

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Казанский государственный аграрный университет
Институт механизации и технического сервиса**

Кафедра физики и математики

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для самостоятельной подготовки к выполнению
лабораторных работ по физике
(часть 2, раздел «Молекулярная физика и термодинамика»)
для студентов очной и заочной форм обучения по всем направ-
лениям ИМТС, Агрономического и лесного факультетов.**

Казань 2017

УДК 539.6

УДК 536.7

ББК 22.36

Составители: Лотфуллин Р.Ш., Курзин С.П., Валиев А.А.

Рецензенты:

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры ТОЭ КГЭУ Кубарев Ю. Г.

Кандидат технических наук, доцент, кафедры «Эксплуатация машин и оборудования» Казанского ГАУ Матяшин А.В.

Печатается по решению кафедры физики и математики (протокол № 6 от 6 февраля 2017 г.), методической комиссии ИМ и ТС (протокол №8 от 27.04.2017 г.).

Лотфуллин Р.Ш., Курзин С.П., Валиев А.А. Методические указания для самостоятельной подготовки к выполнению лабораторных работ по физике (часть 2, раздел «Молекулярная физика и термодинамика»): методические указания. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2017. – 27с.

В настоящее методические указания вошли пять лабораторных работ по разделу «Молекулярная физика и термодинамика» курса общей физики. Каждая работа содержит краткое изложение теории изучаемого физического явления, описание экспериментальной установки, обсуждение методики выполнения работы и контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов. В конце пособия приводится список рекомендуемой литературы. Методические указания по физике предназначены для самостоятельной подготовки к выполнению лабораторных по физике (раздел «Молекулярная физика и термодинамика») и направлены на формирование общепрофессиональных и профессиональных компетенций студентов очной и заочной форм обучения по всем направлениям ИМТС, Агрономического факультета, Факультета лесного хозяйства и экологии.

УДК 539.6

ББК 22.36

© Казанский государственный аграрный университет, 2017 г.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Оформление отчета о самостоятельном выполнении лабораторной работы

Для оформления отчета по физическому практикуму необходимо иметь или специальный журнал экспериментальной работы или специальные бланки для каждой отдельной работы.

Заполнение бланка отчета проводят по следующей схеме:

1. Записывают название и номер работы.
2. Дают краткое описание метода измерений вместе с расчетной формулой (берут из методических указаний).
3. В таблицу записи измерений вписывают результаты всех первичных измерений (берут из опыта).
4. По расчетным формулам проводят вычисление искомой величины.
5. Вычисляют погрешности измерений (см. часть 1).

При необходимости строят график

Все вычисления физических величин проводят в международной системе единиц (СИ), основными единицами которой являются:

1. Длина-метр (м)
2. Масса-килограмм (кг)
3. Время-секунда (с)
4. Сила электрического тока - ампер (А)
5. Сила света – кандела (кд)
7. Термодинамическая температура – градус Кельвина (К)

Самостоятельная подготовка студентов к выполнению лабораторных работ включает в себя следующие пункты:

1. Внимательно проанализировать поставленные теоретические вопросы, определить объем теоретического материала, который необходимо усвоить.
2. Изучить лекционные материалы, соотнося их с вопросами, вынесенными на обсуждение.
3. Прочитать рекомендованную обязательную и дополнительную литературу, дополняя лекционный материал (желательно делать письменные заметки).
4. После усвоения теоретического материала необходимо приступать к выполнению практического задания. Практическое задание рекомендуется выполнять письменно.

РАБОТА №1

ТЕМА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ВЕСА ТВЕРДЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

Цель и задачи работы: освоить метод гидростатического взвешивания, являющегося примером практического применения закона Архимеда; определить удельный вес цилиндра и неизвестного твердого тела.

Приборы и принадлежности: пружинные весы, цилиндр, твердое тело, сосуд с водой, чистый сосуд, штангенциркуль, штатив с подставкой.

Введение. Удельным весом называется физическая величина, измеряемая отношением веса тела к его объему:

$$d = \frac{P}{V}. \quad (1.1)$$

Удельный вес численно равен весу тела, содержащемуся в единице объема.

Методика измерений.

Определение удельного веса твердых тел.

Для определения удельного веса твердого тела взвесим его в двух различных средах: в воздухе и в воде.

По закону Архимеда на погруженное в жидкость или газ тело, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости или газа, вытесненного погруженным в жидкость или газ телом.

Обозначим: P - вес тела в воздухе, P_1 - вес тела в воде, P' - выталкивающая сила, d_2 - удельный вес тела, d_g - удельный вес воды, V - объем тела.

При взвешивании тела в воде, согласно закону Архимеда, на него действует выталкивающая сила, численно равная весу вытесненной воды

$$P' = V \cdot d_g, \quad (1.2)$$

$$P' = P - P_1 = V \cdot d_g. \quad (1.3)$$

Отсюда можно определить объем тела по результатам взвешивания его в двух средах:

$$V = \frac{P - P_1}{d_g} . \quad (1.4)$$

Таким образом, удельный вес равен

$$d_2 = \frac{P}{V} = \frac{P \cdot d_g}{|P - P_1|} . \quad (1.5)$$

Порядок выполнения работы.

1. Взвесить цилиндрическое или другое твердое тело в двух средах: в воздухе и в воде. Чтобы взвесить тело в жидкости, его подвешивают к крючку пружинных весов и опускают в сосуд с жидкостью. Сосуд с жидкостью устанавливают на подставке, прикрепленной к штативу. Необходимо, чтобы тело не касалось дна и стенок сосуда и на теле не было пузырьков воздуха.
2. Вычислить удельный вес тел и жидкости первым способом по формуле (1.5), где $d_g = 9,8 \cdot 10^3 \text{ Н / м}^3$.
3. Результаты взвешиваний и расчетов занести в таблицу 1.1.
4. Измерить размеры тел правильной геометрической формы и вычислить их объем (V).
5. Найти удельный вес вторым способом по формуле (1.1):
6. Найти относительную ошибку измерений по формуле (1.7).

$$\varepsilon = \frac{|d_r - d|}{d} \cdot 100\% , \quad (1.7)$$

где d_r - удельный вес, найденный методом гидростатического взвешивания с помощью формулы (1.5), d - удельный вес по формуле (1.1).

Таблица 1.1 – Таблица измерений и вычислений

	Вес тела (H)		Удельный вес тела (H/M^3)		$\varepsilon = \frac{ d_r - d }{d} \cdot 100\%$
	в воздухе P	в воде P_1	(первый способ)	(второй способ)	
1 тело					
2 тело					

Контрольные вопросы.

1. Что называется удельным весом? В каких единицах измеряется удельный вес в системе СИ?
2. Что называется плотностью тела? Единицы измерения плотности.
3. Запишите соотношение между удельным весом и плотностью тела.
4. Какими двумя способами определяется удельный вес тел в данной лабораторной работе?

РАБОТА №2

ТЕМА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДЫ ПО ВЕСУ КАПЕЛЬ

Цель и задачи работы: ознакомиться с методом отрыва капель для определения коэффициента поверхностного натяжения воды.

Приборы и принадлежности: емкость с водой, установка для определения α (мензурка для сбора воды, штангенциркуль).

Введение. Между молекулами жидкости действуют силы молекулярного притяжения, причем эти силы быстро убывают с увеличением расстояния между молекулами. Поэтому каждая молекула жидкости взаимодействует только с непосредственно прилегающими к ней соседними молекулами.

Рассмотрим изображенную на рисунке 2.1 молекулу «а», расположенную внутри жидкости, налитой в сосуд.

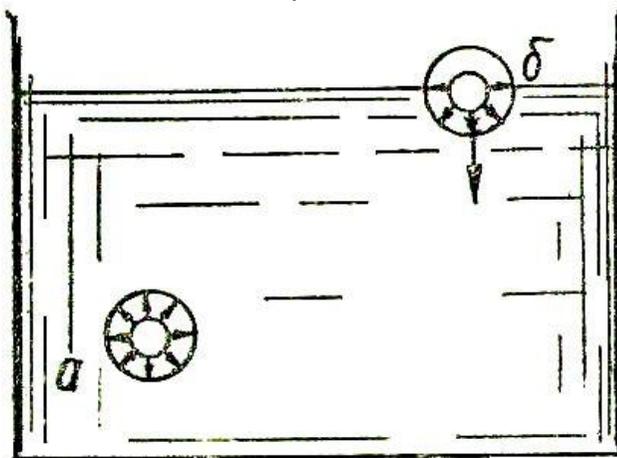


Рисунок 2.1 – Взаимодействие молекул

Результирующая сила, действующая на эту молекулу со стороны окружающих её молекул, в среднем равна нулю. Иначе обстоит дело с молекулой «б» на поверхности жидкости. В этом случае результирующая сила не равна нулю и направлена внутрь жидкости перпендикулярно её поверхности. Поэтому на те молекулы, которые в силу теплового движения попа-

дают в поверхностный слой, будут действовать силы, стремящиеся втянуть их назад в жидкость. В силу этого жидкость «стремиться» уменьшить свою поверхность. Следовательно, под влиянием молекулярных сил поверхность жидкости сокращается до минимально возможных размеров. Это означает, что поверхностный слой жидкости подобен эластичной протянутой пленке. Такое напряженное состояние поверхностного слоя жидкости называется поверхностным натяжением. Сумма сил притяжения, действующих на контур, ограничивающий поверхность жидкости, называется силой поверхностного натяжения. Она направлена по касательной к поверхности жидкости и перпендикулярна к контуру. Эта сила пропорциональна числу молекул, прилегающих к контуру, которая в свою очередь пропорциональна длине контура ℓ :

$$F = \alpha \cdot \ell, \quad (2.1)$$

где α называется коэффициентом поверхностного натяжения. Он численно равен силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины контура, ограничивающего поверхность жидкости.

Если граничат друг с другом сразу три вещества: твердое, жидкое и газообразное, то вся система принимает конфигурацию, соответствующую минимуму суммарной энергии. Для характеристики конфигурации, образованной между твердым телом и жидкостью, вводят понятие краевого угла. Краевым углом называется угол, отсчитываемый между касательными к поверхности твердого тела и к поверхности жидкости. Если силы притяжения между молекулами твердого тела и жидкости больше, чем силы притяжения между молекулами самой жидкости, то краевой угол будет острым углом и стремиться к нулю при полном смачивании (например, стекло-вода). При преобладании сил притяжения между молекулами жидкости над силами притяжения между молекулами твердого тела и жидкости краевой угол будет тупым углом и достигнет 180° при полном несмачиваний (например, парафин – вода).

Существование краевого угла приведет к тому, что вблизи стенок сосуда наблюдается искривление поверхности жидкости. В узкой трубке (капилляре) или в узком зазоре между двумя стенками искривленной оказывается вся поверхность. Если жидкость смачивает стенки, поверхность имеет вогнутую форму, если не смачивает - выпуклую. Такого рода изогнутое поверхности жидкости называются менисками.

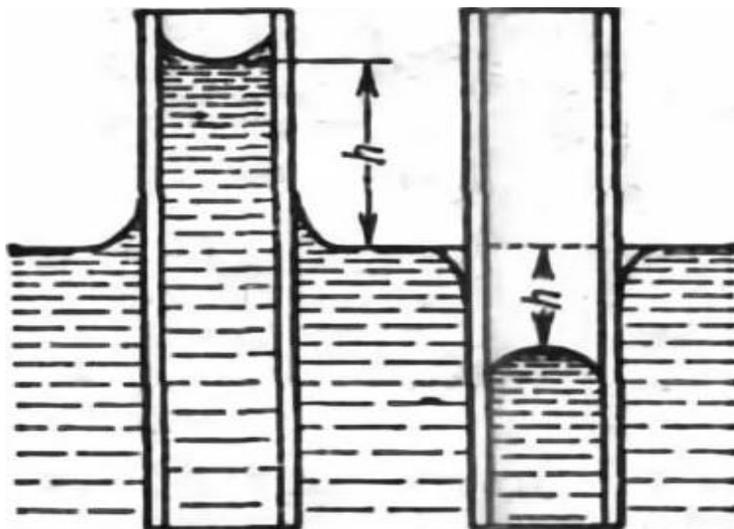


Рисунок 2.2 – Капиллярные явления - смачивающей и не смачивающей жидкости

Изменение высоты уровня жидкости в узких трубках получило название капиллярности. При полном смачивании жидкости в капиллярах жидкость поднимается до тех пор пока вес жидкости P не будет равен силе поверхностного натяжения $F = 2\pi r \cdot \alpha$, т.е

$$P = 2\pi r \cdot \alpha, \quad (2.2)$$

где r – радиус капилляра.

$$P = mg = \rho Vg = \rho \pi r^2 h \cdot g, \quad (2.3)$$

где ρ – плотность жидкости, h – высота подъема жидкости, g – ускорение свободного падения.

Из (2.2) и (2.3) найдем высоту подъема жидкости в капиллярах:

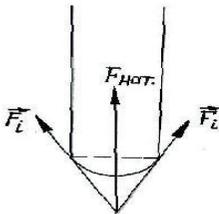
$$h = \frac{2\alpha}{\rho g r}. \quad (2.4)$$

Капиллярные явления весьма распространены. Такие вещества, как керамика, бумага, ткань, дерево, кожа, почва, различные строительные материалы и другие пористые тела, имеют в себе множество каналов. Вода и

другие смачивающие вещества, придя в соприкосновение с такими телами, впитываются ими, поднимаясь по естественным капиллярам этих тел.

Вода, находящаяся в почве, может проникать в стены здания по капиллярным каналам таких пористых строительных материалов, как кирпич, известняк и др. для предохранения строений от сырости их фундамент отделяют от кладки стен листами толя. Этот лист не смачивается водой.

Описание установки и методики измерений. На стойке установлен стеклянный цилиндр, в конце которого укреплена капиллярная трубка. В цилиндр налита испытуемая жидкость. При открывании крана на конце трубки образуются капля жидкости за счет силы поверхностного натяжения. В данном случае сумма сил поверхностного натяжения направлена вверх (рисунок 2.2). Капля постепенно увеличивается в размерах и отрывается после того, как вес капли станет равным удерживающей ее силе поверхностного натяжения.



$$P = F_{\text{нат}} = \alpha \cdot \ell, \quad (2.5)$$

где P – вес капли, ℓ - длина контура ограничивающего поверхность жидкости.

$$\ell = 2\pi \cdot r, \quad (2.6)$$

где r - радиус нижней части трубки.

Отсюда:

$$\alpha = \frac{P}{2\pi \cdot r}. \quad (2.7)$$

Рисунок 2.2- Схема направления сил поверхностного натяжения

Порядок выполнения работы.

1. Для работы использовать мензурку.
2. Открывая кран, добиться равномерного отрыва капель (примерно 1 капля в 1 с), собрать в мензурку 5см^3 воды.
3. Вычислить вес N_1 капель по формуле $P_1 = V_1 \cdot d$, где $d = 9810\text{Н}/\text{м}^3$
4. Найти вес одной капли воды по формуле $P = P_1 / N_1$.
5. По формуле (2.7) вычислить коэффициент поверхностного натяжения.

6. Пункты 1-5 повторить для N_2 капель.
7. Найти абсолютное и относительное ошибки измерения.
8. Результаты измерения и вычисления занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Таблица измерений и вычислений.

№ опыта	Число капель	Объем собранной воды m^3	Вес одной капли H	α H/m	$\Delta\alpha$ H/m	$\varepsilon = (\Delta\alpha_{cp.} / \alpha_{cp.}) \cdot 100\%$
1	N_1	$5 \cdot 10^{-6}$				
2	N_2	$10 \cdot 10^{-6}$				
Среднее значение				$\alpha_{cp.} =$	$\Delta\alpha_{cp.} =$	

Контрольные вопросы.

9. От чего зависит и как направлена сила поверхностного натяжения?
10. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения и в каких единицах он измеряется?
11. От чего зависит коэффициент поверхностного натяжения?
12. Возможно ли состояние жидкости, при котором ее коэффициент поверхностного натяжения равен нулю?
13. В чем сущность метода определения коэффициента поверхностного натяжения, используемого в данной работе?
14. Можно ли каким-либо образом увеличить или уменьшить коэффициент поверхностного натяжения жидкости?
15. В чем сущность капиллярных явлений?
16. Приведите примеры проявления свойств поверхностного натяжения и капиллярных явлений в природе.

РАБОТА №3

ТЕМА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ОТРЫВА КОЛЬЦА

Цель и задачи работы: ознакомиться с принципом работы весов Жюли, определить с их помощью коэффициент поверхностного натяжения воды.

Приборы и принадлежности: весы Жюли, сосуды с водой.

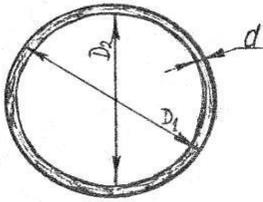
Введение. Перед выполнением данной работы необходимо ознакомиться с введением к работе №2, в которой кратко излагаются основные свойства поверхности жидкости.

Описания установки и методики измерений.

Для определения коэффициента поверхностного натяжения используются весы Жюли. Они представляют собой стойку, к верхней части которой прикреплен один конец пружины, к нижнему концу пружины подвешено кольцо (рисунок 3.2). Испытуемая жидкость наливается в сосуд. Основой метода является измерение силы, необходимой для отрыва кольца, соприкасающегося с поверхностью жидкости, т.е. силы, по величине равной силе поверхностного натяжения, но направленной в противоположную сторону. При опускании металлического кольца на поверхность смачивающей жидкости поверхностная пленка жидкости разрывается и соприкасается с кольцом по наружному и внутреннему периметрам кольца, т.е. по линии границы жидкости:

$$L = \pi D_1 + \pi D_2, \quad (3.5)$$

где D_1 – наружный, а D_2 – внутренний диаметры кольца. Следовательно, в соответствии с формулой (3.5) сила поверхностного натяжения, удерживающая кольцо, равна:



$$F = \alpha l = \alpha \pi (D_1 + D_2) \quad (3.6)$$

Отсюда, коэффициент поверхностного натяжения:

$$\alpha = \frac{F}{\pi (D_1 + D_2)} \quad (3.7)$$

Обозначим толщину кольца d . Тогда внутренний диаметр $D_2 = D_1 - 2d$ (рисунок 3.2). Формула (3.7) принимает вид:

$$\alpha = \frac{F}{2\pi (D_1 + d)} \quad (3.8)$$

Рисунок 3.2 – Схема кольца

Измерение силы, необходимой для отрыва кольца, производится таким образом. Опускаем пружину с кольцом до соприкосновения с поверхностью жидкости. Фиксируем положение указателя пружины. Затем медленно начинаем поднимать пружину. Пружина постепенно растягивается. В момент, когда сила поверхностного натяжения и вес кольца станут равными силе упругости, кольцо оторвется. Следует отметить положение указателя пружины в момент отрыва кольца от жидкости.

Порядок выполнения работы:

1. Поставить исследуемую жидкость (чистая вода) под кольцо пружины.
2. Опустить пружину с кольцом до соприкосновения с жидкостью (кольцо должно быть расположено горизонтально).
3. Отметить положение указателя пружины.
4. Осторожно поднять пружину с кольцом до тех пор, пока кольцо не оторвется от поверхности.
5. Отметить положение кольца в момент отрыва.
6. Определить разность начального и конечного положений указателя и результат записать в таблицу 3.1 ($F(H)$).
7. Опыт повторить 3 раза и найти среднее значение силы поверхностного натяжения для чистой воды.

8. Используя значения измеренной величины, а также величины D и d , вычислить коэффициенты поверхностного натяжения α для чистой воды.
9. Определить абсолютную и относительную погрешности результатов измерений.
10. Можно повторить все измерения и вычисления, заменив чистую воду на мыльный раствор воды, выполнив пункты 1 – 9.

Таблица 3.1 – Таблица измерений и вычислений

№	F (Н)	α (Н/М)	$\Delta\alpha$ (Н/м)	$\varepsilon = \frac{\Delta\alpha_{cp.}}{\alpha_{cp.}} \cdot 100\%$
1				
2				
3				
Средние значения	$F_{cp.} =$	$\alpha_{cp.} =$	$\Delta\alpha_{cp.} =$	

Контрольные вопросы.

1. Чем объясняются явления смачивания и не смачивания?
2. Что называется краевым углом ?
3. От чего зависит и как направлена сила поверхностного напряжения?
4. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения и в каких единицах он измеряется?
5. От чего зависит коэффициент поверхностного натяжения?
6. В чем сущность метода определения коэффициента поверхностного натяжения, используемого в данной работе?
7. Приведите примеры проявления свойств поверхностного натяжения и капиллярных явлений в природе.

РАБОТА №4

ТЕМА: ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ

Цель и задачи работы: ознакомиться с явлением внутреннего трения; определить коэффициент вязкости известной жидкости методом Стокса.

Приборы и принадлежности: стеклянный цилиндр с известной жидкостью, шарик известной плотности и диаметра, секундомер, линейка.

Введение. Любая реальная жидкость обладает вязкостью (внутренним трением). Это связано с тем, что между молекулами этой жидкости существуют силы взаимного притяжения.

Благодаря вязкости тело, движущееся в жидкости, увлекает прилегающие к нему слои жидкости и потому испытывает сопротивление (трение) со стороны жидкости. Сила сопротивления зависит от скорости движения тела, его размеров и формы и всегда направлена противоположно движению тела. Для тел шарообразной формы при небольших скоростях тел величина этой силы определяется законом Стокса:

$$F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v, \quad (4.1)$$

где η – коэффициент вязкости жидкой среды; r – радиус движущегося шарика; v – скорость движения шарика.

Как видно из приведенной формулы (4.1), на характер движения шара влияют величина вязкости, размер тела и скорость движения тела.

Методика измерений.

Определение коэффициента вязкости (η) по Стоксу основано на измерении времени (t) падения шарика в исследуемой жидкости.

На шарик, брошенный в жидкость и имеющий массу m и радиус r , действуют три силы: сила тяжести F_1 , выталкивающая сила (сила Архимеда) F_2 и сила сопротивления по Стоксу F_3 . Причем, силы F_1 и F_2 остаются постоянными, а сила Стокса F_3 возрастает с увеличением скорости движения шарика (рисунок 4.1).

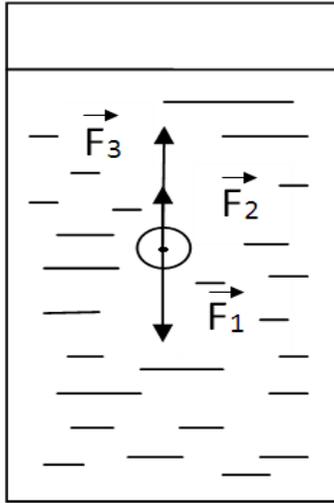


Рисунок 4.1 – Схема действия сил на шарик

При падении шарика сила тяжести F_1 , направлена вниз, а сила Архимеда F_2 и сила Стокса F_3 – вверх. Скорость шарика U будет увеличиваться до тех пор, пока силы F_2 и F_3 не уравновесят силу тяжести F_1 :

$$F_1 = F_2 + F_3 \quad (4.2)$$

С этого момента шар будет двигаться равномерно. Учитывая, что сила тяжести равна $F_1 = m \cdot g$ или через плотность $\rho_{ш}$ и объем шара

$V_{ш}$:

$$F_1 = \rho_{ш} \cdot g \cdot V_{ш} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{ш} \cdot g \quad (4.3)$$

Сила Архимеда $F_2 = \rho_{ж} \cdot V_{т} \cdot g$,

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, равная $1,26 \cdot 10^3$ кг/м³; g - ускорение свободного падения, $V_{т}$ – объем вытесненной жидкости, которой при полном погружении тела, равен объему тела. В данном случае для шара:

$$V_{\tau} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3, \quad \text{тогда} \quad F_2 = \frac{4}{3} \pi^3 r^3 \cdot \rho_{ж} \cdot g \quad (4.4)$$

$$\text{и сила Стокса } F_3 = 6\pi\eta r v. \quad (4.5)$$

После подстановки (4.3), (4.4) и (4.5) уравнений в (4.2) получим:

$$\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{жс} \cdot g = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{жс} \cdot g + 6\pi\eta V. \quad (4.6)$$

Используя (4.4), (4.5) и (4.6), после преобразования получим формулу для коэффициента вязкости или учитывая, что скорость шарика для равномерного движения определяется формулой $V = (h/t)$,

где h - расстояние между метками на цилиндре; t - время движения шарика между метками, получим окончательную формулу в виде:

$$\eta = \frac{2r^2 \cdot g \cdot (\rho_{ш} - \rho_{жс}) \cdot t}{9 \cdot h} : \quad (4.7)$$

Порядок выполнения работы:

1. В данной работе плотность шара дана и радиус шарика указан на трубке с жидкостью, где движется этот шарик.
2. После переворачивания трубки шарик начинает двигаться сверху вниз. Нужно отметить метки, когда шарик начнет двигаться равномерно.
3. Измерить расстояние (h_1) между метками на цилиндре и занести в таблицу 4.1.
4. Определить три раза время падения (t_1) шарика между двумя метками в цилиндрическом сосуде и занести результаты в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Таблица измерений и вычислений.

№	Радиус шарика r_i (м)	Расстояние между метками на цилиндре h (м)	Время падения шариков между метками t_i (с)	Коэфф. вязкости η_i (кг/м·с)	Абсолютная Ошибка $\Delta\eta_i$, кг/м·с	Относительная ошибка $\varepsilon = \frac{\Delta\eta_{cp}}{\eta_{cp}} \cdot 100\%$
Средние значения				η_{cp}	$\Delta\eta_{cp}$	

Контрольные вопросы.

1. Какая сила называется силой Стокса? Когда она возникает? Как направлена?
2. От чего зависит величина силы Стокса?
3. Какие силы действуют на шарик при его движении в жидкости? Как движется шарик под действием этих сил в начале падения и в конце?
4. Какая сила называется силой Архимеда? Ее направление и величина?
5. Как определялась плотность шарика? Единицы измерения плотности?
6. Что называется вязкостью? В каких единицах измеряется динамический коэффициент вязкости?
7. Причины возникновения внутреннего трения?

РАБОТА №5

ТЕМА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ВОЗДУХА МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ

Цель и задачи работы: ознакомиться с явлениями, называемыми адиабатическими процессами, определить экспериментально отношение удельных теплоемкости при постоянном давлении к удельной теплоемкости при постоянном объеме $\gamma = C_P / C_V$ для воздуха.

Приборы и принадлежности: закрытый стеклянный баллон с двумя трубками, жидкостный манометр, резиновая груша, зажим на трубке.

Введение. Удельной теплоемкостью газа называется величина, равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить единице массы газа, чтобы увеличить его температуру на 1°C :

$$C = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}, \quad (5.1)$$

где C – удельная теплоемкость газа; ΔQ – количество, сообщенной газу теплоты; m – масса газа; ΔT – изменение температуры газа.

Для газа удельная теплоемкость зависит от условий, при которых проводится нагревание. При нагревании газа с постоянным объемом все количество теплоты идет только на увеличение внутренней энергии газа. При нагревании же газа при постоянном давлении, кроме теплоты, идущей на повышение внутренней энергии газа, необходимо еще тепло для работы на расширение газа. Поэтому теплоемкость газа при постоянном давлении C_P больше теплоемкости при постоянном объеме C_V .

Применяя первое начало термодинамики, установим на сколько C_P больше C_V

$$\Delta Q = \Delta U + A, \quad (5.2)$$

где ΔQ – количество теплоты, полученное газом; ΔU – изменение внутренней энергии газа; A – работа, совершаемая газом при переходе от начального состояния к конечному.

При изохорическом процессе ($V = \text{const}$) газ не совершает работы и первое начало термодинамики (5.2) примет следующий вид:

$$\Delta Q_v = \Delta U, \quad (5.3)$$

и, следовательно, после подстановки уравнения (5.3) в уравнение (5.1) получим изохорическую теплоемкость для всей массы газа в виде:

$$C_v = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T} \right)_v = \frac{\Delta U}{\Delta T}. \quad (5.4)$$

В изобарическом процессе ($P = \text{const}$) первое начало термодинамики имеет вид:

$$\Delta Q = \Delta U + A, \quad (5.5)$$

где работа (A) для изобарного процесса и она равна:

$$A = p \cdot \Delta V. \quad (5.6)$$

Из уравнения состояния идеального газа (Менделеева – Клапейрона) найдем $P \cdot \Delta V$, в виде:

$$P \cdot \Delta V = \frac{m}{M} \cdot R \Delta T, \quad (5.7)$$

где P – давление газа; ΔV – изменение объема газа; m – масса газа; R – универсальная газовая постоянная; M – молярная масса газа; ΔT – изменение температуры газа.

Следовательно, уравнение первого начала термодинамики для изобарного процесса (5.5) с учетом уравнений (5.6), (5.7) примет вид:

$$\Delta Q = \Delta U + \frac{m}{M} R \cdot \Delta T. \quad (5.8)$$

Тогда изобарическая теплоемкость газа выразится формулой:

$$C_p = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T} \right) = \frac{\Delta U}{\Delta T} + \frac{m}{M} \cdot R,$$

или с учетом выражения (5.4) получим:

$$C_p = C_v + \frac{m}{M} R. \quad (5.9)$$

Для одного моля газа $\frac{m}{M} = 1$ уравнение (5.9) примет вид:

$$C_p = C_v + R. \quad (5.10)$$

Это уравнение Майера и оно показывает, что молярная теплоемкость при постоянном давлении больше молярной теплоемкости при постоянном объеме на величину универсальной газовой постоянной.

Непосредственное измерение C_p и C_v затруднительно, так как теплоемкость газа составит ничтожную долю теплоемкости сосуда, заключающего газ, и поэтому проще измерить отношение величин ($\gamma = C_p / C_v$). Величина γ имеет больше значение в термодинамике. Она входит, например, в уравнение Пуассона, описывающего адиабатические процессы изменения состояния идеального газа

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma.$$

Поэтому для определения величины γ в настоящей работе и предлагается метод адиабатического расширения. Отношения $\gamma = C_p / C_v$ зависит только от числа степеней свободы молекул, из которых газ состоит, т.е.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i},$$

где i - число степеней свободы.

В настоящей работе определяется γ для воздуха (двухатомный газ) $i=5$.

Описание установки и метода измерений.

Адиабатическим процессом называется такое изменение состояния газа, которое происходит без теплообмена с окружающей средой. Тогда первое начало термодинамики для адиабатического процесса примет вид: $\Delta U + A = 0$ или $A = -\Delta U$.

Следовательно, работа расширения будет совершаться за счет внутренней энергии газа и температура понизится. В случае адиабатического сжатия работа, совершенная на сжатие, повлечет за собой повышение температуры газа.

Если процесс изменения объема газа проводить достаточно быстро, то его можно рассматривать как весьма близкий к адиабатическому. За ха-

характером процессов в опыте удобнее всего проследить по графику (рисунок 5.1).

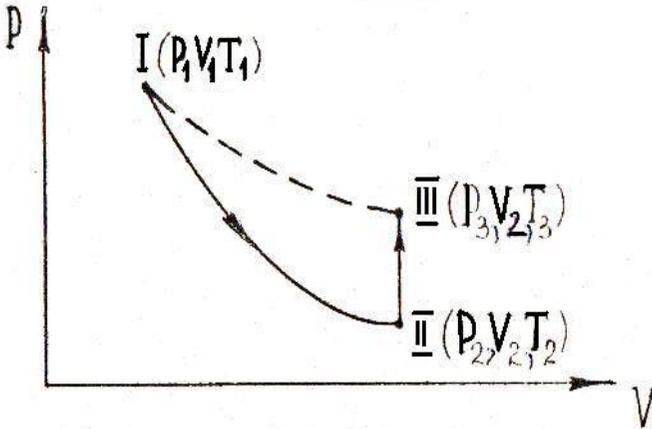


Рисунок 5.1 – График изменения состояния газа

В стеклянный баллон Б (рисунок 5.2) при помощи груши Г накачивают воздух, создавая этим внутри баллона давление выше атмосферного. Это состояние будет соответствовать началу эксперимента. На графике это соответствует точке I с параметрами P_1, V_1, T_1 .

Переход из I состояния во II совершается путем быстрого расширения газа, которое с достаточным приближением можно рассматривать как адиабатическое. Этот переход опишется уравнением Пуассона:

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\gamma}. \quad (5.11)$$

Переход из II состояния в III – изохорный и применяя закон Шарля получим

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2}. \quad (5.12)$$

Решая совместно (5.11) и (5.2), найдем

$$\gamma = \frac{\ln P_1 - \ln P_2}{\ln P_1 - \ln P_3}. \quad (5.13)$$

Так как давления P_1, P_2, P_3 незначительно отличаются друг от друга, то в формуле (5.13) можно разность логарифмов заменить разностями самих чисел, т. е.

$$\gamma = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_3}. \quad (5.13)$$

В формуле (5.13) по условию эксперимента давление P_2 атмосферное давление, а давления P_1 и P_3 превышают атмосферное давление P_2 соответственно на величину давления столба жидкости в манометре высотой h_1 и h_2 .

Следовательно, формулу (5.13) для расчета значения γ можно окончательно записать в виде

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (5.14)$$

Формула (5.14) в данной работе является расчетной формулой для определения γ .

Прибор, применяемый в работе, представляет собой большой стеклянный баллон Б (рисунок 5.2), наполненный воздухом и плотно закрытый пробкой. Баллон берется большим, чтобы можно было пренебречь изменением объема газа в коленах манометра М. Сквозь пробку проходят две трубки: одна из них соединена с жидкостным манометром, вторая, имеющая зажим А – с грушей Г и окружающим пространством.

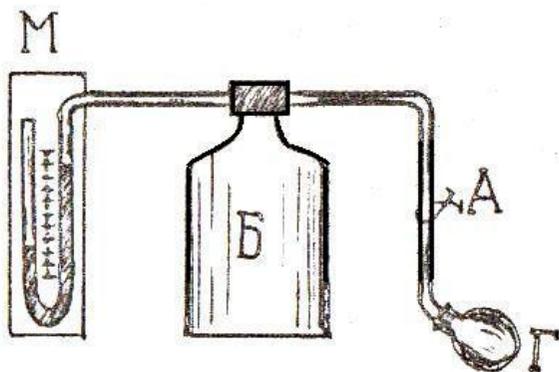


Рисунок 5.2 – Схема установки

Порядок выполнения работы:

1. Открывают зажим А и при помощи груши Г накачивают в баллон Б воздух так, чтобы разность уровней жидкости в манометре составляла 25...35 см.
2. Закрывают зажим А и, выждав 3...5 минут, отсчитывают при помощи линейки разность уровней (h_1) жидкости в манометре (отсчет вести по нижнему краю мениска).
3. Открывают зажим А до выравнивания давления внутри баллона с атмосферным и быстро закрывают зажим А.
4. Выждав 3...5 минут (до тех пор, пока уровни в трубках манометра перестанут изменяться), снова отсчитывают разность уровней (h_2) жидкости в трубках манометра.
5. Результаты измерений заносят в таблицу 5.1.
6. Весь порядок опыта пункты 1, 2, 3, 4, 5 повторяют три раза.

Таблица 5.1 – Таблица измерений и вычислений

№ опыта п/п	Разность уровней жидкости в манометре (см)		Отношение удельных теплоемкостей $\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$	Абсолютные ошибки $\Delta\gamma = \gamma_{cp.} - \gamma_i$	Относительная ошибка $\varepsilon = \frac{\Delta\gamma_{cp.}}{\gamma_{cp.}} 100\%$
	h ₁	h ₂			
1					
2					
3					
сред. знач.	–	–			–

Контрольные вопросы:

1. Какой процесс называется изотермическим, изохорическим, изобарическим, адиабатическим?
2. Записать первый закон термодинамики и применить его к адиабатическому и изопроцессам?
3. Что называется удельной и молярной теплоемкостью вещества?
4. Почему C_p больше, чем C_v ? Записать уравнение Майера?
5. Записать уравнение Пуассона для адиабатического процесса.
6. Записать формулу для показателя адиабаты.

Литература:

Основная литература:

1. Грабовский Р.И. Курс физики. — СПб.: 2009. — 145 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 104с. www.studfiles.ru/preview/1645619
3. Грабовский Р.И. Сборник задач по физике. — СПб.: Изд-во «Лань», 2012. — 33 с.

Дополнительная литература:

1. Физика. Теория и практика: Учебное пособие / Под ред. проф. С.О. Крамарова. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 380 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование) <http://znanium.com/bookread2.php?book=522108>
2. Курс общей физики: Учебное пособие / К.Б. Канн. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 360 с.: 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-905554-47-6, 700 экз. <http://znanium.com/bookread2.php?book=443435>.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн. Кн. 3. Молекулярная физика и термодинамика. — М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2002. — 208с.

Содержание

Общие сведения.....	3
Работа №1 Определение удельного веса твердых тел методом гидростатического взвешивания.....	4
Работа №2 Определение коэффициента поверхностного натяжения воды по весу капель.....	7
Работа №3 Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом отрыва кольца.....	12
Работа №4 Изучение движения тел в вязкой среде.....	15
Работа №5 Определение отношения удельных теплоемкостей воздуха методом адиабатического расширения.....	19
Литература.....	26
Содержание.....	27