

Минобр науки России  
Санкт-Петербург  
Государственный электротехнический университет  
СБГЭТУ "ЛЭТИ"  
кафедра физики

Отчёт  
по лабораторной работе № 2  
Тема: Исследование движения тел  
в диссипативной среде

Студент гр. 9832

Преподаватель

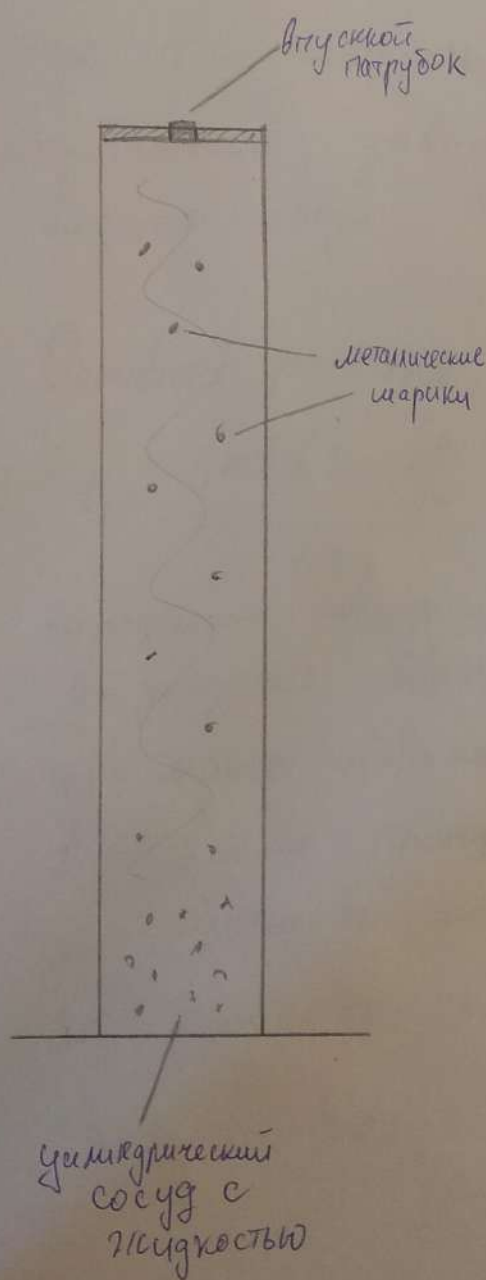


Лескин К.А.  
Гурганова С.С.

Санкт-Петербург  
2020

Цель работы: определение вязкости диссипативной среды по установившейся скорости движения шарика в ней, а так же исследование процессов рассеяния энергии в диссипативной среде.

## Приборы и принадлежности



— аналитические весы

— масштабная линейка

— секундомер

В работе используется сосуд, на боковой поверхности которого нанесены метки. Измеряя расстояние между метками и время движения шарика в жидкости между ними можно определить скорость падения. Шарик опускается в жидкость через впускной патрубок, расположенный в крышке цилиндра.

В вязкой среде на движущееся тело действует сила сопротивления, направленная против скорости тела. Эта сила обусловлена вязким трением между слоями среды и пропорциональна скорости тела.

$$F_r = -rV$$

где  $V$  — скорость движения тела,  $r$  — коэффициент сопротивления, зависящий от формы, размеров тела и вязкости среды.

Основные расчётные формулы

$$1. \quad r = \frac{g m t \left(1 - \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{м}}}\right)}{\Delta h} \quad - \text{расчётная формула для}$$

определения коэффициента сопротивления

$g$  — ускорение свободного падения

$m$  — масса шарика

$t$  — время прохождения шарика между метками

$\rho_{\text{ж}}$  — плотность жидкости

$\rho_{\text{м}}$  — плотность шарика

$\Delta h$  — расстояние между метками

2.  $\eta = \frac{r \sqrt[3]{\frac{4 \delta_1 \beta_m}{3}}}{6 \delta_1}$  - определение вязкости среды

$r$  - коэффициент сопротивления

$\beta_m$  - плотность свинца

3.  $\beta = r \cdot v_\infty'$  - определение мощности рассеивания

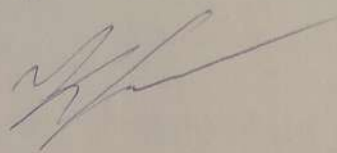
$r$  - коэффициент сопротивления

$v_\infty'$  - установившаяся скорость



Протокол измерений  
Исследование движения тела в диссипативной среде

Студент гр. 9892



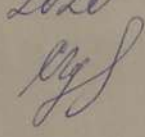
Лескин М.Ф.

Преподаватель

Гурганова С.С.

Дата 12.03.2020

N	1	2	3	4	5	Q	
$\Delta h$	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.0005	
$m, \text{кг}$	$42 \cdot 10^{-6}$	$83 \cdot 10^{-6}$	$49 \cdot 10^{-6}$	$85 \cdot 10^{-6}$	$40 \cdot 10^{-6}$	$0.5 \cdot 10^{-6}$	
$t, \text{с}$	3.02	2.41	2.60	2.48	2.94	0.05	
$v_{\text{м/с}}$	0.0685	0.0854	0.0746	0.0755	0.0704		
$\rho_m \text{ г/см}^3$	11.34	11.34	11.34	11.34	11.34		
$\rho_{\text{ок}} \text{ г/см}^3$	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25		
$t, \text{с}^\circ$	24	24	24	24	24	0.5	

12.03.2020  


# Обработка результатов эксперимента

$$① A = (0/6\pi)(4\pi r_1/3)^{1/3}(1 - \rho_s/\rho_r) = \frac{2.8}{0.3/4} \left( \frac{4.3/4 \cdot 11.34}{3} \right)^{1/3} \left( 1 - \frac{1.25}{11.54} \right) = 16.753 \text{ м}^{1/2}/\text{с}^2$$

②. Определить  $V_0 = L/t$  м/с и вязкость  $\eta = \bar{\eta} \pm \Delta\eta$  с  $\rho = 95\%$ ,  $L = 20.7 \text{ см}$

$$a. V_{01} = \frac{0.207}{3.02} = 0.0685, V_{02} = \frac{0.204}{2.41} = 0.0859, V_{03} = \frac{0.207}{2.60} = 0.0796,$$

$$V_{04} = \frac{0.207}{2.78} = 0.0745, V_{05} = \frac{0.207}{2.94} = 0.0704$$

Найдем вязкость для каждого эксперимента по формуле  $\eta = A \frac{m^{2/3}}{V}$ , Па·с

$$\eta_1 = 0.0016753 \frac{(4.2 \text{ кг})^{2/3}}{0.0685} = 0.0016753 \frac{17.307}{0.0685} = 0.42327 = 0.423$$

$$b. \eta_2 = 0.0016753 \frac{19.027660}{0.0859} = 0.0016753 \cdot 221.50944 = 0.37109 = 0.371$$

$$\eta_3 = 0.0016753 \frac{18.411312}{0.0796} = 0.0016753 \cdot 231.29789 = 0.38749 = 0.388$$

$$\eta_4 = 0.0016753 \frac{19.3321}{0.0745} = 0.0016753 \cdot 259.491425 = 0.434725 = 0.435$$

$$\eta_5 = 0.0016753 \frac{16.984992}{0.0704} = 0.0016753 \cdot 241.264098 = 0.40418 = 0.404$$

$$1) \bar{\eta} = \frac{0.423 + 0.371 + 0.388 + 0.435 + 0.404}{5} = \frac{2.021}{5} = 0.4042$$

$$2) S_{\bar{\eta}} = \sqrt{\frac{(0.0188)^2 + (0.0332)^2 + (0.0162)^2 + (0.0002)^2 + (0.0002)^2}{5(5-1)}} = \sqrt{\frac{(0.000353)^2 + (0.0011)^2 + (0.0002)^2 + (0.000004) + (0.000004)}{20}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.00055304}{20}} = 0.011269 \approx 0.0113$$

$$3) \Delta\bar{\eta} = 2.78 \cdot 0.0113 = 0.0314$$

4) Вн Найдем погрешность прибора с учетом вязкости каждого эксперимента по формуле  $\Delta\eta = \eta \left( \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta t}{t} \right)$

$$\Delta\eta_1 = 0.423 \left( \frac{2.05}{3.72} + \frac{0.1}{20.7} + \frac{0.01}{3.02} \right) = 0.05397 \approx 0.054, \Delta\eta_2 = 0.371 \left( \frac{2.05}{3.83} + \frac{0.1}{20.7} + \frac{0.01}{2.41} \right) = 0.04482 \approx 0.045$$

$$b. \Delta\eta_3 = 0.388 \left( \frac{2.05}{3.79} + \frac{0.1}{20.7} + \frac{0.01}{2.6} \right) = 0.050033 \approx 0.05, \Delta\eta_4 = 0.435 \left( \frac{2.05}{3.85} + \frac{0.1}{20.7} + \frac{0.01}{2.78} \right) = 0.0537 \approx 0.054$$

$$\Delta\eta_5 = 0.404 \left( \frac{2.05}{3.70} + \frac{0.1}{20.7} + \frac{0.01}{2.94} \right) = 0.05248 \approx 0.053$$

$$\Delta\bar{\eta} = \frac{0.054 + 0.045 + 0.05 + 0.054 + 0.053}{5} = \frac{0.256}{5} = 0.0512$$

$$5) \Delta \bar{\eta} = \sqrt{(0.0314)^2 + (0.0512)^2} = \sqrt{0.0036074} = 0.060031 \approx 0.06$$

$$6) \eta = \bar{\eta} \pm \Delta \bar{\eta} = 0.4042 \pm 0.06$$

$$\delta \eta = \frac{\Delta \bar{\eta}}{\bar{\eta}} \cdot 100\% = 0.14\%$$

③ Рассчитаем для пятого опыта:

$$1. \text{ Коэффициент сопротивления } \tau: \tau_5 = \frac{m_5 \cdot g}{V_5} \left(1 - \frac{P_{*}}{P_r}\right) = \frac{70 \cdot 10^{-6} \cdot 9.8}{0.0704} \left(1 - \frac{1.25}{11.34}\right) =$$

$$= 0.00874431 \cdot 0.88377 = 0.00867 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$$2. \text{ Мощность рассеяния } P_d: P_{d5} = \tau_5 \cdot (V_5)^2 = 0.00867 \cdot (0.0704)^2 = 0.00004296990 \text{ Вт}$$

3. Проверим баланс энергии на участке установившегося движения:

$$F_5 \cdot L \approx P_{d5} t_5 \Leftrightarrow m_5 g \left(1 - \frac{P_{*}}{P_r}\right) l \approx \tau_5 l^2 t_5 \Rightarrow$$

$$P_{d5} t_5 = 0.00004296990 \cdot 2.94 = 0.0001263315$$

$$F_5 \cdot L = 70 \cdot 10^{-6} \cdot 9.8 \left(1 - \frac{1.25}{11.34}\right) \cdot 0.202 = 0.0001249617$$

$$\Rightarrow F_5 L \approx P_{d5} t_5$$

④ Рассчитаем число Рейнольдса  $Re$  для пятого опыта:

$$\begin{cases} Re_5 = \frac{2 \cdot P_{*} \cdot V_5 \cdot \tau_5}{\eta_5} \\ Re_5 = \frac{\tau_5}{6 \pi \eta_5} \end{cases} \Leftrightarrow Re_5 = \frac{P_{*} \cdot V_5 \cdot \tau_5}{3 \pi \cdot (\eta_5)^2} = \frac{1.25 \cdot 0.0704 \cdot 0.00867}{3.14 \cdot (0.404)^2} = \frac{0.00076296}{1.53749} = 0.0004962573$$

что меньше 2300  $\Rightarrow$  движение  
слоев жидкости ламинарное

⑤ Рассчитаем для пятого опыта:

$$1. \text{ Начальную скорость } V_0: V_{05} = \sqrt{2gh_0} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 0.033} = \sqrt{0.6468} = 0.8042 \text{ м/с}$$

$$2. \text{ Начальное ускорение } a_0: a_0 = 2g \frac{P_r - P_{*}}{2P_r + P_{*}} \left(1 - \frac{V_{05}}{V_r}\right) = 2 \cdot 9.8 \cdot \frac{11.34 - 1.25}{2 \cdot 11.34 + 1.25} \left(1 - \frac{0.8042}{0.0704}\right) =$$

$$= 19.6 \cdot 0.42164 (1 - 11.4232) = -86.13883 \text{ м/с}^2$$

$$3. \text{ Время релаксации } \tau: \tau_5 = \frac{V_r - V_{05}}{a_{05}} = \frac{0.0704 - 0.8042}{-86.13883} = \frac{0.7338}{86.13883} = 0.008518 \text{ с}$$

Графики зависимости  $v=v(t)$  и  $a=a(t)$  представлены на стр 8



График зависимости  $v = v(t)$ .

$$v(t) = v_{\infty} - (v_{\infty} - v_0)e^{-\beta t}, \text{ где } \beta = \frac{1}{2}, v_{\infty} = \sqrt{5},$$

$$v_0 = \sqrt{2gh_0} = 0.8542$$

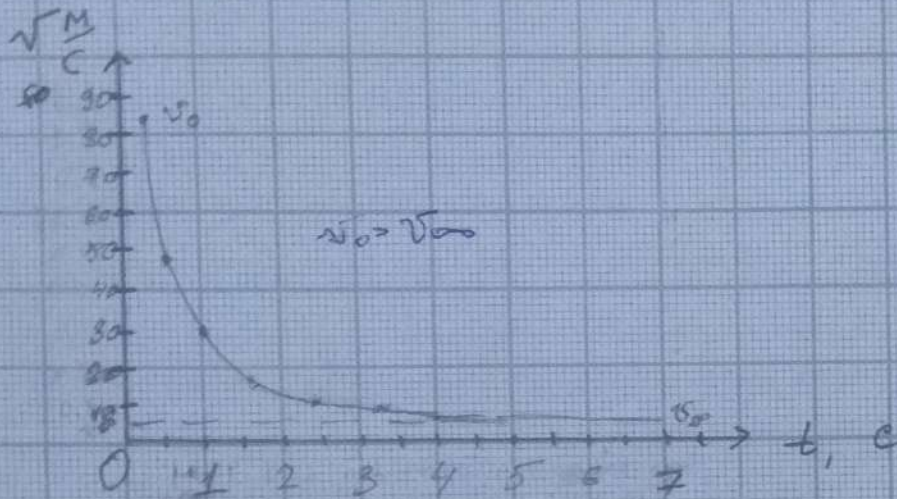
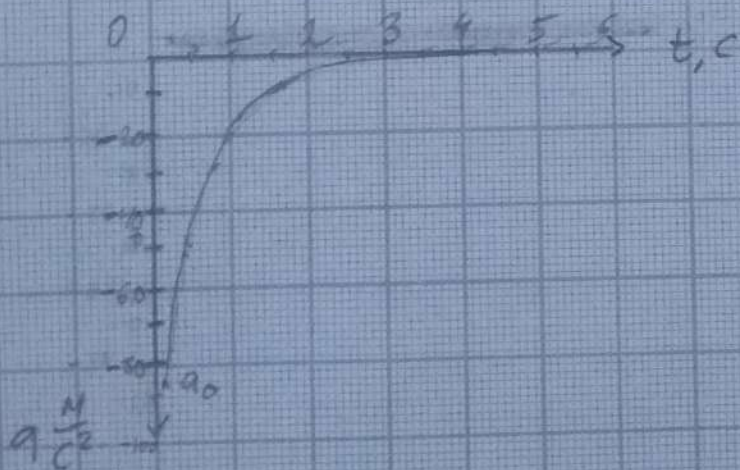


График зависимости  $a = a(t)$

$$a(t) = a_0 e^{-\beta t}, \beta = \frac{1}{2}$$





$$\delta h = \delta \eta_{\text{ин}} - 1$$

⑥ Рассчитаем количество теплоты, выделяющейся за этот период шарика в жидкость при его прохождении между двумя метками:  $Q_5 = P_{15} \cdot t_5 = 0.0001263315 \times 0.00013 \text{ Дж}$

⑦ Полученное в ходе экспериментальное значение:  $\eta = (0.41 \pm 0.06) \text{ Па} \cdot \text{с}$ , табличное значение  $\eta = 0.26 \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

## Вывод

При выполнении лабораторной работы были экспериментально определены скорости движения шариков по маслу свинцовых шариков в диссипативной среде. На основании полученных данных были проведены вычисления, позволяющие определить вязкость данной диссипативной среды.

Полученное экспериментальное значение ( $\eta = 0.41 \pm 0.06 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ) отличается от табличного  $0.26 \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Это связано с ошибками и погрешностями при проведении эксперимента, а так же температурой окружающей среды, так же повлиявшей на результат эксперимента.

## Контрольные вопросы

1. Какие параметры характеризуют исследуемую систему как диссипативную? От каких величин зависит коэффициент сопротивления движения тела в диссипативной среде?
8. Параметры диссипативной среды: вязкой, объемной, динамической, турбулентной, коэфф. - вязкости, теплопроводности. Структура кинетическая, не сохраняет объем в фазовом пространстве. Коэф. сопротивления зависит от формы, размеров тела и вязкости среды  $\eta$ .
2. Дайте определение динамической, кинематической вязкости и текучести жидкости. Динамическая вязкость - внутреннее трение жидкостей или газов. Возникает при движении жидкости вследствие переноса импульса в направлении, перпендик. к направлению движения. Величина, обратная вязкости, назыв. текучестью ( $\frac{1}{\eta}$ ).
9. Кинематическая вязкость ( $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ ) - учитывает и коэф. динамич. вязкости и плотность жидкости  $\rho$ , т.к. на движение молекул в жидкости сильно влияет межмолекулярное взаимодействие, ограничивающее их подвижность.
3. Объясните характер температурной зависимости вязкости жидкостей и газов. Внутреннее трение в газах определяется переносом импульса при переносе молекул из одного слоя газа в другой. На движение молекул в жидкости влияет межмолекулярное взаимодействие и взаимодействие между молекулами слоев жидкости. Поэтому вязкость жидкостей и газов зависит от температуры. С ее ростом подвижность возрастает и вязкость падает.
4. Чем отличается ламинарное течение от турбулентного? Какой величина числа Рейнольдса характеризует вид течения жидкости при падении шарика в ней? При ламинарном течении ( $Re < 2300$ ), не происходит отрывания потока от стенки труб. При турбулентном течении ( $Re > 2300$ ), происходит интенсивное отрывание потока от стенок труб.
5. Объясните методику измерения вязкости в лаб. работе. В лаб. работе в качестве жидкости используется глицериновое масло. По эксперименту массы свинцового шарика, опускаемого в жидкость, известна. Так же известна коэф. А, используемый в формуле вязкости. Шарик опускается в жидкость, и секундомером измеряется время прохождения шариком определенного расстояния в жидкости. Имея все вышеперечисленные параметры, можно вычислить вязкость по формуле:
 
$$\eta = A \frac{m^2 z}{v} \cdot \text{Па} \cdot \text{с}$$
6. Как зависит сила сопротивления движению шарика в жидкости от скорости при малых и больших скоростях его движения? Толстый слой жидкости прилипает к поверхности тела и движется с ним как единое целое, увлекая за собой из-за трения последующие слои. По мере удаления от поверхности тела скорость слоев становится меньше и на некотором расстоянии от поверхности жидкости оказываются невозмущенной движением тела.



7. Чем обусловлена необходимость учёта присоединенной массы?

Из-за увеличения телом окружающей среды возникает доп. сила сопротивления, которая в идеальной жидкости пропорциональна ускорению тела.

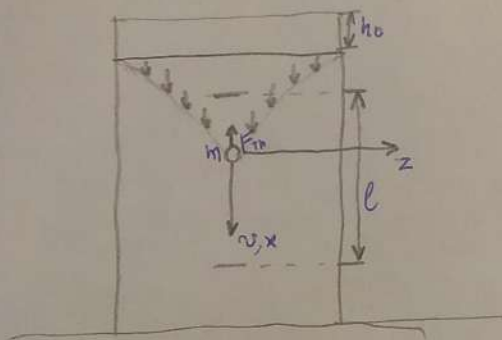
8. Как вычислить кол-во теплоты, выделяющейся за счёт трения шарика о жидкость при его прохождении между двумя отметками?

Передача энергии в жидкой среде, окружающей движущееся тело, происходит за счёт совершения работы против силы трения. Энергия при этом превращается в тепло:

$$Q_c = P_d \cdot t;$$

$P_d$  - скорость диссипации энергии.  $t_i$  - время падения шарика в  $i$ -ом эксперименте

9. Сделайте рисунок и укажите на нём все силы, действующие на шарик, падающий в жидкости. Используйте обозначение сил, указанных на рисунке. Напишите уравнение движения шарика на II з Нь-на в диссипативной среде в нестационарном и стационарном режимах его движения



Для нестационарного движения  $(m+m')a = mg - F_A - F_r$

Для стационарного движения  $mg - F_A - F_r = 0$