

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Цель работы: экспериментальное определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости и его зависимости от температуры.

Литература: [4] гл. 7 §§ 7.11–7.13; [7] гл. 5; [19] гл. 5 § 5.3.

Приборы и принадлежности: прибор Ребиндера для определения коэффициента поверхностного натяжения, термометр, электрическая плитка, сосуд для воды.

ВВЕДЕНИЕ

Энергетические состояния молекул в поверхностном слое и внутри объема жидкости различны. Поверхностный слой жидкости обладает добавочной потенциальной энергией E , которая пропорциональна площади поверхности:

$$E = \alpha S. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности α называется коэффициентом поверхностного натяжения. Величина его зависит от рода жидкости и от температуры. Из-за наличия поверхностной энергии жидкость стремится к сокращению своей поверхности.

Определение коэффициента поверхностного натяжения надо еще дополнить указанием среды, с которой граничит жидкость. В таблицах обычно приводят значения поверхностного натяжения жидкости на границе с ее насыщенным паром.

На линии, ограничивающей поверхность жидкости, поверхностное натяжение проявляется как сила, направленная по касательной к поверхности перпендикулярно к границе. Величина силы поверхностного натяжения пропорциональна длине границы L :

$$F = \alpha L. \quad (2)$$

Если поверхность жидкости не плоская, то стремление ее к сокращению приводит к возникновению добавочного давления Δp (его обычно называют лапласовским). Для сферической поверхности,

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{R}, \quad (3)$$

где R – радиус кривизны сферической поверхности.

В данной работе рассматриваются сферические пузырьки воздуха, образующиеся в жидкости. В равновесии давление воздуха внутри пузырька больше внешнего давления на величину Δp , причем чем меньше радиус пузырька, тем больше разница давлений. Пузырьки выдуваются из

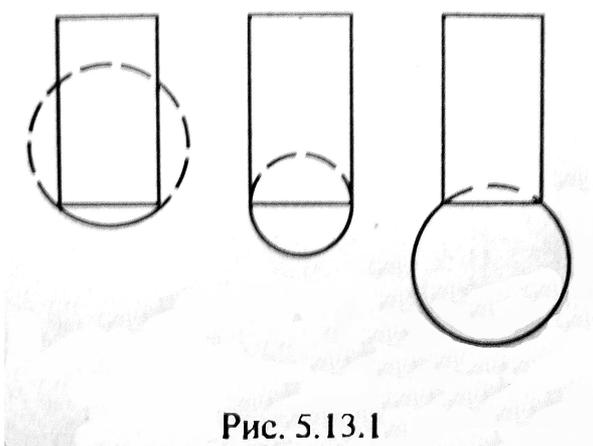
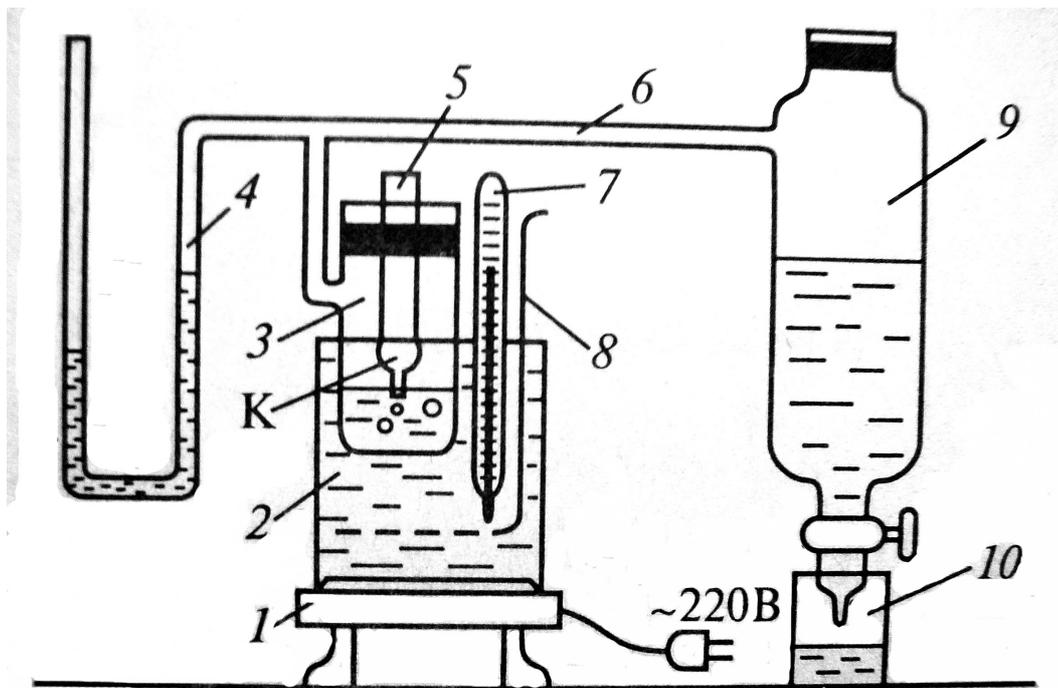


Рис. 5.13.1

капилляра, кончик которого опущен в жидкость. Как видно из рис.5.13.1, минимальный радиус пузырька равен радиусу отверстия капилляра. Измерив лапласовское давление, можно определить коэффициент поверхностного натяжения.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема прибора Ребиндера, служащего для определения коэффициента поверхностного натяжения жидкостей, изображена на рис.5.13.2. Трубка 1 с вытянутым кончиком К (капилляром) вставляется в пробку, закрывающую сосуд 2 с исследуемой жидкостью. Капилляр К должен соприкасаться с поверхностью исследуемой жидкости. Тройник 3 соединяет воздушное пространство сосуда 2 с аспиратором 4 и манометром 5. С помощью манометра измеряют разность атмосферного давления и давления воздуха в сосуде 2. Сосуд 2 можно помещать в водяную баню 6, снабженную нагревателем 7 (электрическая плитка) и термометром 8.



5.13.2

При проведении экспериментов открывается кран аспиранта 4, вследствие чего вода из аспиранта выливается в стакан 10, при этом в сосуде 2 создается разрежение. Разность давлений внутри и вне сосуда 2 приводит к возникновению на конце капилляра К воздушного пузырька. По мере увеличения этой разности пузырек выдувается из капилляра, причем его радиус, как видно из рисунка 5.15.1, при этом уменьшается и растущая разность давлений уравнивается лапласовским давлением Δp . Скоро радиус пузырька достигает минимально возможного значения, определяемого радиусом отверстия капилляра. Дальнейшее увеличение разрежения приводит к нарушению равновесия и отрыву пузырька. В момент отрыва пузырька разность давлений Dp , регистрируемая манометром, равна лапласовскому давлению $\frac{2\alpha}{R}$.

Входящий в эту формулу радиус пузырька нельзя определять путем непосредственного измерения радиуса капилляра прежде всего потому, что капилляр не вполне круглый. Поэтому лучше всего записать соотношение (3) в виде

$$\Delta p = K\alpha, \quad (4)$$

определив коэффициент K из опыта. Для определения K необходимо произвести опыт с жидкостью, для которой значение α известно, например, с дистиллированной водой.

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

При подготовке прибора к работе в аспиратор налейте воду. В сосуд 2 с исследуемой жидкостью поместите трубку 1 так, чтобы капилляр трубки касался поверхности жидкости. Сосуд 2, аспиратор 4 плотно закрываются резиновыми пробками. Если открыть кран аспиратора, из капилляра в исследуемую жидкость должны выдвигаться пузырьки воздуха. Открывая и закрывая кран аспиратора, подберите удобную для измерений скорость образования пузырьков.

Задание 1. Определение постоянной прибора K .

Измерьте $D\delta_0$ при продувании пузырьков через дистиллированную воду при комнатной температуре. Измерения проведите не менее 10–12 раз. Расчет K осуществляется при помощи формулы (4). Значение α возьмите из таблиц. Заметим, что размерность коэффициента K совсем не обязательно надо переводить в СИ. Поскольку Δp_0 измеряется в миллиметрах спиртового столба и все последующие измерения Δp - в тех же самых единицах, коэффициент K может измеряться в единицах (мм сп.ст.)/(мН/м).

Задание 2. Определение зависимости коэффициента поверхностного натяжения воды α от температуры.

Включив нагреватель, нагрейте воду в сосуде 2 до 80–90°C. Сосуд 2 при нагревании должен быть открыт, чтобы давление в нем не повышалось. Производя измерение Δp при остывании воды через каждые 10°, определите α при соответствующих значениях температуры. Сравните результаты с табличными значениями (см. Справочную таблицу ниже).

Задание 3. Определение коэффициента поверхностного напряжения спирта.

По вышеописанной методике определите α для спирта при комнатной температуре, предварительно поместив капилляр в сосуд с подкрашенным спиртом.

Результаты всех измерений занесите в таблицу, полученную температурную зависимость представьте в виде графика. Во всех случаях проведите оценку точности измерений.

СПРАВОЧНАЯ ТАБЛИЦА
КОЭФФИЦИЕНТ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДЫ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

$t, ^\circ\text{C}$	$\alpha, \text{мН/м}$
0	75,5
10	74,0
20	72,5
30	71,0
40	69,5
50	67,8
60	66,0
70	64,2
80	62,3
90	59,0
100	56,0

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Каков физический смысл коэффициента поверхностного натяжения?
2. Каково значение коэффициента поверхностного натяжения при критической температуре и почему?
3. Как изменится коэффициент поверхностного натяжения воды, если добавить в воду спирт?
4. В каком направлении переместится капля воды в капилляре переменного сечения (рис. 5.15.3) и почему?

5. Какое значение имеют явления смачивания и несмачивания в природе и технике?
6. Одинаковы ли значения Δp в формуле (3) для смачивающей и несмачивающей жидкостей в одном и том же капилляре в момент выдувания из него пузырька воздуха?
7. В закрытом сосуде находились капли воды разной величины. Что произойдет с ними через продолжительное время и почему?
8. При подъеме смачивающей жидкости по капилляру выделяется тепло. Как его рассчитать?