

10 Класс. . Диффузия соли. Приборы и оборудование

Условие

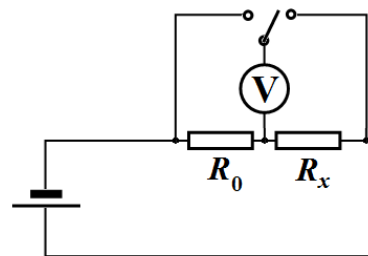
10 Класс. Задание 1. Диффузия соли.

Приборы и оборудование: источник тока (ЛИП, или батарейка 4,5 В), мультиметр, резистор сопротивлением 2,0 кОм, ключ двухполюсный, соединительные провода, две канцелярских скрепки, две полоски картона, тарелка одноразовая, стакан, чайная ложка, секундомер, линейка, вода, соль кухонная, скотч, салфетки бумажные, ножницы.

Намокший картон является проводником электрического тока. Если его посолить, то его электрическое сопротивление заметно падает. Вам предстоит измерить сопротивление картона. Также по измерению изменяющегося сопротивления изучить процесс диффузии соли в мокром картоне.

Внимание! Эксперимент по изучению диффузии длится не менее 20 минут. Планируйте свое время!

Для измерения сопротивления используйте электрическую схему, показанную на рисунке. Здесь R_0 - резистор с известным сопротивлением, R_x - измеряемое сопротивление. **Часть 0.** Запишите формулу, по которой вы будете рассчитывать неизвестное сопротивление в приведенной схеме. Укажите, какие величины вы будете измерять.



Картонные полоски подключайте в цепь, используя канцелярские скрепки в качестве контактов. Следите, чтобы они были крепко прижаты к картону. При измерениях картонную полоску размещайте в тарелке. После каждой серии экспериментов с солью промывайте и протирайте тарелку, следите, чтобы ни соль, ни вода в тарелке не оставались.

Часть 1. Сопротивление мокрого картона.

Хорошо намочите полоску картона длиной 10 см в чистой воде. Для этого можете налить воду в тарелку и погрузить в нее полоску. Время намокания должно быть не менее 3-4 минут. Не забудьте слить воду перед измерениями сопротивления. Сначала проведите все измерения этой части, а потом приступайте к их обработке – иначе полоска высохнет.

1.1 Измерьте зависимость сопротивления полоски картона от расстояния между контактами (скрепками). Постройте график полученной зависимости. *Рекомендуем передвигать только одну скрепку, оставляя вторую на месте. Начинать измерения с малых расстояний.* 1.2 После того, как расстояние между скрепками стало максимальным посолите ее по всей длине – соли не жалейте. Измерьте сопротивление соленой полоски длиной

максимальной длины. После того, как вы насыпали соли, подождите несколько минут – дайте соли впитаться.

В этом пункте расстояние между контактами изменять не надо.

1.3 По полученным данным рассчитайте с максимальной точностью сопротивление одного сантиметра мокрой, но не соленой полоски.

1.4 Рассчитайте сопротивление одного сантиметра мокрой и соленой картонной полоски. *Не забудьте оценить погрешности ваших результатов!*

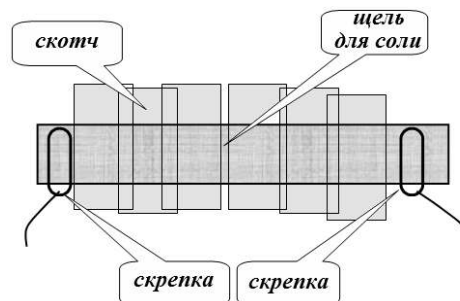
Часть 2.

Внимательно ознакомьтесь с заданием этой части: повторного эксперимента может и не быть! Разберитесь с тем, что вам нужно будет делать и, только после этого, приступайте к измерениям!

Используйте вторую полоску. Хорошо намочите ее, подключите к ней контакты (скрепки) на расстоянии около 5 см. Положите ее на дно тарелки и почти полностью закройте ее скотчем, но так, чтобы на середине полоски оставалась небольшая щель шириной около 2 мм.

2.1 Измерьте электрическое сопротивление полоски после ее закрепления на дне

Капните на щель немного воды, так, чтобы она покрыла ее. Насыпьте на щель горочку соли, так, чтобы она полностью накрыла щель.



2.2 Измерьте зависимость сопротивления между контактами от времени (не менее 20 минут).

2.3 Постройте график полученной зависимости. Качественно объясните его поведение.

При диффузии, расстояние x , на которое смещаются диффундирующие частицы (в данном случае – ионы соли) связано со временем приближенным уравнением

$$x^2 = 2Dt.$$

2.4 Проверьте выполнимость этого закона в проведенном вами эксперименте. Оцените коэффициент диффузии соли D .

Здесь можно обойтись без оценки погрешности.

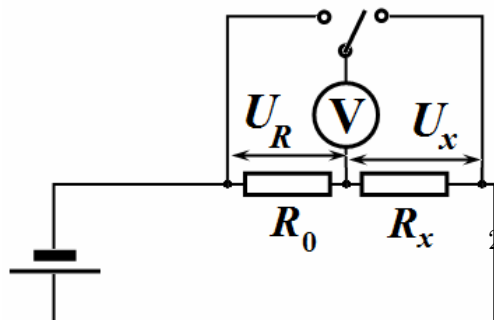
Решение

Задание 10.1. Диффузия соли.

1.1 Так как при последовательном соединении проводников сила тока одинакова через каждый из них, то справедливо соотношение

$$\frac{U_R}{R_0} = \frac{U_x}{R_x},$$

10 класс. Экспериментальный тур.



из которой следует расчетная формула для измеряемого сопротивления

$$R_x = R_0 \frac{U_x}{U_R} \quad (1)$$

Таким образом, для измерения неизвестного сопротивления необходимо измерить напряжения на измеряемом и известном резисторах.

При временных измерениях можно измерять только напряжение U_x , а напряжение на резисторе рассчитывать по формуле $U_R = U_0 - U_x$, где U_0 - напряжение источника¹, тогда формула (1) преобразуется к

$$R_x = R_0 \frac{U_x}{U_0 - U_R} \quad (2)$$

Часть 1. Сопротивление мокрого картона.

Результаты измерения сопротивления полоски в зависимости от расстояния между контактами приведены в Таблице 1. Там же представлены результаты расчета сопротивлений. Справа показан график полученной зависимости.

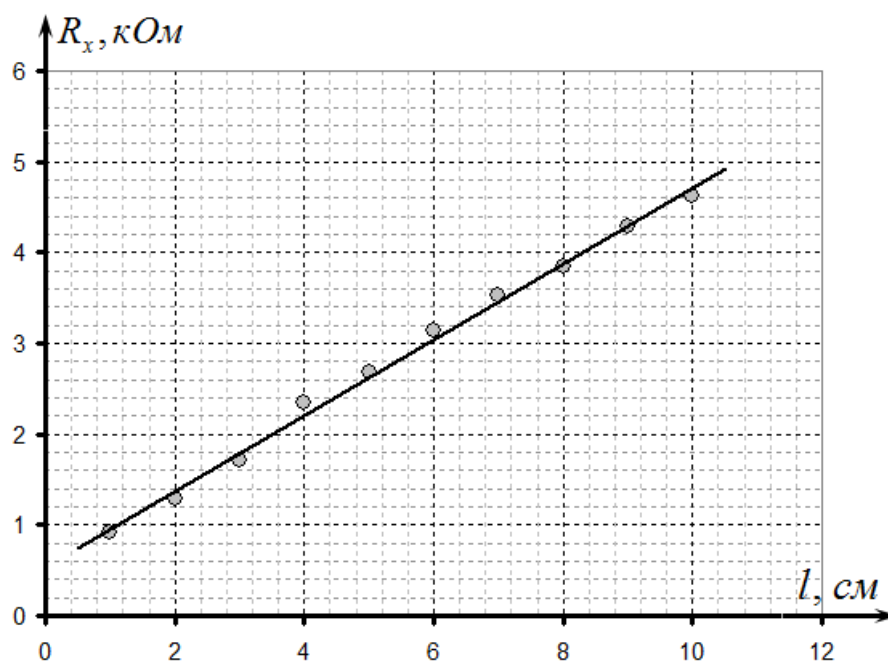


Таблица 1.

l , см	U_x , В	R_x , кОм
1	1,42	0,92
2	1,76	1,28
3	2,08	1,72
4	2,43	2,35
5	2,58	2,69
6	2,75	3,14
7	2,87	3,52
8	2,96	3,84
9	3,07	4,29
10	3,14	4,62

Расчет по МНК для линейной зависимости $R_x = al + b$ дал следующие значения параметров этой зависимости

$$a = (0,42 \pm 0,02) \frac{\text{кОм}}{\text{см}}, \quad b = (0,54 \pm 0,12) \text{кОм}$$

¹ В своих измерениях мы использовали стабилизированный источник, поэтому данные приведены только для напряжения U_x , расчеты проведены по формуле (2).

Заметное постоянное сопротивление b скорее всего, связано с сопротивлением подводящих контактов.

Параметр a дает искомое сопротивление 1 сантиметра мокрого картона.

Измеренное сопротивление добротнo посоленной картонной полоски оказалось равным $R_1 = 0,011 \frac{\text{кОм}}{\text{см}}$, что значительно (в 50 раз!) меньше сопротивления полоски без соли.

Часть 2.

Так как сопротивление «соленой» полоски значительно меньше несоленой, то можно считать, что та часть картона до которой в следствии диффузии дошла соль имеет нулевое сопротивление. Иными словами сопротивление определяется только оставшейся несоленой частью. Далее, в 1 части было показано, что сопротивление полоски пропорционально ее длине. Поэтому будет выполняться соотношение

$$\frac{R_0 - R}{R_0} = \frac{l_0 - l}{l_0} = \frac{x_c}{l_0} = \eta \quad (3)$$

где x - длина участка полоски, до которой дошла соль, η - отношение длины просолившейся части к длине полоски (или размер просолившейся части в относительных единицах). Тем самым по измерению зависимости сопротивления от времени можно изучать диффузионное движение соли.

В таблице 2 приведены результаты измерений зависимости сопротивления от времени и результаты расчетов величины η (начальное сопротивление равнялось 0,66 кОм). Рядом показан график полученной зависимости.

Таблица 2.

t , мин	ит U_x , В	R_x , кОм	η
1	711	0,38	0,43
2	687	0,36	0,46
3	675	0,35	0,47
4	665	0,35	0,48
5	658	0,34	0,48
6	651	0,34	0,49
7	648	0,34	0,49
8	643	0,33	0,50
9	636	0,33	0,50
10	630	0,33	0,51
11	627	0,32	0,51
12	623	0,32	0,52
13	617	0,32	0,52
14	613	0,32	0,52
15	607	0,31	0,53
16	601	0,31	0,53
17	593	0,30	0,54
18	584	0,30	0,55
19	581	0,30	0,55
20	573	0,29	0,56
21	567	0,29	0,56
22	563	0,29	0,57
23	558	0,28	0,57

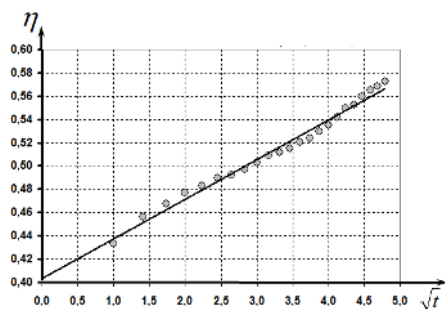
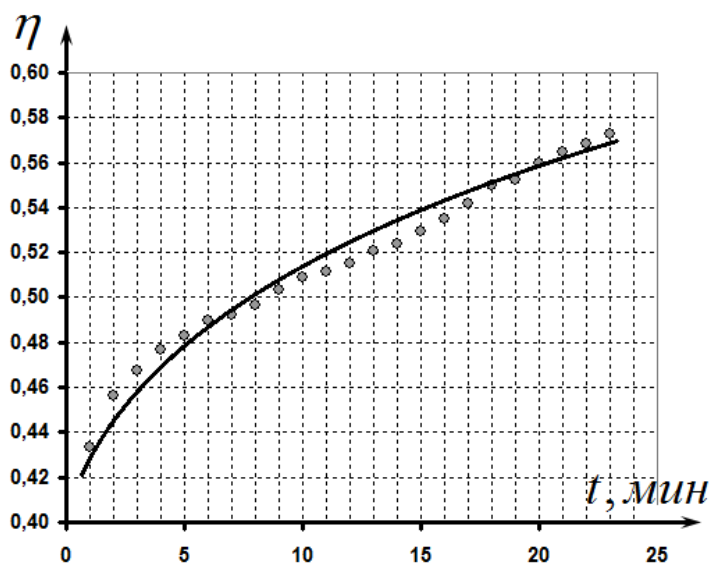


График похож на корневую зависимость. Для проверки этого предположения можно построить зависимость смещения от $\sqrt{t}$. Этот график показан справа. Видно, что полученная зависимость действительно близка к прямо пропорциональной, что подтверждает приведенный в условии закон диффузии.

Согласно этому закону ширина просо-
лившейся полосы (с учетом того, что
диффузия идет в обе стороны) равна

$$x = \sqrt{4Dt}$$

Следовательно, коэффициент наклона
приведенного графика определяется формулой

$$a = \frac{\Delta\eta}{\Delta(\sqrt{t})} = \frac{2}{l_0} \sqrt{D} \quad (3)$$

Из которой следует, что коэффициент диффузии может быть оценен, как $D = \frac{a^2 l_0^2}{4}$.

Найденной значение коэффициента наклона $a = 0,034$ (время в минутах) дает следующее значение коэффициента диффузии

$$D = \frac{0,034^2 \text{мин}^{-1} \cdot 5^2 \text{см}^2}{4} = \frac{0,034^2 \frac{1}{60} \text{с}^{-1} \cdot 5^2 \cdot 10^{-4} \text{м}^2}{4} = 1,2 \cdot 10^{-8} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

¹, В своих измерениях мы использовали стабилизированный источник по этому данные приведены только для напряжения U, расчеты проведены по формуле (2). x