

## Условие

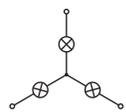


Рис. 4

Внутри «серого» ящика находятся три одинаковые батарейки, включенные в лучи «звезды». Выводы помечены буквами А, В, С. Точка соединения трёх ламп изолирована.

1. Убедитесь, что яркости свечения (сопротивления) ламп действительно одинаковы. Поясните, как вы это установили.
2. Исследуйте схему соединения батареек в «сером» ящике с помощью трёх одинаковых ламп, соединённых «звездой» (рис. 4). Укажите схему соединения батареек внутри «серого» ящика.

*Примечание.* Батарейка имеет внутреннее сопротивление, то есть её можно представить как идеальную батарейку с последовательно соединённым резистором сопротивлением  $r$ . Считайте, что  $r \ll R$ , где  $R$  — сопротивление лампы накаливания

## Предостережение

Не оставляйте схему включённой на длительное время, чтобы не «сжечь» лампы и не разрядить батарею.

**Оборудование.** «Серый ящик» с батарейками, три лампы накаливания, соединённые «звездой».

## Примерные критерии оценивания

Проверено, что лампы одинаковые.....	2
Указаны возможные способы подключения ламп к «серому» ящику.....	1
Указаны результаты измерений (1 балл за каждый способ подключения)...	4
Используется факт, что необходимо не только подобрать правильный вариант, но и исключить остальные.....	0,5
Используется факт, что смена полярности батарей не приводит к изменению результатов измерений.....	0,5
Проведена проверка применимости 6 вариантов схем по измерениям с двумя лампами (по 0,5 балла за каждый).....	3
Показано, что в верной схеме к выводу С подключена одна батарея.....	1
В случае если батарейки считаются не идеальными: Получено соотношение (2).....	3
В случае если батарейки считаются идеальными: Теоретически получен результат, подтверждающий измерения с тремя лампами.....	2
Сделан вывод, что контакты А и В не отличаются.....	1

## Возможное решение

1. Найдём такие выводы «серого» ящика, что при подключении двух ламп обе лампы светятся. Поскольку лампы соединены последовательно, то через них протекает ток одинаковой силы. Тогда одинаковая яркость свечения свидетельствует об одинаковой мощности и, следовательно, об одинаковом сопротивлении ламп. Достаточно проверки для двух разных пар ламп.
2. Для определения схемы в «сером» ящике наблюдаем за яркостью свечения ламп при их различном подсоединении к выводам серого ящика. Существует три способа подсоединения двух ламп (к выводам А и В, А и С, В и С) и один — трёх ламп (к А, В и С одновременно).

При подсоединении двух ламп получаем следующие результаты:

выводы А и В: две лампы горят **ярко**;

выводы А и С: две лампы горят **тускло**;

выводы В и С: две лампы горят **тускло**;

При подсоединении трёх ламп к «серому» ящику: лампа А светится ярко, В — ярко, С — не светится.

3. Определим схему, перебрав все варианты, и исключив те, которые не подходят под проведённые измерения. Все остальные возможные варианты (полученные заменой полярности батареек) будут давать тот же результат при присоединении ламп, что и 6 вариантов, приведённых ниже:

Схема	Причина, по которой не подходит, или указание верности схемы
	Существует пара выводов, для которых лампы не горят
	Для всех пар выводов лампы не горят
	Существует пара выводов, для которых лампы не горят
	Получаем три разных яркости
	Существует пара выводов, для которых лампы не горят
	Удовлетворяет всем условиям, верная схема

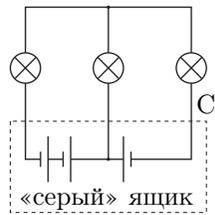


Рис. 5  
выводы В, С выражаются через  $I_A$ :

$$I_C = \frac{2}{3} \cdot \frac{r}{R} \cdot I_A, \quad I_B = \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{r}{R}\right) I_A.$$

При соотношении  $r \ll R$  верны неравенства:

$$I_C \ll I_A < I_B. \quad (2)$$

Таким образом, выводы однозначно определяются, так как лампа С не горит, а В должна светить ярче, чем А. Заметить эту разницу не всегда возможно; это зависит от того, чему равно отношение  $r/R$ .

Если считать батареи идеальными ( $r = 0$ ), то ток через вывод С не течёт, а для выводов А и В верно соотношение:  $I_A = I_B$ . Этот результат можно получить качественными рассуждениями. Если мысленно отключить лампу С, то напряжения на одинаковых лампах (подключенных к А и В) равны, и равны Э.Д.С. одной батареи. Тогда, учитывая полярность третьей батареи, лампа С подсоединяется к контактам, исходное напряжение на которых нулевое. Поэтому, она гореть не будет (даже независимо от её сопротивления), а лампы В и А будут гореть одинаково ярко, поэтому отличить выводы А и В нельзя.

Верная схема приведена на рис. 5.

При подключении пар выводов, один из которых С, лампы горят тускло, поэтому выводу С соответствует луч с одной батарейкой. При подключении выводов А и В, работают две батарейки, лампы горят ярко.

Это подтверждается измерением с тремя лампами (рис. 5). В этом случае, считая, что внутреннее сопротивление батарей  $r$ , а сопротивления ламп  $R$ , можно расчитать схему и получить, что силы токов, текущих через

## Условие

## Теоретическое введение.

Осмос — это диффузия растворителя в раствор через полупроницаемую мембрану. Мембрана пропускает молекулы растворителя, но оказывается непроницаемой для молекул растворенного вещества. Осмос стремится выровнять концентрации раствора по разные стороны мембраны. Осмос продолжается до тех пор, пока вызванная им разность давлений не достигнет определенного предела, называемого осмотическим давлением. Например, осмотическое давление сладкого чая относительно несладкого превышает 2 атм, а в клетках многих растений оно может достигать 20 атм (что обеспечивает поступление воды из почвы к кроне деревьев). Растительная клетка представляет собой осмотическую систему, у которой полупроницаемой мембраной, разделяющей раствор клеточного сока от наружного раствора (воды), является клеточная стенка.

Осмотическое давление сильно разбавленных растворов недиссоциирующих веществ численно равно давлению, которое оказало бы растворенное вещество, если бы оно при данной температуре находилось в состоянии идеального газа и занимало объем, равный объему раствора (закон Вант-Гоффа):

$$p_{\text{осм}} = nkT,$$

где  $n$  — число молекул растворенного вещества в единице объема,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура. Заметим, что  $p_{\text{осм}}$  для любых растворов не зависит ни от природы растворенного вещества и растворителя, ни от устройства мембраны (лишь бы она была полупроницаема).

Для растворов электролитов в законе Вант-Гоффа появляется поправочный коэффициент  $i$

$$p_{\text{осм}} = inkT,$$

обусловленный диссоциацией электролита в растворе.

В этом эксперименте определение осмотического давления основано на подборе внешнего раствора с известной концентрацией, равной концентрации растворенного вещества в клетках исследуемых тканей. При погружении полосок исследуемой ткани (картофеля) в раствор с повышенной концентрацией, полоски тканей теряют воду и их длина уменьшается. Если же внешний раствор обладает пониженной концентрацией, то клетки поглощают воду из раствора, их объем увеличивается и, соответственно, длина ткани увеличивается.

**Примечание:** молярностью (или молярной концентрацией) раствора называется отношение числа молей растворенного вещества к объему раствора, выраженному в литрах. Например, в 0,5 М растворе NaCl — на 1 л раствора приходится 0,5 моль NaCl.

**Ход работы.** Приготовьте из 1 М раствора NaCl и дистиллированной воды растворы различных концентраций (от 1,0 М до 0,00 М, что соответствует дистиллированной воде). Опишите, как вы это делали. Из картофельного

клубня при помощи ножа вырежьте пластинку толщиной 4–5 мм (рекомендуем резать вдоль клубня). Из пластинки нарежьте 6 полосок шириной 3–4 мм. Подрежьте концы полосок так, чтобы они были примерно одинаковой длины. Тщательно измерьте длину каждой полоски (укажите, с какой точностью вам удалось это сделать) и поместите по одной в приготовленные растворы. Полоски должны быть полностью погружены в раствор. Все операции делайте достаточно быстро, не допуская подвядания полосок. Через 20 минут извлеките полоски, и тщательно измерьте их длину. Результаты занесите в таблицу, в которой укажите молярность раствора, в которую была погружена данная полоска, длину полоски до и после нахождения в растворе, изменение длины полоски. Нарежьте новые полоски картофеля и повторите эксперимент. Постройте график изменения длины полоски от молярности раствора, в котором эта полоска находилась. Из графика найдите молярность раствора в клетках картофеля. Оцените погрешность ваших измерений.

Найдите осмотическое давление  $p_{\text{осм}}$  предоставленного вам картофеля.

Значения коэффициента  $i$  для растворов NaCl (25°C) различных молярностей указаны в таблице:

$C, \text{M}$	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,01
$i$	1,62	1,64	1,66	1,68	1,7	1,73	1,75	1,78	1,83	1,91

**Оборудование.** 0,2 литра 1 М раствора NaCl; 0,5 литра дистиллированной воды или бутилированной питьевой воды; шприц на 10 мл; штатив (кассета) для пробирок; 6 пробирок; нож или скальпель для нарезки полосок тканей картофеля; линейка; крупный удлиненный клубень картофеля; тарелка; пинцет (или стеклянная палочка); одноразовый стакан на 0,2 л; ёмкость для слива отработанной воды; часы (индивидуальные или настенные в аудитории).

## Примерные критерии оценивания

Описано, как получить раствор заданной концентрации.....	1
Таблица измерений.....	3
из них:	
количество точек.....	1
разумный шаг измерений.....	1
Вторая серия проводилась в более узком диапазоне концентраций.....	2
Построен график, на который нанесены все точки из таблицы.....	2
Проведена сглаживающая кривая, по точке пересечения найдена концентрация NaCl в клеточном соке.....	1
Полученная концентрация $C$ лежит в диапазоне [0,25; 0,35] М.....	3
[0,2; 0,4] М.....	2
[0,1; 0,5] М.....	1
Получена формула для вычисления осмотического давления.....	1
По полученному значению концентрации правильно рассчитано осмотическое давление картофеля.....	1

**Возможное решение**

Чтобы получить раствор NaCl молярности  $x$  М ( $0 \leq x \leq 1$ ) нужно смешать объём  $xV$  1,0 М раствора с объёмом  $(1-x)V$  дистиллированной воды. Объёмы измеряем шприцем. Приготовив растворы различных концентраций, проведём первую серию измерений. Посмотрим, при каких концентрациях длина полоски почти не меняется. Этот диапазон имеет смысл исследовать подробнее. Поэтому приготовим новые растворы, концентрации которых будут лежать в этом диапазоне, и проведём вторую серию измерений. Результаты измерений нанесём на график, по полученным точкам проведём сглаживающую кривую. Пересечение этой кривой с осью абсцисс даёт искомую концентрацию NaCl в клеточном соке картофеля. Эта концентрация зависит от условий хранения картофеля, но в большинстве случаев лежит в диапазоне  $[0,25; 0,35]$  М.

Зная концентрацию  $C$  можно найти осмотическое давление картофеля по формуле  $p_{\text{осм}} = iCRT$ , которая получается из формулы, данной в условии, если учесть, что  $nkT = CN_AkT = CRT$ . Нужно значение  $i$  брать из таблицы, приведённой в условии. При расчёте нужно перевести концентрацию из моль/л в моль/м<sup>3</sup>, чтобы получить значение давления в Па. В большинстве случаев осмотическое давление картофеля лежит в диапазоне  $(11 \div 15) \times 10^5$  Па, то есть  $10 \div 15$  атм.