

# Лабораторная работа 2.5.1 Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

Михаил Колтаков

16 февраля 2020 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:

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

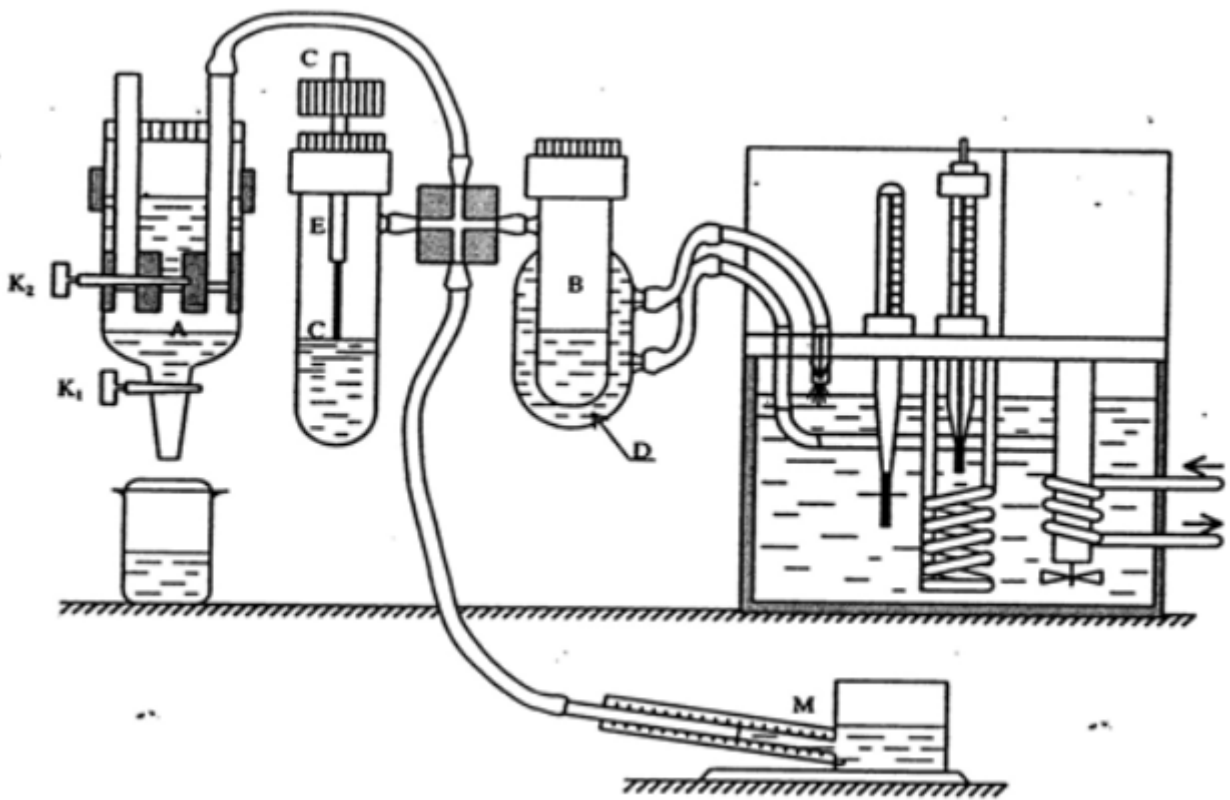
$\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения,  $R$  - радиус кривизны поверхности раздела двух фаз. Измеряется давление  $\Delta P$ , необходимое для выталкивания в жидкость пузырька воздуха.

## 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  $\Delta P$ , 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,  $P = \Delta P + \rho gh$ .  $\rho gh$  не зависит от температуры жидкости. Величину  $\rho gh$  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 глубже в жидкость 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  $P_1$  и  $P_2$  замерить линейкой глубину погружения иглы  $h$ .

## Ход работы

Измерим  $d = 2R = 1,10 \pm 0,05\text{мм}$  - диаметр иглы. Разность давлений измеряется не напрямую, а через положение жидкости в манометре, поэтому  $\Delta P = kh$ , где  $h$  - высота в миллиметрах жидкости в манометре, а  $k = 1587,697 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}^2}$  - коэффициент пересчёта. Измеренные данные занесём в таблицу:

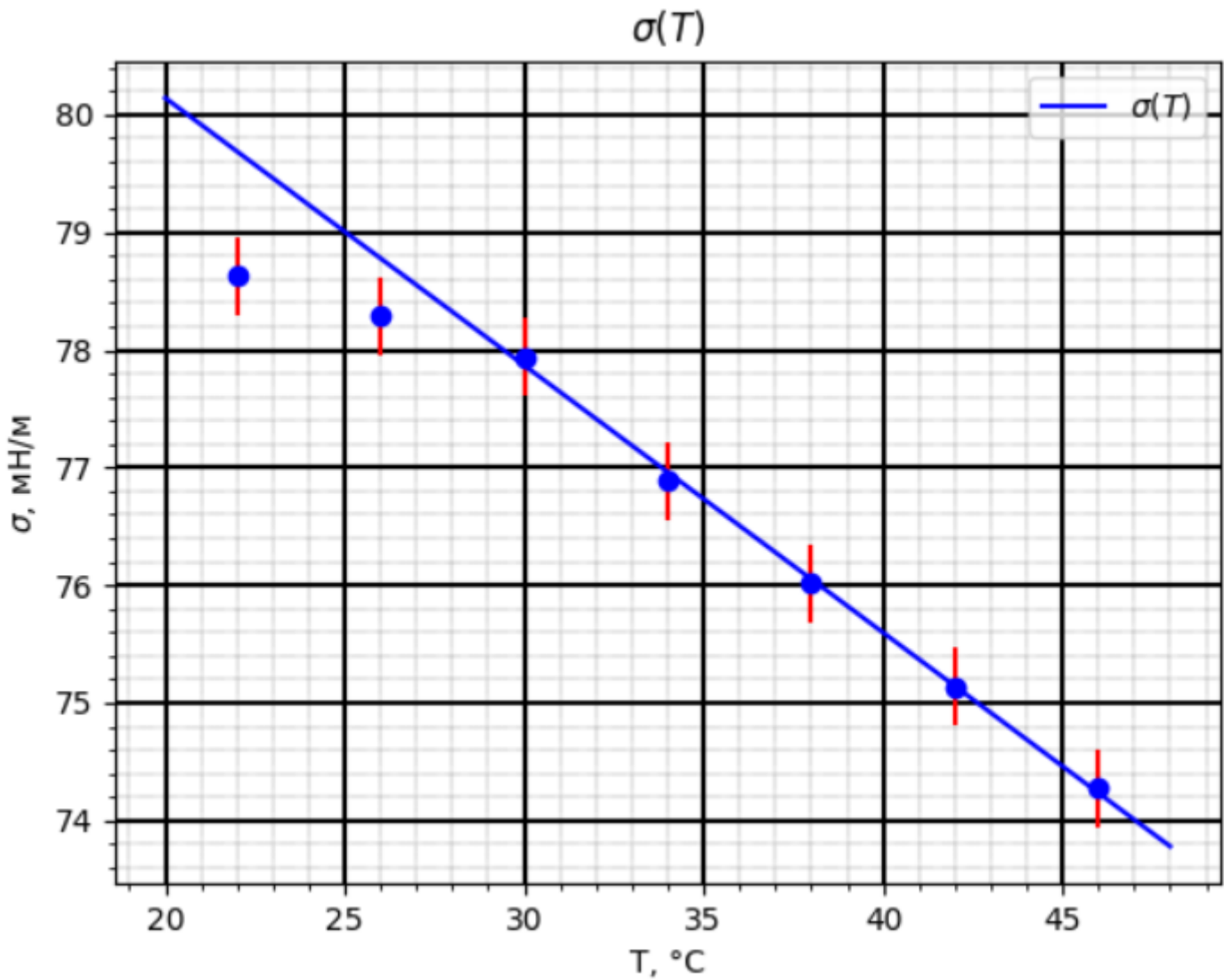
Жидкость	h, мм	$\Delta P$ , Па	$\overline{\Delta P} - \rho gh$ , Па	Жидкость	h, мм	$\Delta P$ , Па	$\overline{\Delta P} - \rho gh$ , Па
Спирт(22 °C)	44	69,86	68,91 (без вычитания)	Поверхность воды(22 °C)	89	141,31	138,13 (без вычитания)
	43	68,27			88	139,72	
	43	68,27			87	138,13	
	44	69,86			86	136,54	
	43	68,27			85	134,95	
Вода(22 °C)	124	196,87	138,13	Вода(26 °C)	123	195,28	142,34
	124	196,87			124	196,87	
	124	196,87			124	196,87	
	124	196,87			123	195,28	
	124	196,87			124	196,87	
	123	195,28			122	193,69	
	124	196,87			122	193,69	

Вода(30 °C)	123	195,28	141,70	Вода(34 °C)	122	193,69	139,80
	123	195,28			122	193,69	
	123	195,28			122	193,69	
Вода(38 °C)	121	192,11	138,21	Вода(42 °C)	120	190,52	136,62
	121	192,11			120	190,52	
	121	192,11			120	190,52	
	121	192,11			120	190,52	
	121	192,11			120	190,52	
Вода(46 °C)	119	188,94	135,04				
	119	188,94					
	119	188,94					
	119	188,94					
	119	188,94					

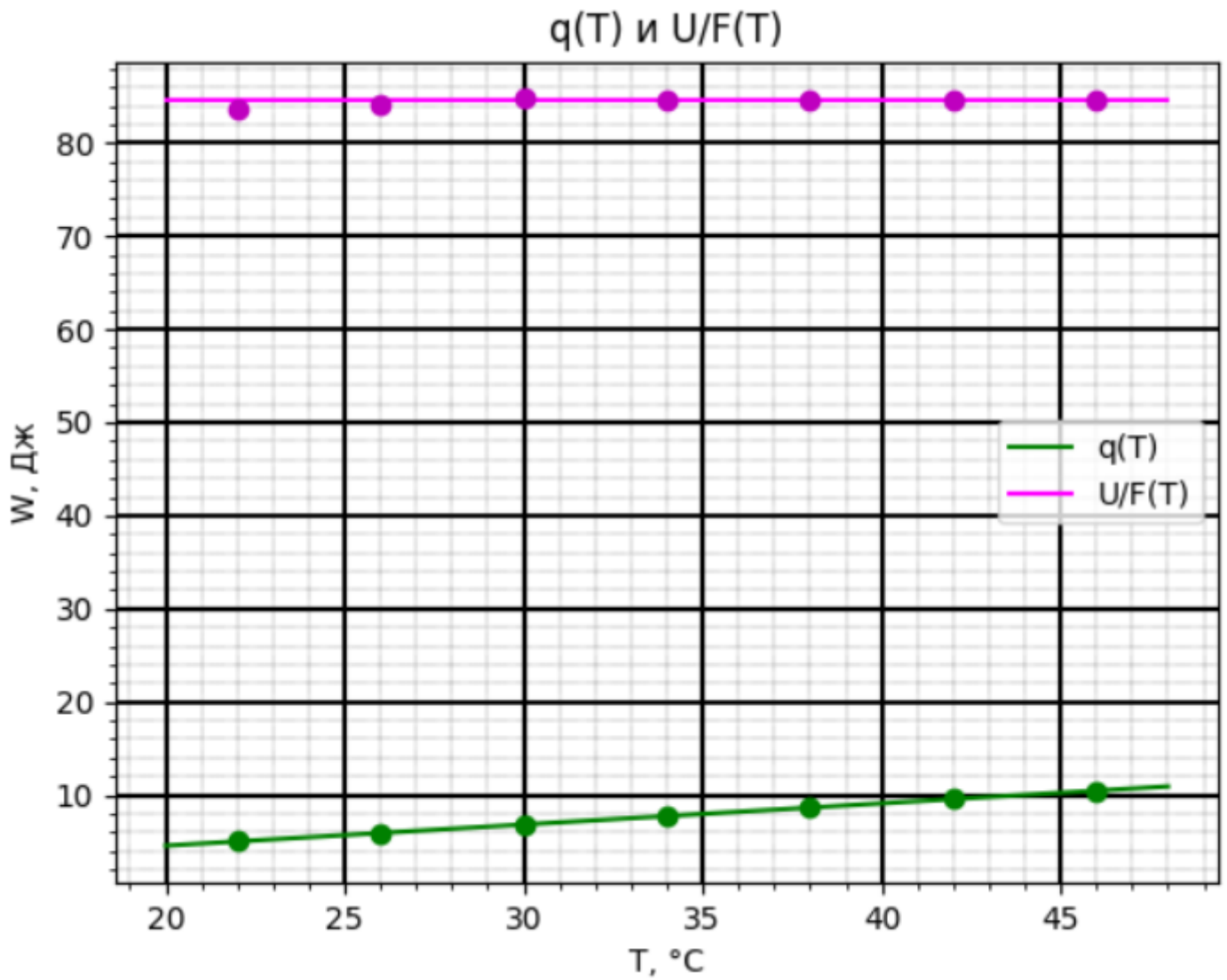
Из таблицы находим  $\rho gh = 52,74$  Па. Также из данного коэффициента поверхностного натяжения для этилового спирта находим, что диаметр трубки равен  $d_{\text{сп}} = 1,27$  мм. Погрешность составила 15%. Из разности высот иглы рассчитаем  $\rho gh_2 = 49.05$  Теперь построим таблицу зависимости  $\sigma(T)$ . Погрешность нахождения  $\sigma$  равна  $\Delta\sigma = 0,33$  мН/м.

T, °C	22	26	30	34	38	42	46
$\sigma$ , мН/м	78,63	78,29	77,94	76,89	76,02	75,14	74,27

Построим график зависимости  $\sigma(T)$ :



По этому графику можно найти  $\frac{d\sigma}{dT} = -0,23 \pm 0,3 \frac{\text{мН}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Теоретически рассчитанное значение составляет  $-0,21 \frac{\text{мН}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Теперь на другом графике построим  $q(T)$  и  $\frac{U}{F}(T)$ :



## Вывод

Нам удалось измерить зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Значение  $\frac{d\sigma}{dT}$  сошлось с табличным, однако значение самого коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  оказалось несколько выше табличного. Предположив линейность зависимости  $\sigma(T)$ , мы получили, что критическая температура исследуемой жидкости равна  $373^\circ\text{C}$ , когда у дистиллированной воды она равна  $374^\circ\text{C}$ . Неточности в самом значении коэффициента можно объяснить несовершенной чистотой дистиллята. Также удалось определить зависимости полной поверхностной энергии и теплоты, необходимой для изотермического образования единицы поверхности жидкости от температуры и построить их графики.