

Фарадей

Условие

Задание 2. «Фарадей»

В ходе решения данной задачи Вам предстоит помочь нашей Республике в решении энергетической проблемы!

Известно, что электрический двигатель и электрический генератор устроены одинаково. Если через обмотку двигателя пропускать электрический ток, то вал двигателя начинает вращаться, а если вращать вал двигателя, то в цепи обмотки может появиться электрический ток.

Оборудование: модель электродвигателя; батарейка 4,5 В; амперметр; вольтметр; реостат; соединительные провода; секундомер; нитки; стакан пластиковый; мензурка; вода, линейка.

Часть первая. «Двигатель»

1. Постройте зависимость силы тока через обмотку двигателя от приложенного напряжения при неработающем двигателе. Определите сопротивления обмотки и амперметра. 2. Постройте зависимость напряжения на работающем двигателе от силы протекающего через него электрического тока. 3. Измерьте зависимость механической мощности двигателя от приложенного к двигателю напряжения. 4. Постройте график зависимости КПД двигателя от его мощности.

Часть вторая. «Генератор»

1. Постройте график зависимости КПД генератора от приложенной механической мощности. В качестве «полезной» мощности используйте мощность электрического тока, выделяемую на амперметре.

Задание 1. «Эвангелиста Торричелли»

Обидно, если в дне стакана есть отверстия – но это повод для исследований.

Оборудование: пластиковый стакан 0,5 л со шкалой; банка стеклянная 0,5 л (или 1 л), часы, шило, штангенциркуль, полоска миллиметровой бумаги.

Прodelайте в дне стакана маленькое отверстие. Заполните стакан водой (желательно, чтобы вытекающая из стакана вода попадала в стеклянную банку, а не на Вас), исследуйте процесс вытекания воды из стакана.

Вам необходимо провести измерения с несколькими отверстиями, поэтому сначала сделайте отверстие малого диаметра, а затем его увеличивайте.

1. Постройте график зависимости высоты уровня воды в стакане от времени. 2. Постройте график зависимости скорости вытекающей воды от высоты уровня воды в стакане. 3. При определенных допущениях теоретически можно показать, что скорость v воды, вытекающей через отверстие в дне стакана, зависит от высоты уровня воды в стакане h по формуле

$$v = Ch^\gamma$$

где C - величина, не зависящая от h . Используя полученные экспериментальные данные определите показатель степени γ . 4. Постройте график зависимости скорости воды, вытекающей из стакана, от диаметра отверстия.

Качественно объясните полученную зависимость.

Задание 2. «Айвазовский»

Как это не странно, волны на поверхности воды — достаточно сложное и интересное физическое явление. Приступайте к их изучению!

Оборудование: вода (в неограниченном количестве), тарелка одноразовая, линейка, секундомер, пластилин, желоб пластмассовый, пластмассовые полоски, спички.

Часть 1. Волны в тарелке.

Круговые волны в тарелке легко возбуждают, прикасаясь кусочком пластилина к поверхности воды (кстати, эти волны отражаются от стенок).

1. Измерьте зависимость скорости поверхностных волн от глубины слоя воды. Постройте график этой зависимости. 2. Получите приближенную эмпирическую формулу, описывающую полученную зависимость.

Часть 2. Волны в канале.

С помощью пластилина, полосок и пластмассового желобка изготовьте модель узкого и длинного канала. Слегка приподняв и резко опустив модель, Вы можете наблюдать образование и движение уединенной волны.

1. Измерьте зависимость скорости этой волны от глубины воды в канале. Постройте график этой зависимости. 2. Получите приближенную эмпирическую формулу, описывающую полученную зависимость.

Качественно объясните полученные результаты.

Задание 1. «И.С. Бах»

При возбуждении колебаний воздуха внутри трубы возможно установление стоячей волны, в этом случае громкость звучания трубы резко повышается. У вас есть возможность возбуждать колебания воздуха в трубке, изменяя частоту колебаний генератора и высоту воздушного столба (изменяя высоту уровня воды).

Оборудование: Генератор ГЗЛ – 1; головка динамическая; соединительный провода, трубка стеклянная длиной 60 см; трубка хлорвиниловая (от медицинских капельниц) длиной 1 м; емкость пластмассовая 2 л со шкалой, термометр.

1. Покажите, что высоты h_k воздушного столба, при которых громкость звучания трубы резко повышается, удовлетворяют условию

$$h_k = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где λ - длина звуковой волны, $k = 0, 1, 2, \dots$

2. Для частот в диапазоне от 250 Гц до 2,0 кГц найдите высоты воздушного столба, при которых громкость звучания трубы резко повышается.

3. Используя полученные данные, определите скорость звука.

4. Определите показатель адиабаты γ для воздуха.

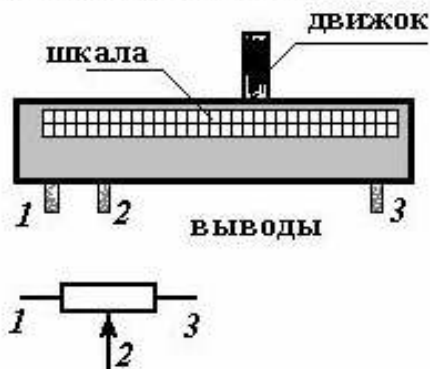
Скорость звука в газе определяется формулой $c = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$, где R – универсальная газовая постоянная, T – температура воздуха, M – молярная масса воздуха, $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ – показатель адиабаты.

Задание 2. «Алесандро Вольта»

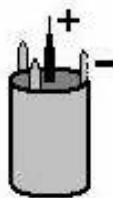
Физические приборы можно использовать для измерения различных величин. В данной работе школьный лабораторный вольтметр используется для измерения ... электрического заряда. При протекании кратковременного импульса тока отброс стрелки вольтметра зависит от прошедшего через него электрического заряда. Прибор для измерения заряда таким способом называется баллистическим гальванометром.

Оборудование: источник питания ЛИП, вольтметр, полосковый реостат со шкалой, конденсатор известной емкости, ключ – переключатель, соединительные провода, стержень металлический с проводом, часы, кусочек металлической фольги, скрепка.

Полосковый реостат



конденсатор



Часть 1. Градуировка реостата.

Подключите реостат к источнику питания так, чтобы с его помощью легко можно было регулировать выходное напряжение. 1. Постройте график зависимости выходного напряжения на реостате от положения движка. 2. Подключите к выходу реостата конденсатор. Постройте график зависимости напряжения на конденсаторе от положения движка реостата. Объясните полученные зависимости.

Часть 2. Градуировка баллистического гальванометра.

Соберите электрическую цепь, позволяющую заряжать конденсатор до известного напряжения и разряжать его через вольтметр.

1. Постройте график зависимости величины отброса стрелки вольтметра (работающего в качестве гальванометра) от заряда, прошедшего через него.

Часть 3. Измерения.

1. Зарядите конденсатор до максимального напряжения. Отключенный от цепи он все равно разряжается. Постройте зависимость напряжения на конденсаторе от времени разрядки. Определите электрическое сопротивление конденсатора. 2. Измерьте время столкновения металлического стержня с поверхностью стола. *Можете держать стерженек в руке и постукивать им по столу.* Сопротивление вольтметра считайте равным $R_V = (4,3 \pm 0,2) \text{ кОм}$

Решение

Задание 11.2 Так как пластинки одинаковы, то сообщенный заряд q распределится между ними поровну. Электрическая сила, действующая на подвижную пластинку, может быть определена из очевидной цепочки равенств

$$F = E \frac{q}{2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \frac{q}{2} = \frac{1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{q}{2S} \cdot \frac{q}{2} = \frac{q^2}{8\epsilon_0 S}. \quad (1)$$

Эта постоянная сила отталкивания уравнивается силой упругости пружинок

$$F = kx, \quad (2)$$

поэтому заряд прибора и смещением пружинок связаны соотношениями

$$x = \frac{q^2}{8\epsilon_0 S k}; \quad q = \sqrt{8\epsilon_0 S k x}. \quad (3)$$

Минимальный заряд, который можно измерить с помощью данного прибора, равен

$$q_{\min} = \sqrt{8\epsilon_0 S k \delta x} = 4,2 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}, \quad (4)$$

а максимальный

$$q_{\max} = \sqrt{8\varepsilon_0 S k \Delta x} = 4,2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.} \quad (5)$$

Относительная погрешность измерения заряда рассчитывается по формуле

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{q'_x \delta x}{q} = \frac{\delta x}{2x}, \quad (7)$$

она минимальна при максимальном смещении пластинки, при котором составляет 0,5%.

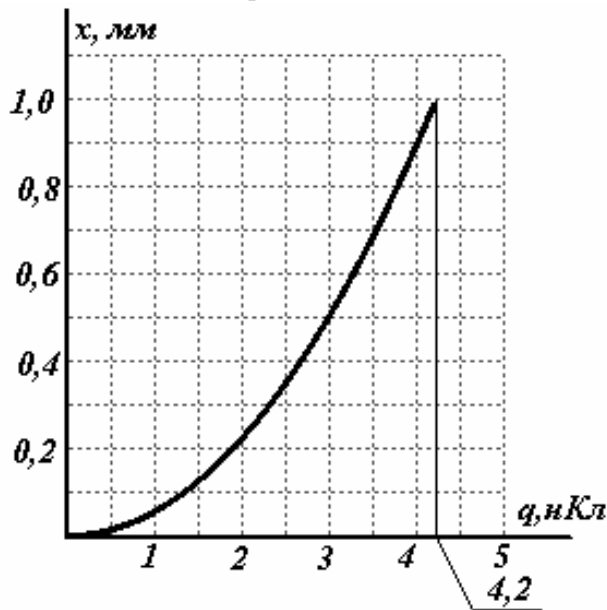


График зависимости смещения пластинки от величины заряда представляет собой «банальную» параболу

$$x = 5,6 \cdot 10^{-2} q^2,$$

где x — измерена в миллиметрах, а q в нанокюлонах.

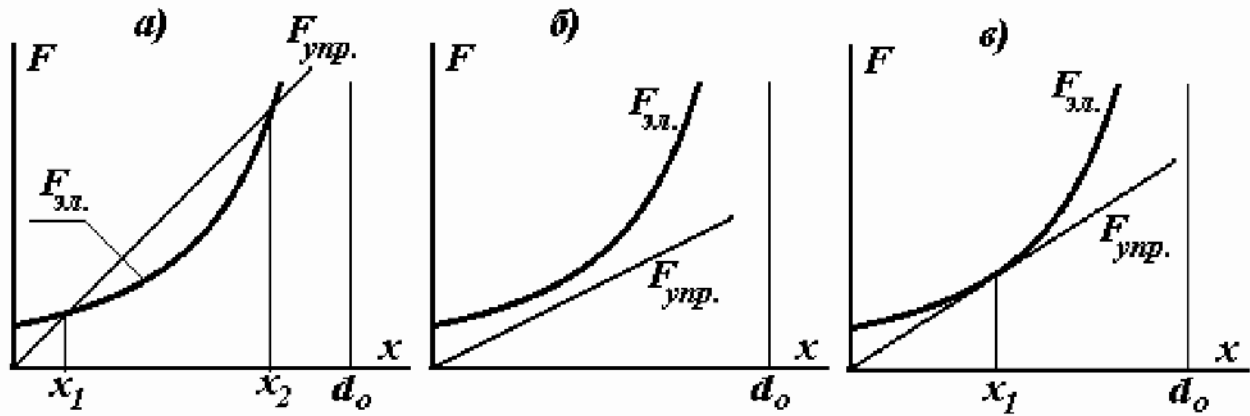
2. При заданном напряжении между пластинами при их относительном смещении измеряется заряд каждой из пластин. В этом случае силу электрического притяжения можно вычислить с помощью следующей цепочки

$$F = \sigma S \cdot \frac{E}{2} = \varepsilon_0 E S \cdot \frac{E}{2} = S \cdot \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 S}{2} \left(\frac{U}{d} \right)^2 = \frac{\varepsilon_0 S U^2}{2(d_0 - x)^2}. \quad (8)$$

Приравнявая ее к силе упругости пружин, получим уравнение, связывающее смещение пластинки и приложенное напряжение

$$\frac{\varepsilon_0 S U^2}{2(d_0 - x)^2} = kx. \quad (9)$$

Выразить из этого уравнения в явном виде x как функцию U , по меньшей мере, затруднительно. Проанализируем уравнение (9) графически, для чего построим графики зависимостей электрической силы и силы упругости от смещения пластинки.



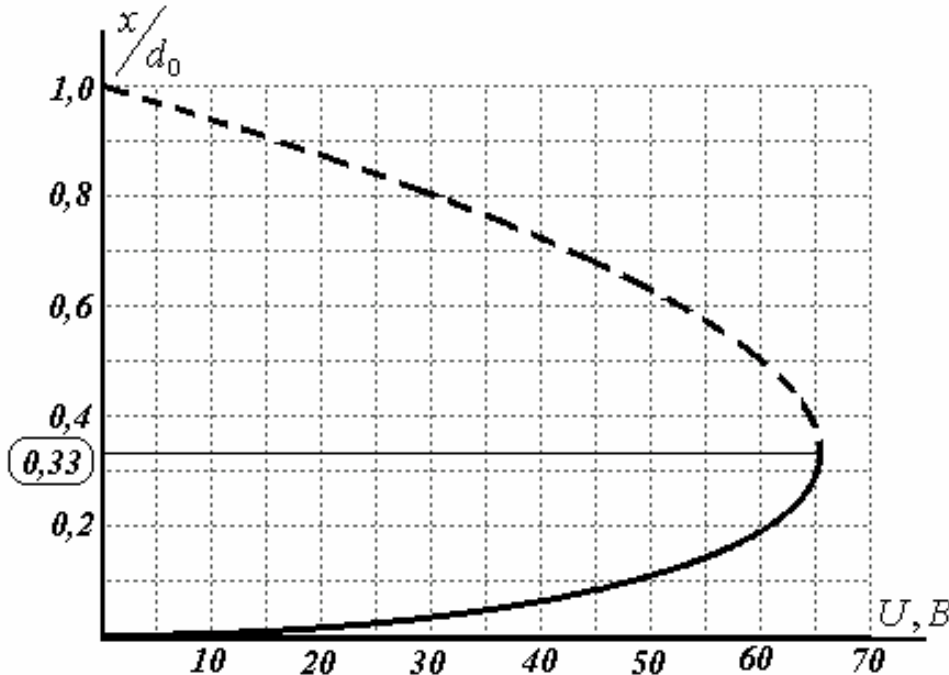
Легко заметить, что в интересующем нас диапазоне $x \in [0, d_0]$ уравнение (9) может иметь либо два корня (а), либо один (в), либо ни одного корня (б).

Традиционный анализ устойчивости (электрическая сила стремится увеличить смещение, а сила упругости – уменьшить), показывает, что в случае (а) устойчивым является меньший корень, в случае (в) – корень неустойчив. Отсутствие корней свидетельствует об отсутствии положения равновесия подвижной пластинки, то есть в этом случае никакие измерения невозможны.

Если сложно построить график зависимости $x(U)$, то можно построить зависимость $U(x)$! Выразим из уравнения (9)

$$U = \sqrt{\frac{2kd_0^3}{\varepsilon_0 S}} \cdot \left(1 - \frac{x}{d_0}\right) \sqrt{\frac{x}{d_0}}. \quad (10)$$

Обозначим $A = \sqrt{\frac{2kd_0^3}{\varepsilon_0 S}} \approx 170$ В, $\xi = \frac{x}{d_0}$ и получим «совсем простую зависимость $U = A(1 - \xi)\sqrt{\xi}$. Построить график этой функции можно с помощью традиционных методов анализа функций. Результат такого построения показан на рисунке.



Как было отмечено выше, верхняя ветвь этой зависимости неустойчива, поэтому изображена пунктиром. Из анализа функции (10) следует, что максимальное напряжение, поддающееся измерению достигается при $\xi = 0,33$ и равно $U_{\max} \approx 65$ В. Минимальное измеримое напряжение рассчитывается при подстановке в функцию (10) минимально измеримого $x = \delta x$. В этом случае $U_{\min} \approx 12$ В.