

Лекция № 12



"Я считаю, что научное знание обладает фрактальными свойствами: независимо от того, сколько мы узнаем, все, что останется, каким бы малым оно ни казалось, будет таким же бесконечно сложным, каким было целое в начале. В этом, я думаю, и заключается секрет Вселенной".\

Айзек Азимов, писатель-фантаст,
биохимик и популяризатор науки.

Лиофильные коллоиды.
Коллоидные растворы ПАВ
Мицеллярные растворы

История открытия мицелл

Термин *мицеллы* был введен в **1877** г. **Нагелем** для агрегатов органических молекул ограниченного размера, но не точной стехиометрии [*C.W.von Nageli, Das Mikroskop Theorie und Anwendung desselben., Leipzig 1877*].

Существование агрегатов молекул в растворах мыл ($C_{17}H_{35}COOH$) было установлено **Крафтом** в **1896** г. [*F.Krafft, Ber.Dtsch. Ges. 29, 1334 (1896)*].

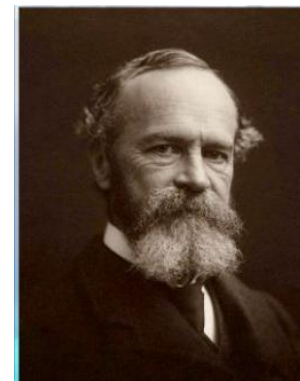
В 1913 году канадский химик **Джеймс Уильям МакБейн**. постулировал существование мицелл для объяснения хорошей электролитической проводимости растворов пальмитиновой кислоты ($CH_3(CH_2)_{14}COOH$)



**Карл Вильгельм фон
Негели
1817-1891**



**Георг Вольфганг Крафт
(1701—1754)**



**Джеймс Уильям Мак Бейн
1882-1953**

Поверхностно-активные вещества (ПАВ)

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) — органические соединения, молекулы которых имеют дифильное строение, то есть содержат лиофильные и лиофобные (обычно гидрофильные и гидрофобные) атомные группы.

Гидрофильные группы обеспечивают растворимость ПАВ в воде, гидрофобные (обычно углеводородные) при достаточно высокой молекулярной массе способствуют растворению ПАВ в неполярных средах..



На границе фаз дифильные молекулы ориентируются энергетически наиболее выгодным образом: гидрофильные группы — в сторону полярной (обычно водной) фазы, гидрофобные — в сторону неполярной (газовой или масляной) фазы

КЛАССИФИКАЦИИ ПАВ

1. По механизму их действия на поверхность раздела фаз (смачиватели, диспергаторы, стабилизаторы, моющие вещества).
2. По молекулярному строению (органических ПАВ): ионогенные (анион- и катион-активные, амфолитные), неионогенные.
3. По молекулярной массе: высокомолекулярные ПАВ и низкомолекулярные ПАВ.
4. По природе адсорбции из водной и углеводородной фаз на межфазной поверхности: водо- и маслорастворимые ПАВ.
5. По способу получения: синтетические и природные ПАВ.

Классификация ПАВ по химическому строению (1960 г., 3-й конгресс по ПАВ, ISO)

неионогенные

Неионногенные ПАВ не диссоциируют в растворах на ионы

ионогенные

Катионные
R⁺ A⁻

Анионные
R⁻ K⁺

**Амфолитные
(цвиттерионные)**
K⁺ · R · R⁺ A⁻

Неионогенные ПАВ

Оксиэтилированные первичные и вторичные жирные спирты:
 $RO(CH_2CH_2O)_nH$; полиэтиленгликолевые эфиры жирных кислот,:
 $RCOO(CH_2CH_2O)_nH$; оксиэтилированные алкилфенолы, сульфамиды,
эфиры фосфорной кислоты: $RC_6H_4O(CH_2CH_2O)_nH$; **R - C8-C9**

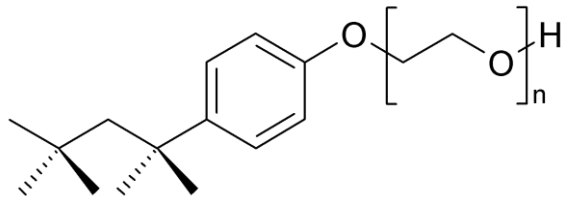
Плюроники (проксанолаы) – блоксополимеры окиси этилена и окиси пропилена, Mw 2000-20000.

Тетроники (проксамины) - блоксополимеры окиси этилена и окиси пропилена, получаемые в присутствии этилендиамина.

глицериды; глюкозиды; сахариды

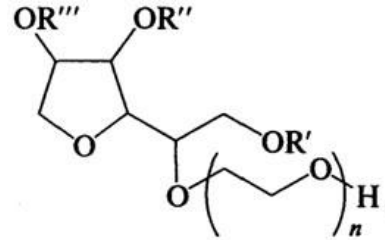
Неионогенные ПАВ

Полимеры этиленоксида



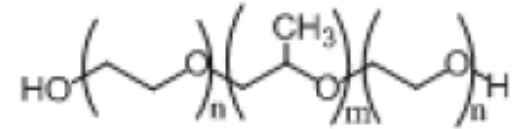
n=10, M=646

TX-100



n=20, M=2300

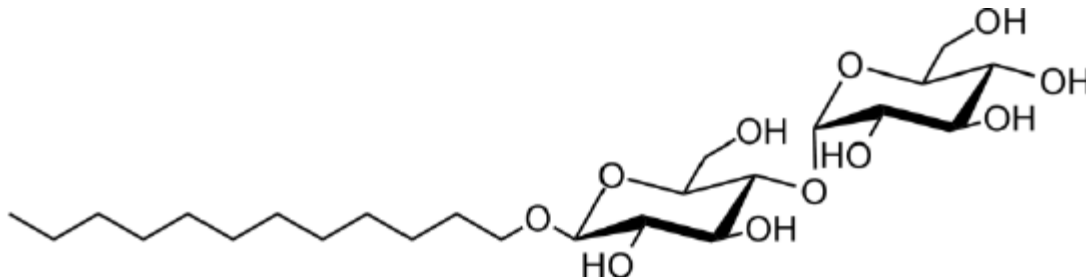
TWEEN 65



n=76, m=30, M=8400

Плюроник F68

Гликозидные детергенты в качестве полярной группы содержат углевод, обычно глюкозу или мальтозу, и неполярный хвост, алкильную цепь длиной 7–14 атомов углерода. Для выделения гидрофобных и мембранных белков, когда необходимо сохранить активность, часто применяют мягкий гликозидный детергент лаурилмальтозид или додецилмальтозид (n-dodecyl- β -D-maltoside; DDM, ДДМ)



Полиэтиленгликоли свойства и применение



Низкомолекулярный полиэтиленгликоль используют

- как диспергирующий агент в зубных пастах;
- в составе средств, обладающих слабительным действием;
- в качестве загустителя, например, в гидравлических жидкостях;
- в фармацевтической и косметической промышленности как связующее и основа для таблеток, кремов, свечей. Основное действующее вещество препарата Фортранс (российский аналог - Лавакол);
- как текстильно-вспомогательное вещество;
- при изготовлении форм для керамики, порошковой металлургии, литья как связующее, стабилизирующее форму изделия;
- как олигомер в производстве полиуретанов;
- для получения неионогенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) путем ковалентного связывания с гидрофобными молекулами (например, с касторовым маслом).

Полиэтиленгликоли свойства и применение



Высокомолекулярный полиэтиленгликоль используют

- как флокулянт и коагулянт при обогащении руд, концентрировании осадков, взвесей, бумажной массы, угольной пыли;
- как агент для снижения гидродинамического сопротивления в технике и медицине при инъекциях;
- для упаковки пищевых продуктов (водорастворимые пленки);
- в сельском хозяйстве для создания систем точного высева (семялента), упаковки агрохимикатов;
- как связующее и загуститель в красках и латексах;
- как основа для ионопроводящих композиций, в том числе и для производства литий-полимерных элементов аккумуляторов.
- как полярная стационарная фаза для газовой хроматографии.

Классификация по химическому строению

Анионные ПАВ – диссоциируют в воде с образованием ПА-анионов; используют как смачиватели, компоненты моющих средств, пенообразователи.

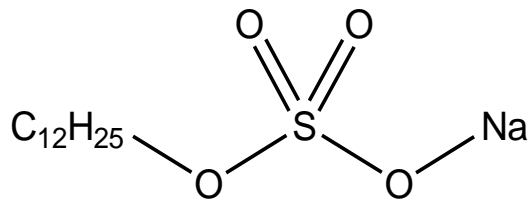
Выделяют 6 групп АнПАВ:

- 1) соли карбоновых кислот (мыла) RCOO-M , C8-C20
- 2) алкиларилсульфонаты (70%) $\text{R-ArSO}_3\text{-M}$, C10-C15 алкилсульфонаты $\text{RSO}_3\text{-M}$; C10-C20 (тетрапропиленбензол-сульфонат, пропил- и бутил-нафталин-сульфонаты натрия (некали)), сульфонаты сложных эфиров;
- 3) алкилсульфаты, алкиларилэтилсульфаты $\text{ROSO}_3\text{-M}$; C10-C18
- 4) сульфо- и карбоксиэтоксилаты спиртов, сульфоэтоксилаты карбоновых кислот;
- 5) азотсодержащие ПАВ: амидосульфонаты, амиды сульфокарбоновых кислот, амидосульфаты, сульфамиды;
- 6) соли перфторированных карбоновых кислот, сульфоацетатов, моно- и диалкилфосфатов и фосфонатов и др.

Анионные ПАВ

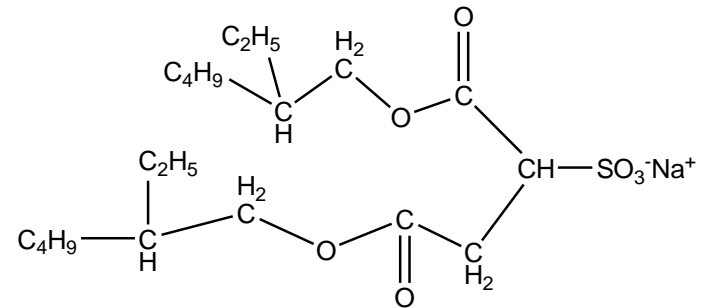
Алкилсульфаты

додецилсульфат натрия
(ДДС, SDS)

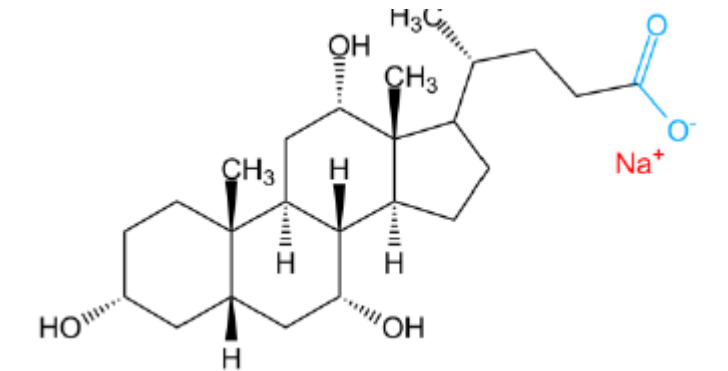


Алкилсульфонаты

бис(2-этилгексил)сульфосукцинат натрия,
АОТ



Производные карбоновых кислот
Cholate Na



Классификация по химическому строению

Катионные ПАВ - диссоциируют в воде с образованием ПА-катионов; используют в качестве ингибиторов коррозии, флотореагентов, бактерицидных, дезинфицирующих средств, в текстильной промышленности:

1) жирные амины RNH_2 и их соли;

2) моно- и бис- четвертичные соли аммониевых оснований $R_4N^+Hal^-$;
 $[RR_2'-N-R''-N-R_2'R]^{2+}2X^-$

3) четвертичные аммониевые соединения с функциональными группами в гидрофобной цепи

4) соединения с атомом N в гетероцикле: RPu^+Hal^- ; C12-C18
производные пиридина, хинолина, фталазина, бензимидазола, бензотиазола, пирролидина, имидазола, пиперидина, морфолина.

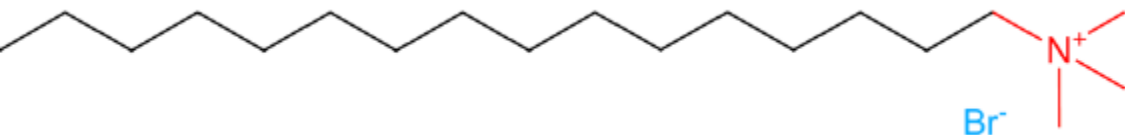
5) оксиды аминов $RR'R''NO$

6) полимерные поливинилпиридиний галогениды

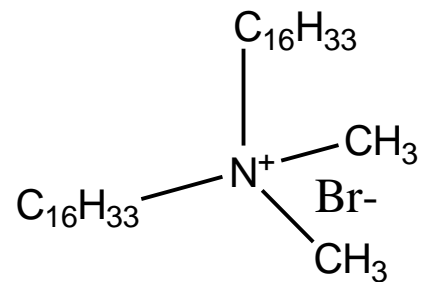
Катионные ПАВ

Алкилы аммония

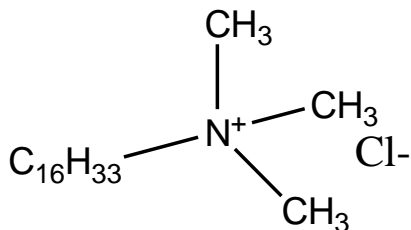
Цетил-тетраметиламмоний бромид
(СТАВ)



Дицетилдиметиламмоний
бромид (DCDMAВ)

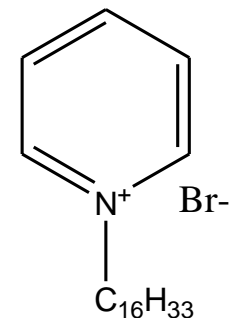


Цетилтриметиламмоний хлорид
(СТАС)



Производные пиридина

Цетилпиридиний
бромид (СРВ)



Катионные ПАВ

На рынке катионных ПАВ четвертичные аммониевые соли (quats) занимают первое место. Это "рабочая лошадка индустрии ПАВ" (Анна Гиллис - обозреватель американского сообщества нефтехимиков). В США ежегодно производят 90 000 т.

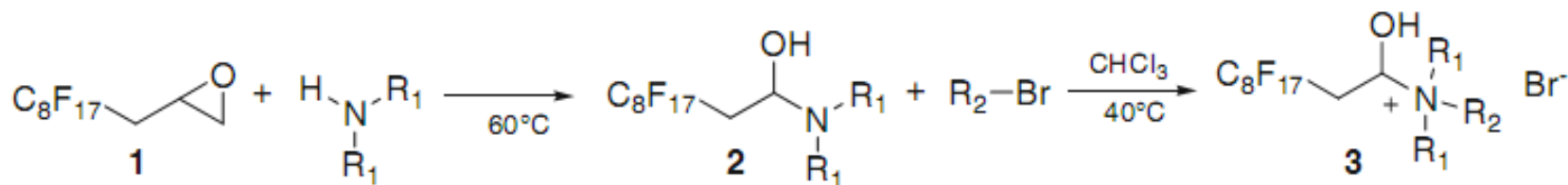
Катионные ПАВ приобрели известность 70 лет назад, когда показали их бактерицидные свойства [G.Domagk, Dtsch.Med.Wascht.61:828(1935).]

Применение катионных ПАВ:

Смягчение тканей	66%
Добавки в асфальт	2%
биоциды	8%
текстиль	1%
покрывающие клеи(глины)	16%
нефтепромышленность	6%

Ингибиторы коррозии в гальванических ваннах - первичные амины (C12-C18), но четвертичные аммониевые соли, в особенности триалкилбензиламмоний, алкилхинолиниум, и алкилизохинолиниум наиболее эффективны.

Новые фторированные ПАВ



Активные ФПАВ (производные перфтороктановой к-ты и перфторолигоэфиркарбоксилат аммония) **снижают поверхностное натяжение воды** с 72,7 до 12-15 мН/м при концентрации порядка 10^{-3} моль/л, тогда как углеводородные ПАВ - лишь до 25-28 мН/м. Для поверхностей, покрытых монослоем перфтордекановой кислоты, составляет 6 мН/м, покрытых монослоем гидроперфторундекановой кислоты - 15 мН/м.

1. эмульгаторы при получении политетрафторэтилена и поливинилиденфторида методом **эмульсионной полимеризации**;
2. **добавки в гальванич. ванны** при электролитич. травлении или электроосаждении металлов
3. Препараты "Хромин" (таблетированная смесь перфторэтилцик-логексансульфоната $4\text{-C}_2\text{F}_5\text{C}_6\text{F}_{11}\text{SO}_3\text{Na}$ и Na_2CO_3) и "Хромоксан" [основа - перфторолигоэфирсульфонат $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{OCF}_2\text{CF}(\text{CF}_3)\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3\text{Na}$] применяют при **электролитич. хромировании металлов**.
4. ФПАВ - компоненты наиб. эффективных пленкообразующих ср-в пожаротушения, напр. типа "легкой воды" **при тушении горящих нефтепродуктов** "Эпилам"), предотвращающие растекание масел по пов-сти металла, увеличивающие износостойкость металлорежущего инструмента, улучшающие смазочное действие машинного масла.

ФПАВ не подвержены разложению микроорганизмами; поэтому их промышленное применение требует соблюдения строгих мер экологической защиты.

Цвиттер-ионные джемини-ПАВ

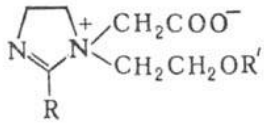
Цвиттер-ионные ПАВ содержат в молекулах две противоположно заряженные группы. Положительный заряд почти всегда обеспечивается аммониевой группой, а отрицательно заряженные группы могут быть разные; чаще всего отрицательный заряд обеспечивает карбоксилат-ион. Такие ПАВ нередко относят к амфотерным, но, как отмечалось выше, эти термины не идентичны. Заряды амфотерного ПАВ изменяются в зависимости от pH, при этом при переходе от кислых к щелочным pH изменяется тип ПАВ от катионного через цвиттер-ионное до анионного. Ни кислотные, ни основные группы не несут постоянного заряда и цвиттер-ионом такое ПАВ становится только в определенном интервале pH.

1. Это самый небольшой класс ПАВ.
2. Они совместимы со всеми другими типами ПАВ.
3. Нечувствительны к жесткой воде.
4. Стабильны в кислой и щелочной средах. В частности, бетаины сохраняют поверхностную активность в сильнощелочной среде.
5. В большинстве случаев не оказывают раздражающего действия на кожу и глаза, поэтому входят в составы шампуней и других средств личной гигиены.

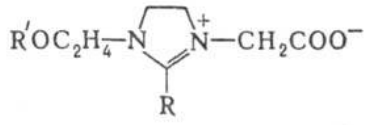
Полимерные амфолитные ПАВ:

природные (белки, нуклеиновые к-ты и т.п.); модифицированные природные ПАВ (олигомерные гидролизаты белков, сульфатированный хитин); продукты ступенчатой конденсации аминов, формальдегида, альбумина, жирных к-т; производные целлюлозы, полученные введением карбоксильных и диэтаноламиноэтильных групп;

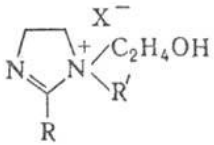
синтетические, в молекулах которых сочетаются структурные особенности всех приведенных выше групп амфотерных ПАВ.



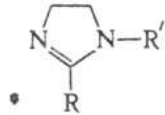
VII



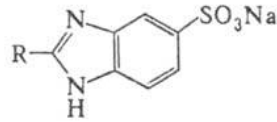
VIII



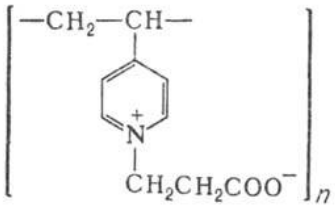
IX



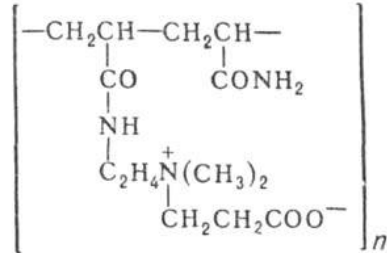
X



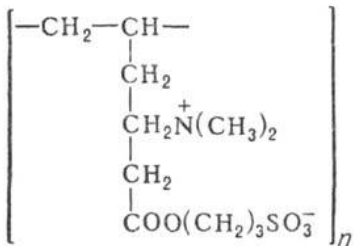
XI



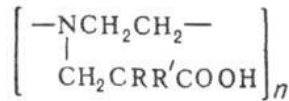
XII



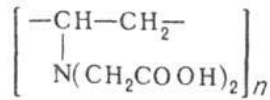
XIII



XIV



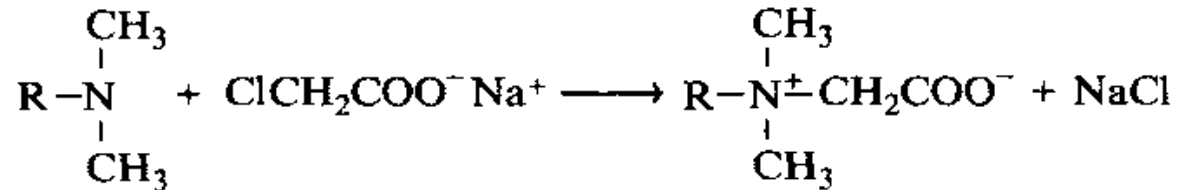
XV



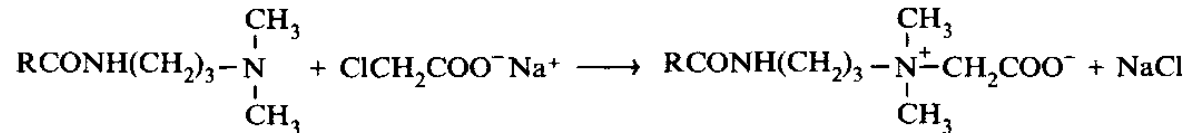
XVI

Цвиттер-ионные ПАВ

**N-алкилпроизводные
простых аминокислот,
бетаина R₂NCH₂COOH),
аминопропионовой
кислоты)**

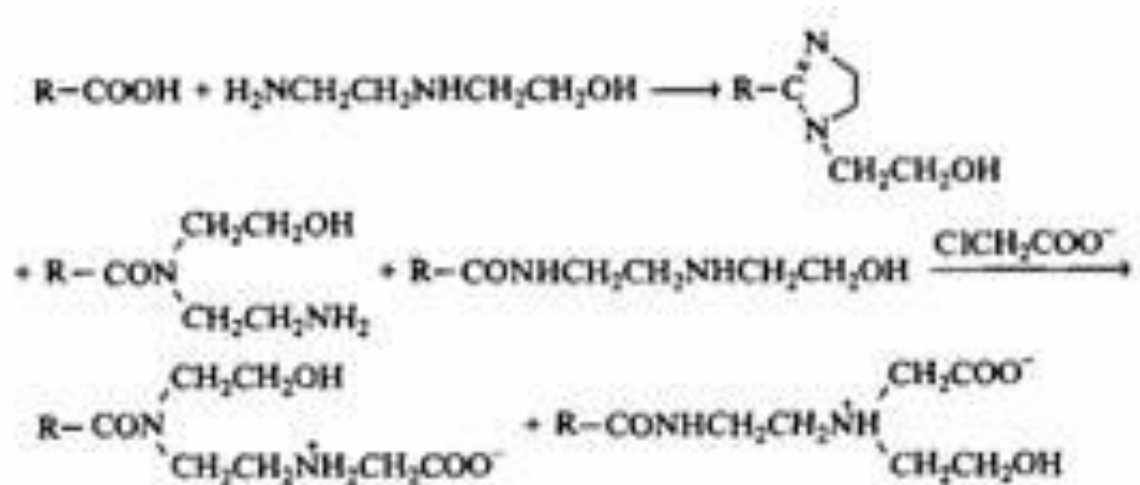


**Производные
амидобетаина**



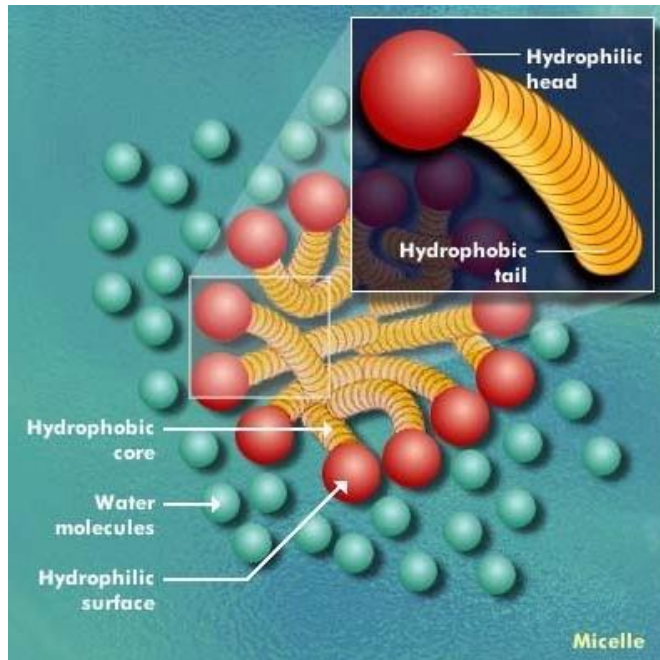
Имидазолины

синтезируют по реакции
жирной кислоты с
аминоэтилэтаноламином с
последующей обработкой
хлорацетатом



Мицеллы

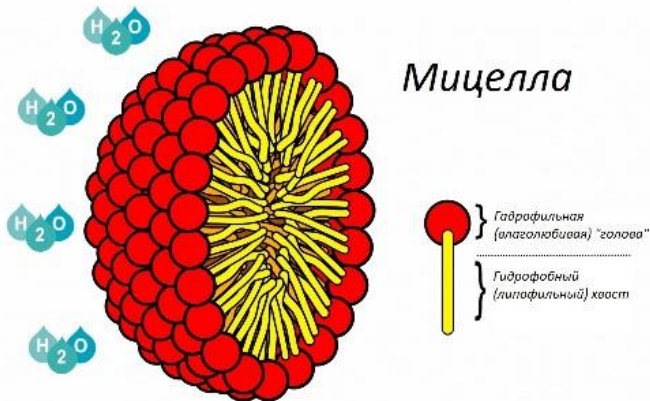
Мицеллы – это структуры, образующиеся в результате самоорганизации молекул поверхностно-активных веществ в водных растворах



Мицеллы имеют структуру, в которой **гидрофильная головка** ПАВ обращена к воде, а **гидрофобный хвост** находится внутри мицеллы. Это позволяет мицеллам растворять гидрофобные вещества, такие как масла и жиры, в воде.

Раствор ПАВ, в котором мицеллы находятся в равновесии с одиночными неассоциированными молекулами — мономерами — называется **мицеллярным раствором**

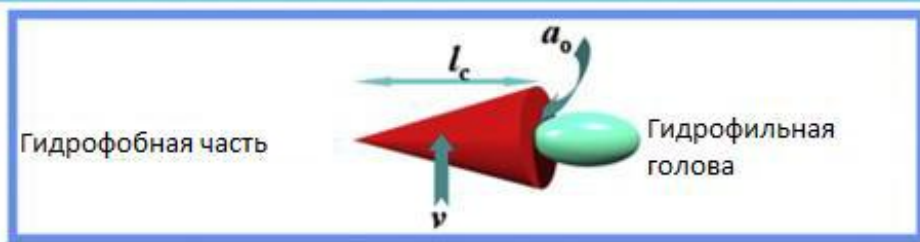
Особенности мицеллообразования из ПАВ



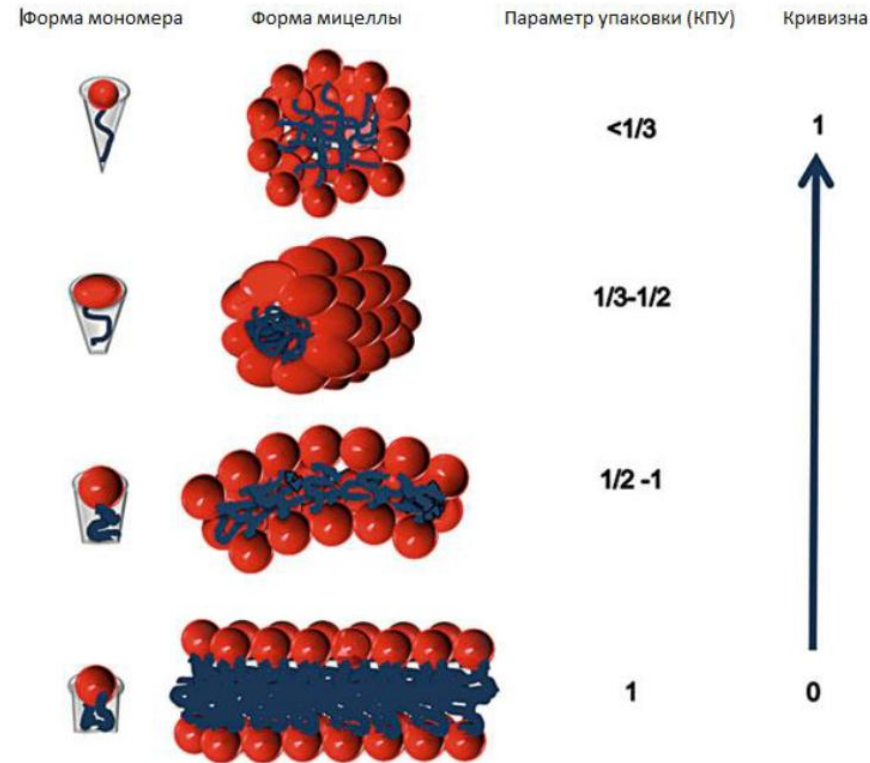
1. Способностью образовывать мицеллы обладают не все ПАВ, а только те, кто имеет оптимальное соотношение между гидрофильной и гидрофобной частями
2. Важным фактором является способность полярной группы экранировать гидрофобную группу от контакта с водой
3. Образование мицелл из ПАВ идет по другим законам, чем образование мицелл из низкомолекулярных неорганических соединений в насыщенных и перенасыщенных растворах
4. Термодинамически выгодно существование мицелл ПАВ с определенным числом агрегаций. Для мицелл из низкомолекулярных неорганических соединений существует большой разброс значений числа молекул
5. Образование мицелл ПАВ происходит при **определенной концентрации ПАВ** (ККМ). Для мицелл из низкомолекулярных неорганических соединений – при достижении **предела растворимости**

Мицеллы

Форма мицеллы зависит от формы мономера ПАВ



Танфорд и Израелашвили предложили ввести в использование параметр, характеризующий молекулярную упаковку мономеров в сложный ассоциат. **Критический параметр упаковки (КПУ или CPP)** связан с геометрией мономера



отношение $\frac{V_0}{a \cdot l_0}$, где V_0 – объем хвостовой гидрофобной части мономера, l_0 – его длина, a – площадь поперечного сечения, приходящаяся на одну молекулу. Тогда параметр упаковки связан с формой ассоциатов следующим образом: $0 \leq \frac{V_0}{a \cdot l_0} \leq \frac{1}{3}$ для сферических мицелл, $\frac{1}{3} \leq \frac{V_0}{a \cdot l_0} \leq \frac{1}{2}$ для цилиндрических мицелл и $\frac{1}{2} \leq \frac{V_0}{a \cdot l_0} \leq 1$.

Полиморфизм Мицелл

Форма мицеллы зависит

- от размеров и формы молекулы липида,
- от состава буферного раствора (рН среды)
- от температуры
- от типа растворителя

Форма мицеллы зависит от концентрации ПАВ



Рост концентрации ПАВ



Истинный
раствор

Сферические
мицеллы

Анизометрические
мицеллы

Гель

Кристаллы в
растворе

Мицеллы Гартли – Ребиндера – сферические мицеллы

Мицеллы Мак Бейна – пластинчатые мицеллы

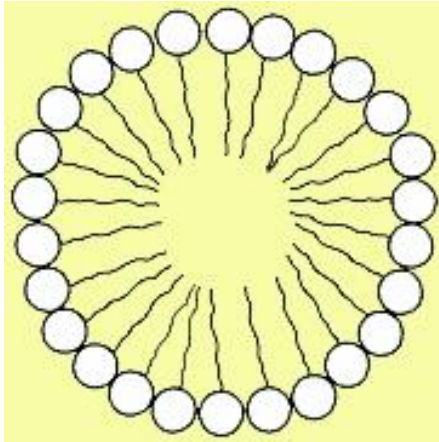
Жидкие кристаллы – системы с упорядоченным расположением молекул, обладающие оптической анизотропией и механическими свойствами, промежуточными между истинными жидкостями и твердыми телами.

Мицеллы

Внутренняя часть мицеллы/Внешняя часть мицеллы

Хвост/голова

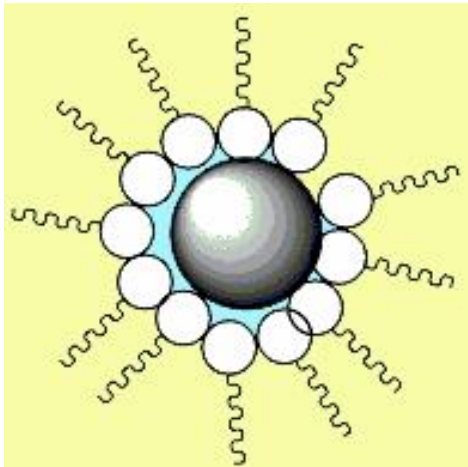
М/В



Прямые мицеллы - это агрегаты ПАВ в непрерывной водной фазе, в которых гидрофильные фрагменты молекул ПАВ направлены к воде, а углеводородные фрагменты составляют гидрофобное ядро мицеллы.

голова/хвост

В/М



Обращенные мицеллы (inverted, reversed micelles)- агрегаты ПАВ в непрерывной органической фазе, в которых гидрофильные фрагменты молекул ПАВ направлены вовнутрь мицеллы, образуя полярное ядро, а углеводородные фрагменты направлены в объем органической фазы.

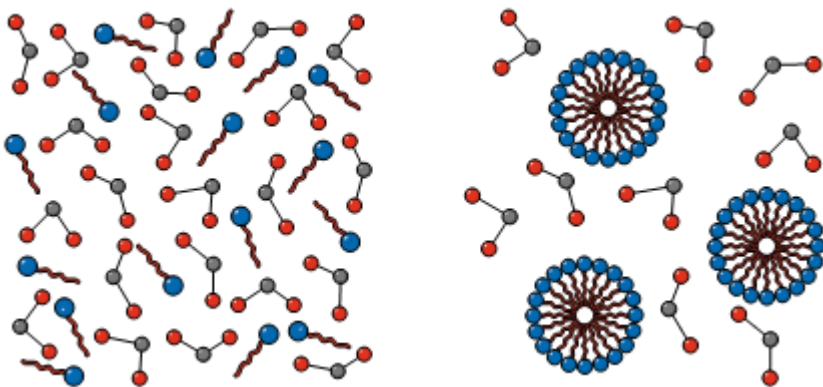
Механизм мицеллообразования в полярных средах

Переход к мицеллообразованию происходит в узком интервале концентраций, и его можно трактовать как фазовый переход 2-го рода.

Причиной мицеллообразования в водных растворах является гидрофобный эффект, а в средах из неполярных молекул — взаимное притяжение полярных групп молекул ПАВ.

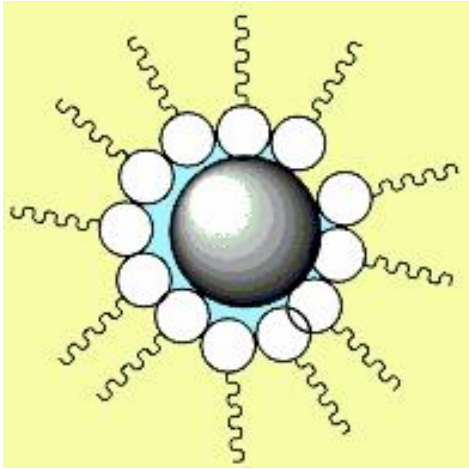
Ниже определённой температуры (точки Крафта) образование мицелл не происходит, а при увеличении концентрации ПАВ наблюдается кристаллизация.

При приближении концентрации ПАВ к критической концентрации мицеллообразования происходит резкое изменение свойств раствора: электропроводности, поверхностного натяжения, коэффициента рассеяния света и т. д.



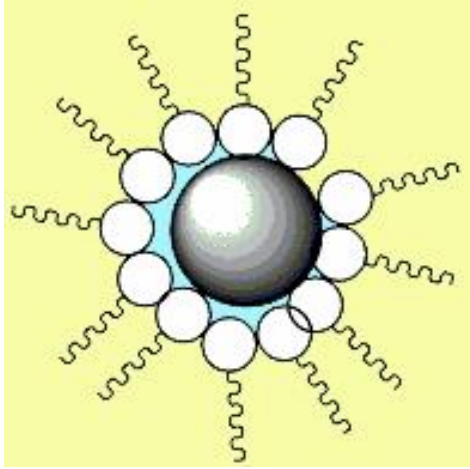
Поведение молекул детергента в воде при концентрациях ниже (слева) и выше значения ККМ (справа)

Мицеллообразование в неводных средах



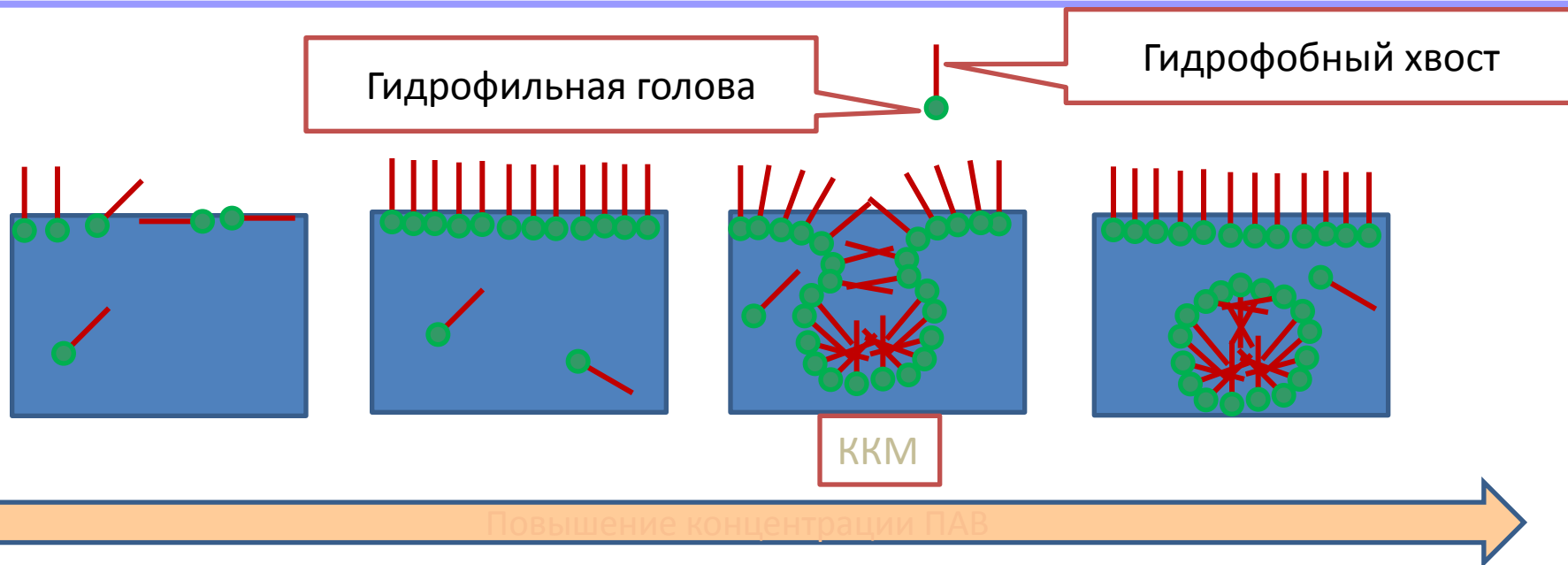
- Структура растворителя в присутствии ПАВ существенно не нарушается
- ПАВ не понижают поверхностное натяжение в неполярных средах
- Число агрегации (3-40) намного меньше, чем для прямых мицелл;
- Ионогенные ПАВ в обратных мицеллах практически не диссоциированы;
- Мицеллообразованию в неводных средах может способствовать наличие воды, связывающей полярные группы.
- Избыточное количество воды может привести к обращению структуры мицеллы.

Мицеллообразование в неводных средах

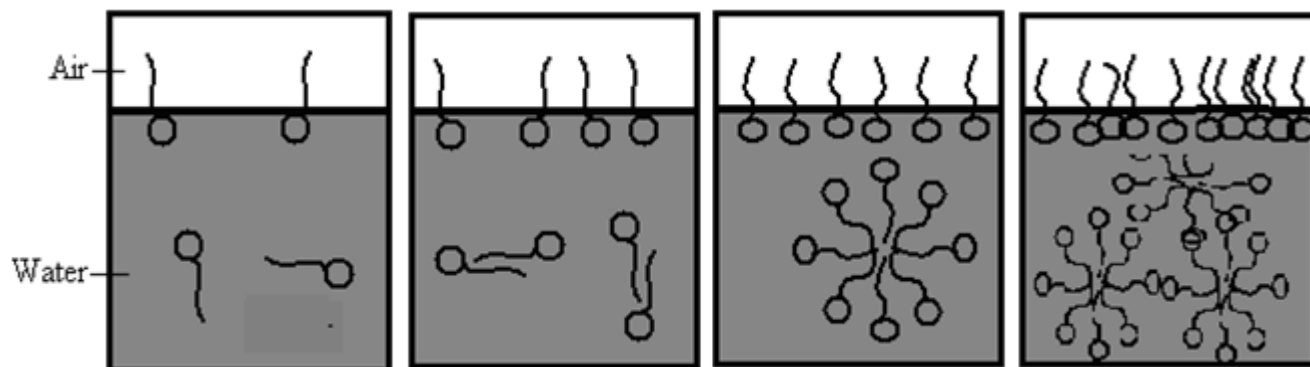


➤ Мицеллообразование в неполярных средах имеет не энтропийную, а энергетическую природу. Она заключается в выгодности замены связи полярная группа – углеводород при молекулярном растворении на связь между полярными группами при их объединении в ядро мицеллы. Энергетический выигрыш системы при объединении полярных групп настолько велик, что при самых малых концентрациях истинных растворов ПАВ находится не в виде отдельных молекул, а в виде предмицеллярных ассоциатов.

Мицеллообразование



Аналогично происходит процесс и в объеме:



При повышении концентрации ПАВ выше ККМ происходит увеличение числа мицелл, но не их размеров.

Характеристика мицелл

Агрегационное число или Число ассоциаций (АЧ) $m[\text{ПАВ}] \rightleftharpoons (\text{ПАВ})_m$.

m – среднее количество мономеров, приходящееся на одну сферическую мицеллу.

Мицеллярная масса M – $M = m(\text{ПАВ})$

Критическая концентрация мицеллообразования ККМ – минимальная концентрация, при которой происходит мицеллообразование

Точка помутнения - верхний температурный предел мицеллообразования неионогенных ПАВ, обычные ее значения 323-333 К; при более высоких температурах система ПАВ-растворитель теряет устойчивость и расслаивается на две макрофазы

Поверхностная активность - изменение поверхностного натяжения при ККМ
(для ионогенных необходимо учитывать диссоциацию)

$$g = \frac{\sigma_0 - \sigma_{\text{ККМ}}}{\text{ККМ}}$$

Гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ, НЛВ) - числовая мера того, в какой степени вещество является гидрофильным или липофильным.

Гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ, HLB)

Первой попыткой сделать ГЛБ количественной характеристикой ПАВ была шкала ГЛБ Гриффина (*Griffin W.C.// J.Soc.Cosmetic Chem. 1949. V.1.P.311-326; 1954. V.5.P.249-262*), в которой каждому ПАВ приписывалось число в определенном интервале 1-35. Шкала строилась по принципу аддитивности по эмульгирующей способности ПАВ. Выбирали крайние члены ряда: наиболее липофильное – ГЛБ = 1 и наиболее гидрофильное ГЛБ = 35; если синтезировали новое ПАВ с большим ГЛБ, шкалу расширяли. В настоящее время шкала 1 – 40.

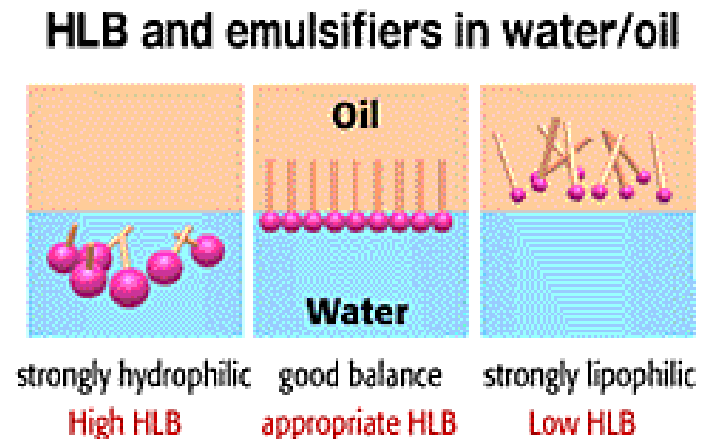
ГЛБ < 10 - жирорастворимые ПАВ

ГЛБ > 10 - водорастворимые ПАВ

ГЛБ = 0, если ПАВ не диспергируется в воде

Для неионогенных ПАВ

$$\text{ГЛБ} = 20 \cdot \frac{M_{\text{гидрофил}}}{M_{\text{всей ПАВ}}}$$



Гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ) – Д.Дэвис

В 1960 г. Д.Дэвис разработал аддитивную шкалу ГЛБ от 0 до 40, согласно которой каждой группе атомов, входящей в молекулу ПАВ, приписывается групповое число:

$$\text{ГЛБ} = 7 + \sum q_i$$

$$\text{ГЛБ} = 7 + \sum \text{гидрофильных гр. чисел} + \sum \text{гидрофобных гр. чисел}$$

Значения гидрофильных и гидрофобных групповых чисел

Гидрофильные группы		Липофильные	
$-\text{SO}_4^- \text{Na}^+$	38.7	$-\text{CH}-$	-0.475
$-\text{COO}^- \text{Na}^+$	19.1	$-\text{CH}_2-$	-0.475
$-\text{N}$ (третичный амин)	9.4	$=\text{CH}-$	-0.475
$-\text{COOH}$	2.1	$-\text{CH}_3$	-0.475

Гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ, HLB)

В дальнейшем Дэвис попытался дать научное обоснование предложенному им методу. При изучении устойчивости эмульсий, стабилизированных различными ПАВ, он ввел кинетический параметр для характеристики ГЛБ, а затем и термодинамический параметр, связав его с коэффициентом распределения ПАВ между водой и углеводородом. В результате было предложено уравнение:

$$\text{ГЛБ} = 7 + 0,36 \ln(c_b/c_o),$$

Где c_b и c_o – концентрация ПАВ в водной и углеводородной (масляной) фазах.

Позже термодинамическое обоснование этой формулы дал А.И. Русанов. Он связал ГЛБ с работой перехода (W^{B-O}) элементов молекул ПАВ из водной фазы в углеводородную с учетом того, что при низких концентрациях можно пренебречь отклонением соответствующих растворов от идеальности.

Учитывая, что для 1 моля ПАВ $W^{B-O} = RT \ln(c_b/c_o)$, можно записать:

$$\text{ГЛБ} = 7 + 0,36 \Delta W^{B-O} / RT$$

В таком случае можно говорить о том, что групповые числа Дэвиса представляют собой **парциальные значения работы переноса моля соответствующих групп из водной среды в углеводородную.**

Гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ) – Д.Дэвис

	Натрий додецилсульфат	Натрий октилсульфат
	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{-OSO}_3\text{-Na}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{-OSO}_3\text{-Na}$
М, г/моль	288.38	232.27
ГЛБ	37.4	42.1
$W^{\text{В-О}}$, кДж/моль	209.1	241.5

ГЛБ = 7 + Σ гидрофильных гр. чисел + Σ гидрофобных гр. чисел
Г.Ч. для ($\text{CH}_3\text{-}$), ($\text{-CH}_2\text{-}$) (-0.475) и ($\text{-OSO}_3\text{Na}$) (38.7)

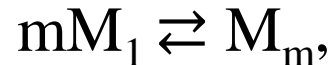
$$\text{ГЛБ} = 7 + 0,36\Delta W^{\text{В-О}}/RT$$

Натрий додецил лучше растворим в органической среде, чем натрий октил

Термодинамика образования мицелл

Квазихимический подход

- основан на законе действующих масс
- Мицеллообразование рассматривается как обратимая квазихимическая реакция



где M_1 – молекула ПАВ, M_m – мицелла, состоящая из m молекул ПАВ (m – число агрегации). Константа равновесия K этой реакции равна

$$K = [M_m] / [M_1]^m$$

Термодинамика образования мицелл

В рамках квазихимической модели ККМ – это концентрация раствора ПАВ, при которой резко увеличивается скорость образования мицелл. На основе соотношения между энергией Гиббса и константой равновесия $\Delta G^0 = -(RT/m) \ln K$ (где T – абсолютная температура, R – газовая постоянная)

$$\Delta G_{\text{миц}} = -\frac{RT}{m} (\ln c_{\text{миц}}^* - m \ln \text{ККМ}) = -RT \left(\frac{\ln c_{\text{миц}}^*}{m} - \ln \text{ККМ} \right).$$

Квазихимическая реакция Мицеллообразования приближённо описывается выражением

$$\Delta G^0 = RT \ln(\text{ККМ})$$

$$\Delta H = -RT^2 (d \ln C_{\text{ККМ}} / dT)$$

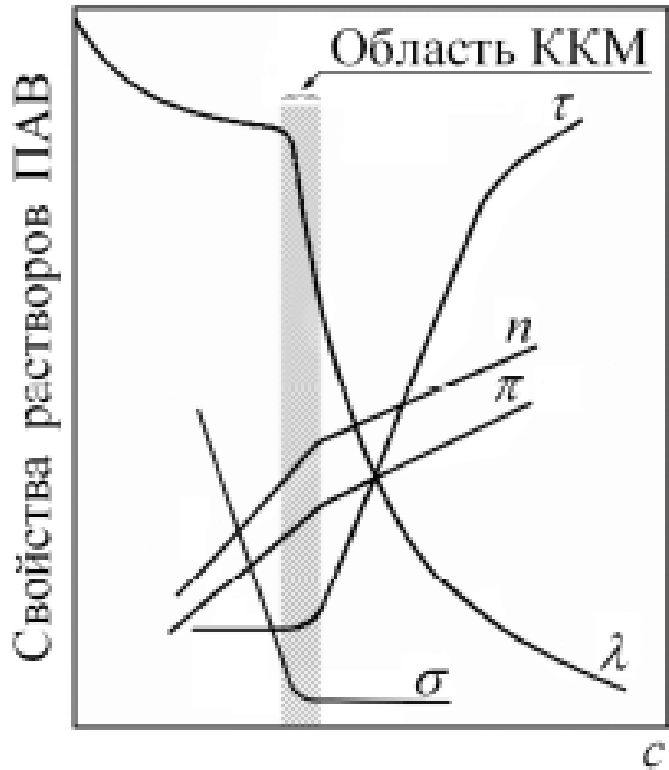
$$\Delta S = -R \ln C_{\text{ККМ}} - RT (d \ln C_{\text{ККМ}} / dT)$$

ΔG^0 – изменение стандартной энергии Гиббса молекулы ПАВ в мицелле и в гипотетическом идеальном растворе, для которого мольная доля ПАВ равна 1.

Формула справедлива для водных растворов неионогенных ПАВ и для ионогенных ПАВ в присутствии электролита, подавляющего диссоциацию полярных групп.

Определение ККМ

Существует много методов определения ККМ. Все они основаны на резком изменении физико-химических свойств растворов ПАВ при переходе от молекулярного раствора к мицеллярному



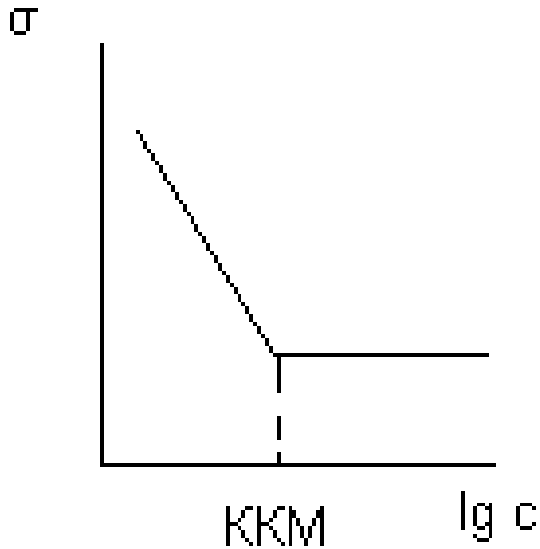
Все экспериментальные методы определения ККМ (их известно более 70) разделяют на две группы.

К **первой группе** относят методы, не требующие введения в систему ПАВ-растворитель дополнительных компонентов: мутность (τ), эквивалентная электропроводность (λ), показатель преломления (n), осмотическое давление (π), поверхностное натяжения (σ)

Вторая группа методов измерения ККМ основана на добавлении в растворы дополнит. компонентов и их солюбилизации (коллоидном растворении) в [мицеллах](#) ПАВ, которую можно регистрировать с использованием спектральных методов, [флуоресценции](#), ЭПР и др.

--Концентрации ПАВ, при которых наблюдаются перегибы на графиках "свойство-состав", соответствуют ККМ

Факторы, влияющие на ККМ



1. Природа ПАВ
2. Различные добавки (Индифферентные соединения, низкомолекулярные амфифилы, органические соединения)
3. Температура

Факторы, влияющие на ККМ

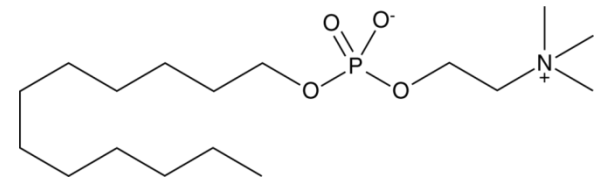
1. Природа ПАВ

Строение молекул. Строение углеводородной цепи в молекуле ПАВ.

- - число углеродных атомов в углеводородной цепи молекул ПАВ данного гомологического ряда ;
- число углеводородных цепей;
- наличие бензольного кольца в углеродных цепях молекул. Введение бензольного кольца в углеводородную цепь эквивалентно увеличению цепи примерно на 3,5 метиленовые группы
- наличие ненасыщенных связей. Наличие одной двойной связи увеличивает ККМ примерно в 3 - 4 раза по сравнению с насыщенным соединением
- - наличие полярных заместителей в цепях. Замещение водорода в углеводородных цепях полярными группами приводит к резкому увеличению
- ККМ ПАВ. Замещение на одну ОН-группу соответствует увеличению значения ККМ в 4 раза или уменьшению длины цепи на 2 метиленовые группы

Факторы, влияющие на ККМ

1. Природа ПАВ



Влияние длины гидрофобной хвостовой части на значение ККМ в воде для различных детергентов на примере алкилфосфохолинов

Полное наименование детергента	Длина алкильной цепи, кол-во атомов углерода	Значение ККМ в воде, мМ
n-Decyl-phosphocholine	10	11
n-Dodecyl-phosphocholine	12	1,5
n-Tetradecyl-phosphocholine	14	0,11
n-Hexadecyl-phosphocholine	16	0,012

правило Дюкло-Траубе

Увеличение длины углеводородного радикала молекулы ПАВ на одну CH_2 – группу приводит к увеличению поверхностной активности в 3,2 – 3,5

Факторы, влияющие на ККМ

1. Природа ПАВ

Коллоидные характеристики некоторых ПАВ (25°C)

ПАВ	ККМ(моль/л)	Число агрегации
Додецилсульфат натрия	0,0081	62
Полиоксиэтилен(6)додеканол $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{11}-(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_6-\text{OH}$	0,00009	400
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{11}-\text{N}^+(\text{CH}_3)_2-(\text{CH}_2)_3-\text{SO}_3^-$ Хлорид додециламмония	0,003 0,0147	55

Факторы, влияющие на ККМ

Индифферентные добавки. Это те добавки, которые не вступают в химические реакции с головной группой ПАВ.

По характеру влияния на ККМ добавки можно разделить на следующие группы:

- добавки электролитов (влияние концентрации и валентности противоионов);
- добавки близких по составу ПАВ;
- добавки высших спиртов;
- добавки полярных органических соединений (метанола, диоксана, гликоля и др.);
- добавки неполярных углеводородов.

Факторы, влияющие на ККМ

Влияние электролитов.

Существенным фактором при введении добавок электролитов на ККМ является концентрация и валентность противоионов. Наблюдающиеся иногда небольшие изменения ККМ в присутствии различных противоионов объясняются:

- различием в их ионных радиусах,
- степени гидратации этих противоионов,
- различием в степени диссоциации самих электролитов

Имеется ряд противоионов, типа салицилат-ионов, которые резко снижают ККМ за счет увеличения объема мицелл

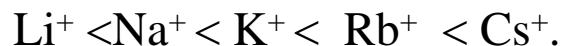
Закономерности (правила) коагулирующего действия электролитов

Правило размера коагулирующего иона:

коагулирующая способность иона при одинаковом заряде тем больше, чем больше его кристаллический радиус. Поэтому коагулирующая способность органических ионов больше по сравнению с неорганическими ионами.

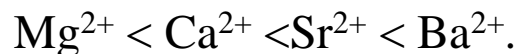
Ряды ионов, составленные в порядке уменьшения их способности связывать среду, называют **лиотропными рядами**, или **рядами Гофмейстера**

Одновалентные катионы можно поставить в следующий ряд по возрастающей адсорбционной способности:

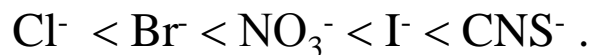


В этой же последовательности возрастает и их коагулирующая способность.

Для **двухвалентных катионов** этот ряд будет представлен следующими ионами:



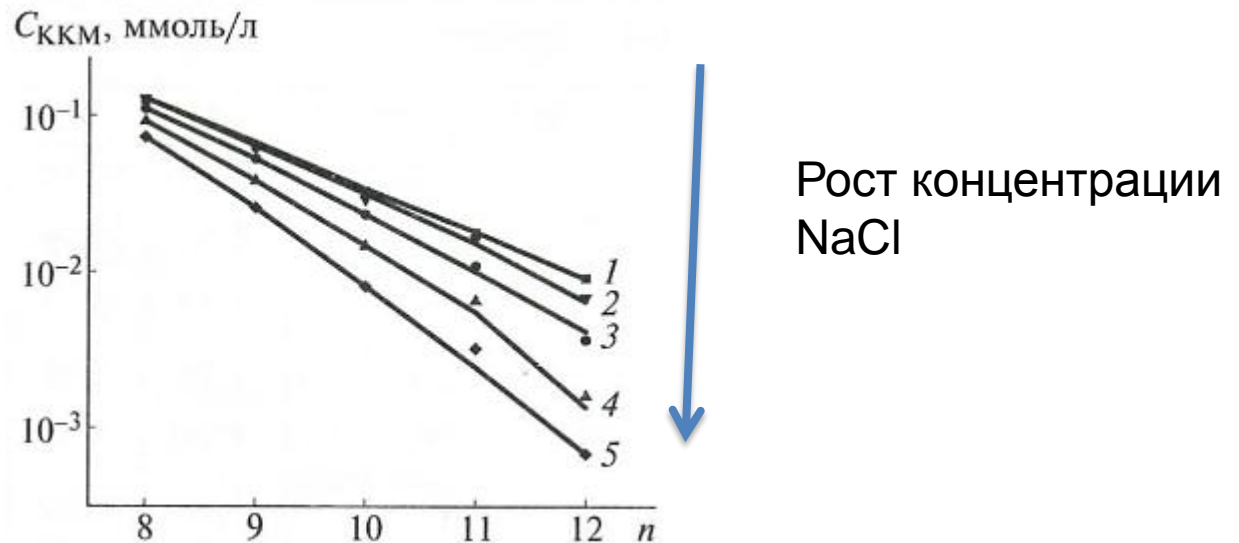
Одновалентные анионы по их возрастающей способности адсорбироваться располагаются в следующей последовательности:



Факторы, влияющие на ККМ

Влияние электролитов

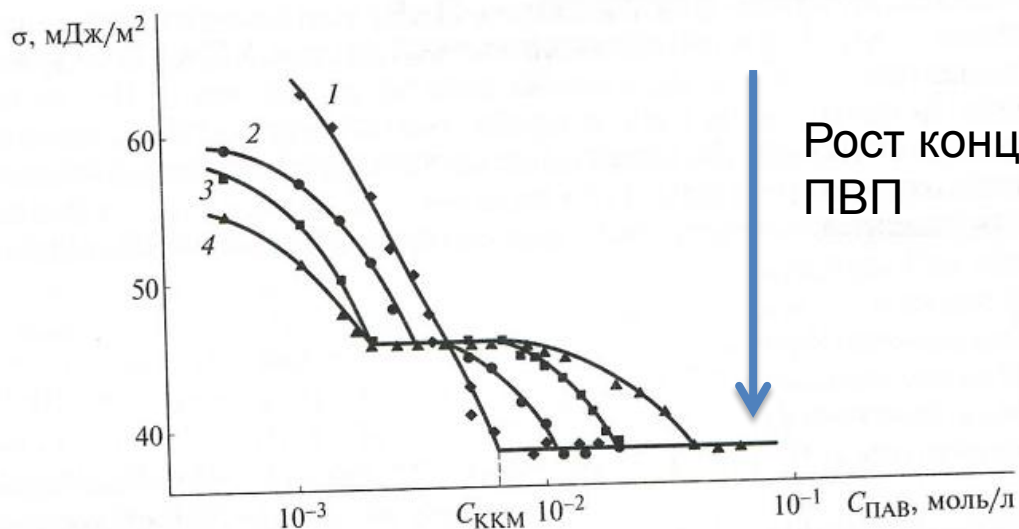
Наличие ионов в растворе снижает ККМ (высаливание).



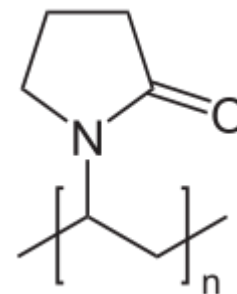
Уменьшение ККМ в растворах алкилсульфатов натрия при увеличении длины углеводородной цепи (n) и концентрации соли NaCl
[NaCl], mM: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 30; 4 – 100; 5 - 300

Факторы, влияющие на ККМ

Влияние органических соединений. в водные растворы ПАВ тоже приводит к изменению ККМ. При наличии солюбилизации устойчивость мицелл повышается, т.е. уменьшается ККМ. Если солюбилизация не наблюдается (т.е. молекулы неэлектролита не входят внутрь мицеллы), то они, как правило, увеличивают ККМ.



Рост концентрации
ПВП



поливинилпирролидон

Изотермы поверхностного натяжения растворов додецилсульфата натрия с разными добавками поливинилпирролидона в г/л:
1 – 0; 2 – 1; 3 – 3; 4 – 10.

Несколько ККМ!!!

Факторы, влияющие на ККМ

Добавки высших спиртов - при добавлении к неионному ПАВ (лаурат калия) спиртов, таких как бутанол, пропанол или гексанол приводит к **снижению ККМ**. Причем ККМ системы снижается линейно с увеличением концентрации спирта. Известно, что молекулы спирта проникают внутрь ориентированной структуры мицелл, образуя смешанную мицеллу.

Добавки углеводов. *Углеводороды типа* бензола или гептана способны сольбилизоваться внутри мицелл. Сольбилизованный углеводород при этом увеличивает объем мицеллы и слегка изменяет кривизну ее поверхности и относительные размеры.

Добавки диоксана, гликоля, метанола и других спиртов. влияние добавок этих растворимых неэлектролитов на ККМ очень мало. Только большие количества этих веществ могут изменить свойства среды, окружающей мицеллы, например ее растворяющую способность

Факторы, влияющие на ККМ

Влияние температуры. Важную роль в мицеллообразовании играет температурный фактор,

Влияние температуры на ККМ ионогенных ПАВ и неионогенных ПАВ различно.

ионогенные ПАВ

Повышение температуры приводит к увеличению ККМ ионогенного ПАВ из-за дезагрегирующего действия теплового движения, а также к уменьшению мицелл

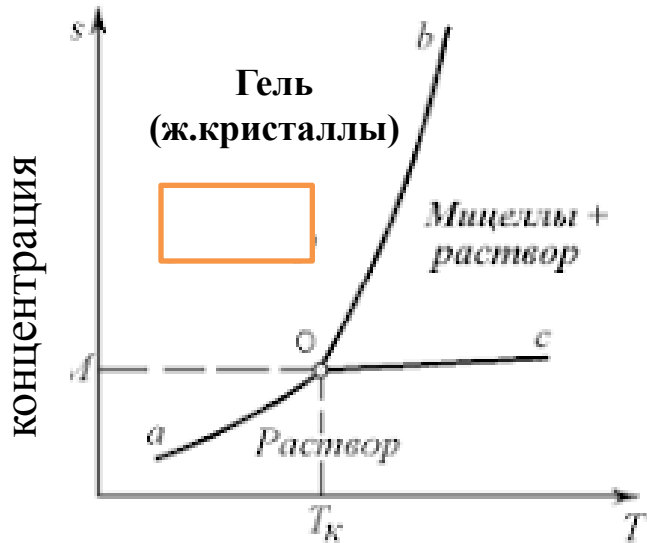
неионогенные ПАВ

Повышение температуры приводит к уменьшению ККМ неионогенного ПАВ за счет дегидратации оксиэтиленовых цепочек (неионогенные ПАВ всегда образованы полиоксиэтиленовыми цепочками и углеводородными «хвостами»)

Факторы, влияющие на ККМ

5. Температура

Кривая растворимости



Точкой Крафта называется температура, а точнее – узкий температурный интервал, в котором наблюдается резкий рост растворимости ПАВ, обусловленный образованием термодинамически устойчивого мицеллярного раствора

Факторы, влияющие на точку Крафта

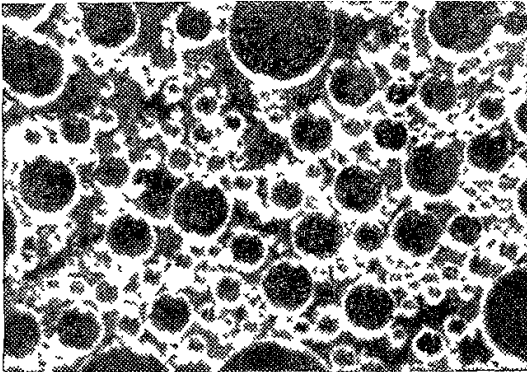
Для понижения точки Крафта:

1. Разветвленная углеродная цепь;
2. Ненасыщенные связи;
3. Оксиэтиленовый фрагмент в углеродной цепи рядом с полярным фрагментом.

1. Точка Крафта растет при увеличении n .
2. Добавление электролита повышает точку Крафта.
3. Для бромидов точка Крафта выше, чем для хлоридов и иодидов.
4. Точка Крафта выше для поливалентных противоионов

Эмульсии

Эмульсии – это микрогетерогенные системы, в которых дисперсная фаза и дисперсионная среда – две **взаимно нерастворимые жидкости**, состоящие из мельчайших капелек одной жидкости, размерами $10^{-6} - 10^{-4}$ м (дисперсная среда), распределенных в объеме другой жидкости (дисперсионной среды).

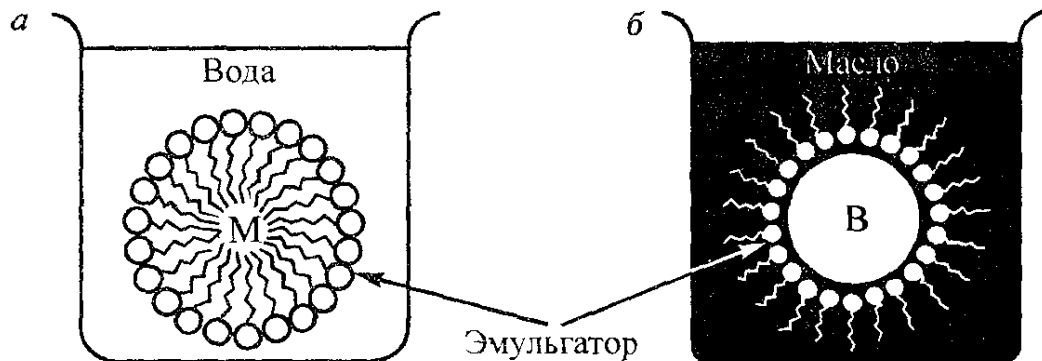


По **полярности фаз** эмульсии можно разделить на два типа:

- 1) эмульсии первого рода (или прямые эмульсии).;
- 2) эмульсии второго рода (или обратные эмульсии)

эмульсии первого типа

эмульсии второго типа

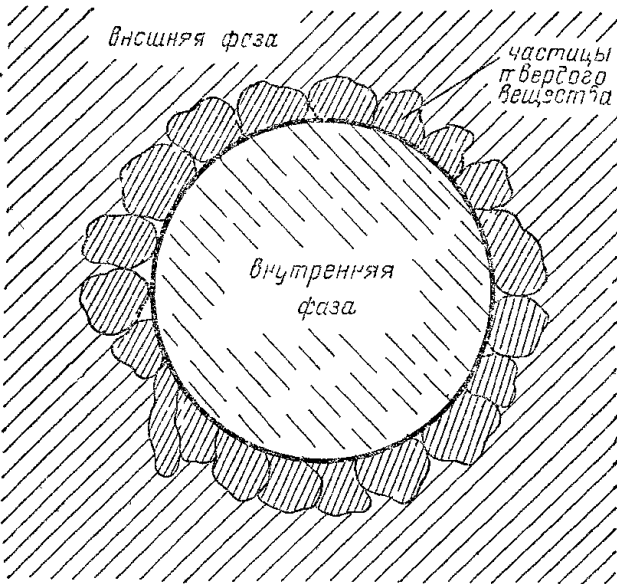


Дисперсная фаза - неполярная жидкость, которая называется «маслом». Дисперсионная среда - полярная жидкость, которой чаще всего является вода, а поэтому эта полярная жидкость в литературе получила название «вода». Поэтому прямые эмульсии (первого рода) получили название эмульсии «масло в воде» и обозначаются условно м/в.

Эмульсии любой полярной жидкости в неполярной – это обратные эмульсии (второго рода) и обозначаются условно в/м.

Эмульгаторы

Эмульсии относятся к лиофобным дисперсным системам, поэтому они требуют присутствия специального стабилизатора, который называется эмульгатором. Хорошими эмульгаторами являются ПАВ и некоторые высокомолекулярные соединения, дифильные молекулы которых, адсорбируясь на границе раздела масло/вода и ориентируясь в соответствии с правилом уравнивания полярностей, снижают межфазное натяжение. При этом вокруг мельчайших капелек дисперсной фазы образуется прочный слой из молекул эмульгатора, который увеличивает сродство дисперсной фазы к дисперсионной среде, то есть лиофилизует эмульсию. В качестве эмульгаторов возможно также использование тонкоизмельченных до мелкого порошка нерастворимых минералов: глины, гипса, сажи, оксидов и сульфидов некоторых металлов. Эмульгирующая способность порошков значительно меньше, чем растворимых эмульгаторов, и объясняется в основном созданием на поверхности капель структурно-механического барьера, ограждающего капли от слияния.



Эмульсии

Эмульгатор не только придает эмульсиям агрегативную устойчивость, а также определяет тип эмульсии.

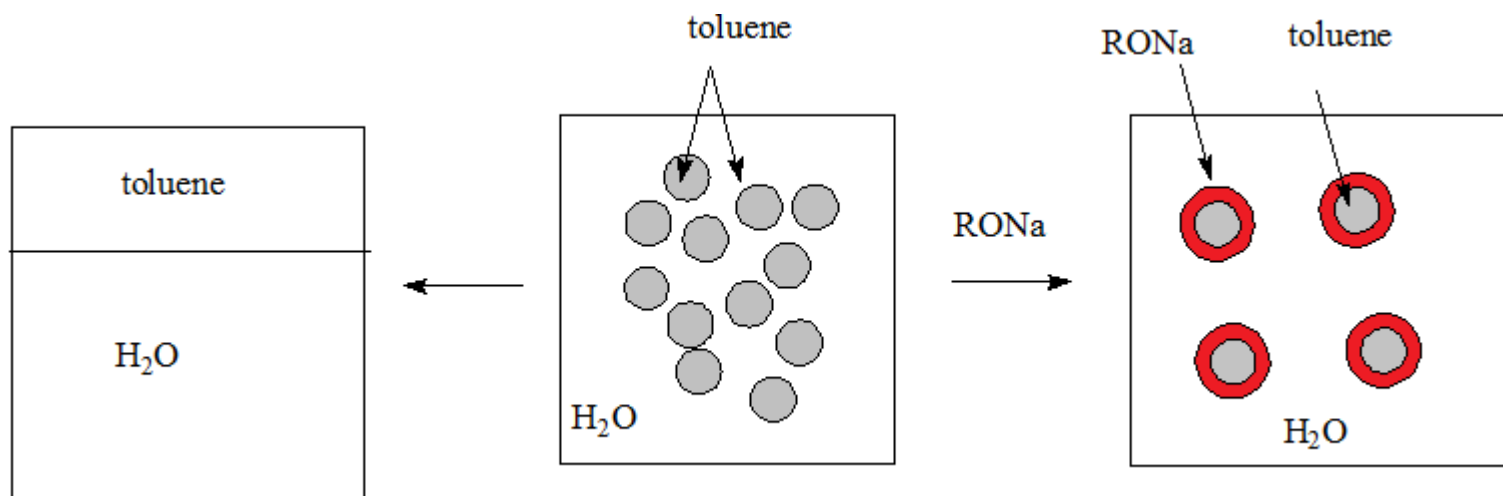
Правило Банкрофта.

Гидрофильные (водорастворимые) эмульгаторы образуют прямые эмульсии, а гидрофобные (водонерастворимые) эмульгаторы дают обратные эмульсии.

При образовании эмульсий дисперсионной средой становится та жидкость, которая лучше смачивает или растворяет эмульгатор.

Если эмульгатором является ПАВ, то свойства эмульгатора зависят от сбалансированности полярной и неполярной частей молекул ПАВ, т.е. амфифильные молекулы должны обладать примерно одинаковым сродством к полярным и неполярным средам. Только в этом случае молекулы ПАВ не будут преимущественно растворяться в одной из фаз, а сконцентрируются на поверхности их раздела и смогут выполнять роль стабилизатора (эмульгатора).

Эмульгаторами называются химические соединения или их смеси, которые позволяют образовывать стабильную во времени эмульсию. Роль эмульгатора заключается в создании стабильных мицелл, которые образуются на границе раздела фаз вода-масло. Частицы эмульгатора накапливаются на границе раздела этих фаз, создавая сферические структуры. За пределами сферы находятся гидрофильные головки с высоким сродством к водной фазе. Внутри мицелл же находятся липофильные хвосты — углеродные цепи.

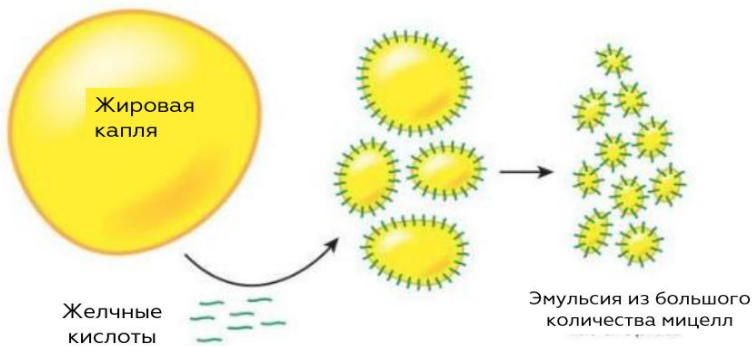


Эмульгаторы

Основные группы эмульгаторов:

пенообразователи – это вещества, которые способствуют смешиванию газообразных составов в твердые и жидкие пищевые продукты;

стабилизаторы пены – это составы, которые входят в жидкие взбитые продукты с целью предотвращения разложения пены;



В качестве составляющих пищевых продуктов часто применяются натуральные эмульгаторы: яичный белок и желток и сапонины, гидроколлоиды животного и растительного происхождения (желатин, ланолин, агар, пектин, лецитин, синтетические и полусинтетические полимеры (метилцеллюлоза, карбол)

липаза

Эмульгаторы

Природным эмульгатором является, например, **лецитин**, который диспергирует молекулы жира в водных растворах белков и углеводов. Вы можете найти его в яичном желтке. Благодаря ему при приготовлении майонеза горчица соединяется с растительным маслом. Лецитин является широко используемым эмульгатором в пищевой промышленности. Его добавляют в хлеб, маргарин, пирожные, печенье и шоколад. Его можно найти на этикетке пищевого продукта под символом **E322**.

Следующим пищевым эмульгатором являются **диглицериды жирных кислот и сложные эфиры жирных кислот, обозначенные символом E471**. Они используются для производства вафель, мороженого и соусов. Эти вещества получают из растительных и животных жиров. Они безопасны для здоровья, так как они усваиваются организмом и не вызывают негативных последствий после всасывания.

Существует определенно больше примеров эмульгаторов. Это также **агар, каррагинан, альгинаты**, полученные из морских водорослей, а также растительного происхождения **камедь** рожкового дерева, аравийская камедь или гуаровая камедь, которые широко используются в пище.

Методы определения типа эмульсии

- измерением электрической проводимости – для прямых эмульсий характерна высокая электрическая проводимость, а для обратных – низкая;
- смешением с избытком полярной или неполярной жидкости;
- окрашиванием водорастворимыми или жирорастворимыми красителями;
- по смачиванию, то есть растеканию капли эмульсии на гидрофобной или гидрофильной поверхности.

Принципы подбора ПАВ-эмульгатора по ГЛБ

Правила подбора ПАВ-эмульгатора:

- ПАВ должно обладать выраженной склонностью мигрировать к межфазной поверхности;
- Маслорастворимые ПАВ преимущественно образуют эмульсии «вода в масле», и наоборот;
- Устойчивые эмульсии часто образуются при использовании смеси гидрофильного и гидрофобного ПАВ;
- Чем более полярна масляная фаза, тем выше должна быть гидрофильность эмульгатора (и наоборот)

Выбор эмульгатора

Выбор эмульгатора можно производить, основываясь на его гидрофильно-липофильном балансе (ГЛБ).

ГЛБ (ПАВ)	Характеристика ПАВ	Применение
10 – 18	сильные гидрофильные свойства	стабилизируют прямые эмульсии, мыла щелочных металлов, алкилсульфаты, алкилсульфонаты)
3 – 8	преобладают гидрофобные свойства (мыла щелочноземельных и поливалентных металлов).	используют для получения эмульсий обратного типа

Классификация эмульсии по размеру

Различия между эмульсиями и микроэмульсиями

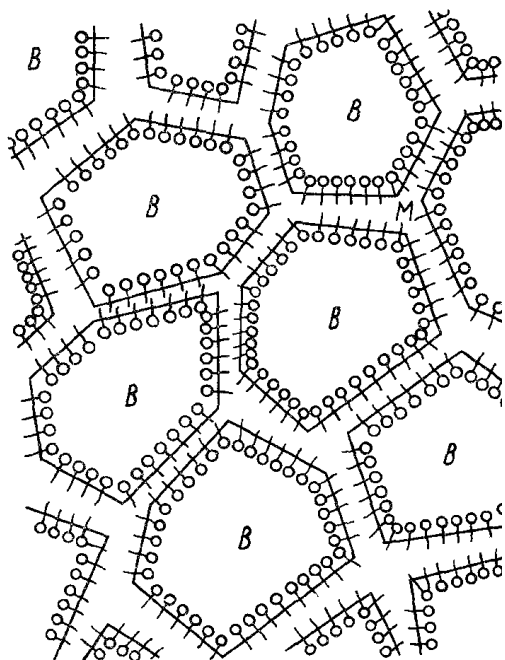
Эмульсии	Микроэмульсии
Самопроизвольно не образуются	Образуются самопроизвольно
Неустойчивы, расслаиваются с течением времени	Термодинамически устойчивые системы
Капли относительно большие (1-10 мкм)	Небольшие агрегаты (~10 нм)
Внутренняя поверхность относительно невелика, стабилизируется умеренным количеством ПАВ	Внутренняя поверхность очень большая, необходимо большое количество ПАВ
Кривизна межфазной поверхности небольшая	Межфазные пленки могут иметь большую кривизну
Как правило, непрозрачны	Прозрачны, могут слегка опалесцировать

Классификация эмульсий (зависимости от концентрации дисперсной фазы)

разбавленные эмульсии (до 0,1 % объемных);	концентрированные эмульсии (от 0,1 до 74 % объемных)	желатинированные эмульсии или кремы (более 74 % объемных)
<p>1) высокая дисперсность ($d \approx 10^{-5}$ см)</p> <p>2) эти эмульсии образуются без введения в систему специальных стабилизаторов (эмульгаторов).</p> <p>3) подчиняются правилу Шульце–Гарди</p>	<p>Концентрированные эмульсии получают диспергированием и их капельки имеют размеры $10^{-4} \div 10^{-5}$ см.</p> <p>Эти эмульсии легко седиментируют (низкая седиментационная устойчивость) и тем легче, чем больше разность плотностей дисперсной фазы и дисперсионной среды.</p>	<p>обладают определенными механическими свойствами (некоторая прочность, пластичность), сходными со свойствами гелей.</p>
<p>парфюмерные эмульсии, лекарственные составы.</p>	<p>Молоко, лимфа, нефть</p>	<p>сливочное масло, майонез</p>

желатинированные эмульсии

желатинированных эмульсий является взаимное деформирование капелек, в результате чего они приобретают форму полиэдров, разделенных тонкими пленками прослойки дисперсионной среды. Из-за плотной упаковки капелек в этих эмульсиях седиментация невозможна. Сами эмульсии этого типа обладают определенными механическими свойствами (некоторая прочность, пластичность), сходными со свойствами гелей.



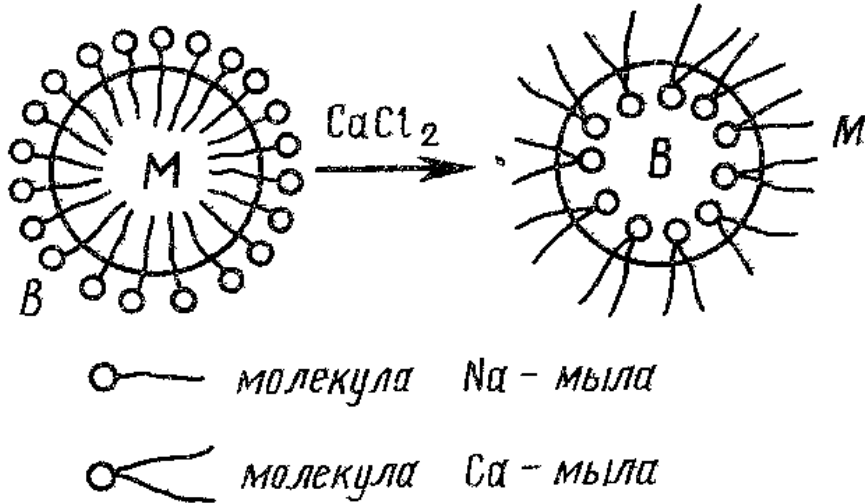
Поэтому высококонцентрированные эмульсии могут содержать дисперсной фазы до 99%. Дисперсионная среда в таких эмульсиях превращается в тонкие пленки, разделяющие дисперсную фазу на многогранники. Желатинированные эмульсии твердообразны: сохраняют свою форму, не растекаются.

Примером таких эмульсий могут служить сливочное масло, маргарин, майонез, густые кремы.

Высококонцентрированная
эмульсия
вода/масло

Обращение фаз эмульсий

Обращение фаз эмульсий – переход эмульсии из прямого типа в эмульсию обратного типа, и наоборот



Обращение фаз эмульсий вызывается различными способами:

- добавка эмульгатора противоположного действия (эмульгатора – антагониста),
- введение в эмульсию веществ, взаимодействующих с эмульгатором,
- добавка электролита,
- повышение концентрации дисперсной фазы.

Наиболее эффективным методом является изменение природы эмульгатора путем воздействия на него химическими реагентами. Например, если прямая эмульсия, стабилизированная Na-мылом (олеатом натрия), разрушается, а затем переходит в эмульсию обратного типа при добавлении раствора CaCl_2 по схеме

$2\text{RCOONa} + \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{расслоение эмульсии} \rightarrow \rightarrow (\text{RCOO})_2\text{Ca} + 2\text{NaCl}$,
то типичный эмульгатор для эмульсий прямого типа (Na-мыло) превращается в эмульгатор для эмульсий обратного типа (Ca-мыло)

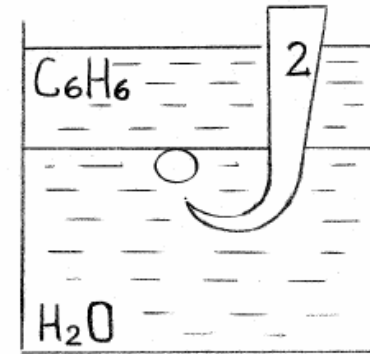
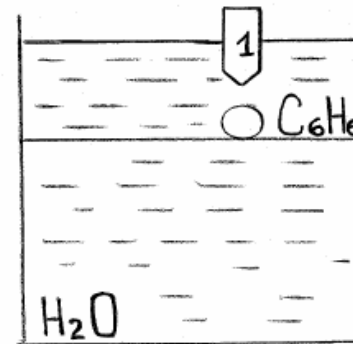
Агрегативную устойчивость эмульсий

можно оценивать по разным показателям:

- 1) скоростью расслоения;
- 2) временем жизни капелек в контакте друг с другом;
- 3) временем жизни капельки на межфазной поверхности.

В первом случае измеряют объем отстоявшейся дисперсионной среды или дисперсной фазы и выражают его в процентах от объема всей эмульсии. По этим данным строят кинетическую кривую $V = f(\tau)$, которая характеризует устойчивость эмульсии

Агрегативная устойчивость эмульсий определяется природой и количеством эмульгатора. Стабилизирующее действие эмульгатора связано с тем, что, адсорбируясь на поверхности раздела фаз, он понижает межфазное поверхностное натяжение σ и тем самым уменьшает запас свободной энергии F в дисперсной системе без уменьшения величины поверхности раздела фаз S .



1 – пипетка с водой; 2 – пипетка с бензолом

Определение времени жизни капли на поверхности раздела фаз

Процессы разрушения эмульсии

Для разрушения этих и других эмульсий используют самые разнообразные методы:

- введение поверхностно-активных деэмульгаторов;
- химическое связывание стабилизатора;
- изменение рН и электролитного состава среды для прямых эмульсий;
- нагревание и вымораживание;
- воздействие на эмульсии электрическими полями, теплом, ультразвуком

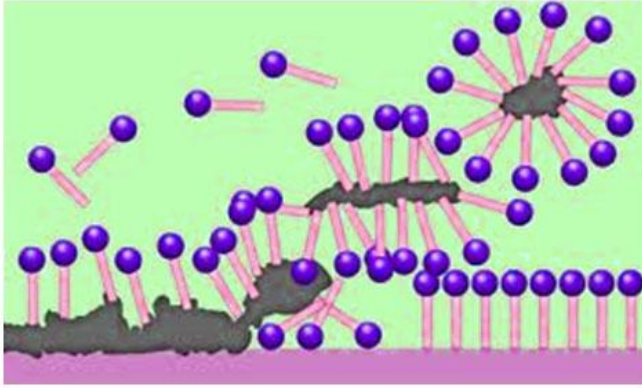
Эмульсии типа «масло в воде», полученные с применением *ионогенных ПАВ*, обычно разрушают с помощью коагуляции электролитами с многозарядными ионами. Эмульсии, стабилизированные *неионогенными ПАВ*, разрушаются труднее. Электролиты разрушают такие эмульсии только при больших концентрациях, когда происходит уже не коагуляция, а *высаливание*.

Процессы разрушения эмульсии типа М/В



Самопроизвольное разрушение эмульсий обычно отождествляют с процессом старения. Старение в свою очередь может проявляться через: коагуляцию (флокуляцию), расслоение и, наконец, коалесценцию, ведущую к окончательному разрушению эмульсии.

Солюбилизация



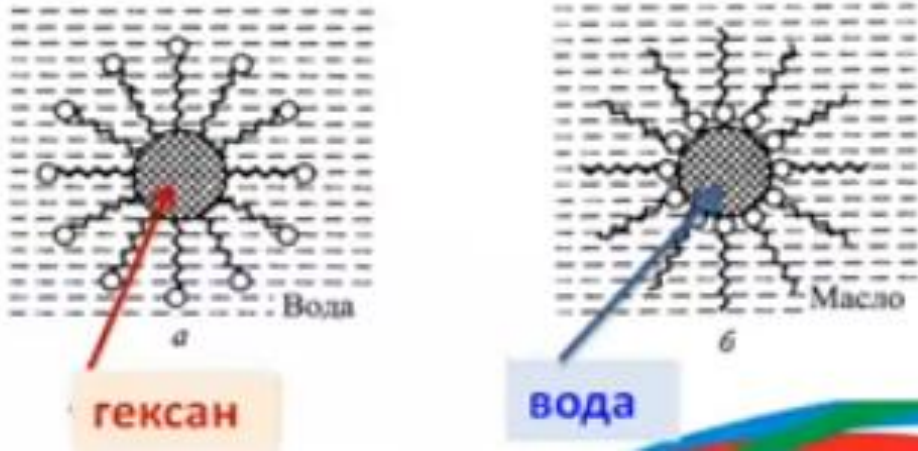
Солюбилизация – процесс включения в состав мицелл третьего компонента, нерастворимого или малорастворимого в дисперсионной среде и перевод его таким образом в раствор (не в истинный!).

Вещество, солюбилизированное раствором ПАВ - **солюбилизат**, ПАВ - **солюбилизатор**.

Солюбилизация - самопроизвольный процесс. В результате образуются устойчивые дисперсные системы.

Солюбилизация - важнейший фактор мощного действия ПАВ, играет большую роль в жизнедеятельности живых организмов, являясь одним из звеньев процесса обмена веществ.

Солубилизация



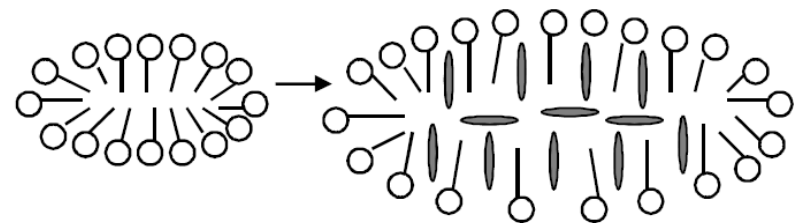
Солубилизация неполярных веществ в прямой мицелле вызывает ее удлинение с переходом, например, от эллипсоидной формы к цилиндрической.

Малополярные вещества (спирты с короткой углеводородной цепью) при солубилизации располагаются вблизи оболочки, при удлинении углеводородного радикала солубилизат перемещается в ядро мицеллы

Способ включения молекул солубилизата в мицеллы зависит от природы вещества:

-неполярные углеводороды располагаются в углеводородных ядрах мицелл,

-полярные - встраиваются в мицеллу между молекул ПАВ так, чтобы их полярные группы были обращены к воде.

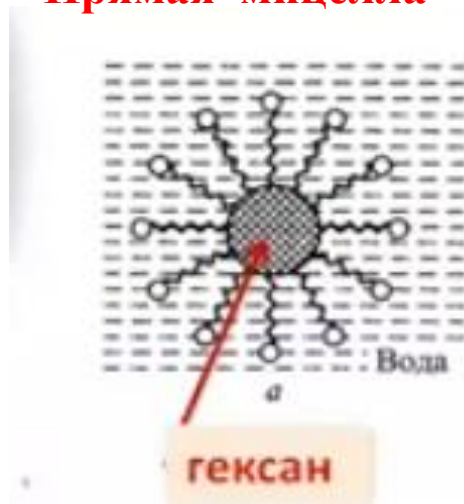


Деформация прямой мицеллы при солубилизации неполярной жидкости

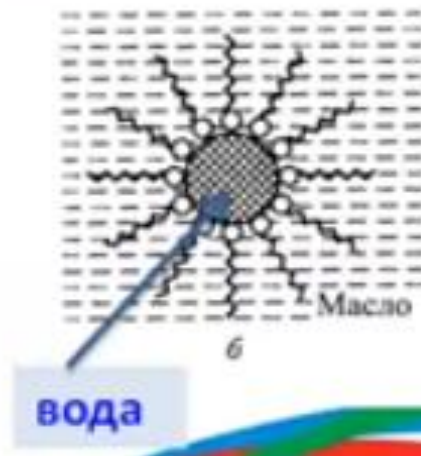
Солюбилизация

Внутренняя полость гидратированных обращенных мицелл характеризуется высокой концентрацией электрических зарядов. Вследствие этого локальное значение рН водной полости может существенно отличаться от величины рН солюбилируемого водного раствора.

Прямая мицелла



Обращенная мицелла



В неионных ПАВ кислотность внутренней полости мицелл практически не отличается от кислотности исходного водного раствора

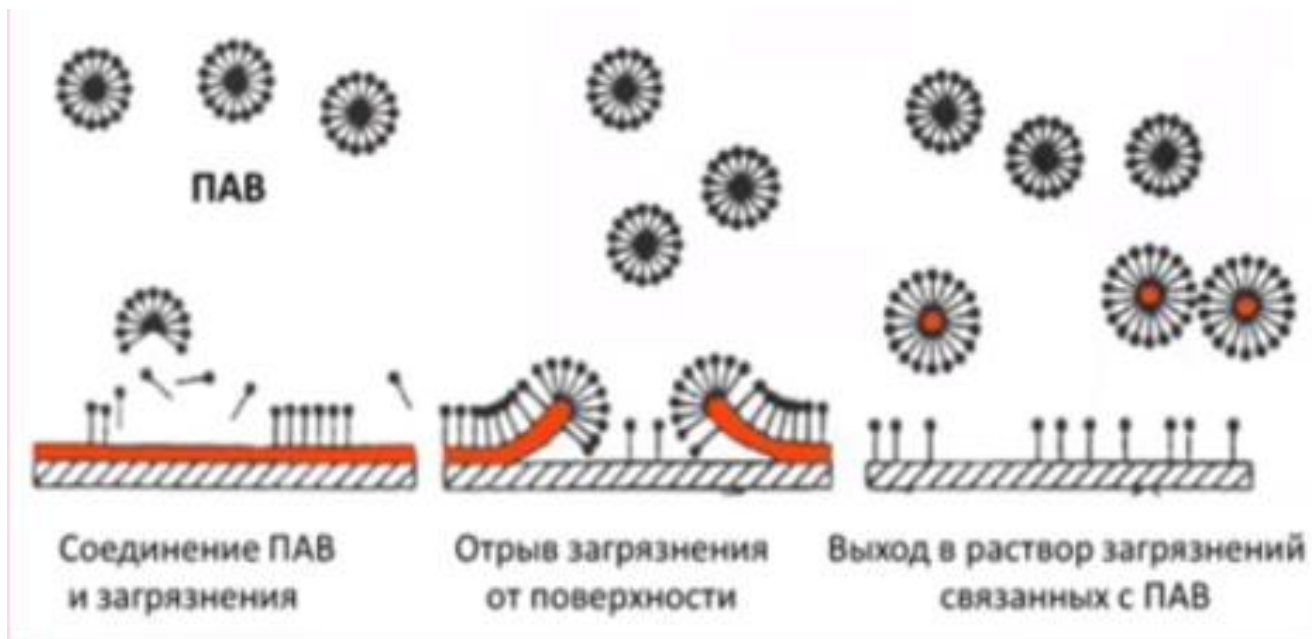
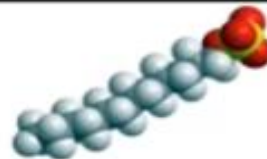
микросреда внутренней полости обращенных мицелл является в общем более кислой по сравнению с исходным водным раствором в случае анионного ПАВ и более щелочной — в случае катионного. Сдвиг рН составляет величину порядка 1—2 единиц

Солюбилизация

Количественной характеристикой солюбилизации служит **солюбилизационная емкость**, которая равна числу молей солюбилизата, приходящихся на один моль ПАВ, образующих данную мицеллу. Солюбилизационная емкость может быть достаточно большой. Так, растворимость углеводородов в воде незначительна, например, для октана она составляет 0,0015%, а в 10%-ном растворе олеата натрия растворимость увеличивается до 2% (более чем на три порядка). Солюбилизирующая способность мицелл и расположение солюбилизата в мицелле зависят от формы мицелл и природы солюбилизата.

Моющее действие ПАВ основано на

- ✓ **солюбилизации**
- ✓ **снижении поверхностного натяжения воды**
- ✓ улучшении смачиваемости поверхности
- ✓ адсорбции ПАВ и эффекте Ребиндера (расклинивающее давление)
- ✓ пенообразовании и флотации



Солюбилизация – процесс включения в состав мицелл третьего компонента, нерастворимого или малорастворимого в дисперсионной среде и перевод его таким образом в раствор (не в истинный!).

