

1. ЭДС гальванического элемента

Условие

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_4 – Cu, 2) Fe – водный раствор CuSO_4 – 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 «крокодил», секундомер электронный с памятью 10-ти этапов, кусочек наждачной бумаги (5×5 см, нулёвка) для зачистки электродов (*внимание* оцинкованные гвозди зачищать не нужно, иначе сотрёте 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 «крокодил». 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 постарайтесь одновременно опустить электроды в стаканчик с электролитом и включить секундомер. Наблюдайте как изменяется значение ЭДС гальванического элемента с течением времени (наблюдение проведите в течение 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).* Постарайтесь 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?

Решение

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_4 – Cu, 2) Fe – водный раствор CuSO_4 – 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 «крокодилычик», секундомер электронный с памятью 10-ти этапов, кусочек наждачной бумаги (5х5см, нулёвка) для зачистки электродов (*внимание* оцинкованные гвозди зачищать не нужно, иначе сотрёте 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 «крокодилычик». 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 постарайтесь одновременно опустить электроды в стаканчик с электролитом и включить секундомер. Наблюдайте как изменяется значение ЭДС гальванического элемента с течением времени (наблюдение проведите в течение 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).* Постарайтесь 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:

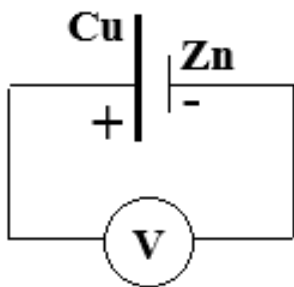
$$\mathcal{E}_2 = c - k\tau^n. \quad (1)$$

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

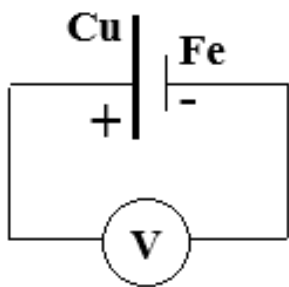
3.3 Почему значения $\mathcal{E}_{end1}$ и $\mathcal{E}_{end2}$ указанные в п.1.2 и п.1.4 близки по значению?

Задача 11_1. ЭДС гальванического элемента (*решение*) Часть 1. Наблюдения

1.1	1.2
	$\mathcal{E}_{01} = 0,65\text{В}$ $\mathcal{E}_{max1} = 1,02\text{В}$ $\mathcal{E}_{end1} = 0,51\text{В}$ Изменения с цинковым электродом: на цинковом электроде осаждается медь.
Рисунок 1	



1.3	1.4
	$\mathcal{E}_{02} = 0,18\text{В}$ $\mathcal{E}_{max2} = 0,53\text{В}$ $\mathcal{E}_{end2} = 0,52\text{В}$ Изменения с железным электродом: на железном электроде осаждается медь.
Рисунок 2	

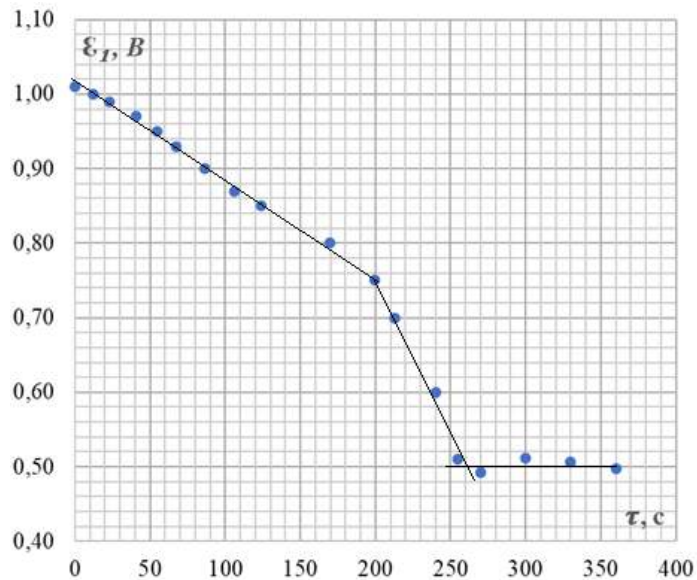


Часть 2. Эксперимент

2.1 Таблица 1. Зависимость $\mathcal{E}_1(\tau)$		2.2 Таблица 2. Зависимость $\mathcal{E}_2(\tau)$	
τ , с	$\mathcal{E}_1$, В	τ , с	$\mathcal{E}_2$, В
0	1,010	2,91	0,350
12,3	1,000	4,58	0,390
22,7	0,990	6,85	0,420
40,1	0,970	8,52	0,440
55,0	0,950	9,73	0,450
67,8	0,930	12,31	0,460
86,2	0,900	14,88	0,470
106	0,870	25,37	0,480
124	0,850	38,26	0,485
170	0,800	57,13	0,490
200	0,750	95,48	0,495
213	0,700		
240	0,600		
255	0,510		
270	0,492		
300	0,512		
330	0,506		
360	0,497		

Часть 3. Анализ

3.1 **График 1. Зависимость $\mathcal{E}_1(\tau)$ **



По графику видим, что линейная зависимость $\mathcal{E}_1(\tau)$ выполняется на трёх временных интервалах: первый от 0 до 200с, на данном интервале $\mathcal{E}_1$ убывает от 1,01В до 0,75В; второй от 200с до 260с, здесь $\mathcal{E}_1$ убывает от 0,75В до 0,50В; третий от 255с до 360с, здесь $\mathcal{E}_1$ изменяется случайным образом вблизи значения 0,50В.

На первом временном интервале уравнение зависимости $\mathcal{E}_1(\tau)$ имеет вид:

$$\mathcal{E}_1(\tau) = b - a\tau. \quad (2)$$

$$[a] = 1 \frac{\text{В}}{\text{с}}$$

****Физический смысл коэффициента a .**** Коэффициент a показывает на сколько уменьшается $\mathcal{E}_1$ за единицу времени.

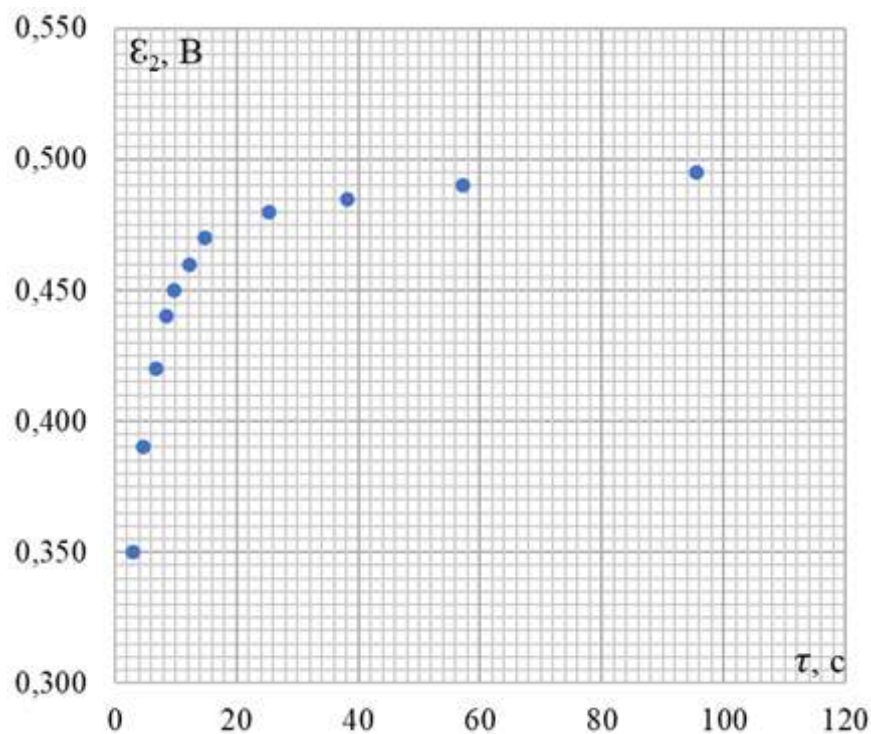
$$[b] = 1 \text{ В}$$

****Физический смысл b .**** Свободное слагаемое b численно равно значению $\mathcal{E}_1$ в момент начала отсчёта времени.

Средние значения a и b получим, применяя МНК (можно применять простую графическую обработку (ПГО)).

$$\langle a \rangle = 1,3 \frac{\text{мВ}}{\text{с}}, \quad \langle b \rangle = 1,02 \text{ В}$$

3.2 **График 2. Зависимость $\mathcal{E}_2(\tau)$ **



Из графика видим, что быстрое увеличение значения ЭДС $\mathcal{E}_2$ происходит на временном интервале от 0 до 20с. Для того чтобы показать, что на данном интервале зависимость $\mathcal{E}_2(\tau)$ подчиняется уравнению $\mathcal{E}_2 = c - k\tau^n$ (1), линеаризируем данное уравнение. Представим уравнение (1) в виде:

$$c - \mathcal{E}_2 = k\tau^n. \quad (3)$$

Прологарифмируем уравнение (3):

$$\ln(c - \mathcal{E}_2) = \ln k + n \cdot \ln \tau. \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой линейную зависимость $\ln(c - \mathcal{E}_2)(\ln \tau)$. Константа c равна значению ординаты асимптоты, к которой стремиться $\mathcal{E}_2$. Из графика 2 видим, что $\mathcal{E}_2$ стремиться к значению 0,50В, следовательно, можно оценить, что $c = 50$ В. **Физический смысл c .

Константа c есть значение, к которому стремиться ЭДС второго гальванического элемента.

Составим таблицу значений и построим график зависимости $\ln(c - \mathcal{E}_2)(\ln \tau)$.

$$\mathcal{E}_2 = c - \frac{k}{\tau}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что

$$\left[\frac{k}{\tau} \right] = 1 \text{ В},$$

следовательно

$$[k] = 1 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

3.3 В процессе работы первого ГЭ происходит растворение цинкового покрытия гвоздя. Резкое уменьшение $\mathcal{E}_1$ на втором временном интервале (гр.1) и горизонтальный участок графика 1 свидетельствует о том, что цинковое покрытие растворилось, и теперь в гальваническом элементе не цинковый и медный электроды, а железный и медный. Иными словами, первый ГЭ преобразовался во второй ГЭ. Поэтому значения $\mathcal{E}_{end1}$ и $\mathcal{E}_{end2}$ указанные в п.1.2 и п.1.4 близки по значению.