

## PRAKTICKÉ ÚLOHY Z KOLOIDNÍ CHEMIE

ALEŠ PANÁČEK a LIBOR KVÍTEK

*Katedra fyzikální chemie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc  
panacek@prfnw.upol.cz*

Došlo 5.1.05, přijato 7.4.05.

Klíčová slova: školní úlohy, koloidní chemie

### Úvod

Tento příspěvek je volným pokračováním první části úloh zaměřených na koloidní chemii publikované v Chemických listech<sup>1</sup> a společně tak tvoří celek, jehož cílem je zaplnění mezery ve výuce koloidní chemie na základních a středních školách. Na rozdíl od prvního příspěvku, který byl svým obsahem určen zejména pro žáky základních škol (osvojení základních pojmů z koloidní chemie, příprava koloidních soustav a pozorování jejich typických vlastností), je tento článek svým teoretickým a praktickým zaměřením koncipován spíše pro žáky středních škol. Po hlubší diskusi vlastností koloidních soustav v teoretické části předkládá praktická část článku úlohy semikvantitativního charakteru, v nichž se sleduje stabilita koloidů za určitých fyzikálně-chemických podmínek. Teoretická a praktická část pak společně vytváří učební text, který lze přímo použít ve výuce chemie. I přes pokročilejší téma jsou v tomto textu opět předloženy pro žáky zajímavé a pro školu materiálově nenáročné praktické úlohy z koloidní chemie, které lze bez větších problémů realizovat ve středoškolských laboratořích.

### Koloidní soustavy

#### Teoretická část

Význam koloidní chemie vyplývá z širokého využití jejích poznatků jak v samotném chemickém výzkumu, tak i v chemickém průmyslu (odstranění průmyslových exhalací, čištění odpadních vod aj.). S koloidy se však také setkáváme běžně v životě, aniž bychom si to uvědomovali. Mléko, saponáty, mýdlo, masérské emulze, stavební hmoty, roztok škrobu, mlha, kouř, rozvířený prach, pěna – to je jen krátký výčet z ohromné skupiny koloidů v našem každodenním životě. Připomeňme si však nejprve, co slovíčko koloid vůbec znamená.

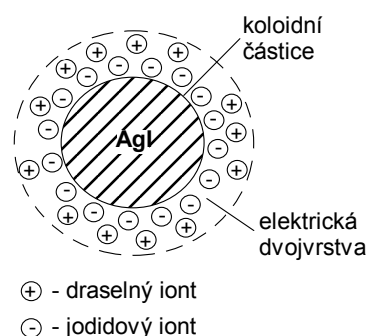
Koloid, přesněji koloidní soustava, obsahuje částičky určité chemické látky o velikosti přibližně 1–1000 nm rozptýlené v prostředí jiné chemické látky. Částice můžeme označit jako tzv. disperzní podíl (disperzní fáze) roz-

ptýlený v disperzním prostředí. Podle skupenského stavu disperzního podílu a disperzního prostředí (za normálních laboratorních podmínek) lze koloidní soustavy členit celkem do osmi skupin. Z nich jsou z hlediska použití v praxi významné soustavy, kde je disperzní prostředí tvořeno kapalnou látkou a disperzní podíl pevnou látkou. Tyto koloidní soustavy se nazývají soly. Jsou-li koloidní částice rozptýleny ve vodě, můžeme pak tyto soustavy označit jako hydrosoly (hydro = voda).

Koloidní soustavy lze dále podle chování koloidních částic k vodnému prostředí, v němž jsou rozptýleny, rozdělit na hydrofobní a hydrofilní.

Hydrofobní koloidní soustavy (-fobní je odvozeno od slova fobia = bát se) jsou většinou tvořeny částicemi anorganických látek (např. AgI, Fe(OH)<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, stříbro, síra aj.) rozptýlenými ve vodném prostředí. Hydrofobní koloidní částice mají svou určitou stavbu, kterou můžeme jednoduše popsat např. na koloidní částici AgI (obr. 1). Koloidní jodid stříbrný lze připravit např. reakcí několika kapek roztoku dusičnanu stříbrného v nadbytku roztoku jodidu draselného. Koloidní částice AgI je tvořena určitým počtem neutrálních molekul (nemají elektrický náboj) jodidu stříbrného. Toto jádro je pak obklopeno naadsorbovanými jodidovými ionty, které jsou v roztoku v nadbytku. Díky této vrstvě naadsorbovaných iontů má částice AgI záporný náboj. Kolem vrstvy naadsorbovaných jodidových iontů se vytváří další vrstva iontů s opačným (kladným) nábojem a tvoří další vrstvu, tzv. kompenzující vrstvu (částečně kompenzuje, vyrovnává náboj částice – viz obr. 1). V případě naší koloidní částice AgI jsou to solvatované draselné ionty. Obě tyto vrstvy iontů a protiiontů tvoří tzv. elektrickou dvojvrstvu, která umožňuje vznik a stabilitu koloidních částic a ovlivňuje jejich chování v soustavě. Pokud by se nevytvořila elektrická dvojvrstva kolem částice AgI, nedošlo by ke vzniku stabilního koloidu, ale vznikla by sraženina AgI.

Koloidní částice AgI s kladným nábojem lze připravit rovněž smícháním několika kapek roztoku KI s nadbytkem roztoku AgNO<sub>3</sub>. Vrstvu naadsorbovaných iontů pak v tomto případě tvoří ionty stříbrné (jsou v roztoku v nadbytku) a kompenzující vrstvu tvoří solvato-

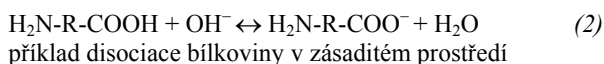
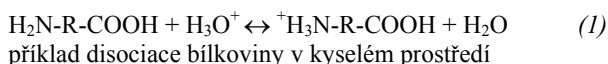


Obr. 1. Koloidní částice AgI se záporným elektrickým nábojem, který vytváří naadsorbované jodidové ionty. Kompenzující vrstvu vytváří solvatované draselné ionty K<sup>+</sup>

vané dusičnanové ionty ( $\text{NO}_3^-$ ).

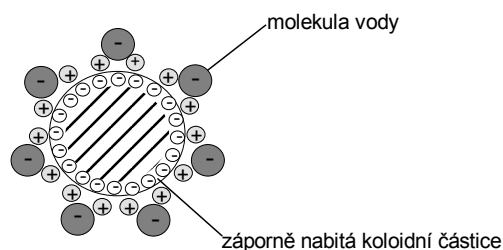
Většina vysoce koncentrovaných hydrofobních koloidních soustav se neudrží v koloidní formě nekonečně dlouhou dobu a jejich stabilitu lze počítat na hodiny až dny. Stabilitu těchto částic můžeme zcela zrušit, odstraníme-li existující elektrickou dvojvrstvu. Toho lze dosáhnout např. přidávkem dostatečného množství látky, jejíž kation nebo anion svým nábojem vykompenzuje náboj adsorbovaných iontů. Čím větší náboj nese, tím snadněji kompenzuje náboj iontů naadsorbovaných na koloidní částici. V případě záporně nabitých koloidních částic AgI se elektrická dvojvrstva snadněji zruší ionty  $\text{Zn}^{2+}$  než ionty  $\text{K}^+$ . Koloidní částice se pak vzájemně neodpužují a mohou se spojovat. Následně pak vznikají velké částice, které jsou vidět okem (sraženina). Tento proces se nazývá koagulace a velké částice postupně klesají na dno (sedimentují).

Hydrofilní koloidní soustavy (-filní je odvozeno od slova filé = mít rád) jsou tvořeny částicemi, u nichž jsou patrné přitažlivé interakce s molekulami vody (viz níže uvedený solvátový obal). Tyto koloidní soustavy jsou většinou tvořeny z makromolekul (látky obsahující vysoký počet vázaných atomů v molekule) a jsou vlastně jejich pravými roztoky. Příkladem mohou být bílkoviny, které se skládají z velkého počtu aminokyselin (stovky až tisíce). Molekuly bílkovin tedy tvoří ve vodě hydrofilní koloidní částice. Stavba těchto částic je jiná, než jak tomu bylo u částic hydrofobních. Molekula bílkoviny může mít v závislosti na pH prostředí buď kladný nebo záporný náboj. Zjednodušeně lze říci, že v kyselém prostředí ( $\text{pH} < 7$ ) dochází k disociaci zásaditých skupin v molekule bílkoviny a částice (bílkovin) budou mít náboj kladný (viz rovnice (1)). V prostředí zásaditém ( $\text{pH} > 7$ ) dochází k disociaci kyselých skupin v molekule bílkoviny a částice budou mít náboj záporný, jak ukazuje vztah (2). Takto se tedy vytvoří elektrický náboj částice tvořené makromolekulou bílkoviny.



Při určité hodnotě pH dochází k disociaci stejného počtu kyselých i zásaditých skupin v molekule bílkoviny, celkový elektrický náboj částice je pak nulový, a proto se koloid stává za těchto podmínek málo stabilním a jen malý podnět, jako je třeba přidavek méně polárního organického rozpouštědla (např. acetonu), vede k jeho vysrážení. Tato hodnota pH je specifická pro každou bílkovinu a nazývá se izoelektrický bod.

Na rozdíl od hydrofobních koloidních soustav jsou hydrofilní soustavy stabilní. Tento rozdíl ve stabilitě je dán tvorbou tzv. solvátového (hydrátového) obalu, který tvoří molekuly vody poutané na povrchu hydrofilních koloidních částic. Tvorba hydrátového obalu je umožněna polaritou vazby a tudíž existencí dipólu v molekule vody, který je způsoben různou elektronegativitou atomu vodíku



Obr. 2. Tvorba hydrátového obalu kolem záporně nabitých koloidních částic

a kyslíku. Koloidní částice se záporným nebo kladným nábojem obklopují molekuly vody orientované opačným nábojem k této koloidní částici (obr. 2). Hydrátový obal zvyšuje stabilitu hydrofilních koloidních částic, které se tak udrží v koloidní formě prakticky neomezeně dlouhou dobu, pokud nedojde ke změně podmínek. Proto lze hydrofilní koloidy využívat ke stabilizaci hydrofobních koloidních soustav. Hydrofilní částice se naadsorbují na částice hydrofobní a udělí jim tak hydrofilní vlastnosti. Koloidní roztoky s takovýmto účinkem nazýváme ochranné koloidy.

Přestože je stabilita hydrofilních koloidních částic poměrně vysoká, lze ji pomocí chemických nebo fyzikálních pochodů narušit nebo zcela zrušit. Příkladem může být srážení bílkovin roztoky obsahující ionty kovů (tzv. vysolování) nebo některými organickými látkami (ethanol, aceton). Stabilitu koloidního roztoku lze také zrušit např. účinkem vysoké teploty (vaječný bílek).

## Návody k praktickým úlohám z koloidní chemie

Níže uvedené úlohy nelze všechny zrealizovat v rámci jednoho laboratorního cvičení. Dvouhodinové laboratorní cvičení dovoluje provést pouze dvě praktické úlohy (doporučuji zařadit do cvičení společně úlohy 1 a 2 a nebo úlohy 3 a 4). Všechny úlohy jsou sestaveny jako úlohy žákovské.

### Koagulace hydrofobních koloidů

#### 1. Koagulace hydrofobního koloidu AgI

Pomůcky a chemikálie

Zkumavky, 10 ml pipety, odměrný válec,  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  roztok  $\text{AgNO}_3$ ,  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  roztok KI, roztoky elektrolytů –  $0,025 \text{ mol dm}^{-3}$  roztok citranu sodného a  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  roztok  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ , destilovaná voda.

Postup

Do stojanu si nachystáme devět zkumavek označených písmeny A až I pro přípravu koloidů AgI. Do zkumavek odpipetujeme množství roztoků  $\text{AgNO}_3$  a KI dle tabulky I. Roztoky pipetujeme do zkumavek tak, abychom vždy

roztok menšího objemu přidávali do roztoku v nadbytku. Nejprve provedeme koagulaci AgI (vznik sraženiny) pomocí citranu sodného. Elektrolyt přidáváme ke koloidu AgI, který je stabilizován nadbytkem buď jodidových nebo stříbrných iontů, postupně po 0,5 ml až do konečného objemu 3 ml. Do tabulky II symbolem „+“ zapíšeme vznik sraženiny ve vybrané zkumavce pro dané množství elektrolytu. Celý postup opakujeme i pro elektrolyt  $Zn(NO_3)_2$ .

#### Závěr

Na základě vzniku sraženiny ve zkumavkách pro daný elektrolyt určíme znaménko náboje koloidních částic.

#### Otázky

Vysvětlíte princip koagulace pomocí elektrolytů. Popište stavbu koloidní částice AgI se záporným nábojem.

#### Tabulka I

Množství roztoků  $AgNO_3$  a KI ve zkumavkách

Zkumavka	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Roztok $AgNO_3$ , ml	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Roztok KI, ml	1	2	3	4	5	6	7	8	9

#### Tabulka II

Výsledky koagulace

Elektrolyt	Objem [ml]	Zkumavka								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Citran sodný	0,5									
Citran sodný	1									
Citran sodný	1,5									
Citran sodný	2									
Citran sodný	2,5									
Citran sodný	3									
$Zn(NO_3)_2$	0,5									
$Zn(NO_3)_2$	1									
$Zn(NO_3)_2$	1,5									
$Zn(NO_3)_2$	2									
$Zn(NO_3)_2$	2,5									
$Zn(NO_3)_2$	3									

#### 2. Vliv želatiny a bílku na koagulaci hydrofobního koloidu AgI

##### Pomůcky a chemikálie

Kádinka (200 ml), zkumavky, pipety, stojan, filtrační kruh, filtrační nálevka, vata,  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  roztok  $AgNO_3$ ,  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  roztok KI,  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  roztok citranu sodného, 1% roztok želatiny, vaječný bílek, destilovaná voda.

#### Postup

Nejprve si připravíme roztok vaječného bílku z jednoho vejce ve 150 ml destilované vody, který přefiltrujeme přes vatu. Do třech zkumavek pak odměříme 9 ml roztoku dusičnanu stříbrného. Do první zkumavky odpipejeme 1 ml roztoku želatiny a do druhé 1 ml roztoku bílku. Třetí zkumavka je srovnávací, a proto do ní bílek či želatinu nepřidáváme. Potom přidáme do zkumavek 1 ml roztoku jodidu draselného. Takto připravené roztoky se snažíme koagulovat přidávkou 3 ml roztoku citranu sodného.

#### Závěr

Určete, ve kterých zkumavkách došlo a ve kterých nedošlo ke koagulaci koloidu AgI a proč.

#### Otázky

Vysvětlíte pojem ochranný koloid. Která skupina koloidů se vyznačuje tímto ochranným účinkem?

#### Koagulace hydrofilních koloidů

##### 3. Určení izoelektrického bodu želatiny

##### Pomůcky a chemikálie

Zkumavky, kádinky ( $2 \times 50 \text{ ml}$ ), aceton,  $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$  octan sodný,  $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$  kyselina octová,  $1 \text{ mol dm}^{-3}$  kyselina octová, 1% želatina, destilovaná voda.

#### Postup

Připravíme si sadu devíti zkumavek, do kterých odměříme objem příslušných roztoků dle tabulky III. Máme-li k dispozici pH-metr, překontrolujeme pH v jednotlivých zkumavkách. Poté začneme k jednotlivým zkumavkám

#### Tabulka III

Objemy roztoků ve zkumavkách

Roztok	Zkumavka								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ octan sodný, ml	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ kyselina octová, ml	0,12	0,25	0,5	1	2	4	–	–	–
$1 \text{ mol dm}^{-3}$ kyselina octová, ml	–	–	–	–	–	–	0,8	1,6	3,2
destilovaná voda, ml	3,88	3,75	3,5	3	2	–	3,2	2,4	0,8
1% želatina, ml	2	2	2	2	2	2	2	2	2
pH	6	5,6	5,3	5,0	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5

Tabulka IV  
Tabulka pro určení izoelektrického bodu

Objem přidávaného acetonu, ml	Zkumavka								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2									
4									
5									
6									
6,5									
7									
7,5									
8									
8,5									
9									
9,5									
10									
<i>pH</i>	6,0	5,6	5,3	5,0	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5

postupně přidávat množství acetonu podle tabulky IV a pozorujeme vznik nejprve zákalu a následně sraženiny ve zkumavkách. Vznik zákalu (označíme symbolem „\*“) a vznik sraženiny (označíme symbolem „+“) zapisujeme do tabulky IV.

#### Závěr

Z tabulky určíme izoelektrický bod želatiny, kterému odpovídá nejmenší spotřeba acetonu vedoucí ke vzniku sraženiny.

#### Otázky

Vysvětlete pojem izoelektrický bod. Jaký náboj budou mít koloidní částice bílkoviny v prostředí jehož  $pH = 11$ ?

#### 4. Koagulace roztoku vaječného bílku

##### Pomůcky a chemikálie

Zkumavky, kádinka (200 ml), stojan, filtrační kruh, filtrační nálevka, vata, aceton, vaječný bílek.

##### Postup

Vaječný bílek z jednoho vejce rozmícháme ve 150 ml destilované vody a roztok přefiltrujeme přes vatu. Do zkumavky pak odměříme 3 ml acetonu, ke kterému přikápneme

me 1 až 2 kapky roztoku bílku. Vznikne sraženina, kterou lze převést zpět do roztoku přidávkem 5 ml destilované vody.

#### Otázky

Uveďte jiné možnosti koagulace hydrofilních koloidů.

### Metodické poznámky

#### Úkol č. 1

- Koagulaci nelze provádět elektrolyty jako je síran sodný nebo fosforečnan draselný, protože by došlo k jejich reakci se stříbrnými ionty, které jsou v koloidu AgI s kladným nábojem v nadbytku. Stejně tak nelze provádět koagulaci elektrolyty jako je chlorid vápenatý nebo chlorid hlinitý.
- Ve zkumavce E dojde ihned po smíchání obou reagenčních ke vzniku sraženiny. Při ekvimolárním množství obou výchozích látek nedochází ke vzniku koloidního AgI. Ten je pouze silně žlutě zakalen bez viditelných částí sraženiny.

#### Úkol č. 3

- Jednotlivá množství kyseliny octové mohou žáci odměřit pomocí byrety. Množství destilované vody je možno zaokrouhlit na jedno desetinné místo.
- Ke koagulaci želatiny lze použít i ethanol, ale jeho spotřeba se pohybuje v rozmezí 20–22 ml v izoelektrickém bodě želatiny a nelze tak úkol provádět ve zkumavkách.
- Aceton patří mezi látky vysoce hořlavé F, rizikovost podle vět R 11-66-67, bezpečnost práce podle vět S (2-)-9-16-26.

#### LITERATURA

1. Panáček A., Kvítek L., Klečková M.: Chem. Listy 98, 39 (2004).

**A. Panáček and L. Kvítek** (*Department of Physical Chemistry, Faculty of Science, Palacký University, Olomouc*): **Colloid Chemistry in Laboratory Practice**

The aim of the article is to supply a current missing field of chemistry in grammar schools by project of simple practical problems from colloid chemistry. It contains theoretical part and practical problems focusing on physical and chemical properties of colloid chemistry.