

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №167

Определение коэффициента поверхностного натяжения воды методом отрыва капель.

Цель работы :

изучение явления поверхностного натяжения;
экспериментальное определение коэффициента поверхностного натяжения воды методом отрыва капель.

Краткая теория работы

Поверхность жидкости, соприкасающейся с другой средой, например, с ее собственным паром, находится в особых условиях по сравнению с остальной массой жидкости. Возникают эти особые условия потому, что молекулы пограничного слоя жидкости, в отличие от молекул в глубине, окружены молекулами жидкости не со всех сторон. (Лит.1, §66). Молекулы пограничного слоя жидкости обладают избыточной поверхностной потенциальной энергией U_s по сравнению с молекулами в ее глубине.

Энергия U_s обязана своим происхождением наличию *поверхности* жидкости, поэтому она пропорциональна площади S этой поверхности. Для того, чтобы увеличить площадь поверхности при постоянной температуре на бесконечно малую величину dS , надо совершить работу:

$dA_{вн} = dU_s = \sigma dS$, где σ - коэффициент поверхностного натяжения.

Из формулы следует, что *коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ численно равен работе, которую нужно совершить, чтобы увеличить площадь поверхности на единицу: $\sigma = dA_{вн}/dS$* (1).

Коэффициент поверхностного натяжения химически чистой жидкости определяется природой жидкости, ее температурой. При повышении температуры коэффициент поверхностного натяжения уменьшается. При температуре, называемой *критической*, он становится равным нулю, так как исчезают различия между жидкостью и ее насыщенным паром. Коэффициент поверхностного натяжения существенно изменяется при добавлении в жидкость поверхностно-активных веществ (Лит.1, §66).

Жидкость в равновесии имеет минимальную потенциальную энергию, и, следовательно, должна иметь минимально возможную поверхность. Это означает, что существуют силы, стремящиеся сократить поверхность раздела фаз. Эти силы называются силами *поверхностного натяжения F_σ* . Они направлены вдоль поверхности, по касательной к ней.

На рис1 показана рамка, затянутая мыльной пленкой. Одна из сторон ее представляет собой подвижную легкую перемычку AB . Силы *поверхностного натяжения F_σ* направлены вдоль поверхности, по касательной к ней. Они стремятся уменьшить поверхность пленки, перемещая легкую перемычку AB вверх. Чтобы предотвратить перемещение перемычки, надо приложить к ней силу F .

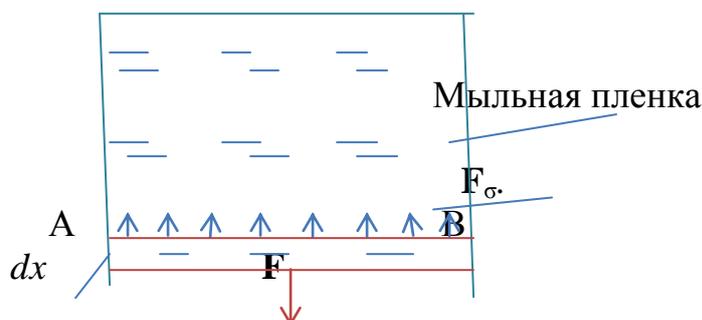


Рис.1

При равновесном изотермическом увеличении поверхности пленки на $dS = Ldx$ внешняя сила $F = F_\sigma$ будет совершать работу $dA_{\text{вн.}} = Fdx = F dS/L$.

Учитывая формулу (1), получим: $dA_{\text{вн.}}/dS = F/L = \sigma$. (В данном случае $L=2AB$, так как пленка имеет две поверхности).

Силовое определение коэффициента поверхностного натяжения: *коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ численно равен силе, действующей на единицу длины линии раздела фаз.*

Стремление жидкости уменьшить площадь поверхности проявляется и в том, что малый объем жидкости принимает форму, близкую к шару. В этом случае сила тяжести, действующая на каплю, мала, и форма капли жидкости определяется поверхностной энергией. Этим же объясняется шаровидная форма капель в состоянии невесомости.

На рис.2 показана капля воды при отрыве.

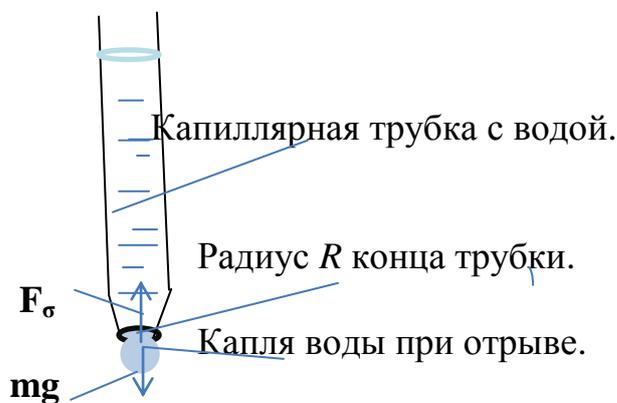


Рис.2

Перед отрывом капли образуется шейка, радиус которой несколько меньше радиуса трубки. Вдоль окружности этой шейки и действует сила поверхностного натяжения F_σ , направленная вверх, которая в момент отрыва равна силе тяжести. Если радиус шейки $r = R$, то $F_\sigma = 2\pi R\sigma = m_1g$, где m_1 - масса одной капли жидкости.

Зная массу одной капли жидкости, можно определить σ :

$$\sigma = m_1g/2\pi R \quad (2)$$

Описание экспериментальной установки.

На штативе закреплена узкая трубка (пипетка) с краном, заполненная водой. Радиус кончика трубки $R= 0.7$ мм. Имеется также емкость для сбора капель и электронные весы.

Порядок выполнения работы.

1. Взвесьте на электронных весах пустую емкость для сбора капель и запишите полученное значение массы m_0 в таблицу 1. (Предварительно убедитесь, что в емкости нет воды.)
2. Открывая кран (используя другую посуду), добейтесь, чтобы в процессе вытекания жидкости формировались *отдельные* капли воды.
3. Подставив емкость для сбора капель, накапайте в нее N капель воды. Капли воды не должны сливаться между собой. Число капель указано в таблице 1. (Может варьироваться преподавателем.)
4. Взвесьте на электронных весах массу емкости с водой m . Данные запишите в таблицу.
5. После взвешивания надо вылить воду из емкости, насухо протереть емкость.
6. Выполните пункты 2-5 для указанных значений N .

Таблица

Номер измерения	Число капель N	Масса кюветы без воды m_0 , г	Масса кюветы с водой m , г	Масса N капель воды m_N , г	Масса одной капли воды m_1 , г	σ H/m
1	20					
2	30					
3	40					
4	45					
5	50					

Обработка результатов измерений.

1. Для каждого N (числа капель) найдите массу N капель воды. Для этого из массы емкости с водой надо вычесть массу емкости без воды: $m_N = m - m_0$. Данные запишите в таблицу.
2. Для каждого N рассчитайте массу одной капли: $m_1 = m_N/N$. Данные запишите в таблицу.
3. Рассчитайте длину границы раздела фаз, которая равна длине окружности шейки капли перед ее отрывом $L = 2\pi R$. Будем считать радиус шейки r равным внутреннему радиусу кончика трубки $R = 0,7$ мм.
4. По формуле (2) для каждого случая рассчитайте коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ . Расчеты проводить в системе СИ. Данные запишите в таблицу.

5. Найдите среднее значение $\sigma_{\text{ср}}$.
6. Оцените абсолютную и относительную погрешности среднего значения σ по формуле для прямых измерений. Запишите выражение для доверительного интервала (см. лабораторную работу №100). Проанализируйте полученный результат. Сравните полученный результат со справочными данными (Лит.1, §66).

Контрольные вопросы.

1. Дайте определение коэффициента поверхностного натяжения (силовое и энергетическое). Получите его размерность.
2. Где возникают силы поверхностного натяжения? Качественно объясните их возникновение. Как они направлены? Приведите примеры. (Лит.1, §66)
3. От каких факторов зависит коэффициент поверхностного натяжения?
4. Что такое поверхностно-активные вещества? Приведите примеры их применения. (Лит.1, §66)
5. Качественно объясните зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Что такое критическая температура?
6. Объясните, почему при отсутствии внешних сил форма капель жидкости – сферическая?
7. Расскажите о методе определения коэффициента поверхностного натяжения в данной работе. Получите формулу (1). Каковы недостатки этого метода?
8. Расскажите о явлении смачивания. Приведите примеры. (Лит.1, §67)
9. Что такое капиллярные явления? Объясните явление подъема жидкости в капиллярах при условии смачивания. Чем определяется высота подъема? (Лит.1, §69)
10. Как определить абсолютную и относительную погрешности определения среднего значения σ ?

Литература.

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М. Высшая школа. 2000
2. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика.