

1. Электрический «черный ящик»: Емкостной датчик смещения

Конденсатор емкостью C является элементом цепи, в которой происходят релаксационные колебания с частотой f . Частота этих колебаний f зависит от емкости C и определяется по формуле

$$f = \frac{a}{C + C_s}$$

где a - некоторая постоянная, а C_s - так называемая паразитная емкость цепи. Частота f измеряется цифровым мультиметром.

Электрический «черный ящик» в этом эксперименте - это плоский конденсатор с параллельными пластинами (обкладками). Каждая обкладка представляет собой набор плоских «зубьев» одинаковой формы, нанесенных на деревянные пластины. Емкость этого конденсатора C можно изменять путем горизонтального смещения верхней пластины относительно нижней. Между пластинами находится диэлектрическая пленка.

Оборудование: релаксационная цепь, цифровой мультиметр, набор конденсаторов с известными емкостями, электрический «черный ящик» и батарейка.

Предупреждение: проверьте напряжение, даваемое батарейкой. Если оно меньше 9В, то попросите ее заменить. Не забудьте включить установку!

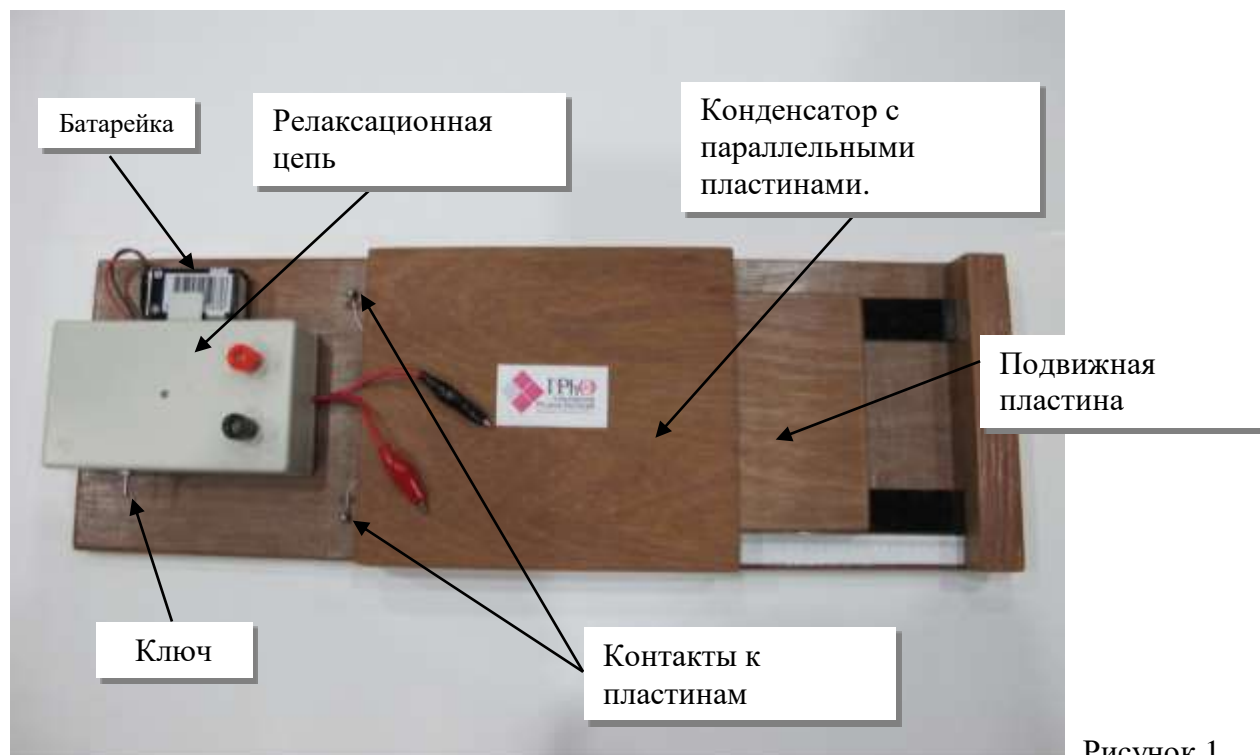


Рисунок 1

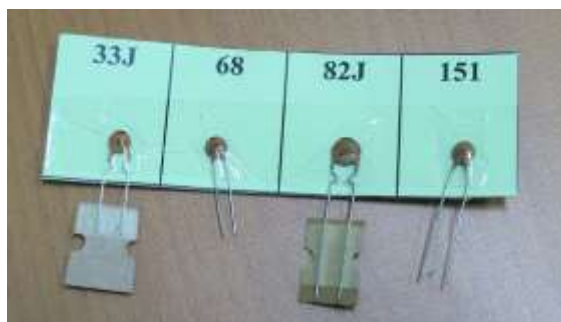


Рисунок 2. Набор конденсаторов.



Положение для
измерения частоты

Рисунок 3 Цифровой мультиметр.

Таблица 1. Емкости конденсаторов из предоставленного набора.

Маркировка	Емкость (пФ)
33J	34 ± 1
68	68 ± 1
82J	84 ± 1
151	150 ± 1

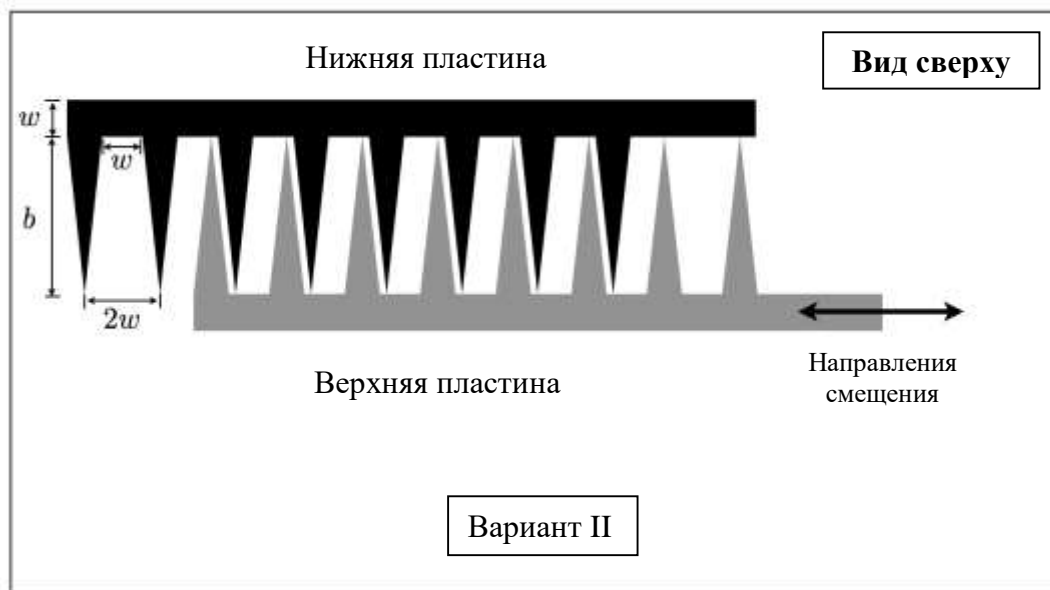
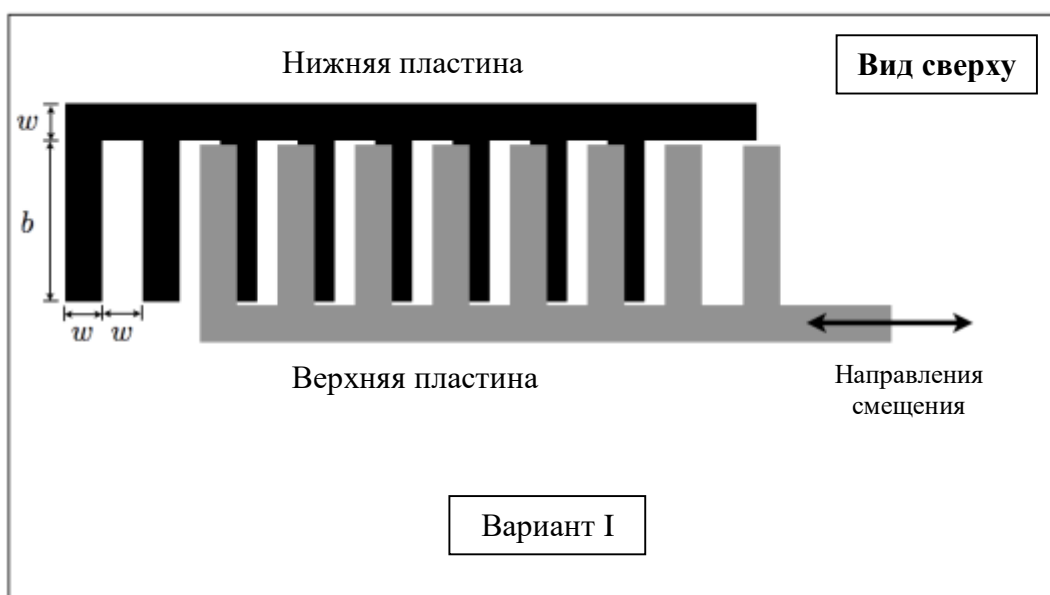
Часть 1. Калибровка. Экспериментально исследуйте зависимость частоты колебаний f от емкости подключенных конденсаторов. Для этого используйте конденсаторы из набора конденсаторов с известными емкостями. Используя полученные данные, постройте график подходящей зависимости, позволяющей найти a и C_s . Определите эти параметры.

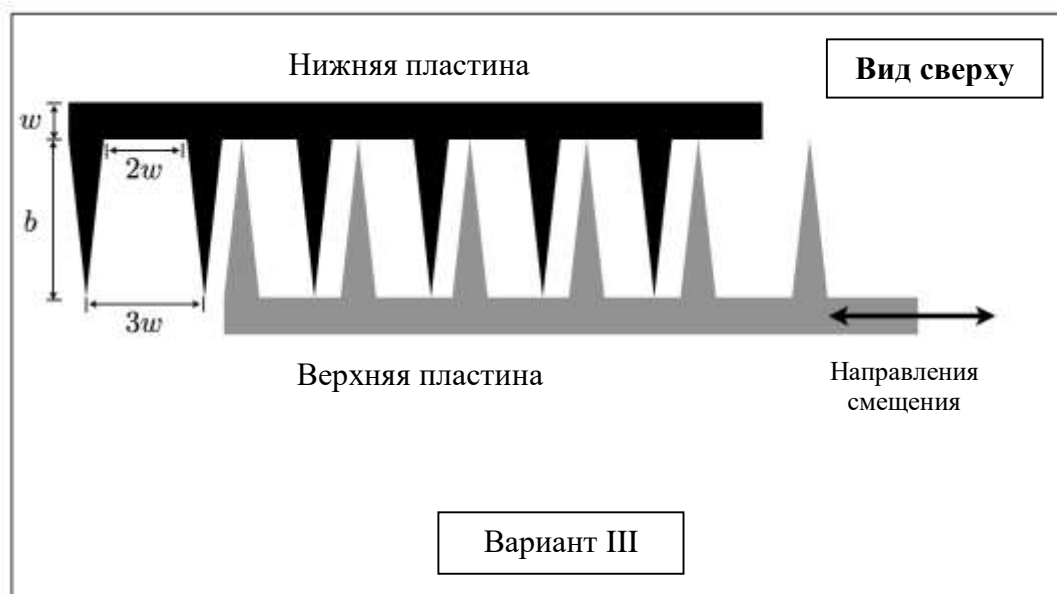
Расчет погрешностей не требуется.

[3.0 балла]

Часть 2. Определение формы зубьев на пластинах [6.0 баллов]

Возможны три варианта формы зубьев – I, II и III, показанные на рисунке ниже:





Для каждого варианта формы зубьев постройте качественные графики ожидаемых зависимостей емкости конденсатора от смещения верхней пластины.

Проведите реальные измерения зависимости частоты колебаний f от смещения верхней пластины x . Постройте график полученной зависимости, определите форму зубьев (из трех возможных вариантов, представленных выше). Определите геометрические размеры b и w .

Расстояние d между верхней и нижней пластинами равно 0.20 мм. Диэлектрическая проницаемость материала пленки между пластинами равна $K = 1.5$. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$.

Оценивать погрешности в данном пункте не требуется.

Часть 3. Разрешающая способность «цифровой линейки»

[1.0 балл]

При относительном смещении пластин емкость «черного ящика» изменяется по установленной закономерности. Этот факт можно использовать для измерения длины s с помощью мультиметра. Оцените из полученных в части 2 экспериментальных данных разрешающую способность вашей «цифровой линейки», то есть минимальное расстояние, которое может быть измерено на частотах близких к $f \approx 5 \text{ кГц}$.

Оценивать погрешности в данном пункте не требуется.

2. Механический «черный ящик»: цилиндр с шариком внутри

Небольшой массивный шарик массы m закреплен на расстоянии z от конца длинного полого цилиндра массы M . В цилиндре перпендикулярно его оси просверлены отверстия. Отверстия предназначены для подвешивания цилиндра в вертикальной плоскости на гвозде.

Проведите те измерения, которые необходимы для определения перечисленных ниже величин (схемы экспериментов и необходимое число измерений выбирайте самостоятельно). Определите эти величины и оцените погрешности их измерения.

- i. Положение центра масс цилиндра с шариком внутри.

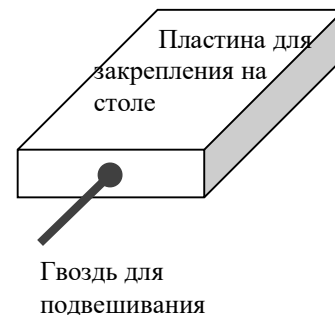
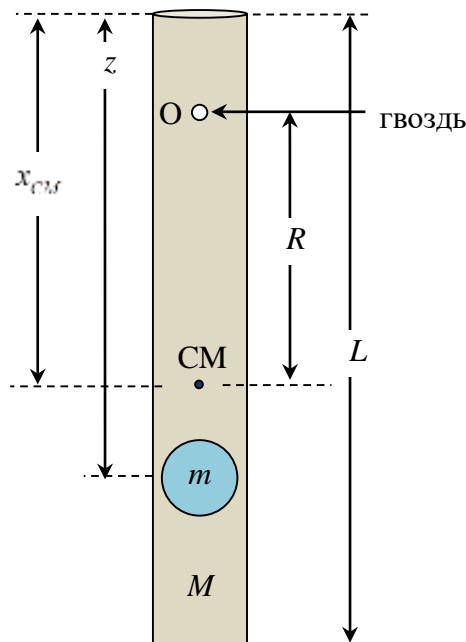
Нарисуйте схему вашего эксперимента по нахождению центра масс [1.0 балл]

- ii. Расстояние z [3.5 балла]

- iii. Отношение $\frac{M}{m}$ [3.5 балла]

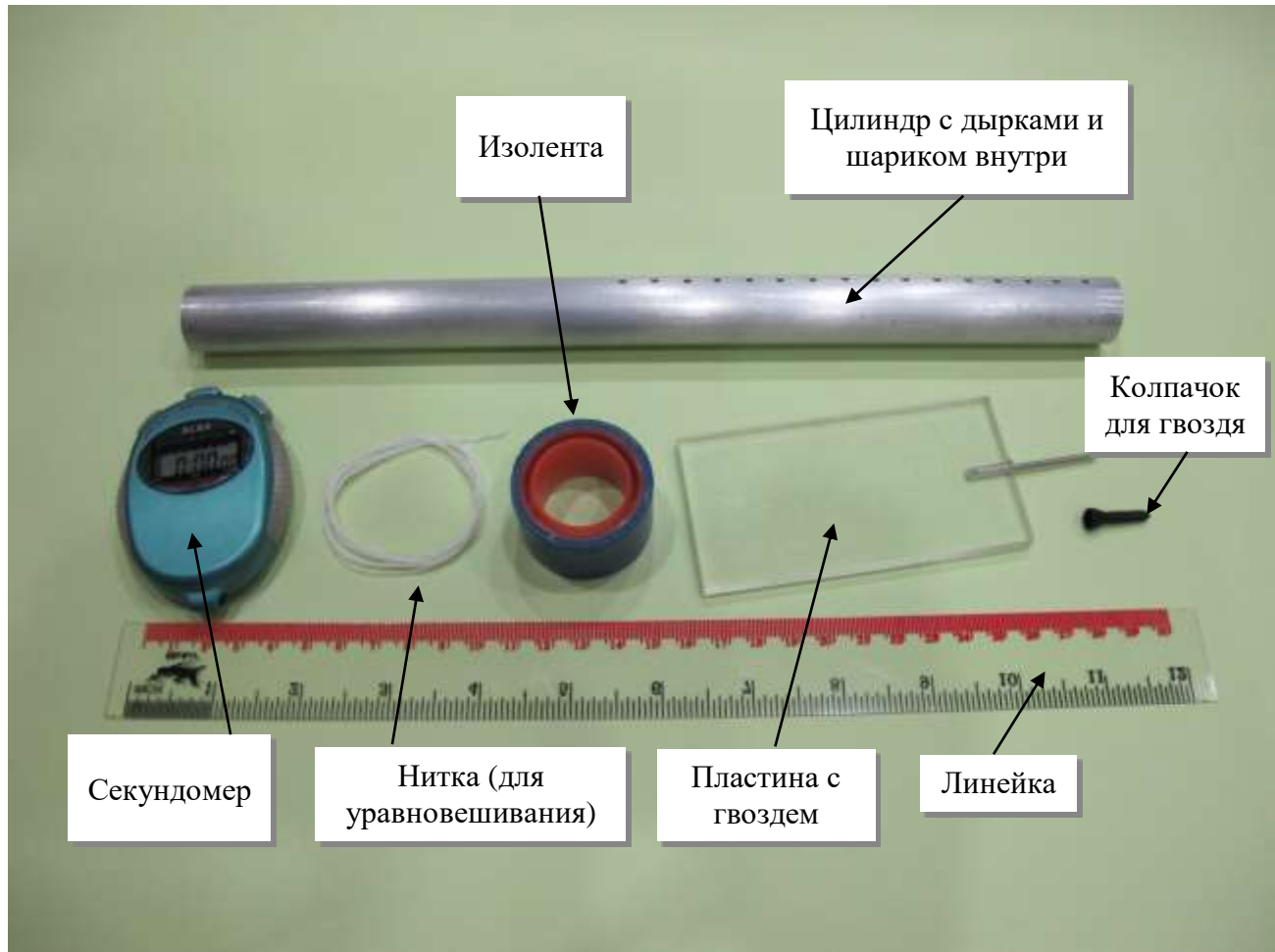
- iv. Ускорение свободного падения, g . [2.0 балла]

Оборудование: цилиндр с отверстиями и шариком внутри, пластина с гвоздем, колпачок для гвоздя, линейка, секундомер, нитка, карандаш и изолента.



x_{CM} расстояние от конца цилиндра до центра масс.

R расстояние от точки подвеса до центра масс.



Предупреждение: Гвоздь острый. Надевайте на него колпачок для вашей безопасности.

Полезная информация:

1. Уравнение движения такого физического маятника имеет вид,

$$\{(M + m)R^2 + I_{CM}\} \frac{d^2\theta}{dt^2} \approx -g(M + m)R\theta,$$

где I_{CM} - момент инерции цилиндра с шариком относительно оси, проходящей через центр масс и перпендикулярной цилиндру, θ - угол отклонения от вертикали.

2. Момент инерции пустотелого цилиндра длины L и массы M относительно оси, проходящей через центр масс и перпендикулярной цилиндру, считайте примерно равным

$$\frac{1}{3}M\left(\frac{L}{2}\right)^2.$$

3. Теорема Штейнера: $I = I_{\text{centre of mass}} + Mx^2$, где x – расстояние от оси вращения до центра масс тела, M – полная масса тела.
4. Считайте шарик материальной точкой, расположенной на оси цилиндра.
5. Считайте цилиндр однородным и пренебрегайте массами заглушек на его торцах.