

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ВИСКОЗИМЕТРОМ ГЕССА.

Цель работы: 1) ознакомиться с измерением вязкости жидкости вискозиметром Гесса,
2) исследовать зависимость вязкости жидкости от концентрации,
3) построить график этой зависимости.

Принадлежности: вискозиметр Гесса, растворы жидкостей разных концентраций.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В реальной жидкости между молекулами действуют силы взаимного притяжения, приводящие к внутреннему или вязкому трению. В отличие от сухого трения, возникающего при любой относительной скорости движения (в том числе и нулевой) двух трущихся тел, вязкое трение появляется лишь при относительном движении одних слоев жидкости относительно других. Рассмотрим два произвольных тонких соприкасающихся между собой слоя жидкости.

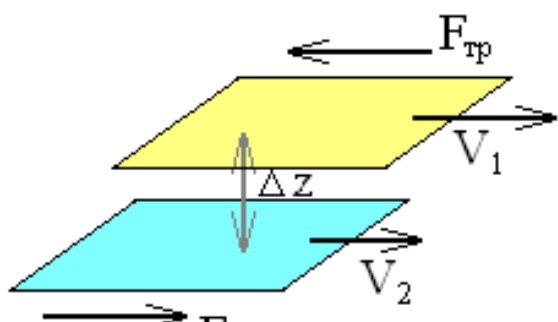


Рисунок 1

Пусть V_1 – скорость первого слоя, V_2 – скорость второго, Δz – расстояние между слоями.

Если $V_1 > V_2$, то первый будет увлекать за собой второй. Это будет происходить под действием силы вязкого трения, действующей со стороны первого слоя на второй. Равным образом, второй слой будет тормозить первый. Ньютон показал, что эти силы вязкого трения равны по величине и противоположны по направлению, и их можно рассчитать по формуле:

$$F_{\text{тр.}} = \eta S \Delta V / \Delta z, \quad (1)$$

где $\Delta V = V_1 - V_2$, S – площадь поверхности слоев, η – коэффициент вязкости (или просто вязкость), зависящий от свойств жидкости. Устремляя Δz к нулю, получаем более точную формулу:

$$F_{\text{тр}} = \eta S \frac{dv}{dz} \quad (2)$$

Величина dv/dz носит название градиента скорости.

Рассмотрим течение жидкости по трубе длины l и радиуса r . Если жидкость идеальна (отсутствует трение), то все слои жидкости движутся с одинаковыми скоростями V . Пусть Q – объемная скорость течения жидкости (объем жидкости, протекающей через сечение сосуда за единицу времени). Легко показать, что тогда для идеальной жидкости $Q = V\pi r^2$, где πr^2 – площадь поперечного сечения цилиндрической трубы.

Для реальной жидкости эта формула несправедлива. Для неё слои жидкости примыкающие к поверхности трубы имеют нулевую скорость, а наибольшую скорость имеют слои, движущиеся по центру трубы (см. рис.2)

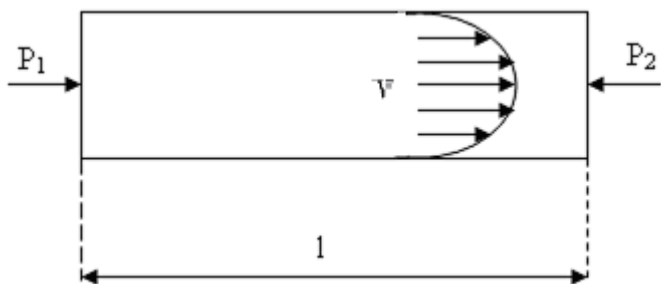


Рисунок 2

Можно показать, что в этом случае объемная скорость течения определяется формулой Пуазейля:

$$Q = \frac{r^4 \pi}{8 \eta l} (P_1 - P_2). \quad (3)$$

Здесь P_1 и P_2 – давления в начале и в конце участка трубы. Жидкости, которые подчиняются уравнению Пуазейля, получили название ньютоновских.

У некоторых жидкостей, преимущественно высокомолекулярных, вязкость зависит также от режима течения – давления и градиента скорости. Такие жидкости, в частности кровь, называются неньютоновскими. Их

вязкость характеризуют условным коэффициентом вязкости, который относится к определенным условиям течения жидкости (давление, скорость).

Для измерения коэффициента вязкости таких жидкостей применяется метод капиллярного вискозиметра Гесса.

Устройство прибора: Вискозиметр ВК-4 (рисунок 3) представляет собой капиллярный

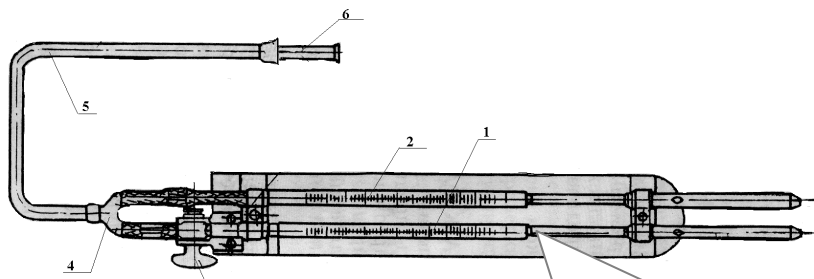


Рисунок 3

вискозиметр, предназначенный для измерения коэффициента вязкости крови и рассчитанный на очень небольшое количество жидкости и состоит из двух градуированных пипеток 1 и 2, укрепленных на общей подставке. Внутри пипеток проходят капилляры строго одинаковых диаметров. Одна из пипеток снабжена краном 3. После того как в эту пипетку набрана вода, служащая эталонной жидкостью, кран закрывается, что позволяет набрать исследуемую жидкость во вторую пипетку, не изменяя уровень набранной воды.

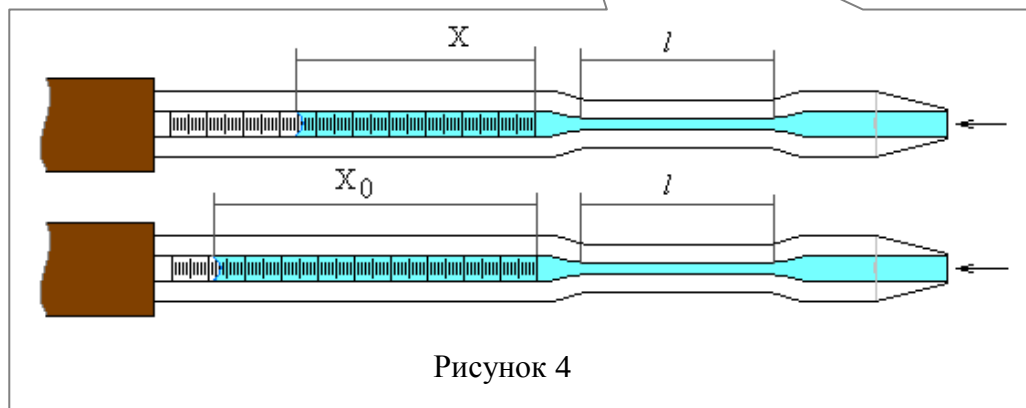


Рисунок 4

Обе пипетки соединены с тройником 4, от которого идет резиновая трубка 5 со **СТЕКЛЯННЫМ СТЕРИЛЬНЫМ НАКОНЕЧНИКОМ 6, КОТОРЫЙ ВЫДАЕТСЯ.**

Путем всасывания воздуха две жидкости – одна эталонная, другая исследуемая – протекают через два капилляра длины l (рисунок 9). Поскольку параметры капилляров и разности давлений одинаковы, из формулы Пуазейля следует, что

$$Q_0/Q = \eta/\eta_0 \quad (4)$$

С другой стороны, $Q_0 = SX_0$; $Q = SX$, где S – площадь поперечного сечения приемного капилляра, а X и X_0 – высота его наполнения исследуемой и эталонной жидкостями. В итоге получаем

$$Q_0/Q = X_0/X = \eta/\eta_0, \\ \text{или} \\ \eta = \eta_0 X_0/X \quad (5)$$

Последняя формула является рабочей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Освободите стерильный наконечник от марли и вставьте в резиновую трубку вискозиметра. Наконечник возьмите в рот.
2. Наберите эталонную жидкость в капилляр с краном вискозиметра до нулевой отметки и перекройте кран.
3. Наберите исследуемую жидкость во второй капилляр вискозиметра до нулевой отметки и положите вискозиметр в горизонтальное положение.
4. Исследуйте высоту поднятия жидкости X при фиксированной высоте X_0 эталонной жидкости. Для этого, откройте кран и осторожно втягивайте ртом воздух из обеих

пипеток. Оба столба жидкости будут двигаться с разными скоростями вдоль капилляров. Прекратите втягивать воздух, когда дистиллированная вода пройдет путь от половины до трех четвертей первой пипетки. Опыт повторите по три раза с каждой концентрацией. Результаты измерений занесите в четвертый и пятый столбцы таблицы 1.

По формуле 5, где η - коэффициент вязкости исследуемой жидкости, η_0 - коэффициент вязкости дистиллированной воды ($\eta_0=1$ сантиПуаз) рассчитайте вязкости исследуемых концентраций и заполните шестой столбец таблицы 1. Покажите процесс вычислений для одного из значений вязкости.

5. Вычислите абсолютную погрешность измерений $\Delta\eta$ для одной из концентраций (на выбор преподавателя). Для этого:

- вычислите среднее квадратическую погрешность среднего:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta})^2}{n(n-1)}},$$

- при доверительной вероятности $\alpha = 95\%$ и определите коэффициент Стьюдента по специальным таблицам

$$t_{n,\alpha} =$$

- вычислите абсолютную погрешность измерений:

$$\Delta\eta = t_{n,\alpha} \cdot S_{\bar{\eta}} =$$

Покажите процесс вычислений.

6. Округлите и запишите результаты измерений:

$$\text{При } C = \quad \% \quad \eta = \bar{\eta} \pm \Delta\eta =$$

7. Вычислите относительные погрешности измерений и результат запишите в столбец 11 таблицы.

$$E = \frac{\Delta\eta}{\bar{\eta}} \cdot 100\% \quad (8)$$

8. Постройте график зависимости среднего коэффициента вязкости от концентрации:

$$\bar{\eta} = f(C, \%)$$

9. Сделайте вывод.

Таблица 1

C, %	N	η_0 , сП	X ₀ , см	X, см	η_i , сП	$\bar{\eta}$, сП	$ \eta_i - \bar{\eta} $, сП	$ \eta_i - \bar{\eta} ^2$, (сП) ²	$S_{\bar{\eta}}$, сП	E, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
сумма	-		-	-			-			
25	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
сумма	-		-	-			-			
50	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
Сумма	-		-	-			-			

Контрольные вопросы.

1. Дайте понятие вязкости жидкости. Укажите единицы измерения.
2. Запишите уравнение Ньютона для вязкой жидкости.
3. Дайте понятие ньютоновским и неньютоновским жидкостям. Поясните, почему кровь является неньютоновской жидкостью.
4. Выведите и проанализируйте формулу Пуазейля.
5. Дайте понятие гидравлическому сопротивлению. Укажите единицы измерения.
6. Проанализируйте общее сопротивление системы сосудов, соединённых последовательно; параллельно.
7. Перечислите методы определения вязкости жидкости. Каким методом определяется вязкость крови?
8. Поясните, каким методом определяется вязкость жидкости в данной лабораторной работе. Получите расчётную формулу в данной лабораторной работе.
9. Получите формулу для определения вязкости жидкости в методе падающего шарика (в методе Стокса).

Замечание: при рейтинговой системе обучения для получения высокого балла при сдаче теории по лабораторной работе необходимо выводить формулы и анализировать закономерности.

Литература:

1. Материал лекций.
2. А.Н. Ремизов Медицинская и биологическая физика, М., «Высшая школа», 2010.
3. Н.М. Ливенцев Курс физики т.1, М., «Высшая школа».
4. В.Ф. Антонов, А.М. Черныш и др. Биофизика, М., «Владос», 2010.
5. В.Ф. Антонов, А.В. Коржуев Физика и биофизика, «Гэотар-мед», 2004.
6. Н.И. Губанов, А.А. Утепбергенов Медицинская биофизика, М., «Медицина»,