

Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости. (2.5.1)

Зайнуллин Амир Б05-206

28 апреля 2023 г.

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; микроскоп.

2 Теоретические сведения

Из-за поверхностного натяжения возникают разные давления с разных сторон искривленной поверхности жидкости:

$$\Delta P = P_{\text{внутри}} - P_{\text{снаружи}} = \frac{2\sigma}{r} \text{ (формула Лапласа)} \quad (1)$$

σ - коэффициент поверхностного натяжения, r - радиус кривизны поверхности.

3 Экспериментальная установка и методика измерений

Тестовая жидкость (этиловый спирт) наливается в сосуд, через пробку в него входит полая металлическая игла. При создании достаточно разреженного воздуха в колбе пузырьки воздуха начинают пробукливать, поверхностное натяжение измеряется по величине разряжения. Разряжение создается с помощью аспиратора, разность давлений измеряется спиртовым микроманометром.

Для стабилизации температуры через рубашку колбы с исследуемой жидкостью прогоняется вода из термостата. Из-за большой теплопроводности трубки температура в разных частях трубки заметно различна и ввиду теплового расширения поднимается уровень жидкости при изменении температуры. Поэтому при температурном измерении кончик иглы опускают до самого дна сосуда, тогда:

$$\Delta P = P - \rho gh \quad (2)$$

ρ - плотность жидкости, h - высота погружения иглы.

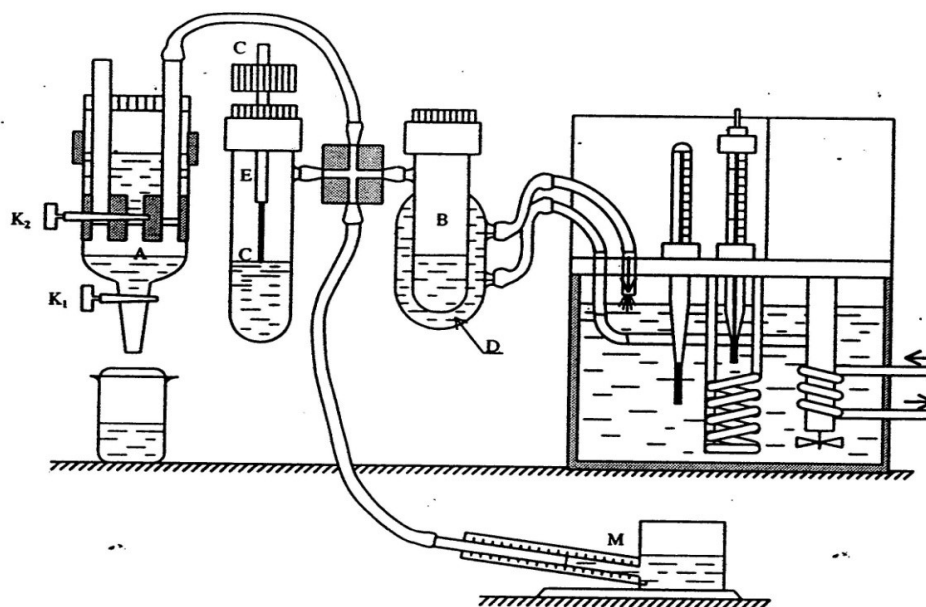


Рис. 1: Схема установки

Методика измерений

1. Измерим диаметр иглы.
2. Определим поправку при измерении давления для погруженной в воду иглы. Утопим иглу до предела. Измерим h_2 . Измерьте максимальное давление в пузырьках. По разности давлений определим глубину погружения.
3. Снимем температурную зависимость $\sigma(T)$ дистиллированной воды. Проводить измерение температурной зависимости рекомендуется в диапазоне 20 - 60 градусов. Для установления температуры жидкости будем ждать пару минут.

4 Результаты измерений и обработка данных

Измерение диаметра иглы

Измерим максимальное давление при пробулькивании пузырьков воздуха через спирт.

| № | P , дел | P , Па |
|---|-----------|----------|
| 1 | 42 | 82,404 |
| 2 | 43 | 84,366 |
| 3 | 42 | 82,404 |
| 4 | 42 | 82,404 |
| 5 | 42 | 82,404 |

Таблица 1: Измерения в спирте

| $P_{\text{ср}}, \text{Па}$ | $P_{\text{сл}}, \text{Па}$ | $P_{\text{сист}}, \text{Па}$ | $\sigma_P, \text{Па}$ | ε_P |
|----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 82,8 | 0,4 | 2,0 | 2,0 | 0,02 |

Таблица 2: Результаты

По формуле найдем диаметр иглы:

$$d = \frac{4\sigma_{\text{с}}}{P_{\text{макс}}} = (1,10 \pm 0.03) \text{ мм.} \quad (3)$$

Результат полученный под микроскопом: $D = (1,15 \pm 0.05) \text{ мм}$, это означает, что диаметр найденный экспериментально достаточно точен.

4.1 Определения поправки при измерении давления для погруженной в воду иглы

Перенесём предварительно промытую и просушенную от спирта иглу в колбу с дистиллированной водой. Измерим максимальное давление P_1 при пробулькивании пузырьков, когда игла лишь касается поверхности воды. Измерите расстояние между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора h_1 .

Утопим иглу в воду. Измерим h_2 . Также измерим максимальное давление в пузырьках P_2 . Полученные результаты заносим в таблицу.

| № | дел | P, Па |
|---|-----|-------|
| 1 | 126 | 247,2 |
| 2 | 126 | 247,2 |
| 3 | 125 | 245,3 |
| 4 | 126 | 247,2 |
| 5 | 125 | 245,3 |
| 6 | 126 | 247,2 |

| $P_{\text{ср}}, \text{Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{Па}$ | $\sigma_P, \text{Па}$ | ε_P | $h_1, \text{мм}$ |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| 246,56 | 0,41 | 1,96 | 2,01 | 0,01 | 21 |

Таблица 3: Результаты измерений P_1

| № | дел | P, Па |
|---|-----|--------|
| 1 | 192 | 376,70 |
| 2 | 191 | 374,74 |
| 3 | 191 | 374,74 |
| 4 | 192 | 376,70 |
| 5 | 192 | 376,70 |
| 6 | 192 | 376,70 |

| $P_{\text{ср}}, \text{Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{Па}$ | $\sigma_P, \text{Па}$ | ε_P | $h_1, \text{мм}$ |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| 376,05 | 0,41 | 1,96 | 2,01 | 0,01 | 8 |

Таблица 4: Результаты измерений P_2

Также вычисляем погрешность:

$$\sigma_{\Delta P} = \sqrt{\sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2} \approx 2,8 \text{ Па.} \quad (4)$$

Таким образом, получаем

$$\Delta P = (129,5 \pm 2,8) \text{ Па} \quad (5)$$

По полученному значению ΔP можем рассчитать Δh по следующей формуле:

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g} \approx 13,2 \text{ мм,}$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды и $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

При этом погрешность нашего измерения равна

$$\sigma_{\Delta h} = \Delta h \cdot \varepsilon_{\Delta P} \approx 0,3 \text{ мм.}$$

Таким образом, получаем $\Delta h = (13,2 \pm 0,3) \text{ мм}$

Заметим, что полученный результат в пределах погрешности совпадает с результатом, полученном прямым измерением $\Delta h' = (13 \pm 0,71) \text{ мм}$.

Значит, в ходе дальнейших измерений мы будем делать поправку $\Delta P = (129,5 \pm 2,8) \text{ Па}$ на добавочное давление со стороны столба жидкости.

Измерение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения

Снимем температурную зависимость $\sigma(T)$ дистиллированной воды. Для этого включим термостат и подождём, пока нужная нам температура не стабилизируется. После этого проведём измерение давления. Для уменьшения погрешности опыта замер давления при фиксированной температуре проведём несколько раз. Результаты измерений занесём в таблицу

| $T, \text{ К}$ | $P', \text{ дел}$ | $P', \text{ Па}$ | $\langle P' \rangle, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{ Па}$ | $\sigma_{P'}, \text{ Па}$ | $P, \text{ Па}$ | $\sigma_P, \text{ Па}$ | ε_P |
|----------------|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 298 | 192 | 376,7 | 377,1 | 0,4 | 2,0 | 2,0 | 247,6 | 3,4 | 0,01 |
| | 192 | 376,7 | | | | | | | |
| | 193 | 378,7 | | | | | | | |
| | 192 | 376,7 | | | | | | | |
| | 192 | 376,7 | | | | | | | |

| $T, \text{ К}$ | $P', \text{ дел}$ | $P', \text{ Па}$ | $\langle P' \rangle, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{ Па}$ | $\sigma_{P'}, \text{ Па}$ | $P, \text{ Па}$ | $\sigma_P, \text{ Па}$ | ε_P |
|----------------|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 303 | 192 | 376,7 | 376,7 | 0,0 | 2,0 | 2,0 | 247,2 | 3,4 | 0,01 |
| | 192 | 376,7 | | | | | | | |
| | 192 | 376,7 | | | | | | | |
| | 192 | 376,7 | | | | | | | |
| | 192 | 376,7 | | | | | | | |

| $T, \text{ К}$ | $P', \text{ дел}$ | $P', \text{ Па}$ | $\langle P' \rangle, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{ Па}$ | $\sigma_{P'}, \text{ Па}$ | $P, \text{ Па}$ | $\sigma_P, \text{ Па}$ | ε_P |
|----------------|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 308 | 191 | 374,7 | 373,2 | 0,4 | 2,0 | 2,0 | 243,7 | 3,4 | 0,01 |
| | 190 | 372,8 | | | | | | | |
| | 190 | 372,8 | | | | | | | |
| | 190 | 372,8 | | | | | | | |
| | 190 | 372,8 | | | | | | | |

| T, K | $P', \text{ дел}$ | $P', \text{ Па}$ | $\langle P' \rangle, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{ Па}$ | $\sigma_{P'}, \text{ Па}$ | $P, \text{ Па}$ | $\sigma_P, \text{ Па}$ | ε_P |
|--------|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 313 | 189 | 370,8 | 370,4 | 0,4 | 2,0 | 2,0 | 240,9 | 3,4 | 0,01 |
| | 189 | 370,8 | | | | | | | |
| | 188 | 368,9 | | | | | | | |
| | 189 | 370,8 | | | | | | | |
| | 189 | 370,8 | | | | | | | |

| T, K | $P', \text{ дел}$ | $P', \text{ Па}$ | $\langle P' \rangle, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{ Па}$ | $\sigma_{P'}, \text{ Па}$ | $P, \text{ Па}$ | $\sigma_P, \text{ Па}$ | ε_P |
|--------|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 318 | 187 | 366,9 | 367,7 | 0,5 | 2,0 | 2,0 | 238,2 | 3,5 | 0,01 |
| | 187 | 366,9 | | | | | | | |
| | 188 | 368,9 | | | | | | | |
| | 187 | 366,9 | | | | | | | |
| | 188 | 368,9 | | | | | | | |

| T, K | $P', \text{ дел}$ | $P', \text{ Па}$ | $\langle P' \rangle, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{ Па}$ | $\sigma_{P'}, \text{ Па}$ | $P, \text{ Па}$ | $\sigma_P, \text{ Па}$ | ε_P |
|--------|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 323 | 186 | 364,9 | 365,3 | 0,4 | 2,0 | 2,0 | 235,8 | 3,4 | 0,01 |
| | 186 | 364,9 | | | | | | | |
| | 186 | 364,9 | | | | | | | |
| | 187 | 366,9 | | | | | | | |
| | 186 | 364,9 | | | | | | | |

| T, K | $P', \text{ дел}$ | $P', \text{ Па}$ | $\langle P' \rangle, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{ Па}$ | $\sigma_{P'}, \text{ Па}$ | $P, \text{ Па}$ | $\sigma_P, \text{ Па}$ | ε_P |
|--------|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 328 | 185 | 363,0 | 362,6 | 0,4 | 2,0 | 2,0 | 233,1 | 3,4 | 0,01 |
| | 185 | 363,0 | | | | | | | |
| | 185 | 363,0 | | | | | | | |
| | 184 | 361,0 | | | | | | | |
| | 185 | 363,0 | | | | | | | |

| T, K | $P', \text{ дел}$ | $P', \text{ Па}$ | $\langle P' \rangle, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{случ}}, \text{ Па}$ | $\sigma_P^{\text{сист}}, \text{ Па}$ | $\sigma_{P'}, \text{ Па}$ | $P, \text{ Па}$ | $\sigma_P, \text{ Па}$ | ε_P |
|--------|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 333 | 184 | 361,0 | 360,2 | 0,5 | 2,0 | 2,0 | 230,7 | 3,5 | 0,01 |
| | 183 | 359,0 | | | | | | | |
| | 184 | 361,0 | | | | | | | |
| | 184 | 361,0 | | | | | | | |
| | 183 | 359,0 | | | | | | | |

Таблица 5: Результаты измерений

Также учитываем поправку к измеренному давлению, которая была вычислена в формуле (5). Полученные результаты также заносим в таблицу.

По полученным данным вычислим коэффициент поверхностного натяжения для каждой из температур по формуле

$$\sigma = \frac{Pd}{4}, \quad (6)$$

где d – диаметр иглы. Погрешность такого результата вычисляется по следующей формуле:

$$\sigma_\sigma = \sigma \sqrt{\varepsilon_P^2 + \varepsilon_d^2}. \quad (7)$$

Полученные результаты заносим в таблицу.

| № | T , К | σ_T , К | σ , мН/м | σ_σ , мН/м |
|---|---------|----------------|-----------------|------------------------|
| 1 | 298,0 | 0,2 | 68,1 | 1,8 |
| 2 | 303,0 | 0,2 | 68,0 | 1,8 |
| 3 | 308,0 | 0,2 | 67,0 | 1,7 |
| 4 | 313,0 | 0,2 | 66,3 | 1,7 |
| 5 | 318,0 | 0,2 | 65,5 | 1,7 |
| 6 | 323,0 | 0,2 | 64,9 | 1,7 |
| 7 | 328,0 | 0,2 | 64,1 | 1,7 |

Таблица 6: Полученные результаты вычислений

Строим на графике полученную зависимость и считаем коэффициент наклона графика по МНК.

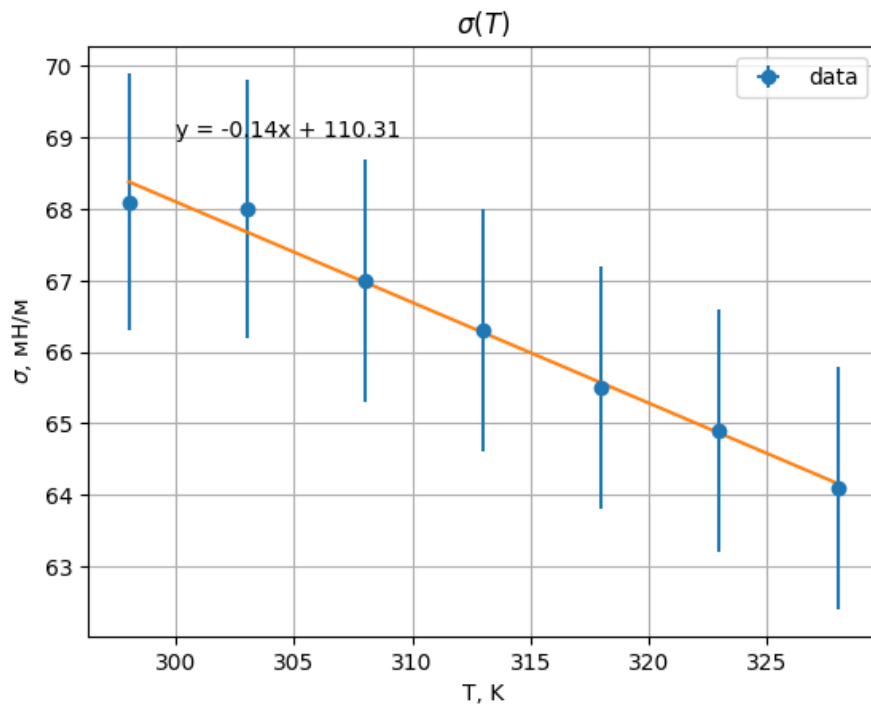


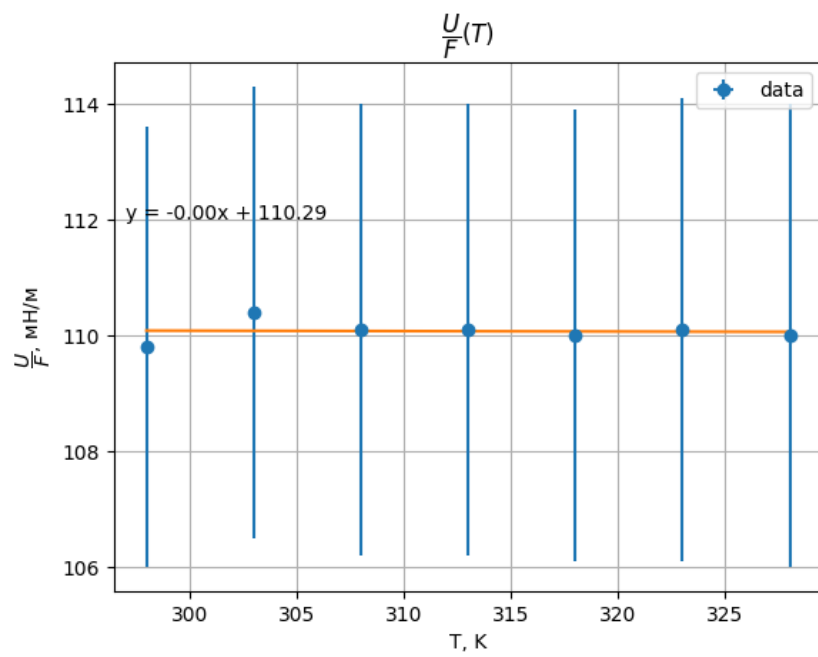
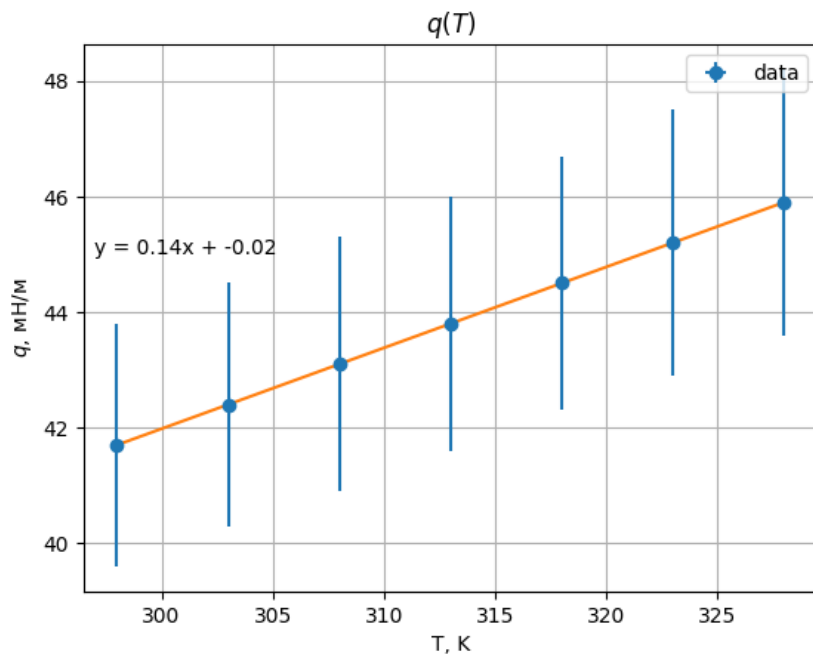
Рис. 2: Зависимость $\sigma(T)$

$$k = \frac{d\sigma}{dT} = (-0,140 \pm 0,007) \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Построим также зависимость теплоты образования единицы поверхности жидкости от температуры $q(T) = -T \frac{d\sigma}{dT}$ и поверхностной энергии единицы площади от температуры $\frac{U}{F} = \left(\sigma - T \frac{d\sigma}{dT}\right)$

| № | T, K | $q, \text{ мН/м}$ | $\sigma_q \text{ мН/м}$ | $\frac{U}{F}, \text{ мН/м}$ | $\sigma_{\frac{U}{F}}, \text{ мН/м}$ |
|---|--------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 298 | 41,7 | 2,1 | 109,8 | 3,8 |
| 2 | 303 | 42,4 | 2,1 | 110,4 | 3,9 |
| 3 | 308 | 43,1 | 2,2 | 110,1 | 3,9 |
| 4 | 313 | 43,8 | 2,2 | 110,1 | 3,9 |
| 5 | 318 | 44,5 | 2,2 | 110,0 | 3,9 |
| 6 | 323 | 45,2 | 2,3 | 110,1 | 4,0 |
| 7 | 328 | 45,9 | 2,3 | 110,0 | 4,0 |

Таблица 7: Данные для графиков



5 Выводы

1. В ходе работы был измерен диаметр иглы двумя способами. Первый способ - при помощи известного коэффициента поверхностного натяжения спирта. Полученный результат сходится с хорошей точностью со вторым способом - измерением диаметра микроскопом.
2. Было определено добавочное давление, создаваемое жидкостью при опускании иглы на некоторую высоту. Данная величина так же сходится с прямым измерением высоты. Полученная поправка была использована в основной части работы. Игла была погружена в основной части работы для увеличения точности измерений.
3. Был экспериментально получен коэффициент поверхностного натяжения воды для 7 различных температур в диапазоне 25-60 градусов. Мы выяснили, что коэффициент поверхностного натяжения зависит от температуры прямо пропорционально. Данные хорошо ложились на линейную зависимость, несмотря на большие кресты погрешности.
4. Табличное значение коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды при 20 градусах равен 72 мН/м. Что почти сходится с нашим полученным результатом. Значит данная лабораторная работа обладает хорошей точностью.
5. Полученные результаты дают основание полагать, что теоретические данные довольно точно описывают наблюдаемые зависимости.
6. С помощью графиков убедились, что зависимость теплоты образования единицы поверхности жидкости от температуры линейна. А поверхностная энергия единицы площади от температуры **не зависит**.