

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по термодинамике

**Измерение коэффициента поверхностного натяжения
жидкости [2.5.1]**

Талашкевич Даниил Александрович
Группа Б01-009

Долгопрудный
22.02.2021

Содержание

1	Аннотация	1
2	Теоретические сведения	1
3	Экспериментальная установка	1
4	Измерения	2
5	Обработка данных	4
6	Графики	4
7	Вывод	6

1 Аннотация

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.

2 Теоретические сведения

Поверхностное натяжение имеет двойной физический смысл – энергетический (термодинамический) и силовой (механический). Энергетическое (термодинамическое) определение: поверхностное натяжение – это удельная работа увеличения поверхности при её растяжении при условии постоянства температуры. Силовое (механическое) определение: поверхностное натяжение – это сила, действующая на единицу длины линии, которая ограничивает поверхность жидкости

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:

$$\Delta P = P_{inside} - P_{outside} = \frac{2\sigma}{r}, \quad (1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, P_{inside} и $P_{outside}$ – 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.

3 Экспериментальная установка

Исследуемая жидкость (дистиллированная вода) наливается в сосуд (колбу) B . Тестовая жидкость (этиловый спирт) наливается в сосуд E . При измерениях колбы герметично закрываются пробками. Через одну из двух пробок проходит полая металлическая игла C . 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 пробулькивать через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разрежения ΔP (1), необходимого для прохождения пузырьков (при известном радиусе иглы).

Разрежение в системе создается с помощью аспиратора A . 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 B и C , соединённых трубками с нижней полостью аспиратора, создается такое же пониженное давление. Разность давлений в полостях с разряженным воздухом и атмосферой измеряется спиртовым микроманометром (устройство микроманометра описано в Приложении). Для стабилизации температуры исследуемой жидкости через рубашку D колбы B 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, $P = \Delta P + \rho gh$. Заметим, что ρgh от температуры практически не зависит, так как подъём уровня жидкости компенсируется уменьшением её плотности (произведение ρh 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 $_1$ и $_2$ 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.

4 Измерения

Проведем измерения для спирта. Для этого установим частоту падения капель из аспиратора около 1 капли в 5 секунд. Измерим максимальное избыточное давление в системе. Полученный результат $\Delta p = 40 \Rightarrow \Delta P = 78(p - \text{единица длины на микробарометре, а } P \text{ уже искомое давление})$.

Далее вынем иглу, просушим ее и измерим микроскопом ее диаметр (внутренний):

$$d = 1.2 \pm 0.05 \text{ мм.} \quad (2)$$

Как можно увидеть экспериментальный результат совпал с прямым измерением, что говорит об применимости нашей модели. Из табличного значения коэффициента поверхностного натяжения спирта $\sigma = 22.3 \text{ мН/м}$, теперь по формуле (1) получим:

$$r = \frac{2\sigma}{\Delta P} = 0,6 \text{ мм.}$$

Как можно увидеть экспериментальный результат совпал с прямым измерением, что говорит об применимости нашей модели.

Затем установим иглу в воду так, чтобы она едва касалась воды. Проведя измерения давления и занеся результаты в таблицу ниже получим значение $\Delta P = 6$ Па, затем опустим иглу до дна, предварительно измерив высоту. Вновь измерим высоту:

$$h_1 = 20 \pm 0.5 \text{ мм}; h_2 = 6 \pm 0.5 \text{ мм} \Rightarrow \Delta h = 14 \pm 0.5 \text{ мм}. \quad (3)$$

№	p_1 , отн. длины	p_2 отн. длины
1	126	159
2	125	159
3	124	159
4	125	159
5	125	159
$\langle p \rangle$, отн. длины	125	159
$\langle P \rangle$, Па	245	311

Проведем серию измерений P_2 для различных температур воды в интервале $[20-60^\circ\text{C}]$ (шаг 5°C), регулируемых термостатом, занесем результаты в таблице ниже.

№	$p_2(25)$	$p_2(30)$	$p_2(35)$	$p_2(40)$	$p_2(45)$	$p_2(50)$	$p_2(55)$
1	158	158	156	155	154	153	151
2	158	157	156	155	154	152	152
3	158	157	156	156	153	152	152
4	159	157	156	155	153	153	152
5	158	157	155	154	154	153	151
$\langle p_2 \rangle$	158	157	156	155	154	153	152
$\langle P_2 \rangle$, Па	309,68	307,72	305,76	303,80	300,86	298,90	296,94

По полученным данным можем получить зависимость $P_2(t)$, так как мы знаем как получить давление в Па через относительную длину (показания микроманометра)

$t, ^\circ\text{C}$	P_2 , Па	p_2 , отн. длины
25	309,68	158
30	307,72	157
35	305,76	156
40	303,80	155
45	300,86	154
50	298,90	153
55	296,94	152

Такое округление обусловлено тем, что погрешность микроманометра 1 [отн. длина], а P_i считает по формуле, с точностью констант до 2 знаков после запятой.

5 Обработка данных

Проведем пересчет экспериментальных данных для нахождения $\sigma(T)$, оценим погрешности.

Построим график зависимости $\sigma(T)$

Из график *методом наименьших квадратов* найдем:

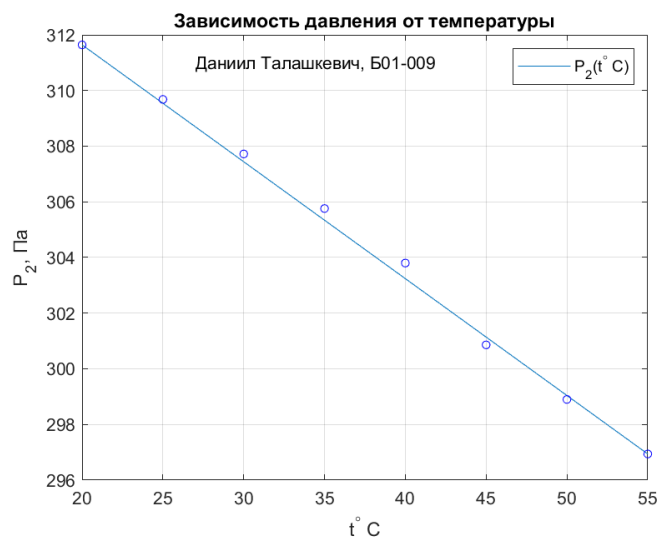
$$\frac{d\sigma}{dT} = (-0.126 \pm 0.01) \text{ мН} \cdot \text{м}/\text{C} \quad (4)$$

Сравним с табличным:

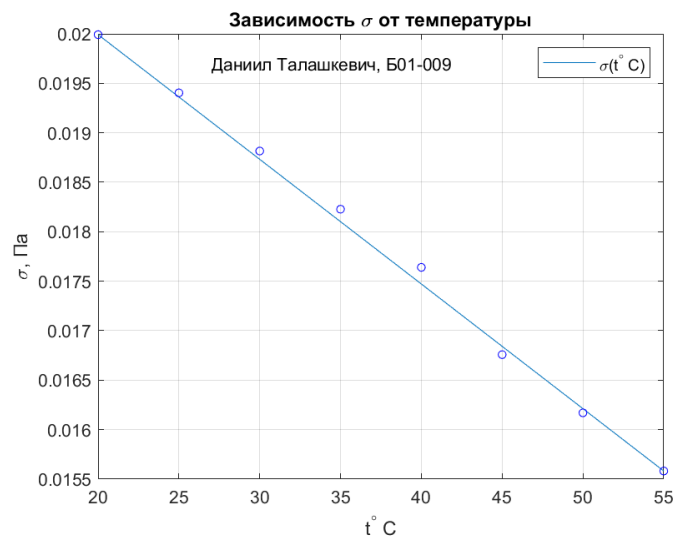
$$\frac{d\sigma_t}{dT} = -0.17 \text{ мН} \cdot \text{м}/\text{C} \quad (5)$$

6 Графики

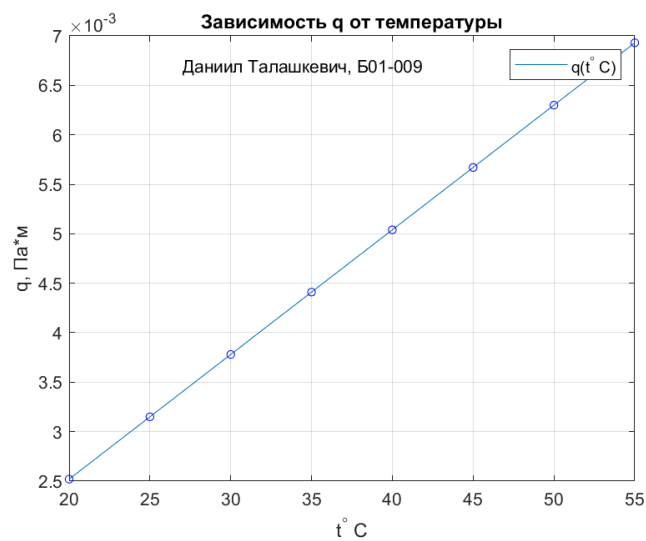
По полученным данным построим график $P_2(t)$:



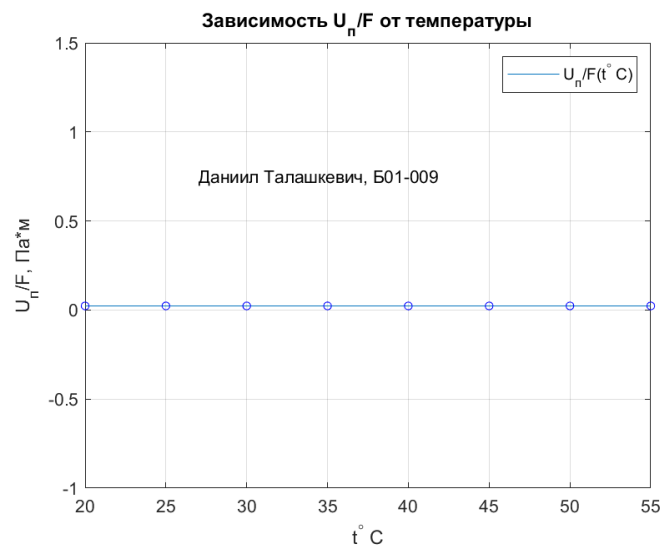
Используя формулу (1) и по полученному r капилляра построим график $\sigma(t)$:



По МНК рассчитаем коэффициент наклона, то есть $q = -T \frac{d\sigma}{dT}$, где $\frac{d\sigma}{dT} = -0,000126$. Тогда построим график $q(T)$:



Теперь построим график зависимости U_{π}/F ($t^{\circ}\text{C}$). $U_{\pi}/F = \sigma - T \frac{d\sigma}{dT} = \sigma + q$:



7 Вывод

Теория точно описывает вид наблюдаемых зависимостей, хоть численно и отличается на величину, значительно превышающую оцененную погрешность измерений, что указывает на низкую точность представленного метода измерений, которая может быть связана с необходимостью учета сложных не квазистационарных процессах, происходящих при пробулькивании пузырька через жидкость.