

Лабораторная работа 2.5.1
"Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости"
Б01-005 Радькин Кирилл

Цель работы:

- Измерение коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды при разной температуре с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта;
- Определение полной поверхностной энергии и теплоты, необходимой для изотермического образования единицы поверхности жидкости

Наличие поверхностного слоя приводит к различию давлений по разные стороны от искривленной границы раздела двух сред. Для сферического пузырька внутри жидкости избыточное давление дается формулой Лапласа:

$$\Delta P = P_i - P_o = \frac{2\sigma}{r} \quad (1)$$

Эта формула лежит в основе предлагаемого метода определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости. Измеряется давление, необходимое для выталкивания в жидкость пузырька газа.

Экспериментальная установка. Исследуемая жидкость (дистиллированная вода) наливается в сосуд В. Дистиллированная вода наливается в сосуд Е. Сосуды закрыты пробками. Через пробку сосуда, в котором проводятся измерения, проходит полая металлическая игла С, нижний конец которой погружен в жидкость, а верхний открыт в атмосферу. Если другой сосуд герметично закрыт, то в сосуде с иглой создается разрежение, и пузырьки воздуха начинают пробулькивать через жидкость. Поверхностное натяжение можно найти по величине разрежения, необходимого для прохождения пузырьков.

При приоткрытом кране Γ_1 из аспиратора А по каплям вытекает вода, создавая разрежение, которое измеряется наклонным спиртовым манометром М. Показания манометра, умноженные на зависящий от наклона коэффициент (обычно 0.2), дают давление в кгс/м² (1 кгс/м² = 9,8 Па). Чтобы пополнить запас воды, достаточно при помощи крана Γ_2 соединить нижнюю часть аспиратора с атмосферой и предварительно заполненной водой верхней частью.

Для стабилизации температуры исследуемой жидкости через рубашку D непрерывно прогоняется вода из термостата.

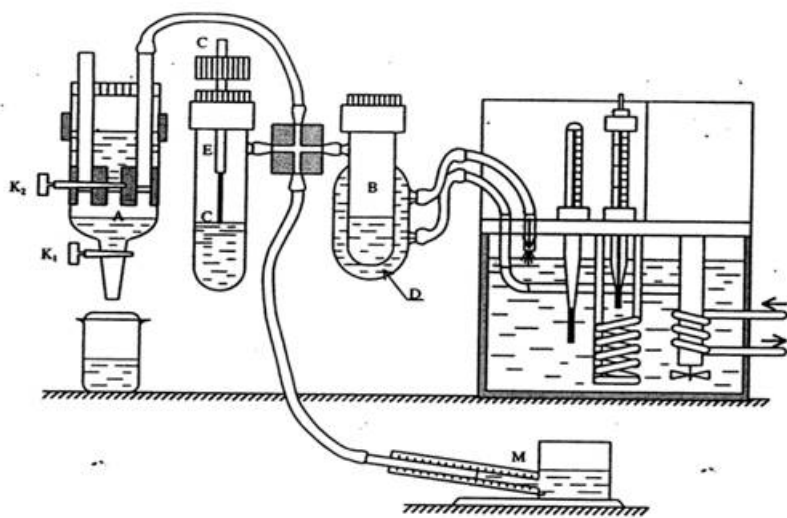
Обычно кончик иглы лишь касается поверхности жидкости, чтобы исключить влияние гидростатического давления столба жидкости. Однако при измерении температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения возникает ряд сложностей. Во-первых, большая теплопроводность металлической трубки приводит к тому, что температура на конце трубки заметно ниже, чем в глубине жидкости. Во-вторых, тепловое расширение поднимает уровень жидкости при увеличении температуры. Это гидростатическое давление вычитается из падения лапласова давления вследствие уменьшения σ , и в опыте с анилином, например, наблюдаемый эффект меняет знак при высоте столба жидкости порядка пяти сантиметров.

Обе погрешности можно устранить, погрузив кончик трубки до самого дна. Полное давление, измеренное при этом микроманометром, $P = \delta P + \rho g h$. Заметим, что $\rho g h$ от температуры практически не зависит, так как подъем уровня жидкости компенсируется уменьшением ее плотности (произведение ρh определяется массой всей жидкости и поэтому постоянно). Величину $\rho g h$

следует измерить экспериментально двумя методами. Во-первых, замерить величину $P_1 = \Delta P'$, когда кончик трубки только касается поверхности жидкости. Затем при этой же температуре опустить иглу до дна и замерить $P_2 = \rho gh + \Delta P''$. Из-за несжимаемости жидкости можно положить $\Delta P' = \Delta P'' - \rho gh = P_1 - P_2$. Во-вторых, при измерениях P_1 и P_2 замерить линейкой глубину погружения иглы h_1 и h_2 . Это легко сделать, замеряя расстояние между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора.

Замечание. Чувствительность микроманометров высока, поэтому правильность их работы существенно зависит от правильности их эксплуатации. Все изменения в установке необходимо проводить, предварительно поставив переключатель микроманометра на атмосферу.

В частности, подобную же операцию необходимо сделать и при заполнении водой аспиратора А. В противном случае при заполнении аспиратора водой давление воздуха в системе повышается, спирт из трубки микроманометра выдавливается, в узлах соединений микроманометра образуются воздушные пузыри. Наличие этих пузырей приводит к полному нарушению калибровки манометра и невозможности измерений.



Ход работы:

- 1) Убедимся в исправности установки
- 2) Подберем частоту падения капель из аспиратора так, чтобы максимальное давление микроманометра не зависело от этой частоты. Для этого пузырьки не должны пробукливать слишком часто (не чаще, чем 1 пузырек в 5 секунд)
- 3) Измерим максимальное давление при пробукливании пузырька (в спирте, при комнатной температуре $t = 21^\circ\text{C}$) и подсчитаем радиус капилляра.

h, дел.	38	39	38	39	39
P, Па	74,3	76,2	74,3	76,2	76,2

h - кол-во делений на микроманометре, P - давление

$$P = c \cdot h \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot K \cdot 9.81, \text{ где:}$$

- $c = 1$
- $K = 0.2$ (коэффициент, зависящий от угла наклона)

- $\gamma_1 = 0.8066 \text{ г/см}^3$ — плотность залитого спирта
- $\gamma_2 = 0.8095 \text{ г/см}^3$ — плотность приборного спирта

$$\langle P \rangle = 75.4 \text{ Па}, \sigma_p = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (P_i - \langle P \rangle)^2} = 0.5 \text{ Па} \rightarrow \langle P \rangle = 75.4 \pm 0.5 \text{ Па}$$

4) Используя формулу Лапласа ($\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$) найдем радиус капилляра $R = \frac{2\sigma}{\langle P \rangle} = 0.59 \text{ мм}$
Сравним его с радиусом, измеренным с помощью микроскопа: $R_m = 0.6 \text{ мм}$

5) Перенесем (предварительно просушив) иглу в сосуд с водой. Измерим максимальное давление, когда игла лишь касается поверхности жидкости.

$h_1, \text{ дел.}$	101	106	107	107	108
$P_1, \text{ Па}$	197.5	207.2	209.2	209.2	211.1

$$\langle P_1 \rangle = 206.8 \pm 2.4 \text{ Па}$$

6) Измерим $l_1 = 5.7 \text{ см}$ — расстояние от конца капилляра до некоторой части прибора.

7) Утопим иглу до предела, но так, чтобы выходящие пузырьки не касались дна и снова измерим максимальное давление

$h_2, \text{ дел.}$	182	182	182	182	181
$P_2, \text{ Па}$	355.8	355.8	355.8	355.8	353.8

$$\langle P_2 \rangle = 355.4 \pm 0.4 \text{ Па}$$

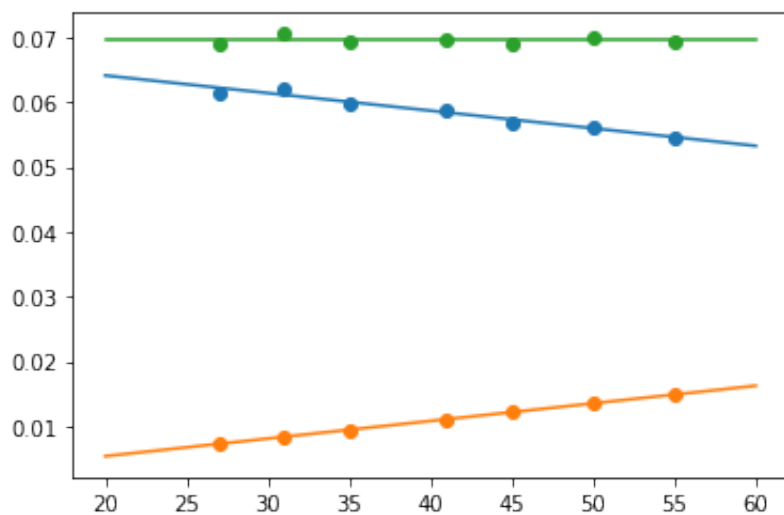
8) Снова измерим расстояние от конца капилляра до той же части прибора: $l_2 = 6.2 \text{ см}$

9) Подсчитаем $\Delta h = h_2 - h_1 = 1.5 \text{ см}$. Сравним с $\Delta h'$, подсчитанным с помощью разницы давлений: $\Delta h' = \frac{\langle P_2 \rangle - \langle P_1 \rangle}{\rho g} = 1.5 \text{ см}$

10) Снимем зависимость $\sigma(t)$:

$t, ^\circ\text{C}$	27	31	35	41	45	50	55
$h, \text{ дел.}$	180	181	177	175	172	171	168
$P_m, \text{ Па}$	351.9	353.8	346.0	342.1	336.3	334.3	328.4
$\Delta P, \text{ Па}$	205.0	207.0	199.2	195.3	189.4	187.4	181.6
$\sigma, \text{ Н/м}$	0.062	0.062	0.060	0.059	0.057	0.056	0.054

11) Методом наименьших квадратов вычисляем коэффициенты k и b в зависимости $\sigma = k \cdot t + b$:
 $k = (-2.7 \pm 0.2) \cdot 10^{-4} \text{ Н/м}^\circ\text{C}$; $b = (694 \pm 1) \cdot 10^{-4} \text{ Н/м}$



Зеленый график — $\frac{U}{F} = \sigma - t \cdot \frac{d\sigma}{dt} = \sigma - kT = b$ (поверхностная энергия единицы площади поверхности)

Синий график — $\sigma = k \cdot t + b$ (коэффициент поверхностного натяжения от температуры)

Оранжевый график — $q = -t \cdot \frac{d\sigma}{dt} = -k \cdot t$

12) Вывод: данный эксперимент с достаточно большой точностью позволяет выявить линейную зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры.