251. ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОТРЫВА

Введение

Явление поверхностного натяжения связано с тем, что на молекулы на поверхности жидкости действует сила притяжения от соседних молекул, находящихся в толще жидкости (см. рис.1). Результирующаая сила складывается и напрвлена перпендикулярно к поверхности жидкости.

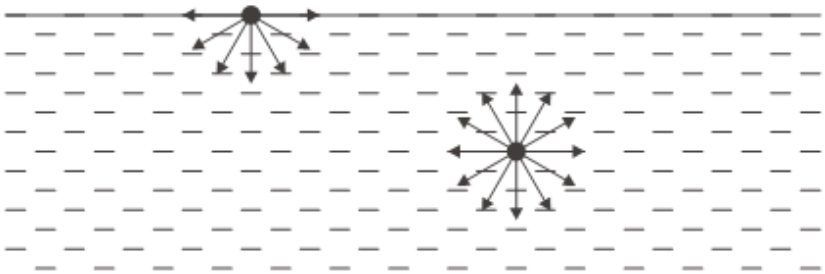


Рис. 1. Действие сил притяжения на молекулы
в толще и на поверхности жидкости

Отношение изменения свободной энергии к изменению площади поверхности при постоянной температуре называется поверхностным натяжением жидкости.

$$\sigma = \Delta E / \Delta S \qquad (1)$$

Поверхностное натяжение можно измерить с помощью металлического кольца с острыми краями, полностью погруженными в жидкость. Если кольцо медленно вынимать из жидкости, то тонкий слой жидкости вытягивается за кольцом (см. рис.2). Изменяется площадь внешней и внутренней поверхности слоя жидкости:

$$\Delta S = 4 \cdot \pi \cdot R \cdot \Delta x, \qquad (2)$$

где R – радиус металлического кольца.

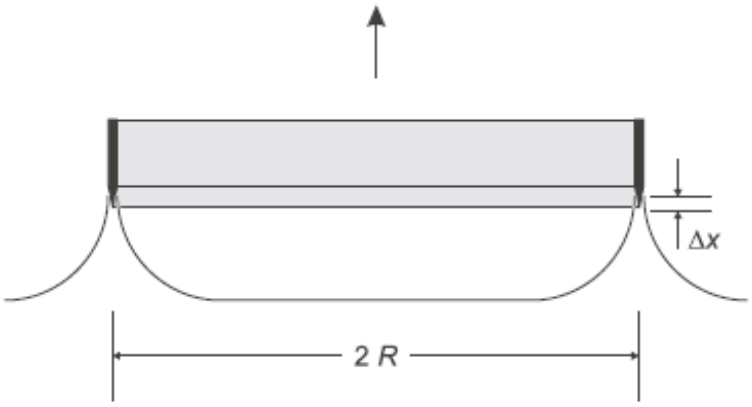


Рис.2. Иллюстрация принципа измерений

Когда металлическое кольцо поднимается на расстояние Δx, то сила натяжения определяется формулой:

$$F=\Delta E/\Delta x \qquad (3)$$

Если сила натяжения увеличивается, то кольцо отрывается от жидкости. Исходя из (1-3) поверхностное натяжение можно рассчитать как:

$$\sigma=F/(4\pi R) \qquad (4)$$

В данном эксперименте для определения поверхностного натяжения используется метод отрыва, когда металлическое кольцо помещается на поверхность жидкости. Этот слой жидкости притягивает кольцо к жидкости за счёт поверхностного натяжения жидкости.

Цель работы

- ✓ Определение коэффициента поверхностного натяжения.

Решаемые задачи

- ✓ Измерение силы натяжения в момент отрыва кольца от жидкости
- ✓ Определение коэффициента поверхностного натяжения воды
- ✓ Выявления зависимости коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры
- ✓ Выявления зависимости коэффициента поверхностного натяжения воды от концентрации ПАВ

Техника безопасности

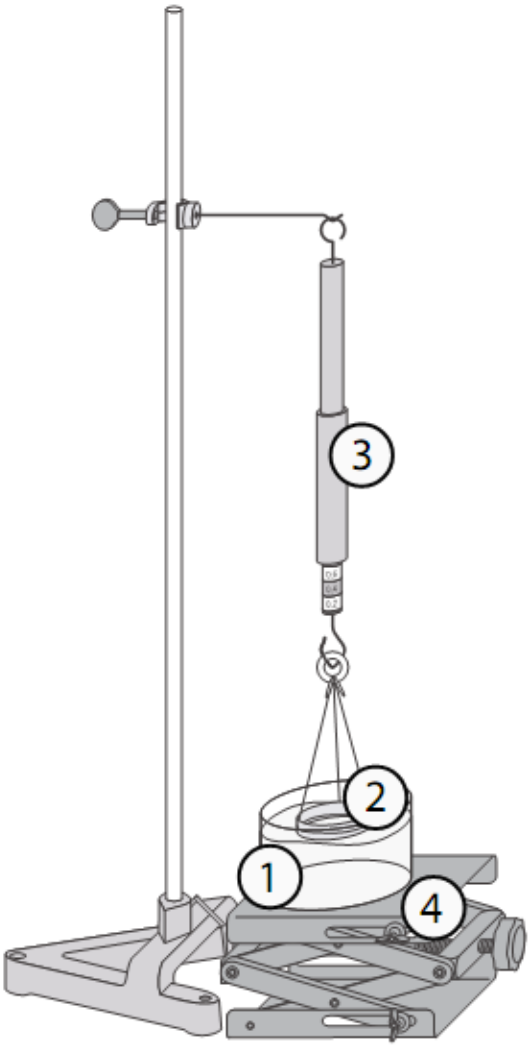
- ✓ **Внимание! В работе используется стекло.**
- ✓ **Будьте предельно внимательны при работе с горячей водой**

Упражнение 1. Измерение поверхностного натяжения с помощью прецизионного динамометра

Экспериментальная установка

<u>Приборы и принадлежности</u>

- ✓ Стеклянное блюдце (1)
- ✓ Металлическое кольцо (2)
- ✓ Прецизионный динамометр (3)
- ✓ Лабораторная стойка (4)



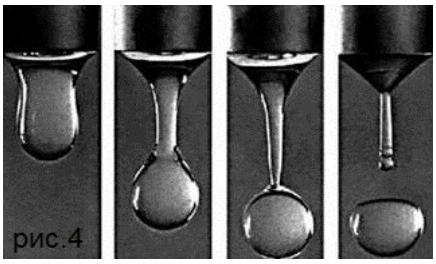
Порядок выполнения работы

1. Убедитесь, что металлическое кольцо и блюдце чистые.
2. Измерьте с помощью штангенциркуля диаметр металлического кольца.
3. Подвесьте металлическое кольцо на прецизионный динамометр.
4. Поставьте внизу блюдце с дистиллированной водой.
5. Выставите показания на ноль, передвигая подвижную трубку.
6. Медленно поднимайте винтом стойку, чтобы кольцо погрузилось в воду в блюдце. Затем медленно опускайте винтом стойку, пока кольцо полностью не выйдет из воды.
7. Необходимо зафиксировать показание динамометра, когда кольцо отрывается от поверхности воды, по показаниям динамометра определите силу поверхностного натяжения.
8. Определите коэффициент поверхностного натяжения воды по формуле (4).
9. Налейте горячую (60-70 ^{0}C) дистиллированную воду в блюдце, опустите в воду термопару. Проведите измерения коэффициента поверхностного натяжения, выполняя

пункты 4-7 при различных температурах по мере остывания горячей воды каждые 5-10 градусов. Измерения провести для 5-6 температур.

10. В отдельном сосуде приготовьте слабый раствор ПАВ.
11. Постройте график зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры.
12. В остывшую воду добавьте одну каплю раствора. Проведите измерения коэффициента поверхностного натяжения, выполняя пункты 4-7. Меняя концентрацию моющего средства (одну, две, три, четыре, пять и т.д. капель) измерьте коэффициент поверхностного натяжения.
13. Постройте график зависимости коэффициента поверхностного натяжения от относительной концентрации моющего средства, откладывая по оси абсцисс количество капель.
14. В выводах объясните физические причины температурной и концентрационной зависимостей коэффициента поверхностного натяжения.
15. Сравните измеренные коэффициенты поверхностного натяжения между собой и с табличными значениями. Объясните обнаруженные различия.

Упражнение 2. Измерение коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капель (относительно эталонной).



Процесс отрыва капли жидкости под действием силы тяжести от отверстия в сосуде зависит от поверхностного натяжения жидкости . Чем он больше, тем большая по массе капля будет отрываться от отверстия.

На рис.4 показан процесс образования капли.

Перед отрывом капли образуется шейка. Под этим словом будем понимать участок жидкости меньшего, чем капля диаметра, границы которого параллельны. Вдоль окружности этой шейки и действует сила поверхностного натяжения, которая в момент отрыва должна быть равно весу капли. Если диаметр шейки *D,* то равнодействующая сила поверхностного натяжения равна, очевидно, $\pi D\sigma$. Следовательно, отрыв капли происходит при условии:

$$P = \pi D\sigma \qquad (5)$$

Измерив вес *P* оторвавшейся капли и диаметр шейки в момент отрыва, можно вычислить коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

Замечено, что если капли различных жидкостей капают с острия, то при уменьшении диаметра последнего, диаметр шеек капель одинаков для всех жидкостей. В этом случае из уравнения 5 для двух разных жидкостей 1 и 2 следует соотношение : $\frac{\rho_1 v_1}{\sigma_1} = \frac{\rho_1 v_1}{\sigma_2}$,

где v_i- объемы отдельных капелек жидкости. Отсюда ясно, что если для некоторой жидкости(назовем ее эталонной) известен коэффициент поверхностного натяжения , то для любой другой жидкости:

$$\sigma = \frac{\rho v}{\rho_э v_э}\sigma_э = \frac{\rho n_э}{\rho_э n}\sigma_э ,$$

где $n_Э$, n -количества капель, получющихся из одинакового объема эталонной и исследуемой жидкости.

Поэтому если меетеся острие, с которого капают капли с одинаковыми диаметрами шеек, его можно отградуировать для измерения коэффициента поверхностного натяжения. Для этого необходимо определить величину $K = \frac{n_э}{\rho_э}\sigma_э$, "прокапав" фиксированный объем жидкости *V* с известным $\sigma_э$ и $\rho_э$ (например, воды) и сосчитав число получившихся капель $n_э$. Затем нужно «прокапать» такой же объем *V* исследуемой жидкости с

плотностью ρ и посчитать соответствующее число капель n .После этого коэффициент поверхностного натяжения жидкости можно вычислить по формуле:

$$\sigma = \frac{\rho}{n} K = \frac{\rho n_э}{\rho_э n} \sigma_э \qquad (6)$$

Цель упражнения: измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом отрыва капли относительно эталонной жидкости

Задачи работы:

1. знакомство с теоретическими основами измерения коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капли;

2. измерение абсолютного значения коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капли;

4. измерение относительного значения коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капли.

Методика эксперимента и аппаратура.

Экспериментальная установка (рис.5) состоит из бюретки со сферическим носиком 1 с краном, на которой нанесены деления для измерения объема исследуемой жидкости и стаканчика 2 для сбора падающих капель.

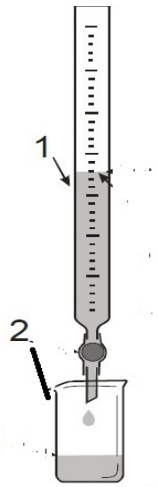


рис.5

Ход работы:

1. Промыть бюретку с тонким носиком дистиллированной водой.
2. Заполнить бюретку на половину дистиллированной водой.
3. Приоткрыть кран так, чтобы вода медленно капала.4
4. Посчитать число капель *n*, соответствующих 1мл вытекшей воды.
5. Повторить подсчет числа *n* три-четыре раза и найти среднее арифметическое значение.
6. Заполнить бюретку спиртом и провести измерения *n* аналогично пунктам 3-5.
7. Взять из справочной таблицы плотности исследуемых жидкостей и $\sigma_э$ (воды). Вычислить σ для спирта.

Контрольные вопросы и дополнительные задания

1) Что такое сила поверхностного натяжения? Физический смысл коэффициента поверхностного натяжения. Необходимость его введения и измерения.

2) Как определяется коэффициент поверхностного натяжения при динамическом и энергетическом рассмотрении этого явления?

3) Как и почему ведет себя коэффициент поверхностного натяжения при изменении температуры жидкости? Как зависит коэффициент поверхностного натяжения от наличия примесей? Влияют ли на коэффициент поверхностного натяжения жидкости свойства окружающего газа, или пограничной несмешивающейся жидкости?

4) Явление смачивания. Что такое краевой угол?

5) Условия динамического равновесия капли жидкости на поверхности твердого тела, на поверхности другой жидкости.

6) Капиллярные явления. Давление под изогнутой поверхностью. Формула Лапласа, ее вывод. Каким образом коэффициент поверхностного натяжения влияет на высоту поднятия жидкости в капиллярах?

7) Почему при отрыве капли во 2ом задании образуется маленькая капелька между основной каплей и потолком?

8) Каким образом на процессе отрыва капель во втором задании сказывается вязкость