

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кафедра «Физика»

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Рабочая тетрадь
для выполнения лабораторных работ
по физике

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 536
ББК 22.36
М75

Рецензент:

А.А. Мосунов – доцент кафедры «Физика», канд. физ.-мат. наук, доцент

Ответственный за выпуск:

Е.В.Савченко – канд. пед. наук, доцент кафедры «Физика»

Составители: О.С. Завьялова, О.В. Рогова, И.В. Скуратовская

М75 Молекулярная физика и термодинамика: рабочая тетрадь для выполнения лабораторных работ [Электронный ресурс] / Сост. О.С. Завьялова, О.В. Рогова, И.В. Скуратовская. - Электрон. дан. - Севастополь: СевГУ, 2019. – 20 с. – Режим доступа: свободный после авторизации. - Загл. с экрана.

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения лабораторных работ раздела "Молекулярная физика и термодинамика" курса общей физики. В пособии дано описание лабораторных установок, краткий ход работы, методика обработки полученных результатов, контрольные вопросы. Рабочие тетради предназначены для выполнения лабораторных работ студентами 1, 2 курса всех специальностей и форм обучения инженерного профиля университета.

УДК 536
ББК 22.36

Рассмотрено и утверждено на заседании ученого совета Института радиоэлектроники и информационной безопасности Севастопольского государственного университета в качестве учебно-методического пособия, протокол № 4 от 27 ноября 2019 г.

Текстовое (символьное) издание (12,1 Мб).
Системные требования: Intel, 3,4 GHz; 150 Мб; Windows XP/Vista/7;
DVD-ROM; 1 Гб свободного места на жестком диске;
программа для чтения pdf-файлов: Adobe Acrobat Reader, Foxit Reader

Изд. № 319/19. Объем 1,25 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Экспериментальное определение отношения молярных теплоёмкостей (показателя адиабаты) воздуха методом Клемана-Дезорма	4
2. Определение средней длины свободного пробега и эффективного диаметра молекул воздуха.....	10
3. Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом Стокса	17

Лабораторная работа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МОЛЯРНЫХ ТЕПЛОЁМКОСТЕЙ (ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ) ВОЗДУХА МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА

Теоретическая часть	Выполнение работы	Результаты расчетов
Дата, подпись преподавателя	Дата, подпись преподавателя	Дата, подпись преподавателя

Работу выполнил:

Студент группы _____

Работу проверил:

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментально определить показатель адиабаты для воздуха

ХОД РАБОТЫ

1. Для определения отношения молярных теплоёмкостей по способу Клемана и Дезорма используется прибор, состоящий из металлического сосуда (1), который соединён с манометром (2) и через трёхходовой кран (3) с насосом (4). Кран может соединять сосуд с атмосферой. Применяемый в данной работе метод определения отношения теплоемкостей основан на предположении, что любое быстрое расширение или сжатие газа можно с достаточным приближением рассматривать как адиабатический процесс.

2. Пользуясь насосом, повысить давление воздуха до значения $\approx 50 - 80$ делений по шкале манометра. Подождать $5 - 10$ с, чтобы температура воздуха в сосуде сравнялась с комнатной температурой, записать показания манометра h_1 (рис. 1).

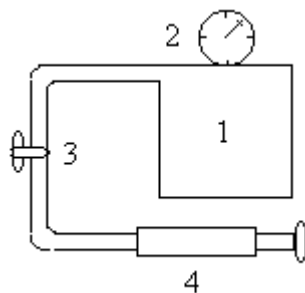


Рис. 1. Лабораторная установка

3. Быстро соединить сосуд с атмосферой, вынув вентиль крана, и как только стрелка манометра окажется в нулевом положении, опять вставить вентиль крана, расположив его в положении «ЗАКРЫТО». Выждав окончания теплообмена между атмосферой и воздухом в сосуде, записать второе показание манометра h_2 , соответствующее максимальному значению давления на манометре.

4. Опыт повторить 10 раз и результаты каждого измерения записать в табл. 1.

ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Таблица 1

№	h_1	h_2	γ_i	$\langle \gamma \rangle$	$\Delta \gamma_i$	$(\Delta \gamma_i)^2$	ΔS_γ	$\Delta \gamma$	$\varepsilon, \%$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

1. Рассчитайте показатель адиабаты по формуле

$$\gamma_i = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

$$\gamma_1 = \frac{h_{1.1}}{h_{1.1} - h_{2.1}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$= \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\gamma_2 = \frac{h_{1.2}}{h_{1.2} - h_{2.2}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$= \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\gamma_3 = \frac{h_{1.3}}{h_{1.3} - h_{2.3}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$= \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\gamma_4 = \frac{h_{1.4}}{h_{1.4} - h_{2.4}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$= \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\gamma_5 = \frac{h_{1.5}}{h_{1.5} - h_{2.5}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$= \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\gamma_6 = \frac{h_{1.6}}{h_{1.6} - h_{2.6}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$= \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\gamma_7 = \frac{h_{1.7}}{h_{1.7} - h_{2.7}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\gamma_8 = \frac{h_{1.8}}{h_{1.8} - h_{2.8}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\gamma_9 = \frac{h_{1.9}}{h_{1.9} - h_{2.9}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\gamma_{10} = \frac{h_{1.10}}{h_{1.10} - h_{2.10}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

2. Среднее значение показателя адиабаты

$$\langle \gamma \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i}{n} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 + \gamma_5 + \gamma_6 + \gamma_7 + \gamma_8 + \gamma_9 + \gamma_{10}}{10}$$

$$\langle \gamma \rangle = \frac{\hspace{10cm}}{10} = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Рассчитайте абсолютные погрешности каждого измерения:

$$\Delta\gamma_1 = | \langle \gamma \rangle - \gamma_1 | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta\gamma_2 = | \langle \gamma \rangle - \gamma_2 | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta\gamma_3 = | \langle \gamma \rangle - \gamma_3 | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta\gamma_4 = | \langle \gamma \rangle - \gamma_4 | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta\gamma_5 = | \langle \gamma \rangle - \gamma_5 | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta\gamma_6 = | \langle \gamma \rangle - \gamma_6 | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta\gamma_7 = | \langle \gamma \rangle - \gamma_7 | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta\gamma_8 = | \langle \gamma \rangle - \gamma_8 | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta\gamma_9 = | \langle \gamma \rangle - \gamma_9 | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta\gamma_{10} = | \langle \gamma \rangle - \gamma_{10} | = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

4. Квадраты абсолютных погрешностей:

$$(\Delta\gamma_1)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(\Delta\gamma_2)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(\Delta\gamma_3)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(\Delta\gamma_4)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(\Delta\gamma_5)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(\Delta\gamma_6)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(\Delta\gamma_7)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(\Delta\gamma_8)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(\Delta\gamma_9)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(\Delta\gamma_{10})^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

5. Вычислите среднеквадратичную погрешность:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum(\Delta\gamma_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\underline{\hspace{15cm}}}{90}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

6. Вычислите среднюю абсолютную погрешность (доверительный интервал) для заданной надежности 0.95:

$$\Delta\gamma = t_\alpha(n) \cdot \Delta S = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

7. Рассчитайте относительную погрешность измерения показателя адиабаты:

$$= \frac{\Delta\gamma}{\langle \gamma \rangle} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}}\%$$

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение адиабатического процесса.
2. Запишите первый закон термодинамики для адиабатического процесса.
3. Запишите уравнение Пуассона для адиабатического процесса.
4. Объясните, почему показатель адиабаты больше единицы.
5. Дайте определения молярных теплоёмкостей C_V и C_P .
6. Запишите уравнение Майера.
7. Объясните физический смысл молярной газовой постоянной R .
8. Дайте определение, что такое число степеней свободы и чему оно равно для одно-, двух- и трёхатомных молекул при жёсткой связи между атомами.
9. Изобразите в координатах P , V изотермический и адиабатический процессы.
10. Какова связь между молярной и удельной теплоёмкостями?

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА И ЭФФЕКТИВНОГО ДИАМЕТРА МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА

Теоретическая часть	Выполнение работы	Результаты расчетов
Дата, подпись преподавателя	Дата, подпись преподавателя	Дата, подпись преподавателя

Работу выполнил:

Студент группы _____

Работу проверил:

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить методику определения эффективного диаметра и средней длины свободного пробега молекул воздуха.

ХОД РАБОТЫ

1. Запишите значение радиуса и длины капилляра в таблицу 1 (рис.1).
2. Определите массу стакана 5, температуру воздуха T (К), атмосферное давление p (Па) (1 мм рт. ст. = 133 Па).

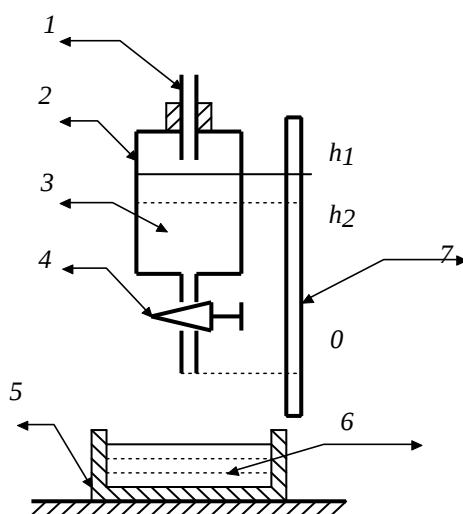


Рис. 1.

3. Наполните сосуд 2 водой и по масштабной линейке отметьте первоначальный уровень h_1 воды в сосуде.
4. Установите капилляр, откройте кран и, дождавшись, когда вода начнет вытекать из сосуда, включите секундомер. Когда уровень воды в сосуде понизится на 30 - 40 мм, перекройте кран и выключите секундомер.
5. Определите новый уровень h_2 воды в сосуде.
6. Взвесьте стакан с водой и определите массу m воды в стакане.
7. Результаты измерений занесите в табл. 1 и 2.

После окончания проведенных экспериментов следует закрыть капилляр колпачком, чтобы избежать засорения капилляра пылью. Необходимо бережно обращаться с установкой. Капилляр вставлять в сосуд осторожно, кран поворачивать плавно, без усилий.

8. Проведите необходимые расчеты по формулам, приведенным в отчете.

ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Часть 1. Определение средней длины свободного пробега

Таблица 1

Радиус капилляра r , м	Длина капилляра l , м	Температура T , К	Молярная масса M , кг/моль	Давление p , Па	Плотность воды ρ , кг/м ³

Таблица 2

№	Масса стакана, m_1 , кг	Масса стакана с водой, m_2 , кг	Масса воды, m , кг	h_1 , м	h_2 , м	t , с	$\lambda_i \cdot 10^{-7}$, м	$\Delta \lambda_i \cdot 10^{-7}$, м	$(\Delta \lambda_i)^2 \cdot 10^{-14}$, м
1									
2									
3									
4									
5									
Среднее значение длины пробега				$\langle \lambda \rangle = \quad \cdot 10^{-7}$ м					
Среднеквадратичная погрешность				$\Delta S_\lambda = \quad \cdot 10^{-7}$ м					
Доверительная вероятность				$\alpha =$					
Коэффициент Стьюдента				$t_\alpha(n) =$					
Доверительный интервал				$\Delta \lambda = \quad \cdot 10^{-7}$, м					

1. Определите величину средней длины свободного пробега молекул воздуха:

$$\lambda_i = \frac{3\pi g \rho^2 r^4}{32 \cdot l \cdot P} \cdot \sqrt{\frac{\pi R T}{2M}} \cdot \frac{t(h_1 + h_2)}{m}$$

$$\lambda_1 = \underline{\hspace{2cm}} \cdot \sqrt{\underline{\hspace{2cm}}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (м)}$$

$$\lambda_2 = \underline{\hspace{2cm}} \cdot \sqrt{\underline{\hspace{2cm}}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (м)}$$

$$\lambda_3 = \underline{\hspace{2cm}} \cdot \sqrt{\underline{\hspace{2cm}}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (м)}$$

$$\lambda_4 = \underline{\hspace{2cm}} \cdot \sqrt{\underline{\hspace{2cm}}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (м)}$$

$$\lambda_5 = \underline{\hspace{2cm}} \cdot \sqrt{\underline{\hspace{2cm}}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (м)}$$

2. Рассчитайте среднее арифметическое значение средней длины свободного пробега молекул воздуха:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \lambda_i = \frac{\quad}{5} = \quad (\text{м})$$

3. Вычислите абсолютную погрешность средней длины свободного пробега для каждого значения:

$$\Delta \lambda_1 = |\langle \lambda \rangle - \lambda_1| = |\quad| = \quad (\text{м})$$

$$\Delta \lambda_2 = |\langle \lambda \rangle - \lambda_2| = |\quad| = \quad (\text{м})$$

$$\Delta \lambda_3 = |\langle \lambda \rangle - \lambda_3| = |\quad| = \quad (\text{м})$$

$$\Delta \lambda_4 = |\langle \lambda \rangle - \lambda_4| = |\quad| = \quad (\text{м})$$

$$\Delta \lambda_5 = |\langle \lambda \rangle - \lambda_5| = |\quad| = \quad (\text{м})$$

4. Квадраты абсолютных погрешностей:

$$|\Delta \lambda_1|^2 = \quad = \quad (\text{м}^2)$$

$$|\Delta \lambda_2|^2 = \quad = \quad (\text{м}^2)$$

$$|\Delta \lambda_3|^2 = \quad = \quad (\text{м}^2)$$

$$|\Delta \lambda_4|^2 = \quad = \quad (\text{м}^2)$$

$$|\Delta \lambda_5|^2 = \quad = \quad (\text{м}^2)$$

5. Рассчитайте среднюю квадратичную погрешность средней длины свободного пробега:

$$\Delta S_\lambda = \sqrt{\frac{\Delta \lambda_1 + \Delta \lambda_2 + \Delta \lambda_3 + \Delta \lambda_4 + \Delta \lambda_5}{20}} = \sqrt{\quad} = \quad$$

6. Вычислите среднюю абсолютную погрешность (доверительный интервал) для заданной надежности 0.95:

$$\Delta \lambda = t_\alpha(n) \cdot \Delta S = \quad = \quad (\text{м})$$

7. Рассчитать относительную погрешность для длины свободного пробега:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \lambda}{\langle \lambda \rangle} \cdot 100\% = \quad \cdot 100\% = \quad \%$$

Часть 2. Определение эффективного диаметра молекул воздуха

Таблица 3

№	$d_i \cdot 10^{-10}, \text{м}$	$\Delta d_i \cdot 10^{-10}, \text{м}$	$(\Delta d_i)^2 \cdot 10^{-20}, \text{м}$
1			
2			
3			
4			
5			
Среднее значение эффективного диаметра		$\langle d \rangle =$	$\cdot 10^{-10} \text{ м}$
Среднеквадратичная погрешность		$\Delta S_d =$	$\cdot 10^{-10} \text{ м}$
Доверительная вероятность		$\alpha =$	
Коэффициент Стьюдента		$t_\alpha(n) =$	
Доверительный интервал		$\Delta d =$	$\cdot 10^{-10} \text{ м}$

1. Определите эффективный диаметр молекул воздуха:

$$d_1 = \sqrt{\frac{kT}{\sqrt{2}\pi p \langle \lambda_1 \rangle}}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{\quad}{\quad}} = \quad (\text{м})$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{\quad}{\quad}} = \quad (\text{м})$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{\quad}{\quad}} = \quad (\text{м})$$

$$d_4 = \sqrt{\frac{\quad}{\quad}} = \quad (\text{м})$$

$$d_5 = \sqrt{\frac{\quad}{\quad}} = \quad (\text{м})$$

2. Рассчитайте среднее арифметическое значение эффективного диаметра по формулам:

$$\langle d \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N d_i = \frac{\quad}{5} = \quad (\text{м})$$

3. Вычислите абсолютные погрешности эффективного диаметра молекул для каждого значения:

$$\Delta d_1 = |\langle d \rangle - d_1| = \quad (\text{м})$$

$$\Delta d_2 = |\langle d \rangle - d_2| = \quad (\text{м})$$

$$\Delta d_3 = |\langle d \rangle - d_3| = \quad (\text{м})$$

$$\Delta d_4 = |\langle d \rangle - d_4| = \quad (\text{м})$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит физическая сущность внутреннего трения в газах?
2. Как зависит коэффициент внутреннего трения и сила трения в газах от температуры?
3. Как зависит коэффициент внутреннего трения в газах от давления?
4. Какова размерность коэффициента внутреннего трения? Каков физический смысл коэффициента внутреннего трения?
5. Какова методика определения коэффициента внутреннего трения и эффективного диаметра молекул воздуха?
6. Какова методика определения погрешности измерений эффективного диаметра и средней длины свободного пробега молекул воздуха?
7. Выведите формулу Пуазейля.

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Теоретическая часть	Выполнение работы	Результаты расчетов
Дата, подпись преподавателя	Дата, подпись преподавателя	Дата, подпись преподавателя

Работу выполнил:

Студент группы _____

Работу проверил:

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение движения твердого тела в жидкости. Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса.

ХОД РАБОТЫ

1. Выбрать 5 шариков. Измерить диаметры шариков при помощи микроскопа.

Шарик поместить на белую бумагу в хорошо освещённом месте. С помощью ходового винта микроскопа добиться чёткого изображения шарика, а с помощью винта окуляра – чёткого изображения измерительной шкалы. Шарик расположить так, чтобы шкала была горизонтальна и проходила через его центр. Замерить диаметр шарика.

Учитывая, что форма шарика может отличаться от сферической формы, проделать измерение диаметров во взаимно-перпендикулярных направлениях 2-4 раза и в таблицу занести среднее значение радиуса. Прodelать это для пяти шариков.

2. Измерить расстояние L между метками на колбе с жидкостью и измерить радиус колбы R (рис. 1).

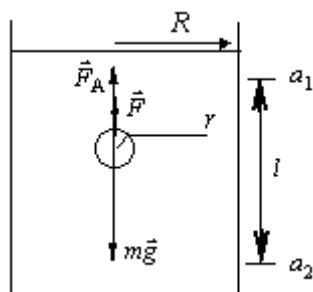


Рис. 1. Шарик, падающий в жидкости

3. Опустить шарик в жидкость по оси цилиндра и секундомером измерить время падения шарика между двумя метками. Данные измерений занести в табл. 1.

ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Таблица 1

№	L, м	R, м	r, м	t, с	η_i , Па·с	$\langle \eta \rangle$, Па·с	$\Delta \eta_i$, Па·с	$(\Delta \eta_i)^2$, (Па·с) ²	ΔS , Па·с	$\Delta \eta$, Па·с	ε , %
1											
2											
3											
4											
5											

1. Рассчитать коэффициент вязкости жидкости по формуле

$$\eta = \frac{2r^2 g}{9L(1 + 2,4 \frac{r}{R})} (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \cdot t$$

$$\eta_1 = \text{_____} \cdot (\text{_____}) \cdot \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

$$\eta_2 = \text{_____} \cdot (\text{_____}) \cdot \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

$$\eta_3 = \text{_____} \cdot (\text{_____}) \cdot \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

$$\eta_4 = \text{_____} \cdot (\text{_____}) \cdot \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

$$\eta_5 = \text{_____} \cdot (\text{_____}) \cdot \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

2. Среднее значение коэффициента вязкости:

$$\langle \eta \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i}{n} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5}{5}$$

$$\langle \eta \rangle = \frac{\text{_____}}{5} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

3. Рассчитайте абсолютные погрешности каждого измерения:

$$\Delta \eta_1 = | \langle \eta \rangle - \eta_1 | = \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

$$\Delta \eta_2 = | \langle \eta \rangle - \eta_2 | = \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

$$\Delta \eta_3 = | \langle \eta \rangle - \eta_3 | = \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

$$\Delta \eta_4 = | \langle \eta \rangle - \eta_4 | = \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

$$\Delta \eta_5 = | \langle \eta \rangle - \eta_5 | = \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})$$

4. Квадраты абсолютных погрешностей:

$$(\Delta \eta_1)^2 = \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})^2$$

$$(\Delta \eta_2)^2 = \text{_____} = \text{_____} (\text{Па} \cdot \text{с})^2$$

$$(\Delta\eta_3)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (Па} \cdot \text{с)}$$

$$(\Delta\eta_4)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (Па} \cdot \text{с)}$$

$$(\Delta\eta_5)^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (Па} \cdot \text{с)}$$

5. Вычислите среднеквадратичную погрешность:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum (\Delta\eta_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\underline{\hspace{10cm}}}{20}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

6. Вычислите среднюю абсолютную погрешность (доверительный интервал) для заданной надежности 0.95:

$$\Delta\eta = t_\alpha(n) \cdot \Delta S = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (Па} \cdot \text{с)}$$

7. Рассчитайте относительную погрешность измерения:

$$= \frac{\Delta\eta}{\langle \eta \rangle} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова физическая природа вязкости в газах и жидкостях?
2. Дайте определение динамического и кинематического коэффициентов вязкости. В каких единицах они измеряются?
3. Какое движение жидкости называют турбулентным и какое ламинарным, их критерии.
4. При каких условиях выполняется формула Стокса?

5. Выведите расчетную $\eta = \frac{2r^2g}{9L(1+2,4\frac{1}{R})}(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \cdot t.$