

Ярославский государственный педагогический  
университет им. К. Д. Ушинского

Кафедра общей физики  
Лаборатория молекулярной физики  
и термодинамики

Лабораторная работа № 1  
Определение размеров  
молекул олеиновой кислоты

Ярославль  
2014

---

## Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе . . . . .	3
2.	Краткая теория . . . . .	3
3.	Выполнение работы . . . . .	6
	Задание 1. . . . .	6
	Задание 2. . . . .	7
4.	Контрольные вопросы . . . . .	8
5.	Содержание отчета . . . . .	8

Составитель: Т.Н. Спиридонова, кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры общей физики  
В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики

## Лабораторная работа № 1

### Определение размеров молекул олеиновой кислоты

#### Цель работы:

- намерение эффективного диаметра молекул,
- расчет длины молекулы,
- сравнение результатов эксперимента с теорией.

**Приборы и принадлежности:** 0,3% раствор олеиновой кислоты в спирте, пипетка, кювета 40 × 40 кв. см, пробковые опилки или тальк, ликоподий, аналитические весы, линейка.

#### Литература:

1. Детлаф А.А. Курс общей физики. М., 2007.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. т. 1. СПб., 2007.
3. Гершензон Е.М. и др. Молекулярная физика. М., 2000.

## 1. Вопросы для подготовки к работе

1. Молекулы, их размеры и масса.
2. Поверхностное натяжение.
3. Расчетные формулы; измерение величин, входящих в них.
4. Аналитические весы, особенности их использования.

## 2. Краткая теория

Различие между газом и паром с одной стороны и жидкими телами с другой состоит в том, что первые занимают весь предоставленный объём, тогда как жидкости занимает лишь определенный объём и образует свободную поверхность, отделяющую данную жидкость от пограничной среды.

В поверхностном слое жидкости действуют силы поверхностного натяжения, под действием которых свободная поверхность стремится

стать сферической. Обычно этому препятствует сила тяжести. Вследствие действия силы тяжести жидкость принимает форму сосуда, а свободная поверхность её становится горизонтальной.

Рассмотрим каплю жидкости  $I$ , расположенную на поверхности другой, не смешивающейся с ней жидкости  $II$  (рис.2.1).

Форма капли устанавливается под влиянием взаимодействия трех сред: жидкости  $I$ , жидкости  $II$  и воздуха  $III$ .

Эти три среды имеют общую границу — окружность, ограничивающую каплю и пересекающую плоскость чертежа в точках  $A$  и  $B$ . По этой окружности пересекаются три поверхности: поверхность, разделяющая жидкость  $II$  и воздух, с коэффициентом поверхностного натяжения  $\alpha_{23}$ ; поверхность, разграничивающая жидкости  $I$  и  $II$ , с коэффициентом поверхностного натяжения  $\alpha_{12}$  и поверхность, разграничивающая жидкость  $I$  и воздух, с коэффициентом  $\alpha_{13}$ .

На единицу длины пограничной окружности действуют силы поверхностного натяжения  $\vec{f}_{23}$ ,  $\vec{f}_{12}$ ,  $\vec{f}_{13}$ , численно равные соответствующим значениям  $\alpha_{23}$ ,  $\alpha_{12}$ ,  $\alpha_{13}$ . Эти силы направлены перпендикулярно к отдельным элементам окружности и по касательной к соответствующим поверхностям раздела.

В случае, когда можно пренебречь силой тяжести по сравнению с силами поверхностного натяжения, равновесной будет та форма капли, при которой

$$\vec{f}_{23} + \vec{f}_{12} + \vec{f}_{13} = 0$$

или

$$f_{23} = f_{12} \cos \varphi_{12} + f_{13} \cos \varphi_{13}.$$

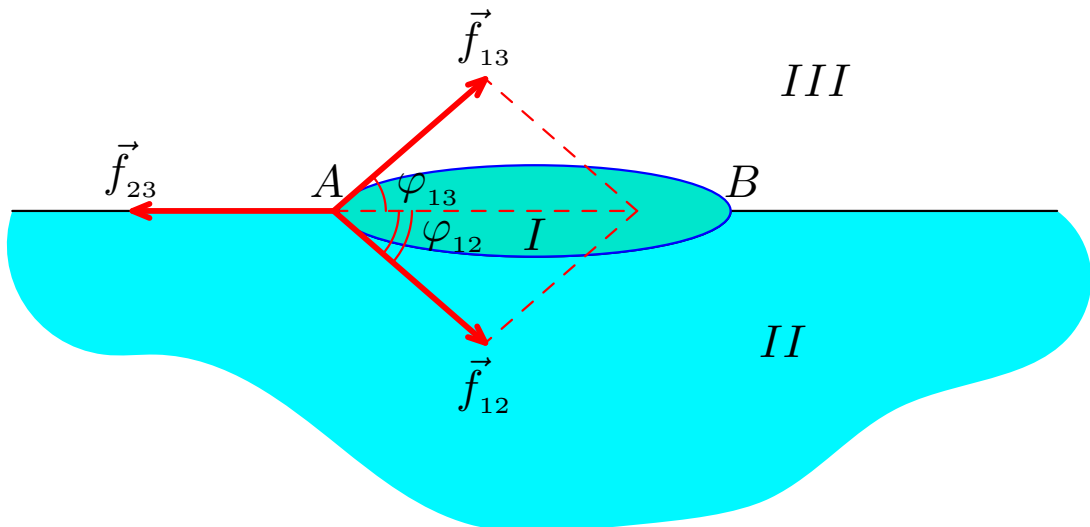


Рис. 2.1

## 2. Краткая теория

---

Отсюда следует, что в случае равновесия

$$f_{23} < f_{13} + f_{12},$$

то есть

$$\alpha_{23} < \alpha_{13} + \alpha_{12}$$

(т.к.  $\cos \varphi_{12}$  и  $\cos \varphi_{13}$  меньше единицы).

Если же

$$f_{23} > f_{12} + f_{13}$$

или

$$\alpha_{23} > \alpha_{12} + \alpha_{13},$$

то равновесие капли жидкости  $I$  на поверхности  $II$  невозможно, и капля растекается на поверхности в виде тонкой пленки.

Многие органические жидкости (эфир, скипидар, керосин) растекаются по поверхности воды. Для некоторых жидкостей (бензол, жирные кислоты, масло) явление растекания наблюдается только для первых капель, помещенных на поверхности чистой воды. Последующие капли не растекаются, а остаются на поверхности в виде устойчивых капель. Это объясняется тем, что первые капли, растекаясь, загрязняют ее поверхность и уменьшают её поверхностное натяжение настолько, что растекание жидкости становится невозможным.

Многочисленные эксперименты привели к выводу, что если площадь поверхности воды достаточно велика, то капля масла или жирных кислот соответствующего объема растекается в очень тонкий мономолекулярный слой. Произведенные вычисления показывают, что площадь, занимаемая одной молекулой, очень мала. Для жирных кислот —  $2,1 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ .

Молекулу жирных кислот можно рассматривать как образование, сильно вытянутое в длину, нечто вроде удлиненного эллипсоида или цилиндра. Расположение таких молекул на поверхности воды показано на рис. 2.2.

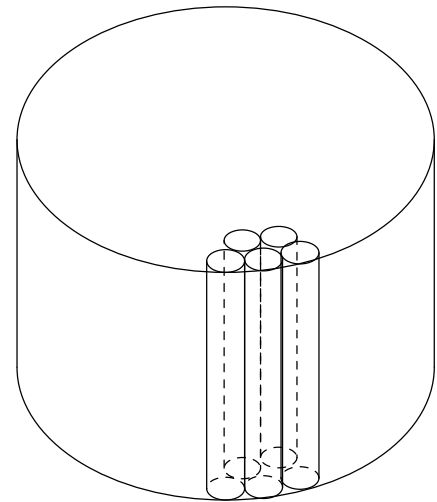


Рис. 2.2

---

### 3. Выполнение работы

В данной работе для определения размеров молекул олеиновой кислоты используется метод, предложенный Ленгмюром и Дево.

**Задание 1.** Определение площади поперечного сечения и эффективного диаметра молекул.

Если капля раствора олеиновой кислоты в легколетучей жидкости падает на поверхность воды, то растворитель быстро испаряется, а олеиновая кислота, растекаясь, образует на поверхности воды мономолекулярную пленку. На поверхности воды, посыпанной предварительно тонким слоем пробковых опилок, талька или ликоподия, образуется ясно видимое, свободное от порошка круглое пятно. Это дает возможность по диаметру круга  $D$  приближенно рассчитать площадь молекулы олеиновой кислоты.

Если в капле содержится  $n$  молекул с поперечным сечением  $S_M$ , то

$$S = S_M \cdot n,$$

где  $S$  — площадь полученного круга.

Отсюда площадь сечения молекулы  $S_M$  равна:

$$\frac{S}{n} = \frac{\pi D^2}{4n},$$

где  $D$  — диаметр полученного круга.

Число молекул в капле можно найти, если известны масса одной капли и молекулярный вес олеиновой кислоты  $\mu$ :

$$n = \frac{m}{\mu} N_A,$$

где  $N_A$  — число Авогадро.

Подставляя значение  $n$  в предыдущую формулу, получим:

$$\boxed{S_M = \frac{\pi D^2 \mu}{4m N_A}}. \quad (3.1)$$

Для выполнения задания необходимо наполнить кювету водой и посыпать успокоившуюся её поверхность пробковыми опилками, ликоподием или тальком. Затем наполнить пипетку небольшим количеством раствора и капнуть одну каплю с высоты 2 – 3 мм в середину

### 3. Выполнение работы

---

кюветы. Когда капля перестанет растекаться, линейкой измерить и записать значения двух взаимно перпендикулярных диаметров образовавшегося круга  $D_1$  и  $D_2$ .

Определить взвешиванием на аналитических весах массу сосуда (бокса), вначале пустого, а затем заполненного двадцатью каплями раствора олеиновой кислоты. Взвешивание произвести с точностью до  $0,1 \text{ мГ}$ . Найти массу капли раствора  $m_p$ . В ней будет содержаться масса олеиновой кислоты:

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

Результаты измерений свести в таблицу и рассчитать по ним сечение молекулы. Для расчета молекулярного веса  $\mu$  следует использовать химическую формулу олеиновой кислоты:  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ . Плотность ее равна  $0,89 \text{ г/см}^3$ .

**В этой работе используется оценочный метод, поэтому многократные измерения нецелесообразны!!**

По среднему диаметру  $D$

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

рассчитать  $S_M$  по формуле (3.1).

После этого следует вычислить эффективный диаметр  $\sigma$  молекулы, считая, что

$$\sigma^2 = S_M \quad \text{и} \quad \sigma = \sqrt{S_M}.$$

Проверьте, как согласуется результат с выводами теории.

**Задание 2.** Расчет длины молекулы.

Длину молекулы грубо можно оценить, пользуясь следующими соображениями:

$$\ell = \frac{V}{S},$$

где  $V$  — объем молекулярного слоя,  
 $S$  — площадь поверхности капли на воде (рис. 2.2).

Объем слоя равен:

$$V = \frac{m}{\rho},$$

---

где  $\rho$  — плотность олеиновой кислоты,  
 $m$  — масса кислоты в капле раствора.

Тогда

$$\ell = \frac{m}{\rho S}, \quad S = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Отсюда

$$\boxed{\ell = \frac{4m}{\pi D^2 \rho}.$$

## 4. Контрольные вопросы

1. Является ли строгим равенство  $S = S_M \cdot n$  для мономолекулярного слоя олеиновой кислоты?
2. Почему для определения массы капли взвешивается не одна, а 20 капель раствора?
3. Можно ли в данной работе производить взвешивание не на аналитических весах?
4. Почему нужно тщательно промывать кювету перед каждым повторением опыта?

## 5. Содержание отчета

Название работы, ее цель, приборы и принадлежности, расчетная формула, таблица результатов измерений, краткие выводы с объяснением результатов эксперимента.