

# Átfedő oldatkémiai egyensúlyok tanulmányozása

Elméleti alap: P.W. Atkins: *Fizikai Kémia*, 9.6 és 20.6 (az egyensúlyi állandóval kapcsolatos) fejezetek.

Gyakorlat típusa: Egyéni.

Gyakorlat célja: Komplexek képződési állandóinak és eloszlási diagramjainak meghatározása olyan oldat-egyensúlyi rendszerekben, amelyekben az asszociátumok képződési folyamatai nem választhatók el egymástól, párhuzamosan játszódnak le, vagyis az egyensúlyi folyamatok átfednek.

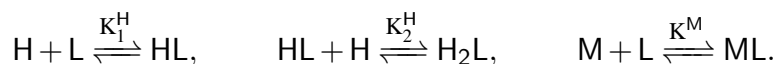
## 1. Bevezetés

Az oldategyensúlyi vizsgálatok alapvető célkitűzése az oldatokban keletkező asszociátumok sztöchiometriai összetételének és képződési állandóinak meghatározása. Az egyes ionféleségek egyensúlyi koncentrációi a teljes (analitikai) koncentrációk és a képződési állandók ismeretében számíthatók ki. Az egyensúlyi állandók nagyon gyakran nem találhatók meg a szakirodalomban. A fellelhető adatokat sem szabad fenntartás nélkül elfogadni. Sok állandót olyan kísérleti technikával vagy kiértékelési módszerrel határoztak meg, amelyek ma már nem elfogadható pontosságúak. Ezért szükséges olyan módszerek ismerete, melyekkel egyensúlyi állandókat pontosabban lehet meghatározni. Az egyensúlyi állandók ismerete sok területen fontos, pl. élet-tani folyamatokban szerepet játszó átmenetifém-komplexek, oldatfázisban lejátszódó folyamatok optimális szabályozása, analitikai eljárások kidolgozása esetén, stb.

### 1.1. Általános alapösszefüggések

Az általános tárgyalásmód bonyolult, ezért az oldategyensúlyokat leíró összefüggéseket egy egyszerű példán keresztül mutatjuk be. Az áttekinthetőség kedvéért a töltéseket nem jelöljük.

Az M fémiont, L ligandumot, H protont, HL és H<sub>2</sub>L és ML összetett részecskéket (más szóval asszociátumokat) tartalmazó rendszerben az alábbi egyensúlyokat kell figyelembe venni:



Ezekre a folyamatokra a képződési (vagy stabilitási) állandók a következők:

$$K_1^H = \frac{[HL]}{[H][L]}, \quad K_2^H = \frac{[H_2L]}{[H][HL]}, \quad K^M = \frac{[ML]}{[M][L]}.$$

A komplexek képződését jellemezhetjük a stabilitási szorzatok – régebbi nevükön komplexszorzatok – segítségével is. Ezek kifejezései:

$$\beta_1^H = K_1^H = \frac{[HL]}{[H][L]}, \quad \beta_2^H = K_1^H \cdot K_2^H = \frac{[H_2L]}{[H]^2[L]}, \quad \beta^M = K^M = \frac{[ML]}{[M][L]}.$$

Az egyensúlyi rendszerekre vonatkozó további összefüggések előtt ismerkedjünk meg néhány alapfogalommal. Komponenseknek nevezzük azokat a részecskéket melyekből az összes asszociátum felépíthető, tehát az összetett részecskéket a komponensek segítségével állíthatjuk elő. Valamely asszociátumban egy komponens mennyiségét a sztöchiometriai szám jelöli. A sztöchiometriai számok a rendszert jellemző, ún. *összetételmatrix* elemei. Ez a mátrix megadja, hogy egy rendszerben hogyan épülnek fel az összetett részecskék a komponensekből. A mátrix minden oszlopa egy komponenshez tartozik és minden sora egy részecskéhez. Így mind a komponensekhez, mind az összetett részecskékhez egy-egy sor rendelhető. Konkrétan, a mátrix *i*-edik sorában és *j*-edik oszlopában álló elem azt mutatja meg, hogy az *i*-edik részecské felépítéséhez mennyi *j*-edik komponens szükséges. Az 1. táblázat a példa összetételmatrixát mutatja.

Az egyes komponensek teljes koncentrációját a komponensek és az asszociátumok egyensúlyi koncentrációinak a megfelelő sztöchiometriai számokkal súlyozott összege adja. Az anyagmegmaradás érvényesége miatt minden rendszerben felírhatóak a teljes koncentrációkra vonatkozó összefüggések, amelyek példarendszerünkben a következők:

$$T_H = [H] - [OH] + [HL] + 2[H_2L] = [H] - \frac{K_v}{[H]} + \beta_1^H [H][L] + 2\beta_2^H [H]^2 [L]$$

$$T_L = [L] + [HL] + [H_2L] + [ML] = [L] + \beta_1^H [H][L] + \beta_2^H [H]^2 [L] + \beta^M [M][L]$$

$$T_M = [M] + [ML] = [M] + \beta^M [M][L],$$

ahol  $T_H$  és  $[H]$  a hidrogénion teljes- és egyensúlyi koncentrációja,  $T_L$  és  $[L]$  a ligandum teljes- és egyensúlyi koncentrációja, valamint  $T_M$  és  $[M]$  a fémion teljes- és egyensúlyi koncentrációja.

A  $T_H$ ,  $T_M$  és  $T_L$  értékeket a bemérésből ismerjük, tehát a fenti egyenletben az ismeretlenek a komponensek egyensúlyi koncentrációi és a stabilitási szorzatok. Az egyensúlyi komponenskoncentrációk számítása ( $[H]$ ,  $[L]$ ,  $[M]$ ) a stabilitási állandók és a teljes koncentrációk ismeretében lehetséges, mert három egyenletből három ismeretlent kell meghatározni. Ezek ismeretében az asszociátumok koncentrációi már könnyen számíthatók.

1. táblázat. Az alapösszefüggések leírásához használt példa összetételmatrixa.

	H	M	L
H	1	0	0
M	0	1	0
L	0	0	1
HL	1	0	1
H <sub>2</sub> L	2	0	1
ML	0	1	1

## 1.2. Oldategyensúlyok tanulmányozásának kísérletes módszerei

Az egyensúlyi állandók kísérleti úton történő meghatározása manapság leggyakrabban pH-metrián, illetve spektrofotometrián történik. Mindkét módszer rendkívül nagy odafigyelést és pontos kísérleti munkát igényel. Az alábbiakban részletezzük, hogy a két módszer milyen esetekben alkalmazható és a kísérleti adatokból milyen feltételek mellett tudjuk kiszámítani a stabilitási állandókat.

### 1.2.1. pH-metria

A vizes oldatokban lejátszódó egyensúlyi folyamatok nagy része közvetlenül vagy közvetve érzékeny a pH változására. Közvetlen pH-hatásról akkor beszélünk, ha a hidroxónium- vagy hidroxidionok maguk is részt vesznek a vizsgált egyensúlyi folyamatban. Ilyenek például a bázikus ligandumok protonálódási egyensúlyai, vagy a fémionok hidrolízise. Közvetett a pH-hatás akkor, ha a vizsgálni kívánt komponensek asszociációs egyensúlyaiban a  $H^+$ - (vagy  $OH^-$ ) ionok nem vesznek részt, de legalább egy adott komponens részt vesz protonálódási egyensúlyokban is.

A komplex stabilitási állandók meghatározása azért történhet pH-mérés alapján, mert a ligandumok többségénél a megfelelő konjugált sav gyenge (karboxilátok, aminok, aminosavak, peptidok, stb.), tehát a komplexképződési folyamat kompetíciós reakciót jelent a hidrogénion és a központi ion között. A következő bekezdésben egy általános példán levezetjük, mennyi eltérő teljes koncentrációjú oldatban szükséges mérni ahhoz, hogy elvileg meghatározhatóak legyenek a stabilitási állandók. Egy  $n$  komponensű rendszerben, ahol  $p$  darab összetett részecske keletkezik az  $n$  komponensen kívül, minden komponensre felírhatóak a teljes koncentrációkra érvényes egyenletek, tehát adott  $n$  darab egyenlet. A pH-t mérjük, ezért az egyik komponens, a  $H^+$  koncentrációját ismerjük, így az egyenletekben  $n - 1$  darab komponens koncentrációja és  $p$  darab stabilitási állandó ismeretlen. Ha az oldatok száma (melyekben a pH-t mérjük)  $q$ , akkor az egyenletek száma  $q \cdot n$  (a teljes koncentrációk minden oldatban eltérőek). A pH-t  $q$  db oldatban mérjük, így az ismeretlenek száma  $p + q \cdot n - q$ . Az ismeretlenek meghatározásához minimálisan annyi egyenletre van szükség, amennyi az ismeretlenek száma, tehát a  $q \cdot n \geq p + q \cdot n - q$  relációnak teljesülnie kell. Az egyszerűsítések után ennek a relációnak az alakja  $q \geq p$ , tehát minimálisan annyi oldatban kell megmérnünk a pH-t, ahány asszociátum van jelen a rendszerben.

## 1.2.2. Spektrofotometria

A színes részecskék koncentrációinak és a mért abszorbanciák kapcsolatát a Beer-Lambert törvény írja le. Ennek érvényességi tartományában az abszorbancia additív tulajdonság, amely a vizsgált hullámhossznál ( $\lambda_i$ ) elnyelő, egymás mellett előforduló részecskék fényabszorpciójának összegeként adódik.

$$\frac{A_{\lambda_i}}{\ell} = (\epsilon_{\lambda_i}^M [M] + \epsilon_{\lambda_i}^{ML} \beta_1^M [M][L]) ,$$

ahol  $A$  az abszorbancia,  $\epsilon$  a moláris abszorpciós együttható és  $\ell$  a fény úthossza a küvettában (1 cm a legtöbb esetben). Ha a pH-metriánál bevezetett jelöléseknél maradunk és  $m$  darab hullámhosszon mérjük az abszorbanciákat, akkor egy oldat esetén  $n + m$  egyenletünk van: az  $n$  teljes koncentrációra felírt kifejezések és az  $m$  hullámhosszra külön-külön felírható Beer-Lambert törvény. Az ismeretlenek a  $p$  képződési állandó, az  $m \cdot (n + p)$  moláris abszorbancia érték, valamint az  $n$  komponens egyensúlyi koncentrációja. Az ismeretlenek valós száma ennél kevesebb lehet, ha nem abszorbeál minden jelenlevő részecske minden hullámhosszon. Ha  $q$  db mérendő oldatunk van, akkor  $p + m \cdot (n + p) + n \cdot q$  ismeretlennel kell dolgozni, mert több mérés csak a komponensek független egyensúlyi koncentrációinak számát növeli. A mért adatokra felírható egyenletek minimális számának egyenlőnek kell lennie az ismeretlenek számával:  $q \cdot (n + m) \geq p + m \cdot (n + p) + n \cdot q$ . Ezt egyszerűsítve a  $q \geq n + p \cdot (1 + 1/m)$  kifejezéshez jutunk. Láthatjuk, hogy az oldatok és a hullámhosszak száma együttesen befolyásolja a rendszer meghatározottságát.

A minimálisnál több oldat színeképzés mérése több hullámhosszon túlhatározottá teszi az egyenletrendszert. A minimális számú oldat vizsgálata esetén nem lehet figyelembe venni a kísérleti hibákat, ezért – akár nagyságrendekkel! – több kísérleti adatot kell összegyűjteni az éppen szükségesnél. Kísérleti hibák legtöbbször oldatok készítésekor, az alapvonal változásakor és kis fényintenzitású hullámhosszakon történő méréskor lépnek fel. Méréseink megbízhatóságának érdekében az elméletileg levezetett minimális oldatszámnál sokkal több mérést kell elvégezni.

## 1.3. Oldatsorozat tervezésének gyakorlati módszerei

A következőkben röviden ismertetjük a komplexek összetételének és stabilitási állandóinak meghatározására szolgáló, gyakorlatban elterjedt módszereket. A gyakorlatok során ezek valamelyike alapján kell a méréseket végrehajtani.

### 1.3.1. Jobb módszere (folytonos variáció módszere)

A mérendő oldatokban a fémion és a ligandum teljes koncentrációinak összege állandó, miközben a ligandum móltörtjét változtatjuk 0 és 1 között. Az elkészített oldatok valamely tulajdonságát mérjük. A mért értékeket a ligandum móltörtjének függvényében ábrázolva egyszerűbb esetekben egy maximumgörbét kapunk. A maximumhoz tartozó móltörtből ( $x_{\max}$ ) a komplex összetételét határozhatjuk meg:

$$mM + nL = M_m L_n, \quad \frac{n}{m} = \frac{x_{\max}}{1 - x_{\max}} .$$

Ez az egyszerű kiértékelési módszer csak akkor működik megfelelően, ha az egyensúlyi rendszer nem túl komplikált (egy-, maximum kétféle komplex vegyület képződik). Ez a tervezési módszer nagyon elterjedt, mert kis oldattérfogatok használatával is több nagyságrendbeli változást lehet elérni a fém/ligandum arányban. A mérések bonyolult egyensúlyi reakciók esetén is kiértékelhetők korszerű számítástechnikai eszközökkel.

### 1.3.2. Mólarány módszer

Ennél a módszernél valamelyik komponens koncentrációját állandó értéken tartjuk, és a másik változásának függvényében vizsgáljuk pl. a fényelnyelés változását. Ekkor az abszorbancia változásában éles töréspontot kapunk stabil komplex vegyület képződésekor. A mólarány módszer adatainak kiértékeléséről ugyanaz

mondható el, mint a Job módszeréről. Kísérleti végrehajtás szempontjából a molarány módszer egyszerűbb, de a mérhető abszorbanciaeffektusok kisebbek ugyanakkora kémiai változásnál.

### 1.3.3. Kompetíciós módszer, állandó fémion és ligandum koncentráció mellett

Végezhetjük a méréseket állandó fém és ligandum koncentráció mellett is, sav vagy lúg adagolásával. Mivel a ligandumok többsége gyenge vagy közepesen erős bázis, a komplexképződési folyamat egyfajta "verseny" a fémion és a hidrogénion között a ligandumért. Ilyen rendszerekben a szabad ligandum koncentrációt annak protonálódási folyamatain keresztül változtatjuk, akár 10 nagyságrendbeli változást is el tudunk érni. Ez a módszer a leginformatívabb és egyben technikailag a legnehezebb. A méréseket végezhetjük titrálással vagy oldatsorozatok készítésével. Az előbbi annyit jelent, hogy a titrálendő oldat fémiont, ligandumot és savat is tartalmaz. A  $pH$ -t fokozatosan növeljük lúgoldattal való titrálással. Az utóbbi esetben olyan oldatsorozatokot készítünk, amelyekben a fém és a ligandum koncentráció azonos, csak a  $pH$  változik. Ezeknek a mintáknak mérjük a  $pH$ -ját és / vagy felvesszük a spektrumát.

### 1.3.4. Méréstervezés és oldatkészítés

A megfelelő mérési módszer kiválasztásakor elsődleges célunk, hogy az oldatban lévő minden jelentős részecskéről a lehető legtöbb információt szerezzük. A Job és a molarány módszer során állandó  $pH$  mellett végezzük a méréseket, így kevesebb információnk van a rendszerről. Ez a két módszer akkor használható jól, ha egyféle komplex képződik és elegendő, ha állandó  $pH$ -n és / vagy egy hullámhossznál végezzük a méréseket. Egyszerű rendszerek esetén gyorsaságuk miatt mégis elterjedtek, mert a látszólagos stabilitási állandók nagyon egyszerűen meghatározhatók. A mérendő oldatok konkrét összetételének tervezésekor szinte az egyetlen meghatározó szempont az, hogy megfelelően kiértékelhető jelet kapjunk a mérés során és ez a mért jel a komplex képződését jellemezze. Más általános szabályt nem is nagyon lehet felállítani, minden további megfontolás a mérési módszertől, a használandó készülékektől és a vizsgált rendszertől függ. Csak néhány példa:

- Spektrofotometriás méréseknél úgy kell hullámhosszat és koncentrációkat választani, hogy a legnagyobb leolvasható abszorbancia érték 1,3 alatt legyen.
- Az összetett részecskék a lehető legnagyobb mértékben képződjenek. Néha ehhez az kell, hogy a ligandum a fémionhoz képest nagyságrendbeli feleslegben legyen. Átfedő egyensúlyok esetén a képződés maximális mértékét maga a meghatározandó egyensúlyi állandó szabja meg alapvetően.
- Kompetíciós méréseknél a sav kezdeti koncentrációjának legalább akkorának kell lennie a titrált oldatban, hogy a ligandum lehetőleg teljesen protonálva legyen és a fémkomplex képződése még nem jelentős. Ha szükséges, erős savat is kell adni kezdetben a titrálendő mintához.

## 2. Cu(II)-tetramin komplex spektrofotometriás tanulmányozása

A gyakorlat megkezdése előtt a gyakorlatvezetőnek meg kell adnia

- a mérés hőmérsékletét,
- a mérések hullámhossz-tartományát spektrofotometriás mérés esetén,
- a törzsoldatok réz(II)-koncentrációját ( $R$ ) a 0,006–0,013 M tartományban,
- a beállítandó ionerősséget ( $I$ ) 0,6 és 1,0 M között és
- az ammóniumionok deprotonálásának mértékét ( $P$ ) 18–42 % között.

## 2.1. Elkészítendő törzsoldatok

Az oldatok mennyiségét a mérendő minták mennyisége alapján határozzuk meg.

**A:**  $\sim 0,5$  M  $\text{HNO}_3$ -oldat, amelynek pontos koncentrációját meg kell határozni hidrogénkarbonát titrálásával, metilvörös indikátor mellett. Tartsuk be a tömény sav hígításának szabályait! Csak színtelen tömény salétromsavat hígítsunk!

**B:**  $\sim 0,5$  M  $\text{KOH}$ -oldat ( $\sim 1,0$  M, ha  $P > 30\%$ ), amelynek pontos koncentrációját az **A** oldat segítségével kell meghatározni, metilvörös indikátor alkalmazásával. Az oldat készítésénél nagyon kell ügyelni a széndioxid-mentességre! Mérjük be a szükségesnél kétszer több szilárd  $\text{KOH}$ -ot egy főzőpohárba, majd néhány csepp vízzel nedvesítve mossuk le a pasztillák felületét, hogy eltávolítsuk a megkötött  $\text{CO}_2$ -ot. Ezt az eljárást ismételjük meg 5–6-szor, amíg a kimért  $\text{KOH}$ -nak kb. a felét el nem mostuk. A maradékot oldjuk fel. Ha lehetőség van rá, akkor előre kiforralt és lehűtött desztillált vizet használjunk az oldatkészítéshez.

**C:**  $R$  M  $\text{CuSO}_4$ ,  $0,05$  M  $\text{HNO}_3$  és  $(I - 4 \cdot R - 0,05)$  M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

**D:**  $R$  M  $\text{CuSO}_4$  és  $(I - 4 \cdot R)$  M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

**E:**  $R$  M  $\text{CuSO}_4$ ,  $(I - 4 \cdot R)$  M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , valamint annyi **B** oldat, hogy a bevitt ammónium-ionok  $P\%$ -a deprotonálva legyen.

2. táblázat. A mérési adat file.

1:	Pontos János	
2:	1997.01.18.	
3:	40.0	
4:	0.008	
5:	0.8	
6:	25.0	
7:	51	
8:	400	
9:	410	
:	:	
58:	900	
59:	p002.csv	0.0
60:	p003.csv	0.5
:	:	:
81:	p019.csv	25.0
82:	p020.csv	10000.0
83:	p001.csv	

## 2.2. A gyakorlat kivitelezése

- Készítse el az **A–E** oldatokat a következő pontból számítható térfogatokban. Vegyük figyelembe a titrálás és a mosogatás oldatigényét is! Az oldatok elkészítése előtt a számításokat ellenőriztessük le a gyakorlatvezetővel. A beméréseket pontosan kell végrehajtani az ionerősség állandósága érdekében!
- Vegye fel a **C**, **D** és **E**, valamint a következő összetételű oldatok spektrumát:  $40 \text{ cm}^3 \text{ D} + 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 4,8; 5,6; 6,5; 7,5; 8,7; 10,0; 12,0; 14,0; 17,0; 25,0 \text{ cm}^3 \text{ E}$  oldat. A méréseket úgy hajtsa végre, hogy a **D** oldatot titrálja **E** oldattal egy  $25 \text{ cm}^3$ -es bürettárból, a megadott pontokban a titrált oldatból vegyen mintát, vegye fel a spektrumát  $400\text{--}900 \text{ nm}$  között, majd a mintát juttassa vissza a titrálandó oldatba.

## 2.3. Mérési eredmények kiértékelése

- A mért spektrumokat ASCII-file-okban kell összegyűjteni (adatállományok). Minden spektrumnak külön file-ban kell lennie. Minden file két oszlopot tartalmaz, az első a hullámhosszakot, a második a mért abszorbanciákat. Az adatokat egy vagy több szóközzel kell elválasztani.
- Létre kell hozni még egy file-t, amely a mérési körülményeket tartalmazza. A 2. táblázat mutat egy példát ennek a file-nak a szerkezetére:
  - Az első hat sor a hallgató nevét, a mérés idejét, a titrált oldat kezdeti térfogatát, valamint  $R$ ,  $I$  és  $P$  értékét tartalmazza.
  - A 7. sor megadja, hogy hány hullámhosszon mért adatot veszünk figyelembe a mérés során. A 8–58. sorok a kiválasztott hullámhosszakot tartalmazzák.
  - Az 59–81. sorok egy file nevét és egy titrálási térfogatot tartalmaznak. Egy sor azt mondja meg, hogy az **E** oldat adott térfogatának hozzáadása után felvett spektrumot melyik file tartalmazza.

- A 82. sor a tiszta **E** oldat színképét tartalmazó file nevét adja meg. A név után álló 10000.0 kötelező!
- A 83. sor a **C** oldat spektrumát tartalmazó file neve.

A példa alapján értelemszerűen el kell készíteni a saját méréseire vonatkozó file-t. Kezdetben elég 5 hullámhosszat kiválasztani, ezt majd lehet módosítani az értékelés során.

3. A kész file-ok és a rendelkezésre álló ATFED.EXE program segítségével a mért adatokat olyan formára lehet hozni, hogy a PSEQUAD nevű általános egyensúlyi értékelő program azokat ki tudja értékelni, vagyis a stabilitási szorzatok kiszámíthatók legyenek. Az értékelés ezen részét a gyakorlat vezetőjével együtt kell végrehajtani.
4. A stabilitási szorzatok és a számítások egyéb eredményeinek ismeretében készítsen el két ábrát:
  - a réz(II)-ion és a különböző réz(II)-amin komplexek moláris abszorbancia spektrumát, és
  - a réz(II)-ion, valamint komplexeinek eloszlási diagramját ( $\alpha_i$  vs.  $-\lg[\text{NH}_3]$ ), ahol  $\alpha_i$  a következőképpen definiálható ( $n$  a maximális koordinációs szám, amelyet az értékelés során kapunk meg és  $i = 0, 1, \dots, n$ ):

$$\alpha_i = \frac{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_i]^{2+}}{T_{\text{Cu}^{2+}}} = \frac{\beta_i [\text{Cu}^{2+}] [\text{NH}_3]^i}{[\text{Cu}^{2+}] + \sum_{j=1}^n \beta_j [\text{Cu}^{2+}] [\text{NH}_3]^j} = \frac{\beta_i [\text{NH}_3]^i}{1 + \sum_{j=1}^n \beta_j [\text{NH}_3]^j}.$$

Az ábrát az  $[\text{NH}_3] = 1,0 \cdot 10^{-7} - 1,0 \text{ M}$  tartományban készítse el, az abszcissa tengelyen 50–100 pontot egyenletesen választva. Az illesztés eredményei alapján az ábrán tüntesse fel azokat a  $-\lg[\text{NH}_3]$  értékeket is, ahol a mérések készültek (minden egyes pontra!).

5. A méréseit, a számításokat és a két ábrát részletesen elemezze a diskusszióban.

# Ellenőrző kérdések

## I. hét: A mérések előkészítése

1. Mit értünk egy oldott részecske egyensúlyi, analitikai, teljes és bemérési koncentrációja alatt?
2. Mi a komponens és mi a részecske?
3. Mi a a stabilitási állandó és a stabilitási szorzat definíciója?
4. Mi az összetételmatrix?
5. Írja fel a foszforsav-oldatban található részecskék összetételmatrixát!
6. Mi az ionerősség definíciója?
7. Mennyi az ionerősség egy  $M^{2+}$ -ot,  $A^{-}$ -ot és  $MA^{+}$ -ot tartalmazó oldatban, ha  $T_M = 0,02M$ ,  $T_A = 0,04M$  és a stabilitási állandó 100?
8. Vezesse le, minimálisan hány mért adat szükséges pH-metriás mérés esetén ahhoz, hogy egy  $n$  komponensű,  $p$  db asszociátumot tartalmazó rendszert leírassunk?
9. A kérdés ugyanaz, mint az előző, csak spektrofotometriás mérések esetén.
10. Mi a víziószorzat? Milyen folyamatot jellemzünk ezzel?

## II. hét: Mérés és értékelés

1. Mi a Lambert–Beer törvény? Definiálja a jelöléseket!
2. Milyen kísérleti módszereket használna stabilitási állandók meghatározására? Jellemezze ezeket 2–2 mondatban!
3. Mi a Job-módszer?
4. Mi a mólarány módszer?
5. Mi az alapja, hogy állandó fémion- és ligandumkoncentrációnál is tudunk stabilitási állandókat meghatározni?
6. Írja fel az összefüggéseket a teljes és az egyensúlyi koncentrációk között abban az oldatban, amely H-t, M-t, A-t, HA-t,  $H_2A$ -t, MA-t és MAH-t tartalmaz!
7. Miért fontos az ionerősség állandó értéken tartása stabilitási állandók meghatározásakor?
8. Miért kell több kísérleti adatot gyűjteni a minimálisnál?
9. M fémion oldatát titráljuk A ligandum oldatával. Hogyan számítjuk ki a teljes koncentrációkat a titrálási pontokban, ha a titrálendő oldat kezdeti térfogata  $V_0$ ?
10. Mi az eloszlási diagram?