

Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости (2.5.1)

Севастьян Черняков Б05-207

20 февраля 2023 г.

1 Аннотация

В данной работе мы находим коэффициент поверхностного натяжения, с помощью иглы, колб с жидкостями и аспиратора, создающего разность давления.

2 Введение

Цель работы: 1) измерение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта; 2) 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; микроскоп.

3 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 дается формулой Лапласа:

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext} = \frac{2\sigma}{r},$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, P_{int} и P_{ext} – давление внутри пузырька и снаружи, r – радиус кривизны поверхности раздела двух фаз. Эта формула лежит в основе предлагаемого метода определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости. Измеряется давление ΔP , необходимое для выталкивания в жидкость пузырька воздуха.

4 Экспериментальная установка

Исследуемая жидкость (дистиллированная вода) наливается в сосуд (колбу) B (рис. (??)). Тестовая жидкость (этиловый спирт) наливается в сосуд E . При измерениях колбы герметично закрываются пробками. Через одну из двух пробок проходит полая металлическая игла. 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 разрежения воздуха в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробужливаться через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разрежения 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 и , 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 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.

Обе погрешности можно устранить, погрузив кончик трубки до самого дна. Полное давление, измеренное при этом микроманометром, равно

$$P = \Delta P + \rho gh.$$

Заметим, что ρgh от температуры практически не зависит, так как подъём уровня жидкости компенсируется уменьшением её плотности (произведение ρg определяется массой всей жидкости и поэтому постоянно). Величину ρgh следует измерить двумя способами.

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 $P_2 = \rho gh + \Delta P''$ ($\Delta P'$, $\Delta P''$ – давление Лапласа). Из-за несжимаемости жидкости можно положить $\Delta P' = \Delta P''$ и тогда

$$\rho gh = P_2 - P_1.$$

Во-вторых, при измерениях P_1 и P_2 замерить линейкой глубину погружения иглы h . Это можно сделать, замеряя расстояние между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора при положении иглы на поверхности и в глубине колбы.

Таблица 1: Постоянные величины.

Плотность этанола ρ_0 , кг/м ³	Плотность воды ρ , кг/м ³	Ускорение свободного падения g , м/с ²	Пересчетный коэффициент k	Коэффициент поверхностного натяжения этанола ($T = 20^\circ\text{C}$) σ_0 , мН/м
809,5	1000,0	9,81	0,2	22,75

5 Ход работы

5.1 Измерение диаметра иглы

Измерим максимальное давление при пробулькивании пузырьков воздуха через спирт:

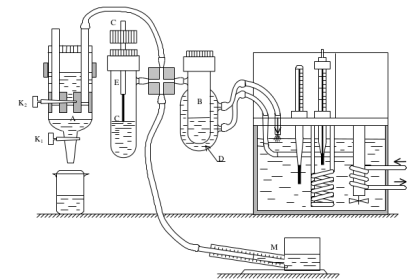


Рис. 1. Схема установки для измерения температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения

Рис. 1: Рисунок экспериментальной установки

P' , дел.	48
P , Па	91.4
$P_{\text{макс}}$	91.4
ε_P , Па	$\sqrt{(\varepsilon_P^{\text{сист}})^2 + (\varepsilon_P^{\text{случ}})^2} = \sqrt{2^2 + 0^2} \approx 2$

Таблица 2: Результаты измерений в спирте

По формуле (??) найдем диаметр иглы:

$$d = \frac{4\sigma_c}{P_{\text{макс}}} = (0,97 \pm 0.02) \text{ мм.}$$

Результат полученный под микроскопом: $D = (0.95 \pm 0.05)$ мм, это означает, что диаметр найденный экспериментально достаточно точен.

5.2 Измерение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения

Снимать будем двумя способами: при касании поверхности воды и при полном погружении иглы.

Глубина погружения измеренная линейкой: $\Delta h = (1.5 \pm 0.1)$ см. Глубина погружения по разнице давлений из первого опыта: $\Delta P = (203 - 126) * 0.2 * 9.8 = 151 \pm 4$, $\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g} = (1.54 \pm 0.04)$.

$T = 23^\circ\text{C}$			
Вверху		Внизу	
P' , мм	P , Па	P' , мм	P , Па
126.0	246.0	203	397.9

$T = 65.3^\circ\text{C}$			
Вверху		Внизу	
P' , мм	P , Па	P' , мм	P , Па
113.0	221.5	203.0	397.9

Таблица 3: Результаты измерений для воды

Рассчитывать коэффициент поверхностного натяжения будем по формуле:

$$\sigma = \frac{\Delta P d}{4}.$$

Для измерений при опущенной игле учитываем глубину погружения, то есть $\Delta P = P - \rho g h$.

Получаем таблицу:

P' , мм	σ , $\frac{\text{мН}}{\text{м}}$	T , $^\circ\text{C}$
203	76 ± 2	23
204	76 ± 2	25
205	77 ± 2	30
210	79 ± 2	35
208	78 ± 2	40
206	77 ± 2	45
205	77 ± 2	50
204	75 ± 2	55
203	76 ± 2	60

Строим по ним график зависимости $\sigma(T)$:

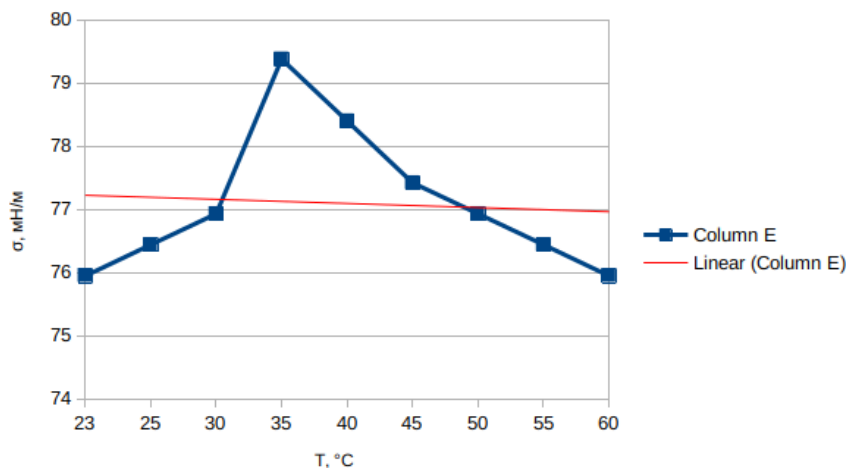


Рис. 2: График зависимости $\sigma(T)$, для погруженной иглы

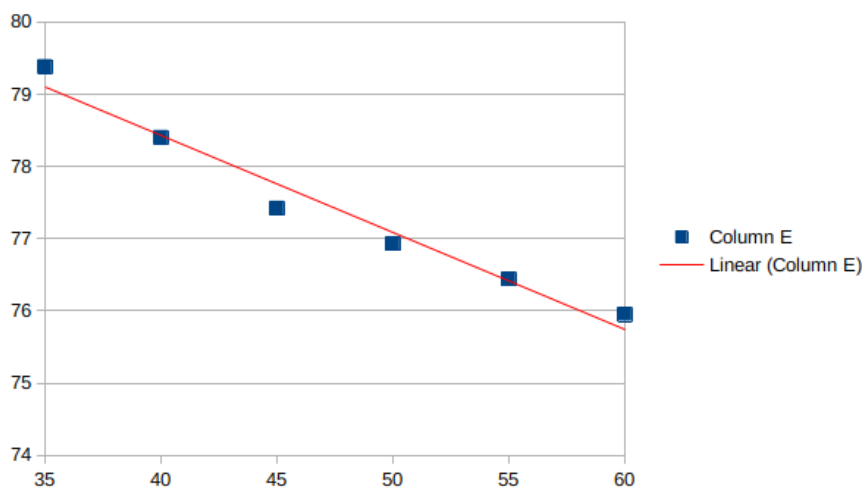


Рис. 3: График зависимости $\sigma(T)$, для погруженной иглы ($T > 35^\circ\text{C}$)

По первому графику видно, что зависимость коэффициента поверхностного натяжения жидкости от её температуры не является прямой и не совпадает с теоретической, вероятно, это связано с несовершенством конструкции установки. При выполнении эксперимента я заметил повышение давления пробулькивания с увеличением температуры, чего не должно быть. Также при переключении микроманометра на атмосферу после проведения измерений столб спирта не всегда возвращался в нулевое положение. При закрытии вентеля аспиратора очень медленно накапливалась капля воды, что может говорить о нарушенной герметичности. Также об этом может свидетельствовать отсутствие пробулькивания при указанной частоте падения капель из аспиратора, для достижения нужного давления приходилось выставлять частоту капель выше указанной. Тем не менее после достижения температуры 35°C зависимость можно описать прямой, в следующих вычислениях буду опираться на эту часть данных.

Температурные коэффициенты $\left(\frac{d\sigma}{dT}\right)$:

1. Погруженная игла: $k = (-13.4 \pm 0.5) \cdot 10^{-2} \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \varepsilon \approx 3.7\%$.

5.3 Графики других величин

Окончательно, с помощью полученных данных построим графики теплоты образования единицы поверхности жидкости: $q = -T \cdot \frac{d\sigma}{dT}$ и поверхностной энергии U единицы площади F : $\frac{U}{F} = \left(\sigma - T \cdot \frac{d\sigma}{dT} \right)$.

Графики построены используя данные погруженной иглы:

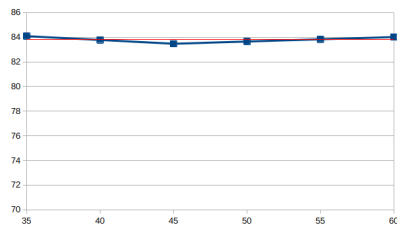


Рис. 4: График $\frac{U}{F}$

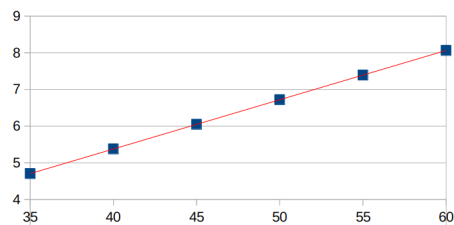


Рис. 5: График q

6 Вывод

В ходе работы:

1. Был экспериментально измерен диаметр иглы при помощи коэффициента поверхностного натяжения спирта. Полученный результат $d = (0.97 \pm 0.02)$ мм с достаточной точностью совпадает с диаметром измеренным с помощью микроскопа $d = (0.95 \pm 0.05)$ мм.
2. Была измерена глубина погружения при помощи линейки $\Delta h = (1.5 \pm 0.1)$ см и теоретически по разнице давлений $\Delta P = (203 - 126) * 0.2 * 9.8 = 150.9 \pm 0.7$, $\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g} = (1.54 \pm 0.02)$ прямые и косвенные измерения сходятся с учетом погрешностей.
3. Получены коэффициенты поверхностного натяжения воды при различных ее температурах, например $\sigma = (76 \pm 2) \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ при температуре 25 °C, однако значения не совпали с табличными (73 мН/м при 25 C.), я полагаю это связано с нарушением герметичности установки (подробнее описал выше).
4. наибольшую погрешность вносит измерение давления при помощи микроманометра (2 процента). Улучшить установку можно, используя более точный цифровой манометр, а также для исключения разгерметизации, вероятно детали конструкции должны быть лучше подогнаны.