

Лабораторная работа № 9

Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом отрыва кольца

Цель работы: опытным путем определить значение коэффициента поверхностного натяжения воды при комнатных условиях.

Краткая теория

На каждую молекулу жидкости со стороны окружающих молекул действуют силы взаимного притяжения, быстро убывающие с расстоянием. Силы притяжения между молекулами имеют электрическое происхождение и действуют на очень малых расстояниях (порядка 10^{-9} м), это расстояние называется радиусом молекулярного действия (r), а сфера радиусом r – сферой молекулярного действия.

Выделим внутри жидкости какую-либо молекулу A и проведем вокруг нее сферу радиуса r (Рис. 1). Если сфера молекулярного действия молекулы A целиком находится внутри жидкости, то силы с которыми действуют все молекулы, находящиеся внутри жидкости на молекулу A направлены в разные стороны и скомпенсированы, поэтому результирующая сила, действующая на молекулу внутри жидкости со стороны других молекул, равна нулю.

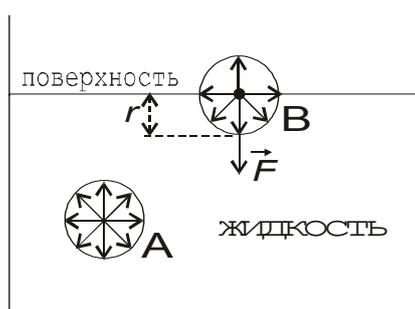


Рис. 1. Силы, действующие на молекулу жидкости

Иначе происходит, если молекула B расположена на поверхности жидкости. В данном случае сфера молекулярного действия лишь частично располагается внутри жидкости. Так как концентрация молекул в расположенном над жидкостью газе мала по сравнению с их концентрацией в жидкости, то равнодействующая сила,

приложенная к каждой молекуле поверхностного слоя, не равна нулю и направлена внутрь жидкости. Таким образом, результирующие силы притяжения всех молекул поверхностного слоя толщиной r (радиус молекулярного действия) оказывают на жидкость давление, называемое молекулярным (или внутренним). Взаимное притяжение молекул, расположенных в поверхностном слое, создает силу, направленную по касательной к поверхности жидкости, которая стремится максимально уменьшить площадь поверхностного слоя. Эту силу называют *силой поверхностного натяжения*.

Так как равновесное состояние характеризуется минимумом потенциальной энергии, то жидкость при отсутствии внешних сил под действием силы поверхностного натяжения будет принимать такую форму, чтобы при заданном объеме она имела минимальную поверхность, то есть форму шара (сферы). Наблюдая мельчайшие капельки, взвешенные в воздухе, можно видеть, что они действительно имеют форму шариков, но несколько искаженную из-за действия силы земного тяготения. В условиях невесомости капля любой жидкости имеет сферическую форму, что экспериментально доказано на космических кораблях.

Поверхностное натяжение характеризуется *коэффициентом поверхностного натяжения* (α), который численно равен силе, действующей на единицу длины линии, произвольно проведенной по поверхности жидкости и перпендикулярной этой линии. Из определения следует, что единицей измерения коэффициента поверхностного натяжения будет $\frac{\text{Ньютон}}{\text{метр}} \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}} \right)$.

В данной работе коэффициент поверхностного натяжения находится путем измерения силы (F), необходимой для отрыва кольца от поверхности воды. Сила F равна силе поверхностного натяжения, действующей по линии разрыва поверхностной пленки при отрыве кольца. Разрыв поверхностной пленки воды происходит по двум окружностям кольца – внешней и внутренней. Общая длина линии разрыва при этом равна $(2\pi R_1 + 2\pi R_2) = \pi(D_1 + D_2)$, где D_1 - внешний, D_2 - внутренний диаметры кольца. Коэффициент поверхностного натяжения в данном случае рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{F}{\pi(D_1 + D_2)}. \quad (1)$$

Коэффициент поверхностного натяжения для дистиллированной воды при нормальных условиях равен 0,073 Н/м. С повышением температуры поверхностное натяжение уменьшается, так как увеличиваются средние расстояния между молекулами жидкости. Из-за увеличения их скоростей движения при $T=T_{\text{кипения}}$ величина коэффициента поверхностного натяжения равна 0.

Величина поверхностного натяжения сильно зависит от примесей, присутствующих в жидкостях. Примеси (вещества), ослабляющие поверхностное натяжение жидкости, называются поверхностно-активными. Наиболее известными поверхностно-активными веществами для воды являются мыло, спирты, эфиры и др.

Существует и другая группа веществ – повышающих поверхностное натяжение жидкости – это сахар, различные соли. Силы взаимодействия молекул этих веществ с молекулами воды больше, чем между собственно молекулами воды. Например, если посолить мыльный раствор, то в поверхностный слой выталкивается молекул мыла больше, чем в пресной воде. В мыловаренном производстве этот процесс называется «высаливанием» мыла.

Выполнение работы

Приборы и материалы: экспериментальная установка, набор разновесов, штангенциркуль, фильтровальная бумага.

Работа выполняется на установке, схематически изображенной на Рис. 2, которая состоит из штатива с сообщающимися сосудами ($C1$ и $C2$), соединенных трубкой с зажимом ($З$), динамометра (пружины) ($П$); за пружиной укреплена зеркальная шкала. К пружине крепится оптическое устройство (указатель) - тонкий диск ($Д$), выполняющий роль стрелки – указателя растяжения пружины. К пружине подвешивается кольцо ($К$), которое имеет площадку для добавления нагрузки при помощи разновесов.

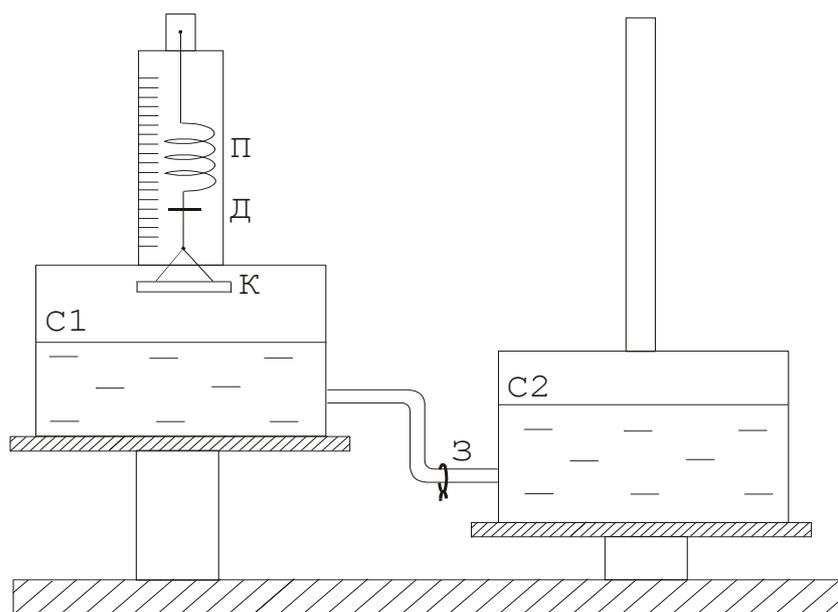


Рис. 2. Схема установки

Порядок выполнения работы

1. Подвесить кольцо за дужку к пружине так, чтобы нижняя плоскость кольца была параллельна поверхности воды в сосуде, но не касалась воды. По указателю Д взять отсчет на зеркальной шкале (n_0) (начало отсчета при дальнейших измерениях). Указание: при отсчете на диск надо смотреть с торца, чтобы на зеркальной шкале его изображение было в виде линии (для снижения погрешности измерений).

2. При закрытом зажиме сосуд C_2 поднять по штативу выше сосуда C_1 . Открыть зажим. В момент, когда поверхность жидкости в сосуде C_1 коснется кольца, зажимом пережать трубку.

3. Опустить сосуд C_2 немного ниже сосуда C_1 , так чтобы вода могла переливаться в сосуд C_2 . Открыть зажим. Вытекающая вода, увлекая за собой кольцо, растянет пружину динамометра.

4. В момент **полного** отрыва кольца от поверхности воды взять отсчет n по шкале. Вычислить величину растяжения пружины как $(n - n_0)$.

5. Результаты измерений n , n_0 , $(n - n_0)$ занести в таблицу 1. Этот опыт повторить еще 4 раза и занести полученные данные в таблицу, по ним рассчитать среднее значение измеряемой величины $\langle (n - n_0) \rangle$ и среднее значение абсолютной погрешности измерений $\langle \Delta(n - n_0) \rangle$.

Примечание: в начале каждого опыта кольцо осушать фильтровальной бумагой для устранения влияния капелек воды на вес кольца.

6. Определить величину силы растяжения пружины в момент отрыва кольца от поверхности воды. Для этого «растянуть» пружину динамометра на величину среднего значения $\langle (n - n_0) \rangle$, путем добавления разновесов на площадку кольца. Общий вес разновесов будет равен силе поверхностного натяжения, которую рассчитаем по формуле:

$$F = mg, \quad (2)$$

где m – масса гирек (кг),

g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

7. Измеряем штангенциркулем, поворачивая кольцо (K), 5 раз внешний (D_1) и внутренний (D_2) диаметры кольца. Результаты измерений заносим в таблицу 1. Рассчитываем средние значения и погрешности.

8. Коэффициент поверхностного натяжения (α) можно рассчитать по формуле (1).

Таблица 1

Результаты измерений

| Растяжение пружины, мм | | | | Диаметры кольца, мм | | | |
|--|-------|------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| n | n_0 | $n - n_0$ | $\Delta(n - n_0)$ | D_1 | ΔD_1 | D_2 | ΔD_2 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Средние значения | | $\overline{n - n_0} =$ | $\Delta \overline{n - n_0} =$ | $\overline{D_1} =$ | $\Delta \overline{D_1} =$ | $\overline{D_2} =$ | $\Delta \overline{D_2} =$ |
| $F = P;$ Общий вес разновесок $P = mg =$ | | | | | | | |

Вычисление погрешностей

Относительная погрешность измерения коэффициента поверхностного натяжения:

$$E_{\alpha} = \frac{\overline{\Delta\alpha}}{\overline{\alpha}} = \frac{\overline{\Delta(n - n_0)}}{n - n_0} + \frac{\overline{\Delta D_1} + \overline{\Delta D_2}}{\overline{D_1} + \overline{D_2}}. \quad (3)$$

Средняя абсолютная погрешность:

$$\overline{\Delta\alpha} = E_{\alpha} \times \overline{\alpha}. \quad (4)$$

Окончательный результат:

$$\alpha = \overline{\alpha} \pm \overline{\Delta\alpha}. \quad (5)$$

Сравнивают значение полученного коэффициента поверхностного натяжения с табличным значением (коэффициент поверхностного натяжения для дистиллированной воды при нормальных условиях равен 0,073 Н/м), анализируют причины отклонений, если таковые имеются.

Контрольные вопросы.

1. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения? В каких единицах он измеряется?
2. Как возникает и как направлена сила поверхностного натяжения?
3. Объяснить метод определения коэффициента поверхностного натяжения используемый в данной работе.
4. Какие силы действуют на кольцо при его отрыве от поверхности жидкости? В какой момент кольцо отрывается от жидкости?
5. Рассказать ход выполнения работы.
6. Вывести формулу для относительной погрешности измерения E_{α} .