{1,89 \cdot 10^{-3}} = 0,53 \cdot 10^{-11} = 5,3 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 5,3 \cdot 10^{-12} = -(\lg 5,3 + \lg 10^{-12}) = -(0,7243 - 12) = -0,7243 + 12 = 11,2757$$

Exemplul 2. De determinat concentrația ionilor hidroxil, indicele de hidrogen și hidroxilic în soluția acidului, dacă $[H^+] = 1,32 \cdot 10^{-5}$ mol/L.

Rezolvare:

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 1,32 \cdot 10^{-5} = -(\lg 1,32 + \lg 10^{-5}) = -(0,1206 - 5) = 4,8794$$

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

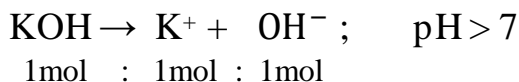
$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{1,32 \cdot 10^{-5}} = 7,6 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$pOH = -\lg [OH^-] = -\lg 7,6 \cdot 10^{-10} = -(\lg 7,6 + \lg 10^{-10}) = -(0,8808 - 10) = -0,8808 + 10 = 9,1192$$

Remarcă: pentru verificare folosim: $\text{pH} + \text{pOH} = 14$

Exemplul 3. De determinat pH-ul soluției KOH cu concentrația 0,001 M.

Rezolvare:



– din ecuația de disociație reiese că:

$$[\text{OH}^-] = [\text{KOH}] = 0,001 \text{ mol/l} \text{ sau } 10^{-3} \text{ mol/L}$$
$$\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-] = -\lg 1 \cdot 10^{-3} = -(0 - 3) = 3$$
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3 = 11$$

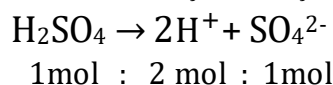
Exemplul 4. Să se calculeze pH-ul soluției de acid sulfuric, dacă concentrația molară a echivalentului acidului sulfuric este egală cu 0,02 mol/L.

Rezolvare:

a) mai întâi calculăm concentrația molară a acidului sulfuric (vezi formula 2. 11):

$$C\left(\frac{1}{z} \text{H}_2\text{SO}_4\right) = z \cdot C(\text{H}_2\text{SO}_4)$$
$$C_M = \frac{C_N}{z} = \frac{0,02}{2} = 0,01 \text{ mol/L} (\text{H}_2\text{SO}_4)$$

b) calculăm mediul soluției reeșind din ecuația reacției de disociație:



$$[\text{H}^+] = 2 \cdot [\text{H}_2\text{SO}_4] = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = -\lg 2 \cdot 10^{-2} = -(\lg 2 + \lg 10^{-2}) = -(0,30 - 2) = 1,7$$

Probleme propuse:

- 1.4.1. Calculați concentrația ionilor de hidrogen și hidroxil, pH-ul și pOH-ul în soluția acidului formic cu concentrația molară egală cu 0,41 mol/L.
- 1.4.2. pH-ul unei soluții apoase este egal cu 6,31. Să se calculeze concentrația ionilor de hidrogen și hidroxil.
- 1.4.3. De calculat concentrația ionilor, α și pH-ul soluției de acid acetic cu concentrația molară egală cu 0,35 mol/L.
- 1.4.5. Calculați pH-ul și pOH-ul următoarelor soluții: a) NaOH, 10^{-3} mol/L; b) $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 10^{-2} mol/L; c) HCl, 10^{-3} mol/L; d) H_2SO_4 , 10^{-2} mol/L.
- 1.4.6. Calculați concentrația ionilor $[\text{H}^+]$ în soluțiile cu pH-ul: 2,85; 4,58; 8,49; 10,68.
- 1.4.7. Calculați K_{dis} și pH-ul soluției hidroxidului de amoniu cu concentrația molară egală cu 0,31 mol/L și $\alpha = 0,77\%$.
- 1.4.8. Aflați pH-ul și pOH-ul soluției, care conține 7,4 g acid HNO_3 dizolvat în 950 mL de soluție.

- 1.4.9. În 100 cm^3 soluție se conțin $0,074 \text{ g Ca(OH)}_2$. Să se calculeze concentrația ionilor de hidrogen, hidroxil și pH-ul soluției.
- 1.4.10. Calculați mediul soluției hidroxidului de bariu cu concentrația molară a echivalentului egală cu $0,01 \text{ mol/L}$.
- 1.4.11. La $1,75 \text{ dm}^3$ apă s-a adăugat 250 g soluție HCl de 5% . Calculați pH-ul soluției obținute.
- 1.4.12. În 500 cm^3 soluție se conțin $2,8 \text{ g KOH}$. Calculați pH-ul și pOH-ul soluției.
- 1.4.13. Calculați $[\text{H}^+]$, α și pH-ul soluției $0,02 \text{ M}$ de acid etanoic.
- 1.4.14. În 100 cm^3 soluție sau dizolvat $0,34 \text{ g NH}_3$. Calculați $[\text{OH}^-]$ și pH-ul soluției obținute.
- 1.4.15. Calculați concentrația molară a soluției de acid cianhidric, valoarea pH-ului căreia este $5,3$.
- 1,4,16, Ce volum de clorură de hidrogen este necesar pentru a dizolva în 250 cm^3 de apă, pentru a obține o soluție cu pH-ul egal cu 2 ?
- 1.4.17. Care v-a fi pH-ul soluției obținute la diluarea a 10 cm^3 soluție NaOH $1,0 \text{ M}$ cu 100 cm^3 de apă?
- 1.4.18. De câte ori mai mulți ioni de hidrogen sunt prezenți într-un litru de soluție cu $\text{pH} = 3$, decât într-una cu $\text{pH} = 5$?
- 1.4.19. Calculați masa hidroxidului de bariu ce se conține în 55 cm^3 soluție cu concentrația $0,25 \text{ mol/L}$. Care v-a fi mediul acestei soluții?
- 1.4.20. Calculați valoarea constantei de disociere a acidului etanoic, dacă soluția cu concentrația $0,10 \text{ mol/L}$ are pH-ul egal cu $2,88$.

1.5. Soluții de electroliți tari. Forța ionică, activitatea ionilor

Considerații teoretice

Majoritatea electroliților tari în soluții apoase disociază complet și noțiunile de grad de disociație electrolitică și constanta de disociație nu se aplică în cazul lor. Gradul de disociație real al electroliților tari tinde spre 1 ($\alpha \rightarrow 1$).

De exemplu, măsurarea conductibilității electrice a soluțiilor de electroliți tari, a demonstrat că gradul de disociație are valori mai mici de 1 , acesta numindu-se grad de disociație aparent. Teoria disociației electroliților tari explică acest fenomen prin existența interacțiunii electrostatice între ioni. Fiecare ion în soluție atrage și se înconjoară cu ioni de semn contrar, solvatându-se cu moleculele polare ale solventului. La creșterea concentrației soluției de electroliți tari crește și atracția reciprocă a ionilor. Din această cauză scade și viteza de mișcare a ionilor în soluție, având ca efect scăderea activității chimice a acestora.

Forța ionică este un mod de exprimare a concentrației ionilor într-o soluție de electroliți. Acest concept a fost introdus în 1922 de Lewis și Randall în timp ce lucrau la descrierea coeficientului de activitate chimică.

Ținându-se cont de influența interacțiunii electrostatice a ionilor asupra proprietăților fizice și chimice ale soluțiilor electroliților tari, s-a introdus în locul

concentrației reale „c”, noțiunea de activitate „a”, numită și concentrație efectivă sau concentrație activă.

Între activitatea și concentrația ionilor există următoarea relație:

$$a = f \cdot c; \quad (\text{mol/L}) \quad (5.1)$$

Forța ionică a soluției se calculează după relația:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum c_i \cdot z_i^2; \quad (\text{mol/L}) \quad (5.2)$$

$$\text{dacă } \mu > 0,005, \text{ atunci } \lg f = -0,5 \cdot z^2 \cdot \frac{\sqrt{\mu}}{1+\sqrt{\mu}} \quad (5.3)$$

$$\text{dacă } \mu < 0,005, \text{ atunci } \lg f = -0,5 \cdot z^2 \cdot \sqrt{\mu} \quad (5.4)$$

$$f = \text{ant}(\lg f) \quad (5.5)$$

unde: a – activitatea ionului;

z – sarcina ionului;

f – coeficientul de activitate;

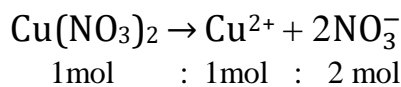
μ – forța ionică a soluției.

c – concentrația ionului;

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. De determinat activitatea ionilor de cupru în soluția azotatului de cupru cu $c(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,005 \text{ mol/L}$.

Rezolvare:



– deci, în soluție sunt prezenți ionii de Cu^{2+} și NO_3^- , de unde:

$$c_1 = c(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,005 \text{ mol/L}$$

$$c_2 = c(\text{NO}_3^-) = 2 \cdot c(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ mol/L}$$

– forța ionică a soluției se calculează după formula (5.2):

$$\mu = \frac{1}{2}(c_i \cdot z_i^2) = \frac{1}{2}(0,005 \cdot 2^2 + 0,01 \cdot 1^2) = 0,015 \text{ mol/L}$$

$$\mu > 0,005 \text{ mol/L}$$

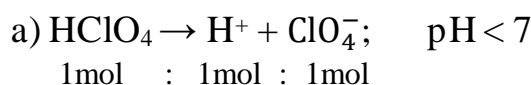
$$\lg f(\text{Cu}^{2+}) = -0,5 \cdot 2^2 \cdot \frac{\sqrt{0,015}}{1+\sqrt{0,015}} = -0,218$$

$$f(\text{Cu}^{2+}) = \text{antlg}(-0,218) = \text{antlg}(-1 + 0,782) = 6,053 \cdot 10^{-1}$$

$$a(\text{Cu}^{2+}) = f \cdot c = 6,053 \cdot 10^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 3,03 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Exemplul 2. De calculat pH-ul și p_aH-ul soluției acidului percloric (HClO_4) cu concentrația 0,001 mol/L: a) fără activitatea $a(\text{H}^+)$; b) cu activitatea $a(\text{H}^+)$.

Rezolvare:



$$c(\text{H}^+) = c(\text{HClO}_4) = 0,001 \text{ sau } 1 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 1 \cdot 10^{-3} = -(\lg 1 + \lg 10^{-3}) = 3$$

$$\begin{aligned}
 & \text{b) } c_1 = c_2 = c(\text{H}^+) = c(\text{ClO}_4^-) = c(\text{HClO}_4) = 10^{-3} \text{ mol/L} \\
 \mu &= \frac{1}{2}(c_1 \cdot z_1^2 + c_2 \cdot z_2^2) = \frac{1}{2}(0,001 \cdot 1^2 + 0,001 \cdot 1^2) = 0,001 \text{ mol/L} \\
 \mu &< 0,005 \text{ mol/L (determinăm } f(\text{H}^+) \text{ după tabelă sau):} \\
 \lg f(\text{H}^+) &= -0,5 \cdot z^2 \cdot \sqrt{0,001} = -0,0158 \\
 f(\text{H}^+) &= \text{antlg}(-0,0158) = \text{antlg}(-1 + 0,9842) = 9,642 \cdot 10^{-1} \\
 a(\text{H}^+) &= f \cdot c = 9,642 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-3} = 9,642 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \\
 \text{p}_a\text{H} &= -\lg [a\text{H}^+] = -\lg 9,642 \cdot 10^{-4} = -(0,9842 - 4) = 3,0158
 \end{aligned}$$

Probleme propuse:

- 1.5.1. Să se calculeze activitatea ionilor Fe^{3+} în soluția, care într-un litru conține 0,001 mol $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.
- 1.5.2. În 100 cm³ soluție sunt dizolvate 0,119 g de KBr și 0,111 g de CaCl_2 . Calculați $a(\text{Br}^-)$ și $a(\text{Ca}^{2+})$
- 1.5.3. Calculați mediul soluției $\text{Ba}(\text{OH})_2$, dacă într-un litru soluție sunt dizolvate 3,427 g substanță.
- 1.5.4. Să se calculeze activitatea ionilor de sodiu (Na^+) și azotat (NO_3^-) în soluția azotatului de sodiu cu concentrația molară egală cu 0,015 mol/L.
- 1.5.5. Într-un litru de soluție se conțin 0,02 mol K_2SO_4 și 0,01 mol $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Calculați activitatea ionilor de potasiu și aluminiu.
- 1.5.6. În 250 cm³ soluție sunt dizolvate 0,165 g azotat de zinc. Calculați activitatea ionilor de zinc și azotat.
- 1.5.7. Într-un litru soluție se conțin 1,39 g NaOH și 0,01 mol $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Calculați $a(\text{OH}^-)$.
- 1.5.8. S-au amestecat volume egale de următoarele soluții: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ și NH_4Cl de aceeași concentrație molară egală cu 0,056 mol/L. Calculați forța ionică a soluției și activitatea ionilor (NH_4^+).
- 1.5.9. Calculați activitatea ionilor de potasiu și clor în soluția obținută la amestecarea sulfatului de potasiu cu concentrația molară 0,015 mol/L cu clorura de sodiu de 0,03 mol/L.
- 1.5.10. Calculați activitatea ionilor în soluția carbonatului de sodiu cu concentrația molară egală cu 0,025 mol/L.

1.6. Echilibre în soluții tampon

Considerații teoretice

Soluțiile tampon sunt acele soluții, care păstrează aproape constantă concentrația ionilor de hidrogen la diluare, chiar și atunci când la ele se adaugă o anumită cantitate de acid tare sau bază tare. Aceste sisteme (amestecuri) sunt formate din două substanțe care se opun variațiilor de pH ale mediului.

Exemple de soluții tampon pot fi sistemele de tipul:

acid slab (HCOOH) și o sare a lui (HCOONa);

bază slabă (NH_4OH) și o sare a ei (NH_4Cl).

O acțiune tampon mai au și unele amestecuri de săruri acide ale acizilor slabi cu sărurile neutre, de exemplu NaHCO_3 și Na_2CO_3 (sistemul tampon carbonat), sau amestecul a două săruri acide ale acizilor slabi, de exemplu sistemul tampon fosfat: Na_2HPO_4 și NaH_2PO_4 . În aceste cazuri anionii HCO_3^- și H_2PO_4^- joacă rolul unor acizi slabi, iar Na_2CO_3 și Na_2HPO_4 – săruri ale acestor acizi.

Sistemele tampon se caracterizează prin anumite valori ale pH-ului și prin capacitatea lor tamponică, care la rândul lor depind de natura componentelor ce formează sistemul tampon și de concentrațiile lor.

Deseori reacțiile analitice se efectuează practic în condiții speciale de pH, pentru aceasta folosindu-se anumite sisteme tampon, de exemplu:

- ✓ amestecul tampon formiat $\text{HCOOH} + \text{HCOONa}$ cu $\text{pH} \approx 3,8$;
- ✓ amestecul tampon acetat $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$ cu $\text{pH} \approx 4,7$;
- ✓ amestecul tampon fosfat $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$ cu $\text{pH} \approx 6,6$;
- ✓ amestecul tampon amoniacal $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$ cu $\text{pH} \approx 9,25$.

Deducerea formulelor de calcul a $[\text{H}^+]$ și pH-ului soluțiilor tampon

I. Fie că avem soluție tampon formată din acidul slab (HCOOH) și sarea lui (HCOONa), unde decurg procesele:



$$K_{\text{HCOOH}} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]}, \quad \text{unde } [\text{HCOO}^-] = c(\text{sării}) \cdot V_{\text{sării}},$$

$$\text{iar } [\text{HCOOH}] = c(\text{acid}) \cdot V_{\text{acid}};$$

$$\text{atunci } K_{\text{HCOOH}} = \frac{[\text{H}^+] \cdot c(\text{sării}) \cdot V(\text{sării})}{c(\text{acid}) \cdot V(\text{acid})}, \quad \text{de unde}$$

$$[\text{HCOONa}] = C_M \cdot V(l); \quad [\text{H}^+] = K_{\text{HCOOH}} \cdot \frac{C(\text{acid}) \cdot V(\text{acid})}{C(\text{sării}) \cdot V(\text{sării})}$$

sau în cazul volumelor egale:

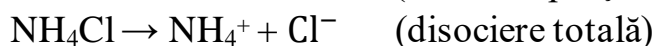
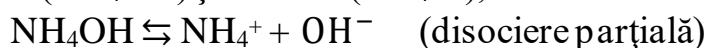
$$[\text{H}^+] = K_{\text{HCOOH}} \cdot \frac{c(\text{acid}) \cdot V(\text{acid})}{c(\text{sării}) \cdot V(\text{sării})} \quad (6.1)$$

$$\text{pH} = \text{p}K_{\text{HCOOH}} - \lg \frac{c(\text{acid}) \cdot V(\text{acid})}{c(\text{sării}) \cdot V(\text{sării})} \quad (6.2)$$

$$\text{sau } \text{pH} = \text{p}K_{\text{HCOOH}} - \lg \frac{n(\text{acid})}{n(\text{sării})}, \quad (6.3)$$

unde n – cantitatea de substanță, mmol.

II. Analogic se pot deduce și formulele de calcul ale $[\text{OH}^-]$ și pOH-ului soluțiilor tampon de tipul bază slabă (NH_4OH) și sarea ei (NH_4Cl), unde au loc următoarele procese:



$$K_{\text{NH}_4\text{OH}} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}, \text{ unde } [\text{NH}_4^+] = c(\text{sării}) \cdot V(\text{sării}),$$

$$\text{iar } [\text{NH}_4\text{OH}] = c(\text{bazei}) \cdot V(\text{bazei});$$

$$K_{\text{NH}_4\text{OH}} = \frac{[\text{OH}^-] \cdot c(\text{sării}) \cdot V(\text{sării})}{c(\text{bazei}) \cdot V(\text{bazei})}, \text{ de unde}$$

$$[\text{OH}^-] = K_{\text{NH}_4\text{OH}} \cdot \frac{c(\text{bazei}) \cdot V(\text{bazei})}{c(\text{sării}) \cdot V(\text{sării})}, \quad (6.4)$$

$$pOH = pK_{\text{NH}_4\text{OH}} - \lg \frac{c(\text{bazei}) \cdot V(\text{bazei})}{c(\text{sării}) \cdot V(\text{sării})} \quad (6.5)$$

$$\text{sau } [H^+] = \frac{K_W \cdot c(\text{sării}) \cdot V(\text{sării})}{K_{\text{NH}_4\text{OH}} \cdot c(\text{bazei}) \cdot V(\text{bazei})}, \quad (6.6)$$

$$pH = 14 - pOH$$

$$pH = 14 - pK_{\text{NH}_4\text{OH}} + \lg \frac{c(\text{bazei}) \cdot V(\text{bazei})}{c(\text{sării}) \cdot V(\text{sării})} \quad (6.7)$$

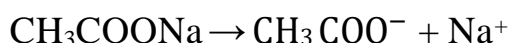
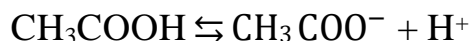
$$\text{sau } pH = 14 - pK_{\text{NH}_4\text{OH}} + \lg \frac{n(\text{bazei})}{n(\text{sării})} \quad (6.8)$$

$$c_X = \frac{c_1(c_2) \cdot V_1(V_2)}{V_1 + V_2} \quad (6.9)$$

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. Calculați concentrația ionilor $[H^+]$, $[OH^-]$ și mediul soluției tampon acetat, unde concentrația acidului este 0,35 mol/L, iar a sării – 0,3 mol/L.

Rezolvare:



$$[H^+] = K_{\text{ac.}} \cdot \frac{c(\text{acid})}{c(\text{sării})} = 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,35}{0,3} = 2,042 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{2,042 \cdot 10^{-5}} = 0,49 \cdot 10^{-9} = 4,9 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$pH = pK_{\text{CH}_3\text{COOH}} - \lg \frac{c(\text{acid})}{c(\text{sării})}$$

$$pK_{\text{ac.}} = -\lg K_{\text{ac.}} = -\lg 1,75 \cdot 10^{-5} = -(\lg 1,75 + \lg 10^{-5}) = -(0,2430 - 5) = 4,757$$

$$\lg \frac{c(\text{acid})}{c(\text{sării})} = \lg \frac{0,35}{0,3} = \lg 1,17 = 0,0682$$

$$pH = 4,757 - 0,0682 = 4,6888$$

Exemplul 2. De calculat mediul soluției tampon obținute la amestecarea a 25 cm³ soluție 0,5 M de NH₄OH și 30 cm³ soluție 0,6 M de NH₄Cl.

Se remarcă: după amestecarea soluțiilor, concentrațiile substanțelor se modifică și se calculează aceste concentrații după formula (6. 9.):

$$c(\text{NH}_4\text{OH}) = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_1 + V_2} = \frac{0,5 \cdot 25}{25 + 30} = 0,227 \text{ mol/L}$$

$$c(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{c_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{0,6 \cdot 30}{25 + 30} = 0,327 \text{ mol/L}$$

$$pH = 14 - pK_{\text{baz.}} + \lg \frac{c(\text{bazei})}{c(\text{sării})}$$

$$pK_{\text{baz.}} = -\lg K_{\text{baz.}} = -\lg 1,79 \cdot 10^{-5} = 4,7472$$

$$\lg \frac{c(\text{bazei})}{c(\text{sării})} = \lg \frac{0,227}{0,327} = \lg 0,694 = \lg 6,94 \cdot 10^{-1} = 0,8414 - 1 = -0,1586$$

$$pH = 14 - 4,7472 - 0,1586 = 9,0942$$

Exemplul 3. De calculat pH-ul sistemii tampon amoniacale în care concentrația ambilor componenți este egală cu 0,5 mol/L.

Cum se va schimba pH-ul acestei soluții:

- la adăugarea a 0,1 mol HCl la un litru de soluție tampon;
- la adăugarea a 0,1 mol NaOH la un litru de soluție tampon;
- la diluarea sistemii tampon de 10 ori?

Rezolvare:

Aplicăm relația (6. 7):

$$pH = 14 - pK_{\text{baz.}} + \lg \frac{c(\text{bazei})}{c(\text{sării})} = 14 - 4,7472 + \lg \frac{0,5}{0,5} = 9,2528$$

- a) La adăugarea a 0,1 mol HCl are loc reacția: $\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl}$ și valoarea $c(\text{NH}_3)$ se micșorează până la 0,4 mol/L, iar concentrația $c(\text{NH}_4\text{Cl})$ crește până la 0,6 mol/L, atunci pH-ul v-a avea următoarea valoare:

$$pH = 14 - 4,7472 + \lg \frac{0,4}{0,6} = 9,2528 - 0,1805 = 9,0723$$

- b) La adăugarea a 0,1 mol NaOH are loc reacția: $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{NH}_3$, care modifică concentrația $c(\text{NH}_3)$ până la 0,6 mol/L, iar $c(\text{NH}_4\text{Cl})$ până la 0,4 mol/L. În acest caz:

$$pH = 14 - 4,7472 + \lg \frac{0,6}{0,4} = 9,2528 + 0,1761 = 9,4289$$

- c) La diluarea soluției de 10 ori, valoarea pH-ului nu se modifică, deoarece raportul

$$\frac{c(\text{NH}_3)}{c(\text{NH}_4\text{Cl})} \text{ rămâne neschimbat.}$$

$$pH = 14 - 4,7472 + \lg \frac{0,05}{0,05} = 9,2528$$

Exemplul 4. De calculat raportul concentrațiilor molare ale substanțelor NaH_2PO_4 și Na_2HPO_4 , pentru a obține o soluție tampon cu $pH = 6$.

Rezolvare:

Aplicăm relația (4. 6):

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]; [\text{H}^+] = \lg 10^{-\text{pH}} = \text{antlg}(-6) = 10^{-6} \text{ mol/L}$$

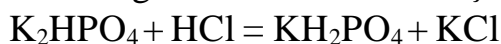
– ionul H_2PO_4^- este în calitate de acid:

$$[\text{H}^+] = K_2(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot \frac{c(\text{acid})}{c(\text{sării})} \quad \text{sau} \quad [\text{H}^+] = K_2 \cdot \frac{[\text{NaH}_2\text{PO}_4]}{[\text{Na}_2\text{HPO}_4]}$$
$$\frac{c(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{c(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = \frac{[\text{H}^+]}{K_2(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{10^{-6}}{6,2 \cdot 10^{-8}} = 16,1$$

Exemplul 5. La $20,0 \text{ cm}^3$ soluție $0,2 \text{ M}$ de K_2HPO_4 s-a adăugat $10,0 \text{ cm}^3$ soluție HCl cu concentrația $0,25 \text{ M}$. Calculați pH-ul soluției obținute.

Rezolvare:

– se scrie ecuația reacției care decurge la amestecarea soluțiilor indicate:



– se obține o sistemă tampon formată din KH_2PO_4 și K_2HPO_4 , în care:

$$n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = n(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = n(\text{HCl}) = C_M \cdot V = 0,25 \cdot 10 = 2,5 \text{ mmol}$$

$$n(\text{K}_2\text{HPO}_4) = n(\text{HPO}_4^{2-}) = 20 \cdot 0,2 - 10 \cdot 0,25 = 1,5 \text{ mmol}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_{2ac.} - \lg \frac{n(\text{H}_2\text{PO}_4^-)}{n(\text{HPO}_4^{2-})} = 7,21 - \lg \frac{2,5}{1,5} = 6,99$$

Probleme propuse:

- 1.6.1. Calculați mediul soluției tampon obținute la amestecarea a $20,0 \text{ cm}^3$ soluție $0,05 \text{ M}$ HNO_2 cu $30,0 \text{ cm}^3$ soluție NaNO_2 cu concentrația $1,5 \text{ M}$.
- 1.6.2. Să se calculeze pH-ul și pOH-ul soluției tampon, care într-un litru soluție conține dizolvate $8,5 \text{ g}$ NH_3 și 107 g NH_4Cl .
- 1.6.3. De calculat concentrația ionilor de hidrogen, hidroxil și pH-ul soluției tampon obținută la amestecarea a $25,0 \text{ cm}^3$ soluție $0,2 \text{ M}$ CH_3COOH și $15,0 \text{ cm}^3$ soluție CH_3COONa cu concentrația $0,1 \text{ M}$.
- 1.6.4. Cum se vor schimba gradul de disociere și pH-ul soluției CH_3COOH de $0,2 \text{ M}$, dacă la 100 cm^3 de această soluție se vor adăuga 30 cm^3 soluție CH_3COONa de $0,3 \text{ M}$?
- 1.6.5. La 200 cm^3 soluție $0,1 \text{ M}$ acid acetic s-a adăugat $0,51 \text{ g}$ acetat de sodiu. Calculați pH-ul și pOH-ul soluției tampon obținute.
- 1.6.6. Într-un litru soluție tampon amoniacală sunt dizolvate $3,5 \text{ g}$ amoniac și $2,7 \text{ g}$ clorură de amoniu. Calculați pH-ul soluției tampon și gradul de disociere al amoniacului.
- 1.6.7. La 500 cm^3 soluție acid metanoic de $0,15 \text{ M}$ s-a adăugat $3,42 \text{ g}$ metanoat de sodiu. Calculați pH-ul soluției tampon obținute.
- 1.6.8. Cum și de câte ori se va schimba α și pH-ul acidului metanic în soluția $0,6 \text{ M}$, dacă la 500 cm^3 de această soluție s-a adăugat 150 cm^3 soluție, în care sunt dizolvate $2,8 \text{ g}$ HCOONa ?

- 1.6.9. Într-un litru de soluție se conține 0,065 mol NH_3 și 0,15 mol NH_4Cl . Cum și de câte ori se va schimba pH-ul acestei soluții, dacă la ea se vor adăuga 0,04 mol NaOH ?
- 1.6.10. Calculați mediul soluției tampon obținute la amestecarea a 35 cm^3 soluție Na_2CO_3 de 0,15 M și 20 cm^3 soluție NaHCO_3 de 0,2 M.
- 1.6.11. Să se calculeze pH-ul soluțiilor tampon, dacă se știe că într-un litru de soluție se conține:
- a) 0,015 mol NH_3 și 0,01 mol NH_4NO_3 ;
b) 0,9 mol NH_3 și 0,1 mol NH_4Cl .
- 1.6.12. Ce masă de carbonat de sodiu trebuie de adăugat la 60 cm^3 soluție NaHCO_3 de 0,26 M pentru a obține o soluție cu $\text{pH} = 9$?

1.7. Echilibre în soluții apoase de săruri. Hidroliza sărurilor

Considerații teoretice

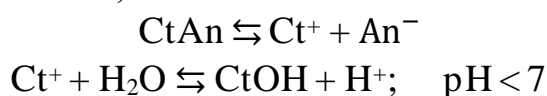
Reacțiile chimice în care participă moleculele apei și particulele substanței dizolvate în apă se mai numesc reacții de hidroliză. Hidroliza unei sări este reacția dintre ionii sării și moleculele apei în rezultatul căreia se obține un electrolit slab (de obicei acid sau bază).

Procesul de hidroliză schimbă practic concentrația ionilor de hidrogen și soluția obținută capătă un caracter acid sau bazic. Hidrolizei se supun sărurile provenite din neutralizarea unui acid slab cu o bază tare, din neutralizarea unei baze slabe cu un acid tare și din neutralizarea unui acid slab cu o bază slabă. Echilibrul unui proces de hidroliză este caracterizat de gradul de hidroliză (h) și constanta de hidroliză (K_h).

În analiza chimică calitativă deseori este necesar de calculat $[\text{H}^+]$, $[\text{OH}^-]$, concentrațiile altor molecule sau ioni care rezultă din reacțiile de hidroliză a sărurilor și chiar mediul soluțiilor.

I. Deducerea formulelor de calcul a gradului de hidroliză (h), K_h și pH-ului în cazul sării formate din cationul bazei slabe și anionul unui acid tare, care hidrolizează după cation

a) fie că avem sare de tipul CtAn , care disociază



b) conform legii acțiunii maselor, se scrie ecuația constantei echilibrului chimic:

$$K = \frac{[\text{CtOH}] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{Ct}^+] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} \quad (1)$$

– se înmulțește partea stângă și dreaptă a relației (1) la $[\text{H}_2\text{O}]$ și se schimbă $K \cdot [\text{H}_2\text{O}]$ prin K_h , astfel se obține:

$$K_h = \frac{[\text{CtOH}] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{Ct}^+]} \quad (2)$$

c) din produsul ionic al apei, concentrația $[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]}$ și înlocuind în relația (2) se obține:

$$K_h = \frac{[\text{CtOH}] \cdot K_w}{[\text{Ct}^+] \cdot [\text{OH}^-]} \quad (3)$$

– în relația (3) partea $\frac{[\text{CtOH}]}{[\text{Ct}^+]\cdot[\text{OH}^-]}$ reprezintă $\frac{1}{[\text{CtOH}]}$, atunci

$$K_h = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}}} \quad (7.1)$$

h – gradul de hidroliză

ch – partea hidrolizată

$(c - ch)$ – partea nehidrolizată

– înlocuind aceste cunoscute în relația K_{dis} se obține:

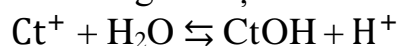
$$K_h = \frac{ch \cdot ch}{c - ch} = \frac{c^2 \cdot h^2}{c(1-h)} = \frac{c \cdot h^2}{1-h} = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}}},$$

neglijând valoarea lui h , găsim că:

$$ch^2 = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}}}, \text{ de unde } h^2 = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}} \cdot c}$$

$$h = \sqrt{\frac{K_w}{K_{\text{bazei}} \cdot C_{\text{sării}}}} \quad (7.2)$$

d) în cazul hidrolizei după cation decurge reacția:



din ecuația ionică se vede că $[\text{CtOH}] = [\text{H}^+]$ și produsul $[\text{CtOH}] \cdot [\text{H}^+] = [\text{H}^+]^2$; știind că $h \approx 0,01$ se poate de luat ca $[\text{Ct}^+] = C_{\text{sării}}$, înlocuind în relația (2) se obține:

$$K_h = \frac{[\text{CtOH}] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{Ct}^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_{\text{sării}}}, \text{ de unde}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_h \cdot c}, \text{ dar deoarece}$$

$$K_h = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}}}, \text{ atunci}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_w \cdot C_{\text{sării}}}{K_{\text{bazei}}}} \quad (7.3)$$

– pentru a trece de la $[\text{H}^+]$ la pH se logaritmează relația (7.3.) și se schimbă semnele:

$$-\lg[\text{H}^+] = \frac{1}{2}(\lg K_w + \lg C_{\text{sării}} - \lg K_{\text{bazei}})$$

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2}\lg K_{\text{bazei}} - \frac{1}{2}\lg C_{\text{sării}} \quad (7.4)$$

II. Deducerea formulelor de calcul a gradului de hidroliză (h), K_h și pH-ului în cazul sării formate din cationul bazei tari și anionul unui acid slab, care hidrolizează după anion:



$$\text{b) } K = \frac{[\text{HAn}] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{An}^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}$$

$$K_h = \frac{[\text{HAn}] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{An}^-]}, \text{ de unde } [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}^+]}, \text{ se obține:}$$

$$K_h = \frac{[\text{HAn}] \cdot K_w}{[\text{An}^-] \cdot [\text{H}^+]} \quad (4)$$

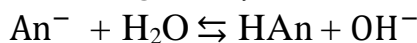
– dacă $\frac{[\text{HAn}]}{[\text{An}^-] \cdot [\text{H}^+]} = \frac{1}{[\text{HAn}]}$, atunci relația (4) v-a avea forma $K_h = \frac{K_w}{K_{\text{ac}}}$ (7.5)

$$c) K_h = \frac{ch \cdot ch}{c - ch} = \frac{c^2 \cdot h^2}{c(1-h)} = \frac{c \cdot h^2}{1-h} = \frac{K_w}{K_{ac}},$$

$$ch^2 = \frac{K_w}{K_{ac}} \Rightarrow h^2 = \frac{K_w}{K_{ac} \cdot c_{sării}}, \text{ de unde}$$

$$h = \sqrt{\frac{K_w}{K_{ac} \cdot c_{sării}}} \quad (7.6)$$

d) în cazul hidrolizei după anion decurge reacția:



– din ecuația ionică reiese că:

$$[\text{HAn}] = [\text{OH}^-], [\text{HAn}] \cdot [\text{OH}^-] = [\text{OH}^-]^2 \text{ iar } [\text{An}^-] = c_{sării}$$

$$K_h = \frac{[\text{HAn}] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{An}^-]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_{sării}}$$

$$[\text{OH}^-]^2 = \sqrt{K_h \cdot c_{sării}}$$

– dar deoarece $K_h = \frac{K_w}{K_{ac}}$, atunci

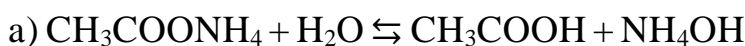
$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{K_w \cdot c_{sării}}{K_{ac}}} \quad (7.7)$$

$$\text{pOH} = 7 + \frac{1}{2} \lg K_{ac} - \frac{1}{2} \lg c_{sării} \quad (7.8)$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_w \cdot K_{ac}}{c_{sării}}} \quad (7.9)$$

$$\text{pH} = 7 - \frac{1}{2} \lg K_{ac} + \frac{1}{2} \lg c_{sării} \quad (7.10)$$

III. Deducerea formulelor de calcul a gradului de hidroliză (h), K_h și pH-ului în cazul sării formate din cationul bazei slabe și anionul sării slabe, care hidrolizează după cation și anion



$$K = \frac{[\text{CtOH}] \cdot [\text{HAn}]}{[\text{Ct}^+] \cdot [\text{An}^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}$$

$$K_h = \frac{[\text{CtOH}] \cdot [\text{HAn}]}{[\text{Ct}^+] \cdot [\text{An}^-]} \quad (5)$$

b) din relațiile constantelor de disociere se determină concentrațiile produselor de hidroliză:

$$K_1 = \frac{[\text{Ct}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{CtOH}]}, \quad K_2 = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{An}^-]}{[\text{HAn}]}$$

$$[\text{CtOH}] = \frac{[\text{Ct}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{K_{bazei}}, \quad [\text{HAn}] = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{An}^-]}{K_{ac}}$$

– înlocuind cele primite în relația (4) se obține:

$$K_h = \frac{[\text{Ct}^+] \cdot [\text{OH}^-] \cdot [\text{H}^+] \cdot [\text{An}^-]}{[\text{Ct}^+] \cdot K_{bazei} \cdot [\text{An}^-] \cdot K_{ac}},$$

$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14} = K_w, \text{ atunci}$$

$$K_h = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}} \cdot K_{\text{ac.}}} \quad (7.11)$$

$$c) K_h = \frac{ch \cdot ch}{c(1-h) \cdot c(1-h)} = \frac{h^2}{(1-h)^2} = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}} \cdot K_{\text{ac.}}}, \text{ de unde}$$

$$\frac{h}{1-h} = \sqrt{\frac{K_w}{K_{\text{bazei}} \cdot K_{\text{ac.}}}} \quad (7.12)$$

d) în cazul hidrolizei după cation și anion decurge reacția:



$$K_h = \frac{[\text{CtOH}] \cdot [\text{HAn}]}{[\text{Ct}^+] \cdot [\text{An}^-]} = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}} \cdot K_{\text{ac.}}}, \text{ unde}$$

$$[\text{CtOH}] = [\text{HAn}]; \quad [\text{CtOH}] \cdot [\text{HAn}] = [\text{HAn}]^2$$

$$[\text{Ct}^+] = [\text{An}^-] = C_{\text{sării}}; \quad [\text{Ct}^+] \cdot [\text{An}^-] = c^2$$

$$K_h = \frac{[\text{HAn}]^2}{c^2_{\text{sării}}} = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}} \cdot K_{\text{ac.}}}, \text{ deoarece}$$

$$[\text{HAn}] = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{An}^-]}{K_{\text{ac.}}} = \frac{[\text{H}^+] \cdot c_{\text{sării}}}{K_{\text{ac.}}}, \text{ se poate determina}$$

$$\frac{[\text{H}^+]^2 \cdot c^2_{\text{sării}}}{c^2_{\text{sării}} \cdot K_{\text{ac.}}^2} = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}} \cdot K_{\text{ac.}}}$$

$$[\text{H}^+]^2 \cdot K_{\text{bazei}} \cdot K_{\text{ac.}} = K_{\text{ac.}}^2 \cdot K_w$$

$$[\text{H}^+]^2 = \frac{K_w \cdot K_{\text{ac.}}}{K_{\text{bazei}}} \text{ sau } [\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_w \cdot K_{\text{ac.}}}{K_{\text{bazei}}}} \quad (7.13)$$

$$\text{pH} = 7 - \frac{1}{2} \lg K_{\text{ac.}} + \frac{1}{2} \lg K_{\text{bazei}} \quad (7.14)$$

În soluțiile sărurilor de tipul Ct_2CO_3 , Ct_2SiO_3 , Ct_2S , Ct_3PO_4 , care hidrolizează după anion cu formare de săruri acide, pH-ul se calculează după formula:

$$\text{pH} = 7 - \frac{1}{2} \lg K_{\text{ac.}} + \frac{1}{2} \lg c_{\text{sării}} \quad (7.15)$$

– în soluțiile sărurilor de tipul CtHCO_3 , CtHS , CtH_2PO_4 pH-ul se calculează după formula:

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \lg K_{1\text{ac.}} + \frac{1}{2} \lg K_{2\text{ac.}} \quad (7.16)$$

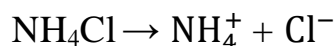
– pentru tipul Ct_2HPO_4 :

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \lg K_{2\text{ac.}} + \frac{1}{2} \lg K_{3\text{ac.}} \quad (7.17)$$

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. De calculat constanta de hidroliză (K_h) și gradul de hidroliză (h) a soluției NH_4Cl de 0,25 M.

Rezolvare:



Aplicăm relațiile (7. 1.) și (7. 2.):

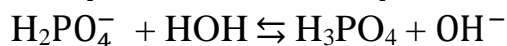
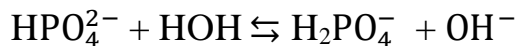
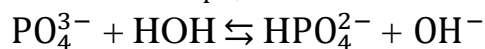
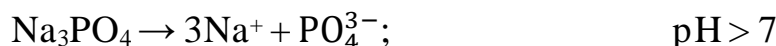
$$K_h = \frac{K_w}{K_{\text{bazei}}} = \frac{10^{-14}}{1,79 \cdot 10^{-5}} = 0,56 \cdot 10^{-9} = 5,6 \cdot 10^{-10}$$

$$h = \sqrt{\frac{K_w}{K_{\text{bazei}} \cdot c_{\text{sării}}}} = \sqrt{\frac{10^{-14}}{1,79 \cdot 10^{-5} \cdot 0,25}} = 4,72 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{sau } K_h = c \cdot h^2 = 0,25 \cdot (4,72 \cdot 10^{-5})^2 = 5,56 \cdot 10^{-10}$$

$$h = \sqrt{\frac{K_h}{c}} = \sqrt{\frac{5,56 \cdot 10^{-10}}{0,25}} = 4,73 \cdot 10^{-5}$$

Exemplul 2. De calculat gradul de hidroliză (h) a soluției 0,15 M a fosfatului de sodiu după toate treptele disociației și de comparat mărimile.



Rezolvare:

$$\text{a) } K_{1h} = \frac{K_w}{K_{3 \text{ ac.}}} = \frac{10^{-14}}{4,2 \cdot 10^{-13}} = 0,24 \cdot 10^{-1}$$

$$h_1 = \sqrt{\frac{K_{1h}}{c}} = \sqrt{\frac{0,24 \cdot 10^{-1}}{0,15}} = 0,4 \text{ sau } 40\%$$

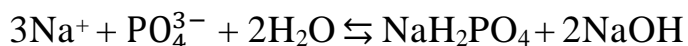
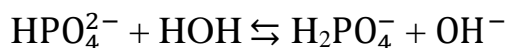
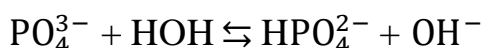
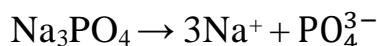
$$\text{b) } K_{2h} = \frac{K_w}{K_{2 \text{ ac.}}} = \frac{10^{-14}}{6,2 \cdot 10^{-8}} = 0,16 \cdot 10^{-6}$$

$$h_2 = \sqrt{\frac{K_{2h}}{c}} = \sqrt{\frac{0,16 \cdot 10^{-6}}{0,15}} = 1,033 \cdot 10^{-3} \text{ sau } 0,103\%$$

$$\text{c) } K_{3h} = \frac{K_w}{K_{1 \text{ ac.}}} = \frac{10^{-14}}{7,6 \cdot 10^{-3}} = 0,13 \cdot 10^{-11}$$

$$h_3 = \sqrt{\frac{K_{3h}}{c}} = \sqrt{\frac{0,13 \cdot 10^{-11}}{0,15}} = 2,94 \cdot 10^{-6} \text{ sau } 0,000294\%$$

Reieșind din calculele efectuate se poate deduce că sărurile formate din cationul bazei tari și anionul unui acid tribazic slab hidrolizează numai după primele două trepte, cu formare de săruri acide și un mediu bazic al soluției:



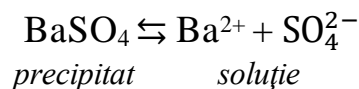
Probleme propuse:

- 1.7.1. Calculați K_h , gradul de hidroliză (h) și pH-ul soluției CH_3COONa de 0,5 M.
- 1.7.2. De calculat K_h , h și pH-ul soluției formiat de potasiu, dacă în 600 cm^3 soluție sunt dizolvate 3,9 g substanță.
- 1.7.3. Determinați K_h și h a soluției 0,1 mol/L sulfură de sodiu după ambele trepte ale disociației și de comparat mărimile.
- 1.7.4. Calculați h și pH-ul soluției cianurii de potasiu, dacă în 300 cm^3 soluție se conțin 0,55 g substanță.
- 1.7.5. Calculați concentrația molară a soluției clorurii de amoniu, dacă $\text{pH} = 6$.
- 1.7.6. Care va fi masa sulfatului de amoniu în 300 cm^3 soluție, dacă $\text{pH} = 5$?
- 1.7.7. De calculat concentrația ionilor de hidrogen, ionilor hidroxil și mediul soluției 0,31 M azotat de amoniu.
- 1.7.8. Calculați K_h , h și pH-ul soluției 0,15 M acetat de amoniu.
- 1.7.9. Calculați pH-ul soluției 0,2 M hidrogenofosfat de sodiu.
- 1.7.10. La 60 cm^3 soluție 0,11 M de Na_2CO_3 s-a adăugat 30 cm^3 soluție 0,22 M de HCl. Calculați pH-ul soluției obținute.
- 1.7.11. S-au amestecat 100 cm^3 soluție 0,2 M acid etanoic cu același volum de soluție NaOH și cu aceiași concentrație molară. Calculați pH-ul soluției obținute.
- 1.7.12. Calculați masa sulfurii de sodiu ce se conține în 200 cm^3 soluție, dacă pH-ul ei este egal cu 9,8. Care va fi gradul de hidroliză a acestei soluții?
- 1.7.13. Determinați pH-ul soluției 0,15 M de NH_4Cl , dacă gradul de hidroliză este egal cu 0,0039%.
- 1.7.14. Calculați concentrația molară și gradul de hidroliză a oxalatului de potasiu, dacă pH-ul soluției este egal cu 8,3.
- 1.7.15. Calculați mediul soluției obținute la amestecarea a 20 cm^3 soluție 0,11 M de NaH_2PO_4 cu 30 cm^3 soluție 0,05 M de NaOH.
- 1.7.16. Determinați pH-ul și pOH-ul soluției 0,25 M de KHS.
- 1.7.17. Calculați pH-ul soluțiilor: a) K_2HPO_4 ; b) KHSO_3 .

1.8. Echilibre în sisteme eterogene. Produs de solubilitate

Considerații teoretice

Într-o soluție saturată a unui electrolit puțin solubil decurg două procese opuse: *dizolvarea* – trecerea ionilor din precipitat în soluție, și *crystalizarea* – trecerea ionilor din soluție în precipitat. De exemplu:



Aplicând legea acțiunii maselor pentru acest echilibru eterogen, se notează constanta de echilibru:

$$K = \frac{a(\text{Ba}^{2+}) \cdot a(\text{SO}_4^{2-})}{a(\text{BaSO}_4)}$$

$$K \cdot a(\text{BaSO}_4) = a(\text{Ba}^{2+}) \cdot a(\text{SO}_4^{2-})$$

$$K \cdot a(\text{BaSO}_4) = \text{const} = \mathbf{PS}$$

$$\mathbf{PS}(\text{BaSO}_4) = a(\text{Ba}^{2+}) \cdot a(\text{SO}_4^{2-}) \quad (8.1)$$

Din relația (8. 1.) rezultă regula produsului de solubilitate: în soluția saturată a unui electrolit puțin solubil, produsul activității ionilor reprezintă o mărime constantă la temperatura dată și se numește produs de solubilitate – **PS**.

Relația (8. 1.) poate fi scrisă și astfel, deoarece: $a = c \cdot f$

$$\mathbf{PS}(\text{BaSO}_4) = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] \cdot f(\text{Ba}^{2+}) \cdot f(\text{SO}_4^{2-}) \quad (8.2)$$

În soluțiile saturate a electroliților greu solubili concentrațiile ionilor sunt mici (în lipsa altor electroliți), atunci valoarea coeficienților de activitate este egală cu 1.

De aici reiese că:

$$\mathbf{PS}(\text{BaSO}_4) = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] \quad (8.3)$$

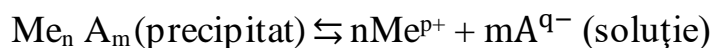
Pentru cazul general $\text{Me}_n \text{A}_m$ produsul solubilității va avea forma:



$$\mathbf{PS}(\text{Me}_n \text{A}_m) = [\text{Me}^{p+}]^n \cdot [\text{A}^{q-}]^m \quad (8.4)$$

Valorile PS a electroliților puțin solubili sunt calculate la anumită temperatură și sistematizate în tabele speciale. Acestea sunt utilizate pentru rezolvarea multor probleme practice și teoretice de analiză chimică. În analiza calitativă mai frecvent se fac calculele aproximative, cu utilizarea concentrației ionilor în loc de activitățile lor. În cazul când electrolitul posedă careva solubilitate sau când în soluție sunt prezenți și alți electroliți tari, se ia în considerație forța ionică a soluției și calculele se efectuează utilizând activitățile ionilor care participă la reacția de precipitare.

Relațiile dintre solubilitatea (S, mol/L) electrolitului greu solubil $\text{Me}_n \text{A}_m$ și PS al acestui electrolit sunt următoarele:



$$S_{\text{Me}_n \text{A}_m} = \frac{C(\text{Me}^{p+})}{n} = \frac{C(\text{A}^{q-})}{m}$$

$$C(\text{Me}^{p+}) = n \cdot S; \quad C(\text{A}^{q-}) = m \cdot S$$

$$\mathbf{PS}(\text{Me}_n \text{A}_m) = [\text{Me}^{p+}]^n \cdot [\text{A}^{q-}]^m \cdot f_{\text{Me}}^n \cdot f_{\text{A}}^m = (n \cdot S)^n \cdot (m \cdot S)^m \cdot f_{\text{Me}}^n \cdot f_{\text{A}}^m$$

$$S_{\text{Me}_n \text{A}_m} = \sqrt[n+m]{\frac{\mathbf{PS}_{\text{Me}_n \text{A}_m}}{n^n \cdot m^m \cdot f_{\text{Me}}^n \cdot f_{\text{A}}^m}} \quad (8.5)$$

În soluțiile electroliților greu solubili, când lipsesc alți electroliți, forța ionică este destul de mică și valorile coeficienților de activitate (f) practic sunt egale cu 1, atunci în aceste cazuri relația (8. 5.) poate fi redusă la următoarea:

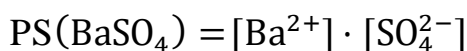
$$S_{M_nA_m} = \sqrt[n+m]{\frac{PS_{M_nA_m}}{n^n \cdot m^m}} \quad (8. 6)$$

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. De calculat produsul solubilității sulfatului de bariu, dacă un litru soluție saturată conține 0,00245 g substanță dizolvată.

Rezolvare:

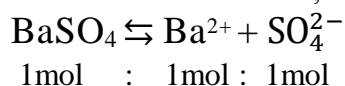
– aplicăm relația (8. 3. 1):



– folosim relația (2. 2) pentru calcularea concentrației molare a electrolitului:

$$C_M(BaSO_4) = \frac{m}{M \cdot V(l)} = \frac{0,00245}{233 \cdot 1} = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

– calculăm concentrația fiecărui ion conform disociației electrolitului:



– din ecuația disocierii reiese că solubilitatea (concentrația) ionilor este egală cu $S(BaSO_4)$: $[Ba^{2+}] = [SO_4^{2-}] = [BaSO_4] = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$, atunci

$$PS(BaSO_4) = (1,05 \cdot 10^{-5})^2 = 1,1 \cdot 10^{-10}$$

Exemplul 2. Să se calculeze solubilitatea fosfatului de calciu în apă (mol/L), dacă $PS = 2,1 \cdot 10^{-29}$.

Rezolvare:

– aplicăm relația (8. 6.) pentru $Ca_3(PO_4)_2$:

$$S = \sqrt[5]{\frac{PS_{Ca_3(PO_4)_2}}{3^3 \cdot 2^2}} = \sqrt[5]{\frac{2,1 \cdot 10^{-29}}{108}} = \sqrt[5]{\frac{10^{-29}}{51}}$$

$$\lg S = \frac{1}{5} \lg 10^{-29} - \frac{1}{5} \lg 51 = \frac{1}{5} (-29) - \frac{1}{5} (0,7076) = -5,8 - 0,14 = -5,94$$

$$S = \text{ant lg}(-5,94) = \text{ant lg}(-6 + 0,06) = 1,148 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$S_{Ca_3(PO_4)_2} = 1,148 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

Exemplul 3. Să se calculeze solubilitatea sulfatului de plumb în apă și concentrația fiecărui ion în g/L, dacă $PS = 2,2 \cdot 10^{-8}$.

– aplicăm relația (8. 6) pentru $PbSO_4$:



$$S = \sqrt{PS_{\text{PbSO}_4}} = \sqrt{2,2 \cdot 10^{-8}} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

– concentrația ionilor în g/L, se calculează reieșind din solubilitatea electrolitului dat și masa molară a fiecărui ion:

$$[\text{Pb}^{2+}] = 207 \text{ g/mol} \cdot 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} = 3,125 \cdot 10^{-2} \text{ g/L}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 96 \text{ g/mol} \cdot 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} = 1,45 \cdot 10^{-2} \text{ g/L}$$

Exemplul 4. Calculați, la ce valoare a pH-ului se va începe sedimentarea hidroxidului de zinc din soluția clorurii de zinc de 0,11 M, dacă $PS(\text{Zn}(\text{OH})_2) = 7,1 \cdot 10^{-18}$?

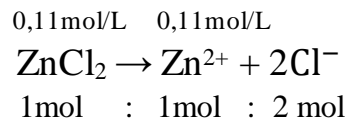
Rezolvare:

– din relația produsului de solubilitate calculăm concentrația ionilor hidroxil:

$$PS(\text{Zn}(\text{OH})_2) = [\text{Zn}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{PS}{[\text{Zn}^{2+}]}}$$

– concentrația ionilor de zinc o calculăm după ecuația reacției de disociere a sării:



$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{7,1 \cdot 10^{-18}}{0,11}} = 8,03 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

– din relația (4. 5.) se calculează indicele hidroxilic:

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 8,03 \cdot 10^{-9} = -0,9047 + 9 = 8,0953$$

– mediul soluției îl calculăm după relația (4. 3.):

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

$$\text{pH} = 14 - 8,0953 = 5,9047$$

Exemplul 5. Determinați dacă se va forma precipitat la amestecarea volumelor egale de soluție CaCl_2 cu concentrația 0,2 M cu soluție Na_2SO_4 de 0,1 M.

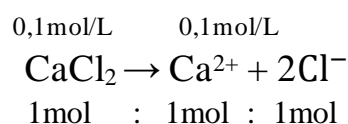
Rezolvare:

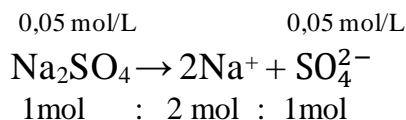
– la amestecarea soluțiilor cu volume egale, conc. se micșorează de două ori:

$$C_M(\text{CaCl}_2) = 0,2 : 2 = 0,1 \text{ mol/L}$$

$$C_M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1 : 2 = 0,05 \text{ mol/L}$$

– din ecuațiile de disociere a sărurilor respective calculăm concentrația ionilor de Ca^{2+} și SO_4^{2-} , deoarece ei participă la formarea precipitatului:





– se calculează produsul concentrației ionilor (PI) în soluția formată și se compară cu valoarea PS:

$$PI(\text{CaSO}_4) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = 0,1 \cdot 0,05 = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$PS(\text{CaSO}_4) = 2,5 \cdot 10^{-5}; \quad PI > PS - \text{precipitatul se formează}$$

Exemplul 6. Să se calculeze solubilitatea cromatului de bariu în soluția primită la amestecarea a 400 cm³ soluție Ba(NO₃)₂ de 0,01 M cu 100 cm³ K₂CrO₄ de 0,1 M.

Rezolvare:

Calcularea solubilității în prezența ionilor de același fel, se efectuează luând în considerație concentrația ionului în exces după formula:

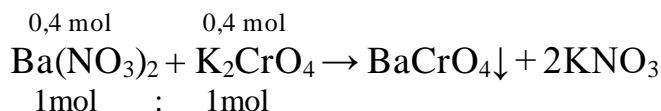
$$S_{\text{Me}_n\text{A}_m} = \sqrt[n+m]{\frac{PS_{\text{Me}_n\text{A}_m}}{n^n \cdot [\text{A}^-]^m}}$$

Solubilitatea electrolitului puțin solubil se va micșora din cauza deplasării echilibrului în direcția formării sedimentului.

– se calculează care din componenții soluției sunt în exces după relația (2. 12):

$$n(\text{Ba}^{2+}) = C_M \cdot V(L) = 0,01 \cdot 0,4 = 0,004 \text{ mol}$$

$$n(\text{CrO}_4^{2-}) = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01 \text{ mol}$$



– din ecuația reacției reiese că ionii cromat sunt în exces:

$$n(\text{CrO}_4^{2-}) = 0,01 - 0,004 = 0,006 \text{ mol}$$

$$[\text{CrO}_4^{2-}]_{\text{exces}} = \frac{n}{V(L)} = \frac{0,006 \text{ mol}}{0,5 \text{ L}} = 0,012 \text{ mol/L}$$

– se calculează forța ionică a soluției; deoarece toți ionii de bariu s-au sedimentat, concentrația lor se neglijează, iar pentru ionii cromat se ia în considerație numai concentrația excesului:

$$\mu = \frac{1}{2} (0,008 \cdot 1^2 + 0,02 \cdot 1^2 + 0,012 \cdot 2^2) = 0,038 \text{ mol/L}$$

$$\lg f(\text{CrO}_4^{2-}) = -0,5 \cdot 4 \cdot \frac{\sqrt{0,038}}{1 + \sqrt{0,038}} = -0,326$$

$$f(\text{CrO}_4^{2-}) = \text{antlg}(-0,326) = \text{antlg}(-1 + 0,674) = 4,721 \cdot 10^{-1}$$

$$S_{BaCrO_4} = \sqrt{\frac{PS_{BaCrO_4}}{f_{CrO_4^{2-}} \cdot [CrO_4^{2-}]_{ex.}}} = \sqrt{\frac{2,4 \cdot 10^{-10}}{0,47 \cdot 0,012}} = 2,061 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

– solubilitatea $BaCrO_4$ se calculează după valoarea PS, folosind relația (8. 6):

$$S_{BaCrO_4} = \sqrt{2,4 \cdot 10^{-10}} = 1,55 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

Probleme propuse:

- 1.8.1. Calculați solubilitatea Ag_2CO_3 în apă și în soluția nitratului de magneziu 0,15 M, dacă $PS = 6,15 \cdot 10^{-12}$.
- 1.8.2. Determinați dacă se va forma precipitat la amestecarea a 400 cm³ soluție $Pb(NO_3)_2$ 10⁻³ mol/L cu 100 cm³ soluție K_2CO_3 10⁻² mol/L, dacă $PS(PbCO_3) = 1,5 \cdot 10^{-13}$.
- 1.8.3. Se va forma oare precipitat la amestecarea volumelor egale de soluție $FeCl_3$ cu concentrația 10⁻⁵ mol/L și soluție $NaOH$ 0,01 M, dacă $PS(Fe(OH)_3) = 3,8 \cdot 10^{-38}$?
- 1.8.4. Care va fi concentrația ionilor de magneziu în soluția hidroxidului de magneziu, dacă $pH = 11,5$?
- 1.8.5. La ce concentrație a ionilor de cobalt se va începe sedimentarea $Co(OH)_2$, dacă $pH = 6,51$?
- 1.8.6. Se va forma oare precipitatul:
 - a) $Al(OH)_3$, dacă în soluția 0,02 M de $AlCl_3$ vom crea un $pH = 3,2$;
 - b) $Fe(OH)_3$, dacă în soluția 0,05 M de $FeCl_3$ vom crea un $pH = 2,5$?
- 1.8.7. În soluția de analizat se conțin cationii Ba^{2+} și Ca^{2+} . Concentrațiile lor sunt respectiv egale cu 0,9 mol/L și 0,05 mol/L. La adăugarea soluției de carbonat de sodiu care cation se va sedimenta în primul rând?
- 1.8.8. Ce masă de $CaSO_4$ este dizolvată în 500 cm³ soluție saturată, dacă $PS = 2,5 \cdot 10^{-5}$?
- 1.8.9. De calculat pH -ul soluției în momentul când se începe sedimentarea ionilor de Cd^{2+} în formă de $Cd(OH)_2$ din soluția clorurii de cadmiu 0,11 M și în momentul când această sedimentare devine practic completă. **Notă:** un ion este complet sedimentat, dacă concentrația lui în soluție scade până la valorile $10^{-5} - 10^{-6}$ mol/L.
- 1.8.10. Care sare este mai solubilă în apă, $AgBr$ sau Ag_2CO_3 , și de câte ori?
- 1.8.11. Calculați solubilitatea oxalatului de calciu în mol/L și g/L, dacă $PS = 2,57 \cdot 10^{-9}$:
 - a) fără forța ionică a soluției; b) ținând cont de forța ionică a soluției.
- 1.8.12. Cum și de câte ori se va schimba solubilitatea cromatului de plumb în apă față de soluția 0,01 M a azotatului de potasiu, dacă $PS = 1,8 \cdot 10^{-14}$?
- 1.8.13. Calculați pierderile de precipitat (g) la spălarea a 0,1 g $Fe(OH)_3$ cu 100 cm³ apă.
- 1.8.14. Să se calculeze solubilitatea $AgCl$ în apă (mol/L) și în prezența soluției 0,01 M azotat de sodiu. Cum se va schimba solubilitatea?
- 1.8.15. Calculați solubilitatea în g/100 mL soluție, dacă se cunoaște PS pentru: $AgSCN$, $Ba_3(PO_4)_2$, CaC_2O_4 .
- 1.8.16. Determinați $C(Ag^+)$ în soluția saturată a Ag_2CO_3 , dacă $PS = 6,15 \cdot 10^{-12}$.

- 1.8.17. Sunt propuse două soluții saturate: de clorură de plumb și sulfat de plumb. În care din aceste soluții concentrația ionului Pb^{2+} este mai mare și de câte ori?
- 1.8.18. Ce masă de CaC_2O_4 este dizolvată în 850 cm^3 de apă, dacă $PS = 2,57 \cdot 10^{-9}$?
- 1.8.19. Calculați solubilitatea sulfatului de calciu în apă (mol/L) și în prezența nitratului de potasiu de 0,15 N. Cum se va schimba solubilitatea și de câte ori?
- 1.8.20. Determinați solubilitatea sării $MgNH_4PO_4$ în apă (mol/L) și solubilitatea fiecărui ion în g/L de soluție saturată, dacă $PS = 2,5 \cdot 10^{-13}$?
- 1.8.21. Se va precipita oare clorura de plumb la amestecarea a $40,0\text{ cm}^3$ soluție de azotat de plumb cu concentrația molară $1,8 \cdot 10^{-3}\text{ mol/L}$ și 30 cm^3 soluție clorură de magneziu cu concentrația molară $3 \cdot 10^{-3}\text{ mol/L}$.
- 1.8.22. Calculați concentrația molară, masa (g) sulfidului de argint Ag_2S , concentrația ionilor Ag^+ și Cl^- în soluția saturată de sulfid de argint.
- 1.8.23. Calculați produsul solubilității iodurii de bismut, dacă în 5 litri de soluție saturată se conțin 0,1164 g de substanță dizolvată.
- 1.8.24. Calculați valoarea pH-ului soluției la care se va începe precipitarea hidroxidului de fier(III) din soluția de $FeCl_3$ cu concentrația $2 \cdot 10^{-3}\text{ mol/L}$. La ce valoare a pH-ului ionul Fe^{3+} se poate considera precipitat complet?

II. ANALIZA CANTITATIVĂ

Metoda gravimetrică de analiză

Considerații teoretice

Analiza cantitativă include acele metode de analiză ce studiază componența cantitativă a substanței (probei). La baza ei stau metodele chimice, fizice și fizico-chimice de analiză. Din metodele chimice de analiză deosebim: analiza gravimetrică și analiza titrimetrică. Esența analizei gravimetrice constă în separarea cantitativă (sub formă de precipitat) a componentului analizat, determinarea masei precipitatului obținut, și reeșind din formula chimică respectivă de calculat masa și conținutul componentului analizat.

Analiza gravimetrică este una din cele mai simple și exacte metode de analiză cantitativă. Cu ajutorul ei a fost stabilită compoziția chimică a multor substanțe și determinate masele atomice ale elementelor. O importanță practică deosebită prezintă metoda precipitării, conform căreia substanța de analizat se sedimentează cantitativ cu reactivul respectiv sub formă de compus puțin solubil (precipitat) cu o compoziție bine determinată.

Pe baza relației dintre masa probei luată în analiză și masa compusului obținut se calculează concentrația componentului de analizat. Se aplică de asemenea cu bune rezultate la determinarea unor componente din amestecuri de substanțe, din produse naturale etc. Multe substanțe organice se determină gravimetric prin precipitare cu un reactiv adecvat, precipitatul obținut fiind apoi uscat până la masă constantă, în unele cazuri determinându-se conținutul componentului analizat.

$\omega(A) = \frac{m(A)}{m_0} \cdot 100\%$	- conținutul (puritatea) componentului în proba analizată
$\eta(A) = \frac{m(A)}{m_0} \cdot 100\%$	- randamentul de obținere a produsului (reacției)
$\varepsilon(A) = \frac{\Delta m(A)}{m_{tot}} \cdot 100\%$	- eroarea relativă a analizei (determinării substanței)
$\omega(A) = \frac{m(A)}{m_{sol.}} \cdot 100\%$	- conținutul procentual (partea de masă) a componentului analizat
$\omega(A) = \frac{V(A)}{V_0} \cdot 100\%$	- conținutul procentual (partea de volum) a componentului analizat

2.1. Probleme de calcul în analiza gravimetrică

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. O probă de azotat de magneziu este impurificată cantitativ cu bromură de sodiu și clorură de sodiu. Soluția obținută prin dizolvarea unei cantități de 1,1260 g din această probă a fost tratată cu o soluție de azotat de argint. S-au obținut 0,0980 g de precipitat, care la analiză, s-a constatat că are un conținut de 65,80 % de clorură de argint. Care este conținutul procentual de NaBr din proba analizată?

Rezolvare:

Problema reprezintă o analiză gravimetrică a impurităților de bromură de sodiu și clorură de sodiu dintr-o probă de azotat de magneziu; acestea se izolează prin precipitare cu azotat de argint, rezultând un amestec de clorură și bromură de argint.

Algoritmul rezolvării: pornim de la 34,20 % (100 % - 65,8 % (AgCl) AgBr din 0,0980 g de precipitat și vom calcula masa de AgBr; apoi vom calcula masa de NaBr, ce produce această cantitate de AgBr și în final vom calcula procentul de NaBr din 1,1260 g de probă.

Se calculează $m(\text{AgBr})$, pe baza calculului procentual:

dacă în 100% de precipitat \rightarrow 34,20 % (AgBr),

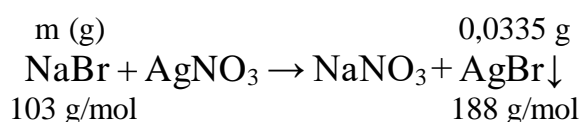
atunci 0,0980 g de precipitat \rightarrow m g (AgBr)

$$m(\text{AgBr}) = \frac{0,0980 \text{ g} \cdot 34,20 \%}{100 \%} = 0,0335 \text{ g}$$

Se calculează $m(\text{NaBr})$, care produce 0,0335 g de AgBr, cu ajutorul calculului stoichiometric (calcul pe baza ecuației chimice):

$$M(\text{AgBr}) = 108 + 80 = 180 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{NaBr}) = 23 + 80 = 103 \text{ g/mol}$$



$$m(\text{NaBr}) = \frac{103 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,0335 \text{ g}}{188 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,0183 \text{ g}$$

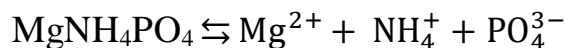
Se calculează conținutul procentual $\omega(\text{NaBr})$ din 1,1260 g de probă:
 dacă în 1,1260 g de probă ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) \rightarrow 0,0183 g (NaBr)
 atunci în 100% probă $\rightarrow \omega(\text{NaBr})$

$$\omega(\text{NaBr}) = \frac{100 \% \cdot 0,0183 \text{ g}}{1,1260 \text{ g}} = 1,625 \%$$

Exemplul 2. Calculați volumul de apă necesar pentru spălarea sedimentului $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ cu masa 0,5 g, pentru ca pierderile de masă la dizolvare să nu depășească 0,05%?

Rezolvare:

Algoritmul rezolvării: se scrie ecuația de disociere a sării și reieșind din produsul de solubilitate se calculează solubilitatea sării (S), care se echivalează cu concentrația molară (C_M), apoi se determină masa sedimentului, care constituie 0,05 % și din formula de calcul a concentrației molare se va determina volumul apei.



– aplicăm relația (8. 6.) pentru MgNH_4PO_4 :

$$S_{\text{Me}_n\text{A}_m} = \sqrt[n+m]{\frac{PS_{\text{Me}_n\text{A}_m}}{n^n \cdot m^m}}$$

$$S(\text{MgNH}_4\text{PO}_4) = \sqrt[3]{PS(\text{MgNH}_4\text{PO}_4)} = \sqrt[3]{2,5 \cdot 10^{-13}} = \sqrt[3]{250 \cdot 10^{-15}} = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

– se calculează masa precipitatului ce constituie 0,05 %:

$$0,5 \text{ g (precipitat) constituie} \rightarrow 100 \%$$

$$m \text{ g (precipitat)} \leftarrow 0,05 \%$$

$$m \text{ g (precipitat)} = \frac{0,5 \text{ g} \cdot 0,05 \%}{100 \%} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

– aplicăm relația (8.6) pentru (2.2) pentru a calcula volumul apei, exprimat în cm^3 :

$$C_M(A) = \frac{m(A)}{V_{\text{sol.}}(A) \cdot M(A)}$$

$$m(A) = \frac{C_M \cdot M \cdot V(\text{H}_2\text{O})}{1000} \Rightarrow$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{precipitat})}{M \cdot C_M} \cdot 1000 \text{ cm}^3 = \frac{2,5 \cdot 10^{-4} \text{ g}}{245 \text{ g/mol} \cdot 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}} \cdot 1000 \text{ cm}^3 =$$

$$= 0,001619 \cdot 10^1 \text{ L} = 16,19 \text{ mL}$$

Probleme propuse:

- 2.1.1. La analiza alamei dintr-o probă de 0,65 g s-au obținut sedimentele: ZnNH_4PO_4 cu masa 0,52 g și PbSO_4 cu masa 0,0029 g. Calculați conținutul procentual a Zn, Pb și Cu în probă, dacă ea nu conține alte părți componente.
- 2.1.2. Care a fost masa probei de apatită, ce conținea 14,5 % fosfor, dacă după prelucrarea ei s-au obținut 0,99 g $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$?
- 2.1.3. La analiza unei probe tehnice de $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ cu masa 0,29 g s-au obținut 0,284 g dimetilglioximat de nichel $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4\text{Ni}$. De calculat $\omega(\text{Ni})$ în probă.
- 2.1.4. La prelucrarea unei probe de calcar cu masa 0,521 g s-au obținut 0,222 g CaO și 0,0146 g $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Calculați $\omega(\text{CaCO}_3)$ și $\omega(\text{MgCO}_3)$ în probă.
- 2.1.5. Calculați $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$, dacă dintr-o probă de făină de oase cu masa 0,1563 g s-au obținut 0,498 g $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$.
- 2.1.6. Să se calculeze $\omega(\text{Ti}_2\text{SO}_4)$ în probă, dacă la tratarea a 9,75 g de rodenticid (pesticid) cu exces soluție KI s-au obținut 0,186 g iodură de taliiu.
- 2.1.7. Oxalatul de calciu cu masa 0,15 g a fost spălat cu 150 cm³ de apă distilată. Ce parte de masă (ω) a sedimentului a fost spălată?
- 2.1.8. Ce volum soluție oxalat de amoniu 0,5 N este necesară pentru sedimentarea cantitativă a calciului din soluția obținută la dizolvarea unui gram de cretă ce conține 25% impurități?
- 2.1.9. 0,4258 g sulfat de bariu a fost spălat cu 200 cm³ de apă. Ce masă de substanță a trecut în soluție?
- 2.1.10. Determinați conținutul clorului (ω) în proba cu masa 2,0 g NaCl (tehn.), dacă la prelucrarea ei cu exces soluție AgNO_3 s-au obținut 4,688 g sediment.
- 2.1.11. Calculați conținutul $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ în proba cu masa 0,2648 g, dacă la prelucrarea ei s-au folosit 25 cm³ soluție H_2SO_4 de 0,19 N.
- 2.1.12. O probă de pirită cu masa 0,56 g, ce conținea 30% de sulf a fost dizolvată cu acid azotic într-un balon cotat de 200 cm³. Ce volum de această soluție este necesar de luat la analiză pentru a obține 0,30 g sulfat de bariu?
- 2.1.13. O probă de fosforită, ce conținea 20% P_2O_5 s-a dizolvat într-un balon cotat de 100 cm³. Analizând 20 cm³ de soluție s-au obținut 0,30 g $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Calculați m_o .
- 2.1.14. Ce volum soluție 0,5 N de Na_2HPO_4 este necesar pentru sedimentarea magneziului sub formă de MgNH_4PO_4 din 0,50 g aliaj ce conține 90 % magneziu?
- 2.1.15. Ce masă de dimetilsulfat $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{SO}_2$ luată în exces de 3 ori este necesară pentru sedimentarea bariului din soluția ce conține 0,20 g $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$?
- 2.1.16. La analiza probei de criolită cu masa 0,4525 g s-au obținut 0,0809 g Al_2O_3 . Calculați $\omega(\text{Na}_3\text{AlF}_6)$ în proba supusă analizei.
- 2.1.17. La prelucrarea a 2,7 g aliaj s-au obținut sedimentele Al_2O_3 cu masa 0,21 g și SiO_2 0,0518 g. De calculat $\omega(\text{Al})$ și $\omega(\text{Si})$ în aliaj.
- 2.1.18. De calculat $\omega(\text{FeO})$ și $\omega(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ în proba de minereu cu masa 0,92 g, dacă după analiză s-au obținut 0,2455 g Fe_2O_3 .

- 2.1.19. Calculați $\omega(\text{Ag})$ în aliajul cu masa 0,246 g, dacă după prelucrare s-au obținut 0,2675 g AgCl .
- 2.1.20. Dintr-o probă de ciment cu masa 1,5 g s-au obținut 0,2105 g $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Calculați $\omega(\text{MgO})$ în probă.
- 2.1.21. La prelucrarea a 5,0 g de aliaj s-a obținut $\text{ZnHg}(\text{SCN})_4$ cu masa 0,5022 g, $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7 - 0,1255$ g și SnO_2 cu masa 0,056 g. De calculat $\omega(\text{Zn})$, $\omega(\text{Mg})$, $\omega(\text{Sn})$ în aliaj.
- 2.1.22. Determinați $\omega(\text{MgO})$ în probă după călire, dacă până la călire proba era alcătuită din 36 % MgCO_3 , 51 % $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 10 % H_2O și 3 % SiO_2 .
- 2.1.23. O probă de silvinită cu masa 5,0 g a fost dizolvată într-un balon cotat de 500 cm^3 . Din 10 cm^3 de această soluție, după analiză s-au obținut 0,1948 g de tetrafenilborat de potasiu $\text{KB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$. De calculat $\omega(\text{KCl})$ în proba uscată și umedă, dacă ea conținea 2,5 % umiditate.
- 2.1.24. O substanță organică cu masa 0,4004 g a fost călită și cenușa dizolvată într-un balon cotat de 200 cm^3 . Din 20 cm^3 soluție pregătită s-au obținut 0,1982 g $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$. Determinați $\omega(\text{P})$ în proba analizată.
- 2.1.25. Determinați conținutul procentual al MgCO_3 , dacă dintr-o probă de magnezită cu masa 1,5495 g după prelucrare s-a obținut 1,3982 g $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$.
- 2.1.26. Aflați formula empirică a mineralului, dacă în rezultatul analizei dintr-o probă cu masa 0,35 g s-au obținut 0,1392 g CuO , 0,1397 g Fe_2O_3 și 0,8169 g BaSO_4 .
- 2.1.27. Dintr-o probă de oxid de cupru cu masa 0,12 g s-au obținut 0,5901 g oxichinolinat de cupru $\text{Cu}(\text{C}_9\text{H}_6\text{ON})_2$. Determinați formula moleculară a oxidului de cupru.
- 2.1.28. Dintr-o probă de minereu cu masa 1,5 g s-au obținut 0,1322 g amestec de NaCl și KCl . Din acest amestec s-au sedimentat 0,1022 g KClO_4 . Calculați $\omega(\text{Na}_2\text{O})$ și $\omega(\text{K}_2\text{O})$ în minereu.
- 2.1.29. La determinarea conținutului procentual al argintului în AgNO_3 (chimic pur) s-a stabilit un conținut de 63,35%. Determinați randamentul (η) și eroarea relativă (ε) a analizei.
- 2.1.30. O probă de cărbune de piatră cu masa 1,0 g a fost uscată până la o masă constantă de 0,9678 g. Din această probă, după analiză s-au obținut 0,2531 g BaSO_4 . Determinați conținutul procentual al apei și al sulfului în proba umedă și uscată.
- 2.1.31. Ionul de bariu (Ba^{2+}) a fost determinat gravimetric ca sulfat de bariu (BaSO_4). Care a fost masa probei luată în analiză, dacă fiecare miligram de sulfat de bariu reprezintă 0,50% bariu din probă?
- 2.1.32. O probă de azotat de magneziu este impurificată cantitativ cu bromură de sodiu și clorură de sodiu. Soluția obținută prin dizolvarea unei cantități de 1,1260 g din această probă a fost tratată cu o soluție de azotat de argint. S-au obținut 0,0980 g de precipitat, care la analiză, s-a constatat că are un conținut de 65,80% de clorură de argint. Care este conținutul procentual de NaBr din proba analizată?
- 2.1.33. Ce cantitate de aliaj care conține 10,85% aluminiu se va lua pentru analiza aluminiului, știind că acesta se determină gravimetric, prin precipitare ca hidroxid de aluminiu și calcinare la oxid de aluminiu?

Metoda titrimetrică (volumetrică) de analiză

Considerații teoretice

În analiza volumetrică substanța de analizat se determină cantitativ prin măsurarea exactă a volumului soluției de titrant cu concentrația bine stabilită, ce interacționează cu un anumit volum de soluție a substanței de analizat. Procesul de adăugare lentă (cu picătura) a soluției titrantului la soluția substanței concentrația căreia trebuie determinată se numește titrare.

Titration decurge până la atingerea punctului de echivalență, adică până când substanțele interacționează complet sau în cantități echivalente. Prin această metodă pot fi dozate atât soluțiile de acizi, baze cât și unele săruri ce hidrolizează după cation sau anion, unii reducători (când în calitate de titrant se folosesc soluțiile de KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – metoda redox), determinarea durtății apei ș.a.

$C_M(A) = \frac{m(A)}{V_{sol.}(A) \cdot M(A)}$	- concentrația molară a substanței dizolvate (mol/L)
$C_N(A) = \frac{m(A)}{M\left(\frac{1}{Z}A\right) \cdot V_{sol.}(l)}$	- concentrația molară a echivalentului substanței dizolvate (mol·echiv./L)
$C\left(\frac{1}{Z}A\right) = \frac{n\left(\frac{1}{Z}A\right)}{V_{sol.}(A)}$	- concentrația molară a echivalentului substanței dizolvate (mol·echiv./L)
$n_\varepsilon = \frac{m(A)}{M_\varepsilon(A)}$	- cantitatea de substanță (mol·echiv.)
$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$	- legea echivalențelor
$T_A = \frac{m(A)}{V(ml)}$	- titrul substanței dizolvate (g/cm^3)
$T_A = \frac{C_N(A) \cdot M\left(\frac{1}{Z}A\right)}{1000}$	- titrul substanței dizolvate (g/cm^3)
$T_{A/B} = \frac{C_N(A) \cdot M\left(\frac{1}{Z}B\right)}{1000}$	- titrul substanței unei substanțe analizate față de altă substanță (g/cm^3)
$\varepsilon(A) = \frac{\Delta m(A)}{m_{tot}} \cdot 100\%$	- eroarea relativă a analizei (determinării substanței)
$\omega(A) = \frac{m(A)}{m_{sol.}} \cdot 100\%$	- conținutul procentual (partea de masă) a componentului analizat
$\omega(A) = \frac{V(A)}{V_0} \cdot 100\%$	- conținutul procentual (partea de volum) a componentului analizat

2.2. Probleme de calcul în analiza volumetrică. Metoda de neutralizare

Considerații teoretice

Analizele prin metoda de neutralizare sunt bazate pe reacții cu transfer de protoni și permite determinarea acizilor folosind ca titrant o bază corespunzătoare (alcalimetria), cât și determinarea bazelor, folosind ca titrant un acid corespunzător (acidimetria).

Determinarea speciilor cu caracter acid (acizi tari, acizi slabi, săruri cu hidroliză acidă) este posibilă prin titrare cu soluția unei baze tari: NaOH sau KOH. Soluția de NaOH sau KOH trebuie să fie lipsită de carbonat, deoarece la titrarea acizilor, acidul carbonic care rezultă poate influența schimbarea de culoare a indicatorilor cu intervalul de viraj în domeniul alcalin. Stabilirea chimică a punctului de echivalență în titrimetria acido-bazică se bazează pe utilizarea indicatorilor acido-bazici (de pH, fenolftaleina, metiloranjul).

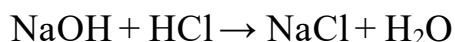
În titrările prin neutralizare, indicatorul adăugat în soluție trebuie să-și schimbe culoarea cât mai aproape de punctul de echivalență, respectiv de pH-ul de echivalență. La neutralizarea acizilor slabi cu baze tari se vor folosi indicatori care virează în mediu alcalin, deoarece sarea care rezultă la punctul de echivalență are hidroliză alcalină, iar la neutralizarea unei baze slabe cu un acid tare se vor folosi numai indicatori care virează în mediu acid, deoarece sarea care rezultă la punctul de echivalență are hidroliză acidă. La neutralizarea unui acid tare cu o bază tare și invers se vor folosi indicatori care funcționează la valori ale pH-ului cât mai aproape de pH-ul neutru, deoarece la punctul de echivalență rezultă o sare care nu hidrolizează.

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. O probă de hidroxid de sodiu tehnic cu masa 0,8682 g a fost dizolvată într-un balon cotat 100 cm³. Pentru titrarea unei părți alicote de 10,0 cm³ soluție preperată sau consumat 18,20 cm³ soluție acid clorhidric cu concentrația 0,1165 mol/L. Determinați conținutul (%) a hidroxidului de sodiu în proba analizată.

Rezolvare:

- se scrie ecuația reacției de neutralizare:



- în baza legii echivalențelor se calculează concentrația molară a echivalentului soluției NaOH (deoarece în cazul HCl și NaOH factorul de echivalență $f = 1$, atunci $C_M = C_N$):

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$C_N(\text{NaOH}) = \frac{C_N(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{V(\text{NaOH})} = \frac{0,1165 \text{ mol/L} \cdot 18,2 \text{ cm}^3}{10 \text{ cm}^3} = 0,212 \text{ mol} \cdot \text{echiv./L}$$

- se calculează masa NaOH ce se conține în 100 cm³ soluție pregătită:

$$C_N(A) = \frac{m(A)}{M\left(\frac{1}{Z}A\right) \cdot V_{\text{sol.}}(l)}$$

$$m(\text{NaOH}) = C_N \cdot M_\varepsilon \cdot V(\text{L}) = 0,212 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}/\text{L} \cdot 40 \text{ g/mol} \cdot \text{echiv.} \cdot 0,1 \text{ L} = 0,848 \text{ g}$$

- se calculează conținutul (%) sau puritatea NaOH în proba tehnică analizată:

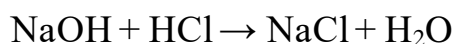
$$\omega(\text{A}) = \frac{m(\text{A})}{m_0} \cdot 100\%$$

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m_0} \cdot 100\% = \frac{0,848 \text{ g}}{0,8682 \text{ g}} \cdot 100\% = 97,69 \%$$

Exemplul 2. O probă de acid oxalic (cristalohidrat $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) cu masa 0,50 g a fost tratată cu 25,0 cm³ soluție hidroxid de sodiu. Pentru titrarea excesului de alcaliu s-au consumat 10,50 cm³ soluție de acid clorhidric cu concentrația molară a echivalentului 0,125 mol/L. Să se calculeze concentrația molară a echivalentului și titrul soluției NaOH.

Rezolvare:

- scriem ecuațiile reacțiilor de neutralizare:



- se calculează cantitatea de substanță (v) pentru acidul oxalic:

$$n_\varepsilon = \frac{m(\text{A})}{M_\varepsilon(\text{A})}$$

$$n_\varepsilon(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,5 \text{ g}}{\frac{1}{2} \cdot 126 \text{ g/mol} \cdot \text{echiv.}} = 0,0079 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}$$

- se calculează cantitatea de substanță (v) pentru NaOH, care s-a folosit pentru neutralizarea acidului oxalic:

Se remarcă: din reacția de neutralizare constatăm că raportul de echivalență este 1 : 2, atunci cantitatea de substanță (n_ε) pentru NaOH va fi de două ori mai mare comparativ cu a acidului oxalic.

$$n_\varepsilon(\text{NaOH}) = 2 \cdot n_\varepsilon(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,0079 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}/\text{L} = 0,0158 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}$$

- se calculează cantitatea de substanță (n_ε) pentru acidul clorhidric, care s-a folosit pentru neutralizarea excesului de alcaliu:

$$C\left(\frac{1}{z} \text{A}\right) = \frac{n\left(\frac{1}{z} \text{A}\right)}{V_{\text{sol.}}(\text{A})}$$

$$n_\varepsilon(\text{HCl}) = C_N \cdot V_{\text{sol.}}(\text{HCl}) = 0,125 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}/\text{L} \cdot 0,0105 \text{ L} = 0,0013 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}$$

- se calculează cantitatea de substanță (n_ε) a excesului de soluție NaOH, care a fost neutralizată cu acidul clorhidric:

Se remarcă: din reacția de neutralizare constatăm că raportul de echivalență este 1 : 1, atunci cantitatea de substanță (n_ε) pentru NaOH va fi egală cu a acidului clorhidric.

$$n_\varepsilon(\text{NaOH}) = n_\varepsilon(\text{HCl}) = 0,0013 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}$$

- se calculează cantitatea de substanță totală (n_ε) de soluție NaOH, care s-a folosit la neutralizarea acidului oxalic și a acidului clorhidric:

$$n_\varepsilon(\text{NaOH})_{\text{tot}} = 0,0158 \text{ mol} \cdot \text{echiv.} + 0,0013 \text{ mol} \cdot \text{echiv.} = 0,0171 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}$$

- se calculează concentrația molară a echivalentului soluției NaOH:

$$C\left(\frac{1}{z}A\right) = \frac{n\left(\frac{1}{z}A\right)}{V_{\text{sol.}}(A)}$$

$$C_N(\text{NaOH}) = \frac{0,0171 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}}{0,025 \text{ L}} = 0,684 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}/\text{L}$$

- se calculează titrul soluției NaOH:

$$T_A = \frac{C_N(A) \cdot M\left(\frac{1}{z}A\right)}{1000}$$

$$T_{\text{NaOH}} = \frac{C_N \cdot M_\varepsilon}{1000} = \frac{0,684 \text{ mol} \cdot \text{echiv.}/\text{L} \cdot 40 \text{ g/mol} \cdot \text{echiv.}}{1000} = 0,0274 \text{ g/cm}^3$$

Probleme propuse:

- 2.2.1. Ce volum de apă trebuie de adăugat la 725 cm³ soluție KOH de 0,226 M, pentru a primi o soluție de 0,20 M?
- 2.2.2. Pentru neutralizarea a 25 cm³ soluție H₂SO₄ s-au consumat 22,4 cm³ soluție NaOH 0,152 M. Calculați masa acidului ce se conține într-un litru de soluție.
- 2.2.3. Determinați T(HCl/Ag), dacă a titrarea a 0,0341 g AgNO₃ s-au folosit 20,0 cm³ soluție HCl.
- 2.2.4. De calculat T(HCl) și T(HCl/Na₂CO₃), dacă la titrarea unei probe de Na₂CO₃ (ch. p.) cu masa de 0,1546 g s-au consumat 20,45 cm³ soluție HCl.
- 2.2.5. Pentru a analiza 1,025 g H₂C₂O₄·2H₂O (ch. p.) s-au folosit 24,1 cm³ soluție KOH. Calculați T(NaOH) și T(NaOH/H₂C₂O₄·2H₂O).
- 2.2.6. Pentru titrarea a 20,0 cm³ soluție HNO₃ se necesită 22,0 cm³ soluție NaOH cu T=0,0993g/cm³. Determinați masa acidului în 150 cm³ soluție și T(HNO₃/NaOH).
- 2.2.7. La neutralizarea a 19,5 cm³ soluție NaOH s-au consumat 20,0 cm³ soluție HNO₃ cu T(HNO₃/Ag)=0,0018 g/cm³. Ce masă de NaOH se conține în 800 cm³ soluție?
- 2.2.8. O soluție de acid azotic cu masa 9,777g s-a diluat până la 1 L. La titrarea a 22,45 cm³ soluție NaOH 0,104 M s-au consumat 26,0 cm³ soluție pregătită. Determinați ω(HNO₃).

- 2.2.9. O probă cu masa 1,4512 g H_2SO_4 a fost dizolvată într-un balon cotat de 250 cm^3 . La titrarea a 20,0 cm^3 soluție pregătită s-au consumat 21,0 cm^3 soluție NaOH 0,105 M. Calculați $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ în probă.
- 2.2.10. O probă de calcar cu masa 0,7524 g s-a prelucrat cu 100 cm^3 soluție HCl 0,1 M. Excesul de acid s-a titrat cu 20,0 cm^3 soluție NaOH cu $T=0,0042 \text{ g/cm}^3$. Calculați $\omega(\text{CaO})$ în calcar.
- 2.2.11. O probă care conținea Mg s-a dizolvat în 50 cm^3 soluție HCl 0,52 M. Excesul de acid s-a titrat cu 15,0 cm^3 soluție KOH 0,201 M. Calculați masa magneziului în probă.
- 2.2.12. Calculați $\omega(\text{KOH})$ în proba cu masa 1,2 g, dacă la neutralizarea ei s-au consumat 40,2 cm^3 soluție HCl cu $T(\text{HCl}/\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,0265 \text{ g/cm}^3$.
- 2.2.13. O probă de $\text{Ba}(\text{OH})_2$ a fost dizolvată într-un balon cotat de 250 cm^3 . La titrarea a 25,0 cm^3 de această soluție s-au consumat 23,0 cm^3 soluție HNO_3 0,0091 M. Calculați masa probei.
- 2.2.14. Calculați $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ în probă, dacă la titrarea a 0,224 g Na_2CO_3 s-au consumat 18,0 cm^3 soluție H_2SO_4 cu $T=0,0049 \text{ g/ml}$.
- 2.2.15. Ce masă de KOH se conține în 10 cm^3 și 150 cm^3 soluție, dacă $T=0,00412 \text{ g/cm}^3$?
- 2.2.16. De calculat masa acidului etanoic, dizolvat într-un balon cotat de 250 cm^3 , dacă la titrarea a 25,0 cm^3 soluție pregătită s-au consumat 20,5 ml soluție NaOH de 0,1145 M.
- 2.2.17. La 550 cm^3 soluție HCl 0,1925 mol/L s-au adăugat 50,0 cm^3 soluție HCl cu $T=0,0237 \text{ g/cm}^3$. Calculați C_M și T soluției obținute.
- 2.2.18. Până la ce volum trebuie de diluat soluția în care se găsesc 1,532 g NaOH, pentru ca la titrarea a 20,0 cm^3 de această soluție să se folosească 14,7 cm^3 soluție HCl cu $T=0,0038 \text{ g/cm}^3$?
- 2.2.19. La titrarea soluției obținute din acid oxalic cu masa 0,1371 g s-au consumat 22,1 cm^3 soluție NaOH 0,09842 M. Câte molecule de apă de cristalizare conține acidul din proba analizată?
- 2.2.20. Proba sării de amoniu cu masa 1,0 g s-a prelucrat cu exces soluție NaOH (conc.). Amoniacul care s-a eliminat a absorbit 50,0 cm^3 soluție HCl de 1,072 M, iar excesul de acid a fost neutralizat cu 25,4 cm^3 soluție NaOH cu $T=0,00412 \text{ g/cm}^3$. Calculați $\omega(\text{NH}_3)$ în probă.
- 2.2.21. Calculați $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ în proba tehnică, dacă 1,25 g au fost dizolvate într-un balon cotat de 250 cm^3 . La titrarea a 25,0 cm^3 de această soluție s-a folosit 22,5 cm^3 soluție 0,1 N HCl.
- 2.2.22. Determinați $\omega(\text{CaCO}_3)$ în calcar, dacă 0,2 g au fost dizolvate (la t°) în 50 cm^3 soluție 0,1 N HCl. La titrarea excesului de HCl în soluția obținută s-au folosit 12,0 cm^3 soluție 0,1 N NaOH.
- 2.2.23. O probă de aliaj ce conținea argint, cu masa 1,9788 g a fost dizolvată în acid azotic și volumul adus până la 250 cm^3 . La titrarea a 25,0 cm^3 de această soluție s-au folosit 27,2 cm^3 soluție 0,0529 N de NH_4SCN . Determinați conținutul argintului (%) în probă.

2.2.24. O probă de silitră amoniacală cu masa 2,6856 g a fost dizolvată și la soluția obținută s-a adăugat soluție NaOH în exces. La fierberea îndelungată a soluției s-a eliminat un gaz, care a fost barbotat prin soluția HCl cu volumul 200 cm³ și concentrația molară a echivalentului 0,175 mol/L. După barbotare, la titrarea soluției de HCl s-au consumat 19,0 cm³ soluție NaOH cu concentrația molară a echivalentului 0,21 mol/L. Calculați conținutul (%) azotatului de amoniu în proba analizată.

2.3. Probleme de calcul în analiza volumetrică. Metoda redox

Considerații teoretice

Metodele de analiză prin titrimetria de oxido-reducere sunt utilizate la determinarea substanțelor anorganice, ale căror elemente posedă mai multe stări de oxidare cât și a unor grupări funcționale organice. Aceste metode de analiză sunt bazate pe reacții redox și utilizează atât titranți oxidanți, cât și titranți reducători.

Capacitatea de aplicare a unei reacții redox în analiza titrimetrică este condiționată de felul în care aceasta îndeplinește următoarele condiții: reacția este totală (constantă de echilibru are o valoare foarte mare), reacția decurge cu viteză mare și se poate stabili cu ușurință punctul de echivalență.

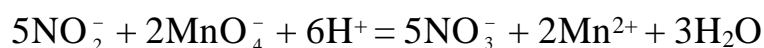
Stabilirea punctului de echivalență se poate realiza prin autoindicare (decolorarea sau colorarea soluției oxidantului sau reducătorului) sau folosind indicatori redox.

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. O probă de 5,0 g de azotat de sodiu tehnic, impurificat cu azotit de sodiu se dizolvă într-un balon cotat de 250 cm³. O parte alicotă de 10,0 cm³ se tratează cu soluție de acid sulfuric și apoi se titrează cu 15,0 cm³ soluție de permanganat de potasiu cu concentrația 0,01 N. Calculați masa de azotat de sodiu și masa de azotit de sodiu din probă și puritatea probei.

Rezolvare:

- permanganatometria, este o metodă de analiză volumetrică (titrimetrică), în care titrantul este soluția de KMnO₄ în mediu puternic acid, când ionul MnO₄⁻ (culoarea roz-violetă) acceptă 5e și trece în ionul Mn²⁺ (incolor). Titrarea cu soluția de KMnO₄ se folosește în practica de laborator pentru analiza cantitativă a substanțelor care au caracter reducător.
- se scrie reacția redox dintre azotitul de sodiu și permanganat în mediu acid – forma redusă:



- se calculează cantitatea de substanță (n_ε) de permanganat de potasiu, din 15 cm³ soluție de permanganat de potasiu 0,01 N, consumați la titrare:

$$\text{în } 1000 \text{ cm}^3 \text{ sol.} \rightarrow 0,01 \text{ mol} \cdot \text{echiv. (KMnO}_4\text{)}$$

$$\text{iar în } 15 \text{ cm}^3 \rightarrow n_\varepsilon(\text{KMnO}_4)$$

$$n_\varepsilon(\text{KMnO}_4) = \frac{15 \text{ cm}^3 \cdot 0,01 \text{ mol}}{1000 \text{ cm}^3} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{echiv.}$$

- se calculează pe baza reacției numărul de mol·echiv. de azotit din 10,0 cm³, ce reacționează cu 1,5 · 10⁻⁴ mol·echiv. KMnO₄:

Se remarcă: 5 mol·echiv. NaNO₂ reacționează cu 2 mol·echiv. KMnO₄

atunci n_{ε} mol·echiv. NaNO₂ vor reacționa cu 1,5 · 10⁻⁴ mol·echiv. KMnO₄

$$n_{\varepsilon}(\text{NaNO}_2) = \frac{5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}{2} = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ mol·echiv.}$$

- se calculează numărul total de mol·echiv. de azotit din balonul cotat de 250 cm³:
dacă în 10,0 cm³ soluție se conțin 3,75 · 10⁻⁴ mol·echiv. NaNO₂

atunci în 250 cm³ se conțin $n_{\varepsilon_{tot}}$ mol·echiv. (NaNO₂)

$$n_{\varepsilon_{tot}}(\text{NaNO}_2) = \frac{250 \text{ cm}^3 \cdot 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{10 \text{ cm}^3} = 9,375 \cdot 10^{-3} \text{ mol·echiv.}$$

- se calculează masa de azotit de sodiu, reșind din: $n_{\varepsilon} = \frac{m(A)}{M_{\varepsilon}(A)}$

$$m(\text{NaNO}_2) = n_{\varepsilon_{tot}} \cdot M_{\varepsilon}(\text{NaNO}_2) = 9,375 \cdot 10^{-3} \text{ mol·echiv.} \cdot 69 \text{ g/mol·echiv.} = 0,647 \text{ g}$$

- se calculează masa de azotat de sodiu din din proba de 5,0 g impură:

$$m(\text{NaNO}_3) = 5,0 \text{ g} - m(\text{NaNO}_2) \text{ (impuritate)} = 5,0 - 0,647 = 4,353 \text{ g}$$

- se calculează puritatea sau conținutul (%) a NaNO₃ în probă:

$$\omega(A) = \frac{m(A)}{m_0} \cdot 100 \%$$

$$\omega(\text{NaNO}_3) = \frac{4,353 \text{ g}}{5,0 \text{ g}} \cdot 100 \% = 87,06 \%$$

Exemplul 2. Un recipient care conținea FeSO₄ a fost lăsat deschis. Pentru a stabili conținutul de FeSO₄ se cântărește o probă de 1,0 g care se aduce în soluție, în mediu acid. Pentru oxidarea întregii cantități de Fe²⁺, se consumă 10,0 mL soluție de KMnO₄ 0,1 N. Calculează conținutul procentual (%) de FeSO₄ din recipient.

Rezolvare:

Între FeSO₄ și KMnO₄, în mediu acid - H₂SO₄ are loc o reacție chimică redox:



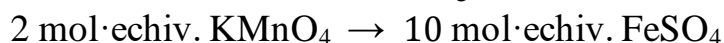
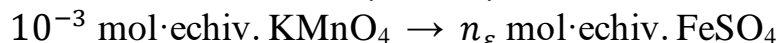
Algoritmul rezolvării: calculăm numărul de mol·echiv. de KMnO₄ ce se conțin în 10 mL soluție 0,1 N, care consumă un număr de mol·echiv de FeSO₄ și apoi masa acestora (g). În final calculăm conținutul procentual de FeSO₄ din 1,0 g de probă.

- calculăm n_{ε} mol·echiv. KMnO₄ din 10 mL soluție cu $C_M = 0,1 \text{ M}$

$$C\left(\frac{1}{Z}A\right) = \frac{n\left(\frac{1}{Z}A\right)}{V_{sol.}(A)}$$

$$n_{\varepsilon}(\text{KMnO}_4) = C_N \cdot V_{sol.} = 0,1 \text{ mol·echiv./L} \cdot 0,01 \text{ L} = 10^{-3} \text{ mol·echiv.}$$

- calculăm n_{ε} mol·echiv. FeSO_4 consumat cu 10^{-3} mol·echiv. KMnO_4 , cu un calcul stoechiometric conform ecuației reacției chimice:



$$n_{\varepsilon}(\text{FeSO}_4) = \frac{10^{-3} \cdot 10}{2} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol·echiv.}$$

- masa de FeSO_4 (g) ce se conține în $5 \cdot 10^{-3}$ mol·echiv. se calculează astfel:

$$m(\text{FeSO}_4) = n_{\varepsilon}(\text{FeSO}_4) \cdot M_{\varepsilon}(\text{FeSO}_4) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol·echiv.} \cdot \frac{1}{1} 152 \text{ g/mol·echiv.} = 0,76 \text{ g}$$

- calculăm conținutul procentual de FeSO_4 în probă:

$$\omega(A) = \frac{m(A)}{m_0} \cdot 100 \%$$

$$\omega(\text{FeSO}_4) = \frac{0,76 \text{ g}}{1,0 \text{ g}} \cdot 100 \% = 76 \%$$

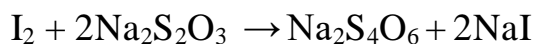
Exemplul 3. La soluția $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ s-a adăugat exces soluție KI. Iodul ce s-a eliminat a fost titrat cu $48,8 \text{ cm}^3$ soluție $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ cu concentrația $0,1\text{N}$. Ce masă de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a fost dizolvată în soluția analizată?

Rezolvare:

Între $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ și KI, în mediu acid - H_2SO_4 decurge o reacție chimică redox:



Iodul molecular ce s-a eliminat în prima reacție a fost titrat cu soluția tiosulfat de sodiu conform reacției:



- calculăm cantitatea de substanță tiosulfat de sodiu folosită la titrarea iodului eliminat:

$$n_{\varepsilon}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = C_N \cdot V_{\text{sol.}}(\text{L}) = 0,1 \text{ mol·echiv./L} \cdot 0,0488 \text{ L} = 0,00488 \text{ mol·echiv.}$$

- conform reacției a doua raportul molar dintre iod și tiosulfat de sodiu este 1:2, atunci cantitatea de substanță de va fi egală cu:

$$n_{\varepsilon}(\text{I}_2) = \frac{n_{\varepsilon}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{2} = \frac{0,00488 \text{ mol·echiv.}}{2} = 0,00244 \text{ mol·echiv.}$$

- reieșind din condiția problemei această cantitate de iod s-a eliminat în prima reacție, unde raportul molar dintre bicromatul de sodiu și iod este 1:3, atunci cantitatea de substanță de bicromatul de sodiu va fi egală cu:

$$n_{\varepsilon}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{n_{\varepsilon}(\text{I}_2)}{3} = \frac{0,00244 \text{ mol·echiv.}}{3} = 0,000813 \text{ mol·echiv.}$$

- calculăm masa bicromatului de sodiu reieșind din această cantitate de substanță:

$$n_{\varepsilon} = \frac{m}{M_{\varepsilon}}, \text{ masa molară echivalentă a bicromatului de sodiu se calculează reieșind}$$

din ecuația redox în mediu acid, unde numărul de echivalență (z) a bicromatului de

sodiu $z = 6$ (6 \bar{e} adionați), $M_{\varepsilon}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{1}{6} 294 = 49 \text{ g/mol}\cdot\text{echiv.}$, atunci masa este egală cu:

$$m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = n_{\varepsilon} \cdot M_{\varepsilon} = 0,000831 \text{ mol}\cdot\text{echiv.} \cdot 49 \text{ g/mol}\cdot\text{echiv.} = 0,0398 \text{ g}$$

Probleme propuse:

- 2.3.1. Calculați $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_3)$ în sulfitul de sodiu tehnic cu masa 0,145 g, dacă la analiza acestei probe s-au folosit 20,2 cm³ soluție de iod cu concentrația 0,1 N.
 - 2.3.2. Bicromatul de potasiu cu masa 0,1224 g a eliminat din soluția KI o cantitate de iod la titrarea căruia s-au folosit 24,5 cm³ soluție $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Determinați $C_N(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ și $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{I}_2)$.
 - 2.3.3. La 25,0 cm³ soluție ce conținea H_2S s-a adăugat 50,0 cm³ soluție de iod cu concentrația 0,0196 N, după care excesul de iod s-a titrat cu 11,0 cm³ soluție Na_2SO_3 cu concentrația 0,0204 N. Determinați conținutul H_2S în probă.
 - 2.3.4. La 25,0 cm³ soluție $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ s-a adăugat exces soluție KI și H_2SO_4 . La titrarea iodului eliminat s-au consumat 30,0 cm³ soluție $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ cu concentrația 0,1 N. Determinați conținutul în g/L de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
 - 2.3.5. Ce masă de clor conținea soluția NH_4Cl , dacă pentru titrarea ei s-au consumat 30,0 cm³ soluție AgNO_3 cu $T(\text{AgNO}_3/\text{Cl}) = 0,003512 \text{ g/cm}^3$?
 - 2.3.6. Ce masă de BaCl_2 se conținea în 250 cm³ soluție, dacă după analiza unei părți alicote de 25,0 cm³ cu 40,0 cm³ soluție AgNO_3 cu concentrația 0,102 N, necesară pentru titrarea inversă, s-au consumat 15,0 cm³ soluție NH_4SCN cu concentrația 0,098 N?
 - 2.3.7. În 250 cm³ soluție sunt dizolvate 2,3804 g KCl. La titrarea a 20,0 cm³ soluție s-au folosit 18,25 cm³ soluție AgNO_3 . Determinați concentrația molară a echivalentului soluției AgNO_3 .
 - 2.3.8. Calculați volumul apei ce trebuie adăugat la 500 cm³ soluție AgNO_3 cu concentrația 0,125 N pentru a obține o soluție AgNO_3 de 0,1 N.
 - 2.3.9. Determinați C_N și T bromurii de potasiu, dacă la titrarea a 25,0 cm³ de această soluție s-au folosit 21,5 cm³ soluție AgNO_3 cu concentrația 0,1 N, iar la titrarea indirectă a AgNO_3 ce n-a reacționat cu KBr, s-au consumat 19,0 cm³ soluție NH_4SCN cu concentrația 0,05 N.
 - 2.3.10. În 200 cm³ soluție AgNO_3 se conțin 2,0 g sare dizolvată. Ce trebuie de făcut pentru a obține o soluție de 0,1 N?
 - 2.3.11. Ce masă de KMnO_4 este necesară pentru a prepara:
 - a) 500 cm³ soluție de 0,05 N;
 - b) 500 cm³ soluție cu $T(\text{KMnO}_4/\text{Fe}) = 0,005932 \text{ g/cm}^3$;
 - c) 250 cm³ soluție cu $T(\text{KMnO}_4/\text{CaO}) = 0,005246 \text{ g/cm}^3$?
- În toate cazurile se presupune titrarea în mediu acid.
- 2.3.12. Într-un balon cotat de 500 cm³ s-au dizolvat 1,875 g KMnO_4 . Determinați C_N și T acestei soluții pentru reacția: a) în mediu acid; b) în mediu bazic.

- 2.3.13. Calculați $\omega(\text{FeSO}_4)$ în $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (tehn.), dacă la analiza unei probe cu masa 0,577 g s-au folosit la titrare 19,34 cm³ soluție KMnO_4 cu titrul 0,0031 g/cm³.
- 2.3.14. La analiza unei probe de acid oxalic ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) cu masa 0,2145 g s-au folosit la titrare 95,45 cm³ soluție KMnO_4 . Calculați $T(\text{KMnO}_4/\text{Fe})$.
- 2.3.15. Până la ce volum este necesar de diluat soluția $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($f(\text{ech.}) = \frac{1}{6}$) cu volumul 500 cm³ și concentrația 0,1 N, pentru a obține:
- o soluție cu $T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,003922 \text{ g/cm}^3$;
 - o soluție cu $T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe}) = 0,005 \text{ g/cm}^3$?
- 2.3.16. Ce masă de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ este necesară pentru a prepara:
- 500 cm³ soluție de 0,02 N;
 - 200 cm³ soluție cu $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{I}_2) = 0,006432 \text{ g/cm}^3$;
 - 250 cm³ soluție cu $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{Cu}) = 0,001345 \text{ g/cm}^3$?
- 2.3.17. La titrarea a 20,0 cm³ soluție FeSO_4 în prezența acidului sulfuric s-au folosit 22,5 cm³ soluție $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($f(\text{ech.}) = \frac{1}{6}$) cu concentrația 0,1 N. Ce volum de apă este necesar de adăugat la 200 cm³ soluție FeSO_4 , pentru a obține o soluție cu concentrația 0,05 N ($f(\text{ech.}) = 1$)?
- 2.3.18. Ce masă de $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ trebuie de dizolvat într-un balon cotat de 500 cm³, pentru ca la titrarea a 25,0 cm³ soluție pregătită să se folosească 20,25 cm³ soluție KMnO_4 cu concentrația 3,28 g/cm³?
- 2.3.19. O probă de cupru metalic cu masa 0,153 g a fost dizolvată și la soluția obținută s-a adăugat exces soluție KI. La titrarea iodului ce s-a eliminat, s-au folosit 24,18 cm³ soluție $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Calculați concentrația molară a echivalentului soluției $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.
- 2.3.20. La 25,0 cm³ soluție KMnO_4 cu $T(\text{KMnO}_4/\text{O}_2) = 0,000811 \text{ g/cm}^3$ s-a adăugat exces soluție KI. Iodul ce s-a eliminat a fost titrat cu 24,14 cm³ soluție $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Calculați $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{I}_2)$.
- 2.3.21. O probă a unui minereu de fier cu masa 1,795 g a fost dizolvată și fierul a fost redus până la Fe^{2+} , volumul soluției fiind adus până la 250 cm³. La titrarea a 20,0 cm³ soluție pregătită s-au folosit 18,65 cm³ soluție bicromat de potasiu ($f(\text{ech.}) = 1/6$) cu titrul $T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,002857 \text{ g/cm}^3$. Determinați $\omega(\text{Fe})$ în probă.

2.4. Probleme de calcul în analiza volumetrică. Determinarea durității apei

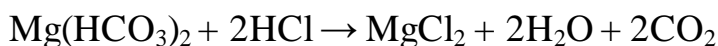
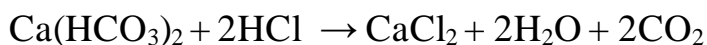
Considerații teoretice

Apele naturale contin cantitati variabile de saruri solubile, dintre care unele confera duritate. Apele dure nu fac spuma cu sapunul si formeaza piatra de cazan. Duritatea apei este determinata in special de sarurile solubile de Calciu si magneziu. In functie comportarea diferita a acestor saruri la incalzirea apei, se deosebesc doua feluri de duritate: temporara si permanenta, suma lor reprezentand duritatea totala. Duritatea

temporara, notata D_t , se datoreste carbonatilor acizi de calciu si magneziu, care la fierberea apei se descompun in carbonatii respectivi:



Duritatea temporară se determină prin titrarea unui volum dat de apă cu o soluție de acid HCl de 0,1 N în prezența indicatorului metiloranj. În cursul titrării au loc reacțiile.



Duritatea permanenta, notata D_p – se datoreste clorurilor si sulfatilor de calciu si magneziu (CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 , MgSO_4).

Duritatea totala, notata D_t constiruie suma: $D_T = D_t + D_p$

Duritatea totală se determină prin titrarea complexometrică a ionilor de calciu și magneziu dintr-un volum dat de apă, cu o soluție de complexon III (trilon B) de 0,01 N în prezența indicatorului eriocrom negru.

Unitatea de măsură pentru duritatea apei este gradul de duritate germană, care constituie $1^\circ\text{G} = 10 \text{ mg CaO/L} = 17,848 \text{ mg/L CaCO}_3$ apă.

În funcție de duritatea totală, apele se împart în:

- ape moi, cu o duritate până la 5°G ;
- apă cu duritate moderată, cuprinsă între $5-20^\circ\text{G}$;
- ape dure, cu o duritate de peste 20°G .

Probleme rezolvate:

Exemplul 1. Apa dură are un conținut ridicat de săruri solubile de calciu și de magneziu, cu efecte negative atât în activitatea industrială, cât și în gospodărie. Pentru înlăturarea sărurilor de calciu și de magneziu se poate folosi carbonatul de sodiu, procedeu numit dedurizarea apei dure.

- a) scrie ecuațiile reacțiilor chimice dintre carbonatul de sodiu și sulfatul de calciu, respectiv clorura de magneziu.
- b) calculează masa totală de carbonat de sodiu necesară pentru a reacționa cu 150 mg de sulfat de calciu și cu 100 mg de clorură de magneziu, care se află într-o probă de apă dură.

Rezolvare:

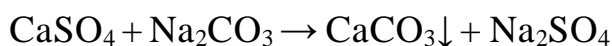
- calculăm masele molare ale substanțelor ce interacționează:

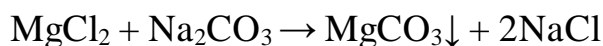
$$M(\text{CaSO}_4) = 136 \text{ mg/mmol}$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ mg/mmol}$$

$$M(\text{MgCl}_2) = 95 \text{ mg/mmol}$$

- scriem ecuațiile reacțiilor chimice:





- calculăm masa de Na_2CO_3 din prima reacție:

$$\frac{150 \text{ mg}}{136 \text{ mg/mmol}} \rightarrow \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{106 \text{ mg/mmol}}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{150 \text{ mg} \cdot 106 \text{ mg/mmol}}{136 \text{ mg/mmol}} = 116,91 \text{ mg}$$

- calculăm masa de Na_2CO_3 din reacția a doua:

$$\frac{100 \text{ mg}}{95 \text{ mg/mmol}} \rightarrow \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{106 \text{ mg/mmol}}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{100 \text{ mg} \cdot 106 \text{ mg/mmol}}{95 \text{ mg/mmol}} = 111,57 \text{ mg}$$

- calculăm masa totală de Na_2CO_3 necesară pentru dedurizarea probei de apă dură:

$$m_{\text{tot}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 116,91 \text{ mg} + 111,57 \text{ mg} = 228,48 \text{ mg}$$

Exemplul 2. Calculați ce masă de $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ se conține în 350 litri apă, duritatea totală a căreia este egală cu 6,5 mmol·echiv/L?

Rezolvare:

- calculăm cantitatea de săruri ce se conține în 350 L apă dură:

$$1 \text{ L } (\text{H}_2\text{O}, \text{ dură}) \rightarrow 6,5 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}$$

$$350 \text{ L} \rightarrow n_e \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}$$

$$n_e = \frac{350 \text{ L} \cdot 6,5 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}}{1 \text{ L}} = 2275 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}$$

- calculăm masa molară echivalentă a $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$:

$$M_e(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{1}{2} 146 = 73 \text{ mg/mmol}$$

- determinăm masa de $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ce se conține în 350 litri apă:

$$1 \text{ mmol} \cdot \text{echiv. (duritate)} \rightarrow 73 \text{ mg } (\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2)$$

$$2275 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.} \rightarrow m \text{ (mg)}$$

$$m(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{2275 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.} \cdot 73 \text{ mg}}{1 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}} = 166075 \text{ mg sau } 166,075 \text{ g}$$

Exemplul 3. Ce masă hidroxid de calciu trebuie de adăugat la 275 L apă, pentru înlăturarea durtății temporare egală cu 5,5 mmol·echiv.?

Rezolvare:

- calculăm cantitatea de săruri ce se conține în 275 L apă dură:

$$1 \text{ L } (\text{H}_2\text{O}, \text{ dură}) \rightarrow 5,5 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}$$

$$275 \text{ L} \rightarrow n_e \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}$$

$$n_e = \frac{275 \text{ L} \cdot 5,5 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}}{1 \text{ L}} = 1512,5 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}$$

- calculăm masa molară echivalentă a $\text{Ca}(\text{OH})_2$:

$$M_e(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{1}{2} 74 = 37 \text{ mg/mmol}$$

- determinăm masa de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ necesară pentru dedurizarea a 350 litri apă:

$$1 \text{ mmol} \cdot \text{echiv. (duritate)} \rightarrow 37 \text{ mg (Ca(OH)}_2)$$

$$1512,5 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.} \rightarrow m \text{ (mg)}$$

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{1512,5 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.} \cdot 37 \text{ mg}}{1 \text{ mmol} \cdot \text{echiv.}} = 55962 \text{ mg sau } 55,962 \text{ g}$$

Probleme propuse:

- 2.4.1. Ce masă ortofosfat de sodiu trebuie de adăugat la 500 cm^3 de apă pentru înlăturarea durității temporare, egală cu $5 \text{ mmol} \cdot \text{echiv}/\text{L}$?
- 2.4.2. Care săruri imprimă duritatea apelor naturale? Ce reprezintă duritatea temporară și permanentă? Cum poate fi înlăturată duritatea temporară și permanentă? Scrieți ecuațiile reacțiilor corespunzătoare. Determinați duritatea apei ce conține $14,632 \text{ g Mg}(\text{HCO}_3)_2$ în 100 litri de apă.
- 2.4.3. Calculați duritatea carbonică a apei, știind că pentru neutralizarea $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, ce se conține în 200 cm^3 apă s-au consumat $15,0 \text{ cm}^3$ soluție HCl cu concentrația $0,08 \text{ N}$.
- 2.4.4. Un litru de apă conține $36,47 \text{ mg}$ ioni de magneziu și $50,1 \text{ mg}$ ioni de calciu. Calculați duritatea apei.
- 2.4.5. Ce masă carbonat de sodiu e necesară de adăugat la 400 litri apă pentru înlăturarea durității, egală cu $3 \text{ mmol} \cdot \text{echiv}/\text{L}$?
- 2.4.6. Duritatea apei ce conține numai sulfat de magneziu este egală cu $7 \text{ mmol} \cdot \text{echiv}/\text{L}$. Ce masă de MgSO_4 se conține în 300 litri de astfel de apă?
- 2.4.7. Calculați duritatea apei ce conține în 600 litri apă $65,7 \text{ g Mg}(\text{HCO}_3)_2$ și $61,2 \text{ g K}_2\text{SO}_4$.
- 2.4.8. Duritatea apei ce conține numai $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ este egală cu $4 \text{ mmol} \cdot \text{echiv}/\text{L}$. Ce volum soluție HCl cu concentrația $0,1 \text{ N}$ este necesar pentru neutralizarea $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ce se conține în 75 cm^3 apă?
- 2.4.9. Calculați duritatea unui m^3 de apă ce conține $140,0 \text{ g MgSO}_4$.
- 2.4.10. Calculați ce masă de $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ se conține în 200 litri apă, duritatea căreia este egală cu $3,5 \text{ mmol} \cdot \text{echiv}/\text{L}$?
- 2.4.11. Determinați duritatea apei ce conține $21,2 \text{ g MgCO}_3$ în 50 litri apă.
- 2.4.12. Calculați ce masă de sulfat de calciu se conține în 200 litri apă, duritatea căreia este egală cu $8 \text{ mmol} \cdot \text{echiv}/\text{L}$?
- 2.4.13. Calculați masa $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ce se conține în 500 litri apă, duritatea căreia este egală cu $9 \text{ mmol} \cdot \text{echiv}/\text{L}$?

- 2.4.14. Ce ioni trebuie de înlăturat din apa dură ca ea să devină moale? La introducerea căror ioni în apă, poate fi redusă duritatea ei? Alcătuiți ecuațiile reacțiilor posibile. Ce masă de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ trebuie adăugată la 2,5 litri apă pentru înlăturarea durtății ei, egală cu $4,43 \text{ mmol} \cdot \text{echiv/L}$?
- 2.4.15. Ce masă Na_2CO_3 trebuie de adăugat la $0,1 \text{ m}^3$ apă pentru înlăturarea durtății ei, egală cu $4 \text{ mmol} \cdot \text{echiv/L}$?
- 2.4.16. La 100 L apă dură s-au adăugat $12,95 \text{ g}$ hidroxid de calciu. Cu cât s-a micșorat duritatea temporară a apei?
- 2.4.17. Determinați duritatea temporară, dacă într-un litru de apă se conțin $0,292 \text{ g}$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ și $0,2025 \text{ g}$ de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

A N E X E

Anexa 1

Coeficienții de activitate ai ionilor în funcție de forța ionică (μ) a soluției și sarcina ionilor (z)

μ	Valorile medii ale coeficienților de activitate					
	$z = 1$	$z = 2$	$z = 3$	$z = 4$	H^+	OH^-
0,0005	0,975	0,903	0,802	0,678	0,975	0,0975
0,001	0,964	0,87	0,73	0,58	0,97	0,964
0,0025	0,945	0,805	0,64	0,45	0,95	0,946
0,005	0,925	0,742	0,51	0,35	0,93	0,926
0,01	0,9	0,67	0,44	0,25	0,91	0,9
0,025	0,855	0,55	0,32	0,15	0,88	0,85
0,05	0,81	0,45	0,24	0,1	0,86	0,81
0,1	0,76	0,37	0,18	0,06	0,83	0,76
0,2	0,7	0,24	0,08	0,03	0,76	0,7
0,5	0,84	0,5	0,21	0,06	0,81	0,73

Anexa 2

Constante de disociere a bazelor (25°C)

Denumirea bazei	Formula	$K_{dis.}$
Soluție de amoniac	$NH_3 + H_2O$	$1,79 \cdot 10^{-5}$
anilina	$C_6H_5NH_2$	$4,2 \cdot 10^{-10}$
hidroxilamina	NH_2OH	$9,6 \cdot 10^{-9}$
ureea	$CO(NH_2)_2$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
tioureea	$CS(NH_2)_2$	$1,35 \cdot 10^{-13}$
hidroxid de argint	$AgOH$	$5 \cdot 10^{-3}$
hidroxid de bariu	$Ba(OH)_2$	$K_2 = 2,3 \cdot 10^{-1}$
hidroxid de calciu	$Ca(OH)_2$	$K_2 = 4 \cdot 10^{-2}$
hidroxid de plumb	$Pb(OH)_2$	$K_1 = 9,55 \cdot 10^{-4}$ $K_2 = 3 \cdot 10^{-8}$
hidroxid de zinc	$Zn(OH)_2$	$K_2 = 1,5 \cdot 10^{-9}$
hidroxid de magneziu	$Mg(OH)_2$	$K_1 = 3 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 4,1 \cdot 10^{-5}$
hidroxid de mangan	$Mn(OH)_2$	$K_2 = 3 \cdot 10^{-4}$

Constante de disociere a acizilor (25°C)

Denumirea acidului	Formula	$K_{dis.}$
Hipocloros	HClO	$5 \cdot 10^{-8}$
azotos	HNO ₂	$4 \cdot 10^{-4}$
iodic	HIO ₃	$1,67 \cdot 10^{-1}$
peroxid de hidrogen	H ₂ O ₂	$2,4 \cdot 10^{-12}$
cianhidric	HCN	$7,2 \cdot 10^{-10}$
benzoic	C ₆ H ₅ COOH	$6,3 \cdot 10^{-5}$
malonic	CH ₃ CHOHCOOH	$1,37 \cdot 10^{-4}$
formic	HCOOH	$1,77 \cdot 10^{-4}$
acetic	CH ₃ COOH	$1,86 \cdot 10^{-5}$
cloracetic	CH ₂ ClCOOH	$1,4 \cdot 10^{-3}$
fluorhidric	HF	$6,8 \cdot 10^{-4}$
sulfuros	H ₂ SO ₃	$K_1 = 1,3 \cdot 10^{-2}$ $K_2 = 5 \cdot 10^{-6}$
sulfhidric	H ₂ S	$K_1 = 5,7 \cdot 10^{-8}$ $K_2 = 1,2 \cdot 10^{-15}$
carbonic	H ₂ CO ₃	$K_1 = 4,31 \cdot 10^{-7}$ $K_2 = 5,61 \cdot 10^{-11}$
bicromic	H ₂ Cr ₂ O ₇	$K_2 = 2,3 \cdot 10^{-2}$
cromic	H ₂ CrO ₄	$K_1 = 1,8 \cdot 10^{-1}$ $K_2 = 3,2 \cdot 10^{-7}$
oxalic	H ₂ C ₂ O ₄	$K_1 = 5,9 \cdot 10^{-2}$ $K_2 = 6,4 \cdot 10^{-5}$
silicic	H ₂ SiO ₃	$K_1 = 1 \cdot 10^{-10}$ $K_2 = 2 \cdot 10^{-12}$
tiosulfuric	H ₂ S ₂ O ₃	$K_1 = 2,5 \cdot 10^{-1}$ $K_2 = 1,9 \cdot 10^{-2}$
boric	H ₃ BO ₃	$K_1 = 5,7 \cdot 10^{-10}$
arsenic	H ₃ AsO ₄	$K_1 = 5,62 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 1,7 \cdot 10^{-7}$ $K_3 = 2,95 \cdot 10^{-12}$
arsenios	H ₃ AsO ₃	$K_1 = 5,8 \cdot 10^{-10}$ $K_2 = 3 \cdot 10^{-14}$
fosforic	H ₃ PO ₄	$K_1 = 7,6 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$ $K_3 = 4,2 \cdot 10^{-13}$
fosforos	H ₃ PO ₃	$K_1 = 1,6 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 7 \cdot 10^{-7}$

Densitatea și concentrația unor soluții de baze

Densitatea, g/cm ³	NH ₄ OH		NaOH		KOH	
	Conținutul procentual, %	C _N , mol·equiv./L	Conținutul procentual, %	C _N , mol·equiv./L	Conținutul procentual, %	C _N , mol·equiv./L
0,88	35,0	18,0	–	–	–	–
0,90	28,3	15	–	–	–	–
0,91	25,0	13,4	–	–	–	–
0,92	21,8	11,8	–	–	–	–
0,94	15,6	8,6	–	–	–	–
0,96	9,9	5,6	–	–	–	–
0,98	4,8	2,8	–	–	–	–
1,05	–	–	4,5	1,25	5,5	1,0
1,10	–	–	9,0	2,5	10,9	2,1
1,15	–	–	13,5	3,9	16,1	3,3
1,20	–	–	18,0	5,4	21,2	4,5
1,25	–	–	22,5	7,0	26,1	5,8
1,30	–	–	27,0	8,8	30,9	7,2
1,35	–	–	31,8	10,7	35,5	8,5

Intervalul pH de sedimentare a unor hidroxizi

Hidroxidul	Intervalul pH	Hidroxidul	Intervalul pH
Zn(OH) ₂	6,8 – 8,3	Sb(OH) ₃	0,9 – 1,9
Co(OH) ₂	7,2 – 8,7	Fe(OH) ₃	2,2 – 3,2
Pb(OH) ₂	7,2 – 8,7	Sn(OH) ₂	2,3 – 3,2
Fe(OH) ₂	7,4 – 8,8	Al(OH) ₃	3,8 – 4,8
Mn(OH) ₂	7,9 – 9,4	Bi(OH) ₃	4,4 – 5,5
Cd(OH) ₂	8,0 – 9,5	Cr(OH) ₃	4,6 – 5,6
AgOH	8,3 – 11,3	Cu(OH) ₂	5,4 – 6,9
Mg(OH) ₂	9,4 – 10,9	Ni(OH) ₂	6,7 – 8,2

Densitatea și concentrația unor soluții de acizi

Densitatea, g/cm ³	HCl		HNO ₃		H ₂ SO ₄	
	Conținutul procentual, %	C _N , mol·echiv./L	Conținutul procentual, %	C _N , mol·echiv./L	Conținutul procentual, %	C _N , mol·echiv./L
1,02	4,13	1,15	3,70	0,6	–	–
1,04	8,16	2,3	7,26	1,2	–	–
1,04	10,2	2,9	9,0	1,5	7,4	1,6
1,06	12,2	3,5	10,7	1,8	8,8	1,9
1,08	16,2	4,8	13,9	2,4	11,6	2,6
1,10	20,0	6,0	17,1	3,0	14,4	3,2
1,12	23,8	7,3	12,2	3,6	17,0	3,9
1,14	27,7	8,7	23,3	4,2	19,9	4,6
1,15	29,6	9,3	24,8	4,5	20,9	4,9
1,19	37,2	12,2	30,9	5,8	26,0	6,3
1,20	–	–	32,3	6,2	27,3	6,7
1,25	–	–	39,8	7,9	33,4	8,5
1,30	–	–	47,5	9,8	39,2	10,4
1,35	–	–	55,8	12,0	44,8	12,3
1,40	–	–	65,3	14,5	50,1	14,3
1,42	–	–	69,8	15,7	52,2	15,1
1,45	–	–	–	–	55,0	16,3
1,50	–	–	–	–	59,8	18,3
1,55	–	–	–	–	64,3	20,3
1,60	–	–	–	–	68,7	22,4
1,65	–	–	–	–	73,0	24,6
1,70	–	–	–	–	77,2	26,8
1,84	–	–	–	–	95,6	35,9

Produsul de solubilitate și solubilitatea (20°C)

Formula	PS	S, mol/L	S, g/100mL (H ₂ O)
Bromuri			
AgBr	$7,7 \cdot 10^{-15}$	$8,8 \cdot 10^{-7}$	$1,65 \cdot 10^{-5}$
PbBr ₂	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$9,54 \cdot 10^{-1}$
Ioduri			
AgI	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$2,82 \cdot 10^{-7}$
PbI ₂	$8,7 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$5,99 \cdot 10^{-2}$
CuI	$5,06 \cdot 10^{-12}$	$2,35 \cdot 10^{-6}$	$4,38 \cdot 10^{-5}$
BiI ₃	$8,1 \cdot 10^{-19}$	$2,12 \cdot 10^{-5}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$
Cloruri			
AgCl	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,86 \cdot 10^{-4}$
PbCl ₂	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	1,08
Hg ₂ Cl ₂	$1,1 \cdot 10^{-18}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$7,55 \cdot 10^{-4}$
Sulfuri			
Ag ₂ S	$1,6 \cdot 10^{-49}$	$3,4 \cdot 10^{-17}$	$8,43 \cdot 10^{-16}$
AgCNS	$7,1 \cdot 10^{-18}$	$8,45 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
PbS	$1,1 \cdot 10^{-29}$	$3,3 \cdot 10^{-15}$	$7,9 \cdot 10^{-14}$
HgS	$4 \cdot 10^{-53}$	$6,3 \cdot 10^{-27}$	$1,47 \cdot 10^{-25}$
NiS	$3 \cdot 10^{-21}$	$5,5 \cdot 10^{-11}$	$4,99 \cdot 10^{-10}$
CoS	$7 \cdot 10^{-23}$	$8,4 \cdot 10^{-12}$	$7,64 \cdot 10^{-11}$
ZnS	$1,2 \cdot 10^{-23}$	$3,5 \cdot 10^{-12}$	$3,41 \cdot 10^{-11}$
SnS	$1 \cdot 10^{-28}$	$1 \cdot 10^{-14}$	$1,51 \cdot 10^{-13}$
CdS	$3,6 \cdot 10^{-29}$	$6 \cdot 10^{-15}$	$8,67 \cdot 10^{-14}$
CuS	$8,5 \cdot 10^{-45}$	$9,2 \cdot 10^{-23}$	$8,8 \cdot 10^{-22}$
Cu ₂ S	$2 \cdot 10^{-47}$	$1,7 \cdot 10^{-16}$	$2,71 \cdot 10^{-15}$
Bi ₂ S ₃	$1,6 \cdot 10^{-72}$	$2,7 \cdot 10^{-15}$	$1,39 \cdot 10^{-13}$
Sulfai			
Ag ₂ SO ₄	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$8,42 \cdot 10^{-1}$
PbSO ₄	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$4,55 \cdot 10^{-3}$
BaSO ₄	$1,08 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$
SrSO ₄	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$9,74 \cdot 10^{-3}$
CaSO ₄ ·2H ₂ O	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,34 \cdot 10^{-1}$
Fosfați			
Ag ₃ PO ₄	$1,8 \cdot 10^{-18}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$4,19 \cdot 10^{-4}$
Pb ₃ (PO ₄) ₂	$1,5 \cdot 10^{-32}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,38 \cdot 10^{-5}$
MgNH ₄ PO ₄	$2,5 \cdot 10^{-13}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$8,65 \cdot 10^{-4}$
Ca ₃ (PO ₄) ₂	$2,1 \cdot 10^{-29}$	$1,148 \cdot 10^{-6}$	$3,56 \cdot 10^{-5}$
Ba ₃ (PO ₄) ₂	$2,8 \cdot 10^{-22}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$
Oxalați			
Ag ₂ C ₂ O ₄	$1,1 \cdot 10^{-11}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$4,25 \cdot 10^{-3}$
PbC ₂ O ₄	$3,2 \cdot 10^{-11}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$1,68 \cdot 10^{-4}$
BaC ₂ O ₄ ·2H ₂ O	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$8,55 \cdot 10^{-1}$

$\text{SrC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$5,61 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$4,26 \cdot 10^{-3}$
$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$2,57 \cdot 10^{-9}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$7,45 \cdot 10^{-4}$
MgC_2O_4	$8,57 \cdot 10^{-5}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$1,03 \cdot 10^{-1}$
$\text{CdC}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$1,53 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$3,05 \cdot 10^{-3}$
$\text{ZnC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$1,35 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$7,01 \cdot 10^{-4}$
Cromați			
Ag_2CrO_4	$9,0 \cdot 10^{-12}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$4,31 \cdot 10^{-3}$
PbCrO_4	$1,8 \cdot 10^{-14}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
BaCrO_4	$2,4 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
SrCrO_4	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$
Carbonați			
Ag_2CO_3	$6,15 \cdot 10^{-12}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$3,17 \cdot 10^{-3}$
PbCO_3	$1,5 \cdot 10^{-13}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$1,04 \cdot 10^{-5}$
Hg_2CO_3	$9 \cdot 10^{-17}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,29 \cdot 10^{-4}$
BaCO_3	$8,1 \cdot 10^{-9}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$1,78 \cdot 10^{-3}$
SrCO_3	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$5,91 \cdot 10^{-4}$
CaCO_3	$4,8 \cdot 10^{-9}$	$6,93 \cdot 10^{-5}$	$6,94 \cdot 10^{-4}$
MgCO_3	$1 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$
ZnCO_3	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,01 \cdot 10^{-3}$
MnCO_3	$8,8 \cdot 10^{-11}$	$9,4 \cdot 10^{-6}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$
FeCO_3	$2,5 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5,79 \cdot 10^{-5}$
CdCO_3	$2,5 \cdot 10^{-14}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,76 \cdot 10^{-6}$
Hidroxizi			
Ca(OH)_2	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,48 \cdot 10^{-1}$
Mg(OH)_2	$5 \cdot 10^{-12}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$6,42 \cdot 10^{-4}$
Cd(OH)_2	$1,2 \cdot 10^{-14}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,04 \cdot 10^{-4}$
Mn(OH)_2	$4 \cdot 10^{-14}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,87 \cdot 10^{-4}$
Ni(OH)_2	$4,8 \cdot 10^{-16}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$5,01 \cdot 10^{-5}$
Fe(OH)_2	$6,3 \cdot 10^{-16}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$
Co(OH)_2	$2 \cdot 10^{-16}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$3,44 \cdot 10^{-5}$
Zn(OH)_2	$7,1 \cdot 10^{-18}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,49 \cdot 10^{-5}$
Cu(OH)_2	$5,6 \cdot 10^{-20}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$2,34 \cdot 10^{-6}$
Sn(OH)_2	$5 \cdot 10^{-26}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	$3,51 \cdot 10^{-8}$
Cr(OH)_3	$5,4 \cdot 10^{-31}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,24 \cdot 10^{-7}$
Al(OH)_3	$1,9 \cdot 10^{-33}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$2,26 \cdot 10^{-8}$
Fe(OH)_3	$3,8 \cdot 10^{-38}$	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$2,03 \cdot 10^{-8}$
Sb(OH)_3	$4 \cdot 10^{-42}$	$1,9 \cdot 10^{-11}$	$3,28 \cdot 10^{-10}$

Mantisele logaritmilor zecimali (după Bradis M.)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043									4	9	13	17	22	26	30	35	39
			0086	0128	0170						4	9	13	17	21	25	30	34	38
						0212	0253				4	8	12	16	21	25	29	33	37
								0294	0334	0374	4	8	12	16	20	24	28	32	36
11	0414	0453	0492								4	8	12	16	20	24	27	31	35
				0531	0569	0607					4	8	11	15	19	23	27	30	34
							0645	0682	0719	0755	4	7	11	15	18	22	26	29	33
12	0792	0828	0864	0899	0934						3	7	11	14	18	21	25	28	32
						0969					4	7	11	14	17	21	24	28	31
							1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	20	24	27	30
13	1139	1173									3	7	10	13	17	20	23	27	30
			1206	1239	1271	1303	1335				3	6	10	13	16	19	23	26	28
								1367	1399	1430	3	6	9	13	16	19	22	25	28
14	1461	1492									3	6	9	13	16	19	22	25	28
			1523	1553	1584	1614	1644	1673			3	6	9	12	15	18	21	24	27
									1703	1732	3	6	9	11	14	17	20	23	26
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931				3	6	9	11	14	17	20	23	26
								1959	1987	2014	3	5	8	11	14	16	19	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227			3	5	8	11	13	16	19	21	24
									2253	2279	3	5	8	10	13	15	18	20	23
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430					3	5	8	10	13	15	18	20	23
							2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	19	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718			2	5	7	9	12	14	16	19	21
									2742	2765	2	5	7	9	11	13	16	18	20
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900					2	4	7	9	11	13	16	18	20
							2923	2945	2967	2989	2	4	6	8	11	13	15	17	19
20	3010	3032	3054	3075	3096						2	4	6	8	11	13	15	17	19
						3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	10	12	14	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	4	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	4	6	6	7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Anexa 9

Valorile funcției 10^x (antilogaritmi zecimali), după Bradis M.

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
,00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
,01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
,02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
,03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
,04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
,05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
,03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
,04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
,05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
,06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
,07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
,08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
,09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
,10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
,11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	2	3
,12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
,13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
,14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
,15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
,16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0	1	1	1	2	2	2	3	3
,17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
,18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
,19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0	1	1	1	2	2	3	3	3
,20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
,21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
,22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
,23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
,24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
,25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
,26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
,27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
,28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	2	2	3	3	4	4
,29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
,30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
,31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
,32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
,33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	3	4	4
,34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
,35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
,36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
,37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
,38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
,39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
,40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	2	3	4	4	5	5
,41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	2	3	4	4	5	5
,42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	2	3	4	4	5	6
,43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	3	4	4	5	6
,44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	3	4	4	5	6
,45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	3	4	5	5	6
,46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	3	4	5	5	6
,47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	3	4	5	5	6
,48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	4	4	5	6	6
,49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	4	4	5	6	6
,50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
,51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
,52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
,53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
,54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
,55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
,56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
,57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
,58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
,59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
,60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
,61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
,62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
,63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
,64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
,65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
,66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
,67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
,68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
,69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
,70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
,71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
,72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
,73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
,74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
,75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
,76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
,77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
,78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
,79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
,80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
,81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
,82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
,83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
,84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
,85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
,86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
,87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
,88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
,89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
,90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
,91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
,92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
,93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
,94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
,95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
,96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
,97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
,98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
,99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20
m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Exemple: $\lg 3 = 0,48$; $\lg 30 = 1,48$; $\lg 8,3 = 0,92$

$$\lg 10^x = \text{antlg}(x) = \text{antlg}(0,21) = 1,6$$

$$\lg 10^{-x} = \text{antlg}(-x) = \text{antlg}(-2,3) = \text{antlg}(-3+0,7) = 5,0 \cdot 10^{-3}$$

Solubilitatea acizilor, bazelor și sărurilor în apă și Mr relative

Cationi Anioni	H ⁺	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Ba ²⁺	Sr ²⁺	Pb ²⁺	Cr ³⁺	Al ³⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Mg ²⁺	Co ²⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Ag ⁺	Cd ²⁺	Sn ²⁺	Hg ²⁺	
OH ⁻	S	S	S	S	S	P	S	P	I	I	I	I	I	I	I	P	I	I	I	I	I	I	I	I
F ⁻	S	S	S	S	S	I	P	S	I	I	P	P	I	I	P	I	S	S	S	S	S	S	S	I
Cl ⁻	S	S	S	S	S	S	S	S	P	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Br ⁻	S	S	S	S	S	S	S	S	P	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	P
I ⁻	S	S	S	S	S	S	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	I
S ²⁻	S	S	S	S	S	P	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
SO ₃ ²⁻	S	S	S	S	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
SO ₄ ²⁻	S	S	S	S	S	P	I	I	I	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	P	S	S	S	S
NO ₃ ⁻	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
CO ₃ ²⁻	S	S	S	S	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
PO ₄ ³⁻	S	I	S	S	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

S - substanță solubilă (mai mult de 1g în 100g de apă);
P - substanță puțin solubilă (de la 1-0,001g în 100g de apă);
I - substanță insolubilă (mai puțin de 0,001g în 100g de apă);
- - substanța se descompune sau nu există

BIBLIOGRAFIA

1. VASILIEV, V. *Chimia analitică*, Vol. II, Chişinău, Universitas, 1991, 393 p. ISBN 5-362-00814-5.
2. ЛОГИНОВ, Н., ВОСКРЕСЕНСКИЙ, А., СОЛОДКИН, И. *Аналитическая химия*, Москва, «Просвещение», 1975, 477 с. Л 103(03)-7539-75.
3. ПОСЫПАЙКО, В., КОЗЫРЕВА, Н., ЛОГАЧЕВА, Ю. *Химические методы анализа*, Москва, «Высшая школа», 1989, 448 с. ISBN 5-06-000068-0.
4. BUDU, GR. *Chimie analitică calitativă*, Chişinău, Ştiinţa, 1994, 170 p. ISBN 5-375-01876-8.
5. JERCAN, E. *Metode de separare în chimia analitică*. Bucureşti, Editura Tehnică, 1983, 315 p. ISBN 2381982IPCRAME.
6. ЛУРЬЕ, Ю. Ю. *Справочник по аналитической химии*. Москва, «Химия», 1989, 448 с. ISBN: 5-7245-0000-0.
7. ВАСИЛЬЕВ, В. П., КОЧЕРГИНА, Л. А., ОРЛОВА, Т. Д. *Аналитическая химия. Сборник вопросов, упражнений и задач*, Москва, «Дрофа», 2003, 312 с. ISBN 5-358-01175-7
8. ROMAN, M., MELENTEV, E., BOTNARU, M., CODREANU, S. *Să învăţăm logic chimia. Exerciţii, probleme, teste*. Chişinău, Lumina, 2007, 224 p. ISBN 978-9975-65-034-2.
9. DUCA, Gh., BUGA, A. *Chimie: Ghid pentru elevi şi studenţi*. – Ch.: Ştiinţa, (Combinatul Poligrafic), 2002, 220 p. ISBN 9975-67-260-3.
10. БРАДИС, В. М. *Четырёхзначные математические таблицы: Для средней школы*. / В. М. Брадис. - 57-е изд., - М.: Просвещение, 1990, 95 с. ISBN 5-09-003433-8