РХО-2026 эксперименттік турының 11-сыныпқа арналған тапсырмасы, Алматы қ.
Темір(III) және кальций(II) иондарының қоспасын комплексонометриялық титрлеу әдісімен анықтау

(Жұмысты орындауға берілетін уақыт – 180 мин)

Барлығы – 30 балл.

Жауап парағы

Есеп № _____ **Сэдта** = _____ ;

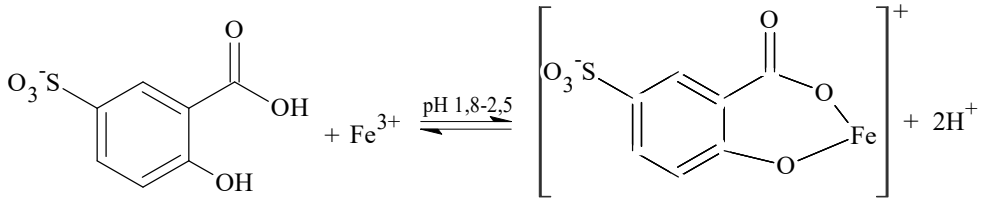
$V_{м.к.}$ = $V_{ал}$ =

I-титрлеу нәтижелері:	**II-титрлеу нәтижелері:**
ЭДТА ерітіндісінің көлемдері (мл):	ЭДТА ерітіндісінің көлемдері (мл):
V_1^1 = _____	V_1^2 = _____
V_2^1 = _____	V_2^2 = _____
_____ V_3^1 =	_____ V_3^2 = __
Орташа V^1 = _____	_____ **Орташа V^2** =
4 б.	**4 б.**

1. *1- және 2-титрлеу барысында ЭДТА (Na_2H_2Y) және индикаторлардың (H_3Sal және ХТС – H_2Ind) қатысуымен жүретін барлық химиялық реакциялардың теңдеулерін (молекулалық және иондық) жазыңыз. Металдардың эквиваленттік факторларын көрсетіңіз.*

а) *1-титрлеу:*

(1) $FeCl_3 + H_3Sal \leftrightarrow [Fe(H_2Sal)]Cl_2 + HCl$; $Fe^{3+} + H_3Sal \leftrightarrow [Fe(H_2Sal)]^{2+} + H^+$



(2) $FeCl_3 + Na_2H_2Y \leftrightarrow Na[FeY] + NaCl + 2HCl$, $Fe^{3+} + H_2Y^{2-} \leftrightarrow [FeY]^- + 2H^+$

(3) $[Fe(H_2Sal)]Cl_2 + Na_2H_2Y \leftrightarrow Na[FeY] + H_3Sal + NaCl + HCl$

$[Fe(H_2Sal)]^{2+} + H_2Y^{2-} \leftrightarrow [FeY]^- + H^+ + \underline{H_3Sal}$ *(экв.нүкте)*

$f_{экв.}(Fe) = 1$

б) 2 -титрлеу:

$CaCl_2 + H_2Ind \leftrightarrow [CaInd] + 2HCl$, $Ca^{2+} + H_2Ind \leftrightarrow [CaInd] + 2H^+$

$CaCl_2 ++ Na_2H_2Y \leftrightarrow Na_2[CaY] + 2HCl$, $Ca^{2+} + H_2Y^{2-} \leftrightarrow [CaY]^{2-} + 2H^+$

$[CaInd] + Na_2H_2Y \leftrightarrow Na_2[CaY] + H_2Ind$, $[CaInd] + H_2Y^{2-} \leftrightarrow [CaY]^{2-} + \underline{H_2Ind}$ (экв.точка)

$f_{экв.}(Ca) = 1$

Σ 4 б (2+2)

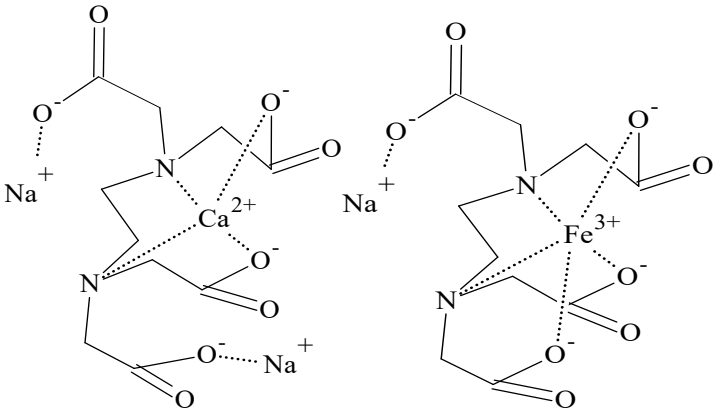
2. а) *«Хелаттар» дегеніміз не, олар кәдімгі комплекстерден несімен ерекшеленеді?*

Хелаттар – бұл ерекше «қысқыш» тәрізді, сондай-ақ ішкікомплексті немесе циклдік кешенді қосылыстар, яғни металл иондарының полидентатты органикалық қышқылдармен түзетін металлорганикалық кешендері.

Хелаттық кешен – металл ионы лигантпен бірнеше координациялық (донор-акцепторлық) байланыстар арқылы байланысып, сақиналы құрылым түзетін координациялық қосылыс түрі. Мұндай ерекше байланыс қарапайым координациялық кешендермен салыстырғанда металл кешенінің тұрақтылығын арттырады, бұл әртүрлі химиялық реакциялар мен биологиялық процестерде маңызды рөл атқарады.

Хелаттық эффект: металл атомының айналасындағы сақиналардың (циклдердің) саны неғұрлым көп болса, қосылыс соғұрлым тұрақты болады.

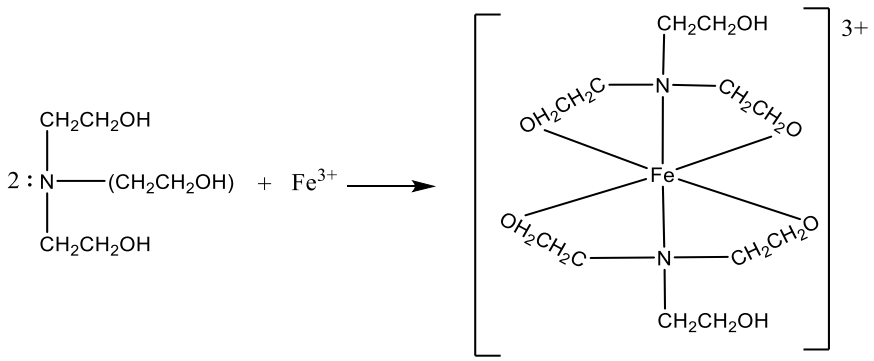
б) *ЭДТА-ның, темір және кальций комплексонаттарының құрылымдық формулаларын келтіріңіз.*



в) *Түзілетін кешендердің қасиеттерін сипаттаңыз (металлдың координациялық саны, лиганттың дентаттылығы, химиялық байланыстардың түрлері, циклдер саны, кешен заряды).*
$[FeY]^-$ кешені үшін: Fe-дің координациялық саны 5-ке тең; лиганттың дентаттылығы – 5; циклдер саны – 4; кешен заряды – –1.
$[CaY]^{2-}$ кешені үшін: Ca-ның координациялық саны 4-ке тең; лиганттың дентаттылығы – 4; циклдер саны – 3; кешен заряды – –2.

Σ 4 б (1+1.5+1.5)

3. *а) Осы титрлеуде қолданылатын бүркемелеуші реагент — триэтаноламиннің металл ионымен әрекеттесу реакциясын және түзілетін кешеннің құрылымдық формуласын келтіріңіз.*



Триэтаноламин үшдентатты лиганд болып табылады, сондықтан ол депротондану реакциясы барысында Fe^{3+} ионымен 1 азот атомы және 2 OH тобы арқылы координацияланып, Fe^{3+}-тің октаэдрлік кешенін түзеді.

б) *Осы кешендердің қасиеттерін сипаттаңыз (металлдың координациялық саны, лиганттың дентаттылығы, химиялық байланыс түрлері, циклдер саны, кешеннің заряды).*
Бұл кешен үшін: темірдің координациялық саны – 6; лиганттың дентаттылығы – 3; циклдер саны – 4; кешен заряды – +3.

Σ 3 б (2+1)

4. а) Ортаның қышқылдығы (pH) металл комплексонаттарының беріктігіне қалай әсер етеді және бұл комплексонометриялық титрлеуде қалай ескеріледі?
pH артқан сайын кешендердің беріктігі артады, ал pH төмендеген сайын — керісінше, азаяды. Титрлеу кезінде pH-ты ескеру:

$$\beta'_{MeY} = \beta^{o}_{MeY} \cdot \alpha_{y} \cdot \alpha_{Me}; \qquad \beta'_{MeY} = \beta^{усл} > 10^{8}$$

$$\alpha_y = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot [H^+] + K_1 \cdot K_2 \cdot [H^+]^2 + K_1 \cdot [H^+]^3 + [H^+]^4}$$

$$\alpha_{Me} = \frac{1}{F(L)} = \frac{1}{1 + \beta_1[L] + \beta_{1,2}[L]^2 + \beta_{1,3}[L]^3 + \ldots}$$

б) *Темірдің (pH≈2,0, αY = 3,7·10^{-14}) және кальцийдің (pH = 12, αY = 0,98) комплексонаттары үшін βшарт. мәндерін есептеңіз, егер β$_0$(FeY$^-$) = 1,7·10^{24}, β$_0$(CaY^{2-}) = 3,7·10^{10} болса. Ерітіндінің берілген pH мәндерінде темір және кальций иондарын титрлеу мүмкіндігі туралы тиісті қорытынды жасаңыз.*

$\beta^{усл}(FeY^-) = \beta^0(FeY^-) \cdot \alpha_Y = 1.7 \cdot 10^{24} \cdot 3.7 \cdot 10^{-14} = 6.29 \cdot 10^{10}$
$\beta^{усл}(CaY^{2-}) = \beta^0(FeY^-) \cdot \alpha_Y = 3.7 \cdot 10^{24} \cdot 0.98 = 3.63 \cdot 10^{10}$
$\beta^{усл}(FeY^-) = 6.29 \cdot 10^{10} > 10^8$
$\beta^{усл}(CaY^{2-}) = 3.63 \cdot 10^{10} > 10^8$

Титрленетін ерітіндінің pH-ы ескеріліп есептелген екі кешеннің де βшарт. мәні қажетті βшарт. > 10^8 мәнінен кем емес болғандықтан, ерітіндінің берілген pH мәндерінде екі катионды да комплексонометриялық әдіспен титрлеуге болады. **Σ 3 б (1+2)**

5. а) *Комплексонометриялық титрлеу үшін металлиндикатор қандай сандық көрсеткіштер бойынша таңдалады және олар қалай есептеледі? Формулаларды келтіріңіз.*

$\Delta pMe = \lg\beta'_{MeInd} \pm 1$ - Индикатор түсінің өзгеру аралығы.
$pMe_т = \lg\beta'_{MeInd}$ - Индикатордың титрлеу көрсеткіші.

б) *Комплексонометрияда металл-индикаторлар қандай талаптарға сай болуы керек?*
Таңдалған pH аймағында металл-индикаторлар металл иондарымен металл:индикатор = 1:1 қатынасында жеткілікті тұрақты кешендер түзуі тиіс:
$\beta'MeInd \geq 10^4$.
Металл ионының индикатормен түзген кешені кинетикалық тұрғыдан лабильді болуы және ЭДТА әсерінен тез ыдырауы керек:
$\beta'MeY \geq 10^2 \cdot \beta'MeInd$.
Титрлеудің соңғы нүктесінде ерітінді түсінің өзгеруі айқын болуы тиіс: индикатор түсінің өзгеру аралығы (ΔpMe) мүмкіндігінше тар болғаны жөн.

Σ 2 (1+1) б

6. 1- және 2-титрлеу нәтижелері бойынша бастапқы үлгідегі Fe және Ca мөлшерін (m, грамм) есептеңіз.

$$\boldsymbol{m_{Fe}} = \frac{\boldsymbol{C}_{\text{ЭДТА}} \cdot \boldsymbol{V_1^{\text{ЭДТА}}} \cdot \text{Мэ}_{\boldsymbol{Fe}} \cdot \boldsymbol{V_{M.K.}}}{\boldsymbol{1000} \cdot \boldsymbol{V_{\text{ал}}^{\text{пип}}}};$$

$$\boldsymbol{m_{Ca}} = \frac{\boldsymbol{C}_{\text{ЭДТА}} \cdot \boldsymbol{V_2^{\text{ЭДТА}}} \cdot \text{Мэ}_{\boldsymbol{Fe}} \cdot \boldsymbol{V_{M.K.}}}{\boldsymbol{1000} \cdot \boldsymbol{V_{\text{ал}}^{\text{пип}}}}$$

Σ 6 б (3+3)