

Лабораторная работа 2.5.1

Измерение коэффициента

поверхностного натяжения жидкости

Выполнил Жданов Елисей Б01-205

1 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.

2 Оборудование:

Прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром

Исследуемые жидкости

Стаканы

3 Теоретическая справка

Для сферического пузырька с воздухом внутри жидкости избыточное давление задаётся формулой Лапласа:

$$\Delta P = P_{\text{внут}} - P_{\text{снар}} = \frac{2\sigma}{r}$$

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

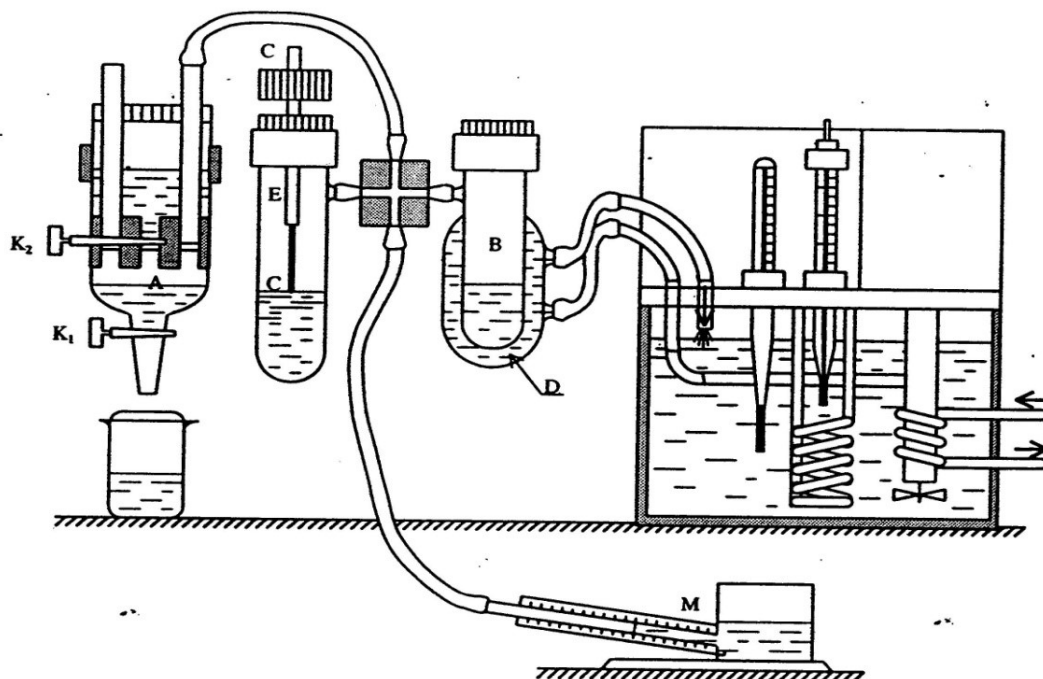
По полученной зависимости $\sigma(T)$ можно определить величины теплоты образования единицы поверхности жидкости:

$$q = -T \frac{d\sigma}{dT}$$

а также поверхностной энергии U единицы площади F :

$$\frac{U}{F} = \left(\sigma - T \frac{d\sigma}{dT} \right)$$

4 Экспериментальная установка



Дистиллированная вода наливается в сосуд В. 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 разрежения воздуха в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробужливаться через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разрежения ΔP , необходимого для прохождения пузырьков.

5 Измерения, Обработка

5.1 Измерения диаметра в спирте

В начале работы необходимо убедиться в точной калибровке манометра, определить нуль его шкалы и в дальнейшем производить замеры, определяя одинаковым методом показания столбика спирта в нем.

Установим иглу в пробирку со спиртом и соприкоснем её с поверхностью этанола. Откроем кран К1.

5 измерений манометра дали одинаковые результаты

$$h_{\text{ман, этанол}} = (43 \pm 1) \text{ мм}$$

Используем формулу для пересчета высоты столба спирта в манометре в разность давлений

$$\frac{2\sigma}{r} = \Delta P = gkh_{\text{ман}}$$

$$k = 0.2$$

Согласно ей, принимая комнатную температуру за 22.3°C , а следовательно, $\sigma_{\text{этанол}} = \frac{(30.0 - 22.3) \cdot 22.78 + (22.3 - 20.0) \cdot 21.90}{10} = 22.58 \frac{\text{мН}}{\text{К}}$ (линейная интерполяция), получим

$$2r = d = \frac{4\sigma}{gkh_{\text{ман}}} = (1.07 \pm 0.02) \text{ мм}$$

Погрешность определяется только величиной $h_{\text{ман}}$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{h_{\text{ман}}}$$

5.2 Измерения диаметра микроскопом

Также диаметр иглы можно измерить визуально с помощью микроскопа.

Результат

$$d = (1.15 \pm 0.05) \text{ мм}$$

Полученные разными методами значения d совпадают в пределах погрешности. К тому же справедливо отметить, что для нахождения величины σ следует использовать "гидростатический" радиус иглы, а не оптический. Поэтому в дальнейшем первое значение будет использоваться в расчетах.

5.3 Измерения глубины погружения в воде

Просушим и продуем иглу от спирта и установим в пробирку с водой.

Приведем замеры нужных величин для иглы, соприкасающейся с поверхностью воды

Относительная высота иглы $h_1 = (53 \pm 1)$ мм

Показания манометра для максимального давления $h_{1\text{ман}} = (116 \pm 1)$ мм

Далее погрузим иглу и найдём те же величины:

Относительная высота иглы $h_{2\text{ман}} = (40 \pm 1)$ мм

Показания манометра для максимального давления $P_{2\text{ман}} = (188 \pm 1)$ мм

Теперь определим глубину погружения иглы в воду для корректировки абсолютных значений давления

Линейно: $\Delta h = h_1 - h_2 = (13.0 \pm 1.4)$ мм

Гидростатически: $\Delta h = \frac{k(h_{2\text{ман}} - h_{1\text{ман}})}{\rho} = (14.4 \pm 0.3)$

Погрешность определяется таким образом

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2}$$

и

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2} \cdot \frac{k}{\rho}$$

Как результат, разница в 10% может быть сочтена как погрешность обеих методик.

5.4 Измерения $\sigma(T)$ в воде

Теперь будем снимать зависимость $\sigma(T)$, убедившись, что прибор откалиброван после прошедших манипуляций.

Для расчета σ выразим её через $h_{\text{ман}}$

$$\sigma_{H_2O} = \frac{gk(h_{\text{ман}} - h_{H_2O})d}{4}$$

Высота h_{H_2O} есть величина смещения показаний манометра из-за погружения в воду иглы. Её следует пересчитать через найденную линейную Δh .

То бишь

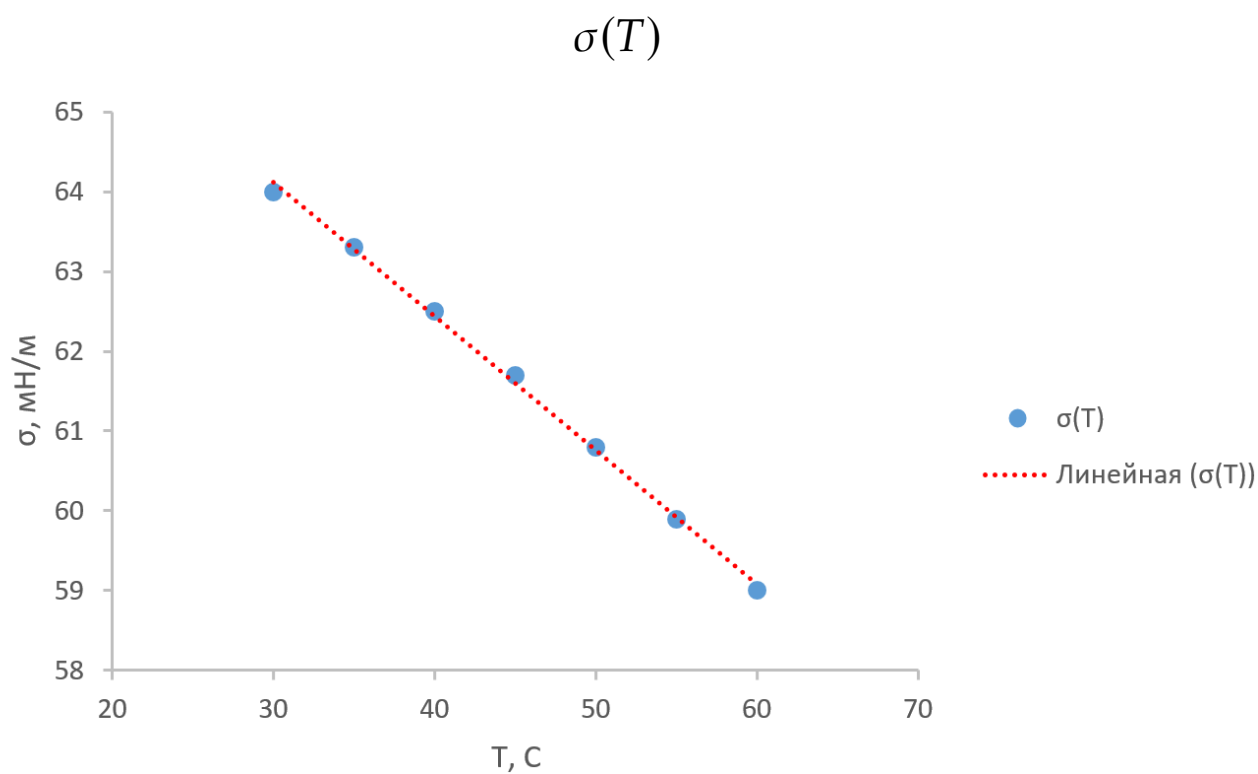
$$h_{H_2O} = \frac{\Delta h \rho}{k} = (65 \pm 7) \text{ мм}$$

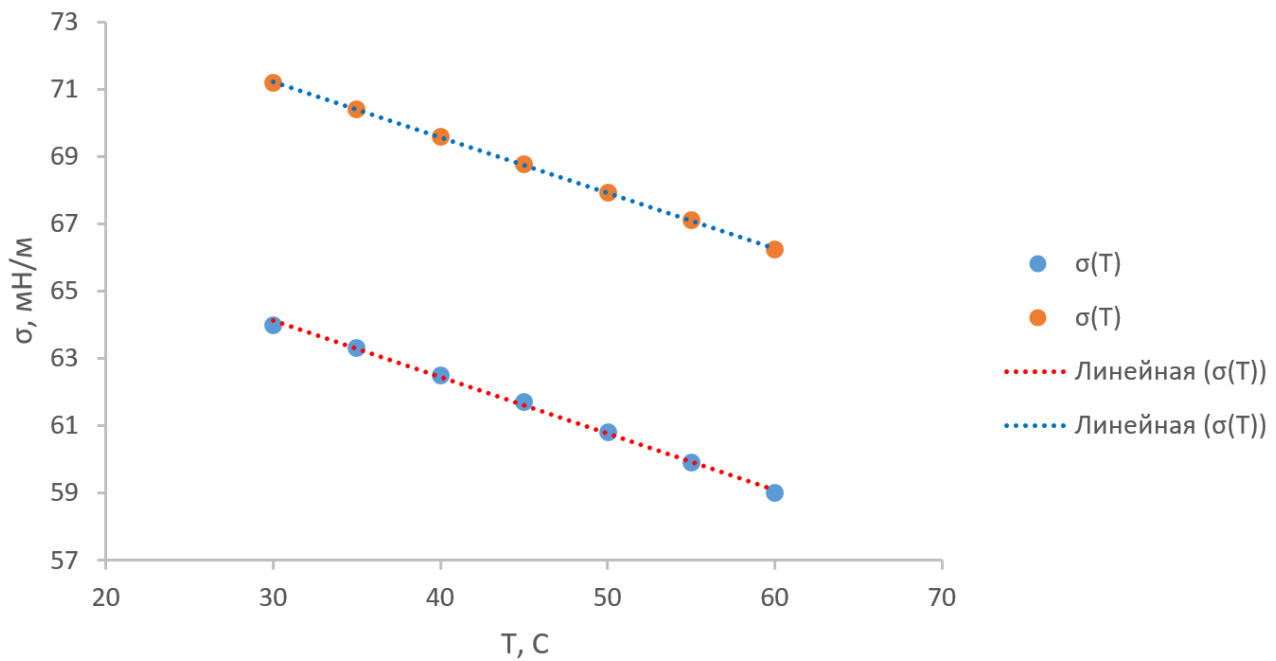
Тогда занесем все полученные и пересчитанные данные в таблицу

$h_{\text{ман}}, \text{мм}$		$\sigma, \frac{\text{мН}}{\text{К}}$	$T, ^\circ\text{C}$
188.0	188.0	(64.5 ± 3.9)	22
187.0	187.0	(64.0 ± 3.9)	30
185.5	186.0	(63.3 ± 3.9)	35
184.0	184.5	(62.5 ± 3.9)	40
182.5	183.0	(61.7 ± 3.9)	45
181.0	181.0	(60.8 ± 3.8)	50
179.0	179.5	(59.9 ± 3.8)	55
177.5	177.5	(59.0 ± 3.8)	60

Построим график зависимости $\sigma(T)$

Первую точку(комнатная температура) выбросим, она сильно отклоняется от остальных.





Найдем угловые коэффициенты прямых для каждой установки по МНК.

$$a = \frac{\langle x_i y_i \rangle - \langle x \rangle \langle y_i \rangle}{\langle x_i^2 \rangle - \langle x_i \rangle^2}$$

$$b = \langle y_i \rangle - a \langle x_i \rangle$$

Также рассчитаем их погрешности

$$S_a^2 = \frac{\langle x_i^2 \rangle}{\langle x_i^2 \rangle - \langle x_i \rangle^2} \cdot \frac{\langle b_i - b \rangle^2}{n - 2}$$

Итоговая формула зависимости

$$\sigma = (69.2 \pm 3.9) - (0.1679 \pm 0.0032)T$$

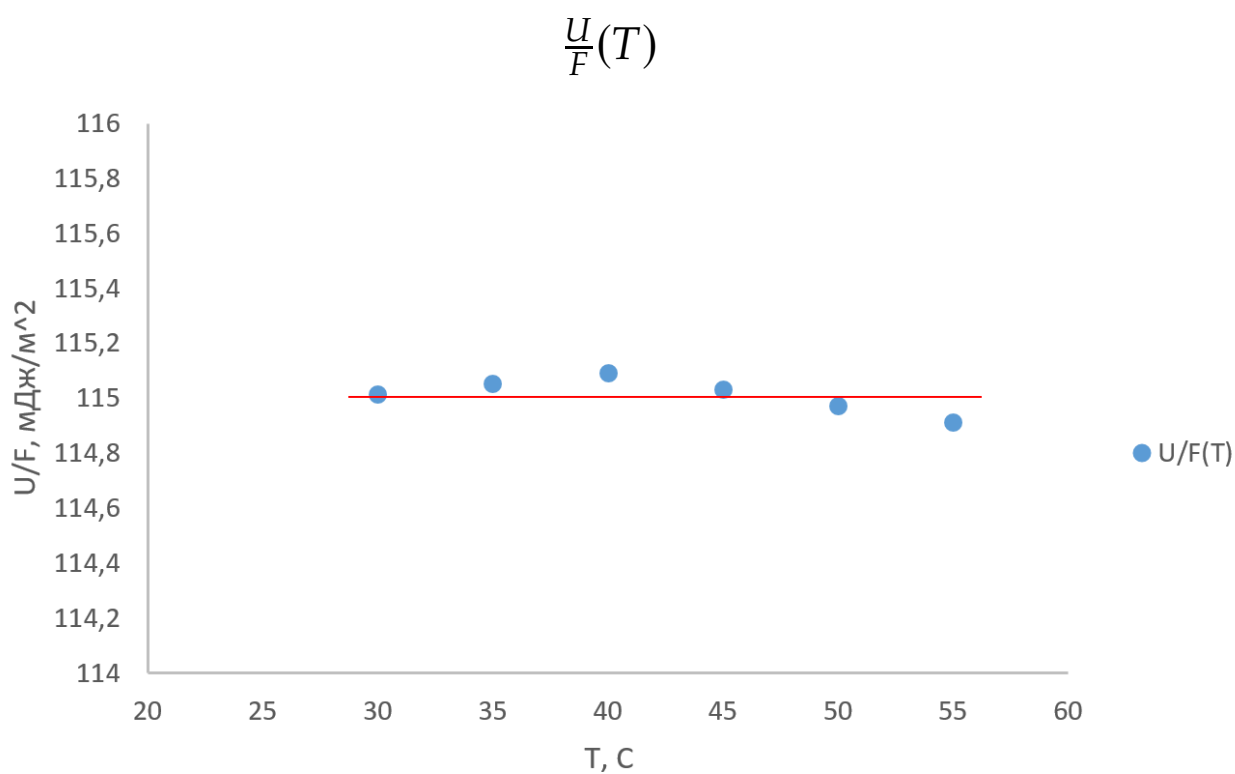
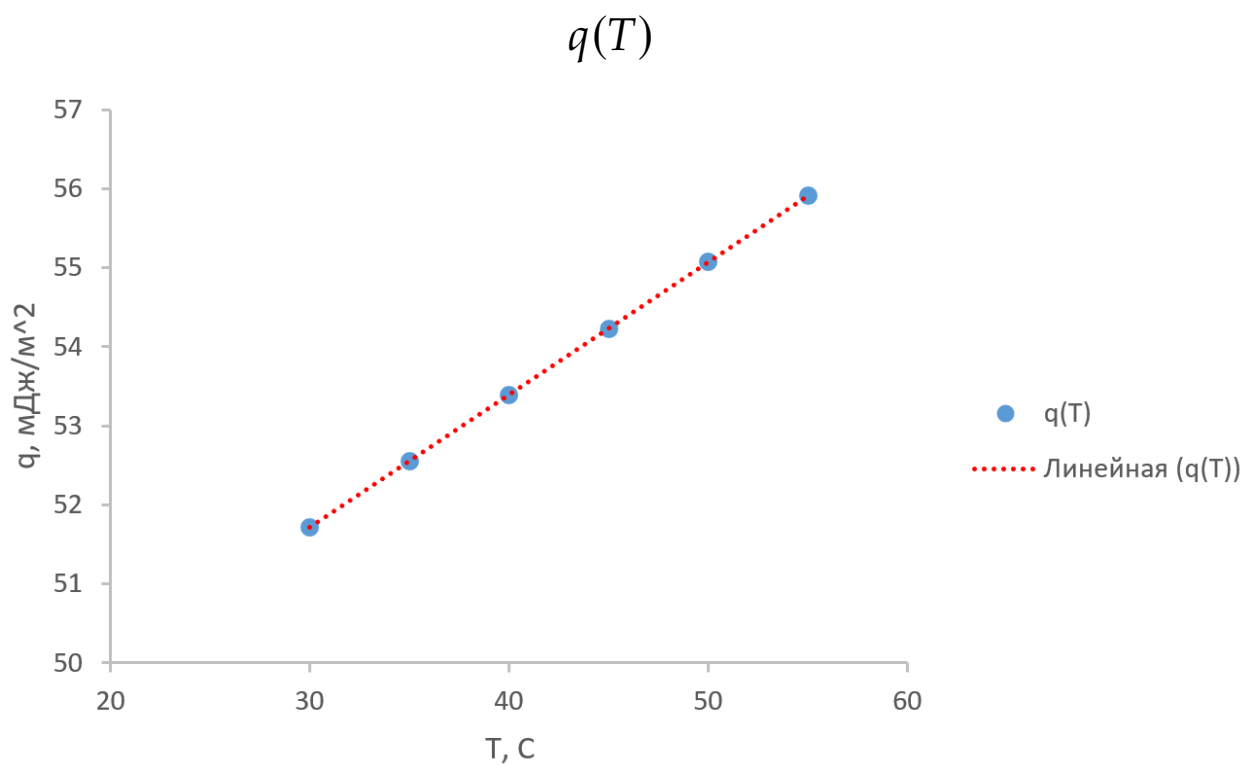
$$\sigma \left[\frac{\text{мН}}{\text{К}} \right], \text{ а } T [^{\circ}\text{C}]$$

При этом погрешность при свободном члене пересчитана с учетом погрешностей σ_i

Соответствующий температурный коэффициент

$$\frac{d\sigma}{dT} = -0.1679 \pm 0.0032$$

Построим требуемые графики q и $\frac{U}{F}$



6 Вывод

В работе была исследована зависимость коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта.

В результате была получена линейная зависимость, отличающаяся от табличных значений не более чем на 10%.

Зависимость $q(T)$ получилась линейной, $\frac{U}{F}(T)$ - константной. Все это согласуется с теоретическими сведениями.

Среднее значение составляет $\frac{U}{F} = (115 \pm 4) \frac{\text{мДж}}{\text{м}^2}$

7 Ресурсы

Расчет по МНК: метод-наименьших-квадратов.рф