

Краевая научно-практическая конференция
учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

Вязкость и обтекаемость жидкости

Кошелев Арсений,
11кл., МБОУ «Лицей №1», г. Пермь,
Саввина Марина Витальевна,
учитель физики
МБОУ «Лицей №1», г. Пермь.

Вязкость и обтекаемость жидкости

ВВЕДЕНИЕ

Всем хорошо известно, что согласно законам Ньютона, для поддержания движения тел с постоянной скоростью не требуется никаких сил. Однако на практике мы убеждаемся как раз в обратном: если к движущемуся телу не прикладывать сил, поддерживающих это движение, то тело рано или поздно остановится.

Кажущееся противоречие объясняется очень легко. И дело, конечно же, не в нарушении законов Ньютона. Просто в реальных ситуациях практически на любое движущееся тело действуют силы сопротивления, направленные против движения. Природа этих сил может быть различной, но результат их действия один и тот же: для поддержания движения необходима дополнительная сила, в противном случае тело остановится.

Одно из свойств материальных тел, которое приводит к возникновению сил сопротивления движению, - это вязкость. Рассмотрим такой пример. Если жидкость течет по горизонтальной трубе постоянного сечения, то по закону Бернулли давление жидкости должно быть одинаковым по всей длине трубы. В действительности давление вдоль направления движения жидкости падает, и для сохранения устойчивого течения на концах трубы надо поддерживать определенную разность давлений. Это связано с тем, что скорости движения жидкости на разных расстояниях от стенки трубы неодинаковы, и между отдельными слоями движущейся жидкости возникают силы, называемые силами вязкости. Они стремятся затормозить тот из двух соприкасающихся слоев, который движется быстрее, и ускорить тот, который движется медленнее.

У разных жидкостей этот эффект проявляется по-разному. У густых жидкостей, подобно меду, он выражен сильнее, чем у жидкостей типа воды. Первые жидкости называют, соответственно, более вязкими, а вторые - менее вязкими. (Для тел, находящихся в аморфном состоянии, вязкое трение, хотя и очень слабое, тоже имеет место. Известно, например, что поставленная вертикально стеклянная пластинка через несколько десятков, а иногда сотен, лет принимают форму сильно вытянутой капли. Аналогично происхождение сталактитов – натеков причудливой формы, свешивающихся с потолка и стен пещер.)

Существует и количественная оценка вязких свойств – вязкость, величина, которая может быть измерена. Что же под этим понимается?

Мысленно поместим жидкость (договоримся впредь этим словом называть и жидкость, и газ) между двумя параллельными достаточно большими

пластинами, расположенными на небольшом расстоянии друг от друга (рис. 1). Пусть первоначально вся система покоится, а в некоторый момент верхняя пластина начинает двигаться параллельно нижней с постоянной скоростью v_0 . Благодаря вязкости, жидкость тоже придет в движение, причем, прилегающий к верхней пластине слой будет двигаться с той же скоростью, что и пластина, следующий слой – с меньшей скоростью, следующий – с еще меньшей скоростью и так далее до самого нижнего слоя, который как бы прилипает к нижней пластине и остается в покое. Оказывается, для того чтобы поддерживать движение верхней пластины с постоянной скоростью, к ней требуется прикладывать постоянную силу. Как экспериментально было установлено еще Ньютоном, модуль этой силы тем больше, чем больше площадь S пластины и скорость v_0 ее движения и чем меньше расстояние d между пластинами (другими словами, сила, приходящаяся на единицу площади поверхности пластины, зависит от того, насколько быстро меняется скорость течения жидкости при переходе от слоя к слою):

$$F \sim S \frac{v_0}{d} \text{ или } F = \eta S \frac{v_0}{d}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

(Постановка проблемы)

Цель работы: изучить метод Стокса, определить коэффициент динамической вязкости глицерина

1. ВЯЗКОСТЬ ЖИДКОСТИ

Вязкость (внутреннее трение) — одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. В результате работа, затрачиваемая на это перемещение, рассеивается в виде тепла.

Механизм внутреннего трения в жидкостях и газах заключается в том, что хаотически движущиеся молекулы переносят импульс из одного слоя в другой, что приводит к выравниванию скоростей — это описывается введением силы трения. Вязкость твёрдых тел обладает рядом специфических особенностей и рассматривается обычно отдельно.

Различают динамическую вязкость (единица измерения в Международной системе единиц (СИ) — Па·с, в системе СГС — пуаз; $1 \text{ Па}\cdot\text{с} = 10 \text{ пуаз}$) и кинематическую вязкость (единица измерения в СИ — $\text{м}^2/\text{с}$, в СГС — стокс, внесистемная единица — градус Энглера). Кинематическая вязкость может быть получена как отношение динамической вязкости к плотности вещества и своим происхождением обязана классическим методам измерения вязкости, таким как измерение времени вытекания заданного объёма через калиброванное отверстие под действием силы тяжести. Прибор для измерения вязкости называется вискозиметром.

Переход вещества из жидкого состояния в стеклообразное обычно связывают с достижением вязкости порядка 10^{11} – 10^{12} Па·с.

Сила вязкого трения

Коэффициент пропорциональности, зависящий от природы жидкости или газа, называют коэффициентом динамической вязкости. Этот закон был предложен Исааком Ньютоном в 1687 году и носит его имя (закон вязкости Ньютона). Экспериментальное подтверждение закона было получено в начале XIX века в опытах Кулона с крутильными весами и в экспериментах Хагена и Пуазёйля с течением воды в капиллярах^[2].

Качественно существенное отличие сил вязкого трения от сухого трения, кроме прочего, то, что тело при наличии только вязкого трения и сколь угодно малой внешней силы обязательно придет в движение, то есть для вязкого трения не существует трения покоя, и наоборот — под действием только вязкого трения тело, вначале двигавшееся, никогда (в рамках макроскопического приближения, пренебрегающего броуновским движением) полностью не остановится, хотя движение и будет бесконечно замедляться.

Вязкость жидкости обусловлена молекулярным взаимодействием, ограничивающим движение молекул. Каждая молекула жидкости находится в потенциальной яме, создаваемой соседними молекулами. Поэтому молекулы жидкости совершают колебательные движения около положения равновесия, то есть внутри потенциальной ямы. Глубина потенциальной ямы незначительно превышает среднюю кинетическую энергию, поэтому, получив дополнительную энергию при столкновении с другими молекулами, она может перескочить в новое положение равновесия. Энергия, которую должна получить молекула, чтобы из одного положения перейти в другое,

называется энергией активации W , а время нахождения молекулы в положении равновесия – временем «оседлой жизни» t . Перескок молекул между соседними положениями равновесия является случайным процессом.

Вязкость воздуха

Вязкость воздуха зависит в основном от температуры. При $15,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ вязкость воздуха составляет $1,78 \cdot 10^{-5}$ кг/(м·с), $17,8$ мкПа·с или $1.78 \cdot 10^{-5}$ Па·с.

Вязкость воды		Вязкость отдельных видов газов при давлении 100 кПа, [мкПа·с]		
T	η	Газ	0 °C	27 °C
10	1,308	воздух	17,4	18,6
20	1,002	водород	8,4	9,0
30	0,7978	гелий		20,0
40	0,6531	аргон		22,9
50	0,5471	ксенон	21,2	23,2
60	0,4668	углекислый газ		15,0
70	0,4044	метан		11,2
80	0,3550	этан		9,5
90	0,3150			
100	0,2822			

Зависимость динамической вязкости воды от температуры в жидком состоянии и в виде пара

Динамическая вязкость воды составляет $8,90 \times 10^{-4}$ Па·с при температуре около 25 °С.

Значения вязкостей жидкой воды при разных температурах вплоть до точки кипения приведена ниже.

Ниже приведены значения коэффициента динамической вязкости некоторых ньютоновских жидкостей:

Вязкость жидкостей при 25 °С		
Жидкость:	Вязкость [Па·с]	Вязкость [мПа·с]
ацетон	$3,06 \cdot 10^{-4}$	0,306
бензол	$6,04 \cdot 10^{-4}$	0,604
кровь (при 37 °С)	$(3—4) \cdot 10^{-3}$	3—4
касторовое масло	0,985	985
кукурузный сироп	1,3806	1380,6
этиловый спирт	$1,074 \cdot 10^{-3}$	1,074
этиленгликоль	$1,61 \cdot 10^{-2}$	16,1
глицерин (при 20 °С)	1,49	1490
мазут	2,022	2022
ртуть	$1,526 \cdot 10^{-3}$	1,526
метиловый спирт	$5,44 \cdot 10^{-4}$	0,544
моторное масло SAE 10 (при 20 °С)	0,065	65
моторное масло SAE 40 (при 20 °С)	0,319	319

Вязкость жидкостей при 25 °С

Жидкость:	Вязкость [Па·с]	Вязкость [мПа·с]
нитробензол	$1,863 \cdot 10^{-3}$	1,863
жидкий азот (при 77К)	$1,58 \cdot 10^{-4}$	0,158
пропанол	$1,945 \cdot 10^{-3}$	1,945
оливковое масло	0,081	81
пек	$2,3 \cdot 10^8$	$2,3 \cdot 10^{11}$
серная кислота	$2,42 \cdot 10^{-2}$	24,2
вода	$8,94 \cdot 10^{-4}$	0,894

С уменьшением температуры вязкость жидкости возрастает. В ряде случаев она становится настолько большой, что жидкость затвердевает без образования кристаллической решетки. В этом заключается механизм образования аморфных тел.

При малых скоростях движения тела в жидкости слой жидкости, непосредственно прилегающий к телу, прилипает к нему и движется со скоростью тела. По мере удаления от поверхности тела скорость слоев жидкости будет уменьшаться, но они будут двигаться параллельно. Такое слоистое движение жидкости называется ламинарным. При больших скоростях движения жидкости ламинарное движение жидкости становится неустойчивым и сменяется турбулентным, при котором частицы жидкости движутся по сложным траекториям со скоростями, изменяющимися беспорядочным образом. В результате происходит перемешивание жидкости и образуются вихри.

Характер движения жидкости определяется безразмерной величиной Re , называемой числом Рейнольдса. Это число зависит от формы тела и свойств

жидкости. При движении шарика радиусом R со скоростью v в жидкости плотностью $\rho_{жс}$

$$Re = \rho_{жс} R \frac{v}{\eta}$$

При малых $Re (<10)$, когда шарик радиусом 1-2 мм движется со скоростью 5-10 см/с в вязкой жидкости, например в глицерине, движение жидкости будет ламинарным. В этом случае на тело будет действовать сила сопротивления, пропорциональная скорости

$$F_c = kv \quad (6)$$

где k – коэффициент сопротивления.

Для выведения формулы воспользуемся теорией размерностей. Прежде чем применять теорию размерностей, установим, исходя из физических соображений, от каких параметров может зависеть сила сопротивления жидкости. В нашем случае, очевидно, такими параметрами являются η , v , l и плотность жидкости $\rho_{жс}$. Тогда, искомым закон следует искать в виде следующего степенного соотношения:

$$F = k \eta^x l^y \rho^z v^\alpha, (2)$$

$$\frac{\text{кг м}^2}{\text{с}} = \text{кг}^x \text{м}^y \frac{\text{кг}^z}{\text{м}^{3z}} \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^\alpha$$

$$\begin{cases} 1 = x + z \\ 2 = y + \alpha - 3z \\ -1 = -\alpha \end{cases}$$

$$\alpha = 1$$

$$\begin{cases} 2 = y + 1 - 3z \\ 1 = x + z \end{cases}$$

Пусть $z=0$

$$\begin{cases} y = 1 \\ x = 1 \end{cases}$$

Где x , y , z и α – подлежащие определению показатели степени. Они определяются требованием совпадения размерностей левой и правой частей

последнего равенства. Поскольку размерность выражения определяется степенями при длине, времени и массе, мы получаем три уравнения для нахождения четырёх неизвестных x , y , z и α . Поставленная таким образом задача однозначного решения не имеет. Опыт показывает, что при больших скоростях движения (точнее говоря, при больших числах Рейнольдса) сила сопротивления пропорциональна второй, а при малых скоростях (малых числах Рейнольдса) – первой степени скорости. Таким образом, при достаточно медленном движении можно положить $\alpha = 1$. Приравнявая показатели степени при массе, длине и времени в левой и правой частях уравнения, получим систему трёх уравнений с тремя неизвестными, результатами решения которой являются: $x = 1, y = 1, z = 0$. Подставив полученные числа в соотношение (2), получим (1).

В случае ламинарного обтекания шарика безграничной жидкостью Стоксом аналитически была получена формула:

$$F_c = 6 \pi r v, \quad (1)$$

где r – радиус шарика. Как видно из последней формулы, коэффициент пропорциональности k в случае шарика равен 6π .

Сила внутреннего трения (сила сопротивления движения шарика). Эта сила также направлена против движения шарика.

Следует учесть, что при движении шарика имеет место не трение шарика о жидкость, а трение отдельных слоев жидкости друг о друга, так как шарик обволакивается тонким слоем жидкости, и этот слой жидкости движется вместе с шариком.

СНИЖЕНИЕ ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ

Для эффективной эксплуатации самолетов или судов необходимо, чтобы силы сопротивления, развивающиеся при их движении, были как можно меньше. Практические средства для существенного уменьшения сопротивления давно является предметом поиска конструкторов аппаратов. Практическим результатом уменьшения сопротивления непосредственно является увеличение дальности, скорости и маневренности самолета, уменьшение расхода топлива. Одной из наиболее важных сил сопротивления различного типа считается сила сопротивления вязкости или поверхностного

трения. Она может составлять, например, до 50% полного сопротивления самолета при крейсерском полете. Уменьшение вязкого сопротивления было поэтому целью многих современных исследователей. Наиболее развитым технически средством для уменьшения сопротивления вязкости является управление ламинарным течением, с помощью которого задерживается переход от ламинарного течения к турбулентному до больших чисел Рейнольдса. Однако в большинстве течений на практике пограничные слои являются турбулентными, и другой подход заключается в уменьшении каким-либо способом турбулентных сдвиговых сил при этом течении. Для движения в воде главным средством являются использование деформируемых или движущихся поверхностей и добавки полимеров. Для движения в воздухе главными средствами являются управление пограничным слоем и отрывом потока, и, возможно, применение определенных неплоских поверхностей.

УМЕНЬШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИСТЕНОЧНОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ

Р. С. Шарма

Уменьшение сопротивления с помощью длинномолекулярных полимеров или суспензий – хорошо описанное явление. Исследования уменьшения сопротивления плоской пластины имеют практическое значение для судостроения и других областей.

Результаты различных исследований показывают, что уменьшение сопротивления с помощью добавления полимеров в поток принадлежит к числу явлений, происходящих в пограничной области. Для повышения эффективности от добавления полимера концентрированные растворы добавок, снижающих сопротивление, следует непрерывно вводить в пограничную область. При непрерывном подводе около стенки образуется тонкий слой неньютоновской жидкости.

Было обнаружено также, что некоторые естественные смазывающие вещества уменьшают сопротивление трения. Выделяемая клетками эпидермиса у рыбы слизь снижает сопротивление воды до 60% и способствует движению рыбы. Концентрация слизи, выделяемая клетками эпидермиса, приблизительно 2000 частиц на 1 м^3 воды; слизь очень медленно диффундирует в воде. Есть сообщения об исследованиях в трубах с применением растворов слизи.

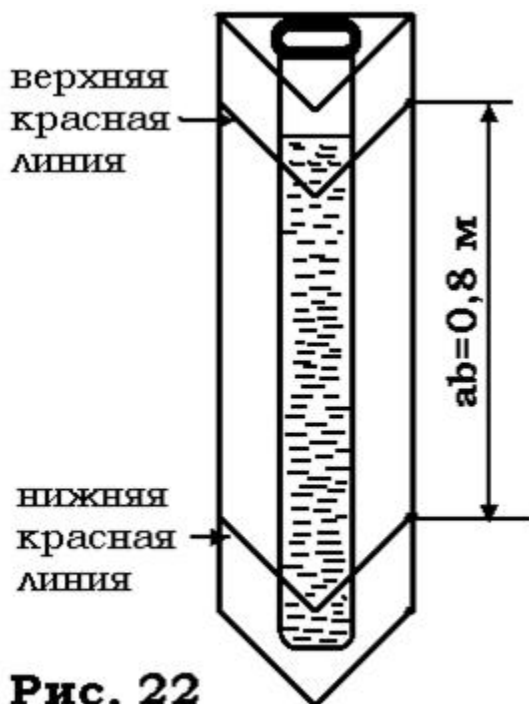


Рис. 22

2. ОПИСАНИЕ РАБОЧЕЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Одним из существующих методов определения коэффициента динамической вязкости является метод Стокса. Суть метода заключается в следующем. Если в сосуд с жидкостью бросить шарик плотностью большей, чем плотность жидкости ($\rho > \rho_{ж}$), то он будет падать (рис. 2).

На движущийся в жидкости шарик действует сила внутреннего трения (сила сопротивления) F_c , тормозящая его движение и направленная вверх. Если считать, что стенки сосуда находятся на значительном расстоянии от движущегося шарика, то величину силы внутреннего трения можно определить по закону Стокса.

По мере увеличения скорости возрастает сила сопротивления и ускорение уменьшается. При большом времени движения сила сопротивления уравнивается равнодействующей сил mg и F_A , и шарик будет двигаться равномерно с установившейся скоростью. Следует учесть, что при движении шарика имеет место не трение шарика о жидкость, а трение отдельных слоев жидкости друг о друга, так как шарик обволакивается тонким слоем жидкости, и этот слой жидкости движется вместе с шариком.

Сила трения с увеличением скорости движения шарика возрастает, следовательно, при движении шарика скорость его может достигнуть такой величины, при которой все три силы, действующие на шарик, будут уравновешены, то есть равнодействующая их будет равна нулю. Такое движение шарика будет равномерным, и шарик будет двигаться по инерции с постоянной скоростью.

На падающий шарик действует сила тяжести mg , направленная вниз и выталкивающая сила F_A , направленная вверх.

$$mg - F_A - F_c = 0$$

Сила тяжести равна

$$mg = \rho V g = \frac{4}{3} \pi \rho R^3$$

Выталкивающая сила определяется по закону Архимеда:

$$F_A = m_{\text{ж}} g = \rho_{\text{ж}} V g = \frac{4}{3} \pi \rho_{\text{ж}} R^3$$

$$\frac{4}{3} \pi \rho R^3 (\rho - \rho_{\text{ж}}) - 6\pi \eta R = 0$$

Отсюда находим

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{(\rho - \rho_{\text{ж}}) r^2 g}{v}$$

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

и формула для определения коэффициента динамической вязкости запишется:

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_{\text{ж}}) d^2 g t}{18l} \quad (13)$$

Для тела произвольной формы

$$\vec{m}g + \vec{F}_A + \vec{F}_c = 0$$

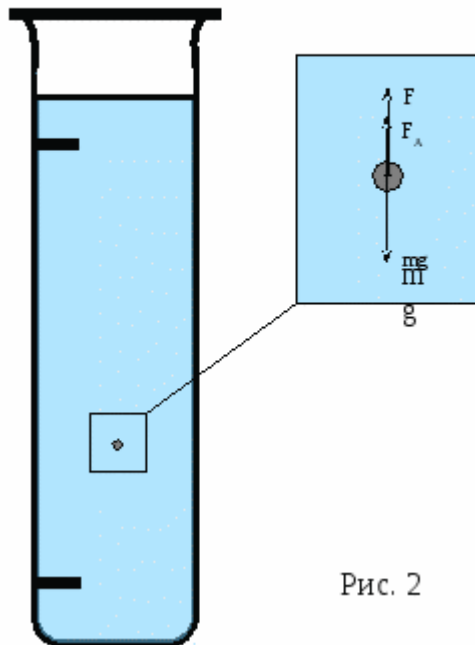


Рис. 2

$$mg - F_A - F_c = 0$$

Сила тяжести равна

$$mg = \rho V g$$

Выталкивающая сила определяется по закону Архимеда:

$$F_A = m_{\text{ж}} g = \rho_{\text{ж}} V g$$

$$V g (\rho - \rho_{\text{ж}}) - \nu k = 0$$

Отсюда находим

$$k = \frac{V g (\rho - \rho_{\text{ж}})}{\nu}$$

$$\nu = \frac{l}{t} \text{ и } V = \frac{m}{\rho}$$

и формула для определения коэффициента динамической вязкости запишется:

$$k = \frac{m g (\rho - \rho_{\text{ж}}) t}{\rho l}$$

Экспериментальная часть

Цель: Определить зависимости коэффициента вязкости глицерина от температуры

Используем метода Стокса для нахождения коэффициента вязкости

Оборудование:

- 1) Секундомер
- 2) Термометр
- 3) Стеклянная колба
- 4) Шарики из углеродистой стали
- 5) Микрометр
- 6) Линейка

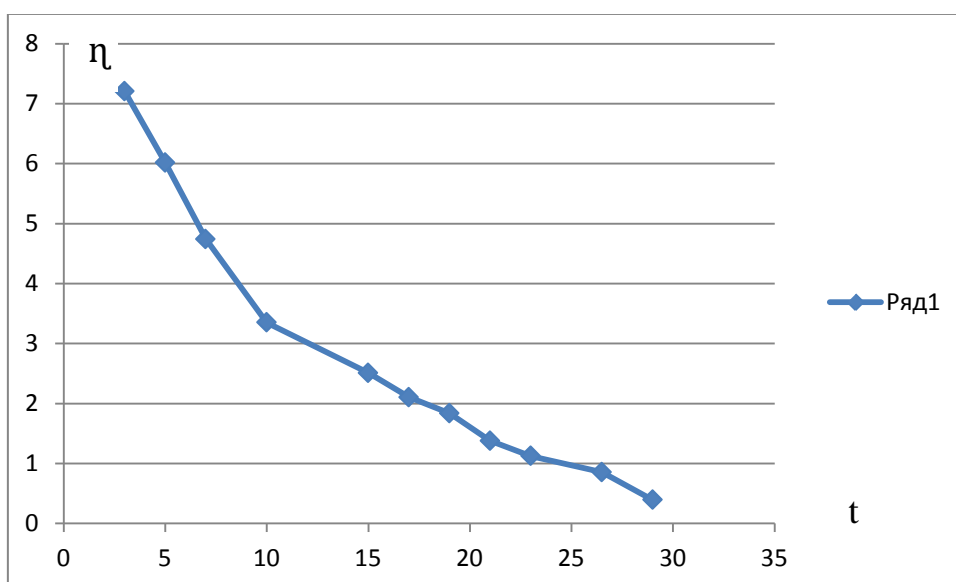
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Термометром измеряем температуру глицерина
2. Измерить диаметр шарика микрометром
3. С помощью линейки измеряем длину расстояния между метками
4. Медленно опускаем шарик в глицерин
5. В момент прохождения шариком верхней метки включить секундомер и измерить время τ прохождения шариком расстояния l между метками.
6. По формуле определить значение η . Плотность исследуемой жидкости (глицерина) $\rho_{\text{ж}} = 1,26 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, плотность материала шарика (углеродистая сталь) $\rho = 7,8 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.
7. Данные результатов измерений и вычислений заносим в таблицу

t (°C)	τ (c)	Δ τ (c)	d (m)	Δd (m)	E _τ	E _d
3	101,08	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	4,9×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻³
5	84,40	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	5,9×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻³
7	66,49	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	7,5×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻³
10	49,78	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁴	2,5×10 ⁻³
15	35,18	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	1,4×10 ⁻⁴	2,5×10 ⁻³
17	29,49	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	1,7×10 ⁻⁴	2,5×10 ⁻³
19	23,56	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	2,1×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻³
26,5	12,00	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	4,2×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻³
29	10,37	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	4,8×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻³
21	19,31	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	2,8×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻³
23	15,77	0,005	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁶	3,2×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻³

l (m)	Δl (m)	E _l	η (кг/м×с)	E _η	Δ η
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	7,205	3,75×10 ⁻³	0,027
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	6,016	3,75×10 ⁻³	0,022
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	4,740	3,75×10 ⁻³	0,018
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	3,349	3,75×10 ⁻³	0,012
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	2,508	3,75×10 ⁻³	0,009
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	2,102	3,75×10 ⁻³	0,008
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	1,837	3,75×10 ⁻³	0,007
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	1,376	3,75×10 ⁻³	0,005
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	1,124	3,75×10 ⁻³	0,004
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	0,855	3,75×10 ⁻³	0,003
0,2	2,5×10 ⁻⁴	1,25×10 ⁻³	0,392	3,75×10 ⁻³	0,001

t (°C)	$\eta \pm \Delta \eta$	Re
3	$7,205 \pm 0,027$ кг/м×с	$6,9 \times 10^{-4}$
5	$6,016 \pm 0,022$ кг/м×с	$9,9 \times 10^{-4}$
7	$4,740 \pm 0,018$ кг/м×с	$1,6 \times 10^{-3}$
10	$3,349 \pm 0,012$ кг/м×с	$3,0 \times 10^{-3}$
15	$2,508 \pm 0,009$ кг/м×с	$5,7 \times 10^{-3}$
17	$2,102 \pm 0,008$ кг/м×с	$8,1 \times 10^{-3}$
19	$1,837 \pm 0,007$ кг/м×с	0,01
21	$1,376 \pm 0,005$ кг/м×с	0,02
23	$1,124 \pm 0,04$ кг/м×с	0,03
26,5	$4,740 \pm 0,003$ кг/м×с	0,05
29	$3,160 \pm 0,001$ кг/м×с	0,1



Вывод: Чем больше температура жидкости, тем меньше коэффициент вязкости жидкости. Зависимость коэффициента вязкости от температуры обратная.

Цель: Определить зависимости коэффициента вязкости глицерина от радиуса, погружаемого шарика

Используем метода Стокса для нахождения коэффициента вязкости

Оборудование:

- 1) Секундомер
- 2) Термометр
- 3) Стеклянная колба
- 4) Шарики из углеродистой стали разных размеров
- 5) Микрометр
- 6) Линейка

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Термометром измеряем температуру глицерина
2. Измерить диаметр шарика микрометром
3. С помощью линейки измеряем длину расстояния между метками
4. Медленно опускаем шарик в глицерин
5. В момент прохождения шариком верхней метки включить секундомер и измерить время τ прохождения шариком расстояния l между метками.
6. По формуле определить значение η . Плотность исследуемой жидкости (глицерина) $\rho_{\text{ж}} = 1,26 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, плотность материала шарика (углеродистая сталь) $\rho = 7,8 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.
7. Данные результатов измерений и вычислений заносим в таблицу

t (°C)	τ (с)	$\Delta \tau$ (с)	d (м)	Δd (м)	E_τ	E_d
10	46,97	0,005	2×10^{-3}	5×10^{-6}	$1,06 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-3}$
10	119,24	0,005	$1,25 \times 10^{-3}$	5×10^{-6}	$5,2 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-3}$

l (м)	Δl (м)	E_l	η (кг/м×с)	E_η	$\Delta \eta$
0,2	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-3}$	3,348	$3,76 \times 10^{-3}$	0,012
0,2	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-3}$	3,320	$3,75 \times 10^{-3}$	0,012

t (°C)	$\eta \pm \Delta \eta$	Re
10	$3,348 \pm 0,012$ кг/м×с	$3,2 \times 10^{-3}$
10	$6,320 \pm 0,012$ кг/м×с	$9,9 \times 10^{-4}$

Вывод: Коэффициент вязкости не зависит от изменения радиуса тела.

Цель: Определить зависимости коэффициента вязкости глицерина от радиуса, погружаемого шарика

Используем метода Стокса для нахождения коэффициента вязкости

Оборудование:

- 1) Секундомер
- 2) Термометр
- 3) Стеклянная колба
- 4) Шарики из углеродистой стали разных размеров
- 5) Микрометр
- 6) Линейка

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

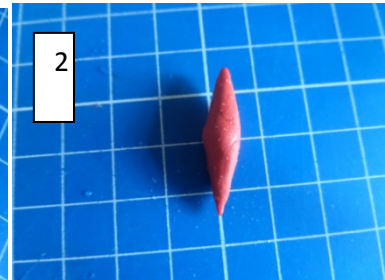
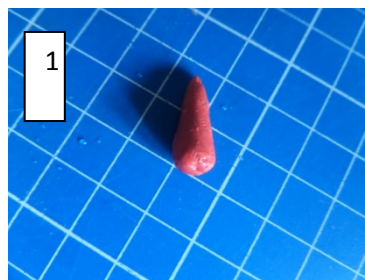
1. Термометром измеряем температуру глицерина
2. С помощью линейки измеряем длину расстояния между метками
3. Медленно опускаем шарик в глицерин

4. В момент прохождения шариком верхней метки включить секундомер и измерить время τ прохождения шариком расстояния l между метками.
5. По формуле определить значение k . Плотность исследуемой жидкости (глицерина) $\rho_{ж} = 1,26 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, плотность материала шарика (углеродистая сталь) $\rho = 7,8 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

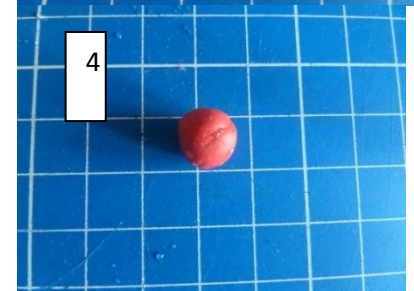
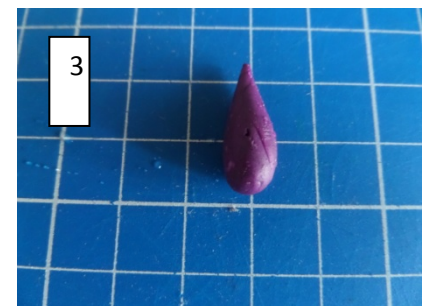
$$k = \frac{mg(\rho - \rho_{ж})t}{\rho l}$$

6. Данные результатов измерений и вычислений заносим в таблицу

t (°C)	τ (с)	$\Delta \tau$ (с)	E_{τ}
12	11	0,5	0,045
12	12	0,5	0,041
12	10	0,5	0,05
12	17	0,5	0,03



l (м)	Δl (м)	E_l	k	E_k	Δk
0,2	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-3}$	0,086	0,046	0,004
0,2	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-3}$	0,094	0,042	0,004
0,2	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-3}$	0,078	0,051	0,004
0,2	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-3}$	0,133	0,031	0,004



t (°C)	$k \pm \Delta k$
12	$0,086 \pm 0,004$
12	$0,094 \pm 0,004$
12	$0,078 \pm 0,004$
12	$0,133 \pm 0,004$

Вывод: Наибольшей обтекаемостью обладает тело в форме капли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшие исследования будут связаны с определением порогового значения, при котором зависимость коэффициента вязкости от скорости будет квадратичная.

Список литературы:

1. Снижение вязкого трения Г. Р. Хью (стр. 53, 12)
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>