



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Методические указания к практическим занятиям

**«Измерение поверхностного натяжения»
по дисциплине**

«Физика»

Авторы
Снежков В. И.,
Брылева М. А.

Ростов-на-Дону, 2021

Аннотация

Указания содержат краткую теорию по теме «Измерение поверхностного натяжения», описание рабочей установки и методику эксперимента.

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» для выполнения лабораторной работы по программе курса общей физики.

Авторы

д.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика»

Снежков В.И.,

к.ф.-м.н,

доцент

кафедры

«Физика»

Брылева М.А.



Оглавление

Лабораторная работа «Измерение поверхностного натяжения»	4
1. Краткая теория.....	4
2. Описание экспериментальной установки и методика измерения	6
3. Порядок выполнения работы	7
Контрольные вопросы	8
Задания	9
Список литературы	12
Указания по технике безопасности	12

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ»

Цель работы: измерить поверхностное натяжение жидкости.

Приборы и принадлежности: капиллярная трубка; микрометр (штангенциркуль); линейка; стакан с дистиллированной водой; термометр для измерения температуры воздуха, штатив.

1. Краткая теория

Молекулы внутри жидкости окружены со всех сторон такими же молекулами (рис. 16), поэтому силы притяжения со стороны соседей скомпенсированы. Молекулы вблизи поверхности имеют одинаковых с ними соседей лишь с трех сторон. Поэтому силы притяжения со стороны соседей не скомпенсированы, а значит, на нее действует нескомпенсированная сила, направленная внутрь жидкости. При этом поверхность жидкости стремится уменьшиться. Разность между энергией всех молекул вблизи поверхности раздела и той энергией, которую эти молекулы имели бы, если бы они находились внутри тела, называется **поверхностной энергией**.

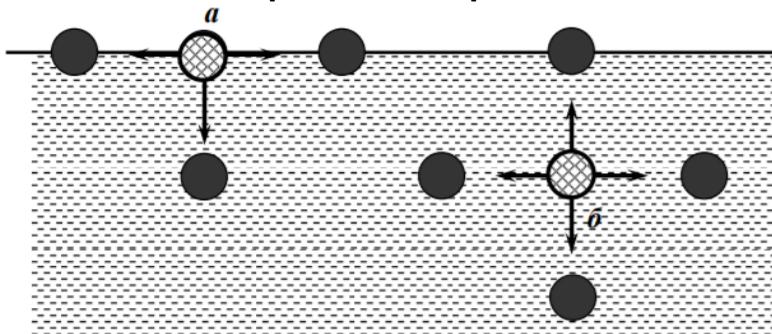


Рис.1

Поверхностная энергия $E_{\text{пов}}$ пропорциональна площади S поверхности раздела:

$$E_{\text{пов}} = \sigma S.$$

Коэффициент σ (греческая буква «сигма») называется коэффициентом поверхностного натяжения и зависит от природы соприкасающихся сред и от их состояния.

Для перемещения молекул из жидкости на ее поверхность

требуется совершить работу A , равную поверхностной энергии, т. е.

$$A = E_{\text{пов}} = \sigma S.$$

Коэффициент поверхностного натяжения (поверхностное натяжение) σ равен работе A , требуемой для образования поверхности жидкости площадью S при постоянной температуре:

$$\sigma = A / S.$$

Поверхностный слой жидкости всегда ограничен линией возможного разрыва и находится под действием сил поверхностного натяжения в постоянном натяжении, стремящемся сократить поверхность. Отсюда следует **второе определение: коэффициент поверхностного натяжения** σ равен силе поверхностного натяжения F , действующей на единицу длины L отрезка, на котором действует эта сила (линии возможного разрыва):

$$F / L = \sigma .$$

Смачиванием называется явление искривления свободной поверхности жидкости у поверхности твердого тела вследствие взаимодействия молекул.

Из-за смачивания и несмачивания поверхность жидкости искривляется вблизи стенок сосуда, в котором находится жидкость. Если сам сосуд мал (его стенки близко друг к другу), то искривляется вся поверхность жидкости, принимая выпуклую (несмачивание) или вогнутую (смачивание) форму.

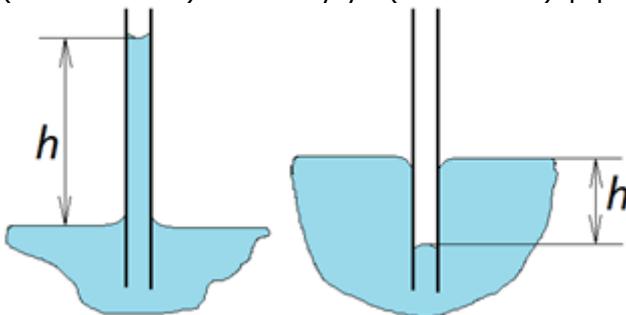


РИС.2. Смачивающая несмачивающая жидкости

Такие поверхности называются менисками, а узкие трубки – капиллярами. То, что поверхность искривляется, приводит к изменению давления, причем давление больше с вогнутой стороны мениска (той, где находится центр кривизны). Имен-

но этим и объясняется подъем столбика смачивающей жидкости в капилляре и опускание столбика несмачивающей жидкости (рис.2).

Величину этого избыточного давления можно определить по формуле Лапласа:

$$\Delta p = \sigma(1/R_1 + 1/R_2)$$

где R_1 и R_2 – радиусы двух взаимно перпендикулярных дуг, проведенных в данной точке поверхности (рис.3.). Для сферической капли $R_1 = R_2$ и $\Delta p = 2\sigma/R$.

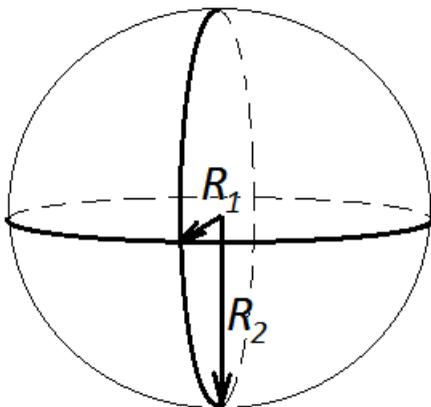


РИС.3.

Вдоль границы поверхностного слоя на стенки капилляра со стороны смачивающей жидкости действует сила поверхностного натяжения F_H , направленная вниз. По третьему закону Ньютона такая же по модулю сила F_B , направленная вверх, действует на жидкость со стороны стенок капилляра. Поднятие жидкости прекращается, когда сила F_H уравнивается с силой тяжести mg , действующей на поднятый столбик жидкости.

2. Описание экспериментальной установки и методика измерения

Схематическое изображение установки представлено на рисунке 4.

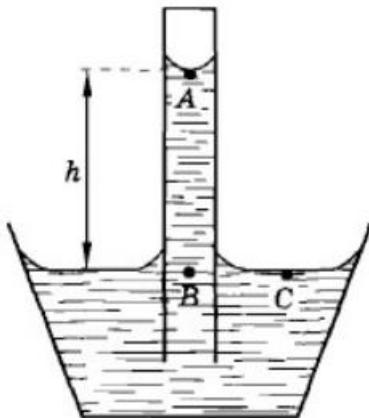


РИС.4.

Вывод расчетной формулы:

$$F_n = \sigma \cdot l = \sigma \cdot 2\pi R,$$

$$mg = \rho Vg = \rho g \pi R^2 h,$$

Отсюда получаем выражение для определения поверхностного натяжения:

$$\sigma = \rho g R h / 2 = \rho g D h / 4,$$

где ρ – плотность жидкости, V – объем, R – радиус кривизны, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$D = 2 R$ – внутренний диаметр капиллярной трубки.

3. Порядок выполнения работы

1. Измерьте внутренний диаметр D капиллярной трубки, используя отпечаток торца капилляра на бумаге.
2. Измерьте температуру воздуха и запишите в таблицу 1 значение плотности ρ воды (пользуясь таблицей 2).
3. Закрепите капиллярную трубку на штативе и опустите в стакан с водой, не касаясь дна (рис.4). Измерьте высоту h подъема воды в трубке.
4. Вычислите поверхностное натяжение σ воды по форму-

ле:

$$\sigma = \rho g D h / 4$$

Результаты измерений и вычисления занесите в **таблицу 1**.

Таблица 1.

ρ , кг/м ³	D, м	h, м	σ , Н/м

5. Вычислите относительную δ_σ и абсолютную $\Delta\sigma$ погрешности косвенных измерений поверхностного натяжения воды

$$\delta_\sigma = \Delta\rho/\rho + \Delta D/D + \Delta h|h;$$

$$\Delta\sigma = \sigma \cdot \delta_\sigma$$

6. Запишите результаты измерений поверхностного натяжения воды в виде:

$$\sigma = (\sigma \pm \Delta\sigma), \quad \delta_\sigma = \%.$$

Значения плотности ρ дистиллированной воды при различной температуре t и нормальном атмосферном давлении приведены в таблице 2.

Таблица 2.

t , °C	ρ , кг/м ³	t , °C	ρ , кг/м ³
10	999,700	18	998,595
11	999,605	19	998,405
12	999,498	20	998,203
13	999,377	21	997,992
14	999,244	22	997,770
15	999,099	23	997,538
16	998,943	24	997,296
17	998,774	25	997,044

Контрольные вопросы

1. Что называется молекулярным давлением жидкости?
2. Что называется поверхностным натяжением жидкости?
3. Почему площадь свободной поверхности жидкости минимальна?
4. Каков физический смысл поверхностного натяжения жидкости?
5. От чего зависит поверхностное натяжение жидкости?
6. Почему с изменением температуры жидкости меняется ее поверхностное натяжение?
7. Для тестов, приведенных далее, выберите правильный вариант ответа:

ЗАДАНИЯ

Задание №1

Чем вызвано поверхностное натяжение?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1). Действием на молекулы жидкости силы тяжести.
- 2). Отталкиванием молекул поверхностного слоя от молекул внутри жидкости.
- 3). Притяжением молекул поверхностного слоя к молекулам внутри жидкости.

Задание №2

От чего зависит коэффициент поверхностного натяжения жидкости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) От рода жидкости, ее температуры и наличия в ней примесей.
- 2) Только от рода жидкости и наличия примесей
- 3) Только от температуры жидкости.

Задание №3

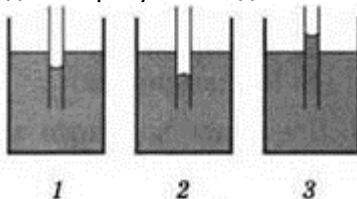
Какую работу нужно совершить, чтобы выдуть мыльный пузырь диаметром 14 см? Поверхностное натяжение мыльного раствора равно 0,04 Н/м.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1). $4,9 \cdot 10^{-3}$ Дж.
- 2). $2,9 \cdot 10^{-3}$ Дж.
- 3). $6,9 \cdot 10^{-3}$ Дж.

Задание№4

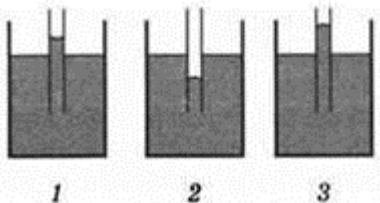
В каком из сосудов на рисунке вода смачивает капилляр?


ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1). 1 и 3
- 2). 3
- 3). 1 и 2

Задание№5

В каком из сосудов на рисунке вода не смачивает капилляр?


ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1). 1 и 3
- 2). 1
- 3). 3 и 2

Задание№6

При погружении в воду капиллярной стеклянной трубки радиусом r жидкость в трубке поднялась на высоту h над уровнем жидкости в сосуде. Какой будет высота подъема жидкости в стеклянной трубке радиусом $3r$?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1). Не изменится.
- 2). $3h$.
- 3). $h/3$.

Задание№7

Какую форму принимает жидкость в условиях невесомости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1). Жидкость принимает форму сосуда, в котором находится.
- 2). Жидкость принимает форму шара.
- 3). Определенного ответа дать нельзя.

Задание №8

Изменится ли коэффициент поверхностного натяжения жидкости, если длина поверхностного слоя жидкости увеличится в 2 раза?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1). Не изменится.
- 2). Уменьшится в 2 раза.
- 3). Увеличится в 2 раза.

Задание №9

Проволочная рамка затянута мыльной пленкой (рис.). Какую работу нужно совершить, чтобы растянуть пленку, увеличив площадь ее поверхности на 6 см^2 с каждой стороны? Поверхностное натяжение мыльного раствора равно $0,04 \text{ Н/м}$.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1). $4,8 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$.
- 2). $5,9 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$.
- 3). $2,9 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$.

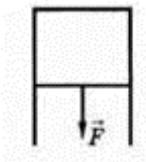


Рис.

Задание №10

При погружении в воду капиллярной стеклянной трубки радиусом r жидкость в трубке поднялась на высоту h над уровнем жидкости в сосуде. Какой будет высота подъема жидкости в стеклянной трубке радиусом $r/2$?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1). Не изменится
- 2). $h/2$
- 3). $2h$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова Т.И. Курс физики.- М.:Высшая школа, 2016
2. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика, учебное пособие.-:Лань, 2008

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. **Внимание!** Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к проведению лабораторной работы не допускаются.

Запрещается:

2. При выполнении работы необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, установленные на рабочем месте студента.
3. При обнаружении неисправного оборудования немедленно сообщайте об этом лаборанту или преподавателю. На неисправном оборудовании работать запрещается.