

Условие

Задание 10-2 Закон Ома для ... жидкости.

Законы электрического тока аналогичны законам течения жидкостей по трубам. Течение жидкости более наглядно, но, почему-то, законы для электрического тока известны лучше! В данной работе вам необходимо разобраться с законами течения вязкой жидкости и провести аналогию с законами Ома для электрического тока.

Приборы и оборудование: штатив с лапками, капиллярная трубка, гибкий шланг с крапом, секундомер, мензурка, линейка 40 см, два стакана одноразовых, нитки, скотч.

Часть 1. Теоретическое введение.

Основной характеристикой тока жидкости будем считать **расход** – объем жидкости, протекающей через поперечное сечение трубы в единицу времени

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (1)$$

электрическим аналогом этой величины является сила тока.

В качестве единицы измерения расхода будем использовать $[Q] = \frac{\text{мл}}{\text{с}}$ (миллилитр в секунду). В соответствии с формулой Пуазейля расход жидкости, протекающей по трубе, пропорционален разности давлений на концах трубы ΔP (ее электрический аналог – напряжение)

$$Q = \frac{\Delta P}{R}, \quad (2)$$

где R - гидродинамическое сопротивление. Для тонкой цилиндрической трубы эта величина равна

$$R = 8\eta \frac{l}{\pi r^4}. \quad (3)$$

l , r - длина и радиус трубы, η - вязкость жидкости (физическая характеристика жидкости, которая в данной работе является постоянной), $\pi = 3,1415...$ - одна из математических констант.

В данной работе под давлением P будем понимать разность между давлением в данной точке жидкости и атмосферным давлением, причем измерять ее будем в мм (миллиметрах водяного столба):

$$p = \frac{P - P_{\text{атм.}}}{\rho g}. \quad (4)$$

Наконец, единицей измерения гидродинамического сопротивления будем считать

$$[R] = \frac{[p]}{[Q]} = \frac{\text{мм}}{\text{мл} \cdot \text{с}^{-1}},$$

которую для краткости назовем гидроом (гом).

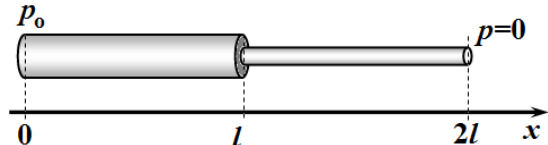
Теперь быстро решите несколько теоретических задач¹.

Подсказка: вспомните вторую задачу теоретического тура, Часть 3.

1.1 Что может служить гидродинамическим аналогом ЭДС?

Труба состыкована из двух труб равной длины, радиусы которых отличаются в два раза. Труба полностью заполнена водой, которая может течь по ней (то есть она включена в некоторый контур).

1.2. Трубу расположили горизонтально и к ее более широкому торцу приложили давление P_0 на втором конце трубы $p = 0$. Нарисуйте график зависимости давления в трубе от координаты x .



1.3 Эту же трубу расположили вертикально (широкой частью вверх). На обоих концах трубы поддерживается давление, равное нулю. Нарисуйте график зависимости давления внутри трубы от координаты.

Часть 2. Наконец-то, экспериментальная!

Внимание! Будьте аккуратны, не разбейте трубку (во-первых, она дорогая, во-вторых, их число ограничено, второй вам могут и не выдать). В работе используется очищенная и дегазированная вода. Используйте только выданную вам воду. Диаметр капилляра мал, мельчайшие частички грязи забивают его, и вода перестает течь. Если у вас случайно забился капилляр – продуйте его. Поддерживайте уровень воды в стакане примерно постоянным.

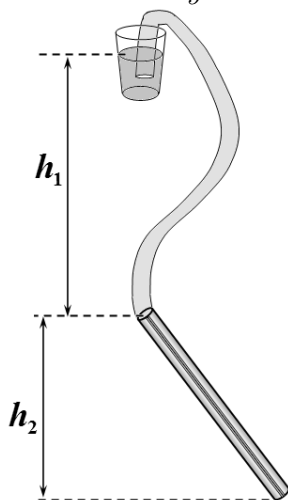
Не стесняйтесь обращаться за помощью к членам жюри!

1 1

Экспериментальная установка состоит из капиллярной трубки, подсоединенного к ней гибкого шланга с краном, стакана с водой. Все детали крепятся на штативе. Вы можете изменять высоту подвеса стакана с водой, высоту крепления капиллярной трубки, угол ее наклона. Объем воды измеряется с помощью мензурки (не забудьте ее подставлять под капиллярную трубку).

Используйте следующие обозначения: h_1 - высота от уровня воды в стакане (источнике) до верхнего среза капиллярной трубки; h_2 - высота от верхнего до нижнего среза трубки (при ее вертикальном положении она, естественно, равна длине трубки).

Эти высоты удобно измерять, отмеряя расстояния от уровня стола.



2.1 Расположите трубку вертикально. Экспериментально докажите, что движение воды по трубке можно считать равномерным. Измерьте расход воды с максимальной точностью, оцените погрешность его измерения. Укажите, при каком значении h_1 вы проводили измерения. В дальнейших заданиях погрешности рассчитывать не надо!

Далее для измерения расхода достаточно измерять времена, за которые по трубке протекает фиксированный объем воды V_0 (рекомендуем принять $V_0 = 20$ мл)

2.2 Исследуйте зависимость расхода воды от высоты h_1 при вертикальном расположении трубки. Постройте график полученной зависимости, определите ее параметры. Дайте теоретическое обоснование полученной зависимости. Определите гидродинамическое сопротивление трубки в *гом'ах*.

В этом эксперименте удобнее изменять высоту подвеса стаканчика.

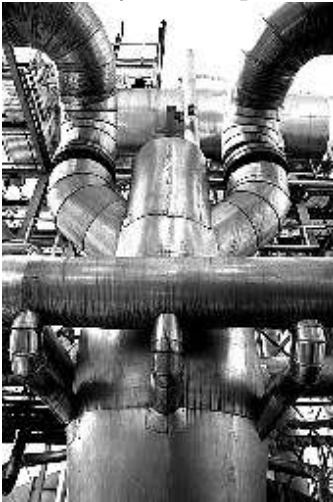
2.3 Исследуйте зависимость расхода воды от высоты h_2 при фиксированной высоте h_1 (обязательно укажите при какой высоте h_1 вы проводили измерения). Постройте график полученной зависимости, определите ее параметры. Дайте теоретическое обоснование полученной зависимости. Определите гидродинамическое сопротивление трубки в *гом'ах* по этим данным.

В этом эксперименте следует изменять угол наклона трубки, оставляя ее верхний срез на неизменном уровне.

2.4 Исследуйте зависимость расхода воды от высоты h_2 при фиксированной высоте $h_1 + h_2$ (обязательно укажите при какой высоте $h_1 + h_2$ вы проводили измерения). Постройте график полученной зависимости. Дайте теоретическое обоснование полученной зависимости. Определите гидродинамическое сопротивление трубки в *гом'ах* по этим данным.

В этом эксперименте следует изменять угол наклона трубки, оставляя ее нижний срез на неизменном уровне.

2.5 Приведите окончательную формулу для расчета расхода воды в данной установке, описывающую все проведенные эксперименты.



¹ Решение этих задач оценивается, но не слишком высоко, все-таки это экспериментальный тур! Но если вы разберетесь с этими задачами, вам легче будет понять ваши результаты измерений (или сделать их подгонку, что не рекомендуется).