

Виртуальная лабораторная работа №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОТРЫВА КОЛЬЦА (компьютерное моделирование)

В.В.Монахов, А.В.Кожедуб

Цель работы - определение коэффициента поверхностного натяжения воды при комнатной температуре.

На рис.1 приведено главное окно программы. Для нахождения коэффициента поверхностного натяжения используется тело в виде системы концентрических колец, подвешенное к весам. Сначала весы уравниваются с помощью гирь. Затем кольца приводятся в контакт с жидкостью. Тогда силу, необходимую для отрыва колец, можно измерить, поместив на чашечку весов дополнительные гири. По величине этой силы и длине кромок системы колец находится коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

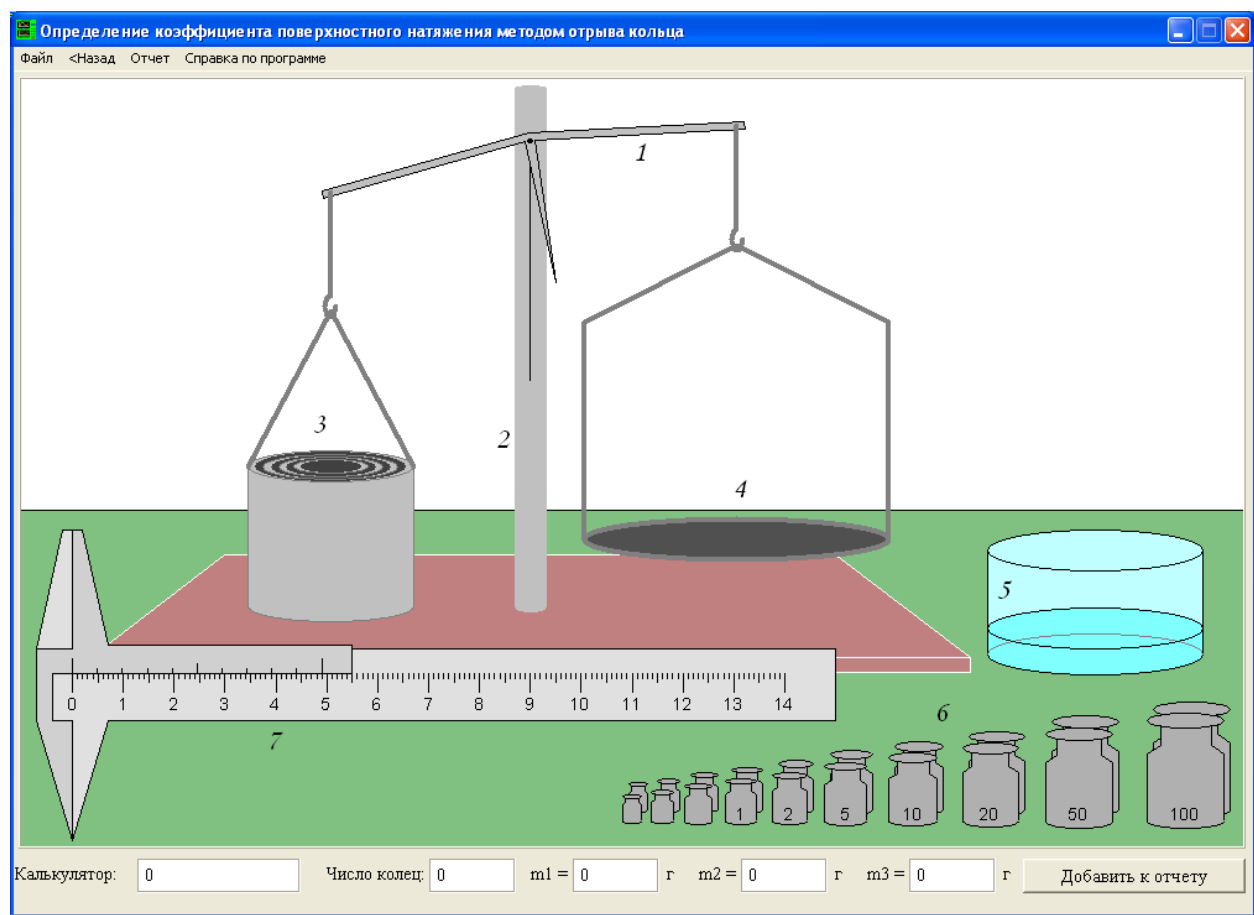


Рис.1. Главное окно программы и схема экспериментальной установки

1. Теоретические основы работы

Как известно, между молекулами в жидкости действуют силы взаимного притяжения. Для молекул, находящихся на поверхности жидкости, равнодействующая этих сил отлична от нуля и направлена по нормали к поверхности внутрь жидкости (рис.1).

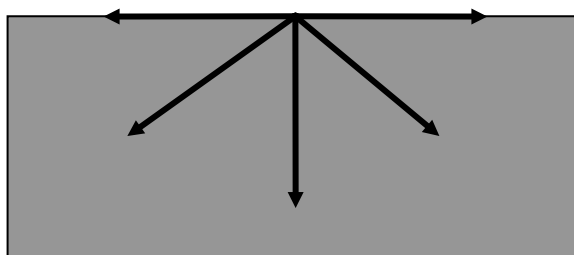


Рис.1. Силы межмолекулярного взаимодействия

В результате поверхность жидкости подобна натянутой пленке. В частности, она стремится иметь минимальную площадь. Понятие силы поверхностного натяжения иллюстрирует рис.2. В этом примере плёнка жидкости (например, мыльного раствора) натянута в проволочной рамке, одна из сторон которой подвижна. Приложенная к ней сила F_0 уравнивается силами поверхностного натяжения, которые являются результатом сложения множества межмолекулярных взаимодействий. В частности, эти силы препятствуют разрыву пленки по линии АВ.

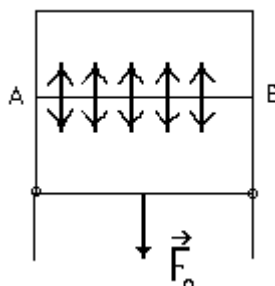


Рис.2. Действие сил поверхностного натяжения

Поскольку пленка имеет две поверхности, сила поверхностного натяжения, действующая на отрезке АВ, равна

$$F = F_0 / 2.$$

Коэффициент поверхностного натяжения α можно определить как отношение силы F к длине границы l , на которой она действует:

$$\alpha = F / l.$$

(1)

В системе СИ α измеряется в Н/м.

Одним из способов измерения коэффициента α является метод отрыва кольца. Кольцо, изготовленное из материала, хорошо смачиваемого жидкостью, приводится в соприкосновение с её поверхностью. Тогда при поднятии кольца с поверхности происходит разрыв поверхности жидкости по краям кольца.

Длина границы перед отрывом кольца, по которой происходит разрыв поверхности, составляет

$$\lambda = 2\pi(R_1 + R_2), \quad (2)$$

где R_1 и R_2 – внутренний и внешний радиусы кольца, соответственно. Измеряя силу F , необходимую для отрыва кольца, можно по формуле (1) найти коэффициент поверхностного натяжения α .

2. Описание экспериментальной установки

В данной работе сила F определяется на установке типа рычажных весов (рис.1).

Коромысло весов 1 поддерживается колонкой 2. К одному плечу коромысла подвешена система концентрических колец 3. На другой стороне находится чашечка для гирь 4. Кольца приводятся в контакт с жидкостью в ванночке 5. Гири 6 служат для уравнивания системы.

До соприкосновения колец с жидкостью весы уравниваются с помощью гирь. Затем кольца приводятся в контакт с жидкостью. Тогда силу F , необходимую для отрыва колец, можно измерить, поместив на чашечку весов дополнительные гири.

Пусть m_1 – масса гирь, уравнивающих систему в исходном состоянии, а m_2 – масса гирь, при которой происходит отрыв колец. Тогда, согласно (1), коэффициент α определяется соотношением

$$\alpha = (m_2 - m_1)g/L, \quad (3)$$

где L – суммарная длина кромок системы колец.

Величину L следует определить приближенно, косвенным образом. Можно показать, что для системы N концентрических колец одинаковой толщины, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга, сумма длин кромок равна

$$L = \pi N(D_1 + D_2), \quad (4)$$

где D_1 – внутренний диаметр наименьшего кольца, D_2 – внешний диаметр наибольшего кольца. Диаметры D_1 и D_2 измеряются штангенциркулем 7.

3. Порядок выполнения работы

ЧАСТЬ 1. Проведение измерений

1. Уравновесьте кольца гирями и запишите значение массы m_1 в соответствующее поле ввода.

2. Поставьте емкость с водой под кольца, после чего поднимите с чаши весов самую большую гирю и опустите ее снова на весы. Если кольца были уравновешены правильно, они прилипнут к поверхности воды.

3. Добавляйте оставшиеся гири на чашу весов, пока кольца не оторвутся от воды. Если последняя поставленная гиря больше 0.5 г, уберите ее, приподнимите и поставьте обратно самую большую гирю, чтобы кольца снова прилипли к воде, после чего добавляйте гири меньшей массы. Если их уже не осталось, замените несколько мелких гирь на одну более крупную.

4. Запишите значение массы m_2 в соответствующее поле ввода. Учтите, что это - полная масса всех гирь, стоящих на чаше весов!

5. Запишите значение массы m_3 - последней поставленной гири в соответствующее поле ввода под окном с установкой. Это значение нужно для оценки погрешности при измерении силы поверхностного натяжения.

6. Добавьте в отчет записанные значения.

7. Повторите действия 1-6 не менее 5 раз.

8. Измерьте внешний и внутренний диаметры колец с помощью штангенциркуля. Не забудьте перед этим убрать емкость с водой. Если она не убирается, поставьте на весы тяжелые гири, чтобы кольца были подняты из воды.

9. Откройте форму отчета, выбрав пункт "Отчет" основного меню программы.

ЧАСТЬ 2. Проведение расчетов

1. Введите значение $m = m_2 - m_1$.

2. Рассчитайте суммарную длину кромок системы колец по формуле (4):

$$L = \pi N(D_1 + D_2)$$

3. Рассчитайте коэффициент поверхностного натяжения по формуле (3):

$$\alpha = (m_2 - m_1)g/L$$

ЧАСТЬ 3. Расчет погрешностей

1. Рассчитайте погрешность нахождения внутреннего (D1) и внешнего (D2) диаметров системы колец. Учтите, что при низком разрешении экрана (800x600) пользоваться нониусом штангенциркуля нельзя из-за большой погрешности в положении точек на экране.

2. Рассчитайте погрешность нахождения величины $m = m_2 - m_1$:

$$\Delta m = \sqrt{\Delta m_1^2 + \Delta m_2^2}$$

Значение Δm_1 оценивают как половину веса самой лёгкой гири.

Значение Δm_2 оценивают как $m_3/2$.

3. Рассчитайте погрешность нахождения L:

$$\Delta L = N\pi * \sqrt{\Delta D_1^2 + \Delta D_2^2}$$

4. Рассчитайте погрешность нахождения коэффициента поверхностного натяжения:

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m_2 - m_1}\right)^2}, \quad \Delta \alpha = \alpha \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m_2 - m_1}\right)^2}$$

5. Сохраните отчет, выбрав пункт "Файл | Сохранить отчет" основного меню.

4. Контрольные вопросы

1. В какую сторону действует сила поверхностного натяжения? Почему?
2. Почему сила, действующая на кольцо перед отрывом, равна $2\pi(R_1 + R_2) \alpha$? (R_1 – внутренний, а R_2 – внешний радиус кольца).
3. Будет ли эта сила такой же в случае, если для материала кольца не реализуется полное смачивание жидкостью? Или она будет больше? Или меньше?