

# **Физико-химия поверхностных явлений и дисперсных систем**

# Основные вопросы:

- 1. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение**
- 2. Адсорбция на поверхности жидкости**  
**(на подвижной границе раздела фаз)**
- 3. Адсорбция на поверхности твердого вещества**  
**(на неподвижной границе раздела фаз)**
- 3. Классификация дисперсных систем**
- 4. Методы получения дисперсных систем**
- 5. Свойства коллоидных растворов**

***Коллоидная химия*** – наука о поверхностных явлениях и дисперсных системах.

***Поверхностные явления*** – совокупность явлений, связанных с физическими особенностями границ раздела между соприкасающимися фазами.

***Дисперсные системы*** – гетерогенные системы, в которых одна из фаз находится в дисперсном (раздробленном состоянии).

**Все поверхности раздела в зависимости от агрегатного состояния граничащих фаз делят на 2 типа:**

**1. Подвижные поверхности раздела: между жидкостью и газом (Ж-Г) и двумя несмешивающимися жидкостями (Ж-Ж).**

**2. неподвижные поверхности раздела: между твердым телом и газом (Т-Г), твердым телом и жидкостью (Т-Ж).**

**В любом живом организме содержится огромное количество гетерогенных систем, на поверхности раздела которых происходят важнейшие биохимические процессы.**

- кожные покровы;**
- поверхность стенок кровеносных сосудов;**
- слизистые оболочки;**
- мембраны ядер, митохондрий и т.д.)**

## **Например:**

- поверхность кожи взрослого человека около  $1,5 \text{ м}^2$ ;**
- площадь поверхности эритроцитов крови человека около  $3500 \text{ м}^2$ ;**
- суммарная площадь поверхности 1 г белка  $6000 \text{ м}^2$ ;**
- суммарная величина поверхностей раздела в организме несколько десятков миллионов  $\text{м}^2$ .**

**Поверхностная энергия.  
Поверхностное натяжение.**

Энергия Гиббса объемных фаз ( $G^1_v$  и  $G^2_v$ ),  
и поверхностного слоя между ними  $G_s$

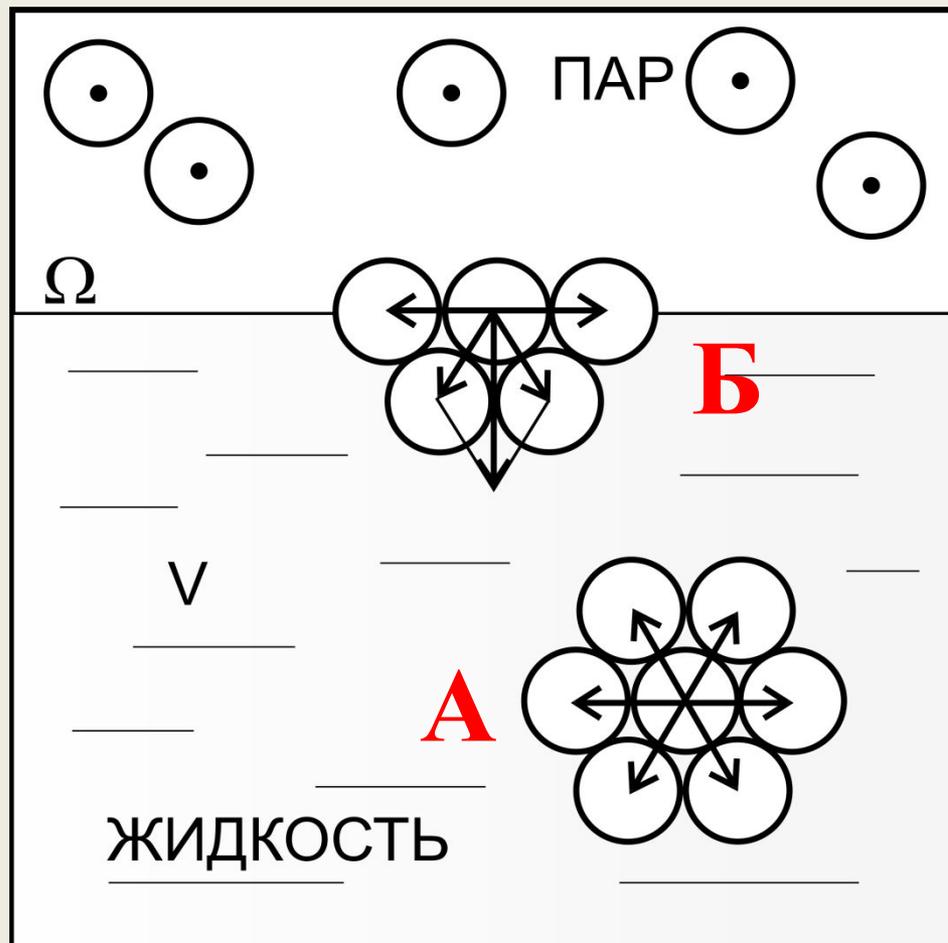
$$G_{\text{общ}} = G^1_v + G^2_v + G_s$$

$$G_s = G_{\text{общ}} - G^1_v - G^2_v$$

$$G_s = \sigma \cdot S$$

$G_s$  – поверхностная энергия Гиббса, Дж;  
 $\sigma$  - коэффициент пропорциональности, называемый поверхностным натяжением, Дж/м<sup>2</sup>;  
 $S$  – площадь раздела фаз, м<sup>2</sup>.

# Механизм возникновения свободной поверхностной энергии



Поверхностная энергия, отнесенная к единице площади поверхности, называется **поверхностным натяжением**.

$$\sigma = \frac{G_s}{S}$$

$$\left[ \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$$

<b>Вещество</b>	<b>Поверхностное натяжения, мДж/м<sup>2</sup></b>
<b>Вода</b>	<b>72,8</b>
<b>Ртуть</b>	<b>436</b>
<b>Этанол</b>	<b>22,3</b>
<b>Плазма</b>	<b>45,4</b>

## Поверхностное натяжение зависит:

1. Природы жидкости;
2. Температуры;  $\sigma \downarrow$  ,  $T \uparrow$
3. Давления;  $\sigma \downarrow$  ,  $p \uparrow$
4. Природы и концентрации растворенных веществ (могут  $\downarrow$  ,  $\uparrow$  и не влиять).

**Поверхностная активность** – это способность растворенных веществ изменять поверхностное натяжение растворителя.

$$g = - \frac{\Delta\sigma}{\Delta C}$$

$\Delta\sigma$  - изменение поверхностного натяжения,  
 $\sigma_{\text{р-ра}} - \sigma_{\text{р-ля}}$ , Дж/м<sup>2</sup>

$\Delta C$  – изменение концентрации,  
 $C_{\text{р-ра}} - C_{\text{р-ля}}$ , моль/дм<sup>3</sup>.

$$\Delta\sigma = \sigma_{\text{р-ра}} - \sigma_{\text{р-ля}}$$

1. Поверхностно-активные в-ва  
(ПАВ)  $\downarrow \sigma$

$$\sigma_{\text{р-ра}} < \sigma_{\text{р-ля}}$$

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} < 0$$

2. Поверхностно-инактивные в-ва  
(ПИВ)  $\uparrow \sigma$

$$\sigma_{\text{р-ра}} > \sigma_{\text{р-ля}}$$

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} > 0$$

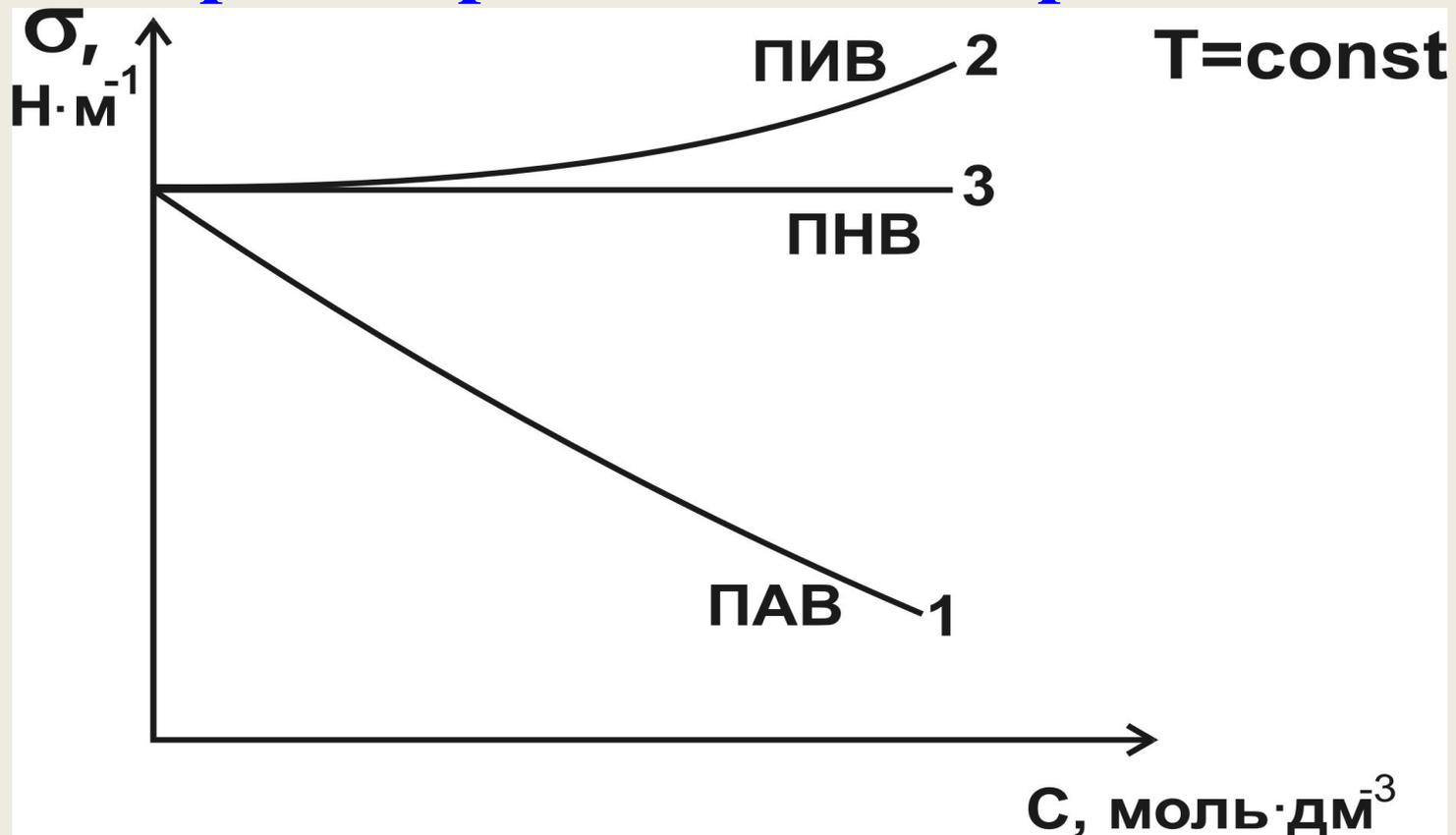
3. Поверхностно-неактивные в-ва  
(ПНВ)

$$\sigma_{\text{р-ра}} = \sigma_{\text{р-ля}}$$

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} = 0$$

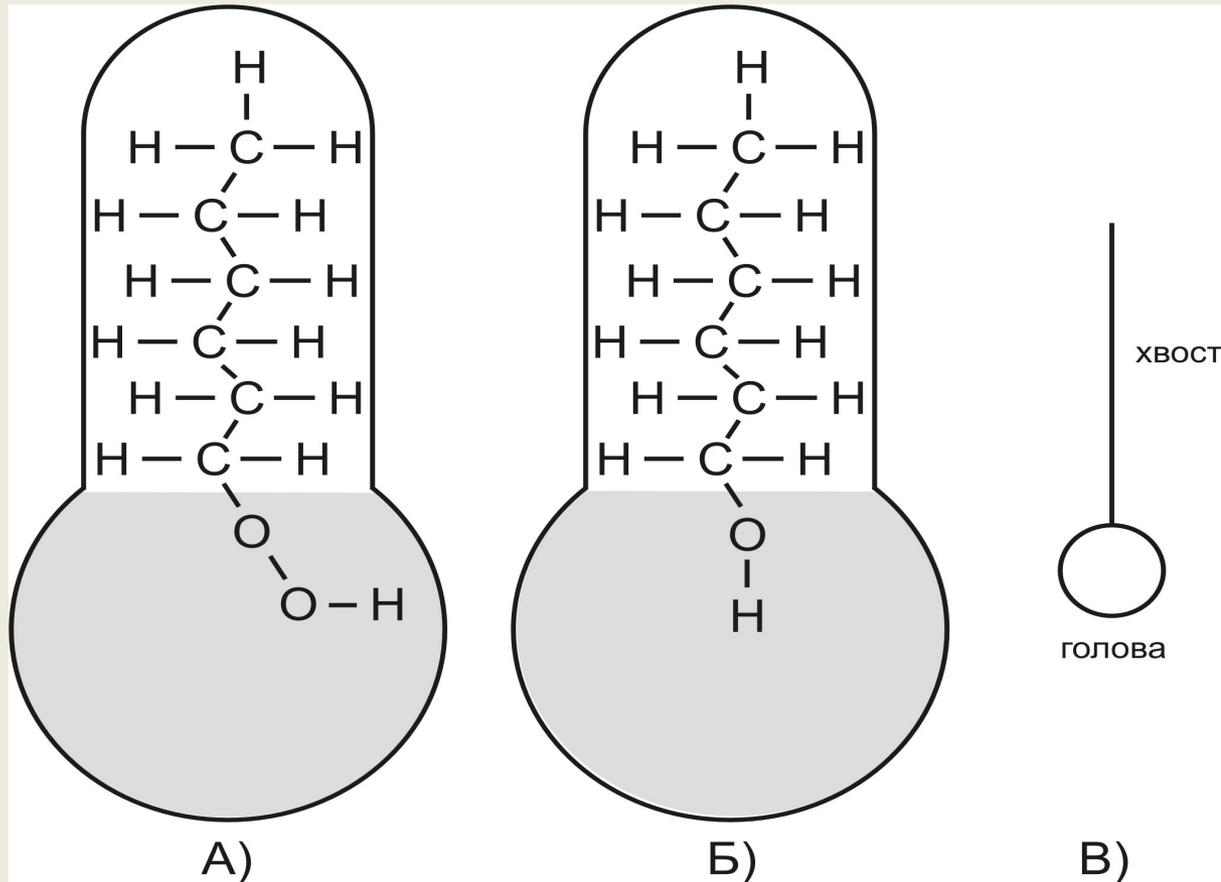
<b>Вещества</b>	<b>Классы соединений</b>
<b>Поверхностно-активные в-ва</b> <b>(ПАВ)</b>	<b>Спирты; карбоновые кислоты; сложные эфиры; амины</b>
<b>Поверхностно-инактивные в-ва</b> <b>(ПИВ)</b>	<b>Неорганические кислоты; соли; основания; аминокислота (глицин).</b>
<b>Поверхностно-неактивные в-ва</b> <b>(ПНВ)</b>	<b>Сахароза</b>

# Зависимость поверхностного натяжения растворов от концентрации.



- 1 – поверхностно-активных;
- 2 – поверхностно-инактивных;
- 3 – не влияющих на величину поверхностного натяжения вещества.

# Строение ПАВ

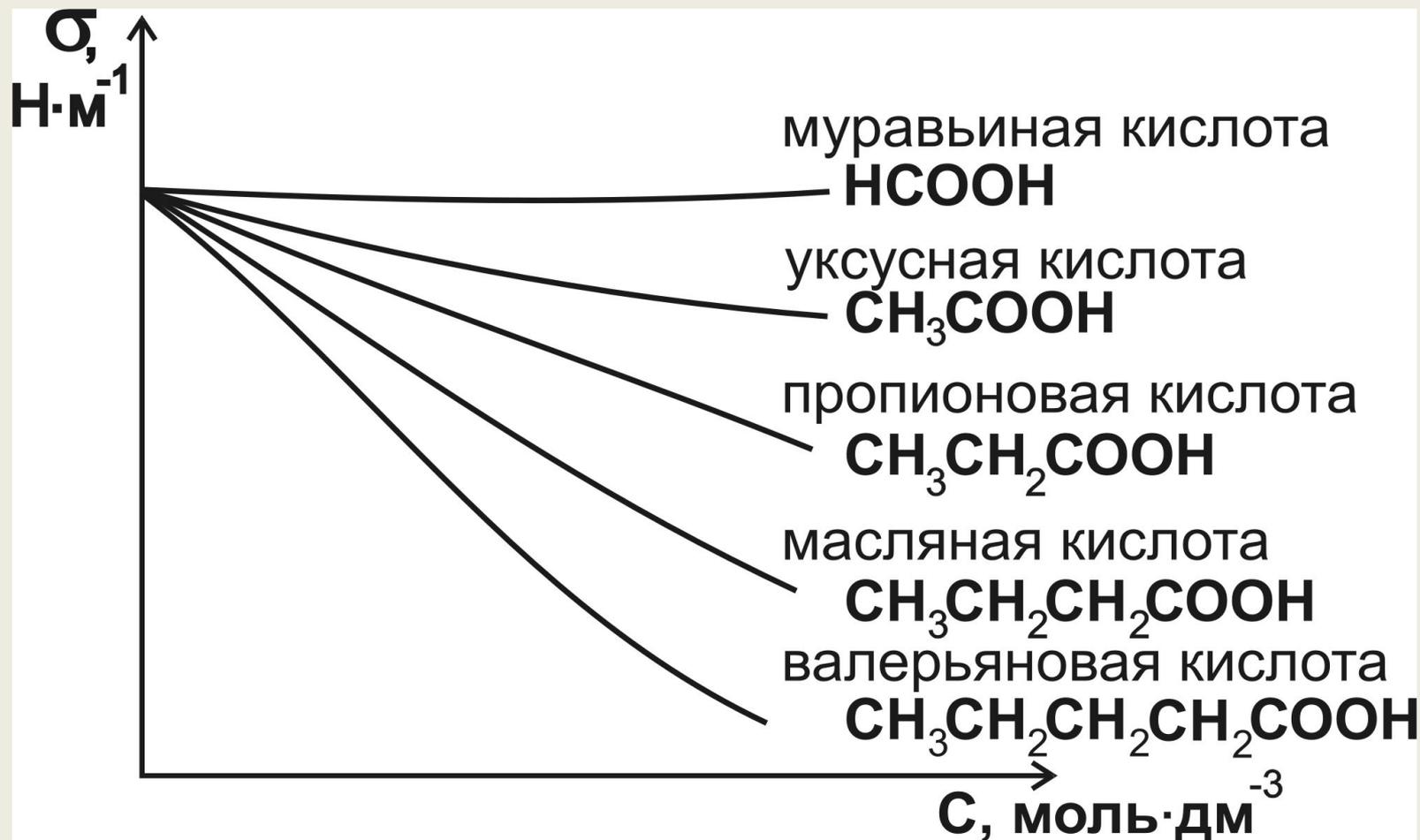


**А – строение гептановой кислоты;**  
**Б – строение гептанового спирта;**  
**В – общая модель молекулы ПАВ.**

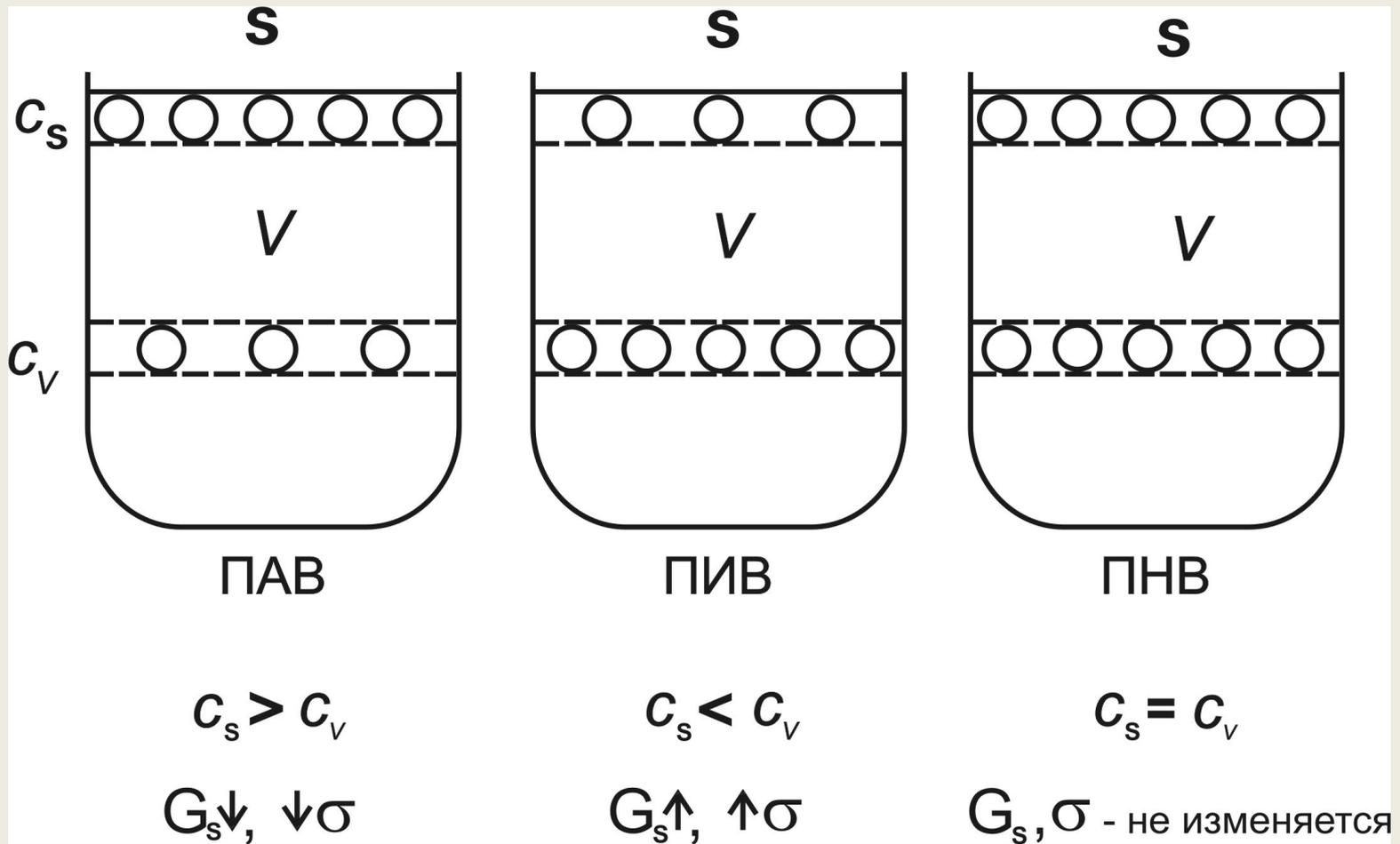
## **Правило Дюкло – Траубе:**

- Поверхностная активность веществ одного и того же гомологического ряда возрастает приблизительно в 3 раза при увеличении углеводородной цепи на одну группу –  $\text{CH}_2$ . При этом поверхностное натяжение их растворов уменьшается.**

# Семейство изотерм поверхностного натяжения для гомологического ряда карбоновых кислот.



# Адсорбция на подвижной границе раздела фаз



**Адсорбция** – самопроизвольное  
изменение концентрации  
растворенного вещества на  
границе раздела фаз.

( **Г** ) моль/м<sup>2</sup> или ммоль / см<sup>2</sup>

# Уравнение Гиббса.

$$\Gamma = - \frac{\Delta\sigma}{\Delta C} \cdot \frac{C}{RT}$$

$\Gamma$  – адсорбция, моль/м<sup>2</sup>;

$C$  – равновесная концентрация растворенного вещества, моль/дм<sup>3</sup>;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  
8,314 Дж/моль·К;

$T$  – температура, К;

$\Delta\sigma$  - изменение поверхностного натяжения,  $\sigma_{\text{р-ра}} - \sigma_{\text{р-ля}}$ ,  
Дж/м<sup>2</sup>

$\Delta C$  – изменение концентрации,  $C_{\text{р-ра}} - C_{\text{р-ля}}$ , моль/дм<sup>3</sup>.

# Анализ уравнения Гиббса.

$$\Gamma = - \frac{\Delta\sigma}{\Delta C} \cdot \frac{C}{RT}$$

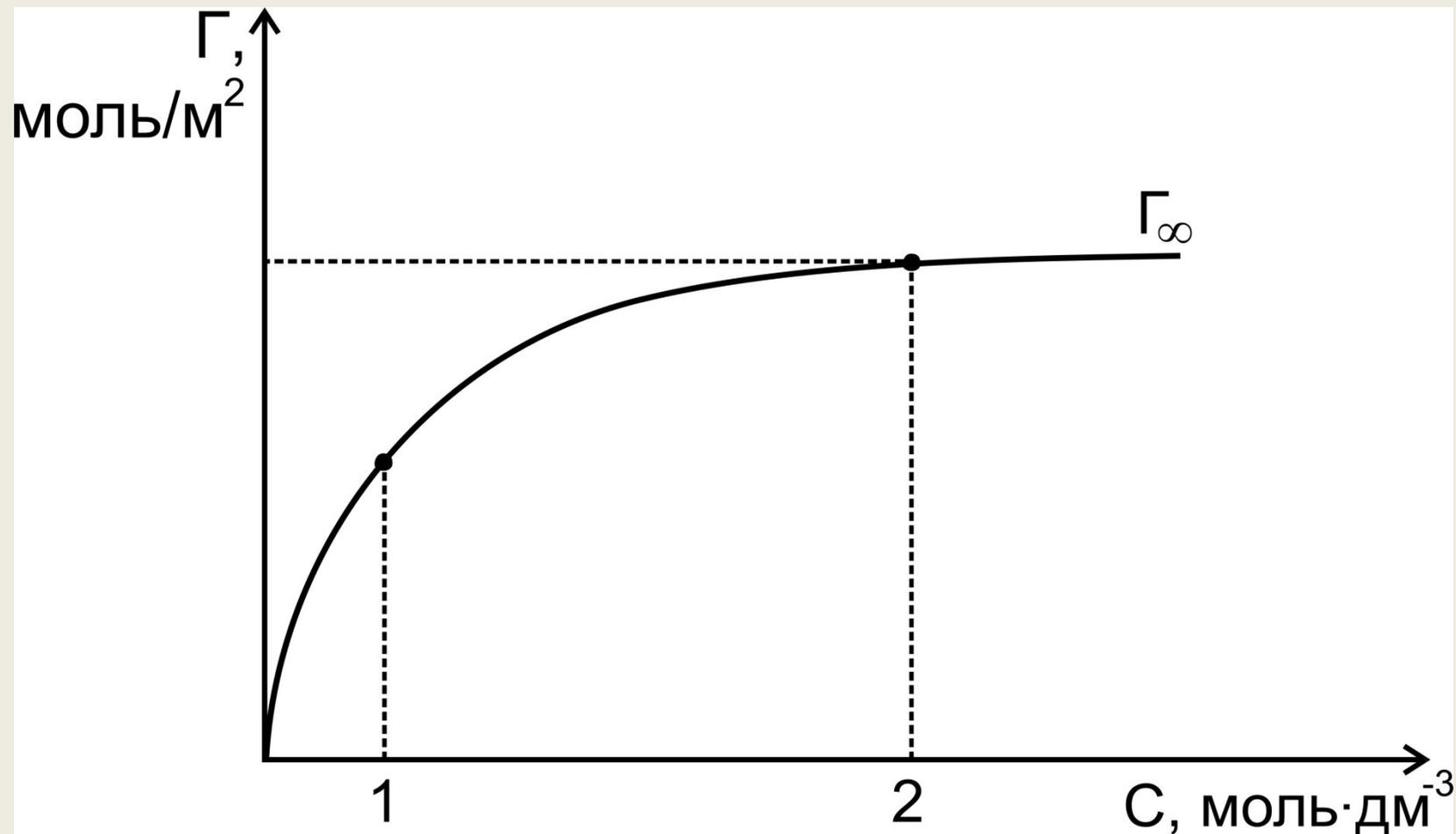
1.

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} < 0, \quad \Gamma > 0$$

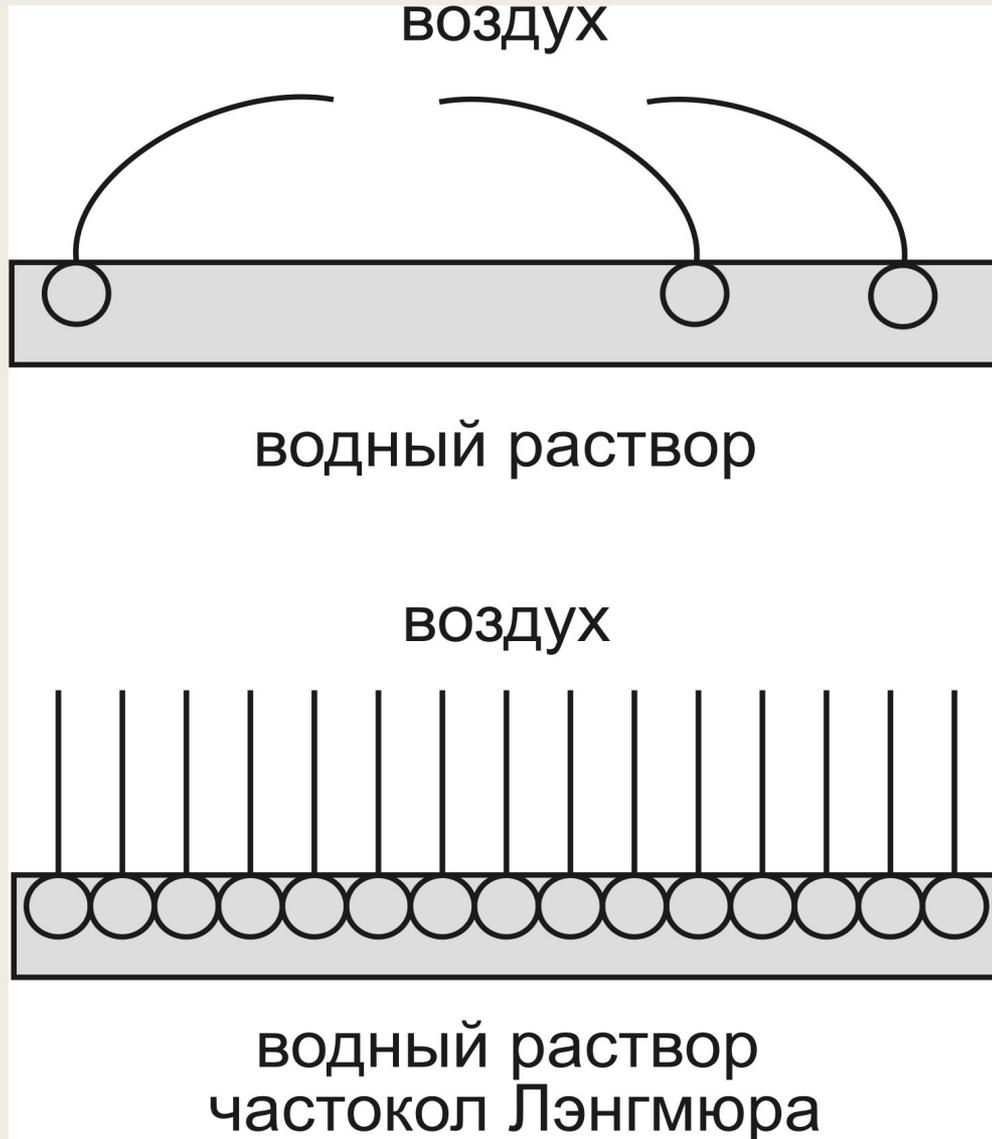
2.

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} > 0, \quad \Gamma < 0$$

# Изотерма адсорбции на границе раздела водный раствор - газ



# Ориентация молекул ПАВ в поверхностном слое.



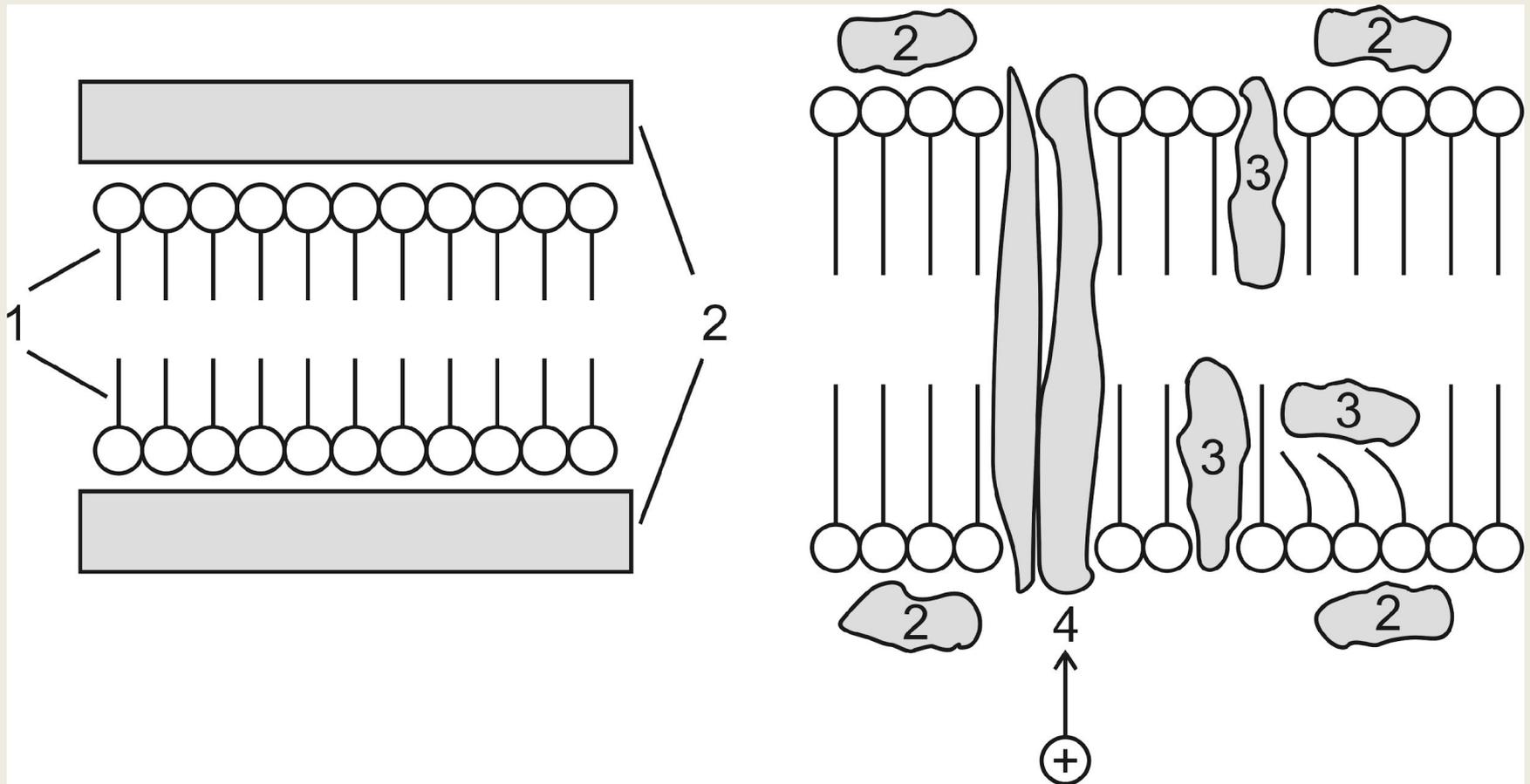
**А**

**Б**

**1. Даниэль-Давсон (1937)**  
**(симметричная структура биологической мембраны).**

**2. Жидко-мозаично-твёрдо-каркасная модель**  
**(ассиметричное распределение белков в клеточных мембранах)**

# Модели строения биологических мембран:



**1 – липидный бислой; 2 – поверхностные белки;  
3 – интегральные белки; 4 – ионный канал**

# Адсорбция на неподвижной поверхности

Адсорбент –

Адсорбтив или адсорбат -

## Физическая адсорбция:

- Процесс самопроизвольный; за счет сил Ван-дер-Ваальса;
- обратимый;
- мало специфичный;
- энергия связи мала (10-40 кДж/моль)

# **Химическая адсорбция ( хемосорбция ):**

- энергия связи 70-400 кДж/моль;**
- специфична;**
- необратима.**

## Адсорбция зависит:

1. Природы адсорбента;
2. Природы адсорбата;
3. Температуры;  $\uparrow T$ , адсорбция  $\downarrow$
4. Давления.  $\uparrow P$  (для газов), адсорбция  $\uparrow$

**Полярные адсорбенты:**

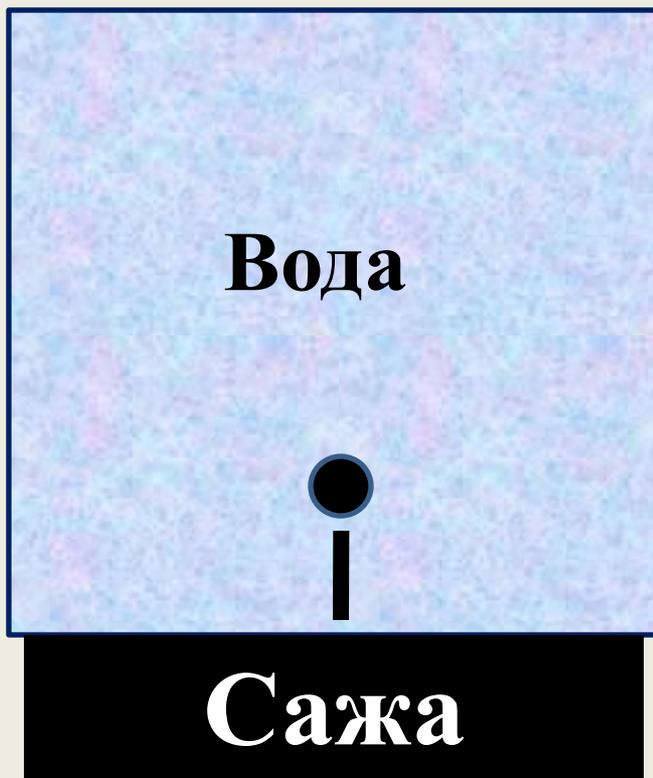
**$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ; силикагель  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ;**

**крахмал; целлюлоза;**

**Неполярные:**

**Активированный уголь;**

**графитированная сажа**



а)



б)

Ориентация молекул **ПАВ** на границе раздела твердое тело - раствор

Основными факторами, обуславливающими  
специфичность адсорбции сильных  
электролитов, являются:

- Заряд иона;  $Z \uparrow$ ; адсорбция  $\uparrow$ ;
- Радиус гидратированного иона.

# Лиотропные ряды



Увеличение радиуса гидратированного катиона;  
уменьшение адсорбции



Увеличение радиуса гидратированного аниона;  
уменьшение адсорбции

# Теория мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра (1915)

## Уравнение адсорбции Лэнгмюра.

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{C}{K + C}; \quad \Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{P}{P + K}$$

$\Gamma$  – адсорбция, моль/м<sup>2</sup>;

$\Gamma_{\infty}$  – предельная адсорбция, моль/м<sup>2</sup>;

$C$  – равновесная концентрация вещества, моль/дм<sup>3</sup>;

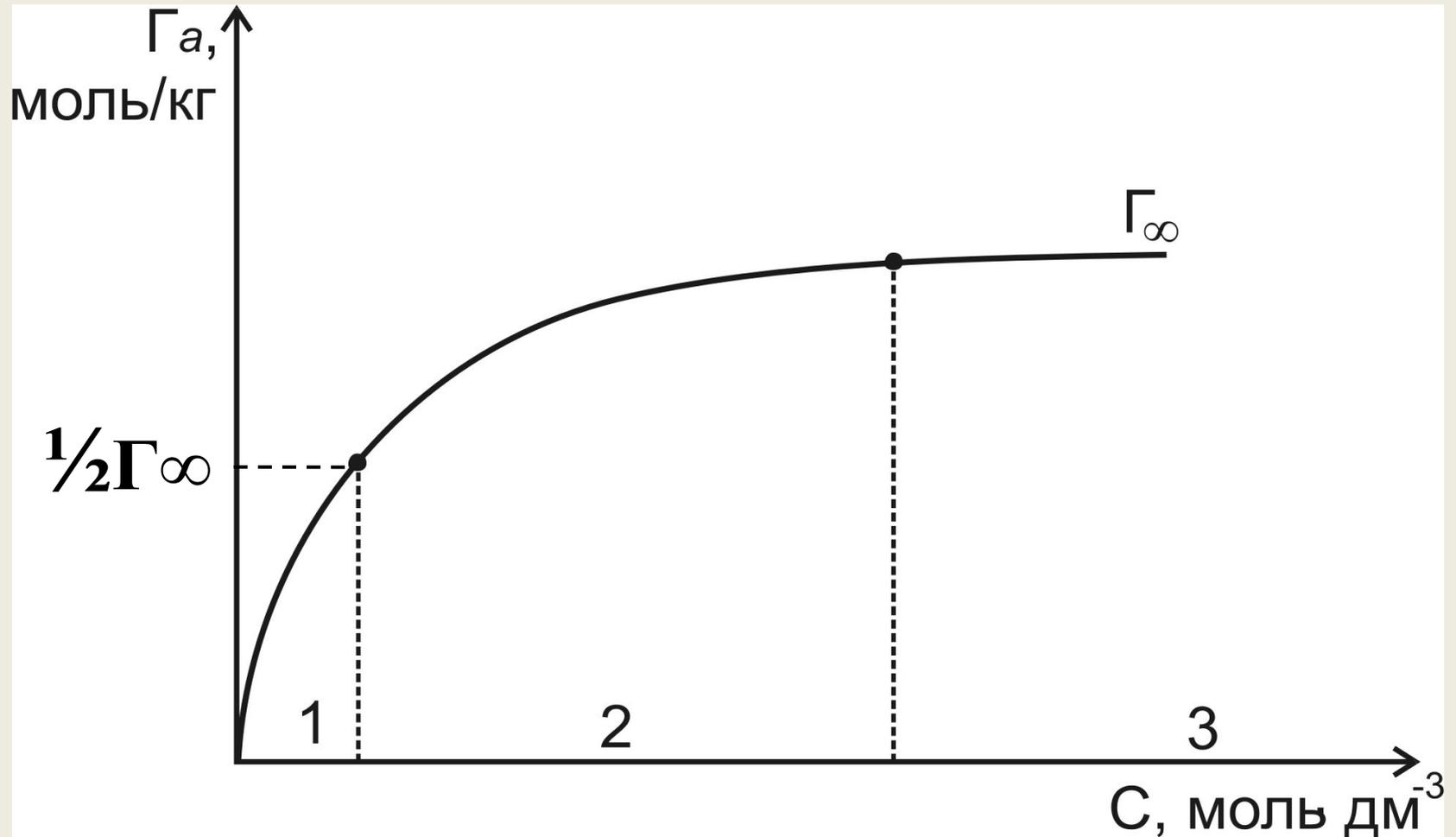
$P$  – равновесное давление вещества, КПа

$K$  – константа адсорбционного равновесия

# Характеристика уравнения Лэнгмюра:

1. Имеет теоретическое обоснование;
2. Применимо для подвижной и неподвижной границ раздела фаз;
3. Справедливо для малых и больших концентраций адсорбтива.

# Изотерма адсорбции Лэнгмюра



# Анализ уравнения Лэнгмюра.

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{C}{K + C}; \quad \Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{P}{P + K}$$

$$K \gg C, \quad \Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{C}{K}$$

$$C \gg K, \quad \Gamma = \Gamma_{\infty}$$

$$C = K, \quad \Gamma = \frac{1}{2} \Gamma_{\infty}$$

## Уравнение Фрейндлиха.

$$\Gamma = K \cdot C^{1/n}$$

**$K$ ,  $1/n$  – эмпирические постоянные,**

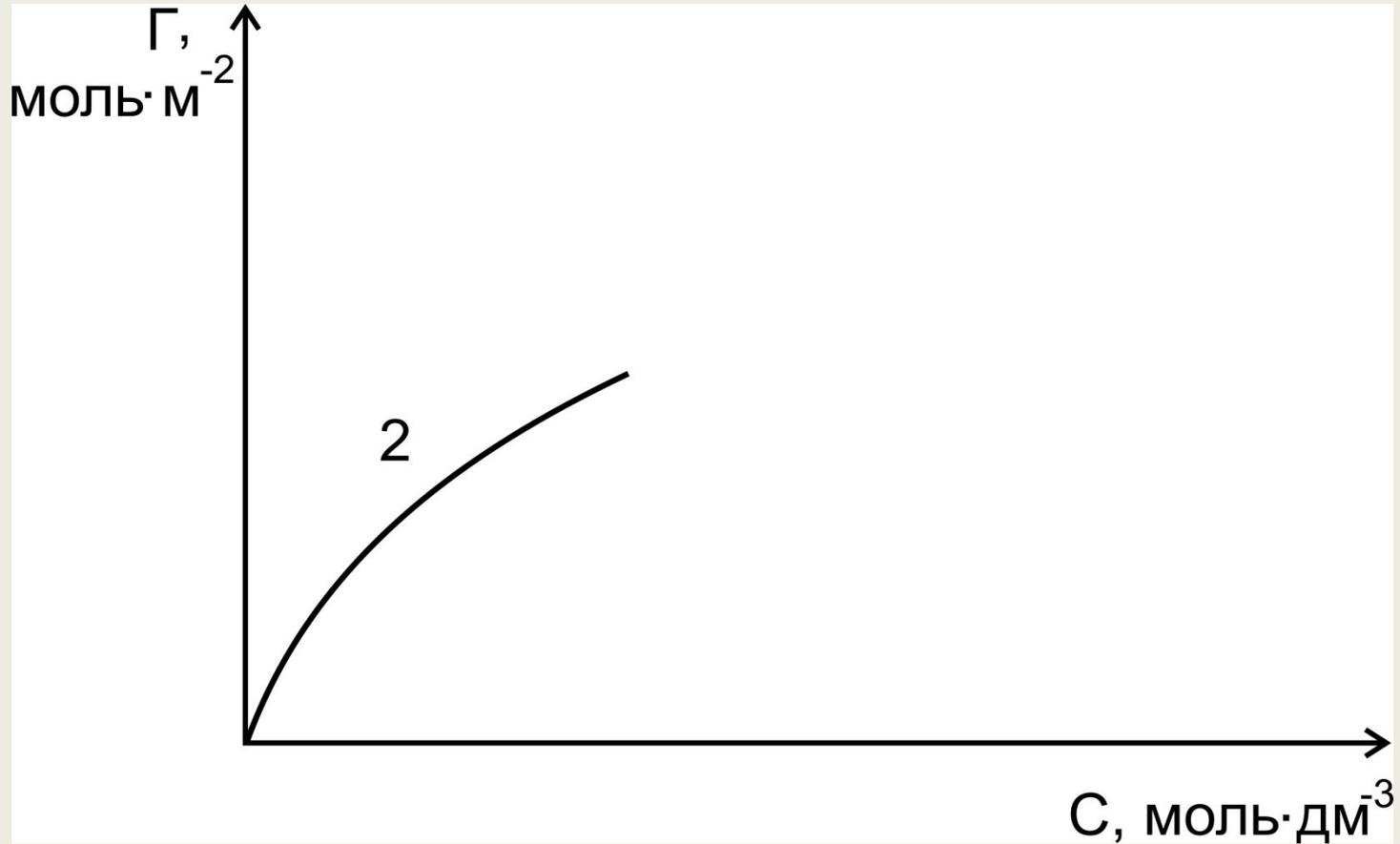
**т.е. на основе экспериментальных данных;**

**$C$  – равновесная концентрация вещества, моль/дм<sup>3</sup>;**

# **Характеристика уравнения Фрейндлиха:**

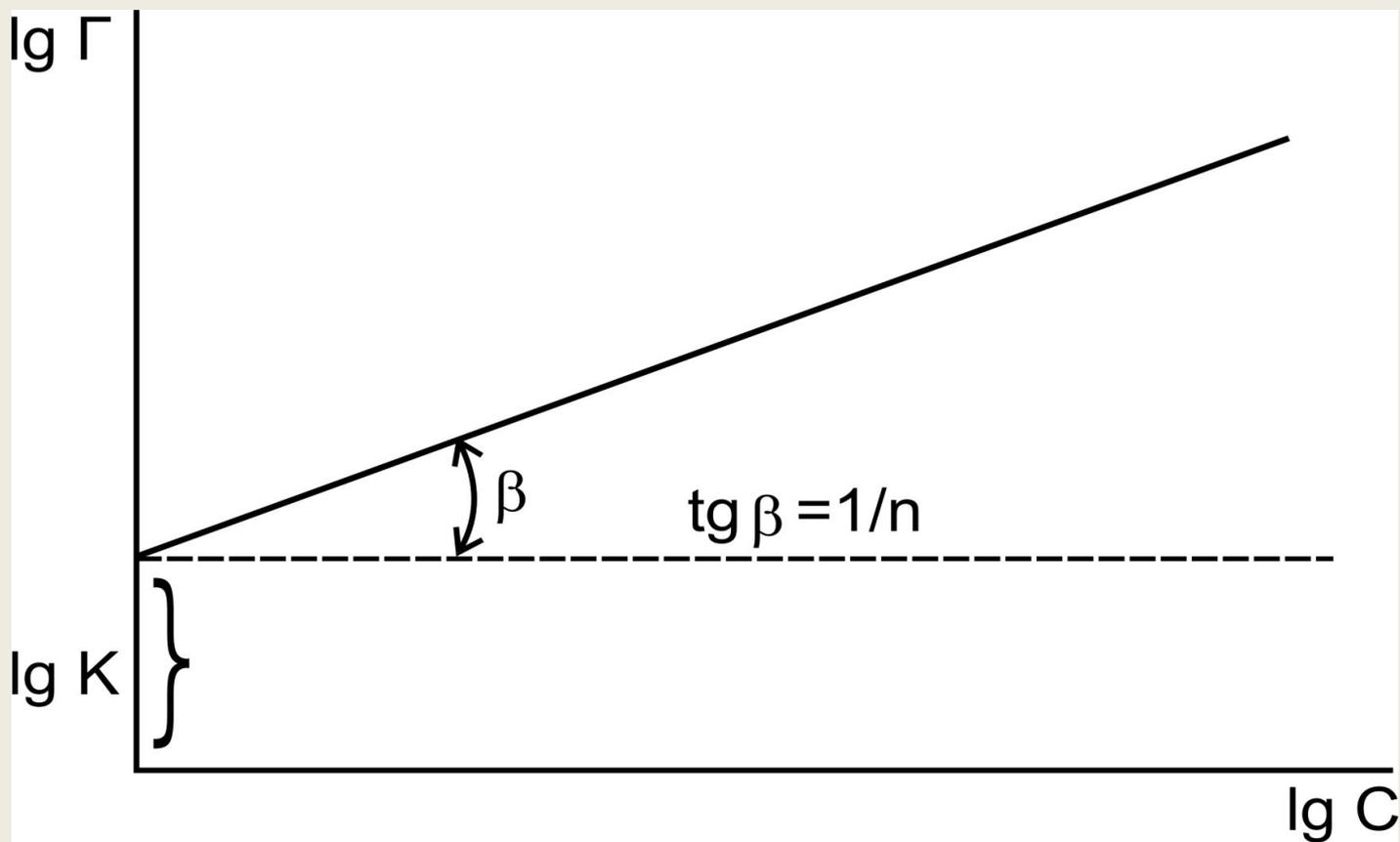
- Уравнение получено эмпирически (экспериментально);**
- Применимо только для твердых поверхностей;**
- Справедливо только для средних концентраций.**

# Изотерма адсорбции Фрейндлиха



# Графическое нахождение констант в уравнении Фрейндлиха

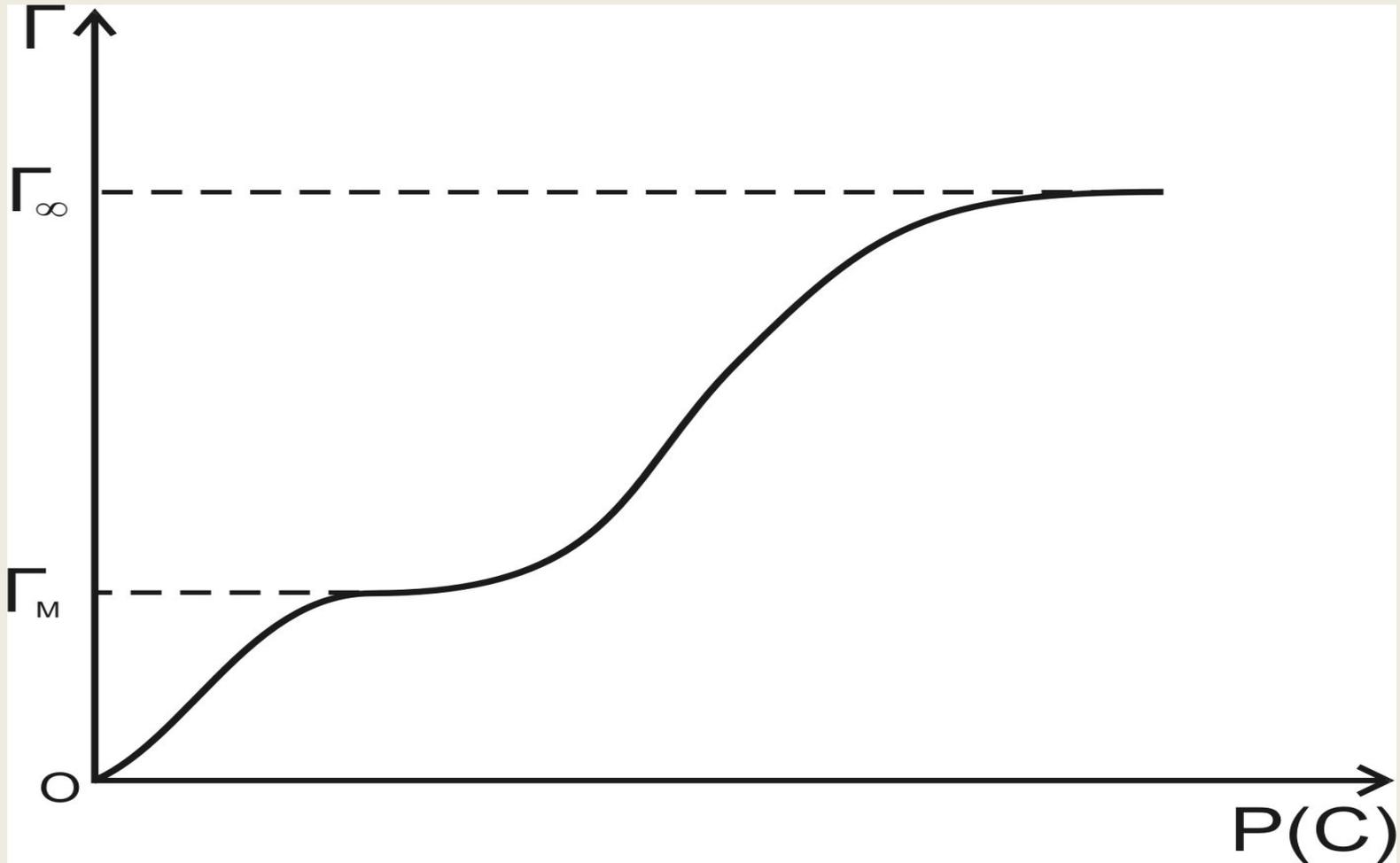
$$\lg \Gamma = \lg K + 1/n \lg C$$



# **Полимолекулярная адсорбция. Теория БЭТ**

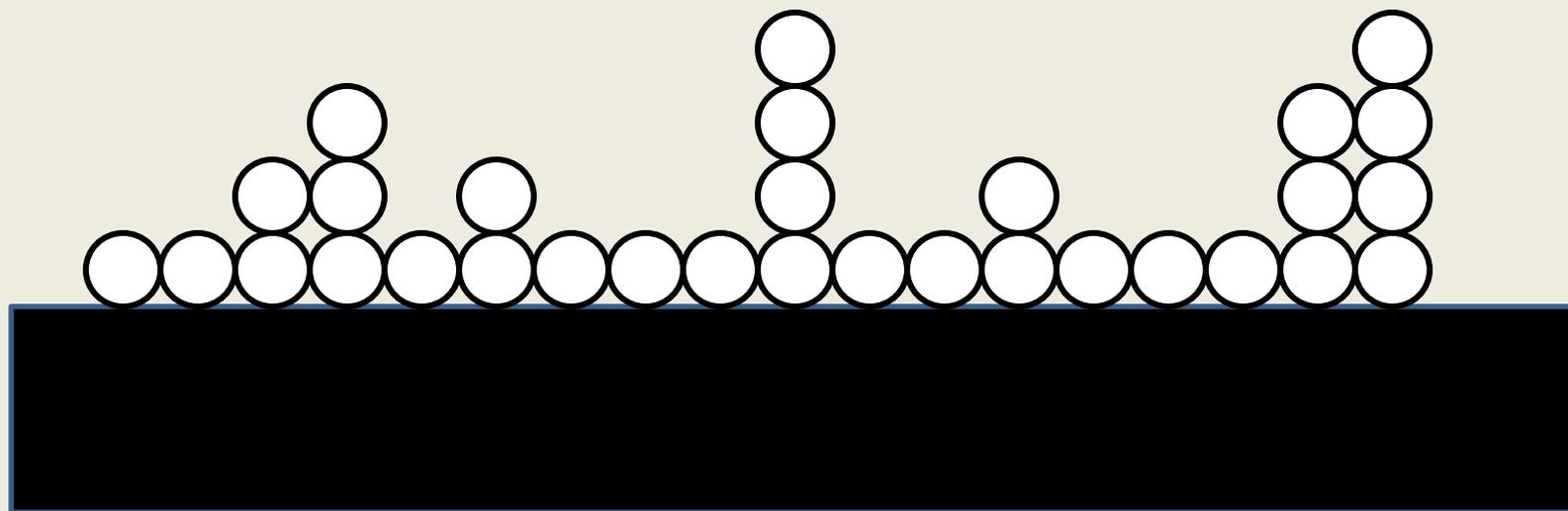
**(С. Брунаэр, П. Эммет, Е. Теллер)  
(1935 – 1940 г.г.)**

# Изотерма молекулярной адсорбции (БЭТ).



$\Gamma_M$  – насыщение монослоя;  
 $\Gamma_\infty$  – предельное насыщение.

# Схема строения адсорбционного слоя по теории БЭТ



# Признаки объектов коллоидной химии

*1. Гетерогенность (многофазность).*

*2. Дисперсность (раздробленность).*

## Меры дисперсности

**Поперечный размер частицы ( $a$ )** – диаметр для сферических частиц ( $d$ ) и длина ребра для кубических частиц ( $l$ ).

**Дисперсность ( $D$ )** – величина, обратная поперечному размеру частицы:  $D=1/a$ .

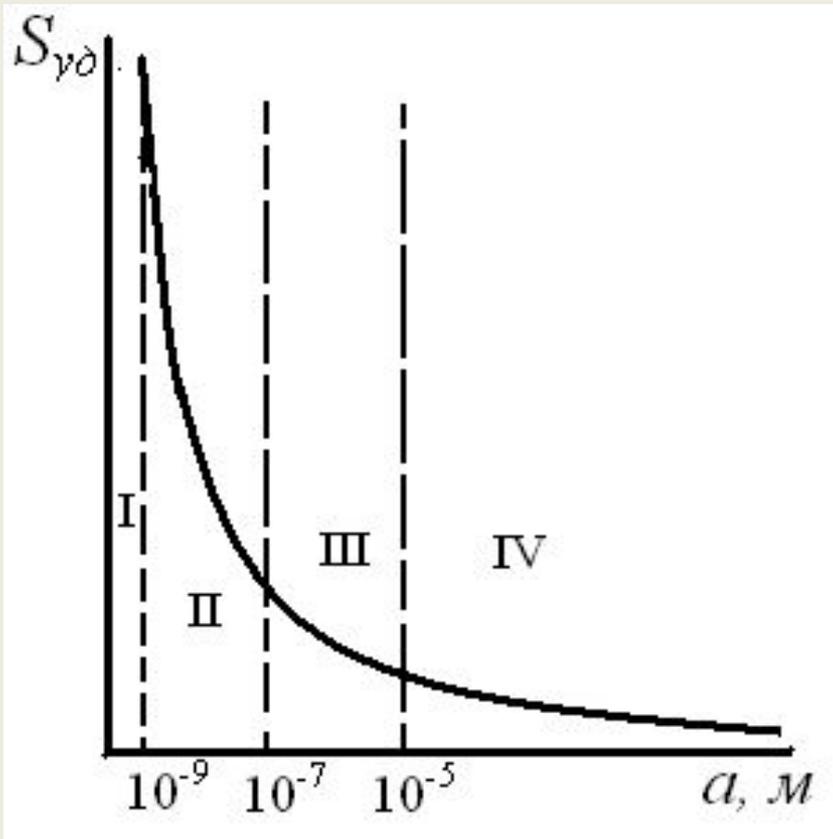
**Удельная поверхность ( $S_{y\partial}$ )** – межфазная поверхность, приходящаяся на единицу объема или массы дисперсной фазы:

$$S_{y\partial} = \frac{\sum S_{\partial.ф}}{\sum V_{\partial.ф}}$$

$$S_{y\partial} = \frac{\sum S_{\partial.ф}}{m_{\partial.ф}}$$

Частицы сферической формы	$S_{y\partial} = 6 / d = 6D$
Частицы цилиндрической формы	$S_{y\partial} = 4 / d = 4D$
Частицы кубической формы	$S_{y\partial} = 6 / l = 6D$

## Зависимость удельной поверхности от размера частиц



**I** – молекулярные системы  
(истинные растворы)

$$a < 10^{-9}$$

**II** – высокодисперсные,  
коллоидные (наносистемы)

$$10^{-9} < a < 10^{-7}$$

**III** – среднедисперсные  
(микрорегетерогенные)

$$10^{-7} < a < 10^{-5}$$

**IV** – грубодисперсные

$$a > 10^{-5}$$

### **Пример:**

Дисперсность частиц коллоидного золота  $10^8 \text{ м}^{-1}$ . Принимая частицы золота в виде кубиков определить, какую поверхность они могут покрыть, если их плотно уложить в один слой. Масса коллоидных частиц золота 1 г. Плотность золота  $19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

### **Решение:**

1. Общая поверхность частиц коллоидного золота  $S = S_{y\partial} \cdot V$ .
2. Удельная поверхность кубических частиц  $S_{y\partial} = 6D$ .
3. Объем золота равен  $V = m/\rho$ .

Тогда:

$$S = \frac{6 \cdot D \cdot m}{\rho} = \frac{6 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{19,6 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3} = 30,61 \text{ м}^2$$

# Особенности коллоидных систем

## 1. Избыточная поверхностная энергия $G^S$

$$G^S = \sigma \cdot S$$

При увеличении дисперсности увеличивается удельная поверхность частиц дисперсной фазы, большая часть всех молекул или атомов находится на поверхности раздела фаз в несимметричном силовом поле, что приводит к возникновению избыточной поверхностной энергии.

## 2. Термодинамическая неустойчивость

## 3. Невоспроизводимость (индивидуальность)

## 4. Способность к структурообразованию

## *Виды дисперсных систем*

<b>ДФ</b>	<b>ДС</b>	<b>Обозначение</b>	<b>Примеры</b>
<b>Твердая</b>	<b>Газообразная</b>	<b>Т/Г</b>	<b>Аэрозоли (пыль, дым, смог )</b>
	<b>Жидкая</b>	<b>Т/Ж</b>	<b>Золи (золи металлов в воде, взвеси в природных водах – ВД), суспензии - ГД</b>
	<b>Твердая</b>	<b>Т/Т</b>	<b>Твердые коллоидные растворы (бетон, сплавы, цветные стекла, минералы – самоцветы)</b>
<b>Жидкая</b>	<b>Газообразная</b>	<b>Ж/Г</b>	<b>Аэрозоли (туман, облака)</b>
	<b>Жидкая</b>	<b>Ж/Ж</b>	<b>Эмульсии (молоко, сырая нефть, крема)</b>
	<b>Твердая</b>	<b>Ж/Т</b>	<b>Жидкость в пористых телах (адсорбенты, почвы)</b>
<b>Газообразная</b>	<b>Газообразная</b>	<b>Г/Г</b>	<b>Системы с флуктуациями плотности (атмосфера)</b>
	<b>Жидкая</b>	<b>Г/Ж</b>	<b>Газовые эмульсии, пены</b>
	<b>Твердая</b>	<b>Г/Т</b>	<b>Пористые и капиллярные тела (адсорбенты, катализаторы, пемза, активированный уголь)</b>

# ***Получение дисперсных систем***

## ***Диспергационные методы***

**измельчение крупных образцов вещества до частиц дисперсных размеров;**

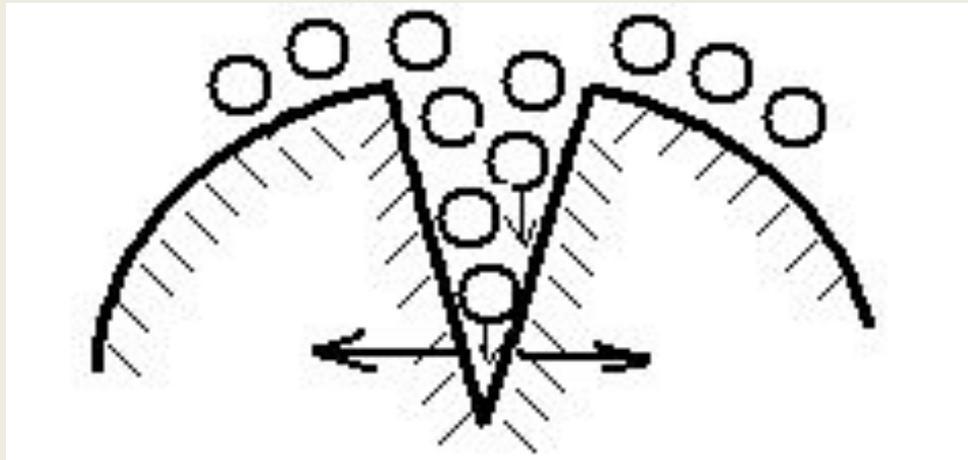
**химический состав и агрегатное состояние вещества не меняется;**

**затрачивается внешняя работа;**

**используют для получения грубодисперсных систем – производство цемента (1 млрд.т в год), измельчении руд полезных ископаемых, помол муки и т.д.**

Для облегчения диспергирования используют **понижители твердости** (электролиты, эмульсии, ПАВ и др.)

Понижители твердости составляют 0,1 % от общей массы измельчаемых веществ и при этом снижают энергозатраты на получение дисперсных систем более чем в два раза.



## *Конденсационные методы*

- **основаны на ассоциации молекул в агрегаты из истинных растворов;**
- **используют для получения высокодисперсных систем;**
- **не требуют затраты внешней работы;**
- **появление новой фазы происходит при пересыщении среды.**

## *Стадии конденсации*

**1. Зародышеобразование** - возникновение центров кристаллизации в пересыщенном растворе; зародыши образуются тем легче, чем больше чужеродных частиц.

**2. Рост зародышей.**

**3. Формирование слоя стабилизатора (ДЭС).**

## ***Физические конденсационные методы***

***1. Метод конденсации из паров*** – образование тумана в газовой фазе при понижении температуры.

Образование тумана, облаков, производство  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

***2. Метод замены растворителя*** – раствор вещества приливают к жидкости, в которой это вещество практически не растворимо.

Получение гидрозолей серы, холестерина, канифоли и др.

# Химические конденсационные методы

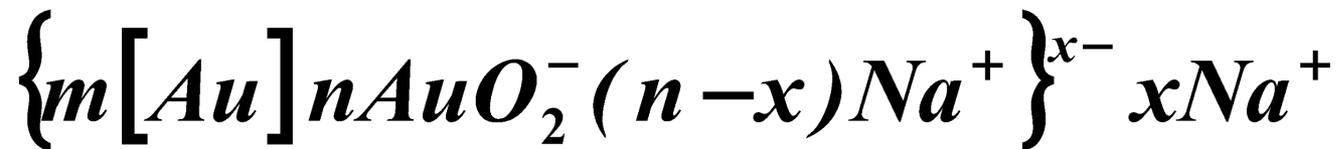
Методы основаны на образовании м.р.с. в результате протекания химических реакций.

## 1. Реакции восстановления (получение золь Au, Ag, Pt).

Восстановление аурата натрия формальдегидом.

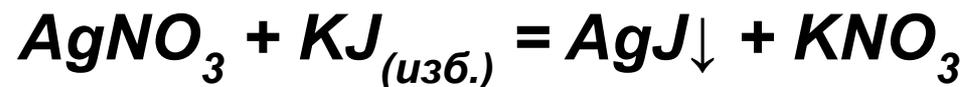


Строение мицеллы :

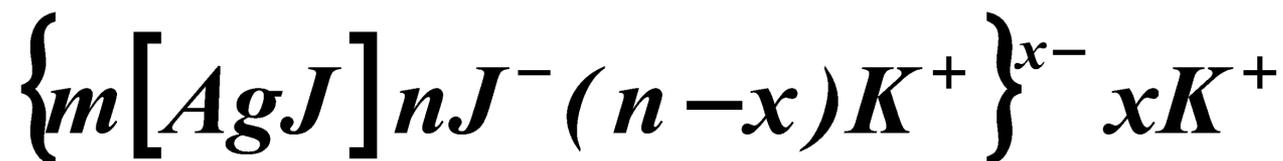


## 2. Реакции обмена.

Получение золя иодида серебра.

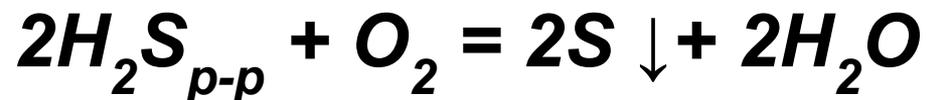


Строение мицеллы:

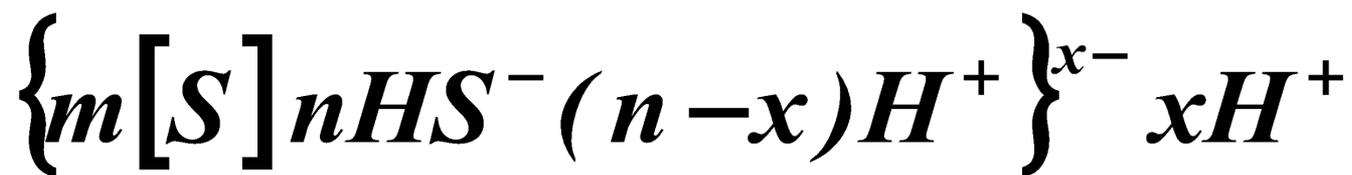


### 3. Реакции окисления

Образование золя серы.



Строение мицеллы:

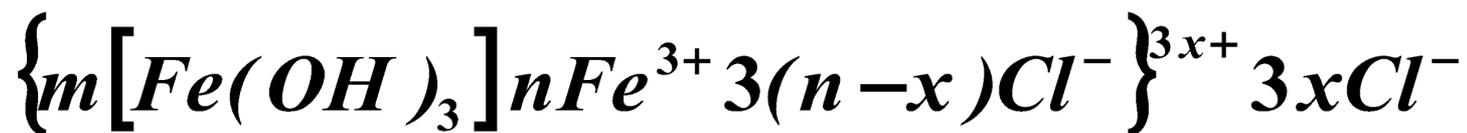


#### 4. Реакции гидролиза

Получение золя гидроксида железа.



Строение мицеллы:



## ***Метод пептизации***

***Пептизация*** – метод, основанный на переводе в коллоидный раствор осадков, первичные размеры которых уже имеют размеры высокодисперсных систем.

**Суть метода:** свежавыпавший рыхлый осадок переводят в золь путем обработки пептизаторами (растворами электролитов, ПАВ, растворителем).

## ***Методы очистки дисперсных систем***

**Низкомолекулярные примеси (чужеродные электролиты) разрушают коллоидные системы.**

***Диализ*** – отделение золь от низкомолекулярных примесей с помощью полупроницаемой мембраны.

***Электродиализ*** – диализ, ускоренный внешним электрическим полем.

***Ультрафильтрация*** – электродиализ под давлением (гемодиализ).

# Особенности коллоидных растворов

1. **Опалесценция (светорассеяние)** наблюдается когда  $\lambda > d$ .

$$I_p \approx \frac{1}{\lambda^4}$$

Чем короче длина волны падающего света, тем больше рассеяние.

400 нм - синий, 780 нм - красный

При боковом свечении дисперсные системы имеют голубоватую окраску (атмосфера Земли), а в проходящем свете – красноватую (восход и закат Солнца).

**Светомаскировка** - синий свет.

**Сигнализация** – красный, оранжевый свет.

**Окраска драгоценных камней и самоцветов**

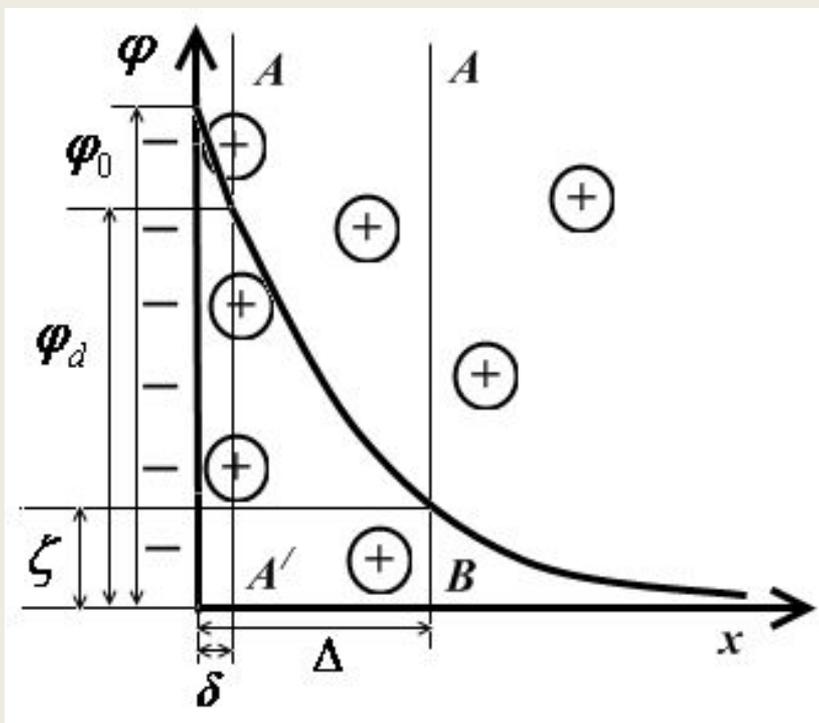
**Рубин** – коллоидный раствор  $Cr$  или  $Au$  в  $Al_2O_3$ ,

**Сапфир** - коллоидный раствор  $Ti$  в  $Al_2O_3$ ,

**Аметист** – коллоидный раствор  $Mn$  в  $SiO_2$ .

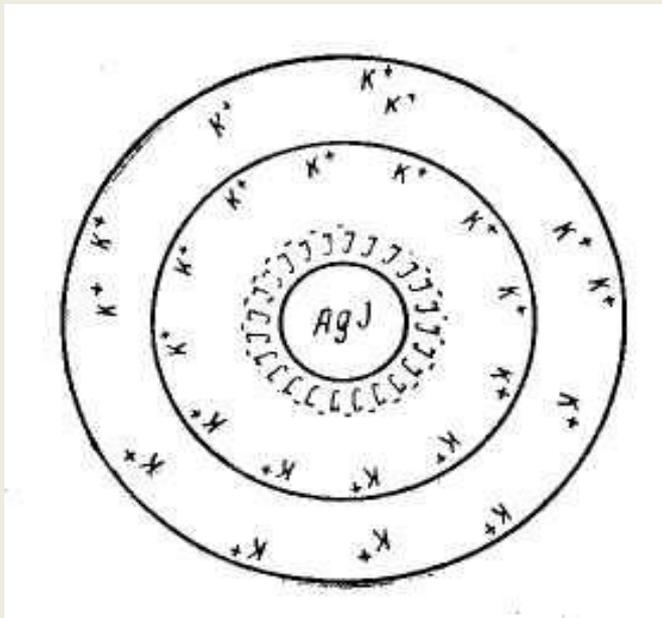
**2. Способность к электрофорезу** - явление перемещения частиц ДФ относительно неподвижной ДС по действию внешнего электрического поля.

Причина электрофореза - наличие **двойного электрического слоя (ДЭС)** на поверхности частиц ДФ.



**Электрокинетический потенциал (дзета-потенциал)** - потенциал, возникающий на границе скольжения  $AB$  при относительном перемещении фаз в электрическом поле.

## Строение коллоидных мицелл



**Мицелла** – частица дисперсной фазы вместе с ДЭС.

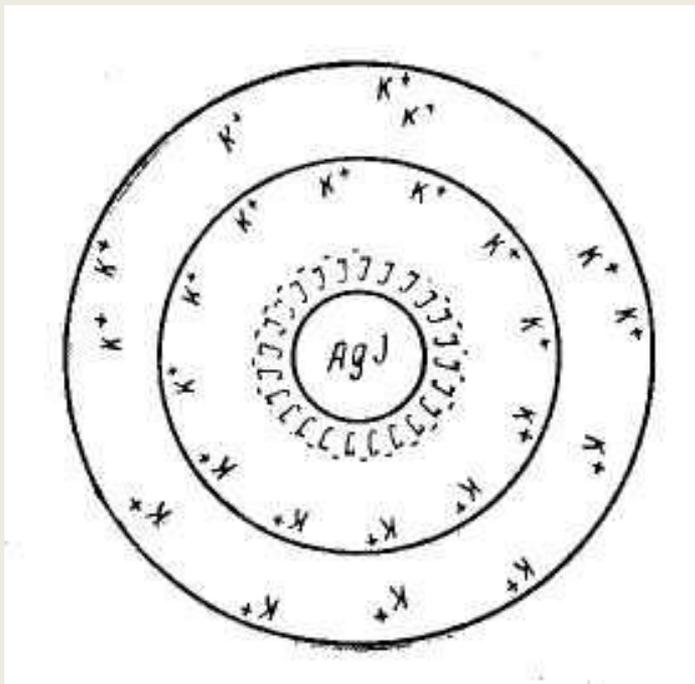
Внутренняя часть мицеллы – **агрегат**, состоящий из большого числа молекул или атомов м.р.с.

Агрегат электронейтрален, но адсорбирует на своей поверхности ионы из раствора – **ПОИ**.

### **Правило Фаянса-Пескова:**

«На твердой поверхности агрегата в первую очередь адсорбируются ионы, которые:

- входят в состав агрегата;
- способны достраивать кристаллическую решетку агрегата;
- образуют малорастворимое соединение с ионами агрегата;
- изоморфны с ионами агрегата.»

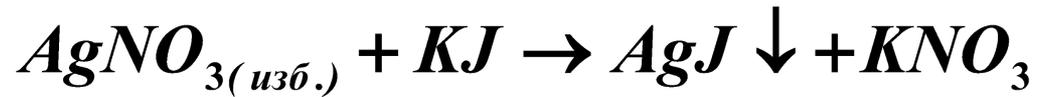


Агрегат вместе с ПОИ составляет **ядро** мицеллы. Заряженное ядро мицеллы, притягивает **ПИ** из раствора. Часть ПИ образует адсорбционный слой. Ядро с ПИ плотной части ДЭС образуют **гранулу** или **коллоидную частицу**. Знак заряда коллоидной частицы определяется знаком заряда ПОИ.

Коллоидную частицу окружают **ПИ диффузной слоя** – остальная часть ПИ, подвергавшихся броуновскому движению и менее прочно связанная с ядром.

В целом образуется **мицелла**. Мицелла в отличие от коллоидной частицы электронейтральна.

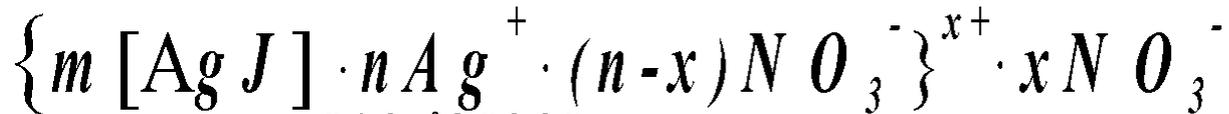
**Пример 1:**



$AgNO_3$  – электролит-стабилизатор



$Ag^+$  – ПОИ,  $NO_3^-$  – ПИ



àãđ áãàò	ïîò áíöèàë - îïđ áäâëÿþ ù èá èííû	ïđî èâîèíû	ïđî èâîèíû
----------	---	------------	------------

ÿäđî
------

ääñîđ áöèííû é ñëî é
----------------------

äèò ô óçí û é ñëî é
---------------------

èîëèèèáí àÿ ÷ àñò èöà (ãđ áí óëà)
-----------------------------------

ì èöáëèà
----------

## ***Устойчивость и коагуляция дисперсных систем***

***Устойчивость*** – неизменность во времени основных параметров дисперсной системы: степени дисперсности и равномерного распределения частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде.

***Коагуляция*** – процесс разрушения коллоидных систем за счет слипания частиц, образования более крупных агрегатов с потерей устойчивости и последующим разделением фаз.

# Коагуляция золей электролитами

## Правила электролитной коагуляции

- Все электролиты при определенной концентрации могут вызвать коагуляцию золя.
- **Правило знака заряда:** коагуляцию золя вызывает тот ион электролита, знак заряда которого противоположен заряду коллоидной частицы.  
Этот ион называют **ионом-коагулятором**.
- Каждый электролит по отношению к коллоидному раствору обладает порогом коагуляции (коагулирующей способностью).

**Порог коагуляции ( $\gamma, C_{кр}$ )** – наименьшая концентрация электролита, достаточная для того, чтобы вызвать коагуляцию золя

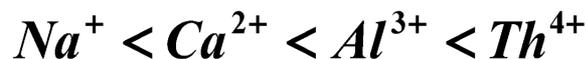
$$\gamma(C_{кр}) = \frac{V \cdot C}{W}$$

**Коагулирующая способность ( $P$ )** – величина, обратная порогу коагуляции

$$P = \frac{1}{\gamma}$$

● **Влияние заряда иона-коагулятора (правило Шульце-Гарди):** коагулирующая способность электролита возрастает с увеличением заряда иона – коагулятора

$$\gamma = \frac{const}{z^n} \quad n = 2 \div 6$$



→ возрастание коагулирующей способности →

## Пример решения задания

Золь гидроксида цинка получен путем сливания растворов  $ZnCl_2$  и  $NaOH$ . Определите знак заряда коллоидной частицы, напишите формулу мицеллы, если пороги коагуляции растворов электролитов следующие:

Электролит	$KCl$	$KNO_3$	$BaCl_2$	$Al(NO_3)_3$
$\gamma$ , моль/л	5,2	5,1	0,08	0,007

**Решение:** Определим знак заряда частиц золя.

Так как анионы всех электролитов одновалентны, а их пороги коагуляции разные, то коагуляцию золя вызывают катионы электролитов.

В данном случае: чем выше заряд катиона, тем меньше порог коагуляции (справедливо правило Шульце – Гарди). Следовательно, согласно «правилу знака заряда», заряд коллоидной частицы отрицательный.

Следовательно, ПОИ –  $OH^-$ , ПИ –  $Na^+$ .

