

Лабораторная работа 2.5.1 Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

Трунов Владимир

8 марта 2022 г.

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.

Оборудование

Прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром, спирт и вода, стакан.

Теория к работе

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:

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

σ - коэффициент поверхностного натяжения, R - радиус кривизны поверхности раздела двух фаз. Измеряется давление ΔP , необходимое для выталкивания в жидкость пузырька воздуха.

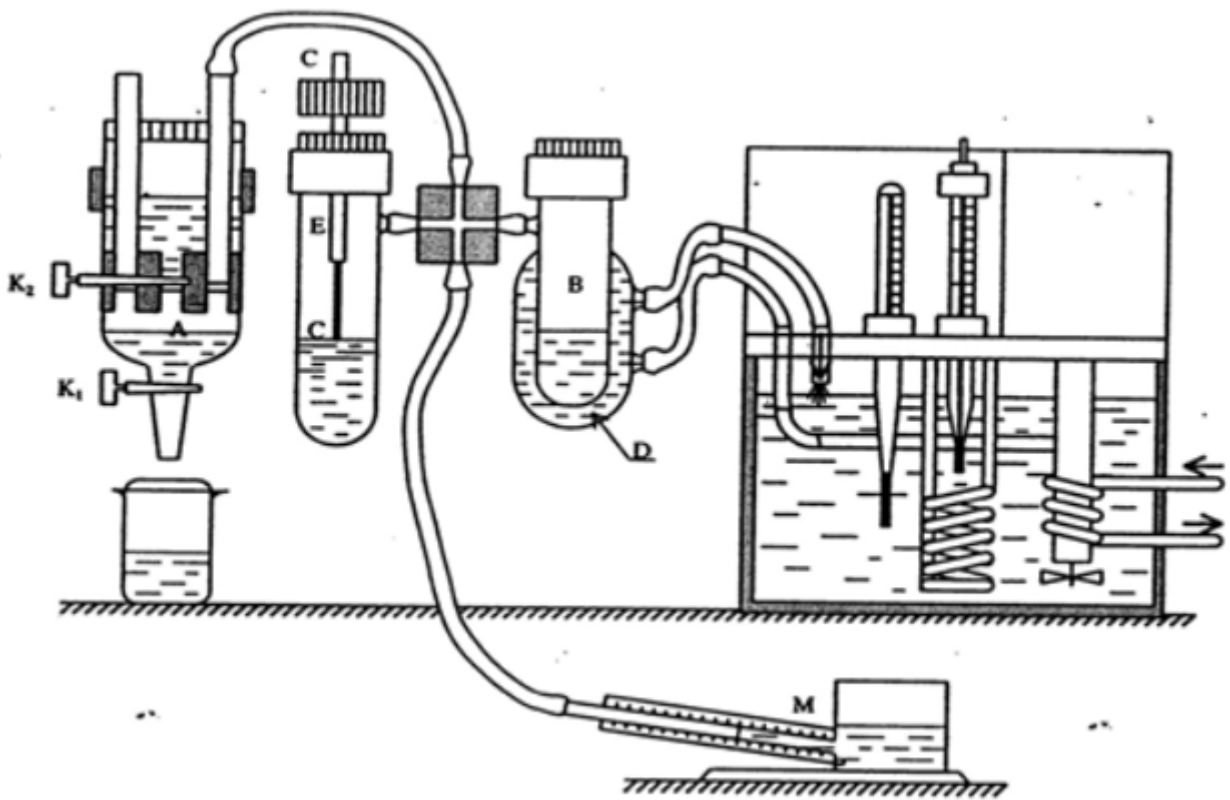
Описание экспериментальной установки

На рисунке ниже изображена экспериментальная установка. Исследуемая жидкость (дистиллированная вода) наливается в сосуд (колбу) В. Тестовая жидкость (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 погружён 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 , необходимого для прохождения пузырьков (при известном радиусе иглы).

Разрежение в системе создается с помощью аспиратора А. Кран К2 разделяет две полости аспиратора. При закрытом кране К2 открывают кран К1, разрежение воздуха в колбе создаётся когда вода вытекает из крана К1 по каплям. В колбах В и С, соединённых трубками с нижней полостью аспиратора, создается такое же пониженное давление. Разность давлений в полостях с разреженным воздухом и атмосферой измеряется спиртовым микроманометром. Для стабилизации температуры исследуемой жидкости через рубашку D колбы В 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 глубже в жидкость. Полное давление, измеренное при этом микроманометром, $P = \Delta P + \rho gh$. ρgh не зависит от температуры жидкости. Величину ρgh следует измерить двумя способами. Во-первых, замерить величину $P1 = \Delta P'$, когда кончик трубки только касается поверхности жидкости. Затем при этой же температуре опустить иглу глубже в жидкость и замерить $P2 = \rho gh + \Delta P''$ ($\Delta P'$, $\Delta P''$ – давление Лапласа). Из-за несжимаемости жидкости можно положить $\Delta P' = \Delta P''$ и тогда $\rho gh = P2 - P1$. Во-вторых, при измерениях P1 и P2 замерить линейкой глубину погружения иглы h.



Ход работы

Для начала опустим кончик иглы в спирт и установим скорость капель примерно 1 капля в 5 секунд. Далее проведем измерение максимального давления при пробулькивании пузырька. Далее промоем иглу и проведем аналогичные измерение для поверхности воды. После этого погрузим кончик иглы на максимально возможную глубину и установим зависимость коэффициента поверхностного натяжения от темпетаруты.

Измерим $d = 2R = 1,20 \pm 0,05\text{мм}$ - диаметр иглы с помощью микроскопа. Разность давлений измеряется не напрямую, а через положение жидкости в манометре, поэтому $\Delta P = kh$, где h - высота в миллиметрах жидкости в манометре, а $k = 1,96 \frac{\text{Па}}{\text{мм}}$ - коэффициент пересчёта. Погружать иголку будем на $H = 6,5\text{ см}$. Измеренные данные занесём в таблицу:

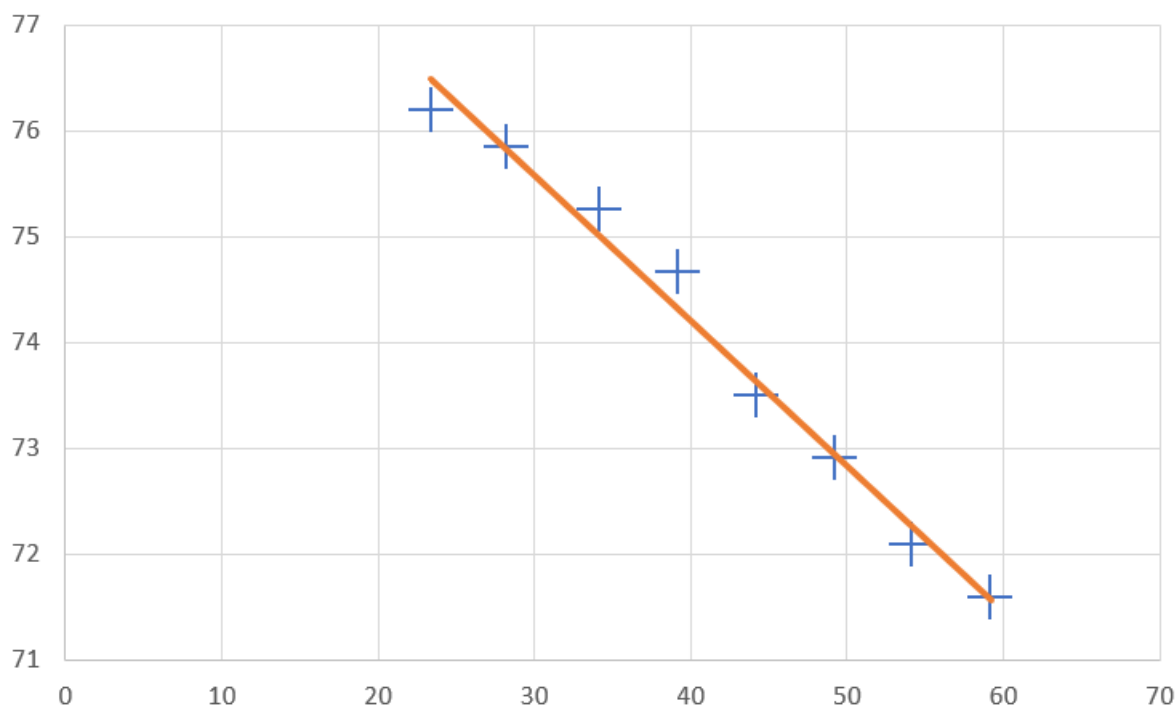
Жидкость	h, мм	P, Па	$\overline{\Delta P}$, Па	Жидкость	h, мм	P, Па	$\overline{\Delta P}$, Па
Спирт(23,4 °C)	41	80,36	78,32	Поверхность воды(23,4 °C)	130	254,80	254,80
	40	78,40			131	256,76	
	39	76,34			130	254,80	
	40	78,40			129	252,84	
	40	78,40			130	254,80	
Вода(23,4 °C)	165	323,40	323,40	Вода(28,2 °C)	164	321,44	321,44
	166	325,36			165	323,40	
	165	323,40			163	319,48	
	164	321,44			164	321,44	
	165	323,40			164	321,44	
Вода(34,2 °C)	163	319,48	319,48	Вода(39,2 °C)	162	317,52	317,52
	163	319,48			162	317,52	
	164	321,44			162	317,52	
	163	319,48			163	319,48	
	162	317,52			161	315,56	
Вода(44,2 °C)	161	315,56	313,60	Вода(49,2 °C)	159	311,64	311,64
	160	313,60			159	311,64	
	159	311,64			160	313,60	
	160	313,60			158	309,68	

	160	313,60			159	311,64	
Вода(54,2 °C)	158	309,68	308,90	Вода(59,2 °C)	157	307,72	307,33
	157	307,72			157	307,72	
	158	309,68			157	307,72	
	158	309,68			157	307,72	
	157	307,72			156	305,76	

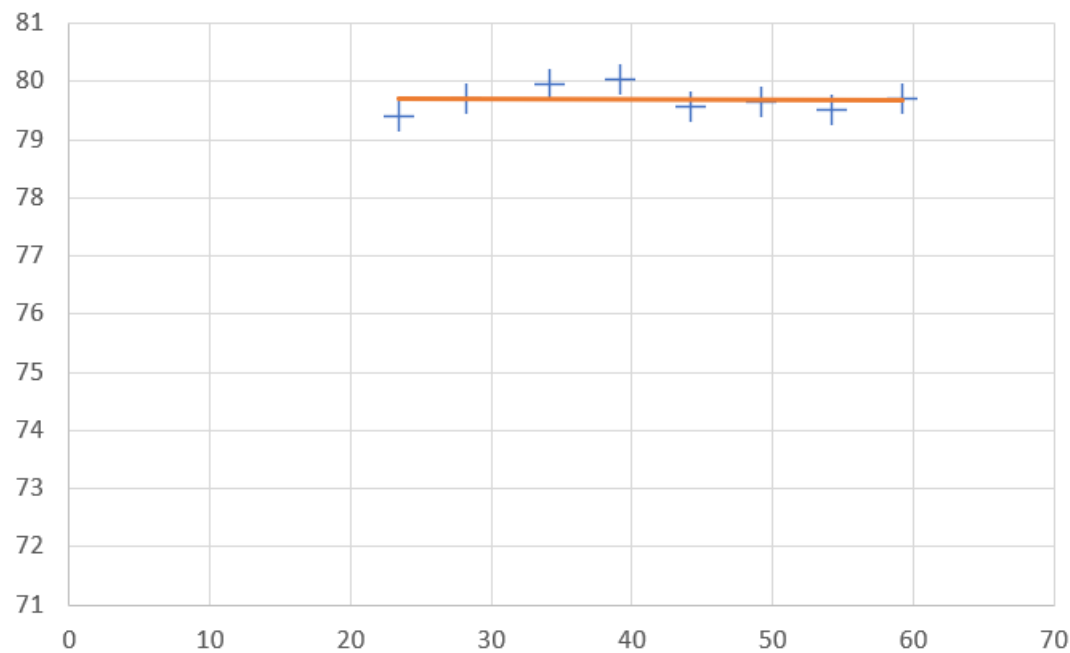
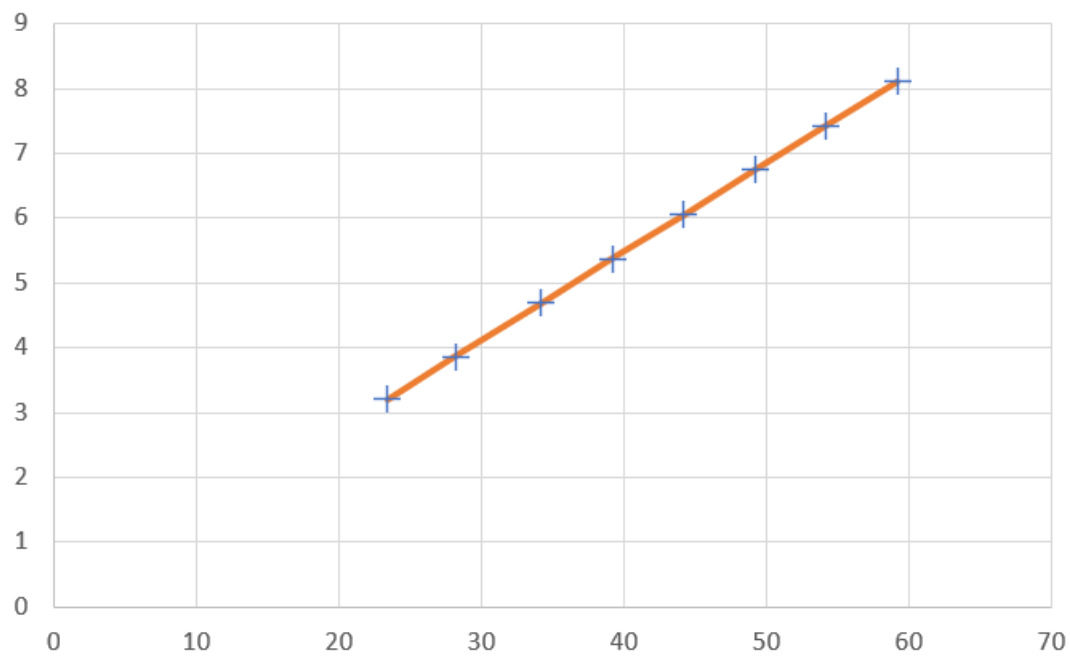
Из таблицы находим $\rho gh = 68,60$ Па. Также из данного коэффициента поверхностного натяжения для этилового спирта находим, что диаметр трубки равен $d_{\text{сп}} = 1,12$ мм. Погрешность составила 7%. Из разности высот иглы рассчитаем $\rho gh_2 = 63,7$ Теперь построим таблицу зависимости $\sigma(T)$. Погрешность нахождения σ складывается из погрешностей измерения давление и диаметра иглы и равна $\Delta\sigma = 0,33$ мН/м. При положении иглы у поверхности воды $\sigma = 76,2 \pm 0,33$ мН/м, что не совпадает с табличным значением $\sigma = 71,97$ мН/м в пределах погрешности.

Т, °C	23,4	28,2	34,2	39,2	44,2	49,2	54,2	59,2
σ , мН/м	76,20	75,84	75,26	74,67	73,50	72,91	72,09	71,62

Построим график зависимости $\sigma(T)$:



По этому графику можно найти $\frac{d\sigma}{dT} = -0,13 \pm 0,06 \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. Табличное значение составляет $-0,17 \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. Теперь на другом графике построим $q(T)$ и $\frac{U}{F}(T)$:



Вывод

Нам удалось измерить зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Значение $\frac{d\sigma}{dT}$ и σ не сошлись с табличным, однако разница было не очень велика (меньше порядка). Неточности можно объяснить несовершенной чистотой дистиллята и погрешностями измерений (в частности диаметра иглы). Также удалось определить зависимости полной поверхностной энергии и теплоты, необходимой для изотермического образования единицы поверхности жидкости от температуры и построить их графики.