

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра биохимии**

**Поверхностное натяжение  
биологических жидкостей**

*Методические указания  
к лабораторной работе по курсу “Биофизика”  
для студентов биологического факультета  
специальностей G.31.01.01 “Биология”, H.33.01.01 “Биоэкология”*

**МИНСК  
БГУ  
2004**

УДК 57.3(076.5)  
ББК 28.071я73  
Э45

Авторы-составители  
**М.М.Филимонов**  
**Д.А.Новиков**

Утверждено Ученым советом биологического факультета  
“\_\_” \_\_\_\_\_ 2004 г., протокол №\_\_

**Поверхностное натяжение биологических жидкостей:**

Э45 Метод. указания / Сост. М.М.Филимонов, Д.А.Новиков. –  
Мн. БГУ, 2004. – 20с.

В данном пособии изложены методические указания к лабораторным работам по разделу “Поверхностное натяжение биологических жидкостей” курса “Биофизика”. В пособие включены работы, связанные с исследованием поверхностного натяжения различных биологических жидкостей и влиянием на него поверхностно активных веществ. Предназначено для студентов биологического факультета специальностей “Биология”, “Биоэкология”.

УДК  
57.3(076.5)  
ББК 28.071я73

© БГУ, 2004

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Очень важной в физическом смысле особенностью структурной организации живых систем является чрезвычайное разнообразие развитых и динамически стабильных поверхностей раздела фаз. Сюда относятся, в первую очередь, разнообразные мембранные образования (клеточные, плазматические мембраны, мембраны митохондрий, лизосом, ядер и т.д.), а также поверхность стенок кровеносных сосудов, слизистые оболочки, кожные покровы. К примеру, площадь поверхности кожи человека достигает  $1,5 - 1,6 \text{ м}^2$ , площадь поверхности эритроцитов крови человека составляет  $2500 - 3800 \text{ м}^2$ , площадь поверхности капилляров печени – около  $400 \text{ м}^2$ , площадь поверхности альвеол – около  $1000 \text{ м}^2$  и т.д.

Студентам-биологам хорошо известно, что абсолютное большинство важнейших биохимических процессов в организме протекают на поверхностях биологических мембран, поэтому для понимания их механизма необходимо знание основных закономерностей, которым подчиняются поверхностные явления.

Настоящие методические указания являются практическим руководством для выполнения лабораторных работ по разделу “Физическая химия поверхностных явлений” курса “Биофизика”, читаемого студентам биологического факультета Белгосуниверситета.

# ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

## Общие сведения

*События, происходящие на границах раздела фаз, в основе которых лежат молекулярные взаимодействия, обусловленные особенностями состава и строения поверхностного (пограничного) слоя, называют поверхностными явлениями.*

Поверхностный слой, возникающий на границе раздела различных фаз, согласно Гиббсу, представляет собой промежуточную фазу толщиной в несколько молекулярных диаметров. В этом слое свойства сильно различаются от точки к точке (рис. 1). В ряде случаев поверхностный слой имеет толщину, примерно равную диаметру молекулы, и в этом случае его называют мономолекулярным.

Все поверхности раздела в зависимости от агрегатного состояния граничных фаз делятся на 2 типа:

- 1) подвижные поверхности раздела между жидкостью и газом (ж – г) и двумя несмешивающимися жидкостями (ж – ж);
- 2) неподвижные поверхности раздела между твердым телом и газом (т – г), твердым телом и жидкостью (т – ж), твердым телом и твердым телом (т – т).

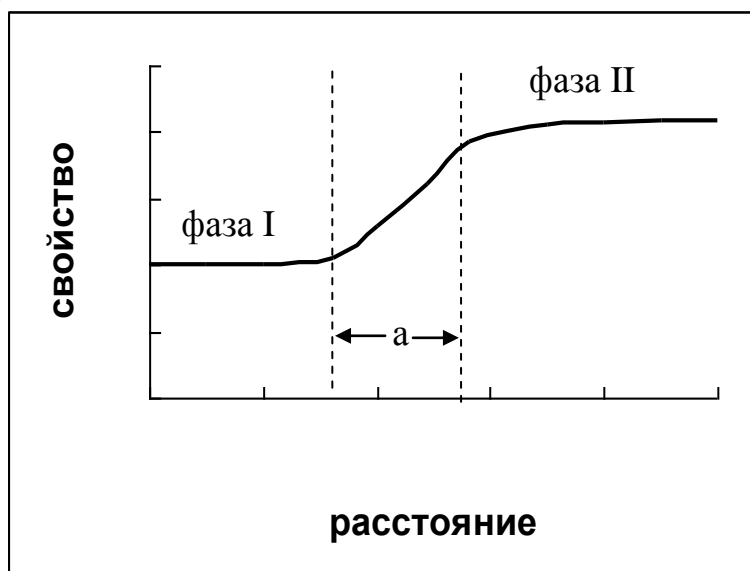


Рис. 1. Изменение свойств в пограничном слое (a – пограничный слой)

Площадь поверхности раздела ( $S$ ) при данной массе возрастает с уменьшением размеров частей, на которые разделяется система.

Влияние поверхности раздела фаз на свойства системы возрастает с увеличением величины удельной поверхности.

Удельной поверхностью фазы ( $S_{уд}$ ) называется величина, измеряемая суммарной площадью граничной поверхности фазы ( $S_{сум}$ ), отнесенной к ее объему ( $V$ ).

$$S_{уд} = S_{сум}/V \quad (1)$$

В частности, общую энергию Гиббса ( $G$ ) системы можно разделить на два слагаемых – энергию Гиббса объемной фазы ( $G_v$ ) и поверхностную энергию Гиббса ( $G_s$ ):

$$G = G_v + G_s \quad (2)$$

Энергия Гиббса объемной фазы пропорциональна ее массе, а следовательно, объему, занимаемому системой:

$$G_v = kV \quad (3)$$

Поверхностная энергия Гиббса системы пропорциональна площади межфазной поверхности:

$$G_s = \sigma S, \quad (4)$$

где  $G_s$  – поверхностная энергия Гиббса системы, Дж;  $\sigma$  – коэффициент пропорциональности, называемый поверхностным натяжением, Дж/м<sup>2</sup>;  $S$  – площадь межфазной поверхности, м<sup>2</sup>.

Поверхностное натяжение ( $\sigma$ ) есть величина, измеряемая энергией Гиббса, приходящейся на единицу площади поверхностного слоя. Она численно равна работе ( $A$ ), которую необходимо совершить для образования единицы поверхности раздела фаз при постоянной температуре ( $\sigma = A/S$ ).

С учетом (3) и (4) уравнение (2) принимает вид:

$$G = kV + \sigma S, \quad (5)$$

$$G/V = k + \sigma S_{уд} \quad (6)$$

Из этого уравнения (6) следует, что энергия Гиббса в расчете на единицу объема системы возрастает с увеличением удельной поверхности системы. При малых значениях удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) можно пренебречь поверхностной энергией Гиббса системы. При больших значениях  $S_{уд}$  необходимо учитывать поверхностную энергию Гиббса.

Живые организмы представляют собой системы с очень развитыми поверхностями раздела, к которым относятся кожные покровы, поверхность стенок кровеносных сосудов, слизистые оболочки, клеточные мембраны, мембраны ядер, митохондрий, лизосом и т.д.

Многие жизненно важные биохимические процессы в организме протекают на поверхностях раздела фаз, поэтому для понимания их механизма необходимо знание основных закономерностей, которым подчиняются поверхностные явления.

## ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА ЖИДКОСТЬ – ГАЗ, ЖИДКОСТЬ – ЖИДКОСТЬ.

Молекулы, атомы, ионы, находящиеся на поверхности раздела фаз, не равноценны по своему положению таким же частицам, находящимся в глубине фазы (рис. 2).

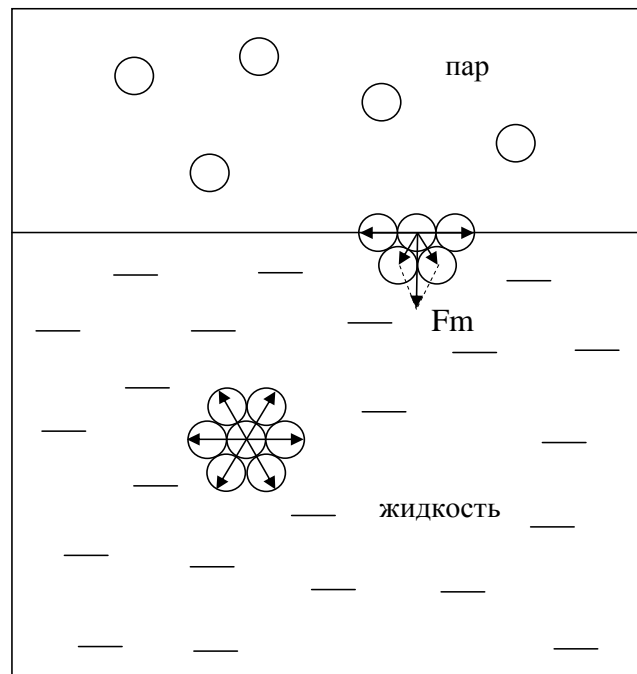


Рис. 2. Межмолекулярные силы, действующие на молекулу в поверхностном слое и в объеме жидкости (пояснения в тексте).

Молекулы, находящиеся внутри жидкости, окружены со всех сторон подобными. Силы, действующие на них со всех сторон, одинаковы, и равнодействующая этих сил (F) равна нулю. У молекул, находящихся на границе раздела фаз, силы, действующие со стороны жидкой и газообразной фаз, не одинаковы. Молекулярные взаимодействия в вертикальном направлении не уравновешены. Вследствие этого равнодействующая молекулярных сил F не равна нулю и направлена вглубь жидкой фазы. При выходе молекул на поверхность совершается работа (A) против этой силы. В результате возникает поверхностный слой молекул с избыточной поверхностной энергией Гиббса.

Как видно из табл. 1, поверхностное натяжение у различных жидкостей колеблется в значительных пределах и зависит от природы жидкости, ее температуры, давления, а для растворов и от концентрации растворенных веществ.

Таблица 1

Способы выражения поверхностного натяжения ( $\sigma$ ) различных жидкостей на границе с воздухом при 293<sup>0</sup>К

Вещество	$\sigma = A/S$		
	$\sigma = F/l$ (Н/м)	$\sigma = G/S$ (Дж/м <sup>2</sup> )	$\sigma = P/2\pi r$ (Дин/см)
Вода	0,0728	0,0728	72,75
Глицерин	0,0647	0,0647	63,4
Уксусная кислота	0,0276	0,0276	27,63
Оливковое масло	0,033	0,033	33,06
Хлороформ	0,0271	0,0271	26,0
Этанол	0,0223	0,0223	22,27
Метанол	0,0226	0,0226	23,0
Этиловый эфир	0,0171	0,0171	16,96
Сыворотка крови	0,0454	0,0454	45,42
Бензол	0,0294	0,0294	28,88
Желчь	0,048	0,048	48,31
Молоко	0,05	0,05	50,23
Ртуть	0,47	0,436	465,0

F – равнодействующая сил на молекулу, находящуюся на границе раздела фаз;

G – поверхностная энергия Гиббса системы жидкость – газ;

P – истинная сила отрыва твердого контура (в динах);

l – расстояние (м);

r – наружный радиус платинового кольца (см).

Поверхностное натяжение на границе жидкость – газ возрастает с увеличением взаимодействия между молекулами жидкости.

Поверхностное натяжение жидкостей уменьшается с ростом температуры и вблизи критической температуры становится равным нулю (исчезает поверхность раздела фаз).

С увеличением давления поверхностное натяжение на границе жидкость – газ уменьшается, так как возрастает концентрация молекул в газовой фазе и сила  $F$  уменьшается.

## Поверхностная активность

Растворенные вещества могут повышать, понижать или практически не влиять на поверхностное натяжение жидкостей.

*Способность растворенных веществ изменять поверхностное натяжение растворителя называется поверхностной активностью.*

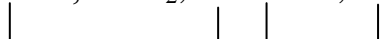
Растворенные вещества, понижающие поверхностное натяжение, получили название поверхностно-активных веществ (ПАВ). По отношению к воде поверхностно-активными веществами являются многие органические соединения, например, спирты и кислоты алифатического ряда, сложные эфиры, белки и др.

Если растворенное вещество повышает поверхностное натяжение (пусть незначительно), то оно именуется поверхностно-инактивным (ПИВ). По отношению к воде поверхностно-инактивными веществами являются неорганические кислоты, основания, соли и также органические соединения, как глицерин,  $\alpha$ -аминокислоты и др.

Наконец, поверхностно-неактивными (ПНВ) называют растворенные вещества, которые практически не изменяют поверхностного натяжения растворителя. По отношению к воде таким веществом является, например, сахароза и ряд других веществ.

В биологических системах наибольший интерес представляют главным образом ПАВ.

Чтобы вещество обладало способностью понижать поверхностное натяжение воды, необходимо, чтобы молекулы этого вещества состояли из неполярной (гидрофобной) углеводородной части (“хвост”) и полярной (гидрофильной) группы (“голова”). Такие вещества иногда называют дифильными. К полярным группам относятся, например,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{O}-\text{C}=\text{O}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{N}-\text{C}=\text{O}$ ,  $-\text{SO}_3$  и др.





Схематически строение молекулы ПАВ изображено на рис. 3.

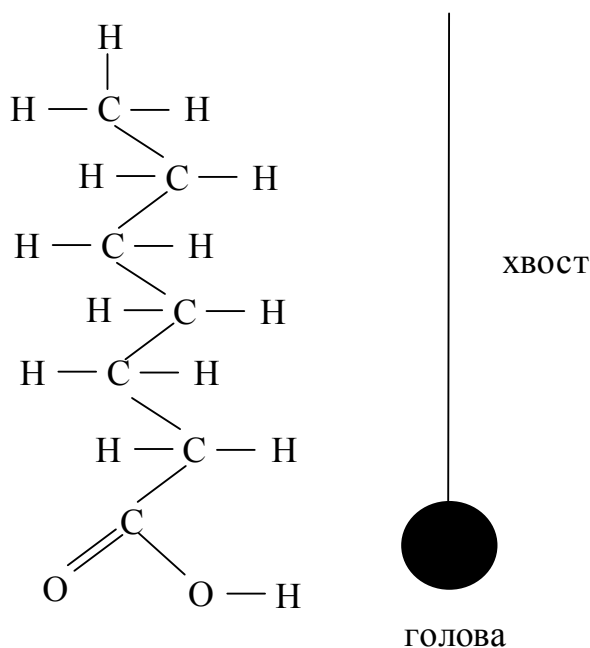


Рис. 3. Модель молекулы ПАВ на примере гептановой кислоты.

С ростом концентрации ПАВ поверхностное натяжение понижается.

Поверхностная активность зависит от природы ПАВ.

*Согласно правилу Дюкло-Траубе поверхностная активность вещества одного и того же гомологического ряда возрастает приблизительно в 3 раза при увеличении углеводородной цепи на одну метиленовую группу (-CH<sub>2</sub>-).*

В ряде случаев биологическая активность (наркологическое действие, бактерицидность и др.) веществ одного и того же гомологического ряда возрастает

с увеличением их поверхностной активности, т. е. в соответствии с правилом Дюкло-Траубе.

ПАВ применяют в хирургии в качестве антисептиков. Антимикробное действие ПАВ связывают с их влиянием на проницаемость клеточных мембран, а также ингибирующим действием на ферментативные системы микроорганизмов.

Принято различать статическое и динамическое поверхностное натяжение.

Динамическое поверхностное натяжение характеризует только что образованную поверхность раздела, состав которой тождественен всей толще раствора.

Статическое поверхностное натяжение характеризует поверхность раздела при наступлении адсорбционного равновесия.

У абсолютно чистых жидкостей (вода, бензол, абсолютный этанол и др.) поверхностный слой и вся толща жидкой фазы вполне равноценны по своему составу. Поверхностное натяжение подобного рода жидкостей с течением времени не изменяется. Иначе говоря, у таких жидкостей значения статического и динамического поверхностного натяжения совпадают. Напротив, у растворов поверхностно активных веществ поверх-

ностный слой имеет свойства, близкие всей толще жидкой фазы, только в момент формирования поверхности раздела. Тотчас же после образования поверхности начинается адсорбция поверхностно-активных веществ, заканчивающаяся спустя известный промежуток времени адсорбционным равновесием.

Поскольку поверхностно-активные вещества понижают поверхностное натяжение, постольку в растворах таких веществ статическое поверхностное натяжение всегда ниже динамического.

В некоторых биологических жидкостях имеют место особые взаимоотношения между динамическим и статическим поверхностным натяжением. Например, плазма и сыворотка крови обладают свойством восстанавливать исходную величину поверхностного натяжения, уменьшившуюся в результате добавления ПАВ (рис. 3). Такая способность растворов восстанавливать исходную величину поверхностного натяжения называется поверхностной буферностью.

Поверхностная буферность сыворотки объясняется присутствием в ней ионов кальция. Последние, реагируя с поверхностно-активными жирными кислотами, образуют с ними нерастворимые соли, неспособные уже изменять величину поверхностного натяжения.

Немалую роль в поддержании постоянства поверхностного натяжения плазмы и сыворотки крови играют содержащиеся в них белки, которые адсорбируют поверхностно-активные вещества.

Таким образом, благодаря наличию белков и ионов кальция плазма и сыворотка крови сохраняют относительное постоянство величины поверхностного натяжения, резко изменяющейся только в случае тяжелых заболеваний (например, при желтухе вследствие попадания большого количества желчных кислот в кровяное русло).

При изучении поверхностной буферности системы необходимо проследить кинетику перехода динамического поверхностного натяжения в статическое после добавления к раствору поверхностно-активного вещества. Любой раствор, обладающий поверхностной буферностью, должен постепенно восстанавливать исходную величину поверхностного натяжения, понизившегося под влиянием поверхностно-активного вещества. Следовательно, для построения кривой, характеризующей поверхностную буферность раствора необходимо измерить его поверхностное натяжение до прибавления поверхностно-активного вещества ( $P'_{\text{исх.}}$ , рис. 3), немедленно после прибавления (ПАВ ↓, рис. 3) и через некоторые промежутки времени, вплоть до установления равновесия (кривая 1, рис.

3), т. е. до тех пор, пока значение поверхностного натяжения не перестанет изменяться.

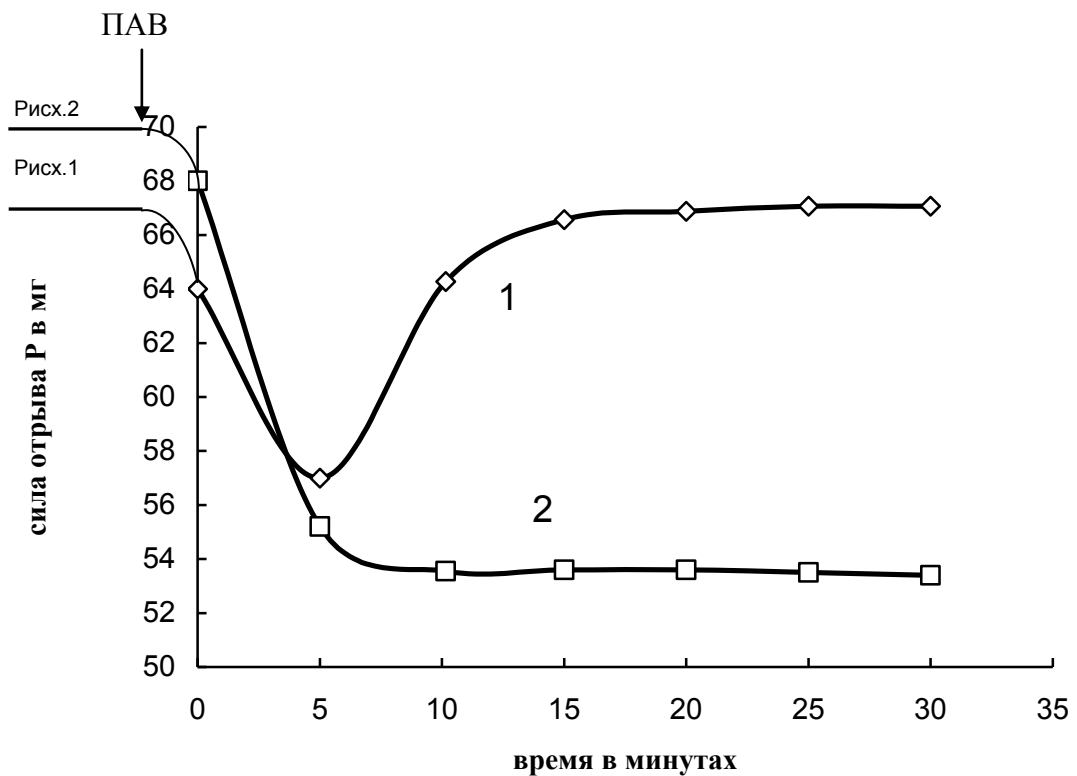


Рис. 3. Поверхностно-активная буферность сыворотки крови:  
 1 – изменение поверхностного натяжения сыворотки при добавлении олеата натрия;  
 2 – то же для воды.

### Измерение поверхностного натяжения биологических жидкостей

Измерение поверхностного натяжения плазмы, сыворотки, мочи и спинномозговой жидкости имеет существенное значение для диагностики ряда заболеваний

Существует ряд методов определения поверхностного натяжения жидкостей: капельный, или сталагмометрический, метод; метод капиллярного поднятия жидкостей; метод пульсирующих струй; метод наибольшего давления пузырька (капли); метод отрыва твердого контура и т. д.

В биологии для определения поверхностного натяжения используют метод наибольшего давления пузырька (метод акад. П.А. Ребиндера). Наряду с этим часто применяется метод дю Нуи, основанный на измерении силы, необходимой для отрыва твердого контура (кольца) от поверхности слоя жидкости. Метод отличается простотой и быстротой проведения измерений, не требует больших количеств жидкости и особенно удобен при изучении динамики поверхностного натяжения в растворах, содержащих поверхностно-активные вещества. С этим методом Вам и предстоит ознакомиться при проведении лабораторных работ.

Недостатком метода является невозможность учета влияния смачивания кольца при соприкосновении последнего с растворами белковых и других высокомолекулярных веществ, что может привести к появлению ошибок. Для избежания этого требуется большая аккуратность проведения измерений и постановка соответствующих контрольных опытов.

## Проведение работы

Определение поверхностного натяжения методом дю Нуи связано с проведением взвешивания на торзионных (крутильных) весах (см. инструкцию по взвешиванию на торзионных весах).

При определении поверхностного натяжения воды твердый контур (далее “кольцо”), предварительно очищенный прокаливанием или промывкой в этиловом спирте, берется за дужку анатомическим пинцетом и подвешивается на крючок торзионных весов. Кольцо тщательно взвешивается, после чего весы арретируются без возвращения указателя к нулю (рис. 4).

Исследуемую жидкость (в данном случае воду) в количестве 0,5 – 1 см<sup>3</sup> наливают на тщательно вымытое и сухое часовое стекло, которое помещают на подъемный столик.

С помощью кремальеры подъемного столика часовое стекло поднимают до тех пор, пока поверхность жидкости не соприкоснется с кольцом (“топить” кольцо в жидкость не следует). После этого освобождают коромысло весов и медленно поворачивают рычаг натяжения, пока кольцо не оторвется от жидкости. Во время этой манипуляции надо все время следить за кольцом и прекратить движение рычага точно в момент отрыва кольца.

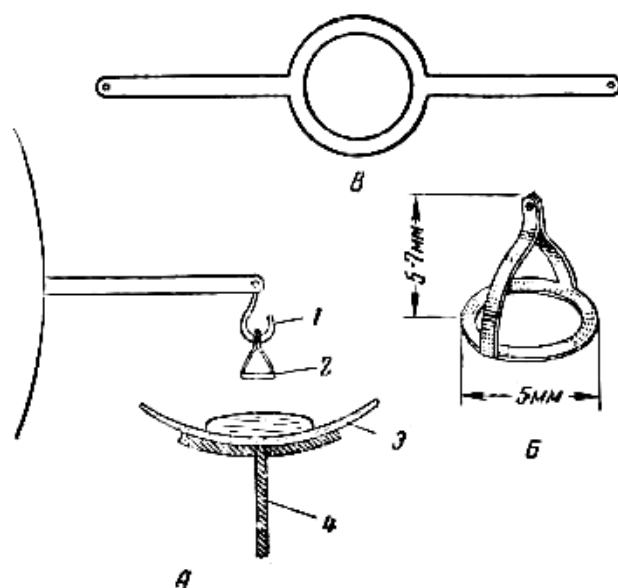


Рис. 4 Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца.  
 А – Схема установки:  
 1 – крючок; 2 – кольцо; 3 – часовое стекло; 4 – подъемный столик.  
 Б и В – платиновое кольцо (увеличено).

Записав полученные данные, быстро опускают подъемный столик и взвешивают кольцо вместе с прилипшей к нему жидкостью. Истинную силу отрыва кольца определяют по формуле:

$$P = P_1 - P_2, \quad (7)$$

где  $P$  – истинная сила отрыва кольца;  $P_1$  – сила отрыва определенная в опыте;  $P_2$  – вес кольца с прилипшей к нему жидкостью.

Поверхностное натяжение воды определяется по формуле:

$$\sigma = P/2\pi r, \quad (8)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение воды (дин/см);  $P$  – истинная сила отрыва (дин);  $r$  – наружный радиус платинового кольца (см).

Для того чтобы выразить  $P$  в динах, следует данные, полученные в опыте и рассчитанные по формуле (7), разделить на 1000, для перевода миллиграммов в граммы и умножить на 981 ( $1 \text{ г} = 981 \text{ дин}$ ). Поэтому в работе удобнее пользоваться формулой (8) в несколько измененном виде

$$\sigma = P \times 981 / \pi D \times 1000 = P \times 0,981 / \pi D. \quad (8a)$$

Радиус платинового кольца заменяется его диаметром (D) во избежание лишних арифметических операций, так как непосредственно в опыте приходится измерять именно диаметр кольца. Ввиду того, что кольца не всегда имеют правильную форму, следует измерять диаметр 3 – 4 раза в разных направлениях и брать для расчетов среднюю арифметическую величину.

Нельзя забывать, что температура оказывает очень большое влияние на величину поверхностного натяжения и что полученные в опыте результаты справедливы для данной температуры. Поэтому при проведении измерений следует тщательно отмечать температуру.

Для определения поверхностного натяжения различных жидкостей опыт проводят в том же порядке, что и при определении поверхностного натяжения воды. Однако расчеты значительно отличаются от расчетов для воды.

Уравнение (8) справедливо только для воды. Зависимость между силой отрыва и величиной поверхностного натяжения для других жидкостей, в особенности для плохо смачивающих кольцо, оказывается более сложной.

Для того чтобы определить поверхностное натяжение исследуемой жидкости, прежде всего вычисляют отношение силы отрыва кольца от данной жидкости к силе отрыва кольца от воды при данной температуре:

$$Q_{\text{найден.}} = P_x / P_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (9)$$

где  $Q_{\text{найден.}}$  - отношение силы отрыва кольца от данной жидкости ( $P_x$ ) к силе отрыва кольца от воды ( $P_{\text{H}_2\text{O}}$ ).

$Q_{\text{найден.}}$  связано с относительным поверхностным натяжением данной жидкости\* зависимостью, которая может быть выражена уравнением:

$$Q_{\text{истин.}} = (Q_{\text{найден.}} \times K) - K + 1, \quad (10)$$

где:  $Q_{\text{истин.}}$  – относительное поверхностное натяжение данной жидкости ;  $Q_{\text{найден.}}$  – определяется из уравнения (9);  $K$  – эмпирическая константа, определяемая для каждого кольца (способ определения константы  $K$  в опыте см. ниже).

---

\* Относительным поверхностным натяжением называется отношение поверхностного натяжения данной жидкости к поверхностному натяжению воды.

Как уже было указано,  $Q_{\text{истин.}}$  равно отношению абсолютного поверхностного натяжения данной жидкости к абсолютному поверхностному натяжению воды, т. е.

$$Q_{\text{истин.}} = \sigma_x / \sigma_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (11)$$

где  $\sigma_{\text{H}_2\text{O}}$  – коэффициент поверхностного натяжения воды в дин/см;  $\sigma_x$  – коэффициент поверхностного натяжения исследуемой жидкости.

Из уравнения (11) следует:

$$\sigma_x = \sigma_{\text{H}_2\text{O}} \times Q_{\text{истин.}},$$

т. е. искомая величина найдена.

**Определение константы кольца.** Для определения константы кольца удобно пользоваться простым экспериментальным методом. Согласно этому методу определяют силу отрыва данного кольца от воды и от какой-либо другой жидкости, абсолютное поверхностное натяжение которой можно найти в таблицах. Чаще всего для этой цели применяется этиловый спирт (96°).

Вывод уравнения для вычисления константы «К» проводится следующим образом:

т. к.  $Q_{\text{истин.}} = (Q_{\text{найден.}} \times K - K) + 1,$  (10)

то, вынося за скобки К, получаем:

$$Q_{\text{истин.}} = K(Q_{\text{найден.}} - 1) + 1$$

отсюда  $Q_{\text{истин.}} - 1 = (Q_{\text{найден.}} - 1) \times K$

$$\text{или } K = \frac{Q_{\text{истин.}} - 1}{Q_{\text{найден.}} - 1} \quad (12)$$

Подставляем в уравнение (12) значения  $Q_{\text{истин.}}$  (11) и  $Q_{\text{найден.}}$  (9), и получим:

$$K = \frac{\sigma_x / \sigma_{\text{H}_2\text{O}} - 1}{P_x / P_{\text{H}_2\text{O}} - 1}. \quad (13)$$

Значение  $\sigma_x$  (коэффициент абсолютного поверхностного натяжения спирта или другой взятой для определения жидкости при температуре опыта, дин/см) заимствуем из табл. 1.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

**Необходимые принадлежности.** Торзионные весы. Подъемный столик с кремальерой (или универсальный штатив). Часовые стекла. Платиновое кольцо. Глазной анатомический пинцет. Спиртовка или газовая горелка. Фарфоровый тигель. Треножник с асбестовой сеткой. Пипетки на 1 – 2 см<sup>3</sup>. Бюксы на 10 см<sup>3</sup>. Растворы: физиологический раствор поваренной соли; рингеровский раствор; 0,1% раствор олеата натрия. Дистиллированная вода (бидистиллированная). Этиловый спирт. Бензол. Глицерин. Ацетон. Скипидар. Этиловый эфир.

### Лабораторная работа № 1

#### Определение коэффициентов поверхностного натяжения различных жидкостей

**Упражнение 1.** Определение коэффициента поверхностного натяжения воды.

Определяется поверхностное натяжение дистиллированной воды методом, описанным выше (стр. 11). При работе следует тщательно следить за чистотой часового стекла и пипетки для набирания воды, так как малейшие загрязнения сильно сказываются на результатах измерений.

**Упражнение 2.** Определение константы кольца.

Для определения константы кольца описанным выше экспериментальным методом (стр. 14) применяют дистиллированную воду и этиловый 96 – градусный спирт. Коэффициент абсолютного поверхностного натяжения спирта находят из табл. 1 (стр. 6).

**Упражнение 3.** Определение коэффициентов поверхностного натяжения различных жидкостей.

Описанным выше способом определяют поверхностное натяжение ацетона, бензола, глицерина и этилового эфира.



Для каждого определения следует брать чистые часовые стекла, а кольцо прокаливать для очистки в фарфоровом тигле, который во время работы надо все время держать на огне (исследуемые жидкости во избежание воспламенения держать дальше от огня)\*. При работе с эфиром ввиду его быстрого испарения вместо часового стекла лучше брать небольшой бюкс и наливать в него 10 – 15 см<sup>3</sup> эфира. Все остальные жидкости, как и воду, можно исследовать в количествах 0,5 – 1 см<sup>3</sup>.

Результаты измерений в упражнениях 1 – 3 заносятся в таблицу:

Жидкость	Сила отрыва кольца (P <sub>1</sub> )	Вес кольца с прилипшей жидкостью (P <sub>2</sub> )	Истинная сила отрыва (P)	Q <sub>найден.</sub>	σ, Дин/см

\* вместо прокаливания кольца перед измерением поверхностного натяжения каждой жидкости можно тщательно промыть кольцо эфиром или этанолом, а затем дистиллированной водой.

## Лабораторная работа № 2

### Влияние поверхностно-активных веществ (ПАВ) на поверхностное натяжение биологических жидкостей

**Упражнение 1.** Влияние ПАВ на поверхностное натяжение (сила отрыва кольца – P) физиологического и рингеровского растворов.

На часовое стекло помещают 0,5 см<sup>3</sup> раствора Рингера для холоднокровных и определяют его поверхностное натяжение (силу отрыва – P) описанным выше способом. Определение проводят 2 раза с интервалом 3 – 5 мин. После этого к раствору на часовом стекле добавляют одну каплю 0,1 % раствора олеата натрия и тот час же после добавления определяют силу отрыва кольца. Следующие определения силы отрыва кольца производят через 1, 3, 5, 10, 15, 20 мин после приливания олеата натрия к рингеровскому раствору.

Аналогичным образом проводят опыт с физиологическим раствором для холоднокровных.

На основании полученных данных строят кривые, отражающие изменения поверхностного натяжения со временем. На оси абсцисс

откладывают время в минутах, на оси ординат – значения силы отрыва кольца в мг (по аналогии с рис. 3).

Проанализировав полученные результаты эксперимента, необходимо сделать заключение о характере и причинах различий в динамике изменений поверхностного натяжения исследуемых жидкостей после добавления ПАВ.

**Упражнение 2.** Исследование поверхностно-активной буферности плазмы крови.

Опыт проводится в том же порядке, что и в упражнении 1. Сначала измеряется исходная (фоновая) величина силы отрыва кольца от поверхности плазмы крови. Определение проводится 2 раза с интервалом 3 – 5 мин. Затем к плазме на часовом стекле добавляют 2 капли 0,1% раствора олеата натрия, предварительно разбавленного в 10 раз физиологическим раствором (это делается для того, чтобы внесение олеата натрия не повлияло на осмотическую концентрацию плазмы крови). После добавления олеата натрия определяют силу отрыва кольца тотчас же через 1 мин, через 3, 5, 10, 20, 30 мин. Если через 30 мин после внесения олеата натрия величина поверхностного натяжения плазмы еще не вернулась к исходной, опыт следует продолжить.

Аналогичным способом проводится контрольный опыт с добавлением к плазме на часовом стекле 2 капель 0,1% раствора хлористого натрия.

Результаты опыта оформляются так же, как и в упражнении 1.

После анализа результатов необходимо сформулировать понятие поверхностно-активной буферности плазмы крови и обосновать возможные молекулярные механизмы ее реализации.

## Литература

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика. М.: ВШ, 1996.
2. Общая химия (Биофизическая химия. Химия биогенных элементов) Под ред. Ю. А. Ершова. М.: ВШ, 2000.
3. Бурлакова Е. В., Кольс О. Р., Кригер Ю. А. (Физико-химические методы в биологии. Практикум по общей биофизике) М.: Советская наука 1958 Вып. 1.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ .....	4
Общие сведения .....	4
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА ЖИДКОСТЬ – ГАЗ, ЖИДКОСТЬ – ЖИДКОСТЬ .....	6
Поверхностная активность .....	8
Измерение поверхностного натяжения биологических жидкостей .....	11
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ .....	16
Лабораторная работа № 1 Определение коэффициентов поверхностного натяжения различных жидкостей .....	16
Лабораторная работа № 2 Влияние поверхностно-активных веществ (ПАВ) на поверхностное натяжение биологических жидкостей .....	17
Литература .....	18

Учебное издание

Филимонов Михаил Михайлович  
Новиков Дмитрий Алексеевич

**Поверхностное натяжение  
биологических жидкостей**

*Методические указания  
к лабораторной работе по курсу “Биофизика”  
для студентов биологического факультета  
специальностей G.31.01.01 – “Биология”, H.33.01.01 – “Биоэкологи-  
гия”.*

В авторской редакции

Налоговая льгота – Общегосударственный классификатор  
Республики Беларусь ОКРБ 007-98. ч. 1; 22.11.20.600.