

**Задание 1.**

Оцените диаметр канала медицинской иглы.

*Оборудование:* шприц медицинский с иглой, стакан с водой, секундомер, линейка (или измерительная лента) длиной 1 м, ветошь.

*Рекомендации организаторам.*

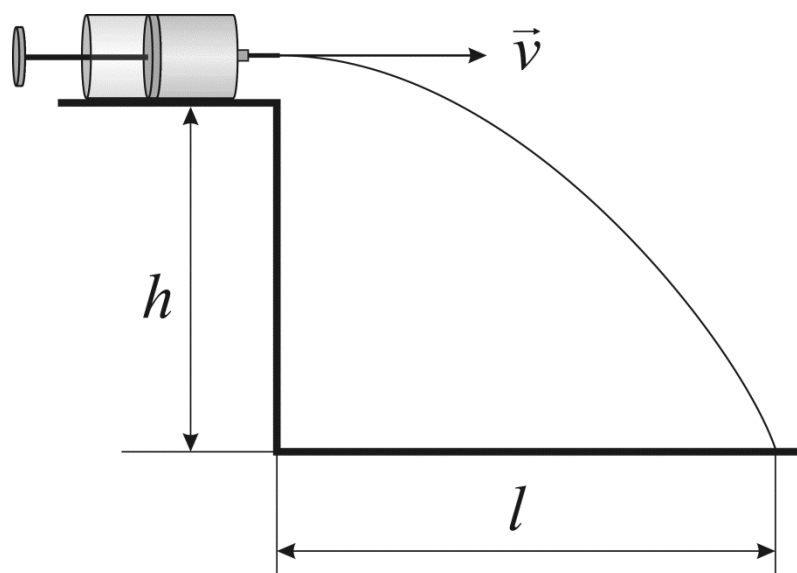
Шприц должен быть извлечен из упаковки, поскольку на ней указывается диаметр иглы.

*Решение.*

Теоретическая модель. При равномерной подаче поршня вода будет выдавлена из наполненного шприца, расположенного горизонтально на краю стола (см. рис.), за время  $\tau$ . При этом объем жидкости

$$V = Sv\tau, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения канала иглы,  $v$  – скорость истечения жидкости из иглы.



Вытекая со скоростью  $v$  направленной горизонтально, каждая капля воды за время  $t$  переместится по вертикали на расстояние

$$h = \frac{gt^2}{2}, \quad (2)$$

а по горизонтали – на

$$l = vt. \quad (3)$$

Комбинируя выражения (2) и (3), найдем скорость:

$$v = l\sqrt{\frac{g}{2h}}. \quad (4)$$

Из (1) с учетом (4) получим:

$$S = \frac{V}{l\tau} \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (5)$$

Площадь  $S$  поперечного сечения канала иглы выражается через его диаметр  $d$ :

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (6)$$

Из соотношений (5) и (6) определяется диаметр канала иглы:

$$d = \left( \frac{4V}{l\pi\tau} \sqrt{\frac{2h}{g}} \right)^{1/2}. \quad (7)$$

Экспериментальная часть. Таким образом, в опыте должны быть измерены: дальность полета струи  $l$ , время вытекания воды из шприца  $\tau$ , высота  $h$ , с которой падает струя; объем шприца указан на его корпусе. В эксперименте необходимо обеспечить равномерность истечения жидкости из шприца. При выполнении этого условия дальность полета струи будет неизменной для всех капель воды, находившейся в шприце (при одном опыте).

Эксперимент должен быть многократно повторен. Диаметр канала рассчитывается по формуле (7) с использованием значения  $\bar{l}$  для каждого  $\tau$ . Относительные и абсолютные погрешности определения диаметра канала

иглы вычисляются по формулам  $\varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta \bar{l}}{\bar{l}} + \frac{\Delta \tau}{\tau} + \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{h} \right)$ ;  $\Delta d = \varepsilon_d \bar{d}$

соответственно. Результаты измерений и расчетов сводятся в таблицу.

Далее формулируются выводы. Найденное значение диаметра канала иглы должно согласоваться с указанным на упаковке шприца значением, например  $d=0,8$  мм.

(20 баллов)

*Примерные критерии оценивания:*

1. Описана идея определения диаметра канала иглы по результатам измерения дальности полета, высоты и времени движения струи – 5 баллов;
2. Получено выражение (7) для расчета диаметра иглы – 5 баллов;
3. Проведено несколько опытов, получен средний результат:
  - Менее 3 опытов – 2 балла;
  - 3–5 опытов – 4 балла;
  - Более 5 опытов – 6 баллов;
4. Оформлена таблица по результатам опытов и расчетов – 1 балл;
5. Выполнен расчет погрешности измерений:
  - по приведенной в решении формуле – 2 балла;
  - методом оценки – 1 балл.
6. Результат измерений совпал с истинным значением – 1 балл.

## Задание 2.

*Оборудование:* сосуд для воды, 2 термометра, штатив с лапкой, стаканчики пластмассовые с мерным делением 2 штуки, секундомер, горячая и холодная вода.

*Теория.* Процесс передачи теплоты через перегородку подчиняется закону Фурье: плотность потока теплоты  $q$  (количество теплоты, протекающее через площадку единичной площади в единицу времени) пропорциональна разности температур  $\Delta T$  и обратно пропорционален толщине перегородки  $h$

$$q = k \frac{\Delta T}{h}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент теплопроводности материала перегородки.

Вам предстоит изучить процесс передачи теплоты от горячей воды, находящейся в сосуде, через пластмассовый стаканчик к холодной воде, находящейся в стаканчике. Из закона Фурье следует, что поток теплоты  $\Delta Q / \Delta \tau$  (количество теплоты перетекающей от одного тела к другому за единицу времени) пропорционален разности температур

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = K \Delta T, \quad (2)$$

в этой формуле коэффициент  $K$  называется коэффициентом теплопередачи. Этот коэффициент зависит от материала перегородки, ее толщины, площади и т.д.

Ваша задача – проверить выполнимость закона Фурье (точнее следствия из него – формулу (2)) и определить коэффициент теплопередачи для одноразового пластмассового стаканчика.

Поместите стаканчик в банку (большой сосуд). Укрепите один термометр в штативе и опустите его измерительную часть в стаканчик, так чтобы она не касалась ни его дна, ни его стенок. Вторым термометром поместите в банку. Во всех экспериментах заливайте в стаканчик 150 г холодной воды, в банку заливайте горячую воду. Уровни воды в банке и стаканчике должны совпадать.

Все измерения проведите для одного стаканчика и для «двойного стаканчика», (двух стаканчиков, вставленных «один в один»).

*Рекомендации.*

Рекомендуем начинать измерения с «двойного» стаканчика – они выполняются проще. Не стремитесь заливать слишком горячую воду – температура будет изменяться слишком быстро, поэтому точно измерять крайне сложно. Точность секундомера выше точности термометров – подумайте, как рационально использовать этот факт. В течение отводимых

на выполнение этой задачи 2.5 часов измерения можно провести неоднократно.

Удельная теплоемкость воды  $C = 4.2$  кДж/(кг·град).

*Задания.*

1. Измерьте зависимости температуры воды в стаканчике (напоминаем один раз одинарный, второй раз двойной) и в банке от времени. Постройте графики полученных зависимостей.
2. На основании полученных данных проверьте справедливость закона Фурье в данных случаях.
3. Определите коэффициенты теплопередачи для одинарного и «двойного» стаканчиков.
4. Сравните полученные значения коэффициентов теплопередачи. Дайте объяснение полученным результатам.

*Рекомендации организаторам.*

В качестве сосуда для воды может использоваться стеклянная банка объемом 0,5 л. В нее должны помещаться пластиковые стаканчики. В качестве источников горячей воды могут применяться размещенные в аудитории куллеры или электротермосы.

*Решение.*

После того как сосуды заполнены водой, дожидаемся момента времени, когда температура холодной воды достигла некоторой фиксируемой по риску термометра температуры  $T_{\text{хол},0}$ , пускаем секундомер и одновременно замеряем температуру горячей воды  $T_{\text{гор},0}$  (она изменяется гораздо медленнее, но в меньших пределах). Далее дожидаемся, когда столбик термометра в холодной воде достиг очередной риски  $T_{\text{хол},k}$  и отмечаем этот момент времени  $\tau_k$ , в этот же момент определяем температуру горячей воды  $T_{\text{гор},k}$ . Измерение проводим до тех пор, пока разность температур не станет малой (порядка нескольких градусов).

За интервал времени  $\Delta\tau_k = \tau_k - \tau_{k-1}$  холодная вода нагревается на величину  $\delta T = T_{\text{хол},k} - T_{\text{хол},k-1}$ . За этот же интервал времени холодная вода получает количество теплоты равное

$$\Delta Q = C m \delta T,$$

следовательно, средний поток тепла за этот интервал времени равен

$$\left( \frac{\Delta Q}{\Delta \tau} \right)_k = \frac{C m \delta T}{\tau_k - \tau_{k-1}}. \quad (3)$$

Средняя разность температур в этом же временном интервале равна

$$\Delta T_k = \frac{(T_{\text{гор},k} + T_{\text{гор},k-1}) - (T_{\text{хол},k} + T_{\text{хол},k-1})}{2}. \quad (4)$$

Таким образом, формулы (3)–(4) позволяют по измеряемым величинам рассчитывать как поток теплоты, так и среднюю разность температур, далее можно устанавливать и анализировать связь между ними.

Полученные и рассчитанные данные сводятся в таблицу. Строятся графики зависимостей температур в банке и в стаканчике от времени для двух случаев. На основе рассчитанных данных строятся также графики зависимостей среднего теплового потока от разности температур. Они должны получиться близкими к линейным, что будет свидетельствовать о выполнении закона Фурье. Коэффициенты теплопередачи для одинарного и двойного стаканчиков могут быть далее найдены как угловые коэффициенты получившихся прямых. Следует ожидать, что коэффициент теплопередачи для двойного стаканчика будет в 2 раза меньше, чем для одинарного. Однако вследствие наличия воздушной прослойки между стаканчиками, может получиться и иной результат.

(20 баллов)

*Примерные критерии оценивания:*

1. Построены графики зависимости температуры в банке и в стаканчике от времени для одинарного и двойного стаканчиков – 4 балла;
2. Для каждого случая выполнено несколько серий измерений:
  - менее 3 измерений – 2 балла;
  - 3 и более измерений – 4 балла;
3. Рассчитан средний тепловой поток и построены графики зависимостей теплового потока от разности температур для одинарного и двойного стаканчиков – 5 баллов;
4. Рассчитаны и проанализированы коэффициенты теплопередачи для обоих случаев – 5 баллов;
5. Выполнен анализ погрешностей измерений – 2 балла.