

# Республиканская физическая олимпиада 2026 года (3 этап)

## Экспериментальный тур

### 11 класс.

1. Полный комплект состоит из двух заданий, на выполнение каждого отводится два с половиной часа. Сдавать работу следует после выполнения обоих заданий. Задания могут быть не равноценными, поэтому ознакомьтесь с условиями обеих задач.
2. Ознакомьтесь с перечнем оборудования – проверьте его наличие и работоспособность. **При отсутствии оборудования или сомнении в его работоспособности немедленно обращайтесь к представителям оргкомитета.**
3. При оформлении работы каждую задачу и каждую ее часть начните с новой страницы.
4. Все графики рекомендуем строить на листе миллиметровой бумаги, выданном для выполнения каждого задания. Обязательно пронумеруйте и подпишите все построенные графики. Листы миллиметровой бумаги вложите в свою тетрадь.
5. Подписывать рабочие страницы и графики запрещается.
6. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, инженерный калькулятор.
7. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к организаторам.



**Желаем успехов в выполнении данных заданий!**

Данный комплект заданий содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия двух заданий (6 стр.).

### Задача 11\_1. ЭДС гальванического элемента

В данной задаче Вам предстоит исследовать зависимость ЭДС, создаваемую гальваническими элементами от времени. Вам необходимо будет провести исследование для двух гальванических элементов (далее ГЭ):

- 1) Zn – водный раствор CuSO<sub>4</sub> – Cu,
- 2) Fe – водный раствор CuSO<sub>4</sub> – Cu.

**Оборудование:** Водный раствор сульфата меди (50 – 60мл, концентрация по массе 10%) налитый в пластмассовый стаканчик (60мл), стаканчик закрыт плотно прилегающей пробкой из экструдированного пенопласта с отверстиями для электродов, электроды (по 5 шт. каждого вида: медные – кусочки проволоки; цинковые - гвозди стальные оцинкованные; железные – гвозди из обычной стали без защитного покрытия), мультиметр электронный с двумя проводами-щупами, два провода с зажимами «крокодильчик», секундомер электронный с памятью 10-ти этапов, кусочек наждачной бумаги (5x5см, нулёвка) для зачистки электродов (*внимание* оцинкованные гвозди зачищать не нужно, иначе сорвётся цинковое покрытие, эти гвозди в качестве электродов используются один раз, зачищаются при необходимости медные и железные электроды, если на них видны следы окисления, после зачистки электроды протереть салфеткой), салфетки (5 шт.), штатив с лапкой (для удержания стаканчика с электролитом, используется при необходимости).

*Погрешности в данной задаче вычислять и указывать не нужно!*

#### Часть 1. Наблюдения

Проведите пробный эксперимент по исследованию первого ГЭ. Вставьте в отверстия в пробке оцинкованный гвоздь и медную проволоку (пробка должна быть вынута из стаканчика с электролитом, длина той части электродов, которая погружается в электролит должна составлять около 5см, часть электродов, к которой подключаются провода мультиметра, должна составлять 0,5 – 1,0см). Установите на мультиметре переключатель в режим измерения напряжения при постоянном токе на предел 2В. Соедините клеммы мультиметра с электродами ГЭ с помощью проводов-щупов и проводов с зажимами «крокодильчик». Включите мультиметр. После этого опустите электроды в стаканчик с электролитом и сразу включите секундомер. Наблюдайте как изменяется значение ЭДС гальванического элемента с течением времени (наблюдение проведите в течении 5 – 6 минут).

1.1 Нарисуйте электрическую схему экспериментальной установки. На схеме укажите вид электрода (Zn, Cu), так же укажите какой электрод является положительным полюсом ГЭ, а какой отрицательным. (*Подсказка. Данный пункт можно выполнять в процессе наблюдения*).

1.2 Укажите начальное значение ЭДС  $\mathcal{E}_{01}$ , максимальное значение ЭДС  $\mathcal{E}_{max1}$ , значение ЭДС по окончании наблюдения  $\mathcal{E}_{end1}$ . Какие изменения произошли с цинковым электродом?

Проведите пробный эксперимент по исследованию второго ГЭ. Выньте пробку из стаканчика. Выньте из пробки оцинкованный гвоздь и вставьте гвоздь из обычной стали, медный электрод можно оставить тем же. Мультиметр оставьте в том же режиме измерений. Соедините клеммы мультиметра с электродами ГЭ. Включите мультиметр. После этого постараитесь одновременно опустить электроды в стаканчик с электролитом и включить секундомер. Наблюдайте как изменяется значение ЭДС гальванического элемента с течением времени (наблюдение проведите в течении 5 – 6 минут).

1.3 Нарисуйте электрическую схему экспериментальной установки. На схеме укажите вид электрода (Fe, Cu), так же укажите какой электрод является положительным полюсом ГЭ, а какой отрицательным.

1.4 Укажите начальное значение ЭДС  $\mathcal{E}_{02}$ , максимальное значение ЭДС  $\mathcal{E}_{max2}$ , значение ЭДС по окончании наблюдения  $\mathcal{E}_{end2}$ . Какие изменения произошли с железным электродом?

## Часть 2. Эксперимент

2.1 Для первого ГЭ исследуйте зависимость ЭДС от времени  $\mathcal{E}_1(\tau)$  на убывающем интервале значений ЭДС. Результаты представьте таблично. (*Используйте новый цинковый электрод, медный электрод, если на нём нет следов окисления, можно оставить тем же.*) Секундомер включите сразу после достижения ЭДС максимального значения. Заранее продумайте через какие интервалы значений ЭДС вы будете фиксировать моменты времени или наоборот, через какие временные интервалы вы будете определять значение ЭДС. (Экспериментальных точек здесь нужно получить больше 10, памяти этапов на секундомере не хватит, после фиксирования 10-го этапа быстрым двукратным нажатием на кнопку секундомера «старт-стоп» вы можете перевести отсчёт времени из скрытого режима в открытый режим на экран секундомера. Если вы так ещё не проводили измерений, то сначала потренируйтесь)

2.2 Для второго ГЭ исследуйте зависимость ЭДС от времени  $\mathcal{E}_2(\tau)$  на возрастающем интервале значений ЭДС. Результаты представьте таблично. (*Используйте новый железный электрод*). Постараитесь одновременно опустить электроды в стаканчик с электролитом и включить секундомер. Заранее продумайте через какие интервалы значений ЭДС вы будете фиксировать моменты времени. В данном эксперименте памяти этапов секундомера будет достаточно. Однако с первой попытки у вас может не получиться снять показания. Если в ходе эксперимента у вас произошёл сбой, то проводите его заново, предварительно заменив железный электрод. Если вы использовали все железные электроды, то берите любой использованный, вытрите его салфеткой, зачистите наждачной бумагой и опять протрите салфеткой. После этого можете использовать его в эксперименте.

### Часть 3. Анализ

3.1 Постройте график зависимости  $\mathcal{E}_1(\tau)$ . Определите временные интервалы и интервалы значений ЭДС для которых выполняется линейная зависимость  $\mathcal{E}_1(\tau)$  (для первого ГЭ). Составьте уравнение зависимости  $\mathcal{E}_1(\tau)$  на первом временном интервале. Укажите единицы измерения и физический смысл коэффициента и свободного слагаемого, входящих в составленное Вами уравнение, вычислите их средние значения.

3.2 Постройте график зависимости  $\mathcal{E}_2(\tau)$ . Определите временной интервал, на котором происходит быстрое увеличение значения ЭДС  $\mathcal{E}_2$ . Покажите, что зависимость ЭДС от времени  $\mathcal{E}_2(\tau)$  подчиняется уравнению:

$$\mathcal{E}_2 = c - k\tau^n \quad (1)$$

Оцените значение константы  $c$ , укажите её физический смысл. Определите показатель степени  $n$ . Укажите единицу измерения коэффициента  $k$ .

3.3 Почему значения  $\mathcal{E}_{end1}$  и  $\mathcal{E}_{end2}$  указанные в п.1.2 и п.1.4 близки по значению?

### Задача 11\_2. Крутильные колебания

В данной задаче Вам предстоит исследовать горизонтальные и вертикальные крутильные колебания.

**Оборудование:** экспериментальная установка (рис. 1, включает: штатив (из старого оборудования) с лапкой и двумя винтовыми зажимами, дополнительная штанга от штатива для горизонтальной перекладины (можно из оборудования «Актива БГУ») пружина (из оборудования «Актива БГУ», длина 5,0 см, диаметр, 1,3 см), зажим канцелярский, тонкий стержень (алюминиевая или стальная упругая проволока, длина 80 – 90 см, диаметр не менее 3 – 5 мм), два груза с крючками по 50 г (можно гирьки от весов) кусочек пластилина (для крепления грузов на проволоке если необходимо) мерная лента, электронный секундомер.



Рисунок 1

#### Часть 0. Наблюдения (*не оценивается*)

Подвесьте к горизонтальному стержню два груза как показано на рис.1 (после подвешивания грузов, стержень должен располагаться горизонтально). Закрепите крючки грузов кусочками пластилина, иначе при вертикальных колебаниях грузы могут соскользнуть со стержня.

Возьмитесь за края стержня обеими руками и поверните его на небольшой угол в горизонтальной плоскости (отведите края стержня на 5 – 10 см в сторону от положения равновесия) и отпустите. Пронаблюдайте горизонтальные крутильные колебания. Пружина при таких колебаниях должна сохранять вертикальное положение.

Отклоните стержень в вертикальной плоскости на небольшой угол (приподнимите один из краёв стержня на 3 – 5 см вверх от положения равновесия) и отпустите. Пронаблюдайте вертикальные крутильные колебания. Пружина при таких колебаниях должна изгибаться только в плоскости колебаний стержня.

## Часть 1. Теоретическая

Введём обозначения:

$T$  – период колебаний,  
 $l$  – расстояние между центрами грузов,  
 $L$  – длина стержня,  
 $k$  – модуль кручения пружины (коэффициент её жёсткости «на кручение»),  
 $m_g$  – масса одного груза,  
 $m_c$  – масса стержня.

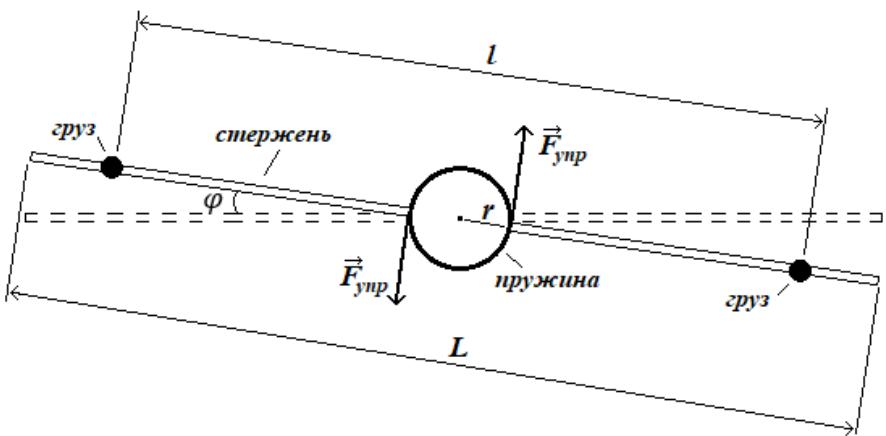


Рисунок 2. Крутильный маятник. Вид сверху

Иные необходимые вам промежуточные величины вводите и описывайте самостоятельно.

При горизонтальных крутильных колебаниях (рис.2) Момент сил упругости  $M_{\text{упр}}$  пропорционален углу закручивания пружины  $\varphi$ :

$$M_{\text{упр}} = -k\varphi \quad (1).$$

Второй закон Ньютона для рассматриваемого случая примет вид:

$$J\varepsilon = M_{\text{упр}} \quad (2),$$

где:  $\varepsilon$  – угловое ускорение грузов и стержня ( $[\varepsilon] = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ ),  $J$  – суммарный момент инерции грузов и стержня.

$$J = J_g + J_c \quad (3).$$

Момент инерции стержня в данном случае определяется:

$$J_c = \frac{1}{12} m_c L^2 \quad (4).$$

Грузы можно считать материальными точками. Момент инерции материальной точки  $J_{\text{мт}}$  массой  $m$ , которая движется по окружности радиуса  $R$  определяется:

$$J_{\text{мт}} = mR^2 \quad (5).$$

**1.1** Получите формулу для суммарного момента инерции грузов и стержня через их массы, длину стержня  $L$  и расстояние между центрами грузов  $l$ .

**1.2** Покажите, что период крутильных колебаний данной системы тел будет определяться уравнением:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{1}{2}m_g l^2 + \frac{1}{12}m_c L^2}{k}} \quad (6).$$

**Подсказка.**

1) В рассмотренной колебательной системе, характеризующие её физические величины, будут аналогичны физическим величинам, характеризующим пружинный

*маятник: угловое ускорение – ускорению тела, угол закручивания пружины – координате тела, суммарный момент инерции стержня и грузов – массе тела.*

2) Эксперименты в частях 2 и 3 можно выполнять «одновременно».

3) Масса каждого груза  $m_g = 50,0\text{г}$

## Часть 2. Эксперимент. Горизонтальные крутильные колебания

**2.1** Измерьте длину проволоки  $L$ .

**2.2** Исследуйте зависимость периода горизонтальных крутильных колебаний от расстояния между центрами грузов  $T(l)$  экспериментально. Результаты представьте таблично. Кратко опишите как вы измеряли период.

**2.3** Линеаризируйте уравнение (6). Укажите какие величины в полученном вами линеаризированном уравнении будут аналогичны величинам  $y$ ,  $b$ ,  $a$ ,  $x$  в линейном уравнении  $y = b + ax$  (7).

**2.4** Постройте график линеаризованной зависимости  $T(l)$ .

**2.5** На основе результатов эксперимента определите период горизонтальных крутильных колебаний, когда  $l \rightarrow 0$ . Вычислите погрешности.

**2.6** На основе результатов эксперимента определите модуль кручения пружины  $k$ . Вычислите погрешности.

**2.7** На основе результатов эксперимента определите массу стержня  $m_c$ . Вычислите погрешности.

## Часть 3. Эксперимент. Вертикальные крутильные колебания

**3.1** Исследуйте зависимость периода вертикальных крутильных колебаний от расстояния между центрами грузов  $T(l)$  экспериментально. Результаты представьте таблично.

**3.2** Какая из приведенных ниже зависимостей  $T(l)$  при вертикальных крутильных колебаниях будет выполняться:

$$T = 2\pi\sqrt{b_1 + a_1 l^2} \quad (8) \quad \text{или} \quad T = 2\pi\sqrt{b_2 + a_2 l} \quad (9)?$$

Здесь  $b_1$ ,  $a_1$ ,  $b_2$ ,  $a_2$  некоторые константы.

**3.3** На основе результатов эксперимента определите среднее значение периода вертикальных крутильных колебаний, когда  $l \rightarrow 0$ . Погрешности в данном пункте вычислять не нужно.