

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Кафедра общей физики
Лаборатория молекулярной физики

Лабораторная работа № 13

Определение коэффициента
поверхностного натяжения
жидкости из капиллярного
подъёма

Ярославль
2014

Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе	3
2.	Краткая теория	3
3.	Описание метода	4
4.	Выполнение работы	6
	Задание 1.	6
	Задание 2.	6
	Задание 3.	8
5.	Контрольные вопросы	9
6.	Содержание отчета	9
Приложение. Катетометр КМ-6. Инструкция		10
1.	Катетометр КМ-6	3
2.	Методика измерений	5

Составители: Т.Н. Спиридонова, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры общей физики
В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики

Лабораторная работа № 13

Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости из капиллярного подъёма

Цель работы:

- знакомство с одним из методов определения коэффициента поверхностного натяжения,
- экспериментальное определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

Приборы и принадлежности: набор капиллярных трубок диаметром 0,2 – 1,5 мм, катетометр ИЗВ-2, микроскоп Бринеля, сосуд с плоскопараллельными стенками, штатив, исследуемые жидкости.

Литература:

1. Детлаф А.А. Курс общей физики. М., 2007.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. т. 1. СПб., 2007.
3. Гершензон Е.М. и др. Молекулярная физика. М., 2000.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Поверхностное натяжение. Коэффициент поверхностного натяжения; физический смысл, единицы измерения.
2. Капиллярные явления. Смачивание.
3. Давление под искривленной поверхностью жидкости.
4. Расчетная формула, измерение величин, входящих в нее.
5. Правила пользования катетометром.

2. Краткая теория

Молекулы жидкости, расположенные в поверхностном слое, находятся в особом состоянии по сравнению с молекулами, находящимися внутри жидкости. Действие на эти молекулы со стороны молекул жидкости больше, чем со стороны молекул пара или воздуха, и поэтому равнодействующая всех сил, действующих на молекулу,

направлена внутрь жидкости нормально к её поверхности. Отсюда следует, что на молекулы, расположенные в тонком поверхностном слое, действуют силы, стремящиеся втянуть их внутрь жидкости.

Молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избытком энергии сравнительно с молекулами, находящимися внутри жидкости. Эта избыточная энергия называется свободной поверхностной энергией. Поверхностный слой жидкости находится в особом состоянии, подобном состоянию натянутой упругой пленки, стремящейся сократить свою поверхность. Это стремление к сокращению поверхности называется поверхностным натяжением.

Силы поверхностного натяжения F направлены по касательной к поверхности жидкости. Для количественной характеристики сил поверхностного натяжения введен **коэффициент поверхностного натяжения** σ , который численно равен силе F , действующей на единицу длины контура свободной поверхности жидкости ℓ :

$$\sigma = \frac{F}{\ell}.$$

В этом случае он измеряется в $H/м$.

Из рассмотрения свойств поверхностного слоя можно показать, что коэффициент поверхностного натяжения численно равен свободной поверхностной энергии W , рассчитанной на единицу площади поверхности:

$$\sigma = \frac{W}{S}.$$

В этом случае размерность коэффициента Дж/м².

Коэффициент поверхностного натяжения различен для разных жидкостей. Он зависит от рода жидкости, температуры (уменьшается с ее повышением) и от степени чистоты поверхности (изменяется от малейшего загрязнения).

3. Описание метода

В узких трубках (капиллярах), опущенных в жидкость, хорошо заметно поднятие или опускание жидкости. Поверхностная пленка жидкости в трубке под действием молекулярных сил жидкости и твердого тела принимает вогнутую или выпуклую форму (рис. 3.1).

3. Описание метода

По величине h подъёма или опускания жидкости можно определить коэффициент поверхностного натяжения. Такой метод и используется в данной работе.

Давление под искривленной поверхностью жидкости больше или меньше, чем под горизонтальной, на величину добавочного давления (Лапласа), которое для произвольной кривизны поверхности рассчитывается по формуле:

$$\Delta P = \pm \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где R_1 и R_2 — радиусы двух взаимноперпендикулярных сечений поверхности, знак “+” относится к выпуклой поверхности, а “−” к вогнутой.

Давление Лапласа направлено по радиусу к центру кривизны. В случае смачивающей жидкости давление внутри трубки меньше, чем снаружи, поэтому жидкость в ней поднимается до тех пор, пока гидростатическое давление столбика жидкости не уравнивает давление Лапласа. Для сферической поверхности жидкости $R_1 = R_2$ и $\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$.

Тогда

$$\rho g h = \frac{2\sigma}{R},$$

где ρ — плотность жидкости,
 h — высота уровня жидкости в трубке относительно уровня в сосуде,
 R — радиус кривизны поверхности жидкости.

Если диаметр трубки равен D , то он связан с радиусом следующим соотношением:

$$\frac{D}{2} = R \cos \varphi,$$

где φ — краевой угол (рис. 3.2).

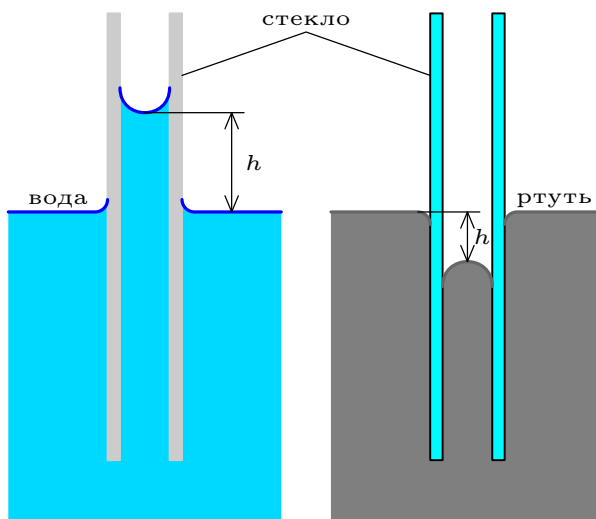


Рис. 3.1

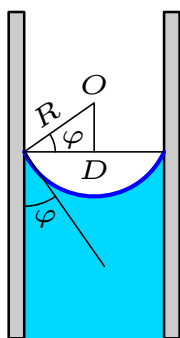


Рис. 3.2

Тогда выражение для коэффициента поверхностного натяжения будет иметь вид:

$$\sigma = \frac{\rho g h D}{4 \cos \varphi}.$$

Практически измерить краевой угол трудно. Если жидкость вполне смачивает поверхность капилляра, то краевой угол равен нулю. В этом случае выражение для расчета коэффициента поверхностного натяжения примет вид:

$$\sigma = \frac{\rho g h D}{4} \quad \text{— расчётная формула.}$$

4. Выполнение работы

Задание 1. Измерение диаметра капилляров.

Диаметр капилляров измеряют микроскопом Бринеля с точностью до 0,05 мм.

Задание 2. Изучение катетометра и измерение высоты подъема жидкости в трубках.

Катетометр состоит из колонки, установленной на треножнике, измерительной каретки, зрительной трубы и отсчетного микроскопа (рис. 1.1 в приложении).

Колонка устанавливается строго вертикально по уровню на треножнике. Измерительная каретка (2), несущая зрительную трубу (3) и отсчетный микроскоп (4), перемещается по колонке на роликах. Грубое перемещение каретки по вертикали производится рукой при открепленном стопорном винте (9), точное — с помощью микрометрического винта (10) при закрепленном стопорном винте (9).

Колонку можно поворачивать около вертикальной оси с помощью ручек (6). Фокусировка зрительной трубы производится с помощью маховичка (11).

Капиллярные трубки опущены в плоский сосуд с водой (рис. 4.1), который устанавливается на определенном расстоянии от зрительной трубы катетометра. Трубки тщательно промывают спиртом и прополаскивают дистиллированной водой. Если испытуемая жидкость не вода, то после дистиллированной воды капилляр нужно промыть испытуемой жидкостью.



Рис. 4.1

Чистые капилляры спускает по отвесу в сосуд так, чтобы нижние концы капилляров были ниже уровня жидкости на 5 – 6 см. Через 1 – 2 мин их несколько приподнимают, не вынимая из воды.

Затем следует проверить установку катетометра по уровню и включить в сеть через трансформатор осветительную систему. Открепить стопорный винт катетометра и поднять каретку на уровень жидкости в сосуде. Навести на резкость изображение поверхности жидкости в сосуде. При помощи микрометрического винта добиться того, чтобы горизонтальный штрих в зрительной трубе был касательным к мениску жидкости. В поле зрения отсчётного микроскопа (3) видна масштабная сетка (рис. 1.3 в приложении). Пронумерованная черта, пересекающая ее, соответствует целому числу миллиметров. Отсчет десятых долей делается по вертикальной шкале там, где горизонтальный штрих пересекает наклонную линию, соответствующую десятым долям. В месте пересечения горизонтальной и наклонной линий проходит вертикальная линия, соответствующая сотым долям миллиметра (на горизонтальной шкале вверх или вниз).

После ознакомления с катетометром произведите отсчет высоты подъема жидкости в капиллярах относительно поверхности воды.

Для этого сделайте:

- отсчет уровня жидкости h_c в сосуде;
- отсчет уровня жидкости $h_{к1}$ в первом капилляре;
- отсчет уровня жидкости $h_{к2}$ во втором капилляре.

Все измерения проделайте не менее 3 раз.

Задание 3. Расчет коэффициента поверхностного натяжения и обработка результатов.

Результаты измерений занесите в две однотипные таблицы (таблица 1).

Таблица 1

№	D м	h_c м	$h_{к}$ м	$h = h_c - h_{к}$ м	σ Н/м	$\Delta\sigma$ Н/м	$(\Delta\sigma)^2$ (Н/м) ²
1							
2							
3							
⋮							
Сумма							
Среднее							

Обработайте результаты и запишите их в виде:

$$\sigma = (\bar{\sigma} \pm \Delta\sigma) \text{ Н/м} \quad \text{при } \alpha \approx \dots; \varepsilon = \dots\%.$$

Сравните полученные результаты с табличным.

Указание: плотность жидкости взять из справочных таблиц при данной температуре.

5. Контрольные вопросы

1. Почему вода в стеклянном капилляре имеет вогнутый мениск?
2. Как в молекулярно-кинетической теории объясняется различие между давлением под горизонтальной и искривленной поверхностью жидкости?
3. Вывод расчетной формулы для σ .
4. Каково соотношение между единицами измерения коэффициента поверхностного натяжения в системах СИ и СГС?
5. Как зависит σ от температуры?

6. Содержание отчета

Название работы, ее цель, приборы и принадлежности. Краткая теория, таблица измерений и вычисления, запись результатов в стандартном виде.

Приложение

КАТЕТОМЕТР КМ-6

Инструкция

Ярославль
2014

Оглавление

1. Катетометр КМ-6	3
2. Методика измерений	5

1. Катетометр КМ-6

Катетометр КМ-6 предназначен для измерения вертикальных отрезков на недоступных для непосредственного измерения объектах, расположенных на расстояниях нескольких десятков сантиметров от объекта вертикальной трубы катетометра.

Катетометр (см. рис.1.1) состоит из колонки 1 на треножнике, измерительной каретки 2, зрительной трубы 3, и отсчетного микроскопа 4. Подъёмными винтами 5 треножника колонку нужно установить по круглому уровню 15 строго вертикально. С помощью ручек 6 колонку можно поворачивать вокруг вертикальной оси. Для точной наводки поворот колонки осуществляется микрометрическим винтом 7 при закреплённом винте 8.

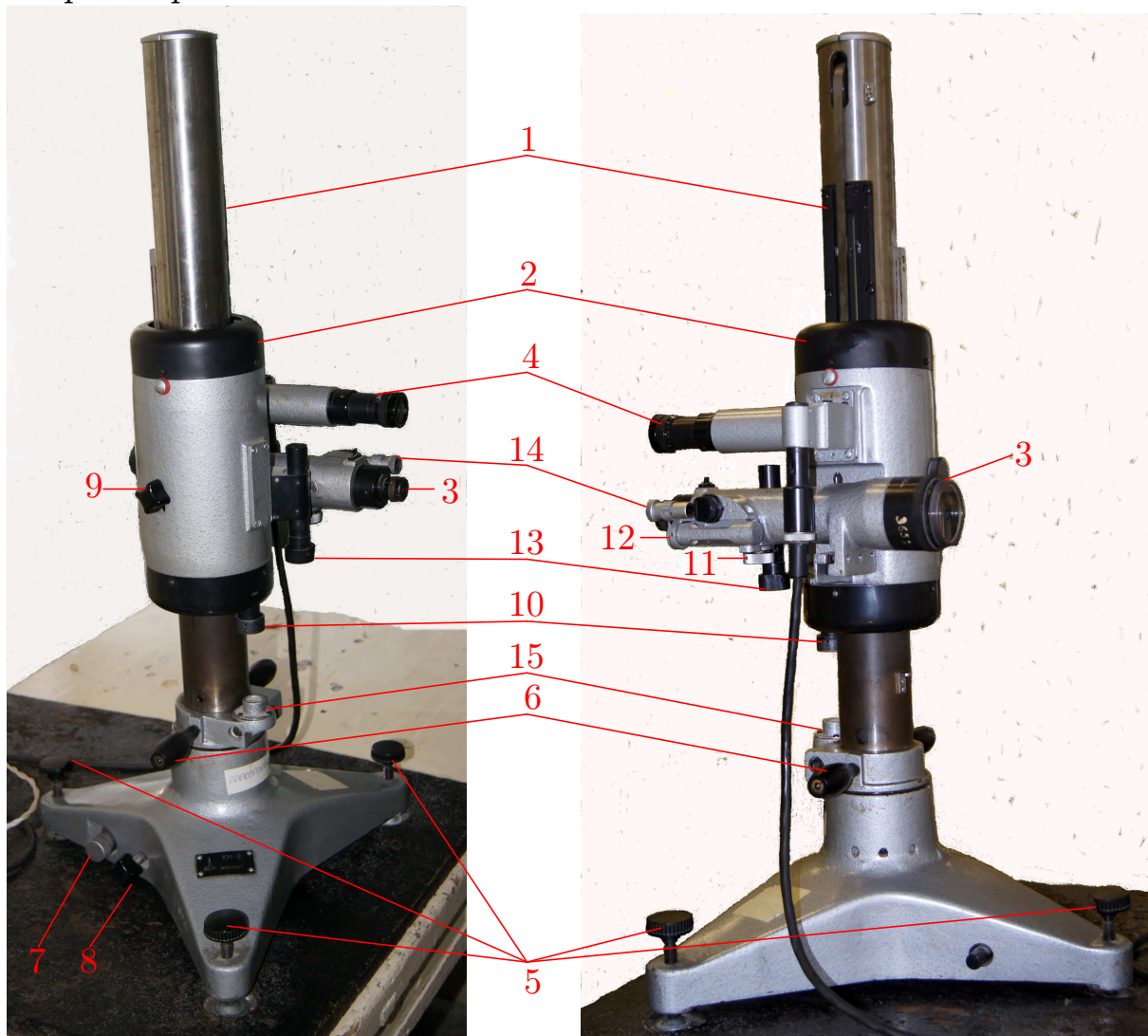


Рис. 1.1



Рис. 1.2

Измерительная каретка 2, несущая зрительную трубу 3 и отсчетный микроскоп 4, перемещается по колонке на роликах. Грубое перемещение каретки по вертикали осуществляется от руки при откреплённом винте 9, точное — с помощью микрометрического винта 10 при закреплённом винте 9.

Зрительная труба 3 укреплена на каретке, фокусировка трубы на выбранную точку объекта производится вращением маховичка 11, грубая наводка осуществляется с помощью механического визира, состоящего из целика и мушки, укрепленной на тубусе зрительной трубы. Сбоку на тубусе имеется цилиндрический уровень 12, ось которого параллельна визирной оси трубы. Уровень устанавливается в горизонтальное положение микрометрическим винтом 13 путем совмещения изображения концов пузырька, рассматриваемого через лупу 14. При совмещённых половинках пузырька визирная ось зрительной трубы принимает строго горизонтальное положение. Точная навод-

ка зрительной трубы в горизонтальной плоскости производится поворотом колонки микрометрическим винтом 7 при закреплённом винте 8.

Измерительная система катетометра состоит из зрительной трубы и отсчетного микроскопа с осветительной системой. В фокальной плоскости окуляра отсчетного микроскопа установлена масштабная сетка (рис.1.3), на которую специальным оптическим устройством проектируется миллиметровая шкала.

Измерение расстояний между двумя точками производится с помощью зрительной трубы и отсчетного микроскопа путем сравнения измеряемой длины с миллиметровой шкалой.

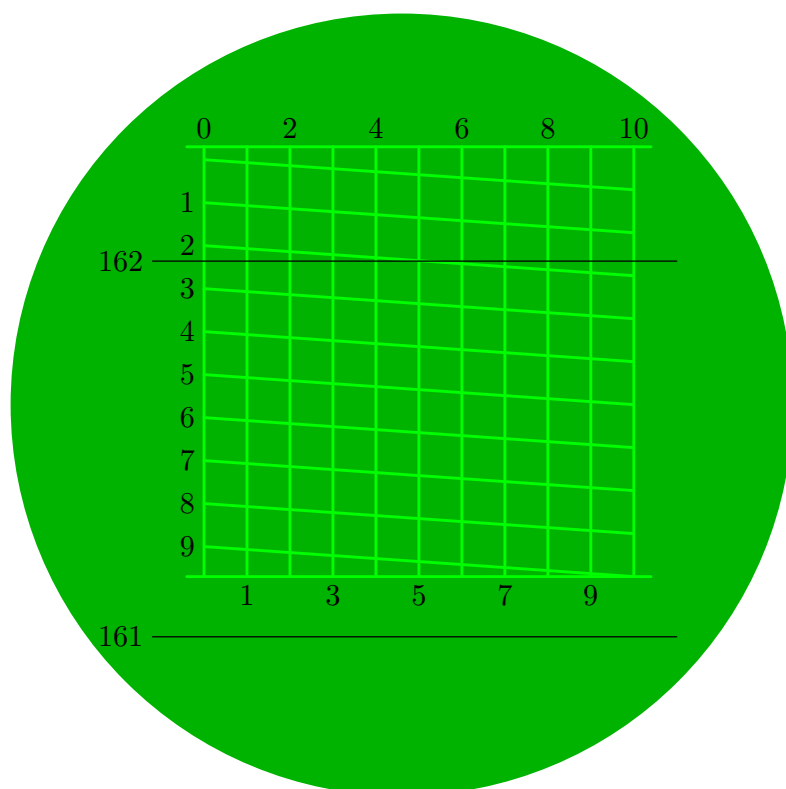


Рис. 1.3

Перемещая каретку со зрительной трубой и отсчетным микроскопом по колонке вдоль миллиметровой шкалы, а также вращая колонку вокруг вертикальной оси устанавливают трубу на выбранную точку объекта, отсчеты снимают через окуляр отсчетного микроскопа по шкале и масштабной сетке. Длины вертикальных отрезков определяют как разность соответствующих отсчетов по шкале.

Катетометр снабжен трансформатором для включения в сеть осветительной части отсчетного микроскопа.

2. Методика измерений

С помощью подъёмных винтов треножника по круглому уровню ось колонки устанавливается вертикально.

Осветительная часть отсчетного микроскопа включается через трансформатор в сеть.

Винт 9 открепляется, измерительная каретка поднимается на уровень выбранной точки объекта. С помощью целика и мушки труба грубо устанавливается на выбранную точку. Окуляр зрительной

трубы путем вращения устанавливается на резкое изображение сетки. Фокусировка трубы на резкое изображение объекта производится вращением маховичка 11.

После этого производится точная наводка трубы на выбранную точку объекта: в вертикальной плоскости с помощью винта 10 при закреплённом винте 9, в горизонтальной плоскости — с помощью винта 7 при закреплённом винте 8.

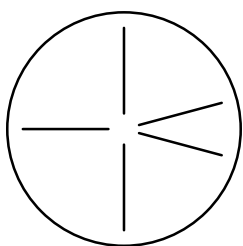


Рис. 2.1

Сетка зрительной трубы имеет перекрестия (рис.2.1) правый горизонтальный штрих которого выполнен в виде углового биссектра. При наводке трубы выбранная точка объекта должна располагаться в правой половине углового биссектра на уровне горизонтального штриха при этом необходимо следить за цилиндрическим уровнем 12, изображение половинок пузырька которого должны изображать дугу. После этого снимают первый отсчет. Затем перемещая каретку по колонке, наводят зрительную трубу на вторую точку измеряемого объекта и, проверив установку по цилиндрическому уровню, снимают второй отсчет. Разность между двумя отсчетами дает измеряемую величину отрезка.

В поле зрения отсчетного микроскопа одновременно видны изображения двух штрихов миллиметровой шкалы, обозначенные крупными цифрами, и масштабная сетка (рис. 1.3).

Производство отсчета легко уяснить из следующего примера.

На рис. 1.3 большой штрих располагается на масштабной сетке. Целое число миллиметров дает большая цифра, соответствующая этому штриху — десятые доли миллиметров дает ближайшая цифра — 2 слева над штрихом. Отсчет сотых и тысячных долей миллиметра производится в горизонтальном направлении сетки там, где миллиметровый штрих шкалы пересекает наклонные светлые линии сетки. На рисунке миллиметровый штрих 162 находится под цифрой 2 и пересекает пятое деление сетки. Отсчет будет 162,25 мм. При желании тысячные доли миллиметра отсчитываются на глаз по положению штриха между вертикальными делениями сетки.