



Калужский филиал  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана»  
(национальный исследовательский университет)  
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА

"МК"  
МК10 "Высшая математика и физика"

## ОТЧЕТ

ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

ДИСЦИПЛИНА: "Физика",

Выполнил студент Суриков Н.С. группы ИУК4-21Б

Проверил преподаватель Горбунов А.К.

Номер и наименование лаб. работы	Рейтинг. Баллы ( min-2, max-3)	Дата защиты	Подпись
<b>Модуль 1. Физические основы механики</b>			
Лабораторная работа № 1 Определение погрешностей при измерении периода колебаний маятника	3	28.02.24	
Лабораторная работа № 11 Определение вязкости воздуха капиллярным методом.	3	13.03.24	
<b>Модуль 2. Колебания и волны. Основы теории относительности</b>			
Лабораторная работа № 12 Определение коэффициента трения качения методом наклонного маятника.	3	27.03.24	
Лабораторная работа № 13 Определение коэффициента внутреннего трения жидкостей по методу Стокса.	3	10.04.24	
<b>Модуль 3. Молекулярная физика. Физические основы термодинамики</b>			
Лабораторная работа № 3 Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.	3	31.05	
Лабораторная работа № 6	2	01.06.24	

Калуга 20 23 / 24



# Лабораторная работа № 13

## "Определение коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса."

Цель работы: определить коэффициент внутреннего трения касторового масла по методу Стокса.

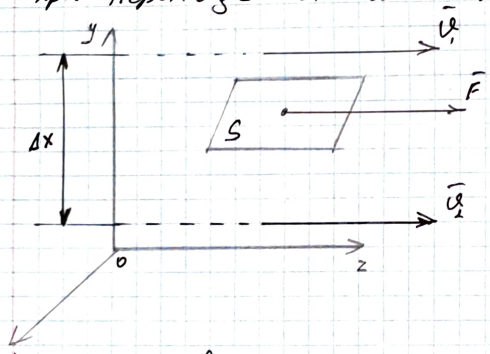
Приборы и принадлежности: стеклянная цилиндрическая трубка; касторовое масло; свинцовый шарик малого диаметра; секундомер; микрометр.

### Теоретическая часть.

Внутреннее трение (вязкость) — это свойство реальных жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой.

Сила внутреннего трения  $F_{\text{тр}}$  тем больше, тем больше рассматриваемая

Площадь поверхности слоя  $S$  и зависит от того, насколько быстро меняется скорость течения жидкостей при переходе от слоя к слою.



Пусть два слоя на расстоянии  $\Delta x$  друг от друга движутся со скоростями  $\vec{u}_1, \vec{u}_2$ ;  $\vec{u}_2 - \vec{u}_1 = \Delta \vec{u}$ . Направление, в котором отсчитывается расстояние между слоями перпендикулярно скорости течения слоёв.

Градиент скорости  $\frac{\Delta u}{\Delta x}$  - величина которая показывает, как быстро

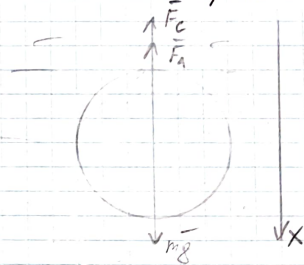
меняется скорость при переходе от слоя к слою в направлении  $x$ , перпендикулярном направлению движения слоёв.

Модуль силы внутреннего трения:

$$F = \eta \left| \frac{\Delta u}{\Delta x} \right| S = [\text{Па} \cdot \text{с}]$$

$\eta$  - коэф. пропорциональности, (коэф. динамической вязкости)  
коэф. внутр. трения

Экспериментальная часть.



$$1. F_c = m \vec{g} = \rho_m V_m g = \frac{4}{3} \rho_m \pi r^3 g$$

$$2. F_A = \rho_f V_m g = \frac{4}{3} \rho_f \pi r^3 g$$

$$3. F_c = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_f g = 6 \pi \eta r v$$

где  $\rho_m, \rho_f$  - плотности шарика, жидкости.

$r$  - радиус шарика;  $v$  - скорость шарика;

$\eta$  - коэф. внутр. трения жидкости;

$g$  - ускорение свободного падения.



$$\text{на ОХ: } m \frac{dv}{dt} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_m g - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_* g - 6 \pi \eta r v$$

$$\text{при } m \frac{dv}{dt} = 0;$$

$$\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_m - \rho_*) g - 6 \pi \eta r v = 0$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho_m - \rho_*}{v_0} g r^2$$

где  $v_0$  - скорость установившегося равномерного движения шарика.

При учёте наличия стенок в цилиндрическом сосуде радиус  $R$ :

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{\rho_m - \rho_*}{v_0 \left(1 + 4 \frac{r}{R}\right)} g r^2.$$

где  $R$  - радиус цилиндрического сосуда, в котором находится жидкость.

$$v_0 = \frac{l}{t}$$

где  $l$  - расстояние между метками, пройденное шариком

$t$  - время прохождения  $l$ .

N	r, м	R, м	t, м	$v_0$ , м/с	$\eta$ , Па·с	$\langle \eta \rangle \pm \Delta \eta$ , Па·с
1	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,03	32,9	0,01823	2,5	
2	$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,03	33,2	0,01807	1,16	$1,8 \pm 0,57$
3	$1,25 \cdot 10^{-3}$	0,03	32,3	0,01857	1,73	

$$\rho = 0,6 \text{ м}, \rho_m = 11350 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \rho_* = 960 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\eta_1 = \frac{2}{9} \cdot \frac{11350 - 960}{0,01823 \left(1 + 4 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{0,03}\right)} \cdot 9,8 \cdot 2,25 \cdot 10^{-6} \approx 2,5 \text{ Па·с}$$

$$\eta_2 = \frac{2}{9} \cdot \frac{11350 - 960}{0,01807 \left(1 + 4 \cdot \frac{1,0 \cdot 10^{-3}}{0,03}\right)} \cdot 9,8 \cdot 1,5625 \approx 1,73 \text{ Па·с}$$

$$\eta_3 = \frac{2}{9} \cdot \frac{11350 - 960}{0,01857 \left(1 + 4 \cdot \frac{1,25 \cdot 10^{-3}}{0,03}\right)} \cdot 9,8 \cdot 10^{-6} \approx 1,16 \text{ Па·с}$$

$$\Delta \eta = t_{(n)} \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta \eta_i)^2};$$

$$\Delta \eta \approx 0,57; \quad \langle \eta \rangle = \frac{2,5 + 1,16 + 1,73}{3} \approx 1,8 \text{ Па·с}$$

$$\varepsilon = \frac{0,57}{1,8} \approx 0,32 \cdot 100\% = 32\%.$$

Ответ:  $1,8 \pm 0,57 \text{ Па·с}$ .

Вывод: В ходе работы определён коэффициент трения касторового масла по методу Стокса.

## Вопросы:

1. При перемещении одних слоёв реальных жидкостей относительно других возникают силы внутреннего трения, направленные по направлению к поверхности слоёв; действие этих сил в том, что со стороны слоя, движущегося быстрее на слой, движущийся медленнее, действует «ускоряющая» сила.

2.  $\eta$  зависит от природы жидкости.

$\eta$  [Па·с] равен динамической вязкости среды в которой при ламинарном течении и градиенте скорости с модулем  $1^\circ\text{C}$  на  $1\text{м}$  возникает сила внутреннего трения в  $1\text{Н}$  на  $1\text{м}^2$  поверхности касания слоёв.

3. Вязкость газов возникает из-за пересечения молекулами слоёв потока и передачи ими импульсов м/б слоями. Т.к. передавая импульсы газы находятся свободным движением молекул газа м/б столкновением, увеличение теплового перемещения молекул приводит к увеличению вязкости.