

Устойчивость дисперсных систем

Устойчивость дисперсной системы характеризуется постоянством во времени двух основных параметров этой системы :

- 1) исходной степени дисперсности (первоначальных размеров частиц) — агрегативная устойчивость ;**
- 2) равновесного распределения частиц дисперсной фазы по объему дисперсионной среды — седиментационная устойчивость.**

Седиментационная устойчивость , или иными словами , способность частиц дисперсной фазы не оседать в дисперсионной среде , описывается формулой **Перрена** :

(VIII. 1)
$$2,3 \lg \frac{n_0}{n_1} = \frac{mg(h_1 - h_0) N_A}{RT} * \frac{\rho - \rho_0}{\rho}$$
 где:

n_0 и n_1 – число частиц на высоте h_0 и h_1 ;

m – масса частицы ;

ρ и ρ_0 – плотность частиц и дисперсионной среды .

Для частиц коллоидного размера процесс оседания, вызываемый силой тяжести, уравнивается процессом диффузии , в результате чего возникает седиментационно – диффузионное равновесие .

В данном же разделе нас интересует **агрегативная устойчивость**, способность частиц не образовывать более крупные агрегаты, т.е. не слипаться .

Все дисперсные системы в зависимости от механизма их образования могут быть разделены на два типа :

- а) самопроизвольно образующиеся **лиофильные** системы
- и
- б) образующиеся в результате принудительного диспергирования или конденсации — **лиофобные** системы.

Лиофильные системы термодинамически агрегативно устойчивы и для них процесс коагуляции вообще не характерен . Они самопроизвольно диспергируются , при этом увеличивается их энтропия (т.е. хаотичность распределения частиц) , т.е. $\Delta S > 0$, а свободная энергия системы уменьшается $\Delta F < 0$. Критерий лиофильности (согласно П.А.Ребиндеру) можно записать , как :

(VIII. 2) [$\Delta F = \Delta U - T\Delta S$] < 0

Для лиофильных систем даже в том случае , если $\Delta U > 0$ (и тем более , если $\Delta U < 0$) , но $T\Delta S > \Delta U$, изменение свободной энергии ΔF имеет отрицательный знак и условие **(VIII. 2)** выполняется .

Лиофобные системы , напротив , требуют значительных затрат энергии на процесс диспергирования, (у них $\Delta U > 0$, причем эта разность уже не компенсируется энтропийным фактором) , в результате для лиофобных систем:

(VIII. 2a) [$\Delta F = \Delta U - T\Delta S$] > 0

Понятно , что такие системы обладают большим избытком свободной энергии , накопившейся на границе раздела фаз , и естественно , стремятся её уменьшить .

Основным способом уменьшения свободной поверхностной энергии $F = \sigma * s$ в этом случае является уменьшение поверхности частиц s за счет слипания более мелких частиц в более крупные агрегаты — этот процесс называется коагуляцией. Из всего вышесказанного следует, что лиофобные системы агрегативно неустойчивы.

Тем не менее многие лиофобные дисперсные системы оказываются устойчивыми в течение весьма продолжительного времени. Достаточно вспомнить, что в Британском музее хранятся приготовленные М. Фарадеем более 150 лет тому назад типично лиофобные золи золота.

Следовательно, существуют причины , препятствующие коагуляции частиц в дисперсной системе ,

т.е. факторы устойчивости

В первую очередь следует отметить два таких фактора :

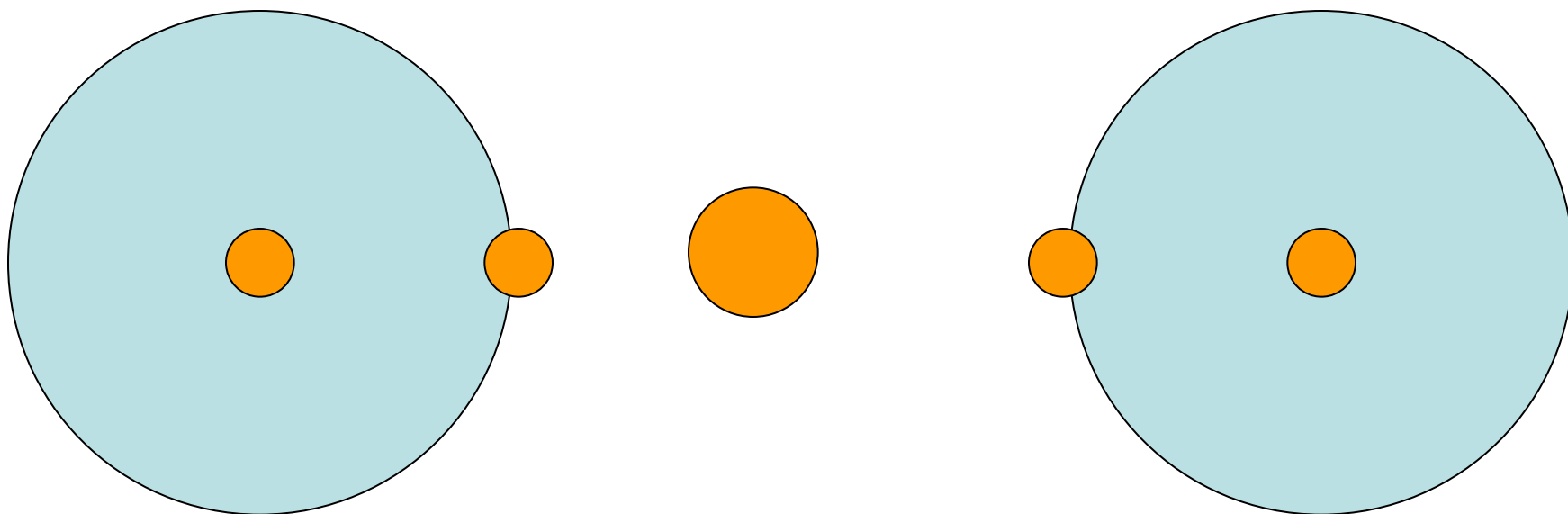
1) **электростатический ;**

2) **адсорбционно – сольватный .**

Нас же сейчас больше интересует первый фактор устойчивости , в основе которого лежит **электростатическое отталкивание между двойными электрическими слоями , окружающими одноименно заряженные частицы . Именно в этом случае проявляется коагулирующее действие электролитов.**

Разберем примитивный, но весьма наглядный пример:

Предположим, что у нас есть две твердые частицы, размером с горошину, но при этом каждая из них помещена в центре резинового воздушного шарика, диаметром 1 м. За счет сил притяжения Ван-дер-Ваальса — Лондона эти горошины притягиваются все ближе и ближе. Когда расстояние между ними доходит до 1 м, упругое взаимодействие надутых воздухом оболочек вызывает силы отталкивания и препятствует дальнейшему сближению горошин.



Что нужно сделать для того , чтобы ликвидировать эту помеху , дать возможность нашим горошинам сблизиться на расстояние порядка 1 – 2 см , и вступить в непосредственный контакт ? Ответ предельно ясен — нужно уменьшить диаметр воздушных шариков, т.е. выпустить из них воздух .

Когда же мы имеем дело с двумя лиофобными частицами одного знака заряда, окруженными двойными электрическими слоями, с одинаковыми по заряду противоионами в диффузных частях ДЭС, то действием, аналогичным выпусканию воздуха из наших шариков, **будет сжатие диффузной части ДЭС, которое, как было показано ранее, достигается введением в эту систему сильных электролитов.**

Тот факт , что все сильные электролиты вызывают коагуляцию , был известен уже давно . Более 100 лет тому назад было сформулировано эмпирическое правило

Шульце – Гарди :

“ Коагулирующий ион имеет заряд , противоположный по знаку заряду твердой фазы , и порог коагуляции S_k тем меньше , чем выше заряд этого иона “

(порог коагуляции S_k — это минимальная концентрация электролита , вызывающая коагуляцию) .

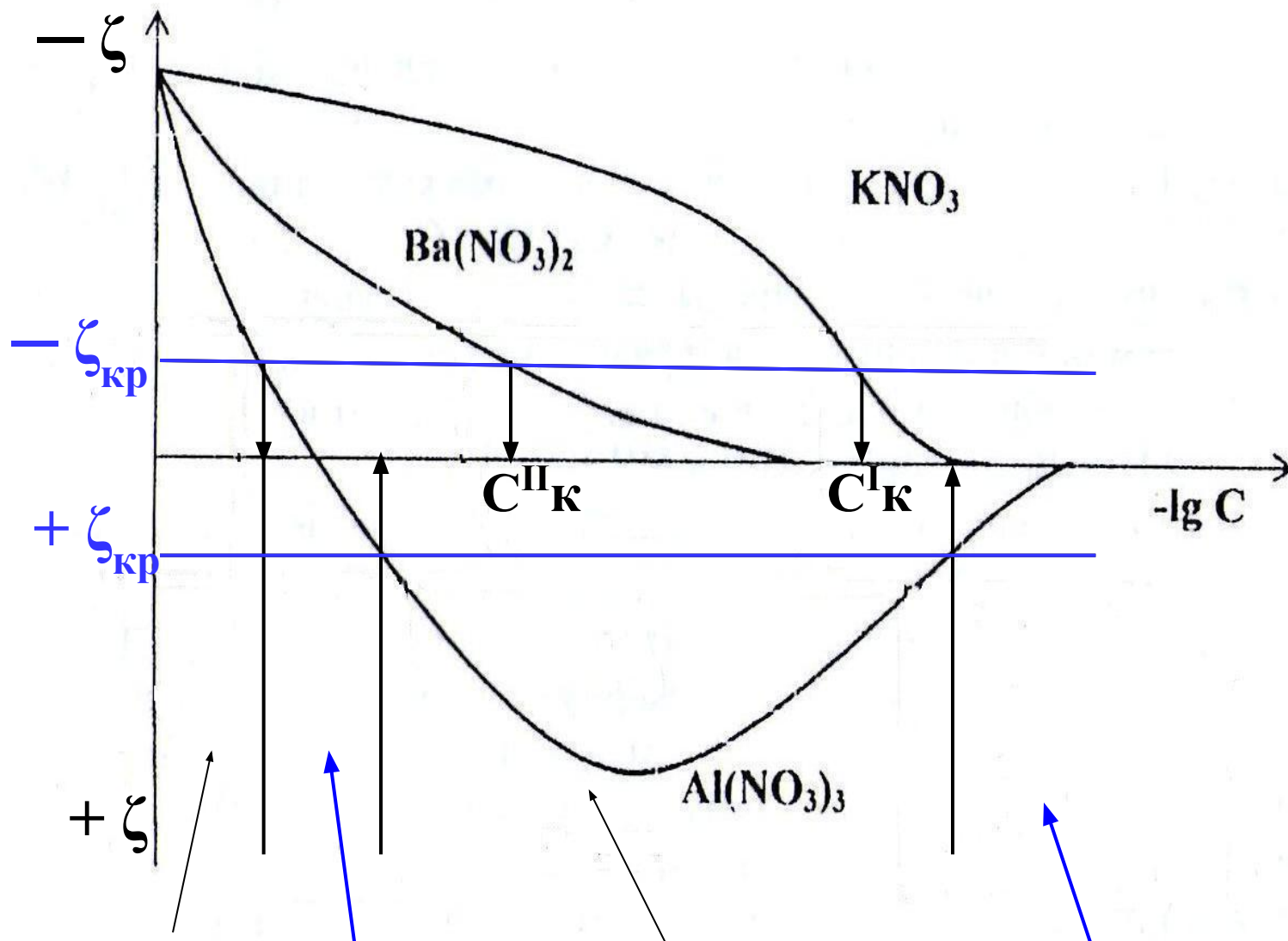
Согласно правилу Шульце – Гарди соотношение порогов коагуляции для ионов с различной величиной заряда выглядит , как $S_k^I : S_k^{II} : S_k^{III} \approx 500 : 8 : 1$.

В зависимости от химической природы иона пороги коагуляции также различаются, причем они в принципе повторяют лиотропный ряд, известный для адсорбционной способности этих ионов, т.е. σ_k возрастает в ряду: $Al^{+3} < Ba^{+2} < Mg^{+2} < Rb^{+1} < K^{+1} < Na^{+1}$

Из предыдущего изложения понятно, что **чем меньше**, по мере увеличения концентрации электролита в дисперсной системе, будут становиться абсолютные величины $|\psi^1|$ и $|\zeta|$ - потенциалов, **тем сильнее** происходит сжатие ДЭС, и **тем меньше** величина δ . Следовательно, **тем ближе** могут подойти друг к другу две частицы, в результате чего между ними возникнет непосредственный контакт и образуется единый агрегат из пары частиц, т.е. пройдет **коагуляция**.

Для осуществления такого процесса **абсолютная величина ζ - потенциала не обязательно должна быть равна нулю** , (как это предполагал в 1900 г. Гарди) .
Вполне достаточно , чтобы **ζ - потенциал был не очень большим**, т.е. чтобы его величина была меньше некоторого **критического значения**, порядка ~ 20 мВ.

А сейчас самое время вспомнить соответствующий график изменения **ζ - потенциала** от логарифма концентрации добавленного индифферентного электролита. Только теперь мы выделим на этом графике по оси ординат зоны менее критических значений **ζ - потенциала** .

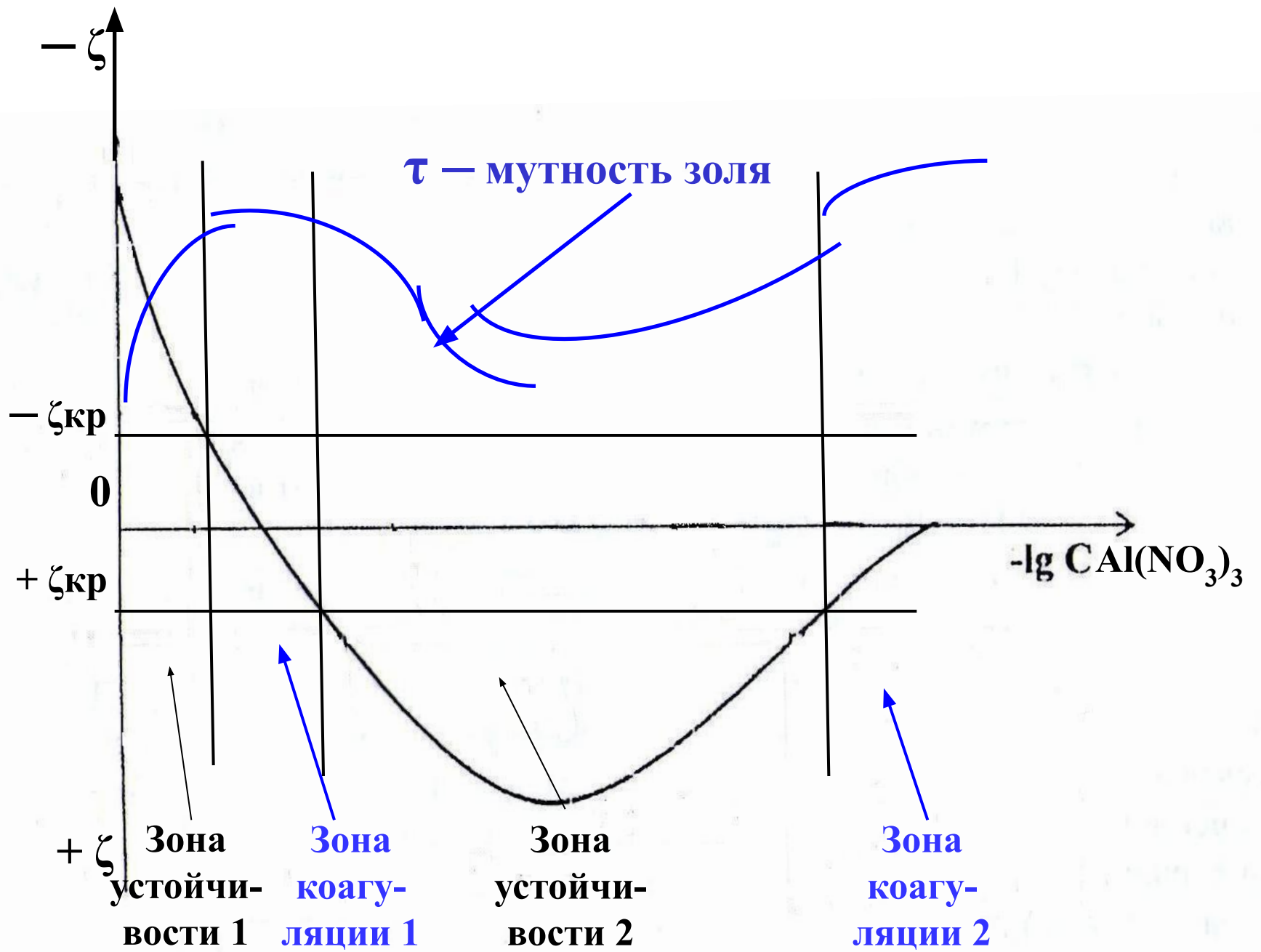


Зона устойчивости 1

Зона коагуляции 1

Зона устойчивости 2

Зона коагуляции 2



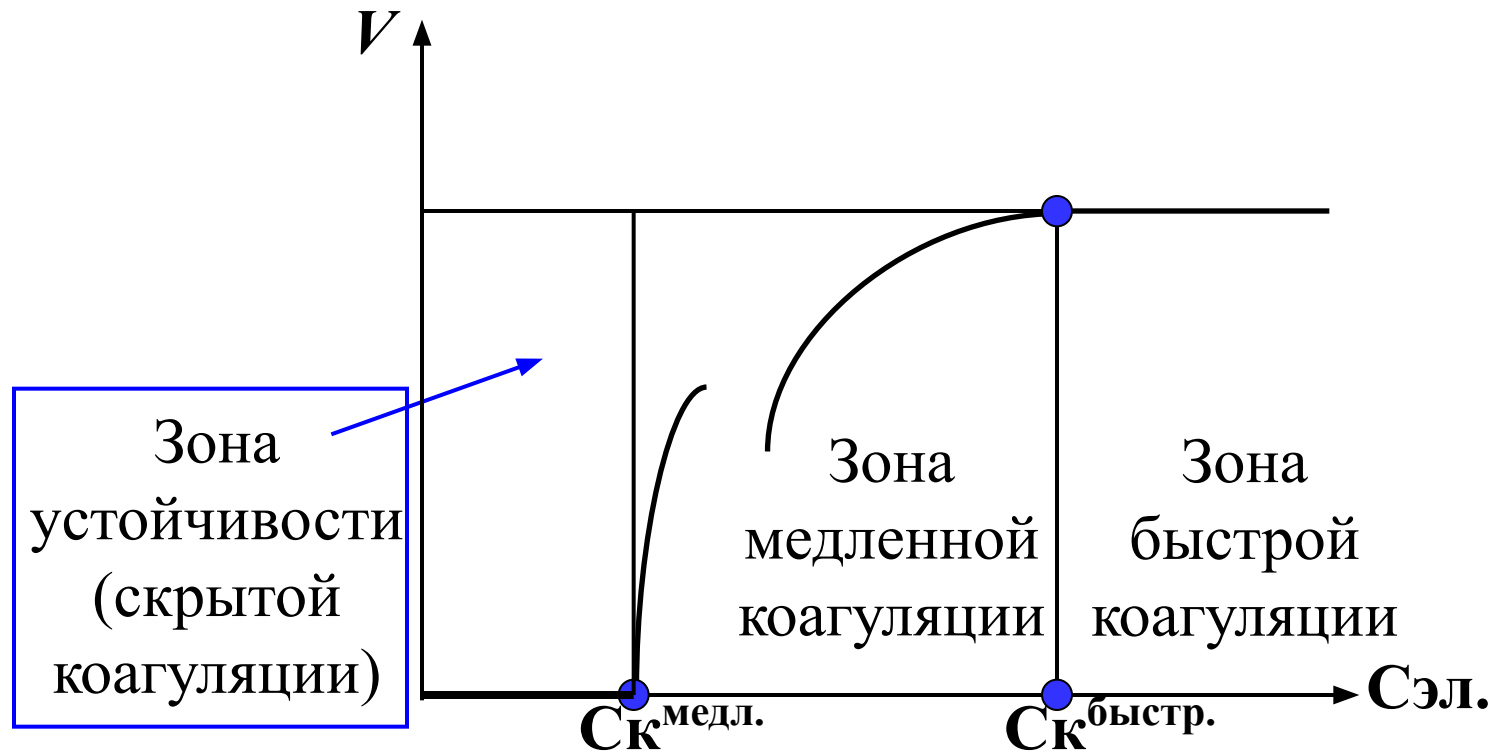
Было сделано довольно много попыток связать коагулирующее действие электролитов с физическими параметрами системы , т.е. предложить теории устойчивости и коагуляции . Однако прежде чем начать рассмотрение такой теории следует выбрать количественную меру процесса — **скорость коагуляции:**

$$(VIII.3) \quad V = - dn/dt ,$$

представляющую собой изменение числа частиц n во времени .

Концентрация электролита , при которой начинается медленная коагуляция , называется **порогом медленной коагуляции $S_{K}^{медл.}$** . Очевидно, при концентрации электролита меньше этой величины, в системе практически нет частиц , способных преодолеть энергетический барьер сил отталкивания и сблизиться на расстояние непосредственного контакта .

Зависимость скорости коагуляции от концентрации электролита



С увеличением концентрации электролита до $C > C_{к}^{медл.}$ в системе появляются отдельные частицы, энергия которых окажется достаточной для преодоления энергетического барьера, который к тому же все время снижается по мере роста концентрации электролита.

И наконец, при достижении **порога быстрой коагуляции** **СК^{быстр.}** энергетический барьер снижается настолько, что уже все частицы могут его преодолеть, т.е. все соударения частиц друг с другом становятся эффективными и приводят к слипанию частиц, т.е. наступает зона быстрой коагуляции.

Следовательно, под порогом коагуляции **СК** в правиле Шульце-Гарди и в теории устойчивости ДЛФО, о которой речь пойдет ниже, понимается **порог быстрой коагуляции**.

Теория устойчивости ДЛФО (Дерягина , Ландау , Фервея , Овербека)

В основе этой теории устойчивости , описывающей механизм взаимодействия двух частиц друг с другом **для типично лиофобных** дисперсных систем, должно лежать соотношение между силами притяжения и отталкивания .

Силы притяжения — межмолекулярные силы дисперсионного взаимодействия (Ван-дер-Ваальса — Лондона);

силы отталкивания — имеют электростатическую природу .

Для наиболее простого случая , когда размеры частиц много больше толщины ДЭС , (т.е.имеются в виду те же ограничения , при которых был сделан вывод формул для модифицированной теории Гуи), формула для энергии взаимодействия двух частиц имеет вид :

$$(VII.15) \quad U_{отт.} + U_{прит.} =$$

$$= 64 C_0 RT * \delta * \gamma^2 * e^{-2h / \delta} - A / 48 \pi h^2$$

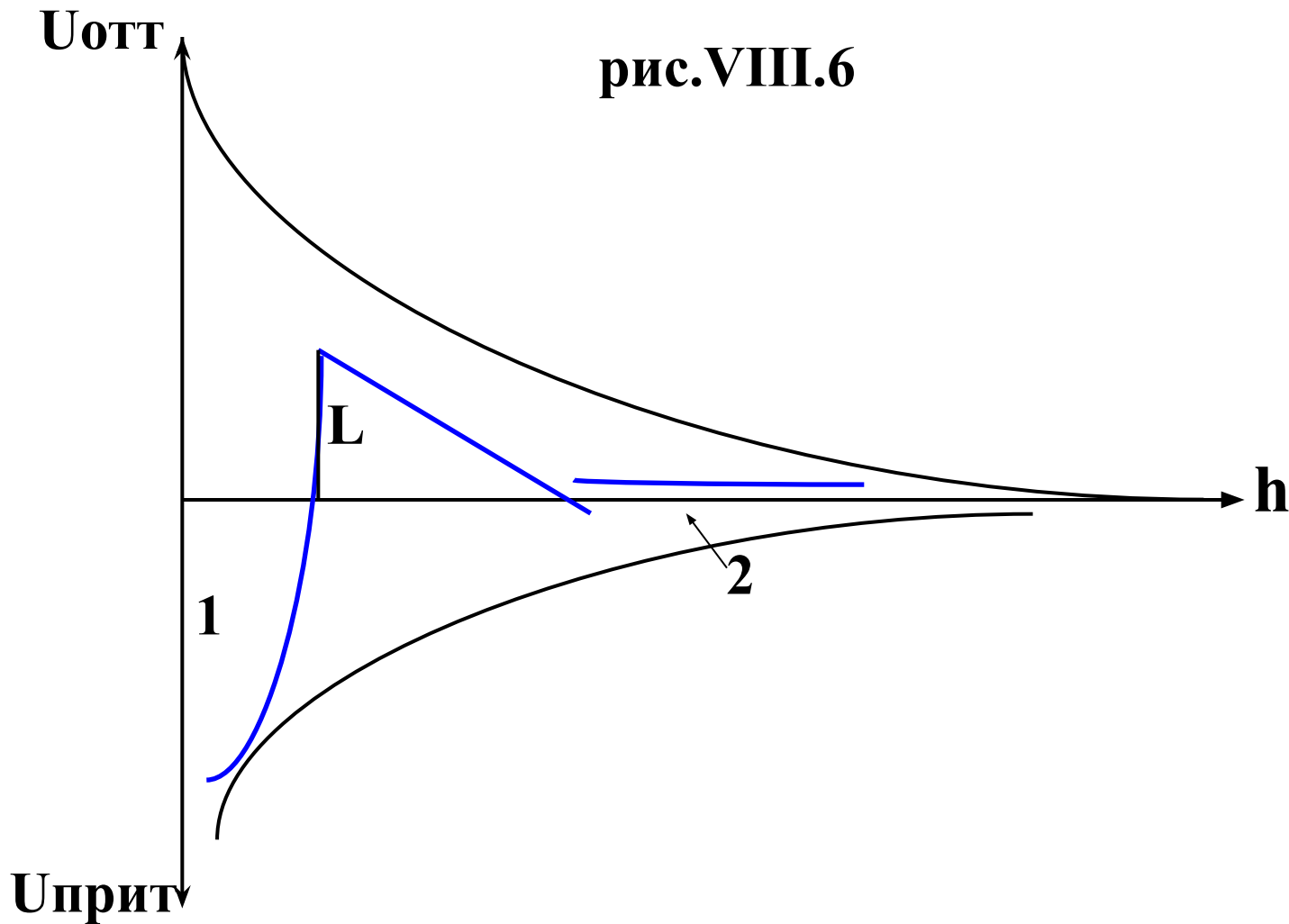
где :

$$\gamma = \frac{e^{zF\psi_1 / 2RT} - 1}{e^{zF\psi_1 / 2RT} + 1} - \text{функция } \psi^1 \text{ потенциала поверхности .}$$

C_0 - концентрация электролита; δ - приведенная толщина диффузного слоя ; $2h$ - расстояние между частицами ; A - константа молекулярных сил притяжения (Гамакера).

Из формулы (VIII.15) очевидно, что зависимость от расстояния h для **сил отталкивания** имеет **экспоненциальный характер**, а для **сил притяжения** — **степенной характер**. В результате на малых расстояниях, когда $h \rightarrow 0$, то $U_{отт} \rightarrow \text{const}$, а $U_{прит} \rightarrow -\infty$. На больших расстояниях снова преобладают силы притяжения, т.к. экспонента убывает значительно быстрее, чем степенная функция.

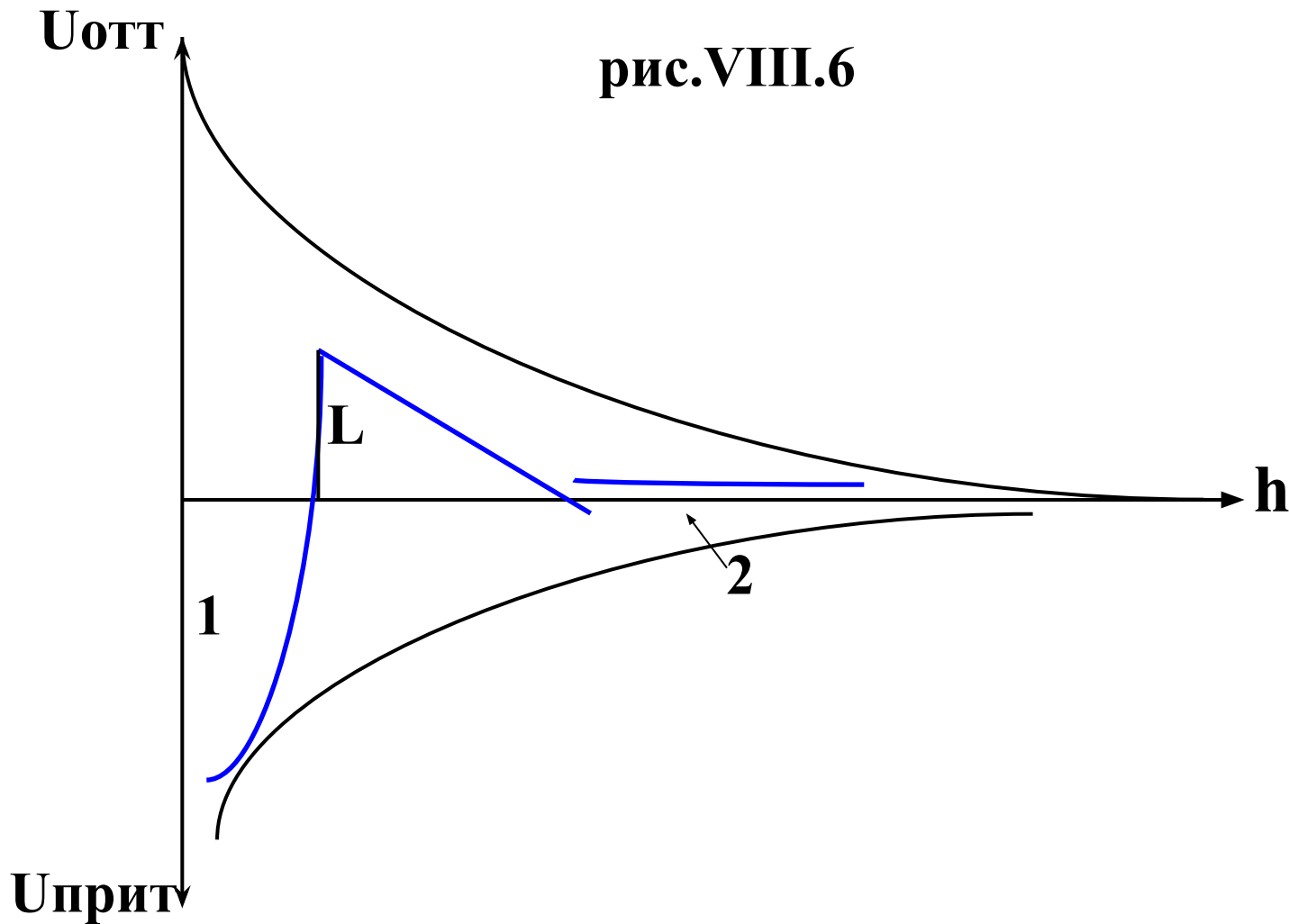
[При увеличении расстояния между частицами h в 100 раз второй член в формуле (VIII.15) уменьшается всего в 10^4 раз, в то время, как первый член этой же формулы убывает в e^{100} , что составляет $\approx 10^{43}$ раз].



Возможность сближения частиц в элементарном акте коагуляции определяется высотой барьера **L** и глубиной “потенциальных ям” (**1** и **2**).

Зато на средних расстояниях преобладают силы электростатического отталкивания (особенно при больших величинах δ и ψ^1). Поэтому суммарный график потенциальной энергии притяжения и отталкивания (рис. VIII.6) имеет вид сплошной кривой (а) с двумя минимумами (1 и 2) и одним максимумом — (“потенциальным барьером” высотой L).

Первый минимум отвечает непосредственному слипанию частиц, а второй минимум — их притяжению через прослойку среды. Максимум, соответствующий средним расстояниям, характеризует “потенциальный барьер”, препятствующий сближению частиц.



Возможность сближения частиц в элементарном акте коагуляции определяется высотой барьера **L** и глубиной “потенциальных ям” (**1** и **2**).

Следует обратить внимание , что в формуле (VIII.15)

величина первого члена (силы отталкивания) не

увеличивается с ростом концентрации электролита C_0 ,

как можно было бы предположить при невнимательном

анализе этой формулы, а напротив, резко уменьшается

с уменьшением входящих в показатели экспонент величин δ и ψ^1 , (которые уменьшаются по мере роста концентрации электролита) .

Как по влиянию на параметры ДЭС, так и по коагулирующему действию электролиты тоже разделяется на два типа :

а) концентрационная коагуляция , которую вызывают индифферентные электролиты ; и

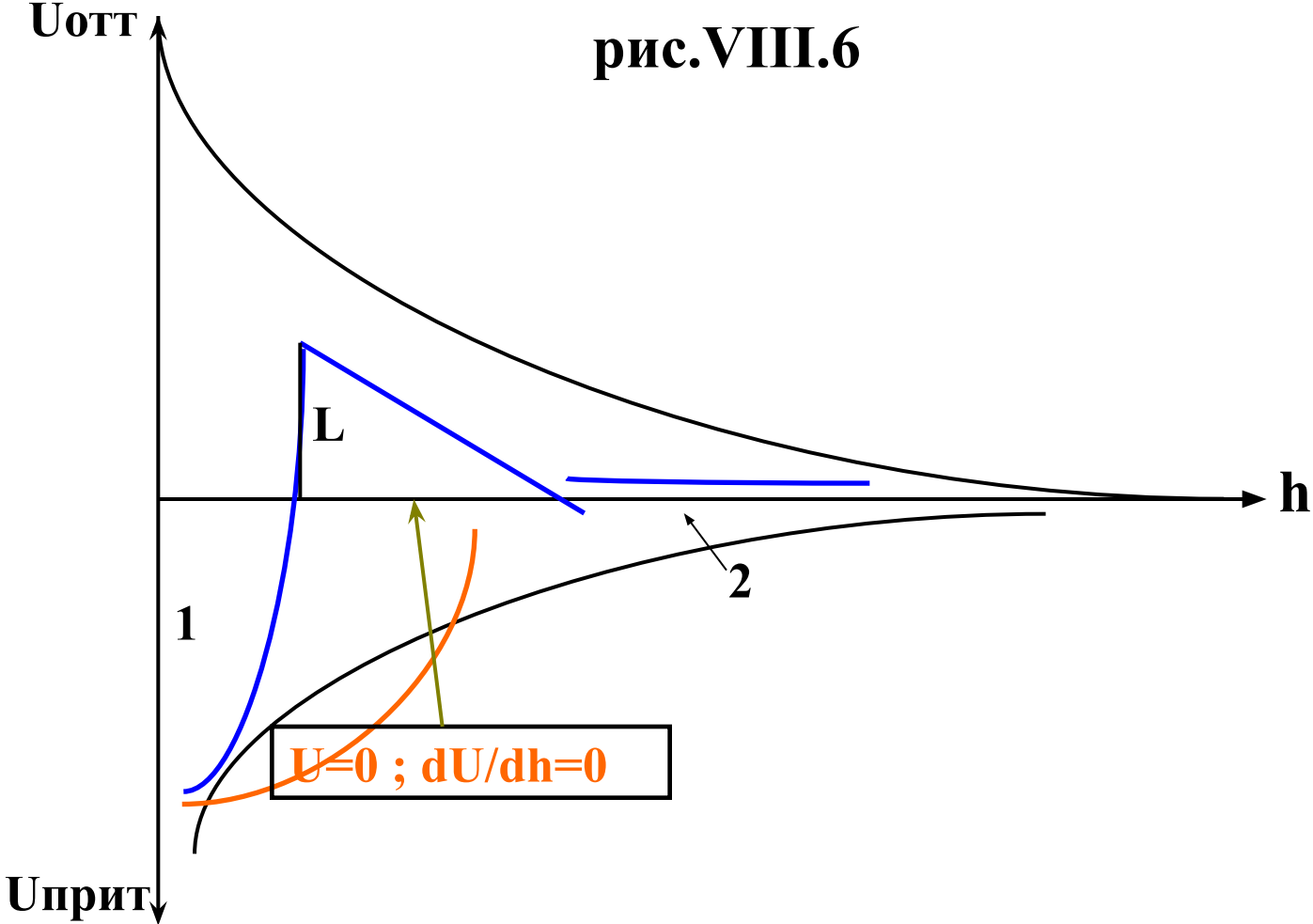
б) адсорбционная (или нейтрализационная) коагуляция , вызываемая электролитами , содержащими потенциал-определяющие ионы .

Концентрационная коагуляция обусловлена сжатием ДЭС , вследствие чего частицы могут подойти друг к другу на более близкое расстояние .Этот вид коагуляции более характерен для частиц с высоким значением ψ^1 — потенциала поверхности .

Необходимо уточнить , что в терминах теории ДЛФО : при концентрации электролита , равной порогу быстрой коагуляции $C_{к}^{быстр}$, вся суммарная кривая потенциальной энергии находится в области сил притяжения и только одной точкой своего максимума касается оси абсцисс (это кривая **b** , на рис.VIII.6). Этой точке соответствуют два условия : $U = 0$ и $dU/dh = 0$.

Единственной причиной коагуляции в этом случае , согласно теории ДЛФО , является чисто электростатический эффект сжатия ДЭС .

рис. VIII.6



Если учесть вышеназванные условия и сделать некоторые преобразования формулы (VIII.15), то получается, что порог быстрой коагуляции обратно пропорционален заряду противоиона в шестой степени:

$$C_{K}^{\text{быстр}} = \text{const} / z^6 .$$

Это так называемый “закон шестой степени” Дерягина

Сравним соотношения порогов коагуляции, рассчитанные на основании этого закона, с соотношением порогов коагуляции в эмпирическом правиле Шульце – Гарди.

Для электролитов с зарядами противоионов, равными 1, 2 и 3, пороги коагуляции относятся как $1 : 1/2^6 : 1/3^6 = 729 : 11 : 1$, что находится в достаточно хорошем соответствии с соотношением порогов коагуляции в правиле Шульце – Гарди ($500 : 8 : 1$).

Нейтрализационная коагуляция , напротив , происходит в системах с частицами , обладающими малым электрическим потенциалом . В этом случае на коагуляции особенно сказывается специфическая адсорбция ионов добавляемого электролита , имеющих заряд, одинаковый по знаку с зарядом противоионов ДЭС. Попадая в адсорбционный (плотный) слой , эти ионы резко снижают , как ψ^0 , так и ψ^1 – потенциалы , а иногда даже вызывают перезарядку поверхности и появление чередующихся зон коагуляции и устойчивости

Итак , мы приходим к выводу , что добавление в дисперсную систему электролитов снижает высоту потенциального барьера L , (рис.VIII.6) в результате чего частицы сближаются настолько , что происходит необратимая коагуляция в глубоком 1-м минимуме . При этом как-то молчаливо подразумевалось , что **глубина 2-го минимума относительно невелика ($\leq kT$)**, и поэтому частицы там не задерживаются .

А что будет происходить, если не только высота барьера L , но и глубина 2-го минимума окажется больше тепловой энергии , т.е. больше величины kT ?

В этом случае возможна фиксация частиц на относительно больших расстояниях, порядка 100 нм, и образование **периодических коллоидных структур (ПКС)**, представляющих собой квазикристаллы, т.е. структуры с дальним порядком. Они довольно широко распространены в природе и технике. В качестве примеров ПКС можно привести **слои Шиллера, тактоиды и кольца Лизеганга**.

Слои Шиллера образуются в золях, содержащих дисперсные частицы анизометричной формы, например, при коагуляции золь оксидов ванадия или железа. При малых концентрациях золь таких частиц образует при седиментации горизонтальные слои, отстоящие на несколько сотен нанометров друг от друга.

Часто эти слои красиво окрашены за счет интерференции падающего света.

При более высоких концентрациях золь образуются агрегаты веретенообразной формы – **тактоиды**. В них частицы дисперсной фазы расположены примерно параллельно оси «веретена».

К периодическим коллоидным структурам относятся открытые в 1897 г. **кольца Лизеганга**. Их получают обычно, если раствор желатины, содержащий небольшое количество дихромата калия, налить тонким слоем на стеклянную пластинку. Когда произойдет застуднение желатины и образуется гель, на его поверхность наносят каплю концентрированного раствора нитрата серебра. Вокруг места нанесения капли образуются концентрично расположенные кольца дихромата серебра. Возникающий при этом осадок может располагаться некоторым периодическим способом – в виде концентрических колец, сегментов и т.п.



1 CM



Системы, подобные кольцам Лизеганга, встречаются в природе. Таковую слоистость (полосатость), как рис. VIII.8, можно наблюдать у некоторых минералов (агат), а также у мускульной ткани (поперечно – полосатые мышцы) .

При незначительной глубине 2-го минимума в нем возможна агрегация частиц, приводящая к весьма интересному явлению – **тиксотропии** (обратимому переходу золя в гель и геля в золь)

Тиксотропия – это специфическое свойство коагуляционных структур , образованных за счет фиксации частиц в неглубоком 2-м минимуме . При перемешивании или встряхивании этим частицам сообщается энергия , большая , чем глубина 2-го минимума , поэтому система теряет свойства геля (студня) и приобретает подвижность дисперсионной среды (золя). В спокойном состоянии частицы снова “скатываются” в эту неглубокую энергетическую “ямку”, где и фиксируются в структуру с заметно большей вязкостью, чем среда .

Явление тиксотропии широко используется в промышленности и в быту: например, тиксотропные добавки для бурения скважин в грунте. Пока происходит вращение бура грунт ведет себя как жидкая среда, а когда вращение прекращается, грунт приобретает свойства твердого тела (геля), и тогда бур можно вытащить, а отверстие в грунте останется.

Тиксотропными свойствами обладают все художественные краски, которые ведут себя как жидкая среда в процессе движения кисти по холсту, но быстро застывают, когда это движение прекращается.

Впрочем, нельзя не учитывать и возможный вред от этого явления, если например, тиксотропные свойства обнаружатся у автодороги или железнодорожной насыпи.

При обсуждении правила Шульце – Гарди мы отметили , что **различным коагулирующим действием обладают не только ионы с различной величиной заряда , но и различные по химической природе ионы с одинаковой величиной заряда (лиотропный ряд) .**

Сравним значения порогов коагуляции отрицательно заряженного золя As_2S_3 электролитами с различными однозарядными катионами :

Электролит	LiCl	NaCl	KCl	NH_4Cl	хлорид анилина
Ск, мг-экв/л	58,4	51,0	49,5	42,3	2,52

Из этих данных отчетливо видно , как уменьшается порог коагуляции для катиона , **причем особенно резкое уменьшение (в 23 раза) происходит при переходе к органическому катиону .**

Происходит это потому , что у ионов различной химической природы разный адсорбционный потенциал (это величина Φ_i в формуле теории Штерна VII.11), влияние которого на понижение ψ^1 – потенциала в ДЭС обратно изменению порога коагуляции.

Поэтому в растворе , содержащем ионы Li^+ понижение ψ^1 – потенциала меньше, а порог коагуляции $LiCl$, напротив, выше, чем в растворе $NaCl$ или KCl .

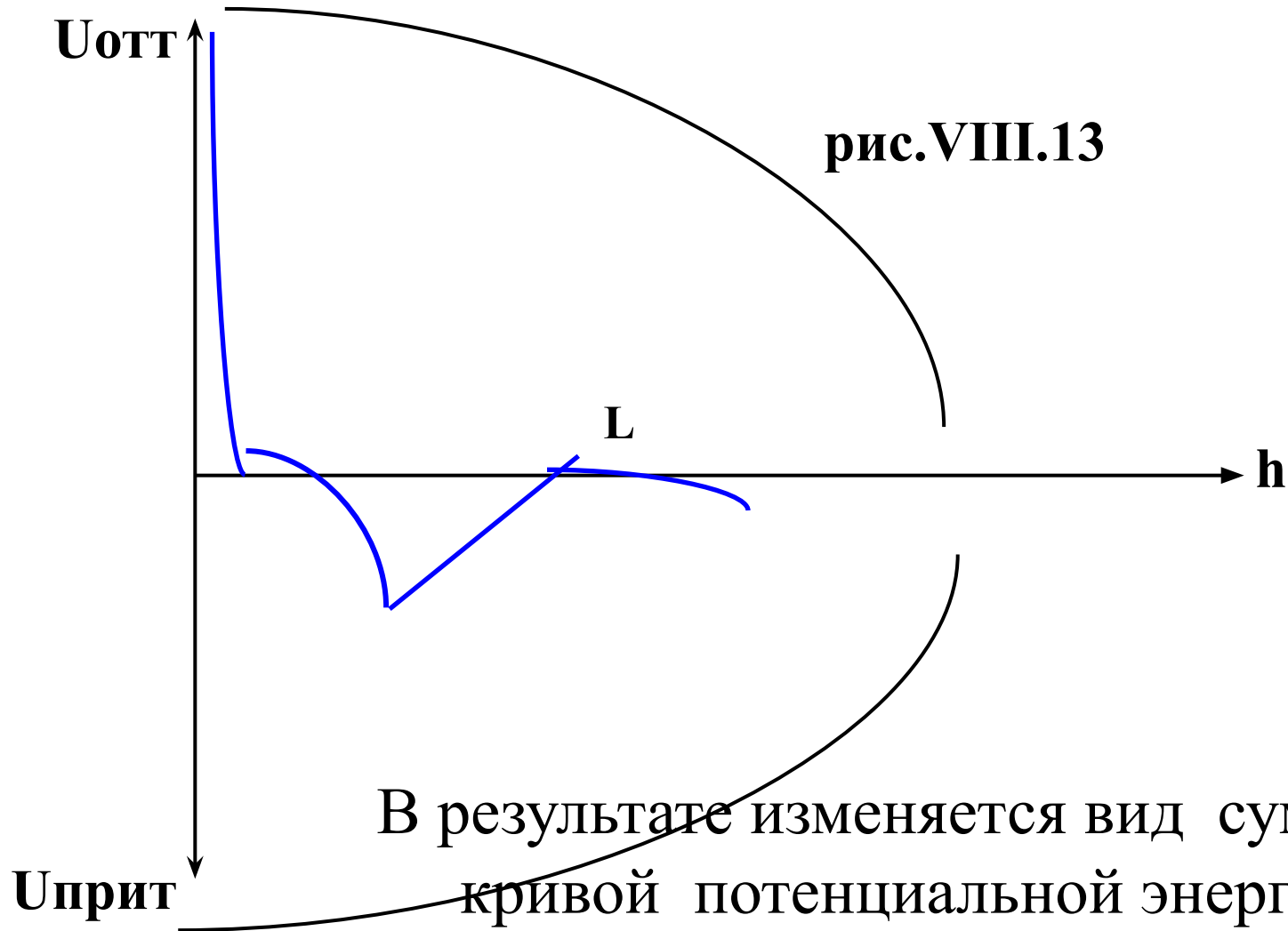
Одним из наиболее часто встречающихся случаев коагуляции является **гетерокоагуляция**, т.е. взаимодействие частиц, различных по химическому составу, а также по величине заряда и ψ^1 – потенциала при одинаковом знаке.

Если при этом частицы ещё отличаются по размеру, когда одна из них оказывается много больше другой и может рассматриваться как плоская поверхность – такой случай называется **гетероадагуляцией**

Следует отметить большую промышленную значимость процессов гетероадагуляции: такой механизм используют при окраске тканей и волокон, дублении кож, получении бумаги и водоотталкивающих тканей и др.

Разновидность гетерокоагуляции— взаимная коагуляция
разноименно заряженных частиц . С этим явлением
может столкнуться каждый из нас при попытке зарядить
авторучку новыми чернилами , предварительно не отмыв
её , как следует , от старых . Если частицы красящего
пигмента в чернилах будут иметь различный знак заряда
поверхности, то с авторучкой можно будет распрощаться.
Впрочем , это же явление используют и во благо ,
например , для быстрой коагуляции отрицательно
заряженных частиц почвы и микрофлоры положительно
заряженными золями гидроксидов железа или алюминия
при очистке воды на водопроводных станциях .

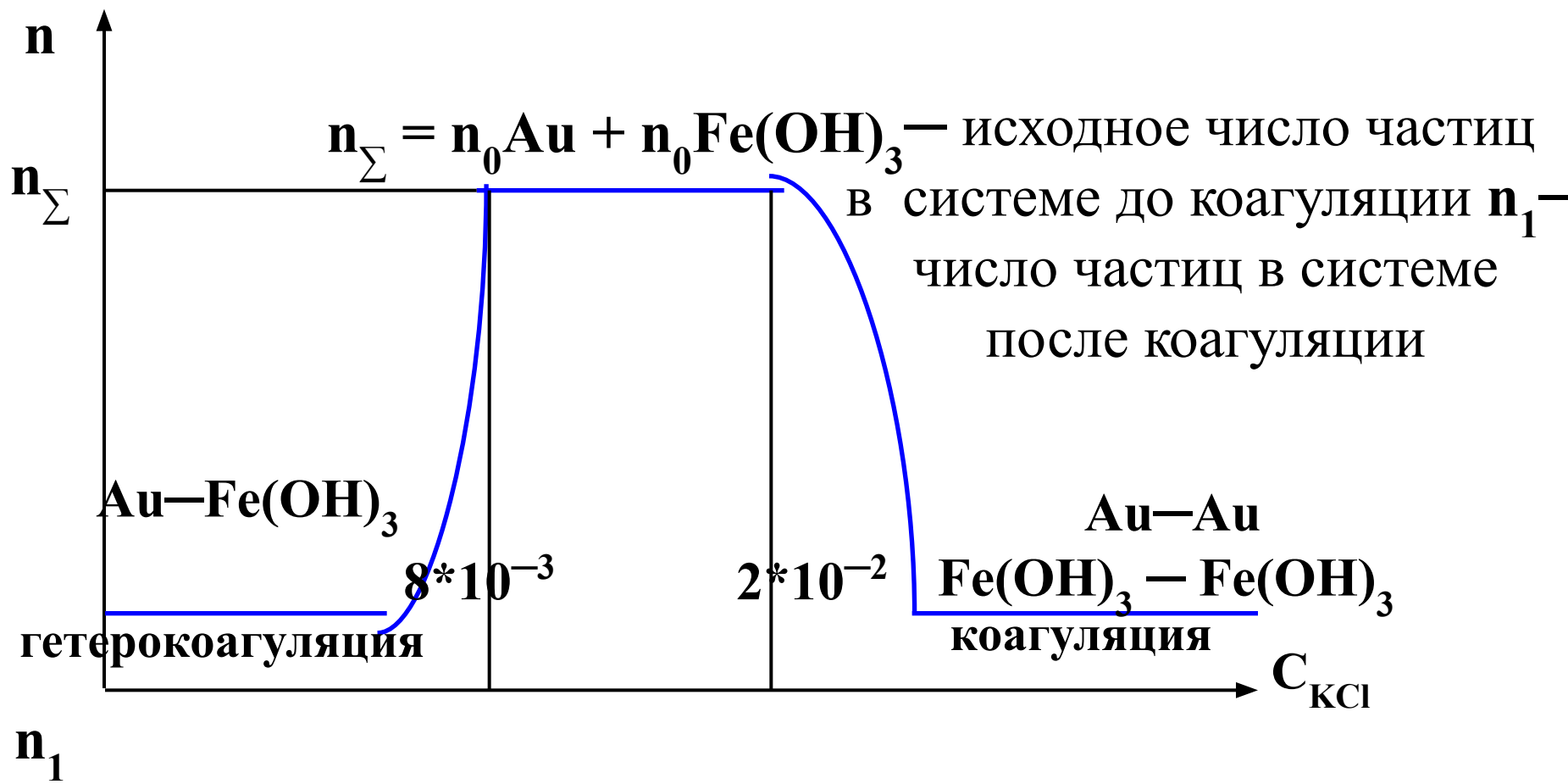
Любопытно , что в этом случае электростатические силы
притяжения и отталкивания могут поменять свои знаки .



В результате изменяется вид суммарной кривой потенциальной энергии взаимодействия, и на месте прежнего энергетического барьера теперь на средних расстояниях оказывается “потенциальная яма”, а барьер становится сравнительно небольшим и смещается на дальнейе расстояние .

Это интересное явление , называемое “**обращением правила Шульце-Гарди**”, было теоретически обосновано одним из авторов теории ДЛФО (Б. Дерягиным) и экспериментально подтверждено в 80 –е годы работах нашей кафедры.

Так , с помощью поточного ультрамикроскопа , т.е. методом прямого счета числа частиц в дисперсной системе , содержащей коллоидные частицы **Au** и **Fe(OH)₃** , было показано , что **увеличение концентрации индифферентного электролита KCl** приводило не к потере устойчивости , как этого следовало ожидать ,
а напротив , к стабилизации системы в довольно широком диапазоне концентраций ($8 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$ моль/л)



Из приведенных данных видно , что по мере увеличения концентрации электролита происходит стабилизация ранее скоагулировавшей системы, выражающаяся в восстановлении исходного числа частиц в ней .
Дальнейшее увеличение концентрации электролита приводит к новой потере устойчивости .

Интересно , что при малых концентрациях электролита в системе происходила **взаимная коагуляция** [т.е. слипание разноименно заряженных частиц **-Au** и **+Fe(OH)₃**] , а после стабилизации, при высоких концентрациях электролита , уже имела место **обычная коагуляция** [т.е. слипание одноименно заряженных частиц **Au-Au** и **Fe(OH)₃-Fe(OH)₃**].

Эти данные являются качественным подтверждением “обращения правила Шульце-Гарди”.

В начале лекции мы уже говорили ранее о наличии **двух факторов устойчивости** в дисперсных системах .

Тем не менее во всех предыдущих рассуждениях о коагуляции электролитами совершенно не было учтено существование возле поверхности твёрдых частиц слоев жидкости с измененными по сравнению с глубиной жидкой фазы свойствами. Между тем в наличии таких слоев нет никаких сомнений, даже в случае типично гидрофобных коллоидов

Особенно большого развития достигают адсорбционно-сольватные слои , обладающие повышенной вязкостью и упругостью , в системах с лиофилизированной поверхностью , таких как оксиды кремния , алюминия , железа .

Системы , в которых действует **адсорбционно – сольватный** фактор , могут быть агрегативно устойчивы даже **при практическом отсутствии электрического потенциала** на поверхности частиц .

Для дисперсных систем с **лиофобной** поверхностью образование сольватных слоев не характерно , поэтому для обеспечения их агрегативной устойчивости применяют **стабилизаторы** — ПАВ и молекулы ВМС , особенно полиэлектролитов . Наиболее сильным стабилизирующим действием обладают те из них , которые образуют на поверхности частиц двумерную гелеобразную пленку с повышенной механической прочностью и вязкостью . При столкновениях частиц эти слои создают **“структурно- механический барьер”**, препятствующий непосредственному контакту .

В качестве примера таких веществ – стабилизаторов можно назвать некоторые белки (желатин, альбумин), крахмал, водорастворимые эфиры целлюлозы, смолы.

Их воздействие на дисперсную систему называют “защитным действием” и количественно оценивают в “золотых числах”.

“Золотым числом” называется максимальная масса вещества-стабилизатора (в мг), которая способна предотвратить коагуляцию (т.е. изменение окраски) 10 мл красного золя золота при действии 1 мл 10%-го раствора NaCl.

Большое значение имеет коллоидная защита для биологии и фармации. Белки крови защищают гидрофобные вещества, которые содержатся в ней от коагуляции. При ослаблении защитного действия белков холестерин откладывается на стенках сосудов, образуются камни в почках, печени и т.п.

Коллоидную защиту используют при приготовлении врачебных препаратов, таких как **протаргол и колларгол** — препараты серебра, где частицы коллоидного размера защищены от коагуляции, белками.

Оценка “золотого числа” в ряде случаев имеет существенное значение, например в клинической диагностике гнойных или серозных менингитов, связанных с изменением белкового состава спинномозговой жидкости.

Обратимость коагуляции .

А можно ли вернуть дисперсной системе прежнюю устойчивость, утраченную в результате действия электролита ?

Оказывается провести обратный процесс — **дезагрегацию** вполне возможно, причем метод воздействия зависит от характера коагуляции .

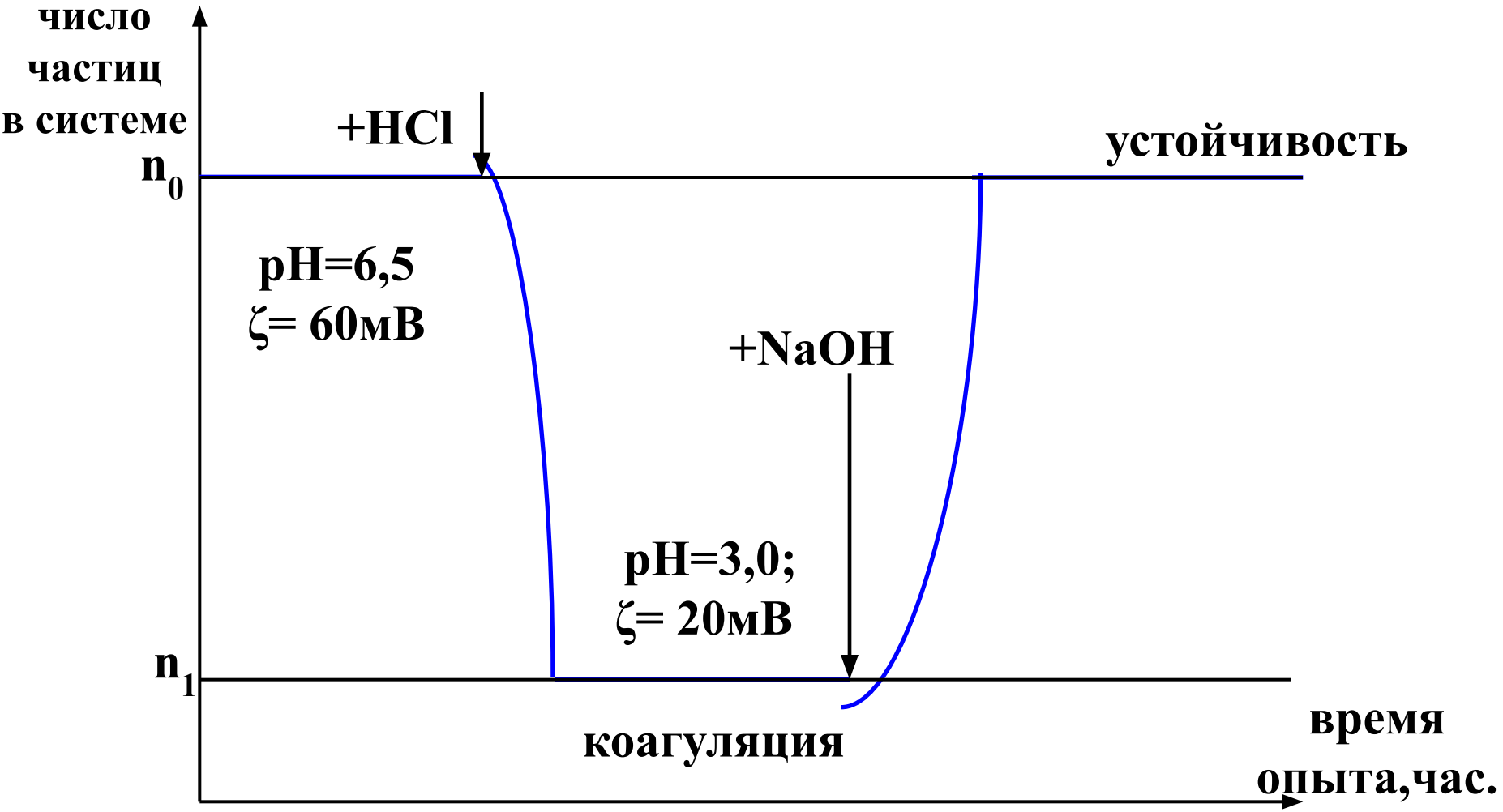
Если коагуляция была **концентрационной** , то зачастую достаточно просто вымыть из системы внесенный туда электролит большим количеством воды

Труднее ликвидировать последствия **нейтрализационной** коагуляции , вызванной адсорбцией на поверхности дисперсных частиц потенциал-определяющих ионов .

В этом случае в систему приходится вводить ион , связывающий первоначально введенные ионы (например , если коагуляция прошла при добавлении ионов H^+ , то для дезагрегации нужно ввести в систему ионы OH^-).

В качестве примера можно привести данные из работы, в которой в изучалась устойчивость гидрозоля кварца (рис. VIII.16), путем прямого счета числа частиц в системе с помощью поточного ультрамикроскопа.

Необходимо отметить, что указанная дисперсия кварца все время находилась в состоянии седиментационного равновесия , т. е. даже при слипании первоначальных частиц в агрегаты оседания их не происходило.



Всё это время мы говорили о том, что причиной коагуляции являются добавленные в дисперсную систему электролиты.

Но, конечно, возможны и другие виды физического воздействия на систему, которые смогут вызвать коагуляцию : температура, свет, электрическое и магнитное поле и т.п.

Так например, новый метод коагуляции кровеносных сосудов заключается в одновременном использовании двух длин волн лазерного излучения.

Первая из применяемых длин волн поглощается не только гемоглобином, но и меланином и таким образом, создает мишень для второй длины волны: небольшой участок коагулированной крови на поверхности сосуда.

Вторая длина волны не имеет эффективных поглощающих центров в биотканях, кроме созданной первой длиной волны мишени — коагулированной крови.

Применение такой технологии обеспечивает мгновенный разогрев и коагуляцию всего кровеносного сосуда (диаметром до нескольких миллиметров).

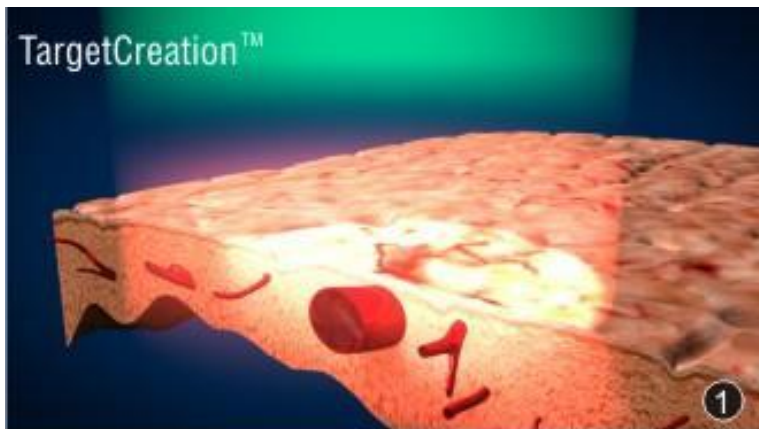


Рис. 1. Воздействие лазерного излучения на кровеносные сосуды.

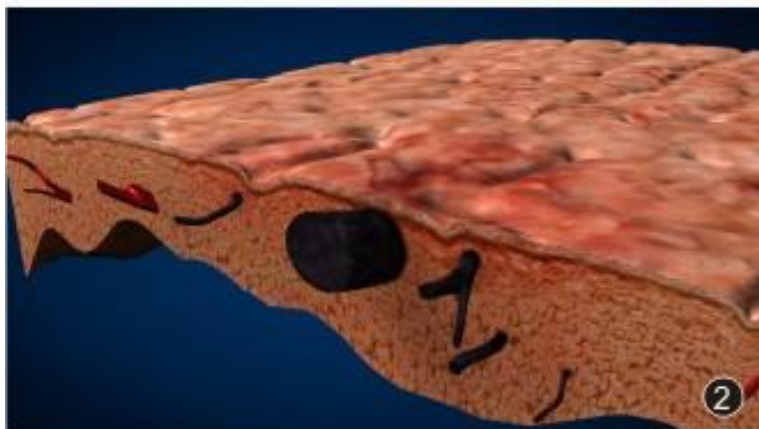


Рис. 2. Коагуляция мелких и крупных кровеносных сосудов без образования отека.

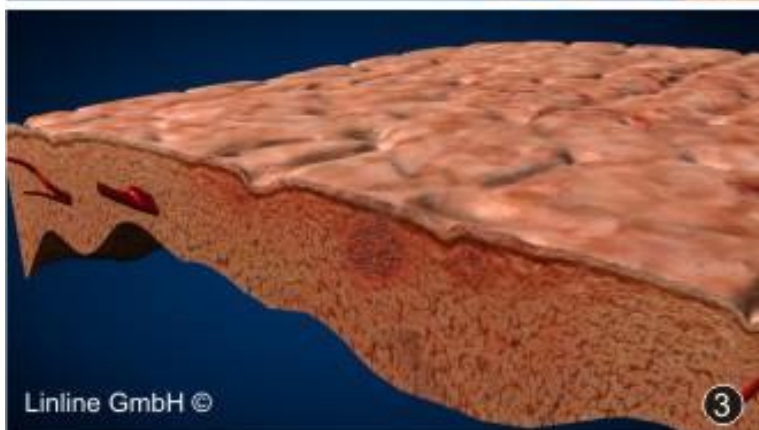


Рис. 3. Исчезновение коагулированных кровеносных сосудов.



Надо заметить , что коагуляционные процессы сыграли огромную роль в создании первых очагов человеческой цивилизации , которые как правило , зарождались в плодородных дельтах великих рек (Нила , Тигра и Евфрата , Волги , Дона , Дуная и др.) . Образование же этих дельт **происходило в результате процесса коагуляции** , вызванного слиянием речной воды , содержащей мелкодисперсные частицы плодородной почвы , с солеными водами моря .

Итак, мы подробно разобрали возможности агрегации коллоидных частиц в лиофобных системах , обратив при этом внимание на стабилизирующую роль ПАВ.

Однако у большой группы ПАВ есть возможность собственной агрегации в частицы коллоидного размера — **это процесс мицеллообразования** .