

## Условие

### Задание 1. Магнитная вязкость

При движении намагниченного шарика внутри металлической трубки (в этом эксперименте – алюминиевой) в стенках трубки возникают токи намагничивания, которые называются токами Фуко. Из-за наличия этих токов, появляется сила торможения, действующая на шарик, которая пропорциональна скорости  $V$  движения шарика:

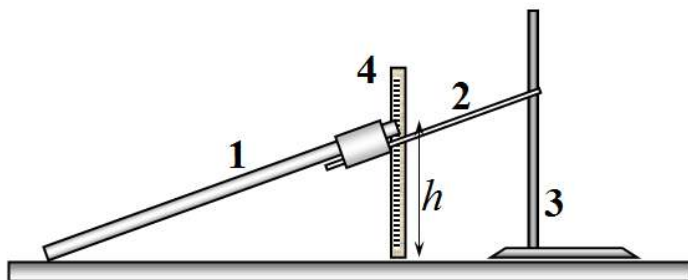
$$\vec{F} = -\beta \vec{V} \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности  $\beta$  в данной формуле зависит от параметров трубки (ее материала и геометрических размеров) и структуры магнитного поля, создаваемого шариком. Часто явление возникновения тормозящей силы называют магнитной вязкостью. В данной задаче Вам необходимо экспериментально исследовать это явление.

**Оборудование.** Алюминиевая трубка длиной  $L = 50,0$  см; набор из одинаковых 5 неодимовых шариков – магнитов; кусочек пластиковой трубки, деревянная линейка, линейка измерительная, штатив, секундомер с памятью этапов, пластиковый стакан.

Установка для проведения измерений очевидна.

К трубке 1 прикреплена деревянная линейка 2, конец которой закреплен в лапке штатива 3. С помощью измерительной линейки 4 можно измерять высоту верхнего края линейки над уровнем стола  $h$ . Вторым концом трубки опирается на поверхность стола. Время движения магнитов внутри трубки измеряется с помощью секундомера.



**Примечания.** 1. Во всех случаях движение шариков внутри трубки считайте равномерным. 2. Все длины измеряйте в сантиметрах. 3. Диапазоны измерения высоты  $h$  в каждой части задания выбирайте самостоятельно. 4. Для получения приемлемой точности измерений всегда проводите измерения времен движения несколько раз. 5. Оценка погрешности измерений необходима только в тех пунктах задания, где эта оценка требуется. 6. Для вашего удобства нами подготовлены листы ответов, в которых имеются таблицы для записи результатов измерений и бланки для построения графиков – используйте их в своей работе (и не забудьте их сдать). Оцифровку осей проводите самостоятельно. Заполнять все ячейки не обязательно, самостоятельно определяйте число необходимых измерений. 7. Если требуется использовать некоторые формулы, то их вывод приведите на рабочих листах, в листы ответов занесите только итоговую формулу. Выводы сразу заносите в листы ответов. 8. Формулы для обработки графиков приведите только один раз (при первом их использовании).

## Часть 1. Скатывание

В данной части Вам необходимо изучить скатывания одного шарика внутри трубки.

*Что бы не искать шарики по всему кабинету под нижний конец трубки положите горизонтально пластиковый стакан, в который должен попадать шарик.*

1.1 Приведите формулу, с помощью которой по известной длине трубки и времени скатывания можно рассчитать скорость движения шарика.

1.2 Измерьте зависимость скорости скатывания шарика  $V$  от высоты верхнего края линейки  $h$ . Постройте график полученной зависимости.

1.3 Для одного из значений (по вашему выбору) высоты  $h$ , рассчитайте погрешность измерения скорости движения шарика.

1.4 Укажите, можно ли считать, что формула (1) применима в данном случае. Укажите, можно ли пренебречь силой трения в данном эксперименте. Ответы кратко обоснуйте.

1.5 Используя полученные результаты, определите отношение модуля силы вязкости  $F_0$  при скорости движения  $V_0 = 1,0 \frac{\text{см}}{\text{с}}$  к силе тяжести одного шарика  $\frac{F_0}{mg}$  с максимальной точностью. Приведите формулу, по которой Вы провели расчет этой величины.

## Часть 2. Соскальзывание двух шариков в трубке.

Поместите два шарика в пластиковую трубочку. Проведите исследование движения трубочки с шариками внутри алюминиевой трубки.

2.1 Измерьте зависимость скорости движения трубочки  $V$  от высоты подъема алюминиевой трубки  $h$ .

Представьте полученную зависимость в линеаризованном виде

$$Y = aX + b. \quad (2)$$

где  $Y$ ,  $X$  - некоторые функции от результатов измерений  $h, t$ . Постарайтесь придумать такую линеаризацию, чтобы по параметрам этой зависимости можно было определить коэффициент трения пластиковой трубочки о стенку алюминиевой трубки.

2.2 Запишите формулы для расчетов переменных  $Y$ ,  $X$ , проведите их расчет, постройте график линеаризованной зависимости.

2.3 Определите по графику значение коэффициента трения  $\mu$ .

2.4 Проведите максимально точный расчет коэффициента трения  $\mu$ . Оцените погрешность найденного значения.

### Часть 3. Зависимость магнитной силы от числа магнитов.

Установите трубку так, чтобы ее верхний край находился на высоте примерно 30 см. Вам необходимо исследовать зависимость силы магнитной вязкости от числа шариков. Нужно число шариков вставляйте в пластиковую трубку.

**3.1** Измерьте зависимость скорости движения трубочки с шариками  $V$  от числа шариков  $n$  в ней. Постройте график полученной зависимости.

Предположим, что сила магнитной вязкости от числа шариков имеет степенной вид

$$F = \beta_1 n^\gamma V \quad (3)$$

**3.2** Используя полученные экспериментальные данные определите показатель степени  $\gamma$  в формуле (3). Хотя бы попытайтесь его угадать.