

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего

профессионального образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра физики

ПОВЕРХНОСТЬ ЖИДКОСТИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ МОЛЕКУЛ

Учебно-методическое пособие к лабораторной работе

по молекулярной физике

5-3

УФА 2010

Учебно-методическое пособие содержит краткую теорию и указания для выполнения лабораторной работы по теме «Поверхность жидкости. Определение размеров молекул» и предназначено студентам всех форм обучения УГНТУ.

Составитель Гусманова Г.М., доц., канд. хим. наук

Рецензент Утяшева Л.Х., доц., канд. хим. наук

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5-3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ МОЛЕКУЛ

Цель работы: изучение механизма межмолекулярного взаимодействия в жидкостях, определение площади поперечного сечения и длины молекулы олеиновой кислоты.

Приборы и принадлежности: штатив с бюреткой, бюкс, кювета с водой, аналитические весы, раствор олеиновой кислоты в спирте.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Поверхность жидкости, соприкасающейся с другой средой, например, с её собственным паром, другой жидкостью или с твердым телом, находится в особых условиях по сравнению с остальной массой жидкости.

Между молекулами вещества действуют силы молекулярного притяжения и отталкивания. Равнодействующая этих сил, действующая на каждую молекулу, обращается в нуль при расстоянии, называемом эффективным диаметром молекулы и имеющем порядок 10^{-9}м . Если провести вокруг какой-либо молекулы сферу радиусом, равным эффективному диаметру, то внутри этой сферы окажется некоторое число соседних молекул. Центральная молекула притягивается ко всем молекулам, находящимся внутри этой сферы. Если плотность вещества внутри этой сферы одинакова, то равнодействующая сил притяжения, действующих на молекулу, равна нулю. В противном случае равнодействующая сил отлична от нуля и направлена в сторону большей плотности.

Для молекул на поверхности жидкости эта равнодействующая зависит от сил взаимодействия с молекулами контактирующей среды. Поэтому на каждую молекулу поверхностного слоя толщиной, равной эффективному диаметру молекулы, действуют силы молекулярного притяжения, перпендикулярные поверхности раздела и направленные либо вглубь жидкости, либо в сторону второй среды. Вследствие этого перемещение молекулы из поверхностного слоя вглубь жидкости или вглубь среды, с которой она граничит, требует совершения работы. Величина и знак этой работы зависят от соотношения между силами взаимодействия молекул поверхностного слоя со “своими” же молекулами и молекулами второй среды.

Устойчивое равновесие поверхности жидкости отвечает минимуму потенциальной энергии, т.е. минимально возможной в данном состоянии величиной поверхности жидкости.

При изотермическом увеличении площади поверхности на величину dS совершаемая работа равна увеличению свободной поверхностной энергии:

$$dA = \sigma dS ,$$

где σ – коэффициент пропорциональности, зависящий от природы жидкости и контактирующей с ней среды и от температуры, называется коэффициентом поверхностного натяжения.

Коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = \frac{dA}{dS}$ численно равен работе изотермического увеличения поверхности жидкости на единицу площади. В системе СИ σ имеет размерность Дж/м² или Н/м.

Стремление молекул жидкости вглубь приводит к минимально возможному при данных условиях количеству молекул на поверхности и постоянному напряжению поверхности, которое удобно описывать так называемой силой поверхностного натяжения. Сила поверхностного натяжения F действует по касательной к поверхности. Тогда коэффициент поверхностного натяжения равен силе, действующей по касательной к поверхности на единицу длины произвольной линии, ограничивающей поверхность жидкости:

$$\sigma = \frac{dF}{dl} .$$

Для индивидуальных жидкостей коэффициент поверхностного натяжения уменьшается с ростом температуры. Для растворов эта зависимость может быть любой, в зависимости от соотношения сил межмолекулярного взаимодействия различных молекул жидкости и молекул контактирующей жидкости. При критической температуре исчезает различие между жидкостью и её паром и коэффициент поверхностного натяжения обращается в нуль.

Под действием сил поверхностного натяжения свободная поверхность жидкости стремится стать сферической, но этому обычно препятствует сила тяжести, под действием которой жидкость принимает форму того сосуда, в котором она находится. Свободная поверхность при этом горизонтальна. В случае, когда сила поверхностного натяжения значительно превосходит силу тяжести, форма свободной поверхности жидкости приближается к сферической.

Форма капли на поверхности другой жидкости большей плотности (рис.1) определяется в результате взаимодействия трех сред: жидкости капли 1, жидкости с большей плотностью 2 и воздуха с парами обеих жидкостей 3. Эти среды имеют общую границу – окружность. По этой окружности пересекаются три поверхности:

1) поверхность, разделяющая жидкость 2 и воздух 3, с коэффициентом поверхностного натяжения σ_{23} ;

2) поверхность, разделяющая жидкость 1 и воздух 3, с коэффициентом

поверхностного натяжения σ_{13} ;

3) поверхность, разделяющая жидкости 1 и 2, с коэффициентом поверхностного натяжения σ_{12} .

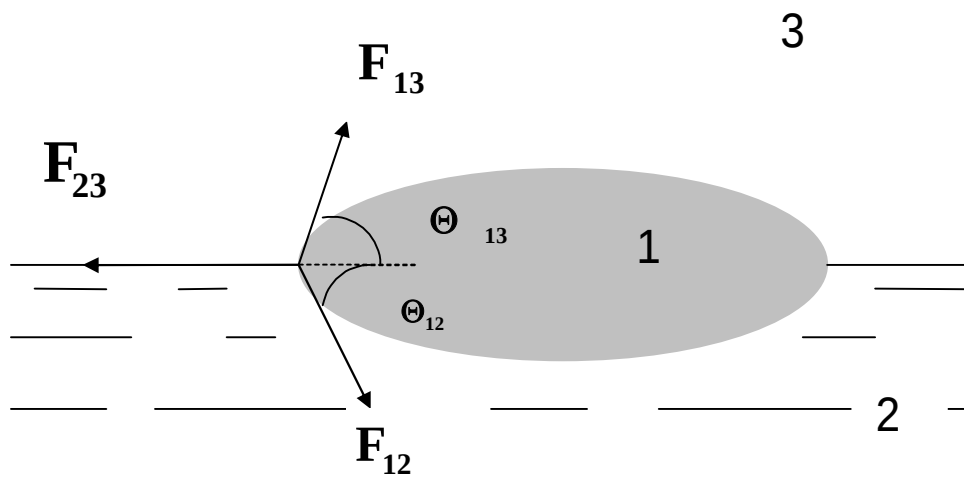


Рис.1. Капля на поверхности жидкости

К окружности в каждой точке по касательной к соответствующей поверхности раздела приложены три силы F_{12}, F_{23}, F_{13} . Если можно пренебречь силой тяжести по сравнению с силами поверхностного натяжения, то равновесная форма капли определится из условия:

$$F_{23} - F_{12} \cos \theta_{12} - F_{13} \cos \theta_{13} = 0. \quad (1)$$

Углы θ между касательными к поверхности капли и горизонтальной поверхностью жидкости 2 называются краевыми углами смачивания.

Краевые углы при равновесии определяются соотношением трех коэффициентов поверхностного натяжения, то есть соотношением молекулярных сил взаимодействия внутри каждой жидкости и между жидкостями.

Так как каждая из сил определяется коэффициентом поверхностного натяжения $F = \sigma dl$, то из уравнения (1) следует, что при равновесии

$$\sigma_{23} < \sigma_{12} + \sigma_{13}, \quad (2),$$

так как $\cos \theta_{12}$ и $\cos \theta_{13}$ меньше единицы.

Если $\sigma_{23} > \sigma_{12} + \sigma_{13}$, то равновесие невозможно и капля растекается в виде тонкой пленки.

Многочисленными экспериментами (Ленгмюр, Дево, Релей и др.) установлено, что если площадь поверхности воды достаточно велика, то капля масла или жирной кислоты растекается в мономолекулярный слой

(слой толщиной в одну молекулу). Расчеты показывают, что площадь, занимаемая каждой молекулой, очень мала.

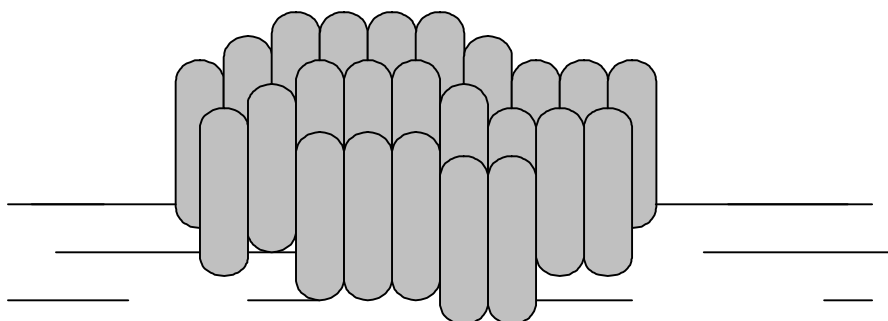


Рис.2. Молекулы олеиновой кислоты на поверхности воды

В мономолекулярном слое молекулы жирных кислот ориентируются на поверхности воды вертикально (рис. 2). Молекулу жирной кислоты можно рассматривать как удлиненный эллипсоид или цилиндр с площадью основания S_m . Это дает возможность оценить площадь, занимаемую одной молекулой по размерам пятна S растекшейся жидкости (метод Ленгмюра-Дево):

$$S_m = \frac{S}{n} = \frac{\pi D^2}{4n}, \quad (3),$$

где S — площадь пятна олеиновой кислоты на поверхности воды, n — число молекул в капле, D — диаметр пятна.

Число молекул в капле равно

$$n = \frac{m}{\mu} N_A, \quad (4),$$

где m — масса капли кислоты, μ — молекулярная масса кислоты, N_A — число Авогадро.

Тогда площадь, занимаемая одной молекулой, равна

$$S_m = \frac{\pi D^2 \mu}{4m N_A}. \quad (5)$$

Длину молекулы кислоты h можно приближенно оценить, считая, что

$$h = \frac{V}{S} = \frac{4m}{\rho \pi D^2}, \quad (6)$$

где V — объем молекулярного слоя, S — площадь пятна, ρ — плотность

кислоты, m – масса капли, D – диаметр пятна.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Наполнить кювету водой и посыпать успокоившуюся поверхность порошком (тальк).

2. Наполнить бюретку 0,3 %-м раствором олеиновой кислоты $C_{17}H_{33}COOH$ и с высоты 2-3 мм капнуть одну каплю раствора в середину кюветы.

3. После растекания капли измерить линейкой величину диаметра пятна в двух взаимно перпендикулярных направлениях D_1 и D_2 .

4. Прodelать операции, перечисленные в п.п. 1-3, три раза, тщательно промывая кювету после каждого опыта. Данные занести в таблицу:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Номер опыта	D_1	D_2	D_{cp}	ΔD	m_1	m_2	Δm_1	Δm_2
1								
2								
3								
Средн.								

Здесь D_{cp} -среднее арифметическое двух диаметров D_1 , D_2 во взаимно перпендикулярных направлениях;

ΔD - абсолютная погрешность измерения диаметров.

5. Определить на аналитических весах массу пустого бюкса m_1 и абсолютную погрешность измерений Δm_1 .

6. Накапать из бюретки 20 капель олеиновой кислоты в бюкс и определить его массу вместе с жидкостью m_2 на аналитических весах. Рассчитать массу капли:

$$m_k = \frac{m_2 - m_1}{20}.$$

7. Найти массу олеиновой кислоты, содержащейся в одной капле раствора:

$$m = \frac{0,3m_k}{100} = 3 \cdot 10^{-3} m_k.$$

8. По формулам (5) и (6) рассчитать площадь поперечного сечения и

длину молекулы олеиновой кислоты. Плотность кислоты $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$. Молекулярная масса находится по химической формуле олеиновой кислоты - $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$.

10. Оценить абсолютные и относительные погрешности измерений площади поперечного сечения и длины молекулы олеиновой кислоты

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Правила техники безопасности общие для лаборатории молекулярной физики.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы современные представления о структуре жидкостей?
2. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения, каковы его единицы измерения? Как он зависит от температуры?
3. Почему жидкости имеют свободную поверхность?
4. При каком соотношении коэффициентов поверхностного натяжения капля раствора олеиновой кислоты растекается по поверхности воды?
5. Почему взвешивается не одна, а 20 капель раствора олеиновой кислоты?