

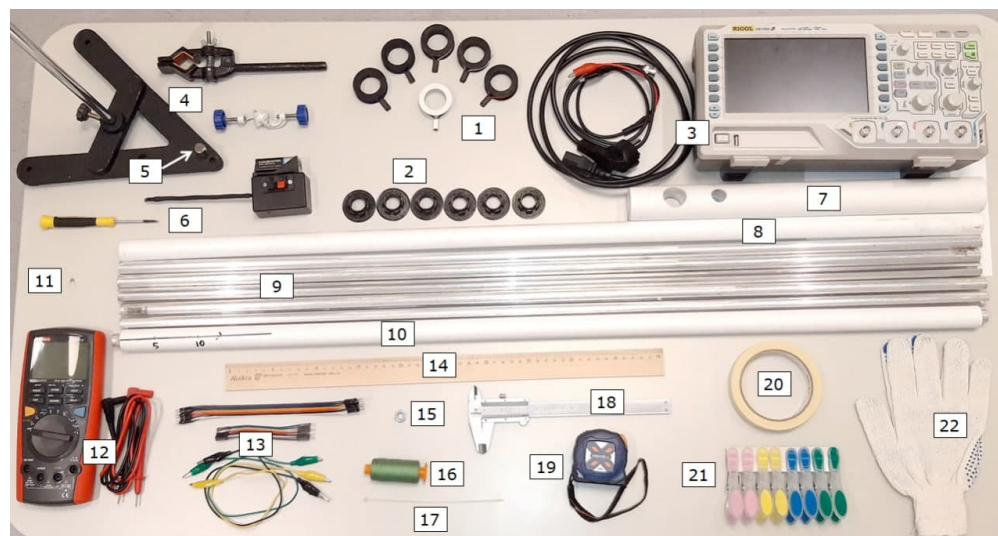


Эта задача посвящена эффектам, связанным с движением магнита в проводящих трубках. Хорошо известно о возникающих при таком движении токах Фуко, которые взаимодействуют с движущимся магнитом и замедляют его движение. Силы сопротивления оказываются пропорциональными скорости движения.

Задача состоит из пяти последовательных частей:

1. Вводная часть, чтобы научиться работать с предоставленным оборудованием
2. Определение магнитного момента
3. Исследование эффектов в сплошной трубе
4. Исследование эффектов в трубах с продольным разрезом
5. Изучение черного ящика

Оборудование



1. Катушки
2. Адаптеры для катушек
3. Осциллограф с проводом питания и проводом «BNC-крокодил»
4. Штатив с лапкой и муфтой
5. Магнит
6. Датчик Холла (с элементом питания) и отвертка для подстройки
7. Держатель труб
8. Пластиковая трубка
9. Металлические трубки сплошная и с продольными разрезами
10. «Черный ящик»
11. Конденсатор
12. Мультиметр с проводами
13. Соединительные провода
14. Линейка 50 см
15. Гайка
16. Нитки
17. Пластиковая стяжка
18. Штангенциркуль
19. Рулетка
20. Малярный скотч узкий
21. Прищепки бельевые
22. Перчатки рабочие

Важные замечания для успеха эксперимента

1. Выданный вам неодимовый магнит, конечно, твердый, но хрупкий. Если он на большой скорости столкнется с железной поверхностью (например, рамой стола, основанием или стойкой штатива), он может расколоться. Новый магнит вам не выдадут, а с осколками выполнить эксперимент невозможно.
2. У выданных вам катушек есть выводные разъемы ("мама"). В ходе эксперимента в них вставляются штыревые разъемы соединительных проводов ("папа"). Не нужно прикладывать большое усилие, чтобы вставить штыревые разъемы в разъемы катушки. Если вы чувствуете, что штырь не вставляется, вытащите его, поверните вокруг его оси на 90 градусов и попробуйте еще. Существует такое положение штыревого разъема, когда он легко входит в разъем катушки.
3. Если вы приложите сверх-усилие, чтобы вставить штырь в катушку, контактная планка в разьеме катушки может сместиться вглубь разъема. Электрический контакт будет отсутствовать, катушка станет непригодной для работы. Новую катушку вам не выдадут.
4. В работе присутствуют алюминиевые трубы, в которых сделан продольный разрез. Разрез может быть острым. Поэтому надевайте предоставленные строительные перчатки, если вы что-то делаете с трубами с разрезом.
5. Эффекты, которые наблюдаются в трубах с разрезом, достаточно тонкие, и они зависят от ширины разреза. Не гните, не разгибайте — в общем, никаким образом не меняйте ширину разреза в трубах.

00 Перечислите все предметы оборудования и вашего рабочего места, к которым магнитится выданный вам магнит.

01 ^{-1.00} Запрещено наносить какие-либо надписи напрямую на алюминиевые или пластиковые трубы. Если вам необходимо нанести какие-то отметки, приклейте малярный скотч вдоль трубы или сделайте наклейки в нужных вам местах. Ручкой и карандашом можно писать только на малярном скотче. Дежурный по аудитории имеет право в любой момент проверить наличие надписей на трубах. В случае обнаружения надписей, дежурный немедленно ставит штрафной балл в лист ответов. Утверждение, что вы сотрете надписи позже, не принимается. Штрафной балл можно получить до 20 раз.

Базовая установка этой работы представлена на рисунке ниже.

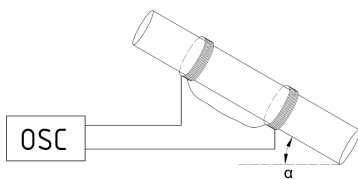
- Труба закреплена в держателе (Рис. 1А), на трубу надеты от одной до шести катушек, катушки последовательно соединены друг с другом, а система целиком подключена к осциллографу (Рис. 1В).
- В зависимости от диаметра труб, можно использовать адаптеры для катушек.
- Для фиксации положения катушек на трубе используйте прищепки.
- Если через катушку пролетает магнит, в ней возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$ из-за изменения потока магнитного поля, это фиксируется осциллографом.
- Длинные металлические трубы фактически являются антеннами, поэтому на осциллографе можно наблюдать высокочастотные помехи, ухудшающие

соотношение сигнал-шум. Чтобы избавиться от высокочастотной компоненты сигнала, подключите параллельно системе катушек выданный вам конденсатор емкости $C = 0.1$ мкФ (Рис. 1С). Для гармоник высокой частоты он фактически выполняет роль перемычки. Соотношение сигнал-шум после этого должно значительно улучшиться.

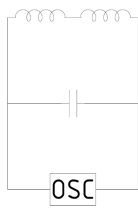
- Помните, что исследуемые объекты должны находиться как можно дальше от металлических предметов, чтобы они оказывали минимальное влияние на эксперимент.



А



В



С

Часть А. Необычный секундомер (3.5 балла)

В этой части задачи вам предстоит определить ускорение свободного падения g с помощью осциллографа.

Закрепите держатель труб в лапке штатива. Установите пустую пластиковую трубу в держатель. Труба должна быть наклонена под некоторым углом к горизонту. Наденьте на трубу 2 катушки и разместите их на некотором расстоянии друг от друга (> 50 см).

- A1** Измерьте расстояния от верхнего края трубы до середины первой катушки L_1 и от середины первой катушки до середины второй L_2 и занесите их в лист ответов.
- A2**^{0.50} Найдите время t , за которое магнит пролетает между центрами двух катушек. Выразите t через L_1 , L_2 , μ_1 , g , α , где μ_1 – коэффициент трения скольжения между трубкой и магнитом.

По показаниям осциллографа можно определить время t , за которое магнит пролетит расстояние между центрами катушек.

- A3**^{0.50} На листе ответов качественно изобразите картину сигнала, регистрируемого осциллографом. Укажите, как вы измеряете время t по осциллограмме.
- A4**^{1.40} Снимите зависимость времени t от угла наклона α пластиковой трубы для 7 различных углов. Диапазон углов должен быть в интервале $(\pi/4; \pi/2)$.
- A5**^{0.20} Предложите линеаризацию зависимости, полученной в пункте A2.
- A6**^{0.50} Постройте график в координатах, соответствующих линеаризации в пункте A5.
- A7**^{0.40} Используя график, определите g . Оцените погрешность.

Часть В. Магнитный момент (2 балла)

Выданный вам магнит можно рассматривать как магнитный диполь. Поле, создаваемое магнитом можно исследовать с помощью датчика Холла. Он измеряет компоненту магнитного поля, перпендикулярную плоскости датчика. Дополнительная разность потенциалов, которая возникает из-за магнитного поля, связана с его индукцией соотношением $U = \chi B$, где $\chi = 50$ В/Тл. Базовая линия (показания вольтметра в отсутствии поля) для большинства датчиков — это 0. Если это не 0, это явно указано на датчике (изменения напряжения нужно считать от базовой линии). Базовая линия может «плыть» от разных параметров. Базовую линию можно подрегулировать отверткой. Рабочий диапазон датчика — $[-4.5; 4.5]$ В для датчиков с базовой линией 0, и $[0; |9|]$ В для датчиков с базовой линией $|4.5|$ В.

- B1**^{2.00} Измерьте радиус магнита R и его высоту H . Определите дипольный момент магнита M . С помощью схем, диаграмм, графиков поясните, как вы это делаете.

Часть С. Установившееся движение в алюминиевой трубе (5 баллов)

При падении магнита в алюминиевой трубке на него действует сила торможения, которая возникает из-за вихревых токов. В нашей задаче скорость магнита достаточная чтобы использовать следующее приближение:

$$F_{\text{сопр}} = kv_{\text{магн}}, \text{ где } k = \frac{(\mu_0 M)^2 \sigma w f(H/a)}{8\pi (aH)^2},$$

а m — масса магнита, σ — удельная проводимость материала трубы, a — внутренний радиус трубы, M — магнитный момент магнита, w — толщина стенок трубы, $f(H/a)$ — некоторая функция. В данной задаче можно считать, что $f(H/a) = 1.75$. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м, $m = 21.0$ г.

- C1**^{0.50} Найдите зависимость скорости магнита $v_{\text{магн}}$ от времени через t , g , k , μ_2 , α , где μ_2 — коэффициент трения скольжения между алюминиевой трубкой и магнитом.
- C2**^{0.50} Выразите установившуюся скорость u через g , k , μ_2 , α .
- C3**^{0.50} Схематично изобразите экспериментальную установку, с помощью которой можно измерить установившуюся скорость на нескольких интервалах. Поясните с помощью диаграмм, графиков, осциллограмм, что и как вы измеряете, чтобы рассчитать установившуюся скорость.
- После того, как магнит пройдёт определённое расстояние можно считать, что в пределах погрешности он движется с установившейся скоростью.
- C4**^{0.50} Каким образом вы проверяете, что на исследуемом участке скорость можно считать установившейся? Объясните с помощью диаграмм, графиков, осциллограмм.
- C5**^{1.00} Снимите зависимость установившейся скорости движения магнита от угла наклона алюминиевой трубы для не менее 7 углов наклона. Для каждого угла наклона усредните установившуюся скорость по не менее трем интервалам. В таблицах указывайте первичные данные, снимаемые с приборов.
- C6**^{0.50} Предложите линеаризацию зависимости, полученной в пункте C2, чтобы можно было определить коэффициент трения скольжения μ_2 и коэффициент в силе сопротивления k .
- C7**^{0.50} В соответствии с C6 постройте график зависимости для определения μ_2 и k .
- C8**^{0.50} Используя график, определите μ_2 и k .

C9^{0.50} Определите удельную проводимость алюминия σ . Оцените погрешности.

Часть D. Движение в трубах с разрезами (5.5 баллов)

D1^{4.00} Для каждой трубы определите соответствующий коэффициент в силе сопротивления k_i ($i = 2, 3, 4, 5$). Будьте внимательны, эффекты проявляющиеся здесь, очень тонкие. Следите за качеством снимаемых с установки данных и их оптимальной обработкой.

D2^{1.00} Измерьте ширину разреза x и постройте график зависимости k_i от x .

D3^{0.50} Определите параметры зависимости, полученной в пункте D2.

Часть E. Металлический черный ящик (4.0 балла)

Внутри черного ящика находится алюминиевая трубка, в которой участки с разрезами чередуются со сплошными участками. Начало координат находится на краю алюминиевой трубки, а направление обозначено на пластиковой.

E1^{4.00} Найдите положение и ширину разрезов. С помощью формул и картинок поясните, как вы это делаете и приведите расчеты.