

Отчет о выполнении лабораторной работы 2.1.3
Измерение коэффициента поверхностного
натяжения жидкости

Выполнил: Голубович Тимур, группа Б01-108
23.04.2022

Цель работы

Измерение коэффициента поверхностного натяжения исследуемой жидкости при разной температуре с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения другой жидкости

Определение полной поверхностной энергии теплоты, необходимой для изотермического образования единицы поверхности жидкости.

Оборудование и приборы

Прибор Ребиндера с терmostатом, исследуемые жидкости, стаканы.

Теоретическое введение

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

$$\Delta P = P_{\text{внутри}} - P_{\text{снаружи}} = 2\sigma/r. \quad (1)$$

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 наливается в сосуд *B*. Дистиллированная вода наливается в сосуд *E*. Сосуды закрыты пробками. Через пробку сосуда, в котором проводятся измерения, проходит полая металлическая игла, 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 *K₁* из аспиратора *A* по каплям вытекает вода, создавая разрежение, которое измеряется наклонным спиртовым манометром. Показания манометра, умноженные на зависящий от наклона коэффициент, дают давление в kgs/m^2 . Чтобы пополнить запас воды, достаточно при помощи крана *K₂* соединить нижнюю часть аспиратора с атмосферой и предварительно заполненной водой верхней частью. Через рубашку *D* непрерывно прогоняется вода из термостата для стабилизации температуры исследуемой жидкости.

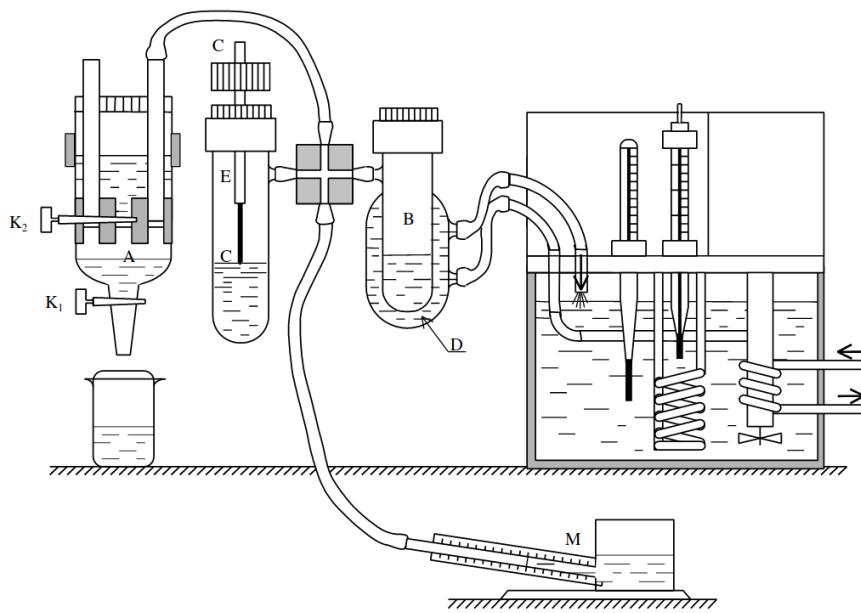


Рис. 1: Схема установки

Работа 2.5.1

Ход работы

Спирт

Коэффициент пересчета столба спиртового манометра в давление:

$$K = 0.2 \cdot 9.81 \cdot 0.8095 = 1.588 \text{ Па/мм}$$

Поместим иглу в сосуд со спиртом, закроем пробками сосуды, открыв кран аспиратора добьемся пробулькивания пузырьков воздуха.

| | | | | | | |
|--|----------|--|----|----|----|--|
| | h , мм | | 44 | 44 | 45 | |
|--|----------|--|----|----|----|--|

Таблица 1: Давление пробулькивания в спирте, игла на поверхности

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^3 h_i}{3} = 44.3 \text{ мм}$$
$$p = K \cdot \bar{h} = 70.4 \text{ Па}$$

Воспользовавшись табличным значением поверхностного натяжения для спирта:

$$\sigma_{\text{спирта}} = 22 \frac{\text{мН}}{\text{мм}}$$

Значения диаметра иглы, измеренные с помощью микроскопа и косвенно:

$$d_{\text{микр}} = (1.20 \pm 0.05) \text{ мм} \quad d_{\text{косв}} = \frac{4\sigma}{p} = (1.28 \pm 0.03) \text{ мм}$$

При дальнейших расчётах, чтобы учесть особенности данной установки будем использовать $d_{\text{косв}}$.

Вода

Измерим давления, при которых начинается пробулькивание.

| | | | | | | |
|--|----------|--|----|----|----|--|
| | h , мм | | 74 | 75 | 74 | |
|--|----------|--|----|----|----|--|

Таблица 2: Давление пробулькивания в воде, игла на поверхности

Работа 2.5.1

| | | | | | | |
|--|----------|--|-----|-----|-----|--|
| | h , мм | | 196 | 196 | 197 | |
|--|----------|--|-----|-----|-----|--|

Таблица 3: Давление пробулькивания в воде, игла на глубине

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 23.5 - 11.5 = (12.0 \pm 0.5) \text{ мм}$$

$$\Delta h = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} = \frac{1.588 \cdot (196.3 - 74.3)}{9.81 \cdot 1000} = (17.2 \pm 0.3) \text{ мм}$$

Таким образом, дополнительная разность давлений

$$\Delta p_{\text{доп}} = \rho g \Delta h = 1000 \cdot 9.81 \cdot 0.0120 = 117.60 \text{ Па}$$

Формула для определения σ :

$$\sigma = \frac{pr}{2},$$

где $p = \bar{p} - \Delta p_{\text{доп}}$

Погрешности измерения:

$$\Delta p = 1.6 \text{ Па} \quad \Delta T = 0.2 \text{ К} \quad \Delta \sigma = \sigma \sqrt{(\Delta p/p)^2 + (\Delta r/r)^2} = 2 \text{ Н/м}$$

Измерим зависимость давления от температуры.

| $T, {}^\circ C$ | h_1 , мм | h_2 , мм | h_2 , мм | \bar{h} , мм | \bar{p} , Па | p , Па | $\sigma_{\text{пov}}$, $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$ |
|-----------------|------------|------------|------------|----------------|----------------|----------|---|
| 24.5 | 196 | 196 | 197 | 196.33 | 311.82 | 194.22 | 0.0583 |
| 30.3 | 195 | 194 | 194 | 194.33 | 308.65 | 191.05 | 0.0573 |
| 35.2 | 193 | 194 | 193 | 193.33 | 307.06 | 189.46 | 0.0568 |
| 40.3 | 192 | 191 | 192 | 191.67 | 304.41 | 186.81 | 0.0560 |
| 45.2 | 190 | 190 | 190 | 190.00 | 301.77 | 184.17 | 0.0552 |
| 50.1 | 189 | 189 | 190 | 189.33 | 300.71 | 183.11 | 0.0549 |
| 55.0 | 187 | 188 | 188 | 187.67 | 298.06 | 180.46 | 0.0541 |
| 60.0 | 185 | 186 | 186 | 185.67 | 294.88 | 177.28 | 0.0532 |
| 65.1 | 185 | 185 | 185 | 185.00 | 293.82 | 176.22 | 0.0529 |
| 70.0 | 184 | 183 | 183 | 183.33 | 291.18 | 173.58 | 0.0521 |

Таблица 4: Зависимость $\bar{p}(T)$

Построим график.

Работа 2.5.1

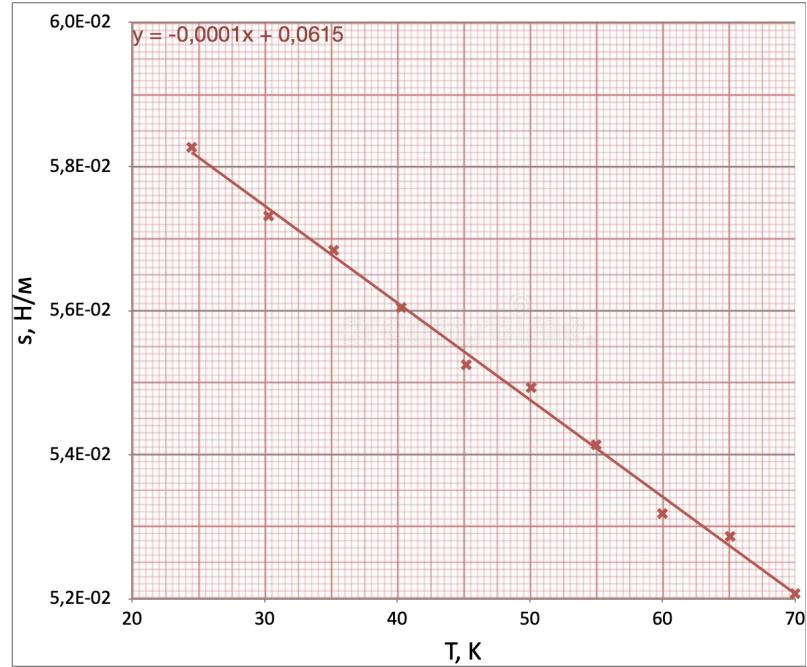


Рис. 2: Зависимость $\sigma(T)$

По методу наименьших квадратов, предполагая зависимость линейной $\sigma_{\text{пov}} = a \cdot T + b$,

где

$$a = (-1.35 \pm 0.06) \cdot 10^{-4} \frac{\text{H}}{\text{м} \cdot \text{K}} \quad \varepsilon_\gamma = 5\%$$

$$b = (6.15 \pm 0.03) \cdot 10^{-2} \frac{\text{H}}{\text{м}} \quad \varepsilon_\gamma = 0.5\%$$

Также построим графики:

- 1) теплоты образования единицы поверхности жидкости $q = -T \frac{d\sigma}{dT}$.
- 2) поверхностной энергии U единицы площади F : $\frac{U}{F} = \sigma - T \frac{d\sigma}{dT}$.

Работа 2.5.1

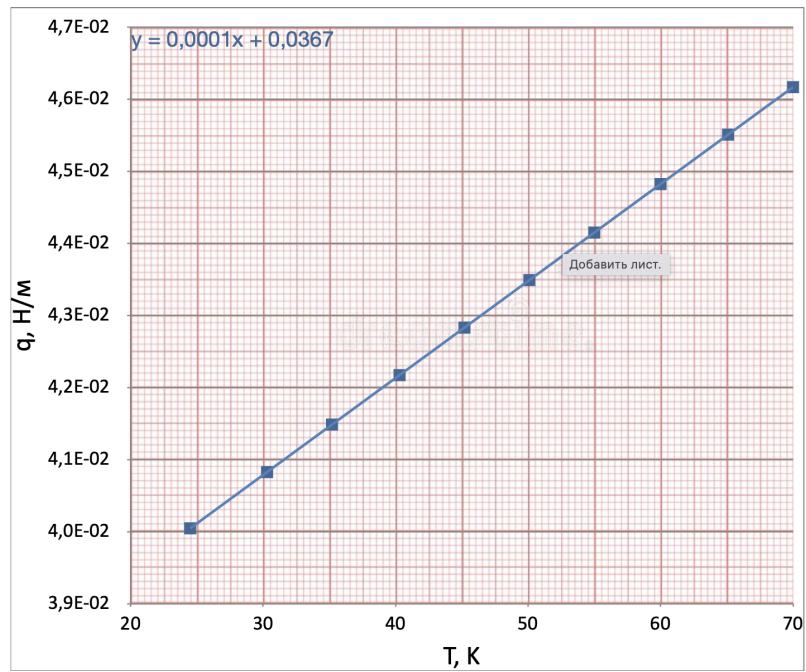


Рис. 3: Зависимость $q(T)$

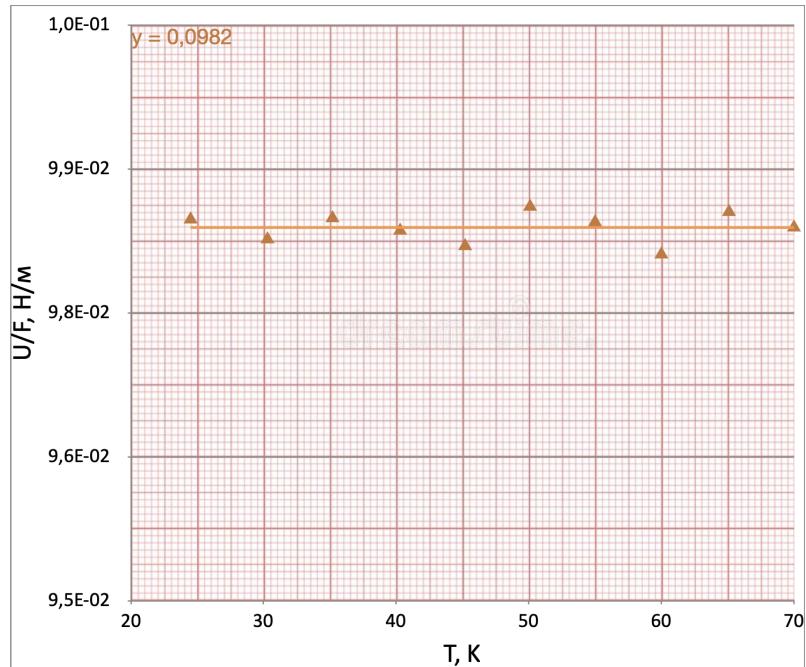


Рис. 4: Зависимость $U/F (T)$

Работа 2.5.1

| $T, {}^\circ C$ | $h_1, \text{ мм}$ | $q, \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ |
|---|-------------------|---------------------------------|
| $\frac{U}{F}, \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ | | |
| 24.5 | 40.0 | 98.3 |
| 30.3 | 40.8 | 98.1 |
| 35.2 | 41.5 | 98.3 |
| 40.3 | 42.2 | 98.2 |
| 45.2 | 42.8 | 98.1 |
| 50.1 | 43.5 | 98.4 |
| 55.0 | 44.2 | 98.3 |
| 60.0 | 44.8 | 98.0 |
| 65.1 | 45.5 | 98.4 |
| 70.0 | 46.2 | 98.2 |

Таблица 5: Зависимости $q(T)$, $U/F(T)$

Вывод

В ходе эксперимента была подтверждена линейная зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Однако сами значения поверхностного натяжения от температуры систематически отличаются от табличного $\sigma_{\text{табл}} = 73 \text{ мН/м}$ значения. Отклонение может возникнуть вследствие попадания спирта в пробирку с водой из-за нетщательной просушки иглы в предыдущих экспериментах (спирт имеет $\sigma_{\text{сп}} = 22 \text{ мН/м}$, поэтому поверхностное натяжение смеси ниже).

Получено значение

$$d\sigma/dT)_{\text{эксп}} = (-0.135 \pm 0.06) \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad \varepsilon_{d\sigma/dT)_{\text{эксп}}} = 5\%.$$

Не сильно отличающееся от табличного $(d\sigma/dT)_{\text{табл}} = -0.15 \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. Также в ходе работы определено значение

$$\frac{U_{\text{нов}}}{F} = (98.2 \pm 0.3) \frac{\text{мН}}{\text{м}} \quad \varepsilon_{\frac{U_{\text{нов}}}{F}} = 0.3\%.$$

Табличное значение $\frac{U_{\text{нов}}}{F} = 120 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$. Показана линейность зависимости $q(T)$.