

Работа 2.5.1

Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

Андрей Киркича, Б01-202, МФТИ, 2023

Цель работы: измерение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта, определение полной поверхностной энергии и теплоты, необходимой для изотермического образования единицы поверхности жидкости при различной температуре

В работе используются: прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром; исследуемые жидкости; стаканы

Теоретические сведения

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

$$\Delta p = p_{\text{внутр}} - p_{\text{внеш}} = \frac{2\sigma}{r} \quad (1)$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения, r - радиус кривизны поверхности раздела двух фаз

Методика измерений

В работе измеряется давление Δp , необходимое для выталкивания в жидкость пузырька воздуха.

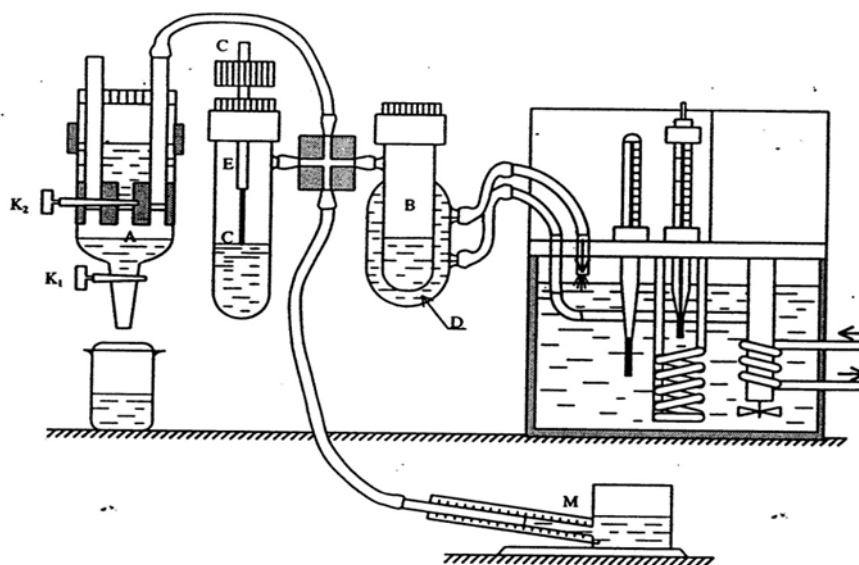


Рисунок 1: схема экспериментальной установки

Исследуемая жидкость (дистиллированная вода) наливается в сосуд В. Тестовая жидкость (этиловый спирт) наливается в сосуд Е. При измерениях колбы герметично закрываются пробками. Через одну из двух пробок проходит полая металлическая игла С. Этой пробкой закрывается сосуд, в котором проводятся измерения. Верхний конец иглы открыт в атмосферу, а нижний погружен в жидкость. Другой сосуд герметично закрывается второй пробкой. При создании достаточного разряжения воздуха в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробулькивать через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разряжения Δp , необходимого для прохождения пузырьков, при известном радиусе иглы.

Разряжение в системе создается с помощью аспиратора А. Кран K_2 разделяет две полости аспиратора. Верхняя полость при закрытом кране K_2 заполняется водой. Затем кран K_2 открывают и заполняют водой нижнюю полость аспиратора. Разряжение воздуха создается в нижней полости при открывании крана K_1 , когда вода вытекает из неё по каплям. В колбах В и С, соединённых трубками с нижней полостью аспиратора, создается такое же пониженное давление. Разность давлений в полостях с разряженным воздухом и атмосферой

измеряется спиртовым микроманометром.

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

Результаты измерений

Измерения проводились для разных значений температуры в диапазоне 20–80 °С. По следующей формуле определялось давление внутри:

$$p = C \cdot N \cdot \frac{\rho_{\text{залитого}}}{\rho_{\text{указанная}}} \cdot K \cdot 9.81 \quad (2)$$

где N - количество делений по шкале манометра, C - поправочный множитель, K - постоянная угла наклона, $\rho_{\text{залитого}}$ - плотность спирта, залитого в прибор, $\rho_{\text{указанная}}$ - плотность спирта, указанная на приборе

Для данной установки:

- $C = 1$
- $\rho_{\text{залитого}} = 0.8049 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
- $\rho_{\text{указанная}} = 0.8095 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
- $K = 0.2$
- $r = 0.6 \text{ мм}$

Внешнее давление считается по следующей формуле:

$$p_{\text{внеш}} = \rho g \Delta h \quad (3)$$

$\Delta h = 16.5 \text{ мм}$ - глубина погружения иглы под поверхность

В расчётах учитывается зависимость плотности воды от температуры

Затем можно найти избыточное давление $\Delta p = p - p_{\text{внеш}}$ и по формуле (1) рассчитать коэффициент поверхностного натяжения. Ниже приведены результаты измерений. По этим значениям можно построить графики зависимости коэффициента поверхностного натяжения $\sigma(T)$, теплоты образования единицы

поверхности жидкости $q(T)$, поверхностной энергии единицы площади $u_{\text{пов}}(T)$ от температуры.

$T, ^\circ\text{C}$	N , делений	Δp , Па	σ , $10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	q , $\frac{\text{мДж}}{\text{м}^2}$	$u_{\text{пов}}$, $\frac{\text{мДж}}{\text{м}^2}$
20.0	197	220 ± 10	6.7 ± 0.4	2.4 ± 0.4	69 ± 4
26.0	195	219 ± 10	6.6 ± 0.4	3.2 ± 0.6	69 ± 4
30.3	195	219 ± 10	6.6 ± 0.4	3.7 ± 0.7	69 ± 4
35.3	195	219 ± 10	6.6 ± 0.4	4.3 ± 0.8	70 ± 4
40.3	193	216 ± 10	6.5 ± 0.4	4.9 ± 0.9	70 ± 4
46.0	192	214 ± 10	6.4 ± 0.4	5.6 ± 0.9	70 ± 4
50.1	192	215 ± 10	6.4 ± 0.4	6.1 ± 1.1	71 ± 4
55.0	189	209 ± 10	6.3 ± 0.4	6.7 ± 1.1	69 ± 4
60.0	186	204 ± 10	6.1 ± 0.3	7.3 ± 1.2	68 ± 4

Таблица 1: результаты измерений

Ниже представлены упомянутые графики.

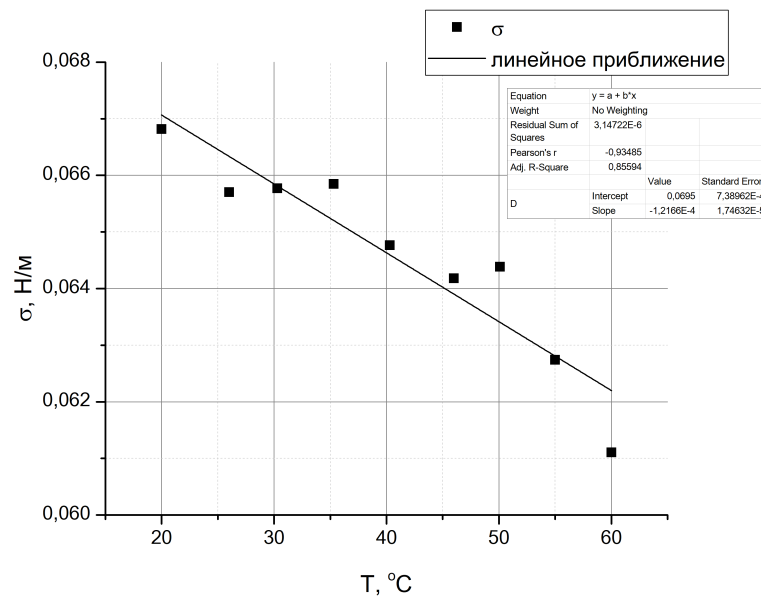


Рисунок 2: график зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры

Отсюда получаем температурный коэффициент:

$$k = \frac{d\sigma}{dT} = -(1.2 \pm 0.2) \cdot 10^{-4} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Построим зависимости от температуры:

- Теплоты образования единицы поверхности жидкости $q = -T \cdot \frac{d\sigma}{dT}$
- Поверхностной энергии единицы площади $u_{\text{пов}} = \sigma - T \cdot \frac{d\sigma}{dT}$

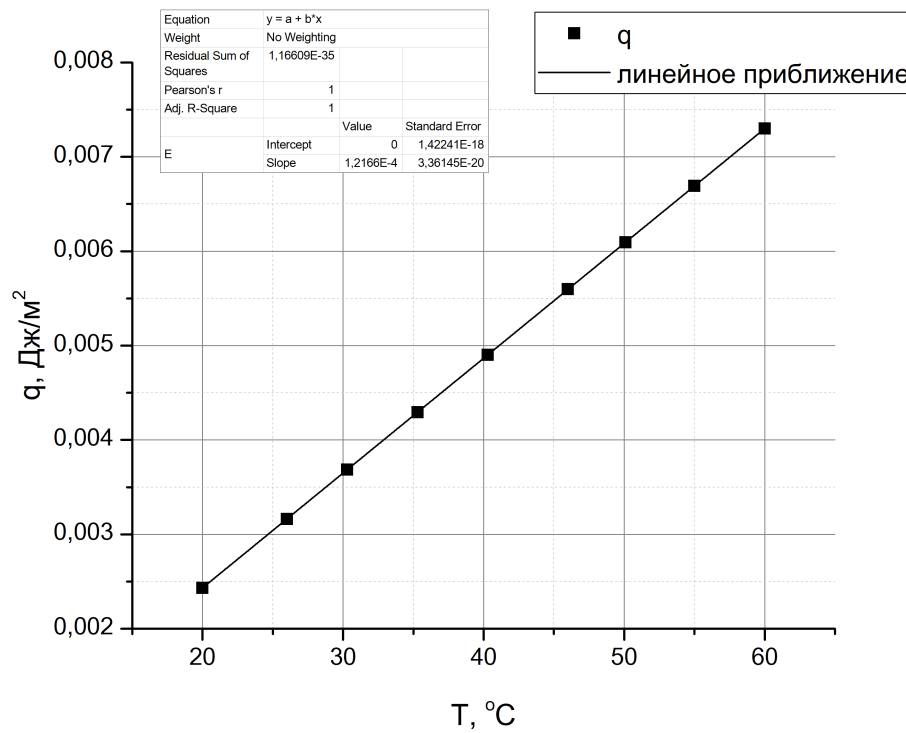


Рисунок 3: график зависимости теплоты образования единицы поверхности жидкости от температуры

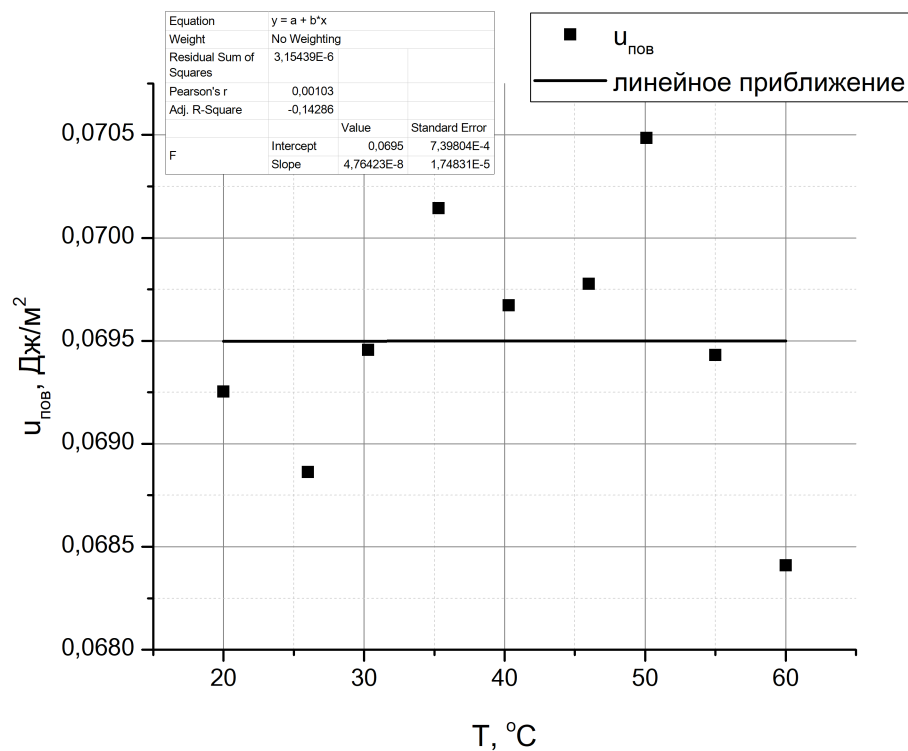


Рисунок 4: график зависимости поверхностной энергии единицы площади от температуры

Расчёт погрешностей

- $\rho_{\text{залитого}}$, $\rho_{\text{указанная}}$, K , C , g , ρ считаем константами без погрешности
- $\sigma_N = 1$ деление
- $\sigma_p = C \frac{\rho_{\text{залитого}}}{\rho_{\text{указанная}}} K \cdot 9.81 \cdot \sigma_N$
- $\sigma_{\Delta h} = 1$ мм
- $\sigma_{p_{\text{внеш}}} = \rho \cdot g \cdot \sigma_{\Delta h}$
- $\sigma_{\Delta p} = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_{p_{\text{внеш}}}^2}$
- $\sigma_r = 0.05$ мм
- $\sigma_\sigma = \frac{1}{2} \sigma \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Delta p}}{\Delta p}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{r}\right)^2}$

- σ_k вычисляется программно методом наименьших квадратов
- $\sigma_T = 0.1 \text{ K}$
- $\sigma_q = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2}$
- $\sigma_{u_{\text{пов}}} = \sqrt{\sigma_\sigma^2 + \sigma_q^2}$

Вывод

Коэффициент поверхностного натяжения с ростом температуры линейно убывает. Поверхностная энергия единицы площади поверхности жидкости не зависит от температуры. Об этом говорит совпадение значений энергии на выбранном интервале температур в пределах погрешности и практически горизонтальная приближающая прямая на графике зависимости $u_{\text{пов}}(T)$. Среднее значение $u_{\text{ср}} = (69 \pm 4) \frac{\text{мДж}}{\text{м}^2}$. Теплота, необходимая для изотермического образования единицы поверхности жидкости, прямо пропорциональна температуре.