

Задача 2.5.1

Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

Лось Денис (группа 611)

31 марта 2017

Цель работы: измерение коэффициента поверхностного натяжения исследуемой жидкости при разной температуре с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения другой жидкости; определение полной поверхностной энергии и теплоты, необходимой для изотермического образования единицы поверхности жидкости.

В работе используются: прибор Ребиндера с термостатом, исследуемые жидкости, стаканы.

Теоритическая часть

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

$$\Delta P = P_{\text{внутри}} - P_{\text{снаружи}} = \frac{2\sigma}{r}$$

Эта формула лежит в основе метода определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости. Измеряется давление, необходимое для выталкивания в жидкость пузырька газа.

Экспериментальная установка

Исследуемая жидкость (анилин) наливается в сосуд В. Дистиллированная вода наливается в сосуд Е. Сосуды закрыты пробками. Через пробку сосуда, в котором проводятся измерения, проходит полая металлическая игла С, нижний конец которой погружен в жидкость, а верхний открыт в атмосферу. Если другой сосуд герметично закрыт, то в сосуде с иглой создаётся разрежение, и пузырьки воздуха начинают пробулькивать через жидкость. Поверхностное натяжение можно найти по величине разрежения, необходимого для прохождения пузырьков.

Для стабилизации температуры исследуемой жидкости через рубашку D 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. Это гидростатическое давление вычитается из падения лапласова давления вследствие уменьшения σ , и в опыте с анилином, например, наблюдаемый эффект меняет при высоте столба жидкости порядка пяти сантиметров.

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 компенсирует уменьшением её плотности.

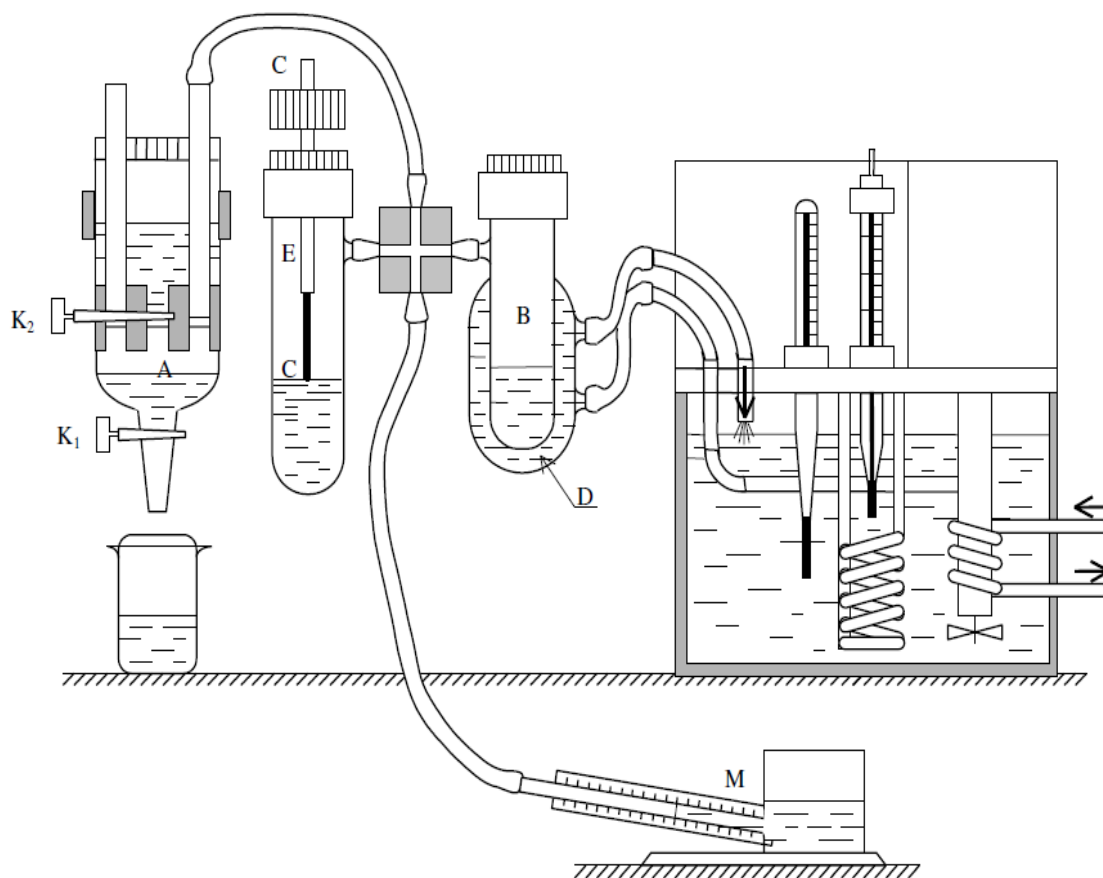


Рис. 1: Схема установки для измерения температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения

Ход работы

1. С помощью микроскопа измерим диаметр иглы:

$$d_1 = (8.5 \pm 0.5) \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

2. Установим иглу в сосуде со спиртом так, чтобы её кончик лишь коснулся поверхности спирта. Добьёмся пробукливания пузырьков, установив скорость падения капель примерно 1 капля в 5 секунд. Измерим максимальное давление при пробукливании пузырька. Пользуясь табличным значением коэффициента поверхностного натяжения спирта, определим диаметр иглы.

N	ΔP , дел	ΔP , Па
1	60	95
2	58	92
3	58	92

Таблица 1: Измерение максимального давления при пробукливании пузырька

Следовательно,

$$d_2 = (9.5 \pm 0.4) \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

3. Перенесём иглу в сосуд с аналином и измерим максимальное давление в пузырьках, когда игла лишь касается поверхности жидкости при $h_1 = (58 \pm 1)$ мм. Значит,

N	ΔP , дел	ΔP , Па
1	126	200.24
2	125	198.65
3	126	200.24

$$\Delta P_1 = (200 \pm 2) \text{ Па}$$

4. Утопим иглу до предела так, чтобы между концом иглы и дном оставался небольшой зазор, чтобы образующийся пузырёк не касался дна. Измерим максимальное давление в пузырьках при $h_2 = (73 \pm 1)$ мм. А следовательно,

N	ΔP , дел	ΔP , Па
1	201	319.4
2	199	316.3
3	200	317.8

$$\Delta P_2 = (318 \pm 1) \text{ Па}$$

По разности давлений в этом и предыдущем пункте определим глубину погружения:

$$\Delta h' = \frac{\Delta P_2 - \Delta P_1}{g\rho_{\text{анил}}} = (11.7 \pm 0.3) \text{ мм}$$

Заметим, что $\Delta h = h_2 - h_1 = (15 \pm 1) \text{ мм}$

5. Снимем зависимость $\sigma(T)$ при нагревании анилина.

T , К	ΔP , дел	ΔP , дел	ΔP , Па	σ , $10^{-3} \cdot \text{Н/м}$
296.85	201 199 200	200.0	317.84	42.55
303.05	198 198 198	198.0	314.66	41.88
305.45	197 198 197	197.3	313.60	41.65
307.15	197 197 197	197.0	313.07	41.54
312.35	196 196 195	195.6	310.96	41.09
316.15	195 195 195	195.0	309.90	40.86
320.15	194 194 194	194.0	308.31	40.52

Таблица 2: Зависимость σ от T

Построим график зависимости σ от T и с его помощью определим $d\sigma/dT$. На этом же графике изобразим зависимость от температуры теплоты образования единицы площади поверхности q и поверхностной энергии единицы площади поверхности $U_{\text{п}}/\Pi$

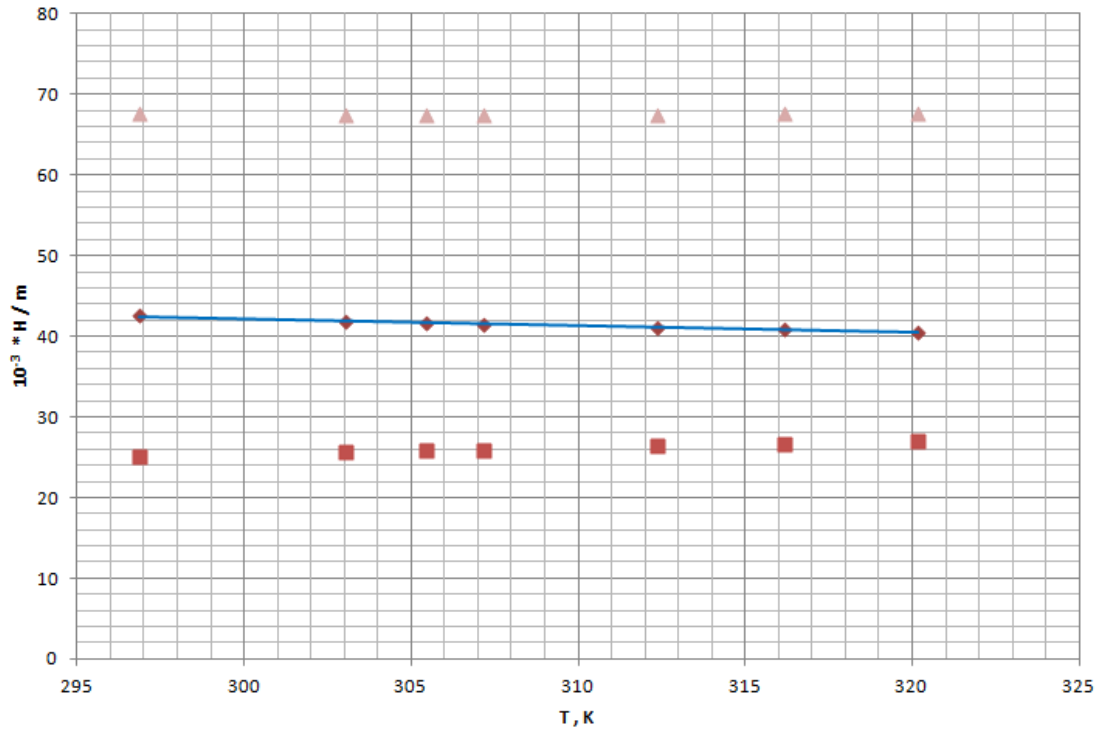


Рис. 2: График зависимости σ , q и U_n/Π от T

Следовательно,

$$\frac{d\sigma}{dT} = -(0.084 \pm 0.004) \cdot 10^{-3} \frac{\text{H}}{\text{м}}$$

T , К	q , $10^{-3} \cdot \text{H}/\text{м}$	U_n/Π , $10^{-3} \cdot \text{H}/\text{м}$
296.85	25.07	67.62
303.05	25.59	67.47
305.45	25.79	67.44
307.15	25.94	67.48
312.35	26.38	67.46
316.15	26.70	67.56
320.15	27.04	67.56

Таблица 3: Зависимость q и U_n/Π от T

Оценка критической температуры анилина(контрольный вопрос)

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{d\sigma}{dT}T$$

При $T \approx T_{\text{кр}}$ коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 0$. Если $\sigma_0 = (67.51 \pm 2.78) \cdot 10^{-3} \text{ Н / м}$.

$$T_{\text{крит}} = (530 \pm 24)^\circ \text{C}$$