

-1. Электромагнитный коллаж

Условие

Задание 10-1. Электромагнитный коллаж

Множество фирм производят оборудование для проведения учебных физических экспериментов (в частности, и разработчики заданий экспериментального тура, который состоится завтра). Это достаточно прибыльный и успешный бизнес (к разработчикам заданий этой олимпиады последнее не относится). Данное задание составлено на основе каталога учебного оборудования (отметим, очень дорогого) известной германской фирмы ZV Scientific.

Задача 1. Напряжение плоского конденсатора.



На фотографии показана установка для изучения электрического конденсатора. В состав установки входят: 1 – воздушный конденсатор с круглыми металлическими дисками, диаметр которых равен $D = 25$ см; один из дисков можно перемещать, изменяя расстояние между дисками d ; 2 – источник постоянного напряжения для зарядки конденсатора; 3 – электростатический вольтметр для измерения напряжения на конденсаторе; сопротивление этого вольтметра настолько высоко, что можно пренебречь разрядкой конденсатора за все время проведения измерений.

Конденсатор заряжают и отключают от источника. После чего измеряют зависимость напряжения на конденсаторе U от расстояния между его обкладками d .

В Листах ответов приведен график полученной зависимости $U(d)$. В таблице приведены значения расстояний между обкладками и соответствующих напряжений, снятых с этого графика.

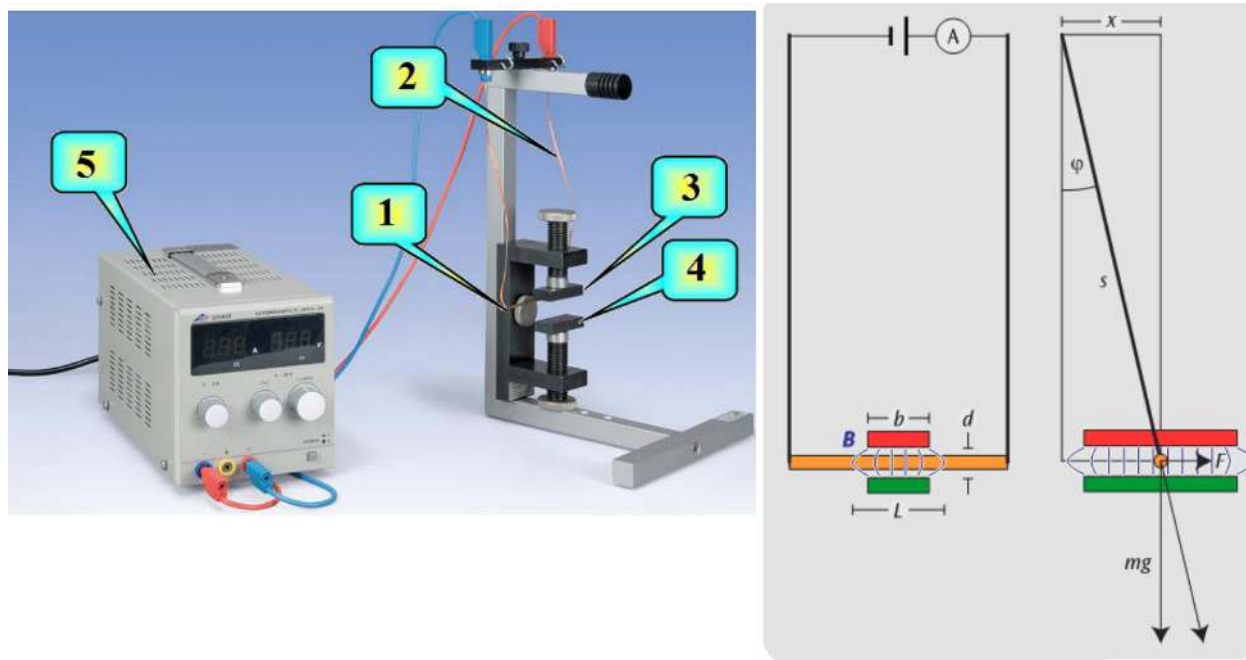
Для решения задачи используйте эти данные.

Электрическая постоянная равна $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$.

1.1 Рассчитайте емкость конденсатора C_0 при расстоянии между обкладками $d_0 = 2,0$ мм. 1.2 Рассчитайте заряд конденсатора Q в данном эксперименте. 1.3 Приведите формулу, описывающую линейный участок полученной зависимости $U(d)$. 1.4 Качественно объясните, почему полученная зависимость отклоняется от линейной. 1.5 Рассчитайте зависимость силы притяжения дисков от расстояния между ними. Результаты расчетов занесите в таблицу 1. Постройте график полученной зависимости. 1.6 Рассчитайте, какая работа A была совершена при увеличении расстояния между дисками от $d_0 = 2,0$ мм до $d_1 = 18$ мм

Задача 2. Сила Лоренца

Уточним – в наших учебниках ее называют сила Ампера.



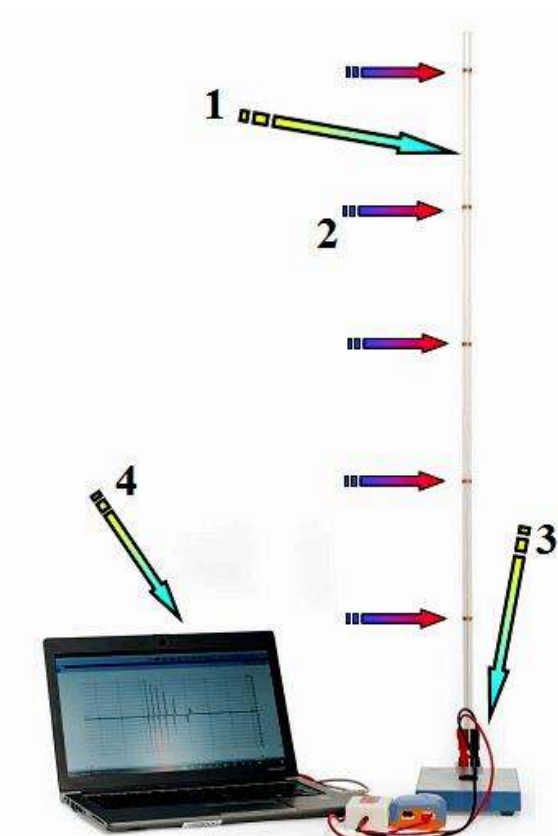
На фотографии слева показана установка для изучения силы Лоренца. Медный стержень 1 массы $m = 6,23$ г подвешен на проводах 2. Стержень может двигаться в зазоре полюсного магнита 3-4. Для создания электрического тока в стержне используется источник 5, с измерителем силы тока.

Справа приведена схема установки вид спереди и вид сбоку, которая, по мнению авторов, «все объясняет».

В Листах ответов приведен график, на котором отражены результаты измерений. Вам необходимо теоретически описать проведенный эксперимент, для этого Вы должны решить несколько «ребусов», неявно предложенных авторами приведенного здесь описания.

2.1 Запишите формулу, описывающую силу, действующую на стержень. 2.2 Кратко опишите, как с помощью данной установки, можно измерить силу, действующую на стержень. Укажите, какие величины непосредственно должны быть измерены, приведите формулу для расчета этой силы по результатам измерений. Используйте обозначения, приведенные на схеме. 2.3 Объясните, что следует понимать под термином «эффективная длина проводника L ». Как ее можно изменять в ходе эксперимента? Как ее можно рассчитать по результатам дополнительных измерений? 2.4 Проверьте, соответствуют ли две приведенные на графике зависимости указанным значениям L . Предложите простой способ уточнения приведенных графиков. Укажите, какой зависимости следует доверять больше. Ответ обоснуйте. Можете провести дополнительные построения на выданном бланке. 2.5 Рассчитайте индукцию магнитного поля B в зазоре магнита. Исправьте вероятную ошибку, допущенную при построении графика.

Задача 3. Изучение закона электромагнитной индукции (ЭМИ) Фарадея.



На фотографии показана установка для проверки закона ЭМИ. На вертикальной стеклянной трубке (1) расположены на равных расстояниях небольшие одинаковые проводящие катушки (2) - (каждая содержит $N = 10$ витков). Толщина катушек значительно меньше расстояния между ними. Катушки соединены последовательно и подключены к датчику напряжения (3) который считывает зависимость напряжения от времени и передает их в компьютер, который выводит эти данные на экран в виде зависимости измеренного напряжения от времени.

В ходе эксперимента внутрь трубки опускают постоянный магнит вытянутой формы с площадью поперечного сечения $S_0 \approx 2,0 \text{ см}^2$, который свободно падает внутри трубки.

В Листах ответов показаны результаты измерений зависимости напряжения от времени при падении магнита внутри трубки, выведенные на экран монитора.

Для Вашего удобства на графике добавлена более густая координатная сетка. Размер одной клеточки сетки $5 \text{ мс} \times 5 \text{ мВ}$.

3.1 Укажите противоречие между фотографиями установки и экрана монитора. **3.2** Используя предоставленный график, определите, можно ли считать падение магнита равноускоренным. Обоснуйте свой вывод.

Не смотря на Ваш ответ на вопрос 3.2, далее считайте, что магнит падает с постоянным ускорением $g = 10 \frac{м}{с^2}$.

3.3 По данным графика, рассчитайте расстояние между соседними катушками на трубке.
3.4 Рассчитайте (оценочно) индукцию магнитного поля B внутри катушки.

*Не забудьте четко объяснить на рабочих листах, как Вы проводили расчеты: законы, вывод формул, исходные численные данные. Можете проводить дополнительные построения на представленном графике в Листах ответов. Без этого «угаданный» результат оцениваться не будут!

В Листы ответов занесите только основные результаты*

Решение

Задача 1. Напряжение плоского конденсатора.

1.1 Емкость плоского конденсатора рассчитывается по формуле

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_0} = \frac{\varepsilon_0 \pi D^2}{4d_0} = 2,2 \cdot 10^{-10} \text{Ф} = 220 \text{пФ} \quad (1)$$

1.2 Заряд конденсатора в данном эксперименте равен

$$Q = C_0 U_0 = 6,5 \cdot 10^{-10} \text{Кл}, \quad (2)$$

где $U_0 = 3,0 \text{В}$ напряжение на конденсаторе при $d_0 = 2,0 \text{ мм}$.

1.3 Линейная зависимость описывается функцией

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{C_0}{C} U_0 = U_0 \frac{d}{d_0}. \quad (3)$$

1.4 Отклонение от линейной зависимости связано с, так называемыми краевыми эффектами. При увеличении расстояния между обкладками электрическое поле между обкладками перестает быть однородным.

1.5 Сила взаимодействия между пластинами может быть рассчитана по формуле

$$\delta A = F \Delta d = \Delta W \Rightarrow F = \frac{\Delta W}{\Delta d}. \quad (4)$$

Где ΔW - изменение энергии конденсатора, при изменении расстояния между его обкладками. Из всех формул для энергии конденсатора

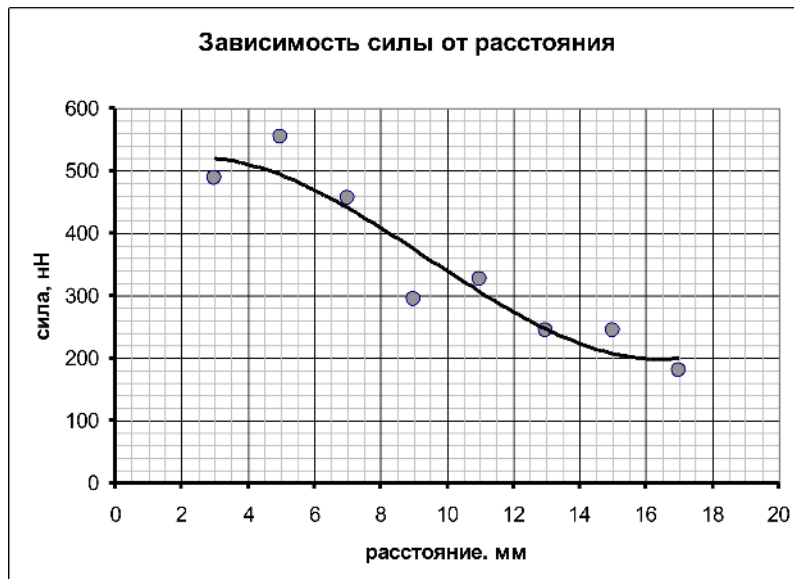
$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{QU}{2}, \quad (5)$$

следует выбрать последнюю, которая не содержит неизвестную емкость конденсатора. Поэтому силу следует рассчитывать по формуле

$$F = \frac{Q}{2} \frac{\Delta U}{\Delta d} = \frac{C_0 U_0}{2} \frac{\Delta U}{\Delta d}. \quad (6)$$

Результаты расчетов приведены в таблице и на графике

<i>d, мм</i>	<i>F, нН</i>
3,0	489
5,0	554
7,0	456
9,0	293
11,0	326
13,0	244
15,0	244
17,0	179



1.6 Совершенную работу можно рассчитать по формуле

$$A = \Delta W = \frac{Q}{2} \Delta U = \frac{C_0 U_0}{2} (U_{\max} - U_0) = 4,7 \cdot 10^{-9} \text{ Дж. (7)}$$