

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Цель работы: освоить способы измерения коэффициента поверхностного натяжения жидкости методами отрыва кольца и отрыва капель.

Приборы и принадлежности: бюретки с кранами, укрепленные на штативе, стаканчик, вода, глицерин, спирт.

Основные понятия, определения, формулы

В поверхностном слое жидкости создаются особые условия, которые отличают его от остальной массы жидкости. Молекула, находящаяся в глубине и окруженная со всех сторон подобными же молекулами, испытывает со стороны последних силы молекулярного притяжения. Эти силы в среднем одинаковы по всем направлениям.

Вблизи же поверхности силы притяжения иные, так как притяжение со стороны молекул пара или воздуха значительно меньше, чем притяжение со стороны молекул жидкости. Это приводит к тому, что молекула, находящаяся в поверхностном слое, как бы втягивается внутрь жидкости. При этом жидкость принимает форму с минимальной площадью поверхности, возможной при данных условиях.

Свободную поверхность жидкости (т.е. границу раздела жидкость – газ) можно уподобить натянутой пленке из того же вещества. Величина этого натяжения зависит от природы вещества, наличия в нем примесей, температуры жидкости и характеризуется коэффициентом поверхностного натяжения.

Если мысленно разрезать поверхность жидкости по какой-либо произвольной линии, то сила сцепления между обеими ее частями (сила поверхностного натяжения) тем больше, чем больше длина этой линии, и направлена она по касательной к поверхности:

$$F = \alpha L,$$

где F – сила поверхностного натяжения, L – длина линии разреза, α – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом поверхностного натяжения.

Коэффициент поверхностного натяжения численно равен силе, действующей на единицу длины линии, являющейся границей раздела свободной поверхности жидкости и газа.

Для образования поверхностного слоя, т.е. для перевода каждой молекулы из жидкости в поверхностный слой, совершается работа. Поэтому потенциальная энергия молекулы поверхностного слоя больше потенциальной энергии молекулы внутри жидкости. Эта избыточная энергия поверхностного слоя называется *свободной энергией*.

Определим работу, которую надо совершить, чтобы увеличить поверхность пленки на ΔS .

Работа

$$\Delta A = F \Delta r,$$

где Δr – растяжение пленки.

Но $F = \alpha L$, тогда $A = \alpha L \Delta r$, или $\Delta A = \alpha \Delta S$, так как $L \Delta r = \Delta S$.

Эта работа, как было сказано выше, идет на увеличение энергии пленки W , т.е.

$$A = \Delta W \quad \text{или} \quad \Delta W = \alpha \Delta S.$$

Отсюда

$$\alpha = \frac{\Delta W}{\Delta S} \quad [\text{Дж} / \text{м}^2].$$

Коэффициент поверхностного натяжения численно равен работе, которую надо совершить, чтобы создать единицу площади свободной поверхности жидкости.

Оба эти определения не противоречат друг другу.

Метод отрывания кольца

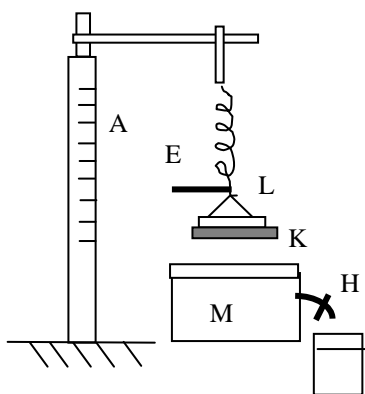


Рис. 1.

Для определения коэффициента поверхностного натяжения можно измерить силу, отрывающую металлическое кольцо от поверхности смачивающей его жидкости (иначе – определить силу, которую надо приложить, чтобы разорвать поверхностную пленку жидкости по контуру, равному длине окружности кольца).

Если r – внутренний радиус кольца, а R – внешний, то

$$\alpha = \frac{F}{2\pi(r+R)} = \frac{F}{\pi(d+D)}, \quad F = mg,$$

$$\alpha = \frac{mg}{\pi(d+D)} \quad (1)$$

где d – внутренний диаметр кольца, D – внешний диаметр кольца.

Порядок выполнения работы

1. С помощью штангенциркуля измеряют диаметры кольца К.
2. Наполняют сосуд М водой так, чтобы кольцо соприкасалось с жидкостью (рис. 1). Открывают кран Н и тонкой струйкой сливают жидкость. При помощи указателя Е отмечают по шкале штатива А момент отрыва кольца – h .

3. Опыт проделывают пять раз и по полученным данным определяют среднее значение положения указателя при отрыве кольца h_{cp} .

4. Нагружают чашечку L гирьками так, чтобы указатель занял положение, соответствующее моменту отрыва кольца, т. е. положение h_{cp} . Значение массы гирек внести в табл.1.

Таблица 1

№	d, м	D, м	h, мм	h_{cp} , мм	m, кг	α , Н/м
1						
2						
3						
4						
5						

5. По формуле (1) рассчитывают коэффициент поверхностного натяжения α .

Метод отрыва капель

Этот метод состоит в следующем: если жидкость капает из стеклянной трубки, то капля отрывается от остальной массы жидкости в тот момент, когда ее вес P будет равен силе F , необходимой для разрыва поверхностной пленки жидкости по длине $2\pi r$, где r – радиус шейки капли в месте ее отрыва, т.е. радиус трубки, тогда $F = 2\pi r\alpha$, где α – коэффициент поверхностного натяжения. Следовательно, можно записать $P = 2\pi r\alpha$.

Радиус шейки отрывающейся капли определить трудно, измерения будут недостаточно точны. Если воспользоваться косвенным методом, то можно обойтись без измерения радиуса шейки капли.

Допустим, что некоторый определенный объем содержит n_1 капель воды или n_2 капель исследуемой жидкости. Обозначая через ρ_1 и ρ_2 плотности жидкостей, а их коэффициенты поверхностного натяжения через α_1 и α_2 и считая, что радиусы шейки капли воды и исследуемой жидкости равны, можно записать:

$$P_1 n_1 = \rho_1 g V = n_1 2\pi r \alpha_1, \quad (2)$$

$$P_2 n_2 = \rho_2 g V = n_2 2\pi r \alpha_2, \quad (3)$$

где P_1 – вес капли воды, P_2 – вес капли исследуемой жидкости.

Разделив (2) на (1), получаем

$$\alpha_2 = \frac{\rho_2 n_1}{\rho_1 n_2} \alpha_1. \quad (4)$$

Прибор для определения коэффициента поверхностного натяжения этим способом очень прост. Он состоит из пипетки, на которой нанесены два штриха, или из бюретки с краном.

Порядок выполнения работы

1. Бюретку наполняют исследуемой жидкостью (глицерин) выше верхнего штриха и заставляют жидкость медленно капать (10–15 капель в 1 мин.).

2. Поставив под бюретку пустой стаканчик для вытекающей жидкости, начинают счет капель с того момента, когда уровень жидкости в бюретке дойдет до какой-либо отметки, и прекращают счет, когда вытечет 1мл. Опыт повторяют 5 раз и подсчитывают среднее число капель жидкости, заключённой в объеме.

3. Вторую бюретку наполняют водой и определяют точно тем же способом число капель воды, заключённой в таком же объеме.

4. Величины ρ_1 , ρ_2 и ρ_3 равны:

вода – $\rho_1 = 0,99823 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

глицерин – $\rho_2 = 1,26 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

спирт – $\rho_3 = 0,786 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

5. Результаты измерений сводят в таблицу . Подсчитывают α_2 по формуле (4), используя табличное значение α_1 : $\alpha_1 = 72,53 \text{ мН / м}$ (при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Таблица 2

Исследуемая жидкость	№ п.п.	n_1	n_2	$\alpha_2, \text{ Н/м}$	$\Delta\alpha_2, \text{ Н/м}$	$\varepsilon, \%$
Глицерин	1					
	...					
	5					
	Ср.					

6. Повторяют п.п.1., 2. и 5., используя в качестве исследуемой жидкости спирт и определяют значение α_3 .

Таблица 3

Исследуемая жидкость	№ п.п.	n_1	n_3	$\alpha_3, \text{ Н/м}$	$\Delta\alpha_3, \text{ Н/м}$	$\varepsilon, \%$
Спирт	1					
	...					
	5					
	Ср.					

7. Сделать выводы из полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлено появление силы поверхностного натяжения?
2. Дайте определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

3. Выведите расчетную формулу для нахождения α методом отрыва кольца.
4. Как определяется сила поверхностного напряжения F при использовании метода отрыва кольца?
5. Выведите расчетную формулу для нахождения α методом отрыва капель.
6. В каких единицах измеряется коэффициент поверхностного натяжения жидкости?

Литература

1. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Т.1. – М.: Физматгиз, 1962.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. – М.: Наука, 1965.
3. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. – М.: Высшая школа, 1991.