

Лабораторная работа № 225

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО
НАТЯЖЕНИЯ ПО ПОДНЯТИЮ ЖИДКОСТИ В КАПИЛЛЯРАХ**

Принадлежности: катетометр, исследуемая жидкость, кювета с капиллярами, масштабная линейка.

Цель работы: Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

Введение.

При соприкосновении жидкости с твердым телом форма, которую принимает жидкость, определяется соотношением трех действующих здесь сил: силы тяжести, сил взаимодействия молекул жидкости и сил взаимодействия между частицами жидкости и контактируемого с ней твердого тела. Характеристикой соотношения двух последних сил служит краевой угол θ , образованный касательной к поверхности жидкости с поверхностью твердого тела (рис.1).

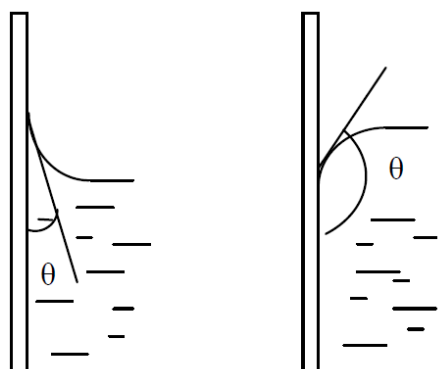


Рис.1

Если $\theta = 0$, то жидкость растекается тонким слоем по поверхности твердого тела. Явление растекания жидкости называют *полным смачиванием*. Оно характерно для воды на чистом стекле. Если $\theta = \pi$, наблюдается *полное несмачивание*. Чаще всего встречаются промежуточные случаи частичного смачивания $\theta < \pi/2$ и частичного несмачивания $\theta > \pi/2$.

Взаимодействие частиц жидкости с частицами твердого тела приводит к искривлению свободной поверхности жидкости; у стенок сосуда образуется мениск – вогнутый у смачивающих жидкостей и выпуклый – у несмачивающих. Кривизна поверхности жидкости вызывает появление дополнительного давления P_κ внутри жидкости. Это добавочное давление определяется по формуле Лапласа:

$$P_\kappa = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (1)$$

Кафедра общей физики ПГНИУ
Лаборатория молекулярной физики
Лабораторная работа № 225

где r_1 и r_2 - главные радиусы кривизны для данного элемента поверхности, σ - коэффициент поверхностного натяжения. Для сферы $r_1 = r_2 = r_0$ и

$$P_k = \frac{2\sigma}{r_0}, \quad (2)$$

где r_0 - радиус сферы.

Необходимо помнить, что дополнительное давление, обусловленное кривизной поверхности, возникает в результате действия сил поверхностного натяжения. Равнодействующая этих сил направлена всегда к центру кривизны поверхности, поэтому внутри жидкости с выпуклой поверхностью P_k будет увеличивать внешнее давление, а внутри жидкости с вогнутой поверхностью – уменьшать его.

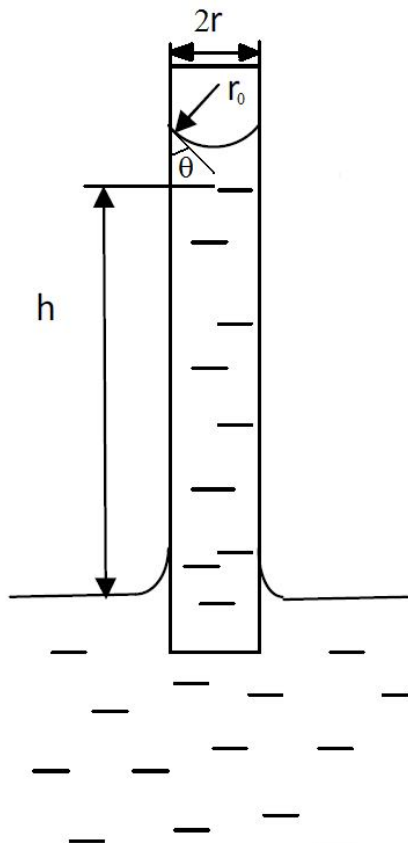


Рис.2

Добавочным давлением обусловлено явление поднятия или опускания жидкости в капиллярных трубках, сообщающихся с широким концом. Жидкость опускается (поднимается) на столько, что гидростатическое давление столба жидкости уравнивает дополнительное давление. Условием равновесия в этом случае будет

$$\frac{2\sigma}{r_0} = \rho gh, \quad (3)$$

где ρ - плотность жидкости, r_0 - радиус кривизны мениска, h - высота поднятия жидкости, g - ускорение свободного падения.

Так как $r_0 = \frac{r}{\cos \theta}$ (рис.2), то уравнение (3) принимает вид:

$$\frac{2\sigma}{r} \cos \theta = \rho gh, \quad (4)$$

где r - радиус капилляра, θ - краевой угол. Из последнего уравнения

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho gr}. \quad (5)$$

Кафедра общей физики ПГНИУ
Лаборатория молекулярной физики
Лабораторная работа № 225

При полном смачивании стенок капилляра жидкостью $\theta = 0$ и

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$$

В случае несмачивания жидкость в капилляре опустится на такую же величину ниже уровня жидкости в широком сосуде.

В данной работе предлагается определить коэффициент поверхностного натяжения воды по высоте поднятия ее в капиллярах с различными радиусами. Измерять уровень воды в сосуде трудно, поэтому рекомендуется определять коэффициент поверхностного натяжения по разности высот поднятия в капиллярах.

Пусть высоты поднятия жидкости в трех капиллярах равны соответственно h_1 , h_2 , h_3 , тогда

$$h_1 - h_2 = \frac{2\sigma}{\rho g r_1} - \frac{2\sigma}{\rho g r_2},$$

$$\sigma = \frac{r_1 r_2}{2(r_2 - r_1)} (h_1 - h_2) \rho g. \quad (6)$$

Аналогичную формулу можно написать для капилляров с r_1 и r_3 , r_2 и r_3 .

Описание и настройка прибора.

Измерение высоты поднятия жидкости в капиллярах производится катетометром В-630. Работа с прибором производится следующим образом:

- установите прибор с помощью регулируемых опор 1 (рис.3) в вертикальное положение по круговому уровню 2;
- подключите вилку в розетку сети питания;
- открепите винт 4 и переместите измерительную каретку 5 на уровень выбранной точки объекта;
- установите окуляр 6 визирной трубы на резкость изображений масштабной сетки, шкалы и пузырька цилиндрического уровня (рис.4);
- расположите объект на расстоянии 340-380 мм от объектива зрительной трубы катетометра и произведите наводку на резкость изображения объекта, пользуясь маховичком 7;
- затем с помощью микрометрического винта 8, при закрепленном винте 4, произведите точную наводку визирной трубы на выбранную точку объекта;

- наблюдая в окуляр 6, совместите изображения концов пузырька цилиндрического уровня винтом 9 (рис.5).

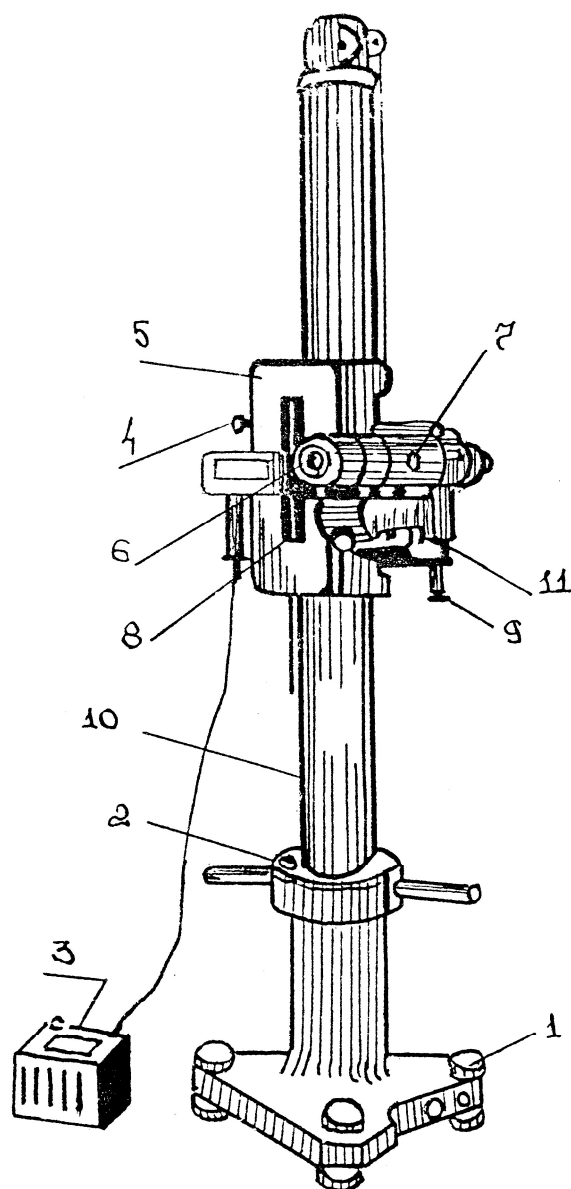


Рис.3

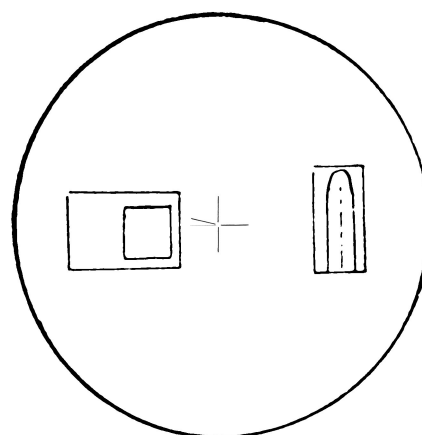


Рис.4

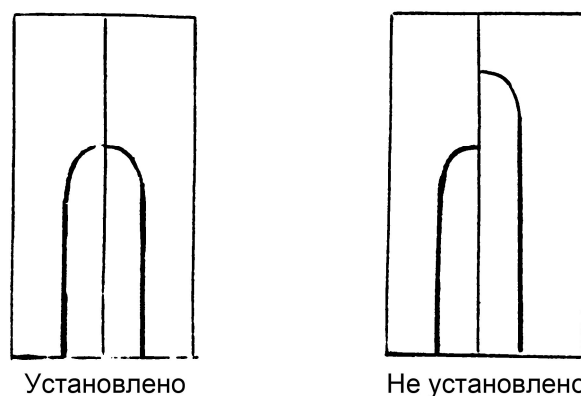


Рис.5

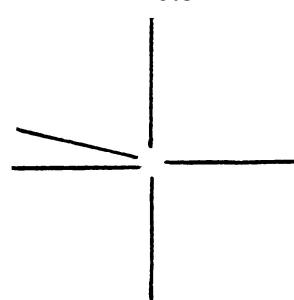


Рис.6

Сетка визирной трубы имеет перекрестие, левый горизонтальный штрих которого выполнен в виде углового бисектора (рис.6). При наводке визирной трубы выбранная точка объекта должна располагаться точно посередине углового бисектора на уровне горизонтального штриха. При точной наводке следите за тем, чтобы концы пузырька цилиндрического уровня образовали дугу (рис.5).

В поле зрения окуляра одновременно видны изображения двух штрихов миллиметровой шкалы, обозначенных крупными цифрами, и масштабная

Кафедра общей физики ПГНИУ
Лаборатория молекулярной физики
Лабораторная работа № 225

сетка (рис.7). Снимите первый отсчет по шкале и масштабной сетке. Индексом для отсчета целых миллиметров служит нулевой бисектор десятых долей миллиметра. На рис.7 162-ой штрих шкалы прошел нулевой бисектор, а ближайший большой штрих еще не дошел до него. Отсчет равен 162 мм плюс отрезок от 162-ого штриха до нулевого бисектора. В этом отрезке число десятых долей миллиметра, в данном случае, определяется цифрой 2. Отсчет сотых долей миллиметра производится в горизонтальном направлении сетки там, где миллиметровый штрих шкалы расположен точно посередине бисектора (в данном случае 0.05 мм). Окончательный отсчет: 162.25 мм.

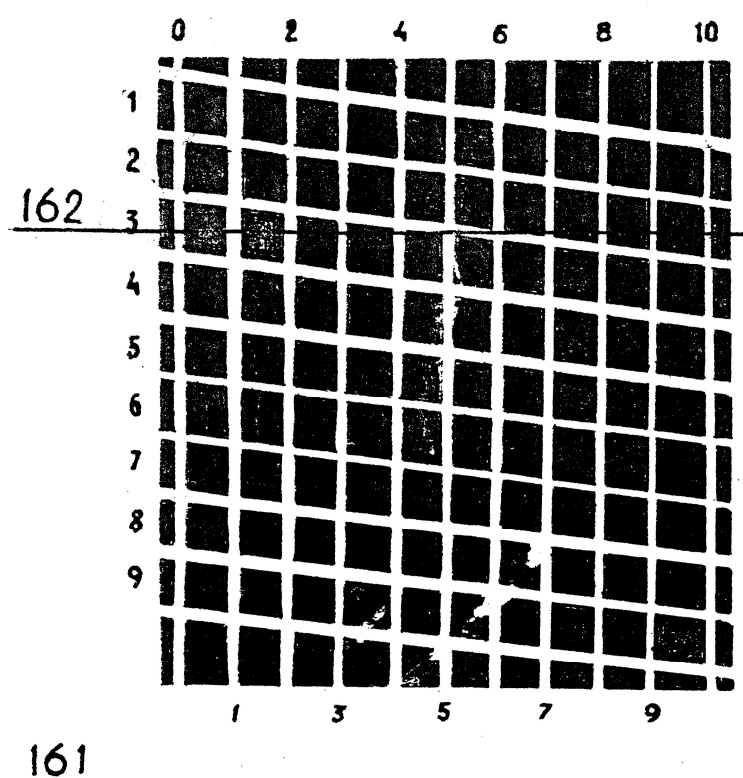


Рис.7

Измерения.

1. Промыть емкость для установки капилляров дистиллированной водой. Налить небольшое количество дистиллированной воды так, чтобы толщина слоя жидкости не превышала 1 см.
2. Используя спирт и ватный тампон (лучше ватную палочку), промыть несколькими каплями спирта каждый капилляр. Затем удалить спирт из капилляров, продув их грушей.
3. Установить пластинку с капиллярами на емкость с водой. Убедитесь, что при поднятии жидкости в капиллярах образовались вогнутые мениски.
4. Установить емкость с капиллярами на расстоянии 340-380 мм от объектива зрительной трубы катетометра так, чтобы можно было

Кафедра общей физики ПГНИУ
Лаборатория молекулярной физики
Лабораторная работа № 225

наблюдать четкое изображение всех трех менисков воды в капиллярах. При этом должна быть выполнена предварительная настройка катетометра (см. раздел «Описание и настройка прибора»).

5. Измерить абсолютные значения положений менисков h_1 , h_2 , h_3 для капилляров с радиусами r_1 , r_2 , r_3 , соответственно.

Примечание: Измерение высот h_1 , h_2 , h_3 должно производиться при одних и тех же настройках катетометра, т.к. изменение настроек вносит погрешность в измерения.

6. По окончании измерений слить воду из ёмкости и удалить остатки воды из капилляров, продув их грушей.
7. Вычислить разность высот для каждой пары значений h_1 , h_2 , h_3 и по формуле (6) определить σ . Результаты записать в таблицу.
8. Погрешность для заданного коэффициента надежности вычислить по формуле:

$$\Delta\sigma = t_{\alpha,n} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{\sigma} - \sigma_i)^2}$$

и записать окончательный результат в виде: $\sigma = \bar{\sigma} \pm \Delta\sigma$, где $t_{\alpha,n}$ - коэффициент Стьюдента для n измерений при коэффициенте надежности $\alpha = 0.95$.

$\rho =$	$r_1 =$	$r_2 =$	$r_3 =$	$h_1 =$	$h_2 =$	$h_3 =$
№	Разность высот, мм		σ , Н/м	$(\bar{\sigma} - \sigma_i)$, Н/м	$(\bar{\sigma} - \sigma_i)^2$, Н ² /м ²	
1	$(h_1 - h_2)$					
2	$(h_1 - h_3)$					
3	$(h_2 - h_3)$					
Сред.						
Σ						

Контрольные вопросы:

1. Присутствует ли в измерениях систематическая погрешность? Каковы ее причины?
2. Используя табличное значение для коэффициента поверхностного натяжения воды, оценить краевой угол.
3. Объясните, в каких случаях и почему поднимается жидкость в капиллярах. Может ли жидкость в капилляре быть ниже уровня жидкости в емкости?