

Система називається **дисперсною**, якщо одна речовина, що перебуває в роздробленому стані – дисперсна фаза – рівномірно розподілена в масі іншої речовини – дисперсійне середовище.

Будь-яку речовину за певних умов можна перевести в колоїдно-дисперсійний стан. Наприклад NaCl у воді утворює справжній розчин (гомогенну систему), а в бензолі – колоїдну (гетерогенну) систему. У колоїдно-дисперсійному стані кожна частка є агрегатом молекул даної речовини.

Основні умови отримання колоїдних розчинів такі:

а) речовини дисперсної фази повинні бути практично нерозчинними в дисперсійному середовищі; б) концентрація золю повинна бути незначною; в) у системі повинен існувати третій компонент – стабілізатор.

Дисперсні системи, зокрема колоїдні, широко розповсюджені у природі. Наприклад, плазма крові, спинномозкова рідина, жовч та шлунковий сік: поряд з солями до їх складу входять ферменти, ВМС, жовчні кислоти та ін. Колоїди різних тканин тварин і рослинних організмів обумовлюють різноманітність їх властивостей – набухання, еластичність і т.д. До твердоподібних дисперсних систем належать тканини, шкіра, кісті.

Усі дисперсні системи можна класифікувати:

### **I За ступенем дисперсності:**

**1 Грубодисперсні системи** – розмір частинок від  $10^{-6}$  м і вище. До них належать суспензії (суспензія крохмалю у воді – т/р), емульсії (молоко: жир у воді – р/р), аерозолі: туман – рідке у повітрі – р/г, дим – тверде у повітрі – т/г та інші.

**2 Колоїдні розчини** (їх часто називають золями від латинського solutus розчинник) – розмір частинок  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  м. Вони можуть проходити крізь пори рослинних і тваринних мембран (целофан, стінки бичачого міхура

тощо). До високодисперсних колоїдних систем належать фібрилярні білки, нерви, еритроцити крові, вірус грипу, молекула глікогену і т.д.

## **II За агрегатним станом дисперсної фази і дисперсійного середовища:**

1 **Гідрозолі** – дисперсне середовище – вода.

2 **Органозолі** – дисперсійне середовище – органічні розчинники.

3 **Аерозолі** – дисперсійне середовище – гази.

## **III За міжфазною взаємодією:**

1 **Ліофільні** – добре взаємодіючі з розчинником за рахунок сольватації (гідратації – для води). Поверхневий натяг на межі розподілу фаз малий, і тому ці системи термодинамічно стійкі,  $\Delta G < 0$ . Деякі такі системи можуть самовільно диспергуватися. До ліофільних систем належать розчини білків, ферментів, ДНК, РНК, глікогенів тощо.

2 **Ліофобні** (погано взаємодіють з розчинниками) – дисперсні частинки слабо взаємодіють з дисперсійним середовищем, міжфазовий натяг досить великий, система має значний надлишок вільної енергії і термодинамічно нестійка,  $\Delta G > 0$ . До ліофільних систем належать золі металів, латекси і т.д.

3 Особливе місце займають **розчини ВМС** – вони гомогенні, стійкі, зворотні і за цими ознаками можуть бути віднесені до справжніх розчинів. Але розміри макромолекул ВМС сумірні з розмірами колоїдних частинок, і тому вони виявляють деякі властивості, характерні для дисперсних систем.

## МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

Колоїдні розчини - це системи, які розміщені між грубодисперсними системами (суспензії, емульсії) та істинними розчинами, де речовина перебуває у вигляді молекул або іонів. Колоїдні розчини можуть бути отримані дисперсними або конденсаційними методами.

1 **Дисперсні методи** – дробіння чималих частинок або механічне (фармпрепарати, фарби), або ультразвуком (крохмаль, желатин тощо)

При дробінні речовин робота, яка витрачається на розрив зв'язку між молекулами, накопичується на межі розподілу фаз у вигляді надлишкової вільної поверхневої енергії. Тому речовина в диспергованому стані має більшу енергію і активність, ніж нероздвібнена речовина того ж складу.

Завдяки ненасиченим зв'язкам на межі розподілу фаз часточки дисперсної фази можуть притягувати із навколишнього середовища молекули або іони розчинника (адсорбція) або взаємно поєднуватися (коагуляція). Усі ці процеси супроводжуються зменшенням вільної енергії системи, тобто є термодинамічно вигідними та ідуть самовільно. При колоїдній дисперсності поверхня розподілу фаз максимально розвинута, і система виявляє максимум вільної поверхневої енергії  $F_{\max}$ . Система з  $F_{\max}$  принципово термодинамічно нестійка, не однакові за вагою та згідно з другим законом термодинаміки самовільно переходять у стан з більш низькими значеннями вільної поверхневої енергії  $F_{\min}$  – коагулюють або, навпаки, розчиняються.



процесу до кількох діб. Постійнодіючий діалізатор in vivo-нирки.

**Електродіаліз** – прискорений процес діалізу для видалення електролітів під дією зовнішнього джерела постійного струму. Застосовуються мембрани: неселективні,



Рисунок 1 – Схема діалізатора: 1) напівпропускна мембрана; 2) чистий проточний розчинник

тобто пропускні для різних іонів; селективні (наприклад іоніти) – тільки для певних іонів. Перевага – скорочення терміну очищення до годин та хвилин (див. рис. 2).

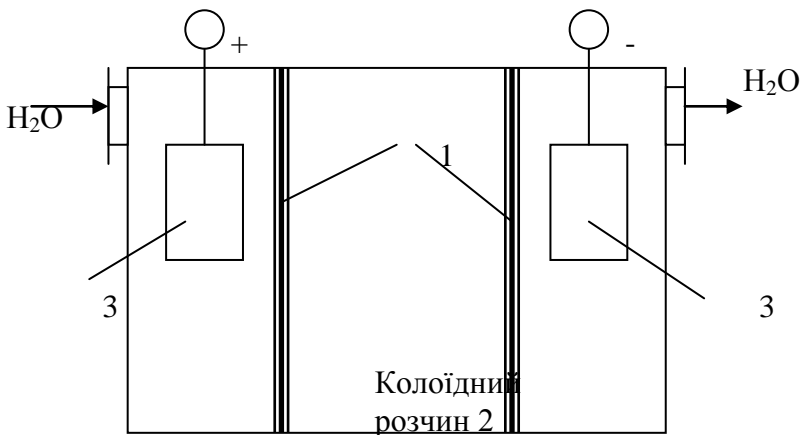


Рисунок 2 – Схема електродіалізу: 1) напівпропускна мембрана; 2) колоїдний розчин; 3) електроди

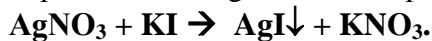
Застосування - знесолювання морської води, очищення молочної сироватки і т.д.

**Компенсаційний діаліз** ( на тваринах - вівідіаліз) - колоїдний розчин у діалізаторі обмивається не чистим розчинником, а розчинами з різноманітними концентраціями речовин, які знаходяться в колоїдному розчині. За цим принципом працює апарат “штучна нирка”, який застосовується при гострій нирковій недостатності – отруєннях, тяжких опіках, токсикозі вагітних тощо. Апарат підключається до системи кровообігу хворого, кров під тиском, який утворюється пульсуючим насосом , прокачується між мембранами, які омиваються зовні фізіологічним розчином. Загальна площа мембран ~ 1,5 м<sup>2</sup> при об’ємі заповнення кров’ю 150-200 мл, очищення крові (гемодіаліз) від продуктів розпаду – 3-4 години.

**Ультрафільтрація** – очищення колоїдних розчинів шляхом продавлювання (тиском або вакуумом) дисперсійного середовища крізь ультрафільтри (ультраембрани).

## МІЦЕЛЯРНА ТЕОРІЯ БУДОВИ КОЛОЇДНИХ ЧАСТИНОК

Розглянемо будову гідрофобної колоїдної частинки на прикладі утворення золю AgI обмінною реакцією



Якщо речовини беруться в еквівалентних кількостях, то випадає кристалічний осад AgI. Але, якщо одна з вихідних речовин буде у надлишку , наприклад KI, процес

кристалізації AgI веде до утворення колоїдного розчину – міцели AgI.

Будова міцели гідрозолу AgI схематично зображена на рис.3. Агрегат молекул  $[n\text{AgI}]$  кількістю 100-1000 (мікрокристал, ядро) є зародком нової фази, на поверхні якого відбувається адсорбція іонів електроліту, які знаходяться в дисперсійному середовищі.

Згідно з правилом Панета-Фаянса краще адсорбуються іони, однакові з іонами, які входять до кристалічної решітки ядра і добудовують цю решітку. Іони, адсорбовані безпосередньо на ядрі, яке не розчиняється в даному дисперсійному середовищі, називаються потенціалвизначаючими, тому що вони визначають величину потенціалу та знак заряду поверхні, а також і знак заряду всієї частинки.

Потенціалвизначаючими іонами в даній системі є іони  $\Gamma$ , які знаходяться в надлишку, входять до складу кристалічної решітки ядра AgI, виконують роль стабілізаторів і складають внутрішню оболонку у жорсткій частині подвійного електричного шару (ПЕШ) міцели.

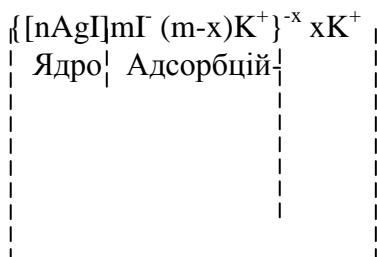
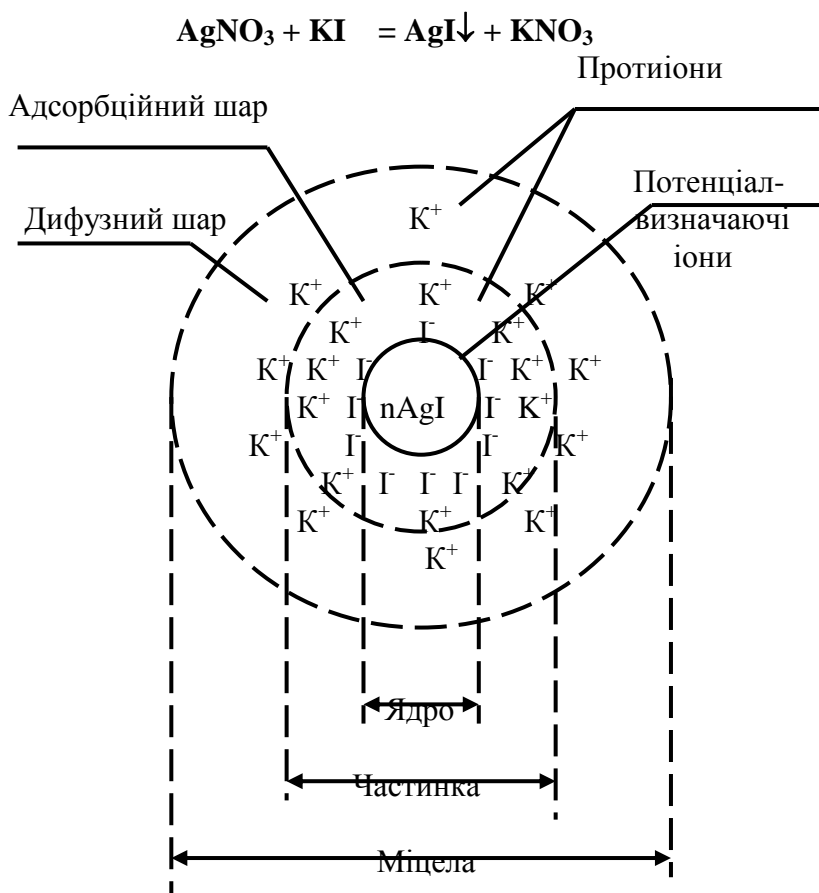
Агрегат з адсорбованими на ньому іонами  $\Gamma$  утворює ядро міцели.

До негативно зарядженої поверхні часток AgI на відстані, близькому до радіуса гідратованого іона, з розчину притягуються іони протилежного знаку (протиіони) – позитивно заряджені іони  $\text{K}^+$ . Шар протиіонів – зовнішня обгортка подвійного електричного шару (ПЕШ), утримується як електростатичними силами, так і силами адсорбційного притягання.

Агрегат молекул разом з твердим подвійним шаром називається колоїдною частинкою.

Частина протиіонів внаслідок теплового руху розміщується дифузно углиб розчину, і притягання їх здійснюється тільки за рахунок електростатичних сил.

Колоїдні частинки разом з оточуючим її дифузним шаром називається міцелою. Міцела електронейтральна, тому що заряд ядра дорівнює зарядові всіх проти іонів, а частинка звичайно має заряд, який називається електрокінетичним, або  $\xi$ -дзета-потенціалом.





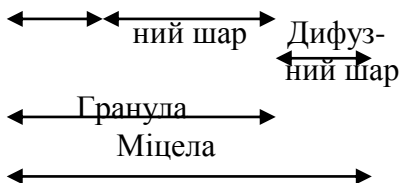
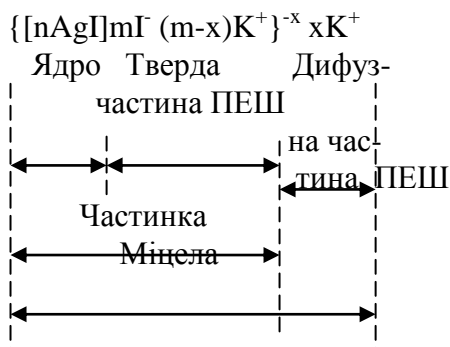


Рисунок 3 – Будова міцели AgI

Будову міцели можна подати такою формулою:



Тут  $[n\text{AgI}]$  – кількість молекул AgI, яка міститься в агрегаті (ядрі);  $m\Gamma$  - кількість потенціалвизначаючих іонів;  $(m-x)\text{K}^+$  - кількість протиіонів у твердому адсорбційному подвійному шарі ;  $x\text{K}^+$  - кількість протиіонів, які містяться у дифузному шарі.

Наявність іонодифузної атмосфери навколо частинок гідрофобного золю перешкоджає їх злипанню при зіткненні, тобто є фактором агрегатної стійкості золю.

Якщо кількість дифузних іонів дорівнює нулю, то гранула стає електронейтральною (ізоелектричний стан) і має найменшу стійкість.

У біосистемах заряд колоїдних частинок може виникати внаслідок вибіркової адсорбції на поверхні дисперсних частинок (полісахариди, ліпіди, холестерин тощо) або за рахунок іонізації (дисоціації) поверхневих

іоногенних груп, що характерно для білкових молекул. Білки існують у розчинах у вигляді біполярних іонів і залежно від рН середовища може переважати або катіонна, або аніонна форма білків:



Враховуючи, що майже у всіх середовищах організму  $\text{pH} > 7$ , то *in vivo* переважають аніонні форми білків молекул.

Розглянемо будову міцели ліофільної дисперсної системи на прикладі білкової молекули у лужному середовищі ( $\text{pH} > 7$ ) (див.рис.4).



S



S



#### Рисунок 4 – Міцела білка в лужному середовищі

Вуглеводні групи в міцелі білка заховані вглибині глобули і утворюють вуглеводне ядро. Частина іонів ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) щільно притиснута до іонізованих груп, утворює адсорбційний шар. Інша частина іонів ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  і т.д.) міститься в дифузному шарі.

#### **ПОДВІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ШАР (ПЕШ)**

Одним з основних положень теорії будови колоїдних частинок є уявлення про будову подвійного електричного шару (ПЕШ). Розрізняють три механізми виникнення ПЕШ:

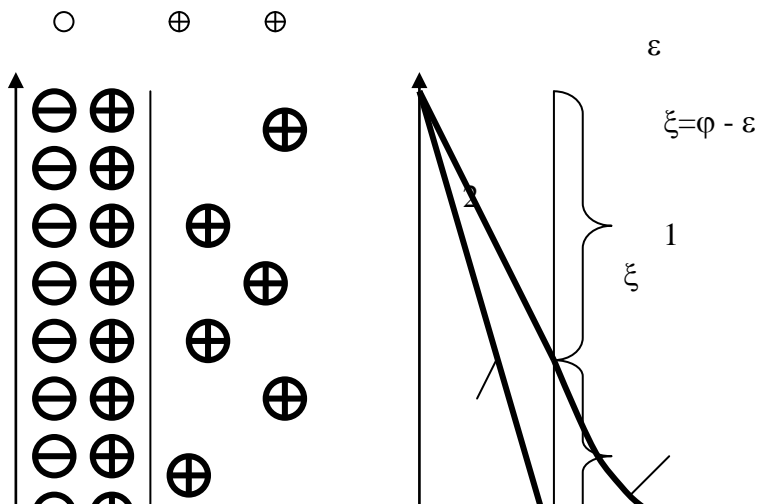
а) адсорбцію іонів електролітів; б) поверхневу дисоціацію функціональних груп (наприклад, білкові молекули); в) орієнтування полярних груп на міжфазовій межі (полісахариди).

Згідно з сучасними уявленнями, ПЕШ складається з адсорбційного і дифузійного шарів. Адсорбційний шар складається: а) із зарядженої поверхні ядра міцели внаслідок адсорбції на ній потенціалвизначаючих іонів, які визначають величину потенціалу поверхні і його знак; б) із шару іонів протилежного знака – протиіонів, які притягуються із розчину до зарядженої поверхні. Адсорбційний шар протиіонів знаходиться на відстані молекулярного радіуса протиіона від зарядженої поверхні. Між цією поверхнею і протиіонами адсорбційного шару існують як електростатичні, так і адсорбційні сили, і тому ці протиіони утримуються особливо міцно (див.рис.5). Адсорбційний шар дуже щільний, товщина його постійна і не залежить від зміни зовнішніх умов (концентрації електроліту, температури).

Внаслідок теплового руху частина протиіонів проникає вглибину дисперсійного середовища, і їх притягання до зарядженої поверхні здійснюється тільки за рахунок електростатичних сил. Ці протиіони складають дифузний шар, менш щільно пов'язаний з поверхнею. Дифузний шар має змінну товщину, яка залежить від концентрації електролітів у дисперсійному середовищі.

Під час руху твердої та рідкої фаз одна відносно одної виникає розрив ПЕШ у дифузній частині та на межі розподілу фаз виникає стрибок потенціалу, який називають *електрокінетичним, або  $\xi$  - потенціалом (дзета-потенціал)*. Його величина визначається різницею між загальною кількістю зарядів  $\phi$ -потенціалвизначаючих іонів та кількістю зарядів протиіонів  $\epsilon$ , які містяться в адсорбційному шарі, тобто  $\xi = \phi - \epsilon$ . Спадання міжфазного потенціалу при віддаленні від твердої фази вглибину розчину показано на рис.5. Негативний потенціал рідкої

Ag I<sub>n</sub> I (n-x) K xK  $\phi$   
 $\phi$



	$\tau$		$\tau$
Адсорб- ційний шар	Рухомий дифузний шар	Адсорб- ційний шар	Рухомий дифузний шар

Рисунок 5 – Будова ПЕШ:  $\xi$  - дзета – потенціал;  $\phi$  - термодинамічний потенціал;  $\varepsilon$  - адсорбційний потенціал

фази зменшується в адсорбційному шарі лінійно, як у плоскому конденсаторі, а потім за віддаленням від зарядженої поверхні більш повільно знижується за експонентою до нуля в дифузному шарі (рис.5, крива 1). Таким чином, електрокінетичний потенціал,  $\xi$ -потенціал – частина міжфазного потенціалу, яка належить рухомому (дифузному) шару іонів.

Величина дзета-потенціал залежить від товщини дифузного шару і концентрації електролітів, що містяться в розчині. При збільшенні концентрації електроліту в розчині дифузія іонів із щільного шару в розчин уповільнюється, що призводить до зменшення  $\xi$ -потенціалу. При збільшенні концентрацій електролітів у дисперсійному середовищі подвійний шар максимально ущільнюється, і його ширина стає такою самою, як і адсорбційного. Такий стан дисперсної системи називається **ізоелектричним**:  $X = 0$ ,  $\xi = 0$ . При цьому заряд ядра міцели компенсується зарядом протіона адсорбційного шару (рис.5, крива 2). У розріджених розчинах величина дзета-потенціалу збільшується внаслідок збільшення дифузного шару. Значення  $\xi$ -потенціалу звичайно невеликі (0,1-0,01 В), але відіграють значну роль у колоїдній хімії,

особливо у зв'язку з проблемою стійкості дисперсних систем.

Під час дії високовалентних іонів, особливо поверхнево-активних органічних сполук (алкалоїди і т.п.), дзета-потенціал легко змінює не тільки свою величину, але й навіть знак заряду. Це пояснюється тим, що ці сполуки мають високий адсорбційний потенціал, здатність при проникненні у подвійний шар витіснити слабовалентні іони з подвійного шару. А адсорбуючись у надеквівалентній кількості, вони викликають перезарядку поверхні колоїдних частинок.

Для білкових систем величина дзета-потенціалу залежить від рН середовища, причому залежно від рН середовища вони можуть змінювати і знак дзета-потенціалу.

## ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНІ ЯВИЩА

Подвійний іонний шар є причиною електрокінетичних явищ, тобто явищ відносного переміщення фаз в електричному полі або, навпаки, виникнення електричного поля в результаті переміщення фаз. Якщо в золь або суспензію помістити два електроди і пропустити постійний струм, заряджені часточки будуть рухатися до потрібного полюса. Таке спрямування руху твердих часточок у колоїдному розчині називається *електрофорезом* (див. рис. 6). У результаті електрофорезу виникає осідання часточок на електроді.

Значення електрокінетичного потенціалу, який виникає при електрофорезі, можна розрахувати за рівнянням

$$K \cdot \pi \cdot \eta \cdot U$$

$$\xi = \frac{K \cdot U}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H}, \text{ В,}$$

де  $K$  – коефіцієнт, який залежить від форми частинок (для частинок сферичної форми  $K = 6$ , циліндричної –  $K = 4$ );

$\eta$  - в'язкість середовища, Па·с;  $\varepsilon$  - відносна діелектрична проникність середовища;  $\varepsilon_0$  – абсолютна діелектрична проникність вакууму ( $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м);  $U$  – електрофоретична швидкість, яка дорівнює (м/с)

$$U = \frac{S}{H \cdot \tau},$$

де  $S$  - шлях, який проходить часточка за секунду;  $H$  - градієнт потенціалу зовнішнього електричного поля, В/М, який дорівнює  $H = E/l$ , де  $E$  – прикладена напруга, В;  $l$  – відстань між електродами, м.

Рух іонів дифузного шару в електричному полі крізь пористу систему з неоднорідною твердою фазою (наприклад, керамічна діаграма, целофанова діаграма, ґрунт) викликає напрямлену течію всього розчину крізь пори до потрібного електрода. Це явище називається *електроосмосом* (див. рис. 7).

При протискуванні під вагою розчину крізь мембрану внаслідок зміщення іонів дифузного шару виникає різниця електричних потенціалів між вхідним і вихідним розчинами. Ця різниця потенціалів – потенціал протікання (див. рис. 8). Описаний ефект протилежний електроосмосу.

Різниця потенціалів, що виникає між двома шарами, які розміщені на різних висотах, при осіданні завислих частинок (наприклад, піщинок у воді) називається

*потенціалом осаду (седиментації), або ефектом Дорна*  
(див. рис. 9).

## ГЛИНА

Рисунок 6 – Електрофорез

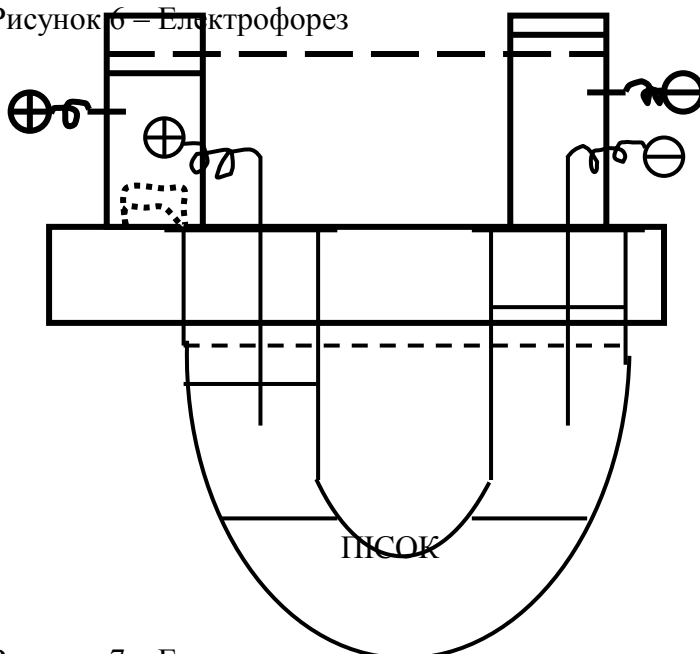
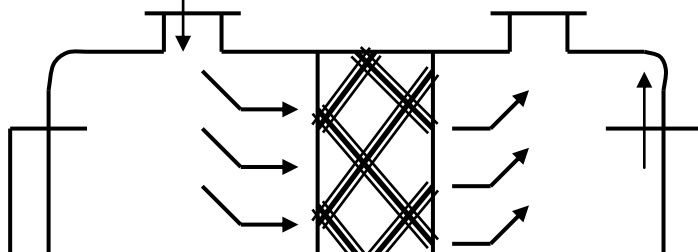


Рисунок 7 – Електроосмос





I

I

Рисунок 8 – Потенціал течії

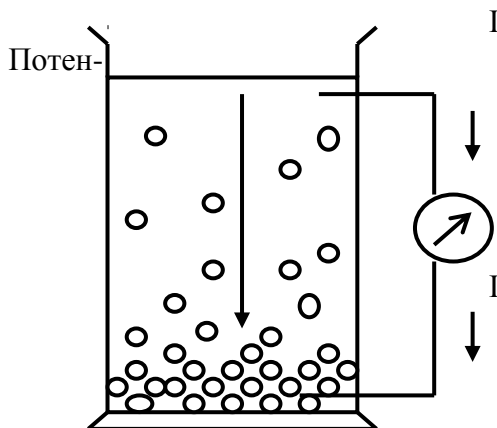


Рисунок 9 –

ціал осідання

Залежність між описаними вище електрокінетичними явищами можна зобразити схемою 1.

Найбільшого поширення серед електрокінетичних явищ набув електрофорез.

Метод електрофорезу широко використовується в медицині, наприклад, для видалення та дослідження

деяких фракцій білків плазми крові, що дозволяє діагностувати багато захворювань. При створенні електричного поля кожний компонент дослідної суміші рухається зі швидкістю, пропорційною величині дзета-потенціалу, в результаті чого суміш поділяється на ряд фракцій. При реєстрації отримують електрофореграми, в яких висота піків відповідає кількісному вмісту кожної фракції.

Електрофореграми плазми крові в нормі для всіх людей однакові. При патології вони мають характерний, специфічний для кожного захворювання вигляд і можуть бути застосовані як для діагнозу, так і для контролю нормалізації білкового складу крові (див. рис. 10).

Схема 1

Явище	Суть явища	Причина явища
-------	------------	---------------

Електрофорез	Рух часточок твердого тіла, диспергованого в рідині	Додавання електричної напруги
Електроосмос	Рух рідинного середовища відносно твердого тіла	Додавання електричної напруги
Потенціал течії	Виникнення різниці потенціалів між точками плинного дисперсійного середовища відносно нерухомої фази	Переміщення рідини відносно твердого тіла крізь пористу перетинку або систему капілярів
Потенціал осідання	Виникнення різниці потенціалів між точками, які знаходяться на різних висотах рухомої дисперсної фази	Рух твердої фази в рідинному середовищі

A

 $\alpha$ 

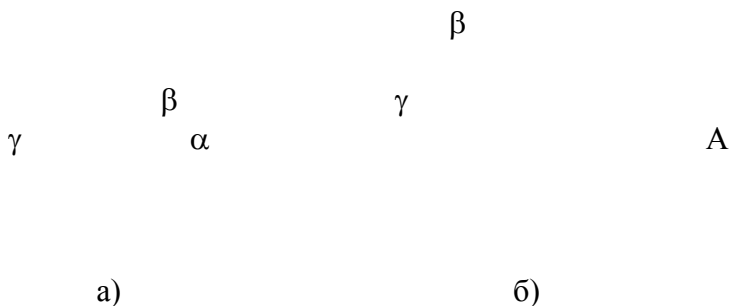


Рисунок 10 – Електрофореграма плазми крові:  
а) в нормі; б) при нефриті

Електрофорез широко застосовують також для поділу амінокислот, антибіотиків, ферментів і т.ін. За допомогою електрофорезу встановлено, що всі біологічні поверхні мають негативний електрокінетичний потенціал, величина якого різна для різних плівок. Так, величина дзета-потенціалу еритроцитів у людини при рН = 7,4 дорівнює – 16,3 мВ і є величиною сталою.

Лейкоцити також мають негативний дзета-потенціал, але електрофоретична рухомість їх в два рази нижча, ніж у еритроцитів. За сучасними поглядами явище електрофорезу спостерігається при міграціях лейкоцитів у запальні осередки. При запальних процесах відбувається порушення біоструктур з утворенням продуктів кислого характеру, і внаслідок цього поверхні тканин заряджаються позитивно. Виникає значна різниця потенціалів між лейкоцитами і цими тканинами, і вона прискорює рух лейкоцитів до запалених ділянок.

## СТІЙКІСТЬ І КОАГУЛЯЦІЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

Проблема стійкості дисперсних систем і факторів, що її викликають, є головною в колоїдній хімії.

Стійкість або нестійкість гетерогенних колоїдних систем залежить від того, що сильніше: або сили зчеплення (притягання, або атракційні сили), під впливом яких відбувається злипання часточок і спостерігається процес осадження – седиментація, або сили відштовхування, які перешкоджають зближенню часточок і їх з'єднанню. Сили притягання мають характер молекулярної взаємодії (вандерваальсові сили). Сили відштовхування визначаються електростатичною взаємодією між іонами ПЕШ, які оточують кожен колоїдну частинку і перешкоджають випадінню дисперсної фази в осад.

Розрізняють кінетичну (седиментаційну), термодинамічну і агрегативну стійкість.

**1 Кінетична (седиментаційна) стійкість** – здатність дисперсних частинок перебувати у завислому стані і не седиментуватися, тобто не осідати. У дисперсних системах, як і в природних розчинах, існує броунівський рух, що супроводжується дифузним вирівнюванням концентрації частинок у всьому об'ємі золю. Броунівський рух залежить від розмірів частинок, в'язкості дисперсного середовища, температури тощо. Частинки дисперсної фази, які перебувають у завислому стані в газоподібному або рідкому середовищі, зазнають дії двох протилежних сил: а) сил тяжіння (гравітаційні сили), які концентрують часточки в нижніх шарах; б) сил дифузії, які переміщують дисперсну фазу із зони великих концентрацій у зону менших.

Тонкодисперсні системи (золі), часточки яких практично не осідають під впливом сили тяжіння, називаються **кінетично (седиментаційно) стійкими**. До них належать гідрофільні золі – розчини полімерів, білків тощо. Гідрофобні золі, грубодисперсні системи (суспензії, емульсії) принципово кінетично нестійкі. В них достатньо швидко проходить розподіл фази та середовища.

**2 Термодинамічно стійкі дисперсні системи** ( $\Delta G < 0$ ) звичайно утворюються в результаті мимовільного диспергування (розчинення) однієї з фаз. До них належать деякі ліофільні колоїди (глини, мила і інші), а також розчини ВМС (молекулярні колоїди) – розчини білка, ДНК, РНК та інші. Так, у водному розчині молекула білка згорнута в міцелу з ПЕШ на поверхні.

Термодинамічно нестійкі дисперсні системи мають високорозвинуту поверхню, велику надлишкову поверхневу енергію ( $\Delta G > 0$ ). Для достатньої стійкості такі системи потребують добавки стабілізаторів. До них належать ліофобні колоїди: золі металів і інші. Однак, незважаючи на термодинамічну нестійкість, багато ліофобних систем є кінетично стійкими.

**3 Агрегатна стійкість** – здатність часточок дисперсної фази зберігати ступінь дисперсності незмінним. В агрегатно стійких системах часточки дисперсної фази при зіткненні не злипаються і не утворюють агрегатів. Але при порушенні агрегатної стійкості колоїдні часточки утворюють великі агрегати з подальшим випаданням дисперсної фази в осад. Такий процес називається **коагуляцією**, і протікає він мимовільно, тому що при цьому зменшується вільна енергія системи ( $\Delta G < 0$ ).

До факторів, які впливають на стабільність колоїдних систем, належать :

1 Наявність електричного заряду дисперсних часточок. Дисперсні часточки ліофобних золів мають однаковий заряд, і тому при зіткненні вони будуть

відштовхуватися один від одного тим сильніше, чим вищий дзета-потенціал. Однак електричний фактор не завжди є визначаючим, тому що відомі золі, в яких збільшення дзета-потенціалу зменшує їх агрегатну стійкість.

2 Здатність до сольватації (гідратації) стабілізувальних іонів. Чим більше гідратовані (сольватовані) протиіони в дифузному шарі, тим більша загальна гідратна (сольватна) оболонка навколо гранул і тим стабільніша дисперсна система.

Згідно з теорією стійкості (Дерягін, Ландау, Фервей, Овербек) при броунівському русі колоїдні часточки вільно зближуються на відстань до  $10^{-5}$  см. Подальшому зближенню перешкоджає так званий розклинювальний тиск, який виникає в тонких шарах води, що містяться між двома твердими поверхнями. Під впливом електростатичних полів, які утворюються іонами колоїдних часточок, молекули води поляризуються, розміщуючись більш упорядковано, і прилягаючи до часточки тонкий шар води отримує особливі властивості (підвищена в'язкість, пружність тощо), що і перешкоджає з'єднанню часточок. Якщо часточки мають енергію, достатню для подолання тиску розклинювання, то на відстані, яка дорівнює діаметру часточок ( $\sim 10^{-7} - 10^{-8}$  см), починає переважати міжмолекулярне притягання і молекули об'єднуються, утворюючи агрегати з подальшою коагуляцією.

3 *Адсорбційно-структурний (структурно-механічний) фактор* характерний для колоїдних систем,

отриманих у неводних полярних розчинниках, а також для захисту гідрозолів і гідросуспензій від коагулювальної дії електролітів. У цих системах на поверхні колоїдних часточок адсорбуються не тільки іони, але і молекули, причому більш ефективно адсорбуються молекули ВМС,

миючих речовин, білків, розчинних у воді, ефірів целюлози, крохмалю тощо. У результаті на поверхні колоїдної часточки, крім іонсолватної оболонки, утворюється адсорбційний шар молекул полімерів, які утворюють просторову структуру, що захищає часточку від злипання. При взаємодії цих молекул між собою утворюється гелеподібна механічно стійка плівка сітчастої структури.

Здатність ВМС до утворення полімолекулярного адсорбційного шару на поверхні колоїдних часточок називається *захисною дією* (див. стор. 29).

## КОАГУЛЯЦІЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

Коагуляція – процес злипання колоїдних часточок перебігає порівняно легко під дією самих різних факторів: введення електролітів, неелектролітів, заморожування, кип'ятіння, перемішування, дії сонячного світла тощо. У процесі електролітної коагуляції часто спостерігається іонообмінна адсорбція: іони коагулянта з більшою валентністю або більшим адсорбційним потенціалом витісняють протиіони спочатку дифузного шару, а потім і адсорбційного шару. Обмін проходить в еквівалентній кількості, але заміна протиіонів приводить до того, що при достатній концентрації електролітів у дисперсному



середовищі часточки гублять стійкість і при зіткненні злипаються.

Існують два типи коагуляції: а) *нейтралізаційна коагуляція*, що характерна для слабкозаряджених золів і емульсій ( $\xi < 50$  мВ), в яких потенціал поверхні знижений внаслідок недоліку потенціалвизначаючих іонів або внаслідок адсорбції протилежно заряджених іонів; б) *концентраційна коагуляція*, яка характерна для сильнозаряджених золів і суспензій і пов'язана не з падінням дзета-потенцілу, а з стисканням дифузної частини подвійного шару при збільшенні іонної сили розчину.

Для більш вивченої електролітної коагуляції встановлено ряд експериментальних загальних правил:

1 *Коагуляцію ліофобних золів спричиняють будь-які електроліти*, але з помітною швидкістю вона спостерігається при досягненні визначеної концентрації електроліту. **Верхньою межею коагуляції** називають мінімальну концентрацію електроліту  $C_{п}$ , необхідну для початку наявної коагуляції золю: помутніння розчину, зміна його забарвлення і т.д.:

$$C_{п} = \frac{C_{ел-ту} \cdot V_{ел-ту}}{V_{золю} + V_{ел-ту}} \text{ ммоль/л,}$$

де  $C_{ел-ту}$  – молярна концентрація еквівалента електроліту, ммоль/л;  $V_{ел-ту}$  – об'єм розчину електроліту, л;  $V_{золю}$  – об'єм золю, л.

Величина, зворотна порогу коагуляції, називається **коагулювальною здатністю  $P = 1/C_{п}$** .

2 Згідно з правилом Шульца-Гарді коагулювальну дію звичайно виявляє іон, заряд якого за знаком протилежний заряду поверхні колоїдних частинок,

причому ця дія зростає із збільшенням валентності іона. Так, коагуляцію позитивно заряджених золів викликають аніони, а негативно заряджених – катіони.

Коагулювальна здатність іонів тим вища, чим більша величина їх заряду ( $P_{Al^{3+}} > P_{Ca^{2+}} > P_{K^+}$ ), і виражається співвідношенням  $1/3^6$ ;  $1/2^6$ ;  $1/1^6$ . Таким чином, із збільшенням валентності іона в 3 рази його коагулювальна здатність зростає практично в сотні разів. Це пояснюється тим, що багатовалентні високозарядні іони коагулянтів значно сильніше притягаються зарядженою поверхнею колоїдної частини, ніж одновалентні, і значно легше витісняють протиіони з дифузного і навіть адсорбційного шару.

3 Коагулювальна дія органічних іонів (особливо поверхнево-активних з'єднань, таких, як алкалоїди, забарвники, нуклеїнові кислоти і т.д.) значно вища, ніж неорганічних. Це пов'язане з їх високою адсорбційною здатністю, можливістю адсорбуватися у надеквівалентній кількості, і навіть викликати перезарядку поверхні колоїдних частинок.

4 У ряді неорганічних іонів з однаковими зарядами коагулювальна здатність залежить від радіуса коагулювального іона: чим більший радіус, тим більша коагулювальна здатність (так звані ліотропні ряди):

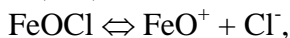


Це пояснюється тим, що ступінь гідратації іонів зменшується, наприклад, від  $L^{+1}$  до  $Cs^+$ , а це полегшує його впровадження у подвійний іонний шар.

5 З найбільшою швидкістю коагулюють електронейтральні частинки ліофобних колоїдних золів. Але коагуляція багатьох ліофобних золів починається раніше, ніж досягається їх ізоелектричний стан. Дзета-

потенціал, при якому починається явна коагуляція, називається *критичним*, і його величина становить  $\pm 30$  мВ.

б *Явище звикання золю*. Якщо до золю швидко додати коагулянт, то відбувається коагуляція, якщо ж повільно – коагуляція відсутня. Це можна пояснити тим, що між електролітом і золем відбувається реакція, в результаті якої утворюється пептизатор, який стабілізує дисперсну систему:  $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{FeOCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ ,



де  $\text{FeO}^+$  - пептизатор для золю  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

Це явище є характерним для живого організму, коли організм звикає до отрути, яку вводять малими дозами : миш'як (Наполеон), нікотин (нікотиномани) і т.д.

7 *При коагуляції сумішами електролітів можливі три випадки їх спільної дії на колоїдний розчин* (див. рис. 11):

- а) підсумування коагулювальної дії електролітів (адитивність);
- б) один електроліт посилює дію іншого (синергізм);
- в) один електроліт послаблює дію іншого (антагонізм).

$C_1$

2

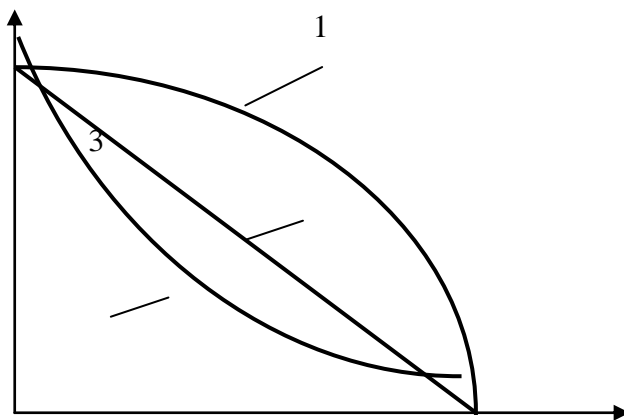


Рисунок 11 - Коагуляція сумішами електролітів: C<sub>1</sub> і C<sub>2</sub> – концентрації обох електролітів, %;  
1 – адитивність, 2 – синергізм; 3 –антагонізм.

8 *Взаємна коагуляція.* Якщо до золю з негативно зарядженими часточками додати золь з позитивно зарядженими часточками, то відбудеться взаємна коагуляція. Це явище широко використовується для очищення природних та промислових вод. Так, якщо до води, яка містить негативно заряджені часточки ґрунту, мікрофлори, органічних домішок, додати позитивно заряджені золі гідроксиду алюмінію Al(OH)<sub>3</sub> або заліза Fe(OH)<sub>3</sub>, то відбудеться взаємна коагуляція, і палички, які утворюються, відфільтровуються на піщаних фільтрах.

9 *Старіння колоїдних систем часто має коагуляційний характер (автокоагуляція).* Більш повільніше старіння колоїдних систем приводить до розподілу систем на дві фази (синерезис), причому дисперсна фаза зберігає свою форму, а дисперсійне середовище виділяється у вигляді окремої фази.

## КОЛОЇДНИЙ ЗАХИСТ

Як відомо, гуморальні рідини організмів – кров, плазма, лімфа та інші – є колоїдними системами, які містять такі речовини, як білки, холестерин, глікоген тощо у колоїдному стані.

Колоїди різних тканин обумовлюють їх властивості (стан гелів, еластичність, набухання та ін.). Колоїдні речовини можуть з'єднувати великі кількості води

(сполучна тканина, склоподібне тіло і ін.), а також адсорбувати (приєднувати) різноманітні речовини.

Стабілізація золів відносно електролітів шляхом додавання невеликої кількості ВМС називається *захистом*, а речовини, які її викликають - *захисними*. До них належать речовини, які розчиняються у воді: білки, ефіри целюлози, СМС, мила, декстрин, крохмаль тощо. В основі захисної дії лежить адсорбція молекул захисної речовини поверхнею колоїдних частинок і внаслідок цього захист їх від безпосереднього зіткнення між собою, а таким чином і від агрегації. Захищений золь набуває всіх властивостей адсорбованої захисної речовини. Захисна дія ВМС залежить від природи колоїдного розчину, який захищається, і його дисперсності, від природи самого ВМС, від рН і т.д. Захисну здатність різних речовин можна порівнювати відносно стандартного золю, наприклад, відносно золю золота. Під захисним числом розуміють кількість мг сухої захисної речовини, яку необхідно додати до 10 мл дослідного золю, щоб захистити його від коагуляції.

Велике значення має колоїдний захист для живих організмів. Захисну дію в організмі мають нуклеїнові кислоти, різні білки та їх похідні: нуклеопротейди, ліпопротейди і т.д., глікоген, полісахариди, пектини. Вони адсорбуються на колоїдних частинках гідрофобних систем організму, переводячи їх у стійкий стан. Так, наприклад, сеча є колоїдним розчином, в якому дисперсні частинки захищені різними білками – альбумідами. Протеїни сироватки крові збільшують розчинність  $\text{CaCO}_3$  в декілька разів. Білки крові захищають краплинки жиру, холестерин і ряд інших гідрофобних речовин, у здорових людей вміст захисних речовин у рідких системах організму постійний. При деяких видах патології, а також при старінні

організму захисні властивості білків та інших речовин змінюються.

Зниження ступеня цього захисту призводить до відкладання, наприклад, холестерину і кальцію на стінках судин (атеросклероз і атерокальциноз). З віком порушується лецитино-холестеринова рівновага, в результаті чого змінюється співвідношення між холестерином, фосфоліпідами і білками. Холестерин відкладається на стінках судин, обумовлюючи вікові зміни судин (зниження еластичності, зменшення діаметра судин і т.д.), у зв'язку з чим спостерігаються з належні зміни в тканинах. Вірогідно, цей процес є одним із суттєвих факторів старіння організму.

Зниження захисних властивостей білків та інших гідрофільних з'єднань у крові призводить до випадання каменів в нирках, печінці, протоках залоз травлення.

Явище колоїдного захисту використовується при виготовленні деяких лікарських препаратів. Так, наприклад, коларгол, протаргол - препарати – антисептики мають вигляд сухого темного порошку, гарно розчинного у воді, є золем срібла в захищеному білком стані.

У харчовій промисловості при виготовленні маргарину, майонезу, морозива як стабілізатор, використовують желатин, яєчні білки та інші речовини.

## **БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ КОАГУЛЯЦІЇ**

Такі біологічні рідини живих організмів, як кров, плазма, лімфа, спинномозкова рідина, сеча та інші є колоїдними системами, в яких ряд речовин, наприклад, білки, холестерин, глікоген та інші, перебувають в колоїдному стані. За багатьма показниками крові можна зробити висновок про фізіологічний стан організму. Найменші відхилення від норми кількості формених

елементів крові (еритроцитів, лейкоцитів, тромбоцитів), швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ), згортання і т.д. свідчать про наявність патологічних процесів в організмі людини. Взагалі цільну кров можна розглядати як емульсію, в якій формені елементи – дисперсна фаза, а плазма – дисперсійне середовище. У той самий час плазма є високодисперсною системою, в якій дисперсну фазу складають білки, гормони, ферменти і т.д. На поверхні еритроцитів адсорбовані молекули білків, амінокислот, іони електролітів, які визначають негативний заряд. Еритроцити – достатньо великі часточки в нормальному стані, вони коагулюють і осаджуються з визначеною швидкістю (ШОЕ). За наявності патологічних процесів в організмі змінюється біохімічний склад крові, еритроцити адсорбують молекули білків: глобулінів і фібриногенів, змінюється заряд еритроцитів і збільшується швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ). Цей аналіз використовується для діагностики ряду захворювань.

Процес згортання крові є явище, аналогічне коагуляції, і забезпечує мінімальну втрату крові та утворення тромбоцитів у кровоносній системі. В основі процесу розчинення тромбів лежить явище пептизації. Пептизатором протизгортальної системи є антикоагулятор крові – гепарин.

При консервуванні крові необхідно враховувати, що одним з факторів згортання крові є іони кальцію. Цільну кров декальцинують або домішкою цитрату натрію, або домішкою антикоагулянтів (гепарин, дикумарин і т.д.), або за допомогою іонотворювальних смол – катіонітів.

## **ГРУБОДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ**





а                      б                      в                      г

Рисунок 12 – Типи емульсій і емульгаторів

Для емульсії типу “вода в маслі” (в/м) емульгаторами служать мила лужноземельних металів, холестерин, тобто речовини, які краще розчиняються в маслі, ніж у воді (див. рис. 12б).

Структури, які утворюються в біологічних системах амфифільними ліпідами у водних середовищах, наведені на рис. 13.

Заміна емульгатора може привести до зміни фаз емульсії, тобто емульсія типу м/в перетвориться в емульсію в/м. Наприклад, якщо до емульсії типу м/в, яка

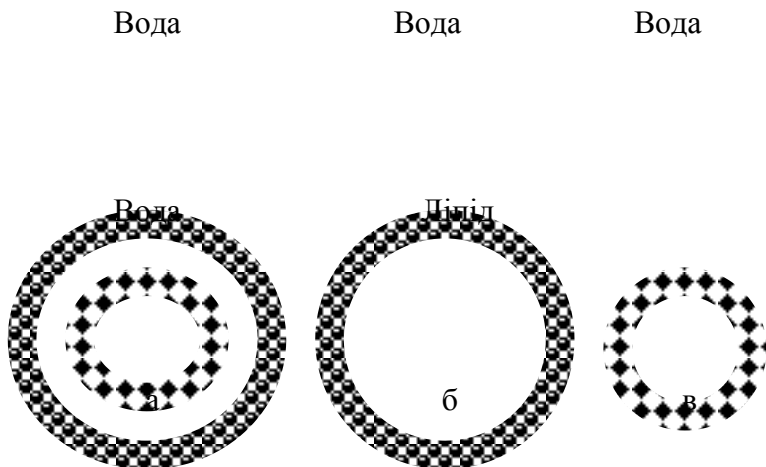


Рисунок 13 – Структури, які утворюються дифільними молекулами у водному середовищі: а) біомолекулярний шар, який оточує краплю води (ліпосома); б) моношар амфифільних ліпідів на поверхні краплі неполярного ліпиду; в) міцела

стабілізована натрієвим милом, додати розчин хлористого кальцію, то відбувається зсідання емульсії і виникає емульсія типу в/м, стабілізована олеатом кальцію, який краще розчиняється в маслі, ніж у воді.

Емульсії можуть бути стабілізовані твердими порошками. Вибір порошку – стабілізатора визначається змочуванням – він повинен змочуватися дисперсійним середовищем, і розмірами частинок - вони повинні бути значно меншими від розмірів крапель емульсії.

Порошки – стабілізатори називаються “броньованими емульгаторами”, тому що часточки твердої фази утворюють ніби броню на поверхні крапельки, захищаючи її від злиття з іншими подібними краплинками.

Гідрофільні порошки (глина, вугілля) краще змочуються водою, тому при емульгуванні вода стає середовищем, а масло збирається в краплю (рис.12 в).

Гідрофобні порошки (сажа, вугілля) в аналогічних умовах утворюють зворотну емульсію (рис.12 г). В обох випадках часточки порошку обумовлюють утворення механічного захисту краплин емульсії, утворюючи міцну коагуляційну структуру, яка переважає над коалесценцією.

Вибір емульгатора для отримання емульсії заданого типу ґрунтується на значенні гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ). Якщо ГЛБ зсунутий у бік гідрофільності, то утворюється емульсія типу м/в, і, навпаки, якщо ГЛБ зсунутий у бік ліпофільності, то утворюється емульсія типу

в/м без залежності від класу емульгатора (ПАР, ВМС або порошок).

## ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ ВМС

**Високомолекулярними сполуками (ВМС)** називаються речовини з молекулярною масою від декількох тисяч до багатьох мільйонів. ВМС утворені з великої кількості угруповань, які повторюються (мономірні кільця), з'єднаних між собою хімічними зв'язками. За походженням ВМС поділяються на природні (білки, полісахариди, ДНК, РНК і т.д.), синтетичні, які утворюються полімеризацією (поліетилен, полістирол і т.д.) або поліконденсацією (нейлон, капрон і т.д.), і штучні, отримані хімічною обробкою природних ВМС, частіше всього целюлози (віскоза, штучний шовк і т.д.).

За формою макромолекули ВМС поділяються на:

а) лінійні (полістирол, амілоза); б) розгалуження (амілопектин та ін.); сітчасті (гума й ін.).

За взаємодією з біосистемами класифікуються на:

а) біорозсмоктувальні (кетгут), які можуть виконувати певні функції в організмі, але потім розсмоктовуються і виводяться із організму; б) біосумісні матеріали – кровозамінники, протезування внутрішніх органів і т.д. – повинні бути гемосумісними і тромборезистентними, тобто не порушувати кліткові елементи і білки крові, не утворювати тромби, не змінювати електролітний склад крові і т.д. (лавсан, полісилоксани, фторопласт-4 та ін.).

Білки – біологічні макромолекули – утворені шляхом сполучення 20  $\alpha$ -амінокислот, які з'єднані між собою поліпептидними зв'язками. Різноманітність білків (в організмі ~ 5 млн. різних білків) залежить від

сполучення, послідовності і конформації поліпептидних ланцюгів.

Білки класифікуються на глобулярні, що мають сферичну або еліптичну форму ( $\alpha$ -спіраль), і часто вміщують небілковий компонент – простатичну групу (ферменти і інші), і фібрилярні – лінійні ( $\beta$ -структура), що виконують в організмі структуроутворюючі функції (білки сполучних і еластичних тканин, білок волосся та шкіри тощо).

За розчинністю у водних розчинах білки можна розподілити на альбуміни, гарно розчинні у воді, і глобуліни, погано розчинні у воді, але гарно - в розріджених розчинах солей.

У водних розчинах білки виявляють амфотерні властивості і характеризуються визначеними значеннями рН. Значення рН, при якому концентрації катіонних і аніонних форм однакові, називається *ізоелектричною точкою (ІЕТ)* – рІ даного білка. При значеннях рН < ІЕТ у розчині переважає катіонна форма, вище ІЕТ – аніонна форма.

Більшість природних білків, які знаходяться в *in vivo*, мають негативний заряд.

Розчини біополімерів є гомогенними, термодинамічно стійкими, тобто схожими на істинні розчини. Але великі розміри молекул ВМС і взаємодія між ними при великих концентраціях надають їх розчинам деяких властивостей, спільних з властивостями колоїдних систем – в'язкісних, здатності до набрякання і застигlostі, тиксотропії і т.д.

Процес розчинення деяких ВМС – мимовільний, але протікає через стадію набрякання – полімер поглинає значну кількість низькомолекулярного розчинника, збільшуючись в об'ємі і масі. При розчиненні

спостерігаються дві стадії: сольватаційна (з виділенням тепла) і поглинання розчинника (без виділення тепла).

Процеси набрякання і розчинення у ВМС розглядаються як процеси змішування двох рідин: низькомолекулярної і високомолекулярної.

Причина набрякання – взаємна дифузія молекул ВМС і розчинника, при цьому молекули розчинника проникають між молекулами ВМС.

Розрізняють: а) неорганічне набрякання, яке призводить до розчинення ВМС, процес мимовільний, наприклад, желатини в гарячій воді і т.д. Необмежене набрякання ВМС має багато спільного з необмеженим змішуванням 2 рідин (спирт і вода); б) обмежене набрякання не переходить у розчинення, і полімер тільки набрякає до визначеного об'єму з утворенням еластичних драглів. Обмежене набрякання можна порівняти з обмеженим розчиненням 2 рідин (наприклад, фенол і вода) в області визначених концентрацій і температур (наприклад, желатина у воді, агар-агар та ін.).

Біополімери, як правило, є поліелектролітами, містять велику кількість полярних груп. Внаслідок цього вони мають високий ступінь гідратації і тому майже всі розчинні у воді.

Цікаві особливості властиві процесу набрякання поліелектролітів, зокрема білкових молекул у воді та у водних розчинах, наприклад, желатини. Електростатична взаємодія між дисоціюючими  $\text{NH}_2$ - та  $-\text{COOH}$  групами в білках залежить від рН середовища. Цим, зокрема, пояснюється амфотерність білків. Ланцюги макромолекул білків мають згорнуту спіральну конфігурацію, тому що залишки амінокислот поєднуються між собою

плоскорозміщеними пептидними зв'язками

$$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ || \quad | \\ -\text{C}-\text{N}- \end{array}$$

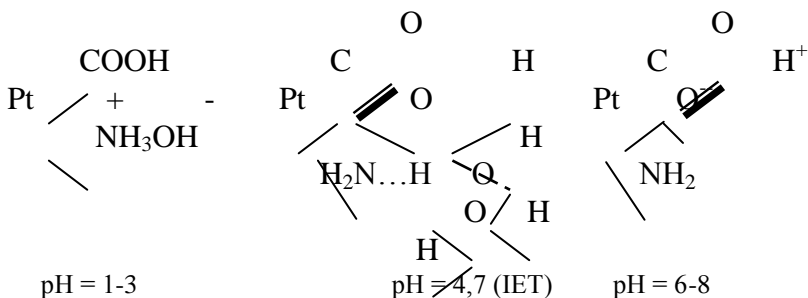
Велика кількість внутрішньомолекулярних водневих зв'язків у білках надає їм значної жорсткості.

У кислому середовищі білки, завдяки іонізації аміногруп, заряджаються позитивно, диполі молекул води електростатично притягаються, і відбувається гідратація макромолекул і розтягування ланцюгів білка. Цей процес супроводжується набряканням білків.

У лужному середовищі відбувається дисоціація кислотних груп, білок заряджається негативно і набрякає. При рН, близьких до ізоелектричного стану, іонізація кислотної і основної груп пригнічена в однаковому ступені, білок втрачає заряд, і гідратація його незначна.

Таким чином, в ізоелектричному стані набрякання білка мінімальне.

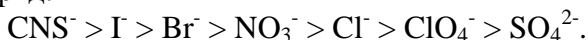
Методом електрофорезу можна показати, що заряд білкових макромолекул змінює знак при переході через ізоелектричний стан (перезарядження білка). Отже, білок набрякає при будь-якому рН, що пояснюється утворенням водневих зв'язків молекули води як з атомом кисню карбоксильної групи, так і з атомом азоту аміногрупи (наприклад, для желатини):



Для більшості білків константа дисоціації – COOH-груп

перевищує константу дисоціації –NH<sub>3</sub>OH-груп і ІЕТ зсовується у область кислого середовища.

На ступінь набрякання білків впливають аніони солі, це пов'язане із ступенем їх гідратації. Наприклад, набрякання білків за наявності аніонів CNS<sup>-</sup> або I<sup>-</sup> максимальне, тому що ці іони практично не гідратуються. Аніони SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, навпаки, сильно гідратуються, і тому за їх наявності набрякання білків мінімальне. За впливом на процес набрякання білків аніони можна розміщувати у такий ряд:



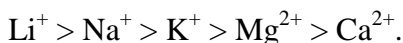
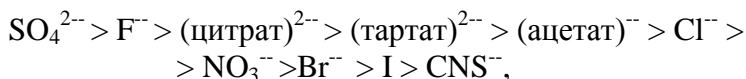
Для розчинів біополімерів явище коагуляції не характерне. Білки з розчину можна видалити за допомогою концентрованих розчинів солей, тобто застосувати процес висолювання. Як правило, для висолювання використовують розчини сульфату амонію (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, сульфату натрію Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> та інші солі.

Механізм процесу висолювання складається з того, що іони солей гідратуються, зменшуючи тим самим кількість води, яка взаємодіє з білком. Оскільки розчинність білків у воді залежить від утворення гідратної оболонки навколо гідрофільних іонних груп, то зменшення водної оболонки навколо білка знижує його розчинність. Висолювання найбільш ефективно в ізоелектричній точці.

Застосовуючи розчини солей різних концентрацій, можна виділити різні фракції білків: за малої концентрації солей осаджуються фракції з більшою молекулярною масою, а в самих концентрованих розчинах – більш легкі фракції. Білки осаджуються із водних розчинів також при додаванні спирту, ацетону та

інших розчинників, молекули яких добре гідратуються водою і тому є дегідратуючими агентами для водних розчинів білків. На одночасній дії етилового спирту, солей та охолодження до  $-5^{\circ}\text{C}$  (щоб не викликати денатурацію білків) засновані методи фракціонування білків. Із сироватки крові цим методом виділено більше 12 білків.

За впливом на процес висолювання аніони і катіони розміщуються в ліотропні ряди (ряди Гофмейстера):



Процес осадження білків проводиться у м'яких умовах без порушення їх нативної природи. Так готують деякі види концентрованих лікувальних сироваток і  $\gamma$ -глобуліну.

Розчини ВМС характеризуються високою в'язкістю навіть при малих концентраціях розчиненої речовини. В'язкість цих розчинів зростає із збільшенням концентрації і молекулярної маси полімеру.

Важливою характеристикою полімеру є його молекулярна маса, для визначення якої можна використовувати віскозиметричний метод - за рівнянням Марка-Хувінка:  $[\eta] = K \cdot M^{\alpha}$ , де  $[\eta]$  – характеристична в'язкість ;  $K$  – константа для визначеного полімергомологічного ряду речовин;  $M$  – молекулярна маса;  $\alpha$  - ступінь згортання та гнучкості ланцюга. Для жорстких паличкоподібних макромолекул  $\alpha = 1$ , для гнучких глобулярних молекул  $\alpha < 1$ .

На в'язкість розчинів білків впливає величина рН. Найменшу в'язкість розчини білків мають в області



ізоелектричної точки, тому що в цій точці макромолекули згорнуті у найбільш щільні клубки, які чинять найменший опір течії рідини.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Равич-Щердо М.И., Новиков В.В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высшая школа, 1975.
2. Садовнича Л.П. , Хухрянский В.Г., Цыганенко А.Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986.