



ФГБОУ ВО

**«Красноярский государственный медицинский университет
имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого»
Министерства здравоохранения Российской Федерации**

**Кафедра биологической химии с курсами медицинской, фармацевтической и
токсикологической химии**

ФИЗИЧЕСКАЯ И КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ

**К.х.н., доцент Ендржиевская –Шурыгина
Виктория Юлиановна**



ЛЕКЦИЯ № 13 по дисциплине «Физическая и коллоидная химия» для студентов 2 курса, обучающихся по специальности 33.05.01 - Фармация

Электрокинетические явления



План

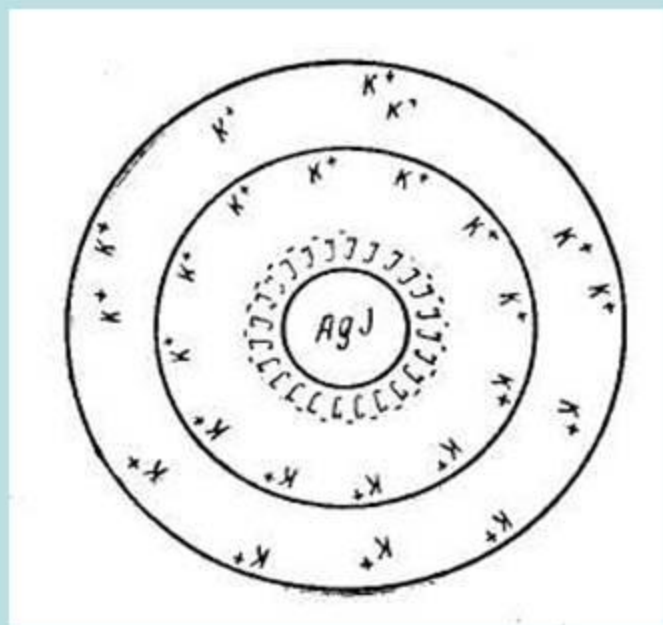
1. Теории строения двойного электрического слоя. Потенциалы ДЭС
2. Электрокинетические явления
3. Литература

**Теории строения
двойного
электрического слоя.
Потенциалы ДЭС**

**Электрический
заряд коллоидных
частиц.**

**Электрокинетические
явления**

Строение коллоидных мицелл



Мицелла – частица дисперсной фазы вместе с ДЭС.

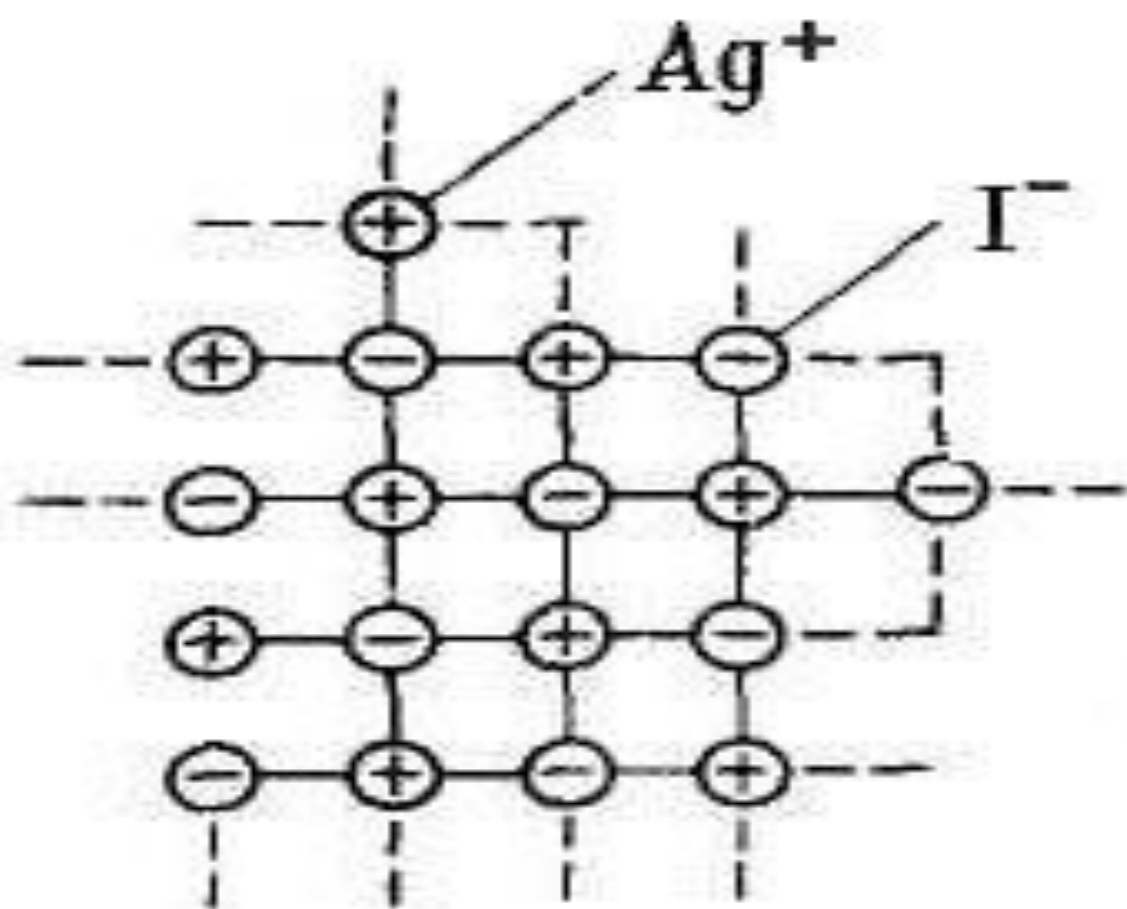
Внутренняя часть мицеллы – **агрегат**, состоящий из большого числа молекул или атомов м.р.с.

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.»



*Образование ядра по типу
кристаллической решетки*

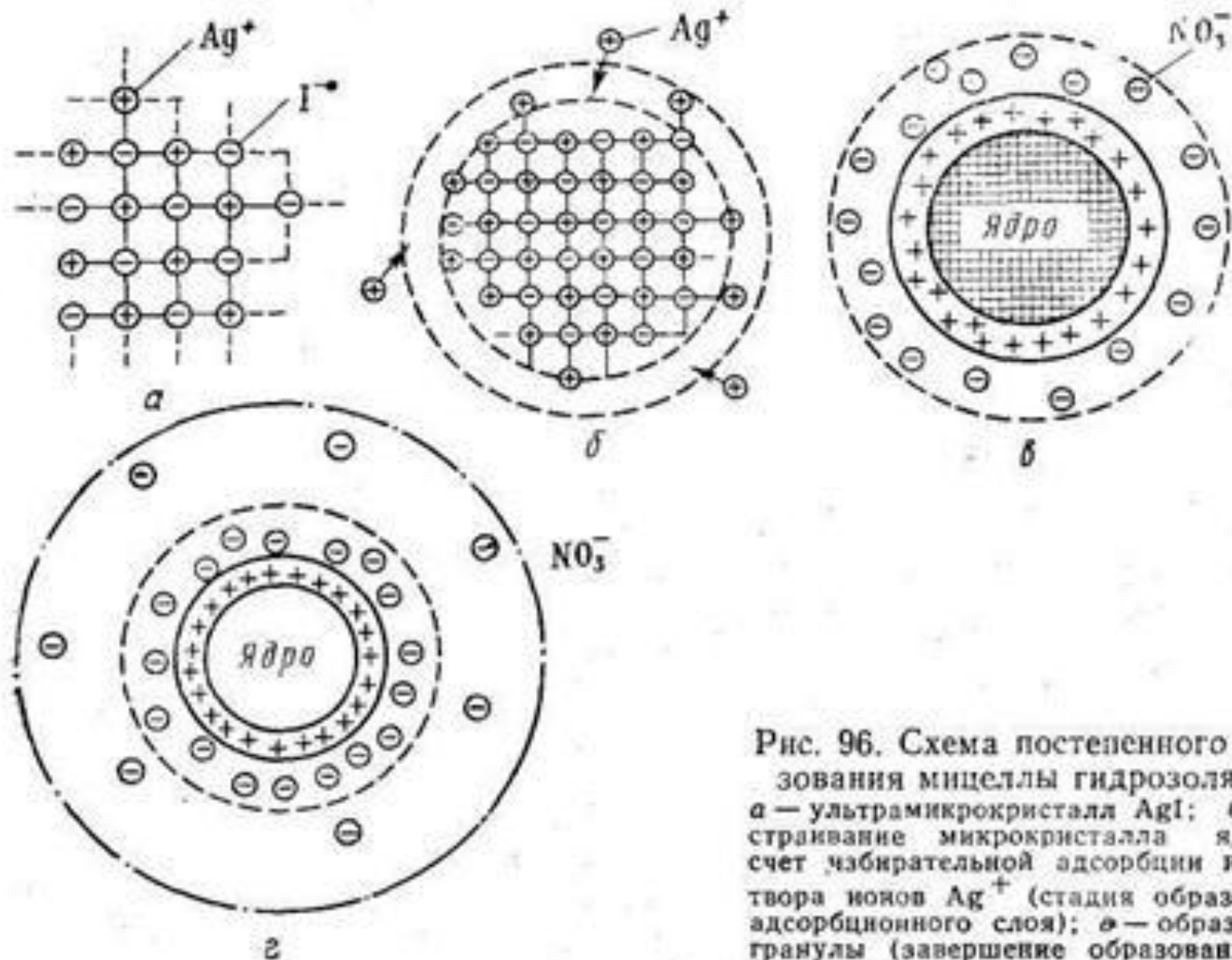


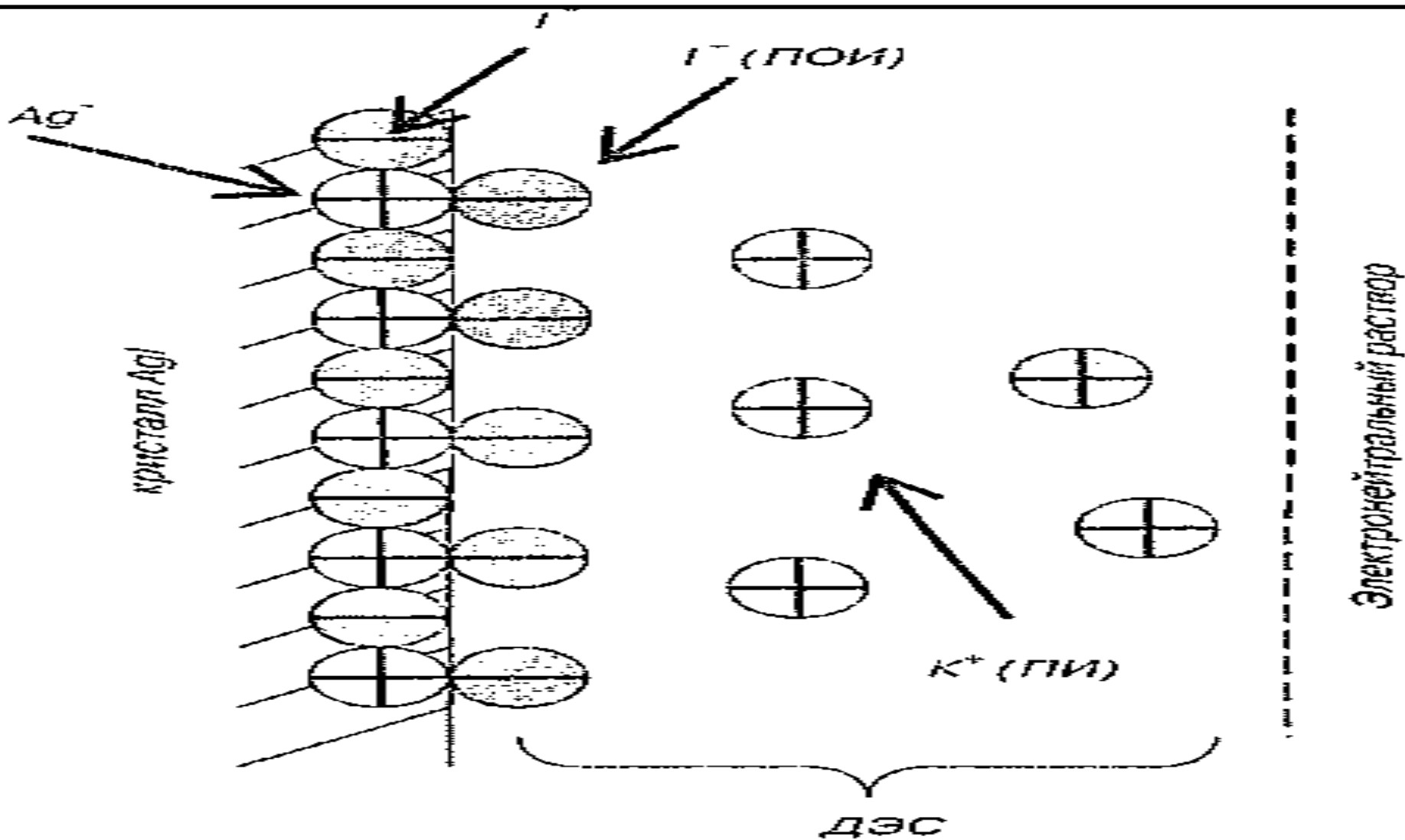
Рис. 96. Схема постепенного образования мицеллы гидрозоля AgI: а — ультрамикросталл AgI; б — до-страивание микрокристалла ядра за счет избирательной адсорбции из раствора ионов Ag⁺ (стадия образования адсорбционного слоя); в — образование гранулы (завершение образования адсорбционного слоя); г — образование мицеллы

ДЭС возникает

**на границе твердое тело —
жидкость в результате:**

***1) преимущественной
адсорбции ионов одного
знака на твердой
поверхности;***

Адсорбция ионов иода на кристалле иодистого серебра и возникновение ДЭС



Двойной электрический слой

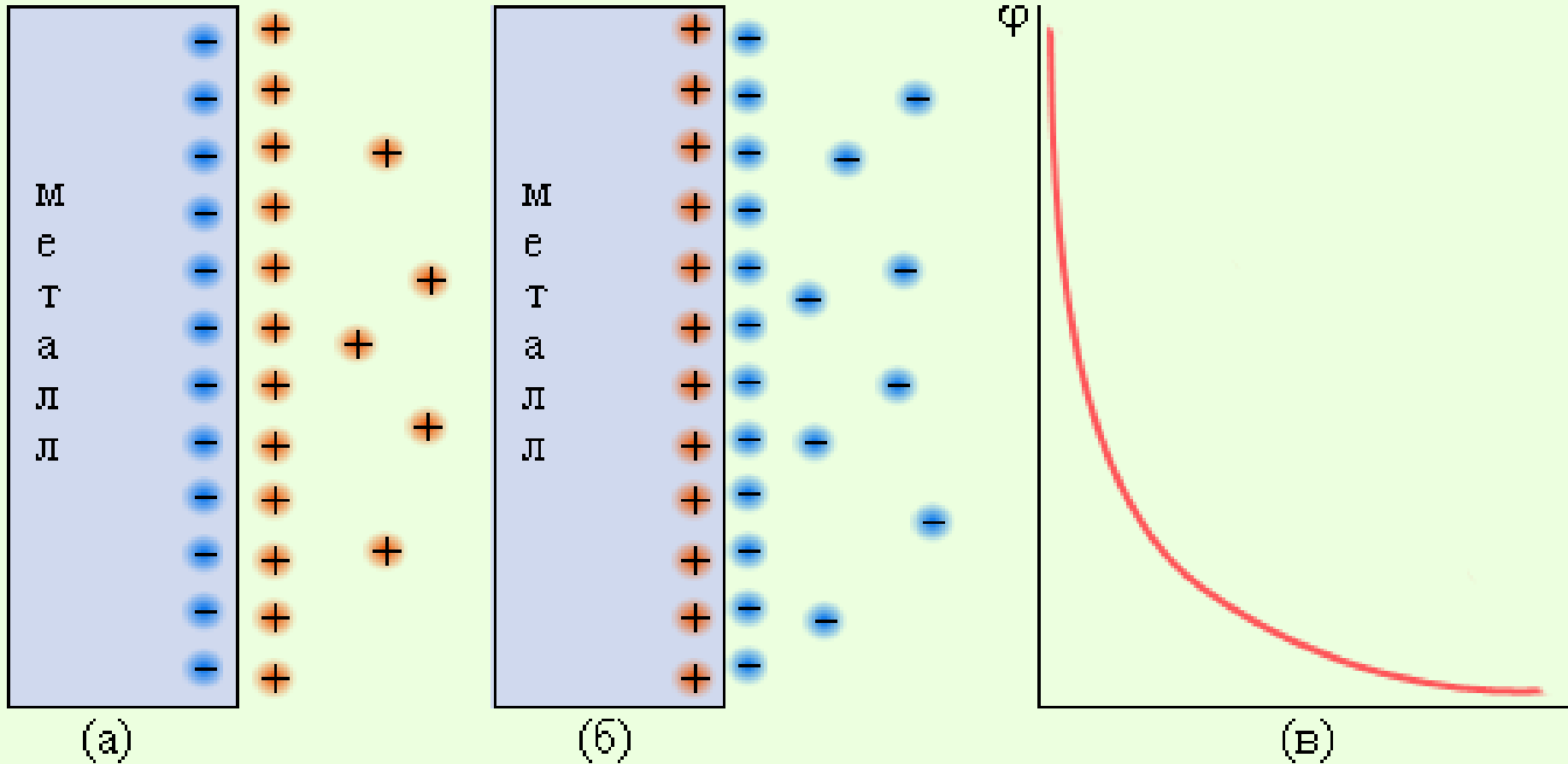


Схема двойного электрического слоя (а) и (б); распределение заряда в объеме электролита (в).

***2) в процессе
диссоциации
поверхностных
молекул вещества
твёрдой фазы с
переходом ионов в
другую фазу***



Ионы HSiO_3^-

— ПОИ;

H^+ — ПИ

**Крупные и
малоподвижные анионы**

HSiO_3^- остаются на

**поверхности твердой
фазы, а ионы водорода**

H^+ переходят в

жидкую фазу

Примечание: Согласно современным представлениям, в образовании **ДЭС** могут участвовать не только ионы, но и **дипольные молекулы**, а ДЭС может возникнуть на частицах, находящихся в полярной среде, в процессе ориентации диполей

**Независимо от механизма
образования ДЭС**

непременным условием его

возникновения является

высокая плотность

расположения зарядов в слое

потенциалобразующих

(ПОИ) ионов

Потенциалобразующие ионы создают *внутреннюю обкладку* ДЭС.

Электростатические силы притяжения такого слоя способствуют возникновению второго, компенсирующего слоя из ионов противоположного знака — *противоионов (ПИ)*.

Второй слой расположен со стороны жидкой фазы и носит название *внешней обкладки*. ДЭС - это единая система, в целом *нейтральная*, так как сумма зарядов противоположных равна заряду твердой поверхности.



АА – межфазная граница; ББ – граница скольжения

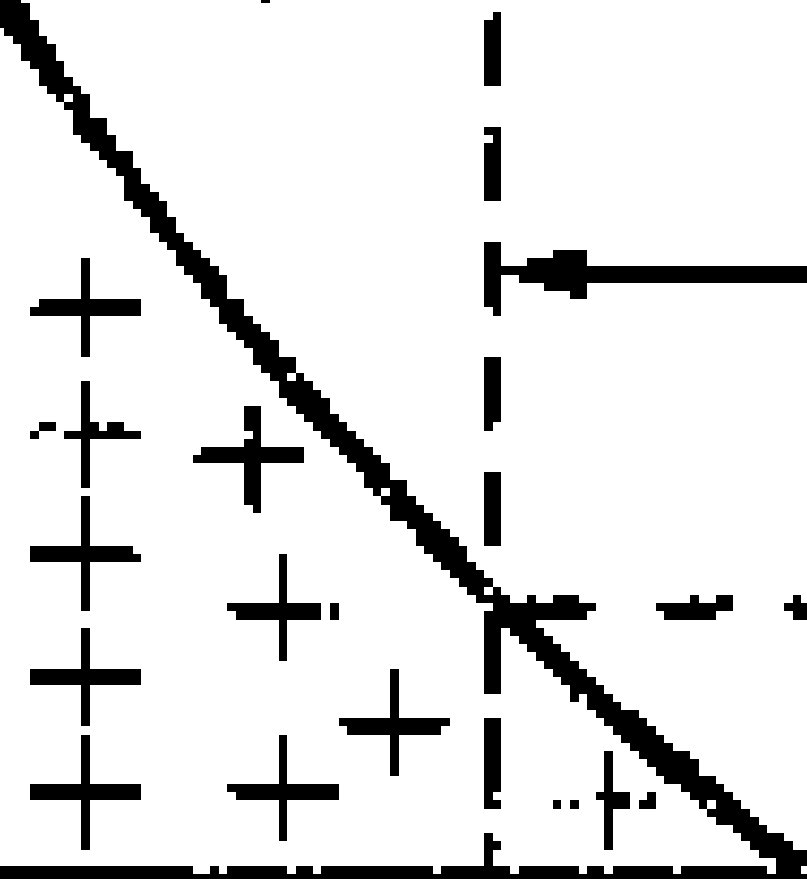
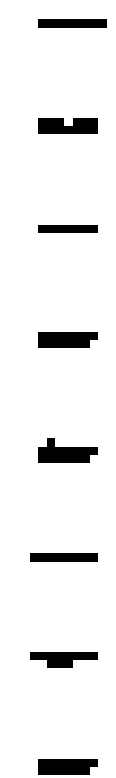


Твердая
фаза

Жидкая
фаза

Граница
состояния

$\Phi_{\text{мф}}$



А

Б

С

Граница **АА** на схемах мицелл называется *межфазной границей*. Граница **ББ**, которая в мицелле проходит между **гранулой** и **диффузным слоем**, называется *границей скольжения*.

В электрическом поле по

этой условной границе

происходит взаимное

перемещение гранулы

***(дисперсной фазы)* и**

противоионов диффузного слоя

***(дисперсионной среды)* к**

противоположно заряженным

электродам

**Образование ДЭС приводит к
появлению электрических
потенциалов на границе раздела
твёрдой и жидкой фаз. Ионы
внутренней обкладки, фиксированные
на твёрдой поверхности, придают
этой поверхности свой знак заряда и
создают на ней **поверхностный**
или **ϕ -потенциал**
(**фи-потенциал**)**

Межфазным или
электротермодинамическим
потенциалом (φ-потенциал)
называется потенциал ДЭС на
границе раздела между твердой
и жидкой фазами в мицелле (на
схемах мицеллы — граница АА)

Электрокинетическим
потенциалом или ζ -
потенциалом (дзета-
потенциал, ζ) называется

потенциал на **границе**

скольжения между

адсорбционной и диффузионной
частями ДЭС мицеллы (на схемах
мицеллы — граница ББ)

Уравнение Нернста

$$\varphi_{\text{М}} = \frac{R \cdot T}{Z \cdot F} \cdot \ln \frac{[C_2]}{[C_1]}$$

где φ — электрический потенциал поверхности,
 R — универсальная газовая постоянная,
 T — абсолютная температура,
 z — формальный заряд потенциалобразующих ионов,
 F — постоянная Фарадея,
 C_2 и C_1 — концентрации ионов на поверхности и в растворе соответственно

Моддели

ДЭЭС

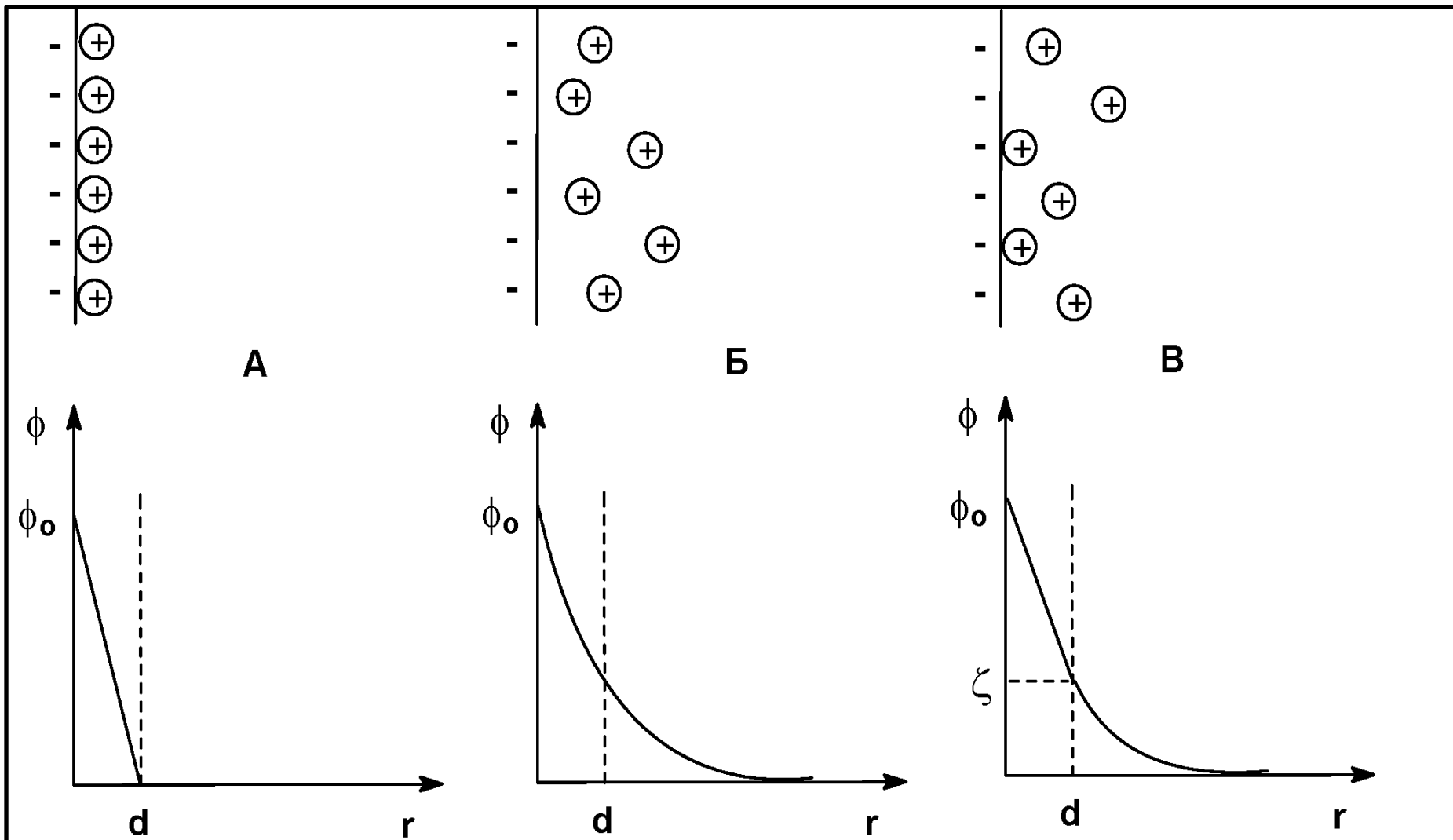


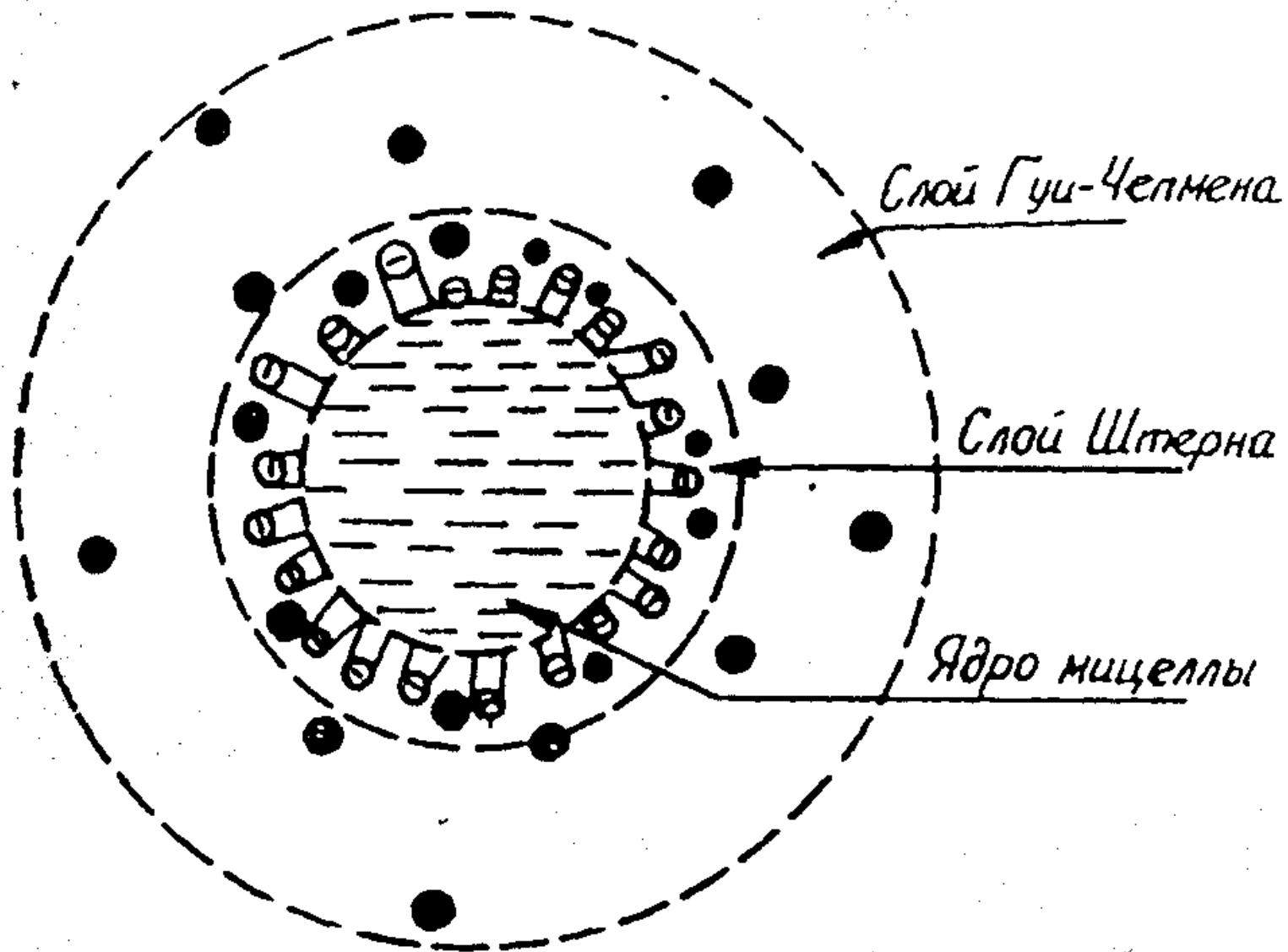
Рис. 4.12 Строение ДЭС: а) – по Гельмгольцу, б) – по Гуи, в) – по Штерну.

Вверху – схема расположения противоположно заряженных ионов, внизу – зависимость потенциала от расстояния.

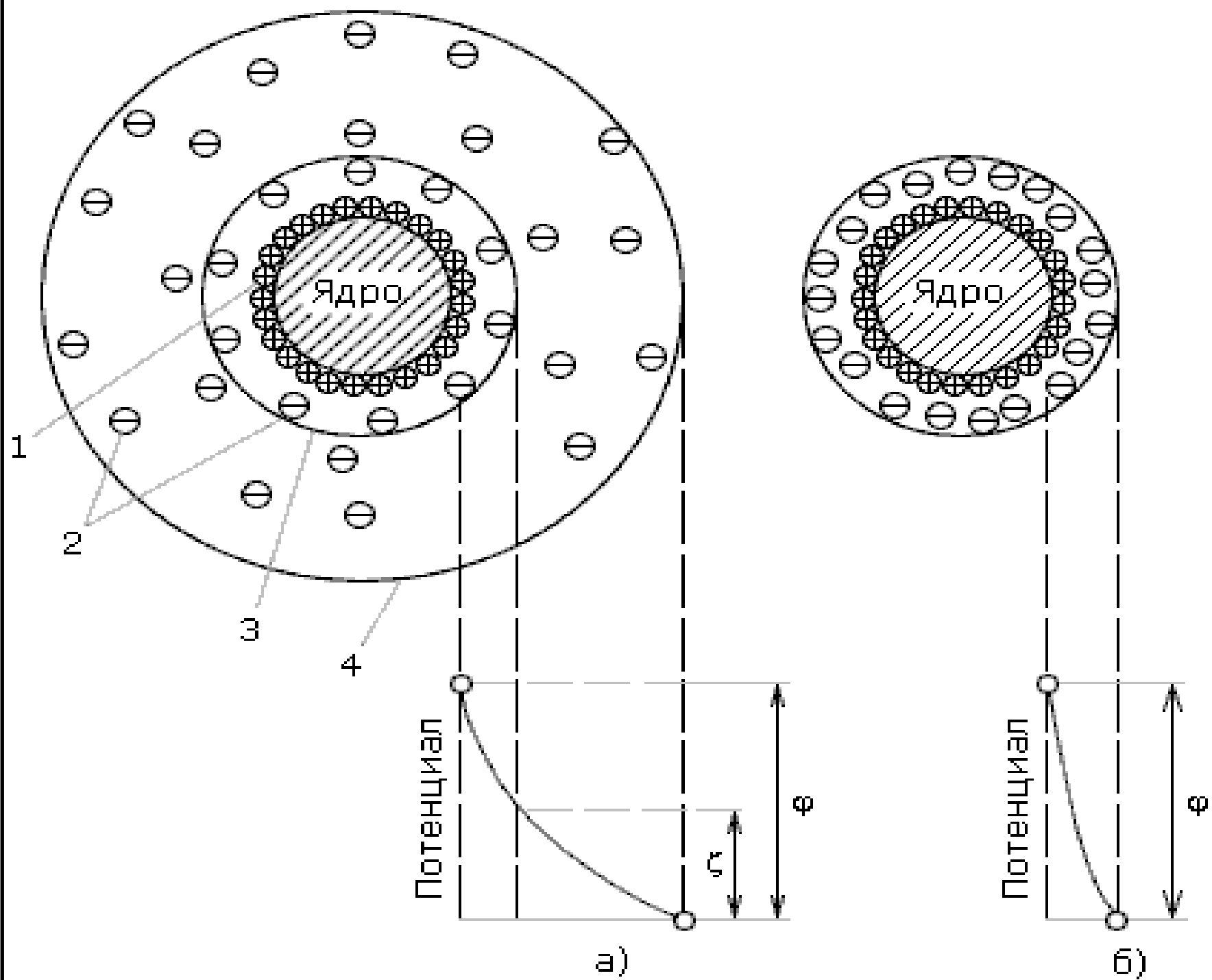
А) Модель Гельмгольца - модель **плоского конденсатора**. Согласно этой модели (рис.А), внешняя обкладка находится в жидкости параллельно твердой поверхности на расстоянии молекулярного порядка d .

Взаимодействие между ионами осуществляется только за счет **электростатических сил**, а падение потенциала между слоями происходит **линейно**

Б) Модель Гуи—Чепмена (рис.Б) - ионы
внешней обкладки обладают определенной
подвижностью за счет теплового движения, и
электростатическое притяжение
противоионов уравновешивается диффузией,
размывающей поверхностные избытки. В
результате устанавливается некоторое
равновесное распределение противоионов в
некотором слое жидкости вблизи твердой
поверхности. В этой теории **ионы**
рассматривались как точечные заряды, не
имеющие собственных размеров и поэтому
способные подходить к поверхности неограниченно
близко



В модели *Гуи—Чепмена* слой раствора с измененной (для противоионов — повышенной) концентрацией ионов называется *диффузным*. Толщина диффузного слоя δ . Точнее, δ — это такое расстояние, на котором потенциал уменьшается в **e** раз. В зависимости от условий толщина слоя составляет от нм до сотен мкм, а потенциал экспоненциально снижается по мере удаления от поверхности



Недостатки классической модели Гуи—Чепмена

Теория не учитывает:

- специфическую адсорбцию противоионов;
- не объясняет явление перезарядки

В) Наиболее современной общей моделью является теория Штерна. Она базируется на более поздних предположениях теории Гуи о том, что *противоионы, обладая* соответствующими *размерами*, не могут подойти к поверхности ближе, чем на расстояние d , определяемое размерами ионов внутренней и внешней обкладок. *Толщина такого слоя близка к сумме радиусов гидратированных ионов* и имеет порядок десятых долей нм. Штерн ввел понятие *адсорбционного потенциала иона*, выражающего дополнительно к кулоновской, *энергию адсорбции* иона.

Вывод: внешняя обкладка **слагается из плотного (адсорбционного)** слоя противоионов, расположенных на расстоянии d и удерживаемых у поверхности не только ***электростатическими***, но и дополнительными **адсорбционными силами**, **и противоионов диффузного слоя**. В результате, часть противоионов находится на молекулярном расстоянии от поверхности, образуя слой, подобный слою Гельмгольца (часть кривой АБ на рис. В). Другая часть противоионов имеет размытое расположение и образует диффузный слой.

Соответственно падение потенциала в адсорбционном слое происходит линейно, в диффузном — экспоненциально.

.

+ *теории*: Штерн ввел в теорию ДЭС представление о *конечных размерах ионов* и учел их **специфическую адсорбцию**. Однако есть ряд вопросов, не объясняемых и теорией Штерна.

Учение о ДЭС продолжает
развиваться, так как оно имеет
большое значение для
понимания и
усовершенствования таких
практически важных
процессов, как *коагуляция*
коллоидов, ионный обмен,
флотация и т.д.

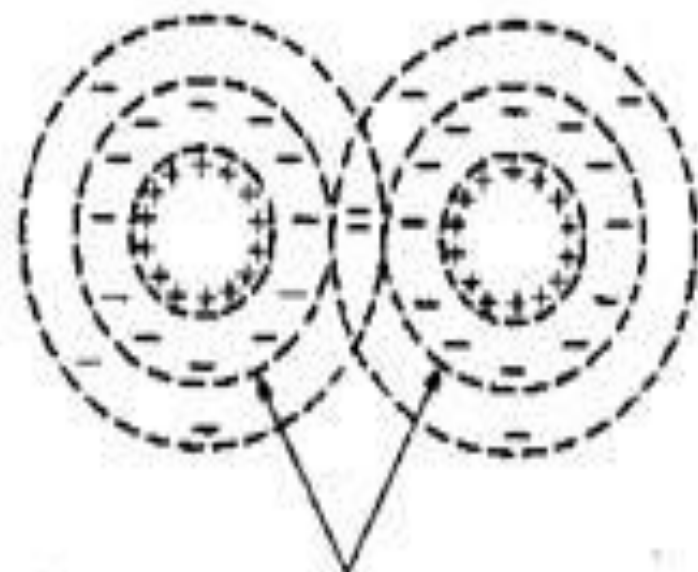


$$\zeta > 30 \text{ мВ}$$

Преобладают

←→ силы отталкивания

Коллоидный раствор относительно устойчив



$$\zeta < 30 \text{ мВ}$$

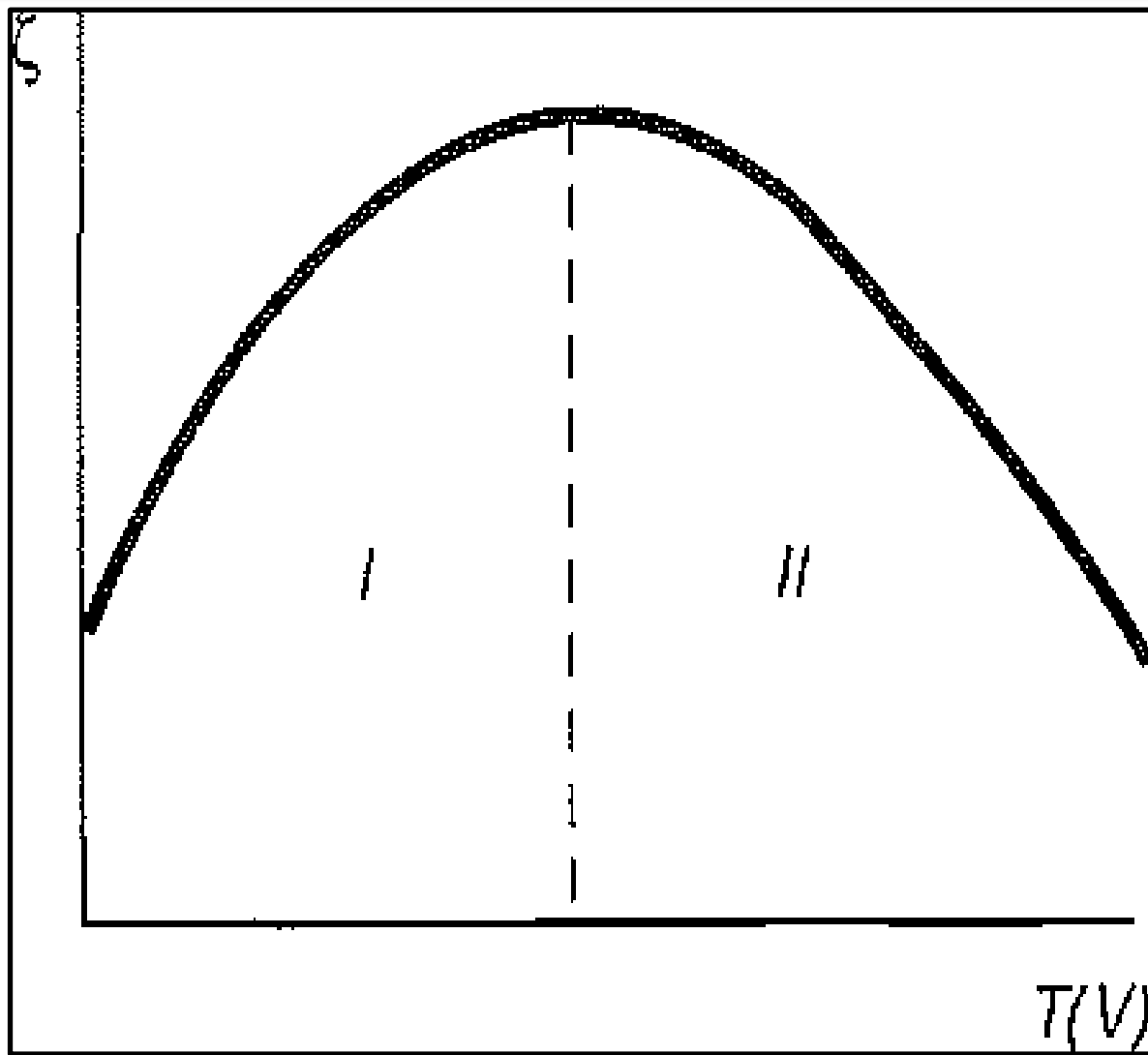
Преобладают

←→ силы притяжения

Коллоидный раствор неустойчив

Поскольку **электрокинетический потенциал** относится к коллоидной частице и обуславливает ее подвижность в электрическом поле, **величина этого потенциала** измеряется экспериментально по скорости движения частиц. Направление перемещения частиц к катоду или аноду указывает на знак ζ -потенциала

Зависимость ζ - потенциала золя от температуры и разведения K



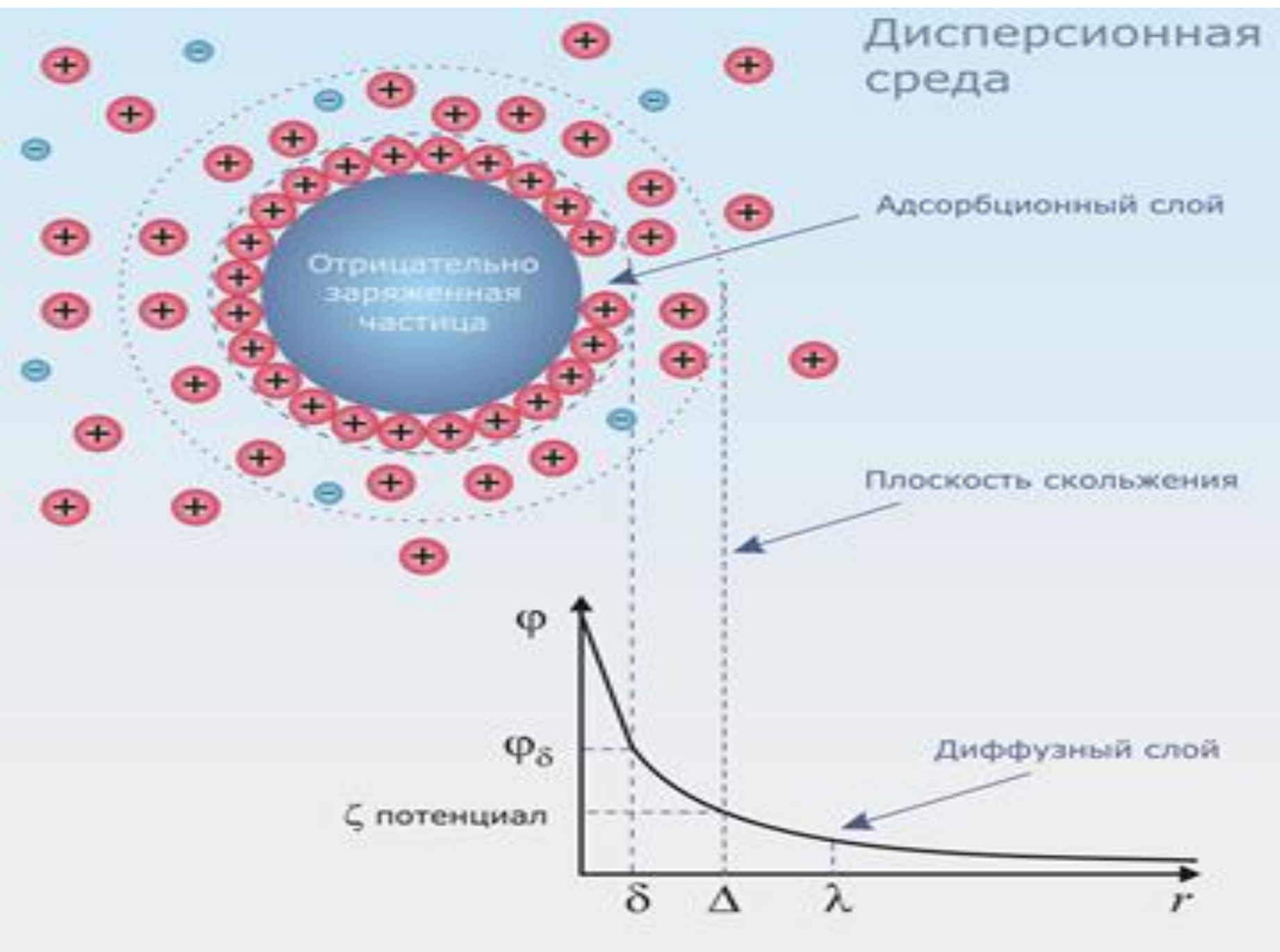
На участке I кривой в области умеренного повышения температуры ζ - потенциал растёт: с повышением температуры увеличивается кинетическая энергия противоионов. Преодолевая электростатические и ван-дер-ваальсовы силы притяжения, часть противоионов переходит из адсорбционного в диффузный слой, что приводит к увеличению его **толщины.**

Второй участок кривой (область II) характеризуется понижением ζ -потенциала, объяснить которое можно проникновением процессов десорбции в глубинные области двойного электрического слоя. Начинается отрыв ионов от внутренней обкладки ДЭС, т.е. потенциалобразующих ионов, что и приводит к понижению φ -потенциала и, как следствие, к уменьшению ζ -потенциала.

График зависимости ζ -потенциала от разведения имеет тот же вид. На участке I возрастание ζ -потенциала связано с **переходом** части **противоионов** из адсорбционного слоя в **диффузный** вследствие понижения общей концентрации электролита во всем объеме раствора; участок II кривой, соответствующий чрезмерному разбавлению раствора, обусловлен дальнейшим развитием процесса десорбции, затрагивающего внутреннюю часть двойного слоя. Выход потенциалобразующих ионов в раствор приводит к уменьшению числа зарядов на поверхности частиц и понижению как φ -, так и ζ -потенциала.

Толщина диффузного слоя δ
рассчитывается по аналогии с ионной атмосферой по теории Дебая—Гюккеля для растворов бинарных сильных электролитов, учитывающей Z — заряд ионов, F — число Фарадея, T — абсолютную температуру, R — газовую постоянную, ε — диэлектрическую проницаемость раствора, c — концентрацию электролита

СРС: Беляев А.П., параграф 25.2 Влияние электролитов на строение ДЭС



**Строение
КОЛЛОИДНЫХ
частиц
лиофобных
золей**

Модельные представления о строении двойного электрического слоя позволяют построить мицеллу лиофобного золя.

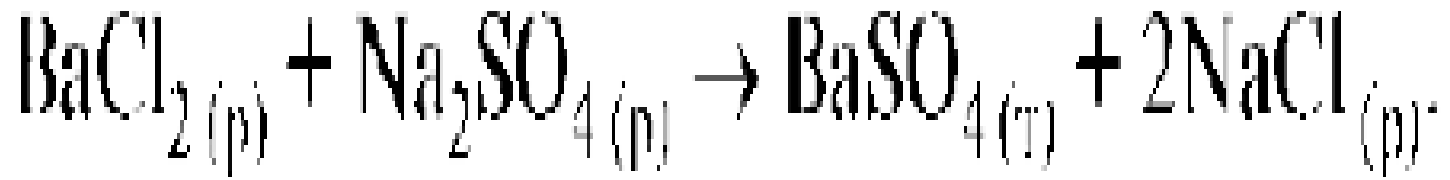
Согласно общепринятой мицеллярной теории строения коллоидных растворов, золь состоит из двух частей: мицелл и интермицеллярной жидкости.

Мицелла — это структурная коллоидная единица, т.е. частица дисперсной фазы, окруженная двойным электрическим слоем.

Интермицеллярной (т.е. межмицеллярной) жидкостью называют дисперсионную среду, разделяющую мицеллы, в которой растворены электролиты, неэлектролиты и ПАВ, являющиеся стабилизаторами коллоидной системы

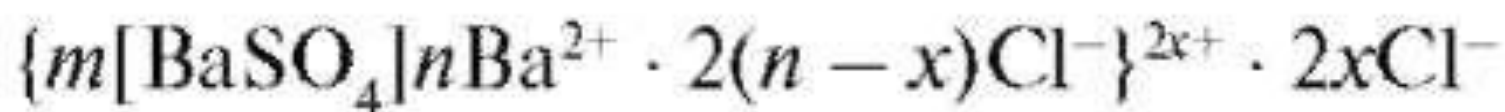
**Рассмотрим строение
мицеллы гидрозолей
на примере
образования
коллоидного раствора
сульфата бария при
условии избытка**

BaCl_2 :



Труднорастворимый барий сульфат образует кристаллический агрегат, состоящий из m молекул BaSO_4 . На поверхности агрегата адсорбируется n ионов Ba^{2+} . С поверхностью ядра связано $2(n - x)$ хлорид ионов Cl^- . Остальные противоионы ($2x$) располагаются в диффузном слое:

Мицелла



Агрегат

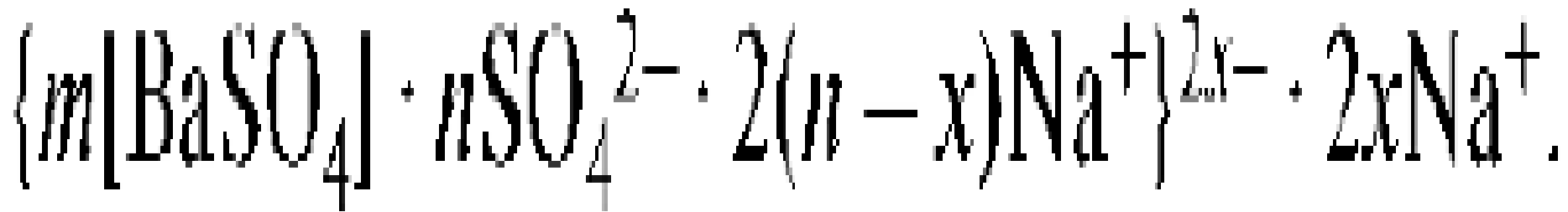
Адсорбционный
слой

Диффузный
слой

Ядро мицеллы

Гранула

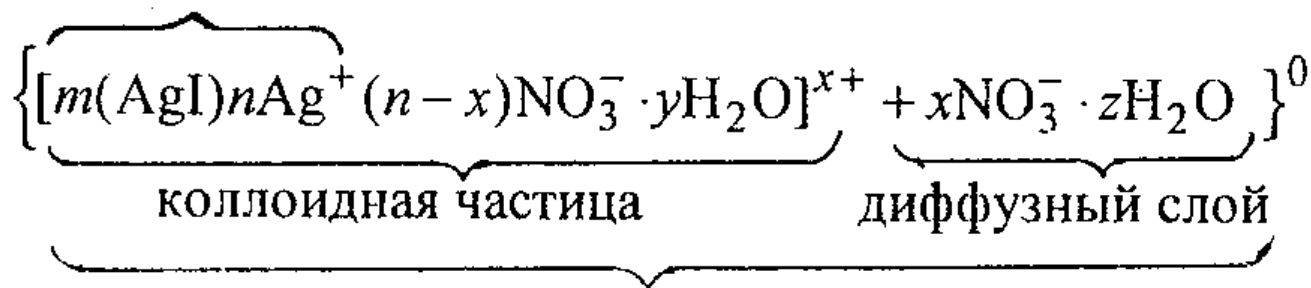
Строение мицеллы золя бария сульфата, полученного при избытке натрий сульфата, записывается в виде:



Вывод: знак заряда коллоидной частицы зависит от условий получения коллоидного раствора.

AgI

золь

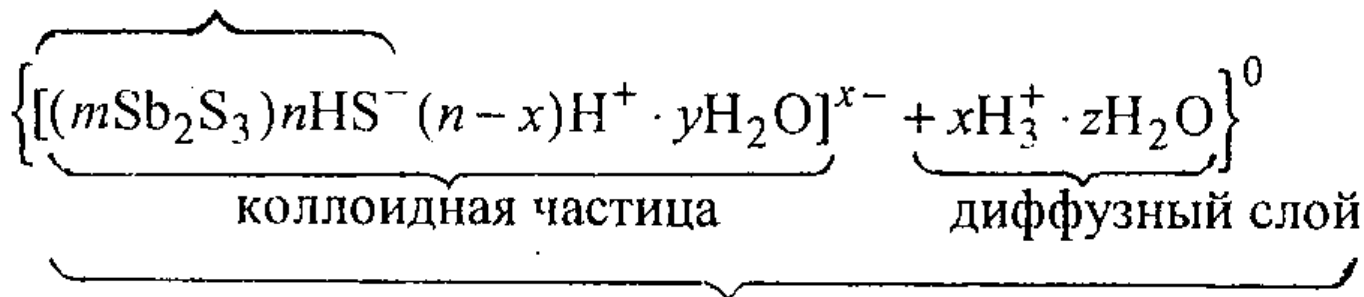


мицелла

ядро

Sb₂S₃

золь

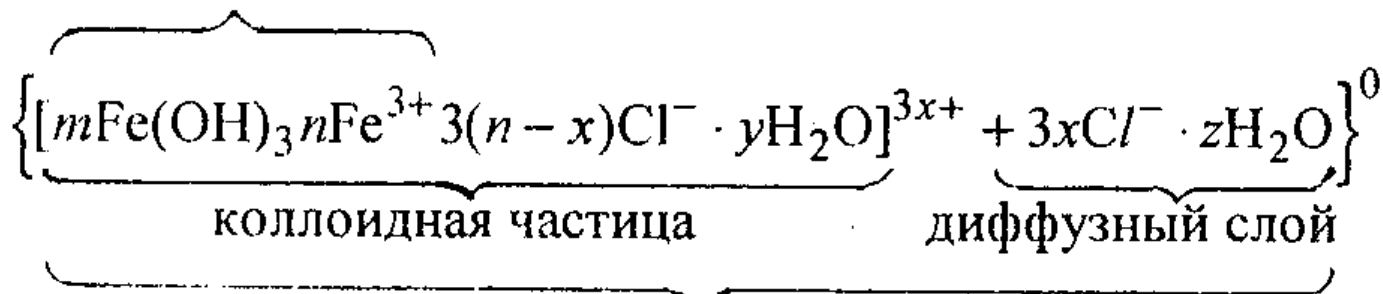


мицелла

ядро

Fe(OH)₃

золь



мицелла

Обычно $t \gg p$. Ядро вместе с адсорбционным слоем противоионов образуют собственно коллоидную частицу, или гранулу. В отличие от электронейтральной мицеллы коллоидная частица имеет заряд, в данном случае — отрицательный (2х-). Граница между коллоидной частицей и диффузным слоем практически является **границей (или поверхностью) скольжения**. В формуле мицеллы этой границе соответствует фигурная скобка между адсорбционным и диффузным слоями

ПРИМЕЧАНИЕ: Граница скольжения обозначает ту геометрическую поверхность, по которой происходит разделение («разрыв») мицеллы на коллоидную частицу и диффузный слой в случае ее перемещения относительно дисперсионной среды (например, при участии мицеллы в броуновском движении или при **движении под действием электрического поля).**

Поскольку граница коллоидной частицы проходит по плоскости скольжения, то ее потенциал соответствует электрокинетическому или ζ - потенциалу, определяющему агрегативную устойчивость гидрофобных золей и электрокинетические свойства дисперсных систем. Величина χ , а следовательно, и ζ - потенциал зависят от концентрации и состава электролита в интермицеллярной жидкости.

Электрокинетические явления

Электрокинетические явления:

- эффекты, связанные с относительным движением двух фаз под действием постоянного электрического поля;**
- возникновением разности потенциалов при относительном смещении двух фаз, на границе между которыми существует двойной электрический слой**

Электрокинетические явления по причинно-следственной связи

делят на две группы:

- прямые;*
- обратные.*

Прямые

электрокинетические

явления возникают под

действием внешнего

электрического поля

(электрофорез и

электроосмос).

Обратные

электрокинетические явления -

при механическом

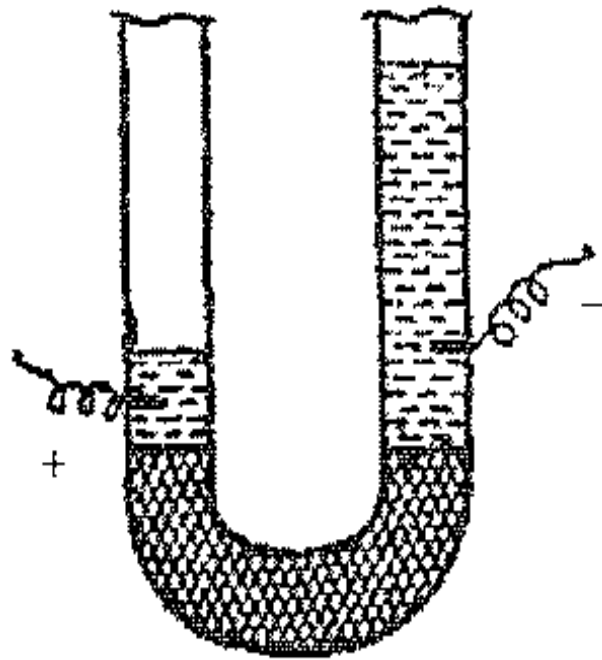
перемещении одной фазы

относительно другой возникает

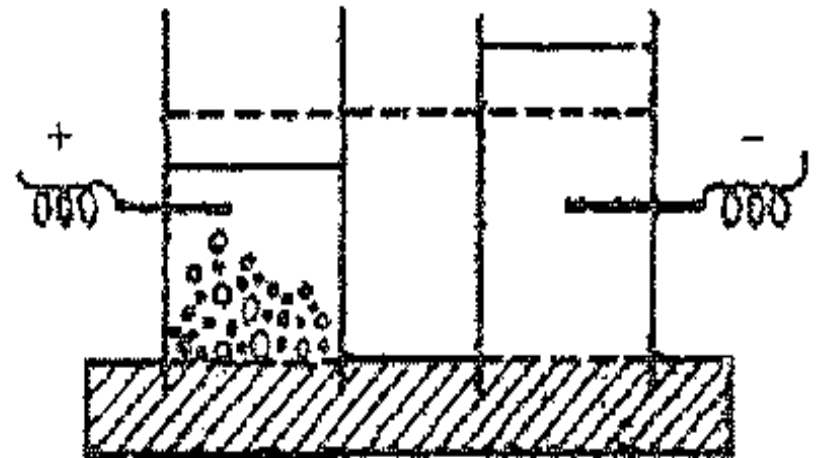
электрический потенциал

*(потенциал протекания и
потенциал седиментации).*

Схемы опытов Рейсса по электроосмосу (а) и электрофорезу (б)



а)



б)

U-образная трубка заполнена толченым кварцем и приложено внешнее напряжение к электродам. Через некоторое время в колене, где находился отрицательный электрод, наблюдалось поднятие уровня воды, в другом — опускание (рис.а). После выключения электрического поля уровни воды в коленах трубки уравнивались.

Электроосмос - явление
перемещения
дисперсионной среды
относительно неподвижной
дисперсной фазы в
постоянном электрическом
поле

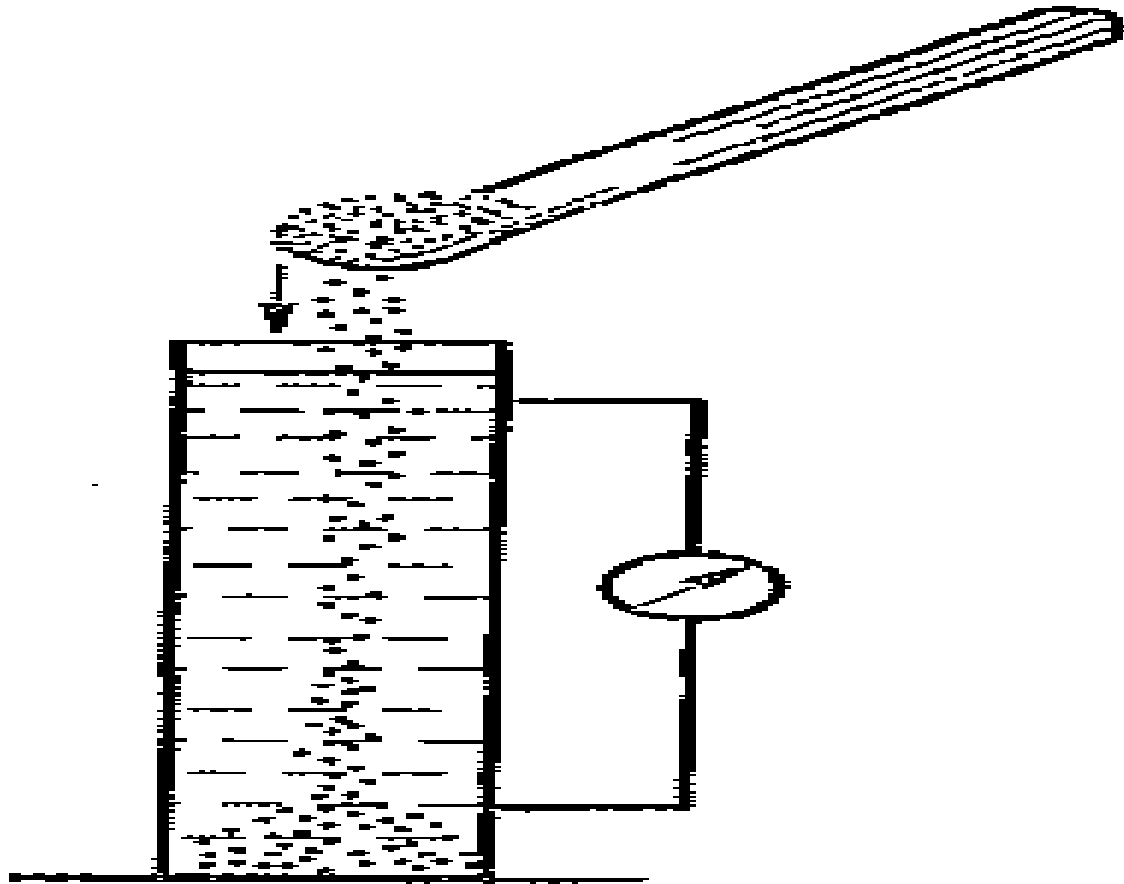
Было обнаружено (рис. б), что если во влажную глину погрузить две стеклянные трубки, заполнить их водой и поместить в них электроды, то при пропускании постоянного тока происходит движение частичек глины к положительному электроду. Явление перемещения частиц дисперсной фазы в постоянном электрическом поле называется *электрофорезом*.

Электрофорез (от электро- и др.-греч. φορέω — «переношу») — это электрокинетическое явление перемещения частиц дисперсной фазы (коллоидных или белковых растворов) в жидкой или газообразной среде под действием внешнего электрического поля

Позже Квинке (1859) (немецкий врач Генрих Квинке) обнаружил явление, обратное электроосмосу и названное *потенциалом протекания*. Оно состоит в том, что при течении жидкости под давлением через пористую диафрагму возникает разность потенциалов. В качестве материала диафрагм были испытаны глина, песок, дерево, графит и т.п.

Явление, обратное электрофрезу и названное *потенциалом седиментации*, было открыто Дорном в 1880 г. (эффект Дорна). При оседании частиц суспензии кварца под действием силы тяжести возникает разность потенциалов между уровнями разной высоты в сосуде

Схема установки для наблюдения за потенциалом седиментации

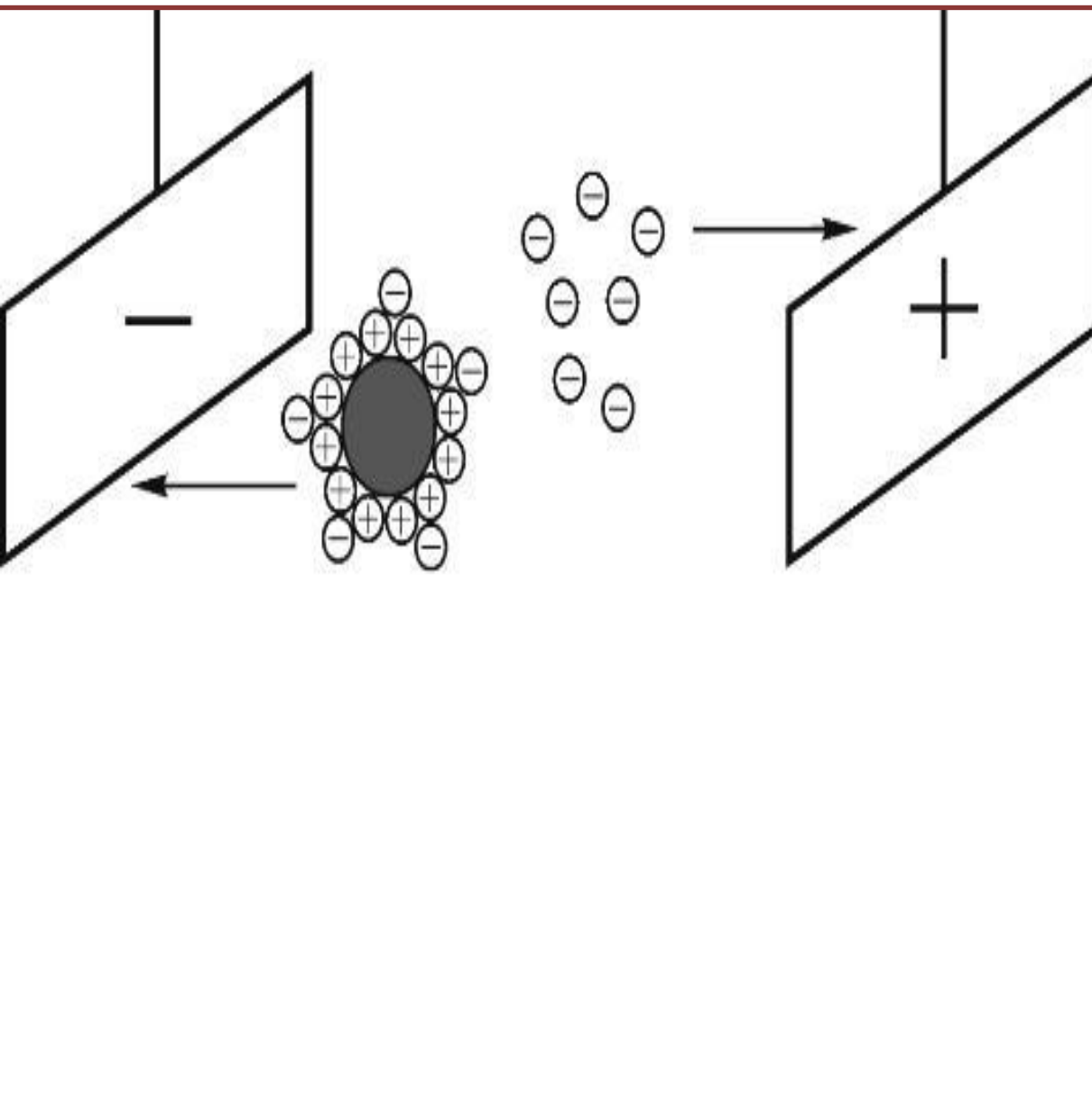


ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Все электрокинетические явления основаны на наличии двойного электрического слоя на границе твердой и жидкой фаз. Поскольку относительное смещение фаз происходит по плоскости скольжения, то все электрокинетические явления выражены тем сильнее, чем более подвижен заряд диффузного слоя и выше ζ - потенциал границы скольжения. Таким образом, ζ - потенциал является мерой электрокинетических явлений и может быть вычислен на основе измерения их параметров. Наиболее широкое применение из всех описанных электрокинетических явлений имеют электрофорез и электроосмос.

Электрофорез

При электрофорезе под действием постоянного электрического поля происходит направленное перемещение частиц дисперсной фазы к электроду, знак которого противоположен знаку заряда частиц. Движение частиц в электрическом поле обусловлено разрывом двойного электрического слоя частиц по границе скольжения, в результате которого частицы получают заряд, соответствующий ζ - потенциалу. Противоионы диффузного слоя перемещаются при этом к противоположному электроду.



**Движение
гранул
положительного
золя к катоду
(электрофорез),
противоионов
к аноду
(электроосмос)**

Техника проведения электрофоретических измерений может быть различной: в виде *макроэлектрофореза* (метод подвижной границы) или *микроэлектрофореза*, когда ведется наблюдение за отдельными частицами дисперсной фазы с помощью микроскопа

**Формула Гельмгольца –
Смолуховского,
 ζ -потенциал равен:**

$$\zeta = \eta V / E \varepsilon \varepsilon_0,$$

где η — вязкость среды, Па·с;

V — линейная скорость движения частицы, м/с;

ε — диэлектрические проницаемости среды;

ε_0 - электрические постоянная; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м ;

E — напряженность электрического поля, В/м:

$E = U/l$; U — приложенное напряжение, В;

l — расстояние между электродами, м.

**Скорость движения иона в
единичном электрическом поле
называется
электрофоретической
подвижностью $V_{эф}$**

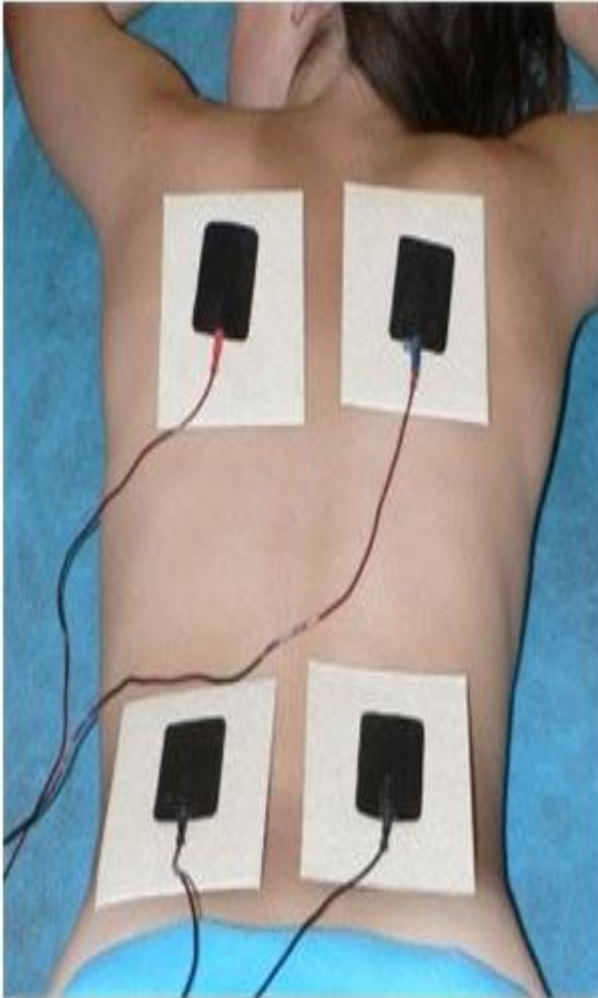
$$**V_{эф} = V/E, \text{ м}^2/(\text{с} \cdot \text{В})**$$

Электрофоретическая подвижность различных частиц имеет величину, определяемую их природой: для золей $u_{эф} = (0,4-0,8) 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{с}\cdot\text{В})$, для эритроцитов животных $u_{эф} = (1,0-1,7)10^{-8} \text{ м}^2/(\text{с}\cdot\text{В})$.

Экспериментально найденные значения подвижностей в ряде случаев оказываются меньше расчетных. Несовпадение этих величин объясняется релаксационным эффектом и электрофоретический торможением, которые не учитываются теорией Гельмгольца-Смолуховского.

Релаксационный эффект вызывается нарушением симметрии диффузного слоя вокруг частиц. Второй эффект, электрофоретическое торможение, обусловлен добавочным трением электрической природы при движении частиц и противоионов в противоположные стороны. Хюккель ввел в выражение для $u_{эф}$ поправку $2/3$ на электрофоретическое торможение. Позднее Генри показал, что учет электрофоретического торможения справедлив в случаях, когда размер частиц сравним с толщиной диффузного слоя, уменьшаясь с увеличением радиуса (r) частиц.

Медицинская процедура – лекарственный электрофорез



Электрофорез, как медицинская процедура, также называется ионофорез, ионотерапия, ионогальванизация или гальваноионотерапия, причем все данные термины означают один и тот же процесс.

Лекарственный электрофорез



Аппарат «Поток-1»

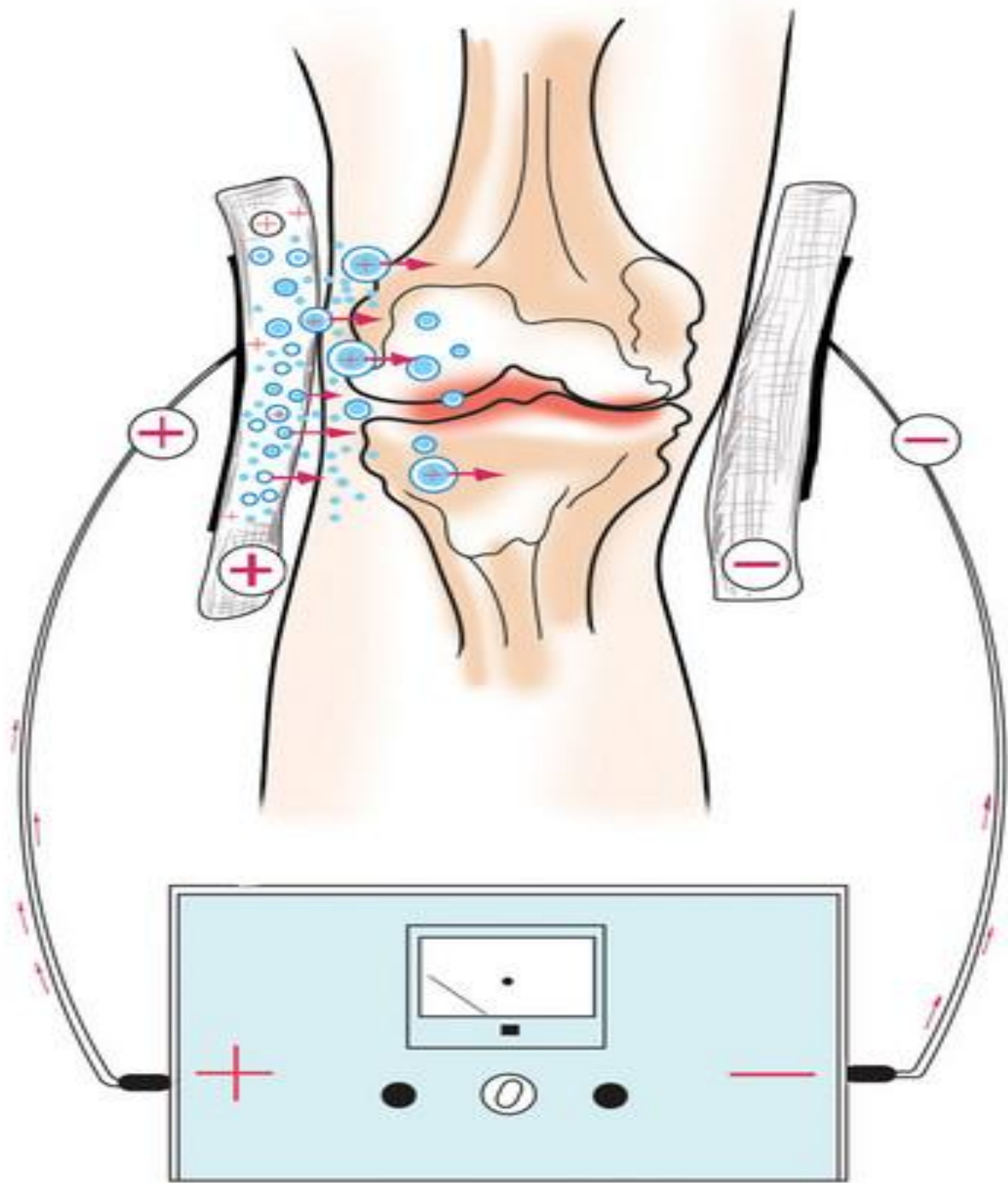
Воздействие на организм постоянного электрического тока и вводимого с его помощью лекарственного вещества (NaBr или CaCl₂).



Лечебный эффект: потенцирование эффекта гальванизации и специфическое фармакологическое действие вводимого током лекарственного вещества, противовоспалительный, энергетический, седативный, сосудорасширяющий, миорелаксирующий.

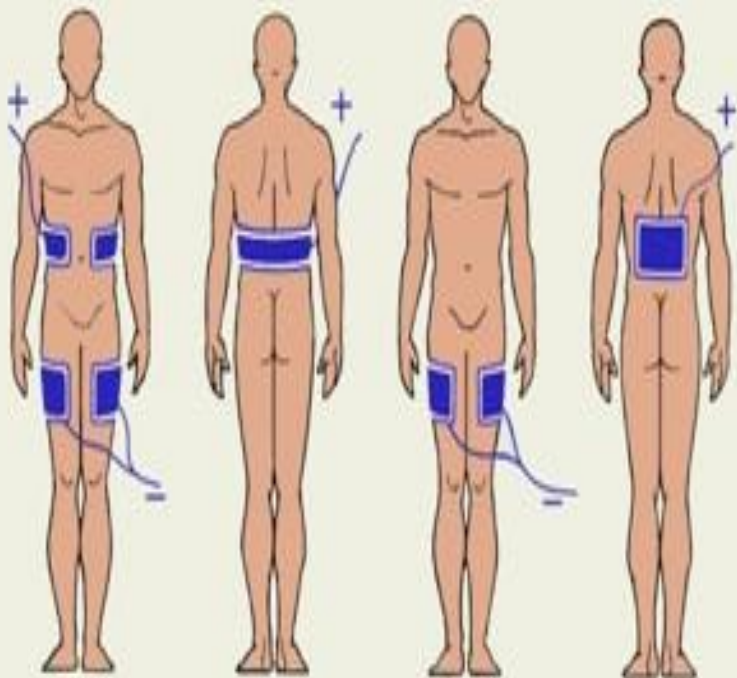
Принцип действия лекарственного электрофореза:

Суть процедуры заключается в расположении лекарственного средства (раствора или геля) перпендикулярно движению электрического тока, т. е. между электродом и поверхностью кожи человека. В зависимости от способа наложения электродов и метода введения фармакопрепарата различают несколько методик лекарственного электрофореза:



Гальваническая (чрескожная) –

лекарственным раствором пропитывают марлевые или из фильтровальной бумаги прокладки, которые размещают на теле пациента с противоположных сторон патологического очага, чтобы создать поле, внутри которого будет двигаться лекарственное вещество. Внутри прокладок помещаются электроды, а сверху накрываются защитной пленкой;



Ванночковая – в специальную емкость (ванночка), которая уже оборудована электродами, наливается необходимый объем лекарственного раствора. Больной погружает в жидкость больную часть тела (руку или ногу);

Полостная – в полые органы (желудок, мочевого пузыря и т.д.) вводится раствор лекарственного препарата, туда же помещается один из электродов, а второй располагается на поверхности тела;

Внутритканевая – лекарственный препарат вводят перорально или инъекционно, после этого размещают электроды в области патологического очага. **Наибольшей эффективностью обладает внутритканевой электрофорез в терапии заболеваний органов дыхания** (бронхиты, ларингиты, трахеобронхиты и т.д.) Электрофорез позволяет доставить лекарственный препарат в неглубокие слои кожи – эпидермис и дерму, откуда он способен всасываться в кровь и лимфу через микрососуды

Преимущества электрофореза перед методами введения лекарства через рот, внутривенно или внутримышечно:

Электрический ток позволяет активизировать физико-химические и обменные процессы, а также клеточные взаимодействия в тканях организма. Введение лекарственного препарата при помощи электрофореза имеет следующие преимущества перед доставкой вещества через рот, внутривенно или внутримышечно:

- + пролонгированный эффект лекарства за счет создания в коже депо, и медленного высвобождения средства в кровотоки;**
- + медленное выведение лекарства из организма;**
- + снижение эффективной терапевтической дозы;**
- + возможность доставить лекарство в нужную область организма;**
- + низкий риск развития побочных эффектов;**
- + доставка лекарственного препарата сразу в активированной форме;**
- + безболезненная доставка лекарства в нужную область тела;**
- + сохранность нормальной структуры тканей при введении лекарства.**

Противопоказания к проведению

электрофореза: острые гнойные воспалительные заболевания, СН II—III степени, ГБ III стадии, лихорадка, тяжёлая форма бронхиальной астмы, дерматит или нарушение целостности кожи в местах наложения электродов, злокачественные новообразования. ***Учитываются противопоказания для лечебного вещества.***

Вещества, используемые при электрофорезе, по способу введения разделяются на:

отрицательно заряженные, вводимые с отрицательного полюса — катода (бромиды, йодиды, никотиновая кислота и другие);

положительно заряженные, вводимые с положительного полюса — анода (ионы металлов — магния, калия, кальция); вводимые как с анода, так и с катода (гумизоль, бишофит и другие).

Контрольные вопросы

**Какие прямые
электрокинетические явления
возникают под действием
внешнего электрического поля?**



Основная литература

- 1. Физическая и коллоидная химия: учебник/ Под ред. проф. А.П.Беляева. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 704 с.: (2изд., 2014. - 752 с.)**
- 2. Слесарев В.И. Химия: Основы химии живого: Учебник для вузов. – СПб, 2007. – 784 с.**
- 3. Физическая и коллоидная химия. Задачник: учеб.пособие для вузов / А.П.Беляев, А.С.Чухно, Л.А.Бахолдина, В.В.Гришин; под ред. А.П. Беляева. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 288с.**
- 4. Электронные ресурсы**

Дополнительная литература

1. Типовые расчеты по физической и коллоидной химии [Электронный ресурс] : учеб. пособие. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/45679/> А. Н. Васюкова, О. П. Задачаина, Н. В. Насонова [и др.] СПб. : Лань, 2014. ЭБС Лань
2. Типовые расчеты по физической и коллоидной химии : учеб. пособие А. Н. Васюкова, О. П. Задачаина, Н. В. Насонова [и др.] СПб. : Лань, 2014.
3. Физическая и коллоидная химия [Электронный ресурс] : учеб. для мед. вузов (с задачами и решениями). - Режим доступа: <http://ibooks.ru/reading.php?productid=351894> Н. Н. Муш камбаров М.: Флинта , 2015. ЭБС iBooks

Дополнительная литература

4. Физическая и коллоидная химия. Задачник : учеб. пособие . А. П. Беляев, А. С. Чухно, Л. А. Бахолдина [и др.] ; ред. А. П. Беляев М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014.

5. Физическая и коллоидная химия. Задачник [Электронный ресурс] : учеб. пособие. - Режим доступа:

<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970428443.html> А. П. Беляев, А. С. Чухно, Л. А. Бахолдина [и др.] ; ред. А. П. Беляев М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. ЭБС
Консультант студента (ВУЗ)

6. Физическая и коллоидная химия. Практикум обработки экспериментальных результатов : учеб. пособие А. П. Беляев М. : ГЭОТАР-Медиа, 2015.

Дополнительная литература

7. Физическая и коллоидная химия. Руководство к практическим занятиям : учеб. пособие ред. А. П. Беляев М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012.

8. Физическая и коллоидная химия. Руководство к практическим занятиям [Электронный ресурс] : учеб. пособие. - Режим доступа:

<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970422076.html>

ред. А. П. Беляев М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012.

ЭБС Консультант студента (ВУЗ)

9. Физическая химия [Электронный ресурс] : учебник. - Режим доступа:

<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970423905.html>

Ю. Я. Харитонов М. : ГЭОТАР-Медиа, 2013.

ЭБС Консультант студента (ВУЗ)

10. Химия: Основы химии живого : учеб. для вузов В. И. Слесарев СПб. : Химиздат, 2007. 299

Спасибо за внимание



Шиповник морщинистый

https://yandex.ru/images/search?img_url=http%3A%2F%2Fdata9.i.gallery.ru%2Falbums%2Fgallery%2F117660-6d008-22140991-m750x740.jpg&p=1&