

# Качественные задачи ЕГЭ

C1: качественная задача = задание-вопрос; предполагает развернутый ответ

Объяснить и описать процесс:

«опишите ... (конкретное явление, процесс)» или «как изменится ... (показание прибора, физическая величина)»;

«объясните ..., указав, какими физическими явлениями и закономерностями оно вызвано»

Критерии оценки выполнения задания С1	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ и исчерпывающие верные рассуждения с указанием наблюдаемых явлений и законов	3
<p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, и дано правильное объяснение, но содержится <b>один</b> из следующих недостатков.</p> <p>В представленных записях содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме, или в них содержатся логический недочет</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев:</p> <p>Указаны не все необходимые явления и физические законы, даже если дан правильный ответ на вопрос задания</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые явления и физические законы, но в некоторых из них допущена ошибка, даже если дан правильный ответ на вопрос задания</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к верному ответу, содержат ошибки</p>	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0

Некоторые задачи содержат задания с *дополнительными условиями* (изобразить схему электрической цепи, рисунок с ходом лучей в оптической системе и др.). В этом случае в описание полного правильного решения вводится еще один пункт (верный рисунок или схема). Отсутствие рисунка (или схемы) или наличие ошибки в них приводит к снижению на 1 балл. С другой стороны, наличие правильного рисунка (схемы) при отсутствии других элементов ответа дает возможность учащемуся получить 1 балл.

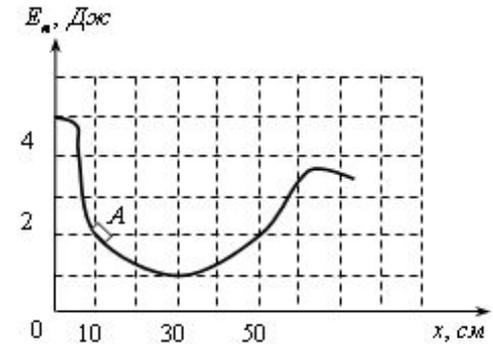
## Материалы для подготовки к решению качественных задач

1. Тульчинский М.Е. Качественные задачи по физике для средней школы (любое издание).
2. Марон А.Е., Марон Е.А. Качественные задачи по физике: 7-9 классы. – М.: просвещение, 2006.
3. Новиков С.М. Электромагнитная индукция: Качественные (логические) задачи. – М.: Чистые пруды, 2007.
4. Меледин Г.В. Физика в задачах – М.: Наука, 1994. - Гл. VI. Задачи-демонстрации.
5. Фурсов В.К. Задачи-вопросы по физике.- М.: Просвещение, 1977.
6. Гельфгат И.М., Генденштейн Л.Э., Кирик Л.А. 1001 задача по физике (любое издание).
7. Единый государственный экзамен: Контрольно-измерительные материалы; Федеральный банк тестовых заданий (открытый сегмент) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.fipi.ru/view/sections/91/docs/>
8. Обучающая система Дмитрия Гуцина [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://phys.reshuege.ru/test?theme=196&ttest=true>

Я.И.Перельман, П.Л.Капица, В.Н.Ланге, Дж. Уокер, К.Суорц  
Журналы «Квант», «Физика для школьников»  
...и многое-многое другое...



После толчка льдинка закатилась в яму с гладкими стенками, в которой она может двигаться практически без трения. На рисунке приведен график зависимости энергии взаимодействия льдинки с Землей от её координаты в яме. В некоторый момент времени льдинка находилась в точке А с координатой 10 см и двигалась влево, имея кинетическую энергию, равную 2 Дж. Сможет ли льдинка выскользнуть из ямы? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



**Ответ:** Сможет

**Решение (вариант):**

Для того, чтобы выскользнуть из ямки через левый край, льдинка должна иметь механическую энергию не менее 5 Дж, а через правый край – менее 4 Дж. В указанный момент механическая энергия льдинки равна  $E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = 4$  Дж. Поскольку трение отсутствует, эта энергия сохраняется, значит, льдинка сможет выскользнуть из ямы через ее правый край.

Деревянный брусок плавает на поверхности воды в миске. Миска покоится на поверхности Земли. Что произойдет с глубиной погружения бруска в воду, если миска будет стоять на полу лифта, который движется с ускорением, направленным вертикально вверх? Ответ поясните, используя физические закономерности.

**Ответ:** глубина погружения не изменится.

### Решение (вариант 1)

По второму закону Ньютона,  $ma = F_A - mg$  (1), где  $m$  – масса бруска,  $F_A$  – Архимедова сила, равная весу вытесненной бруском воды:  $F_A = m_{\text{ж}}(g + a) = \rho V_{\text{ж}}(g + a)$  (2). Жидкости практически несжимаемы, поэтому плотность воды не зависит от ускорения и остается постоянной при любом движении описанной системы.

В покоящемся лифте  $\rho g V = mg$  (3), а в движущемся, с учетом (1),  $\rho V_1(g + a) = m(g + a)$  (4). Из выражения (4), получаем, что  $\rho V_1 = m$ , и, сравнивая его с (3), заключаем, что  $V_1 = V$ , т.е. глубина погружения бруска не изменится.

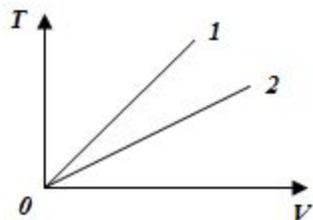
### Решение (вариант 2) (Д.Д.Гущин)

Сила Архимеда, которая поддерживает брусок на поверхности воды, равна по модулю весу вытесненной бруском воды.

Когда брусок, вода и миска покоятся относительно Земли, одна и та же сила Архимеда уравнивает силу тяжести, как в случае плавающего бруска, так и в случае вытесненной им воды. Поэтому масса бруска и масса вытесненной им воды одинаковы.

Когда брусок, вода и миска покоятся относительно друг друга, но  $\vec{F}_A = m(\vec{a} - \vec{g}) = m_{\text{вытесн. воды}}(\vec{a} - \vec{g})$  Земли, одна и та же сила Архимеда вместе с силой тяжести сообщает  $\vec{a} \neq \vec{g}$  то и то же ускорение как плавающему бруску, так и воде в объеме, вытесненном бруском, что приводит к соотношению:

, откуда следует, что и при движении относительно Земли с ускорением масса бруска и масса вытесненной им воды одинаковы. Поскольку масса бруска одна и та же, масса вытесненной им воды в обоих случаях одинакова. Вода практически несжимаема, поэтому плотность воды в обоих случаях одинакова. Значит, объем вытесненной воды не изменяется, глубина погружения бруска в лифте остается прежней.

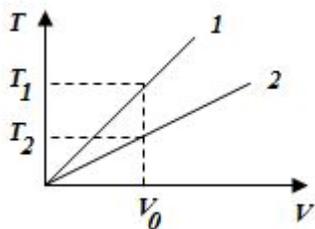


На рисунке изображены графики изобарного расширения (нагрева) двух порций одного и того же идеального газа при одном и том же давлении. Почему изобара 1 лежит выше изобары 2? Ответ обоснуйте. Какие физические закономерности вы использовали для обоснования ответа?

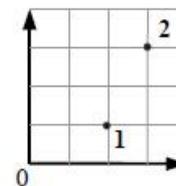
**Ответ:** Количество вещества в первой порции меньше, чем во второй.

**Решение (вариант):**

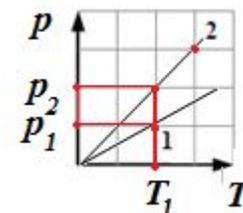
Состояние газа описывается уравнением Менделеева-Клапейрона  $pV = \nu RT$ , где  $\nu$  – количество вещества. По условию давление двух порций газа одинаково, поэтому различие температур при одном и том же объеме (см. рис.) объясняется различием количеств вещества. Поскольку при этом  $T_1 > T_2$ , то из равенства для обеих порций газа произведения  $pV_0$  вытекает, что  $\nu_1 < \nu_2$ .



В кабинете физики проводились опыты с разреженным газом постоянной массы. По невнимательности ученик, отметив на графике начальное и конечное состояния газа (см. рисунок), не указал, какие две величины из трех (давление  $p$ , объем  $V$ , температура  $T$ ) отложены по осям. В журнале осталась запись, согласно которой названные величины изменялись следующим образом:  $p_1 < p_2$ ,  $V_1 > V_2$ ,  $T_1 < T_2$ . Пользуясь этими данными, определите, какие величины были отложены на горизонтальной и вертикальной осях. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали



**Ответ:** по горизонтальной оси отложена температура, по вертикальной – давление.



**Решение:**

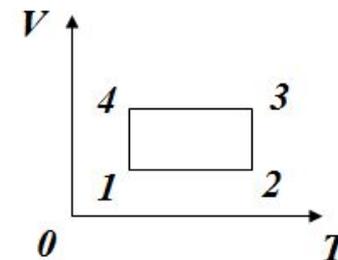
Если обозначить величины, отложенные по осям абсцисс и ординат,  $x$  и  $y$  соответственно, то, как видно по графику,  $x_1 < x_2$ ,  $y_1 < y_2$ . Таким неравенствам удовлетворяют соотношения давлений и температур газа, но не удовлетворяет соотношение объемов. Следовательно, на графике представлены значения  $p$ ,  $T$ .

Выясним теперь, на каких именно осях они отложены. Проведем изохоры через точки 1 и 2. Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона,  $pV = \nu RT$ , поэтому при постоянной массе газа  $p = \nu RT/V$ . Тогда при одной и той же температуре газ, занимающий меньший объем, производит большее давление.

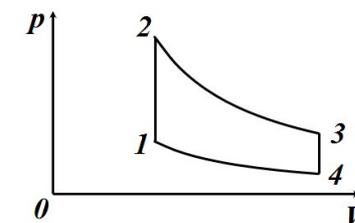
Предположим, что по оси абсцисс отложена температура. При  $T = T_1$   $p_1 < p_2$ , значит,  $V_1 > V_2$ , что соответствует условию. Если же предположить, что по оси абсцисс отложено давление, то, рассуждая аналогично, получим  $V_1 < V_2$ , что противоречит условию.

Таким образом, по оси абсцисс отложена температура, а по оси ординат – давление.

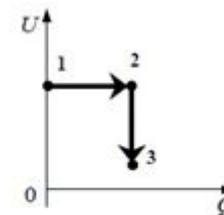
На рисунке изображен цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный одноатомный газ. На каком из участков цикла совершается наибольшая работа? Ответ обоснуйте.



- **Ответ:** 2-3.
- **Решение:**
- Построим график процесса в осях  $p, V$ . Имея в виду, что в этом случае работа газа численно равна площади фигуры по графиком процесса, заключаем, что максимальная работа совершается на участке 2-3.



В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ. На рисунке показана диаграмма, иллюстрирующая изменение внутренней энергии  $U$  газа и передаваемое ему количество теплоты  $Q$ . Опишите изменение объема газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Свой ответ обоснуйте, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



- **Ответ:** в процессах 1-2 и 2-3 объем газа увеличивался
- **Решение:**
- Воспользуемся первым законом термодинамики:  $Q = \Delta U + A$ , где  $A$  – работа системы над внешними телами. Именно по знаку  $A$  можно судить об изменении объема газа. Очевидно,  $A = Q - \Delta U$ .
- В процессе 1-2  $Q > 0$ ,  $\Delta U = 0$ , следовательно,  $A > 0$ , значит, объем газа увеличивался.
- В процессе 2-3  $Q = 0$ ,  $\Delta U < 0$ , следовательно,  $A > 0$ , и объем газа увеличивался.
- Т.о, в процессах 1-2 и 2-3 объем газа увеличивался.

В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее пар. Поршень начинают выдвигать из сосуда. При этом температура воды и пара остается неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

- **Ответ:** Масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.
- **Решение:**
- Вода и водяной пар находятся в закрытом сосуде длительное время, поэтому водяной пар является насыщенным. При выдвигании поршня происходит изотермическое расширение пара, давление и плотность насыщенного пара в этом процессе не меняются. Следовательно, будет происходить испарение жидкости. Значит, масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.

Человек в очках вошел с улицы в теплую комнату и обнаружил, что его очки запотели. Какой должна быть температура на улице, чтобы наблюдалось это явление? В комнате температура воздуха  $22^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность воздуха 50%. Поясните, как вы получили ответ. (При ответе на этот вопрос воспользуйтесь таблицей для давления насыщенных паров воды.)

$t, ^{\circ}\text{C}$	8	9	10	11	12	13	14	15
$p, \text{кПа}$	1,07	1,15	1,23	1,31	1,40	1,50	1,60	1,70

$t, ^{\circ}\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	23
$p, \text{кПа}$	1,82	1,94	2,06	2,20	2,34	2,49	2,64	2,81

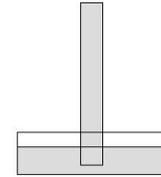
- **Ответ:** температура на улице не выше  $11^{\circ}\text{C}$ .
- **Решение:**
- Когда человек входит в дом, температура стекол его очков практически равна температуре на улице. Очки запотевают, если в тонком слое холодного воздуха, прилегающего к стеклам, водяной пар становится насыщенным: в этом случае на них образуется роса.
- Если относительная влажность воздуха в комнате 50%, то парциальное давление водяных паров составляет половину давления насыщенного пара при комнатной температуре, т.е. 1,32 кПа. По таблице находим, что такой пар становится насыщенным при температуре  $11^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, температура на улице не выше  $11^{\circ}\text{C}$ .

В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 23°C на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до 12°C. По результатам этих экспериментов определите абсолютную и относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Поясните, почему конденсация паров воды в воздухе может начинаться при различных значениях температуры. Давление и плотность насыщенного водяного пара при различной температуре показано в таблице:

$t, ^\circ\text{C}$	7	9	11	12	13	14	15	16	19	21	23	25	27	29	40	60
$p, \text{гПа}$	10	11	13	14	15	16	17	18	22	25	28	32	36	40	74	200
$\rho, \text{г/см}^3$	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,11	12,8	13,6	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

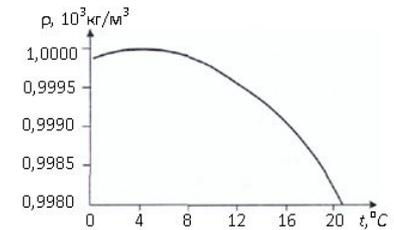
- **Ответ:** относительная влажность воздуха в комнате 50 %.
- **Решение.**
- Начало конденсации означает, что водяной пар стал насыщенным, и относительная влажность воздуха стала равной 100 %. При этом давление пара равно 14 гПа, а его плотность 10,7 г/см<sup>3</sup> – это и есть абсолютная влажность воздуха. Поскольку при температуре 23°C давление насыщенного пара равно 28 гПа, то относительная влажность воздуха в комнате  $\varphi = 14/28 = 0,5 = 50\%$ .
- Конденсация паров воды начинается тогда, когда парциальное давление водяного пара станет равным давлению насыщенного пара. Поскольку давление газа  $p = nkT$  определяется его концентрацией, а следовательно, плотностью, и температурой, а давление насыщенного пара зависит от температуры, то конденсация может начинаться при разных температурах в зависимости от абсолютной влажности (плотности) пара.

Широкую стеклянную трубку длиной около полуметра, запаянную с одного конца, целиком наполнили водой и установили вертикально открытым концом вниз, погрузив низ трубки на несколько сантиметров в тазик с водой. При комнатной температуре трубка остается целиком заполненной водой. Воду в тазике медленно нагревают. Где установится уровень воды в трубке, когда вода в тазике начнет закипать? Ответ поясните, указав, какие физические явления закономерности вы использовали для объяснения.



- **Ответ:** при кипении вода в трубке установится на уровне воды в тазике.
- **Решение (вариант 1) (Д.Д.Гущин)**
- 1. При комнатной температуре вода занимает весь объем трубки и не выливается из нее, потому что давление насыщенного водяного пара при комнатной температуре очень невелико (менее 3% от нормального атмосферного давления), и «торричеллиева пустота», заполненная насыщенным водяным паром, над водой возникнет только если высота водяного столба будет примерно 10 метров.
- 2. С ростом температуры воды давление ее насыщенного пара растет, пока при температуре кипения не сравняется с внешним атмосферным давлением.
- 3. Поэтому, когда температура воды в трубке приблизится к температуре кипения, над водой в трубке появится торричеллиева пустота», заполненная насыщенным водяным паром. С дальнейшим повышением температуры уровень воды в трубке будет понижаться. При температуре кипения достигается равенство давления насыщенного водяного пара в трубке и атмосферного давления, поэтому уровень воды в трубке и в тазике одинаков.
- **Решение (вариант 2)**
- 
- Нормальное атмосферное давление, равное 100 кПа, уравнивает давление столба воды высотой 10 м ( $p = \rho gh$ ), а давление насыщенного водяного пара при комнатной температуре пренебрежимо мало по сравнению с атмосферным. Именно поэтому трубку длиной около полуметра вода заполняет полностью.
- Кипение представляет собой интенсивное образование по всему объему жидкости и всплытие пузырьков насыщенного пара и начинается при той температуре, при которой давление насыщенного пара равно внешнему давлению. Т.о, при кипении воды над ней в трубке образуется насыщенный пар, выталкивающий ее из трубки. Поскольку при этом давление пара равно атмосферному давлению, вода будет вытеснена из трубки до уровня воды в тазике.
- Т.о., при кипении уровни воды в трубке и тазике совпадут.

Вася и Петя должны охладить воду одинаковой массы в двух одинаковых высоких мензурках от температуры  $t_1 = 4^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 1^\circ\text{C}$ , используя одинаковые кусочки тающего льда. Вася охлаждает верхнюю часть сосуда с водой, поместив кусочек льда в верхней части мензурки, а Петя – удерживая кусочек льда вблизи дна. Кто быстрее справится с заданием? График зависимости плотности воды от температуры приведен на рисунке. Ответ поясните, указав какие физические явления и закономерности вы использовали для обоснования.



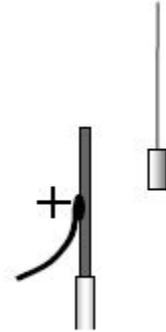
- **Ответ:** Быстрее справится с заданием Петя.
- **Решение:**
- Наиболее эффективная теплопередача в жидкости осуществляется путем **конвекции**. При охлаждении воды она возникает под действием **силы тяжести и силы Архимеда**, вследствие различий в плотности холодной и теплой воды. В соответствии с **законом Архимеда**, более плотная вода перемещается вниз, а менее плотная – вверх. **В указанном интервале температур холодная вода имеет меньшую плотность и движется** от кусочка льда **вверх**. Чтобы правильно использовать механизм конвекции, лёд нужно разместить в воде так, чтобы обеспечить условия для ее свободной циркуляции, т.е. снизу, как это сделал Петя.

Каким образом установка батарей отопления под окном помогает выравниванию температур в комнате в зимнее время? Ответ поясните, используя физические закономерности.

- 
- **Решение.**
- 

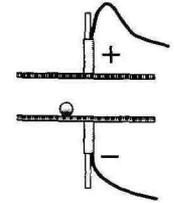
Перемешивание воздуха и выравнивание его температуры в комнате при работающих батареях происходит за счет **конвекции**. В соответствии с **уравнением Менделеева-Клапейрона**,  $pV = mRT/M$ , из чего следует, что **плотность воздуха**  $\rho = pM/RT$  при одном и том же давлении у холодного воздуха выше, чем у теплого. Поэтому теплый воздух, нагретый батареей, в соответствии с **законом Архимеда** поднимается вверх, а воздух, остывший от соприкосновения с холодным стеклом окна, опускается вниз к батарее, где нагревается и поднимается вверх. Это перемешивание выравнивает температуру в комнате.

Около небольшой металлической пластины, укрепленной на изолирующей подставке, подвесили на длинной шелковой нити легкую металлическую незаряженную гильзу. Когда пластину подсоединили к клемме высоковольтного выпрямителя, подав на нее положительный заряд, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его, указав, какими физическими явлениями и закономерностями оно вызвано.



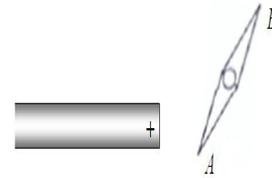
- **Ответ:** Гильза притянется к пластине, коснётся её, а потом отскочит и зависнет в отклонённом состоянии.
- 
- **Решение** (вариант)
- Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе, и ее поверхность электризуется: сторона, ближайшая к пластине приобретет отрицательный заряд, а противоположная сторона — положительный (**электростатическая индукция**). Поскольку **поле** небольшой пластины **неоднородно**, и ближе к пластине напряженность поля больше, сила притяжения гильзы к пластине, действующая на ее левую сторону, больше силы отталкивания, действующей на правую сторону. **Равнодействующая** этих сил **направлена к пластине**, и гильза будет притягиваться к ней.
- Если нить достаточно длинная, а гильза достаточно легкая, то гильза **коснется** пластины. В момент касания часть электронов перейдет с гильзы на положительно заряженную пластину, гильза **приобретет положительный заряд, оттолкнется** от пластины и **остановится** в положении, в котором **равнодействующая** сил электростатического отталкивания, тяжести и натяжения нити станет **равной нулю**.
- Если длина нити недостаточна для того, чтобы гильза коснулась пластины, или гильза достаточно тяжелая, то она остановится в положении, в котором равнодействующая сил электростатического притяжения, тяжести и натяжения нити равна нулю.

Между двумя близко расположенными металлическими пластинами, укрепленными на изолирующих подставках, положили металлический шарик. Когда пластины подсоединили к клеммам высоковольтного выпрямителя, подав на них заряды разных знаков, шарик пришёл в движение. Опишите и объясните движение шарика

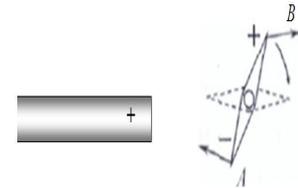


- **Решение:**
- Под действием электрического поля пластин изменится распределение электронов в шарике и произойдет его электризация: шарик приобретёт тот же заряд, что и пластина, на которой он лежит, - отрицательный.
- Отрицательно заряженный шарик будет отталкиваться от нижней и притягиваться к верхней пластине. Если масса шарика достаточно мала, он поднимется к положительно заряженной пластине и, коснувшись ее, поменяет знак заряда. В результате он начнёт отталкиваться от верхней пластины и притягиваться к нижней - шарик вернется к первой пластине и вновь поменяет знак своего заряда на отрицательный. Такое движение вверх-вниз будет повторяться.

Насаженную на вертикальную ось металлическую стрелку  $AB$  закрепили и сбоку к ней поднесли наэлектризованную стеклянную палочку (см. рисунок – вид сверху). Будет ли поворачиваться стрелка, если её освободить, и если будет, то в какую сторону? Объясните поведение стрелки, указав, какими физическими явлениями и закономерностями оно вызвано.



- **Ответ:** Стрелка повернется по часовой стрелке, конец стрелки  $A$  будет указывать на стеклянную палочку.
- **Решение:**
- Электрическое поле палочки приведет к перераспределению свободных зарядов (электронов) внутри проводящей стрелки (электростатическая индукция): ближний к положительно заряженной палочке конец  $A$  стрелки зарядится отрицательно, а дальний  $B$  – положительно. Так как заряды противоположных знаков притягиваются, а одноименных знаков – отталкиваются, то конец  $A$  стрелки будет притягиваться к палочке, а  $B$  – отталкиваться. Это притяжение и отталкивание разных концов стрелки приведёт к повороту самой стрелки: конец  $A$  будет указывать на стеклянную палочку. Поворот произойдёт по часовой стрелке.



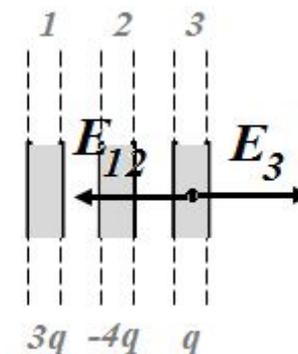
На рисунке изображены три металлические пластины большой площади. Пластины расположены параллельно друг другу, расстояние между пластинами много меньше их размеров. Внизу указаны заряды пластин. Какой заряд находится на правой плоскости третьей пластины? Ответ обоснуйте.



• **Ответ :** 0.

• **Решение (вариант 1)**

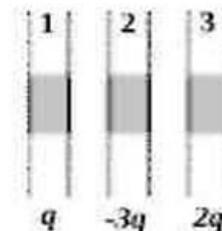
- Электрическое поле внутри проводника равно нулю. Весь статический заряд проводника (металлической пластины) сосредоточен на его поверхности. Поле зарядов, расположенных левее третьей пластины, должно компенсироваться полем зарядов, расположенных справа от нее.
- Суммарный заряд трех пластин должен быть распределен так, чтобы суммарный «левый заряд» был равен суммарному правому заряду. Суммарный заряд всех трех пластин равен нулю ( $3q - 4q + q = 0$ ). Значит, справа и слева от третьей пластины должен находиться заряд, равный нулю. Это достигается в том случае, если на правой поверхности третьей пластины находится заряд, равный нулю.



• **Решение (вариант 2)**

- Каждая пластина создает однородное электрическое поле, напряженность которого зависит от ее заряда (пропорциональна ему). Результирующее поле, напряженность которого находится по принципу суперпозиции, приводит к перераспределению зарядов на проводящих пластинах за счет электростатической индукции. При этом заряды сосредоточены на поверхности пластин, а макроскопический заряд и напряженность поля внутри пластин равны нулю. Поле внутри правой пластины создано пластинами с зарядами  $3q$  и  $-4q$ , а также распределенным по ее поверхности зарядом  $q$ . Для того, чтобы компенсировать поле зарядов  $3q$  и  $-4q$ , сумма которых равна  $-q$ , заряд  $q$  должен быть сосредоточен целиком на левой стороне пластины: в противном случае напряженность созданного им поля будет меньше необходимой. В таком случае, заряд правой поверхности пластины равен нулю.

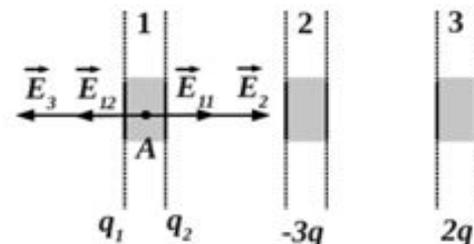
На рисунке изображены три металлические пластины большой площади. Пластины расположены параллельно друг другу, расстояние между пластинами много меньше их размеров. Внизу указаны заряды пластин. Какой заряд находится на правой плоскости третьей пластины? Ответ обоснуйте.



В первую очередь надо отметить, что **металлические** пластины являются **проводниками электричества**. Пусть на левой плоскости первой пластины располагается некий заряд  $q_1$ , а на правой плоскости – заряд  $q_2$ . Тогда, по закону сохранения заряда  $q_1 + q_2 = q$  (\*), так как **внутри проводника заряда быть не может** (естественно, имеется в виду избыточный заряд).

Возьмём внутри пластины **1** некую точку **A**. Поле в этой точке будет создаваться четырьмя зарядами:  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $-3q$  и  $2q$ , расположенными на больших пластинах (распределение зарядов на 2-ой и 3-ей пластинах значения не имеет). Каждый заряд создаёт поле, пропорциональное его величине и равное **по модулю**  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{q}{2\epsilon_0 S}$ , где  $S$  – площадь пластин. То есть,

$E_{11} = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S}$ ,  $E_{12} = \frac{q_2}{2\epsilon_0 S}$ ,  $E_2 = \frac{3q}{2\epsilon_0 S}$ ,  $E_3 = \frac{2q}{2\epsilon_0 S}$  (здесь  $E_{11}$  – это поле от заряда  $q_1$ ,  $E_{12}$  – от заряда  $q_2$  и т.д. – см. рисунок).



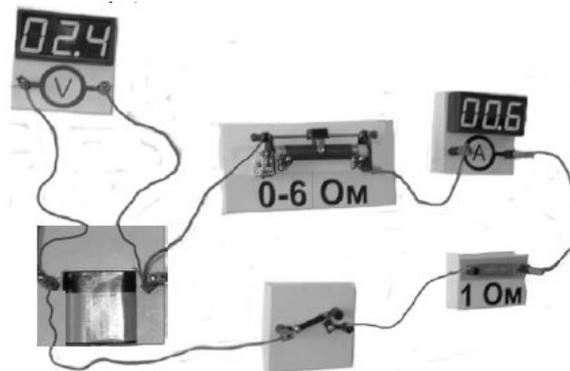
Результирующее поле **по принципу суперпозиции**  $\vec{E}_{\text{рез}} = \vec{E}_{11} + \vec{E}_2 + \vec{E}_{12} + \vec{E}_3$ . В проекции на горизонтальную ось:  $E_{\text{рез}} = E_{11} + E_2 - E_{12} - E_3 = 0$ , так как **электрическое поле внутри проводника равно нулю**. Подставим сюда выражения для напряжённостей и после упрощения получим  $q_1 + 3q - q_2 - 2q = 0$ , то есть  $q_2 - q_1 = q$ . Решение этого уравнения совместно с уравнением (\*) даёт ответы:  $q_2 = q$ ,  $q_1 = 0$ . Следовательно, весь заряд  $q$  будет находиться **на правой** плоскости первой пластины, **на левой** же плоскости **заряда нет**.

Шабалин Евгений Иванович

[www.reppofiz.info](http://www.reppofiz.info) – помощь по физике студентам и школьникам

На фотографии изображена электрическая цепь, состоящая из резистора, реостата, ключа, цифровых вольтметра, подключенного к батарее, и амперметра.

Составьте принципиальную электрическую схему этой цепи и, используя законы постоянного тока, объясните, как изменятся (увеличится или уменьшатся) сила тока в цепи и напряжение на батарее при перемещении движка реостата в крайнее правое положение.

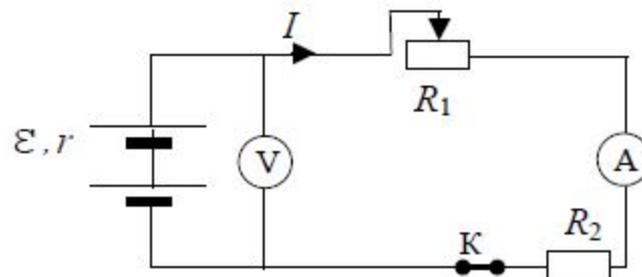


- **Ответ:** Показания амперметра увеличатся, а вольтметра — уменьшатся

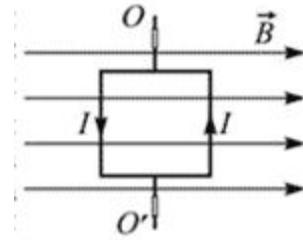
•

### Решение

- Эквивалентная электрическая схема цепи, учитывающая внутреннее сопротивление батареи, изображена на рисунке, где  $I$  — сила тока в цепи. Ток через вольтметр практически не течет, а сопротивление амперметра пренебрежимо мало.
- Сила тока в цепи определяется законом Ома для замкнутой цепи  $I = \varepsilon / (R_1 + R_2 + r)$
- В соответствии с законом Ома для участка цепи напряжение, измеряемое вольтметром  $U = I(R_1 + R_2) = \varepsilon - Ir$
- При перемещении движка реостата вправо его сопротивление  $R_1$  уменьшается, что приводит к уменьшению полного сопротивления цепи. Сила тока в цепи при этом растет, а напряжение на батарее уменьшается.

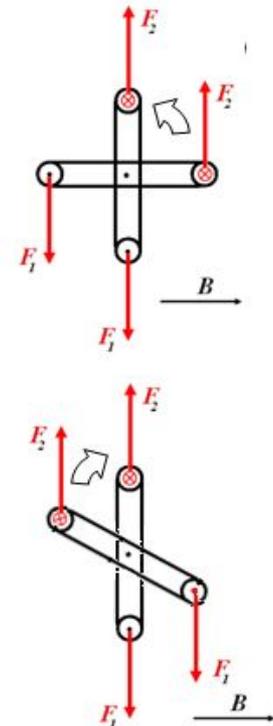


Медная прямоугольная рамка, по которой протекает постоянный электрический ток силой  $I$ , может вращаться вокруг вертикальной оси  $OO'$ , закрепленной в подшипниках. При вращении рамки на нее действуют силы вязкого трения. Опираясь на законы электродинамики и механики, опишите и объясните движение этой рамки после включения однородного магнитного поля с индукцией  $B$  (см. рисунок).

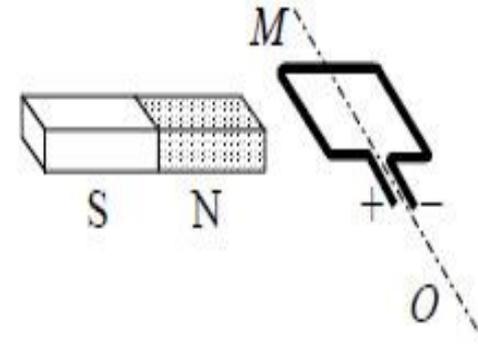


• **Решение (вариант)**

- На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера, величина которой определяется законом Ампера  $F=IB\sin \alpha$ , а направление - правилом левой руки. Тогда на левую и правую стороны рамки действуют силы  $F_1$  и  $F_2$  соответственно, направленные так, как показано на рисунке (вид сверху). Силы, действующие на верхнюю и нижнюю стороны рамки, параллельные вектору магнитной индукции, равны нулю.
- Силы  $F_1$  и  $F_2$  поворачивают рамку против часовой стрелки (создают вращающий момент) до тех пор, пока она не займет положение, при котором плоскость рамки перпендикулярна вектору магнитной индукции (момент равен нулю). По инерции рамка «проскочит» это положение и будет двигаться дальше. Направления сил  $F_1$  и  $F_2$  при этом сохраняются, однако теперь они будут тормозить вращение рамки до полной остановки, а затем поворачивать ее в обратном направлении. Описанный процесс будет повторяться с амплитудой, уменьшающейся за счет работы сил вязкого трения (возникнут затухающие колебания), до тех пор, пока рамка не остановится в положении, когда ее плоскость перпендикулярна линиям магнитной индукции (момент равен нулю).



Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рисунок). Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси  $MO$ , если рамку не удерживать? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения. Считать, что рамка испытывает небольшое сопротивление движению со стороны воздуха.

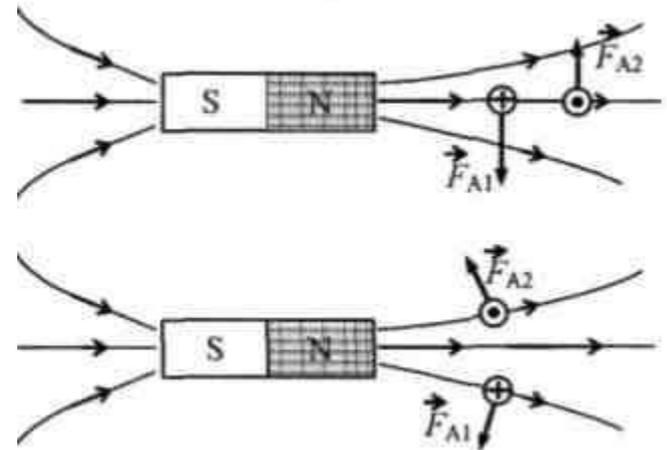


### Решение

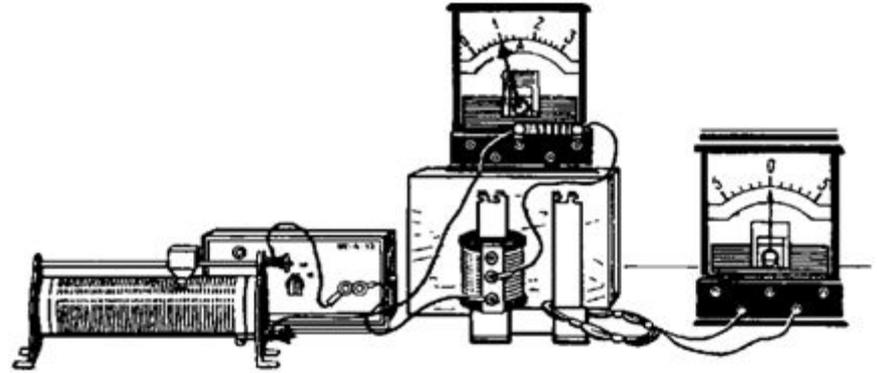
Рамка повернется против часовой стрелки и встанет перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» окажется внизу.

Рассмотрим сечение рамки плоскостью рисунка в условии задачи. В исходном положении в левом звене рамки ток направлен от нас, а в правом - к нам. На левое звено рамки действует сила Ампера  $F_{A1}$ , направленная вниз, а на правое звено - сила Ампера  $F_{A2}$ , направленная вверх. Эти силы разворачивают рамку на неподвижной оси  $MO$  против часовой стрелки (см. рисунок).

Рамка устанавливается перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» оказывается внизу. При этом силы Ампера  $F_{A1}$  и  $F_{A2}$  обеспечивают равновесие рамки на оси  $MO$  (см. рисунок).

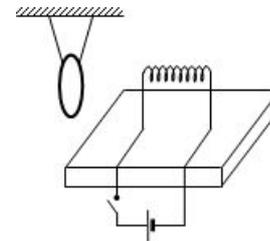


На рисунке изображены две изолированные друг от друга электрические цепи. Первая содержит последовательно соединенные источник тока, реостат, катушку индуктивности и амперметр, а вторая — проволочный моток, к концам которого присоединен гальванометр, изображенный на рисунке справа. Катушка и моток надеты на железный сердечник. Как будут изменяться показания приборов, если катушку, присоединенную к источнику тока, медленно перемещая вверх, снять с сердечника? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



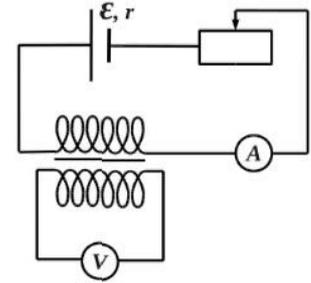
- **Ответ:** во время перемещения катушки индуктивности вверх и снятия ее с сердечника показания амперметра будут оставаться неизменными, а гальванометр будет регистрировать ток в цепи второй катушки.
- **Решение**
- Магнитное поле, создаваемое током в катушке и замыкающееся через сердечник и воздушный промежуток, неоднородно. При перемещении проволочного мотка вверх поток вектора магнитной индукции через него будет изменяться, поэтому в нем возникнет индукционная ЭДС и индукционный ток, который будет регистрироваться гальванометром. Амперметр показывает силу тока, текущего через катушку. При движении мотка она несколько изменяется за счет ЭДС, индуцируемой в катушке изменяющимся магнитным полем тока мотка, но при медленном движении изменение силы тока незначительно, поэтому показания амперметра практически постоянны.
- *(Примечание: когда катушка будет полностью снята с сердечника, изменение магнитного потока в мотке проволоки прекратится, и сила тока, регистрируемого гальванометром, станет равной нулю. При этом амперметр будет регистрировать постоянную силу тока в цепи катушки индуктивности. Это утверждение для полного ответа не требуется).*

Замкнутое медное кольцо подвешено на тонких длинных нитях вблизи катушки индуктивности, закрепленной на столе и подключенной к источнику постоянного тока. Первоначально электрическая цепь катушки разомкнута. Как будет двигаться кольцо при замыкании цепи? Ответ поясните, указав, какие физические явления закономерности вы использовали для объяснения.



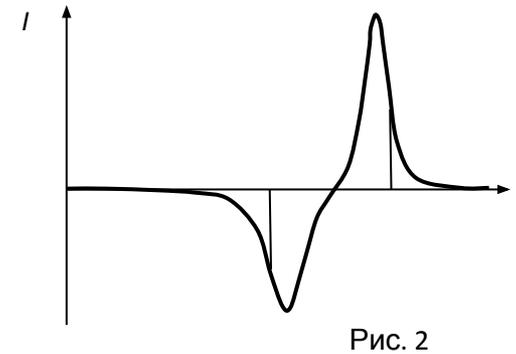
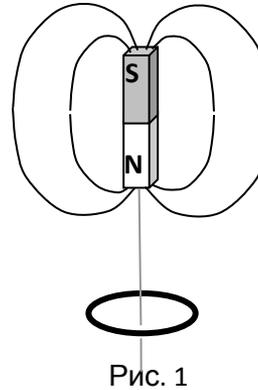
- 
- **Ответ:** Кольцо оттолкнется от катушки и после затухающих колебаний установится в первоначальном положении.
- **Решение (вариант)**
- При замыкании цепи сила тока в катушке увеличивается, следовательно, увеличивается индукция магнитного поля катушки и магнитный поток, пронизывающий кольцо. При этом в кольце возникает ЭДС индукции и индукционный ток, который, по правилу Ленца, своим магнитным полем противодействует изменению магнитного потока, т.е. его направление будет противоположным направлению тока в катушке. При этом возникает сила Ампера, отталкивающая кольцо от катушки. Она же препятствует возникновению колебаний кольца.
- По мере установления тока в катушке ЭДС индукции в кольце будет уменьшаться, и когда ток перестанет изменяться, она станет равной нулю. Так же будет изменяться и сила Ампера. Кольцо вернется в исходное положение и останется неподвижным.
- 
- **Решение (вариант)**
- При замыкании цепи катушки начинает изменяться поток вектора магнитной индукции через кольцо. По закону электромагнитной индукции в кольце возникает ЭДС индукции, появляется индукционный ток. В соответствии с правилом Ленца взаимодействие токов в кольце и в катушке приводит к тому, что кольцо отталкивается от катушки.
- Затем кольцо возвращается в исходное положение, т.к. индукционный ток препятствует возможным колебаниям кольца на нитях.
- Индукционный ток в неподвижном кольце вблизи катушки с постоянным током равен нулю, магнитные свойства меди выражены слабо, поэтому, вернувшись в исходное положение равновесия, кольцо остается неподвижным

На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок реостата установлен посередине и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться показания приборов в процессе перемещения ползунка реостата влево. ЭДС самоиндукции пренебречь по сравнению с  $\varepsilon$ .



- **Ответ:** Во время перемещения движка реостата показания амперметра будут плавно увеличиваться, а вольтметр будет регистрировать напряжение на концах вторичной обмотки.
- **Решение:**
- При перемещении ползунка влево **сопротивление** цепи **уменьшается**, а **сила тока увеличивается** в соответствии с **законом Ома для полной цепи**  $I = \varepsilon / (R+r)$ , где  $R$  – сопротивление внешней цепи.
- Изменение тока, текущего по первичной обмотке трансформатора, вызывает **изменение индукции магнитного поля**, создаваемого этой обмоткой. Это приводит к **изменению магнитного потока** через вторичную обмотку трансформатора.
- В соответствии с **законом электромагнитной индукции** возникает ЭДС индукции  $\varepsilon = - \Delta\Phi / \Delta t$  во вторичной обмотке, а следовательно, **напряжение**  $U$  на ее концах, регистрируемое вольтметром.
- 
- *Примечание: Для полного ответа не требуется объяснения показаний приборов в крайнем левом положении. (Когда движок придет в крайнее левое положение и движение его прекратится, амперметр будет показывать постоянную силу тока в цепи, а напряжение, измеряемое вольтметром, окажется равным нулю.)*
-

Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображённого на рис. 1. Пролетая сквозь закреплённое проволочное кольцо, стержень создаёт в нём электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рис. 2. Почему в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  ток в кольце имеет различные направления? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Влиянием тока в кольце на движение магнита пренебречь.



### Решение 1 (демоверсия)

1. Индукционный ток в кольце вызван ЭДС индукции, возникающей при пересечении проводником линий магнитного поля. По закону индукции Фарадея ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока  $\Phi$ , т.е. количеству линий, пересекаемых кольцом в секунду. Она тем выше, чем больше скорость движения магнита. Сила тока  $I$ , в соответствии с законом Ома для замкнутой цепи, пропорциональна ЭДС индукции  $\varepsilon$ .
2. В момент времени  $t_1$  к кольцу приближается магнит, и магнитный поток увеличивается. В момент  $t_2$  магнит удаляется, и магнитный поток уменьшается. Следовательно, ток имеет различные направления.

Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображённого на рис. 1. Пролетая сквозь закреплённое проволочное кольцо, стержень создаёт в нём электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рис. 2. Почему в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  ток в кольце имеет различные направления? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Влиянием тока в кольце на движение магнита пренебречь.

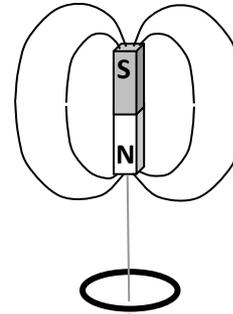


Рис. 1

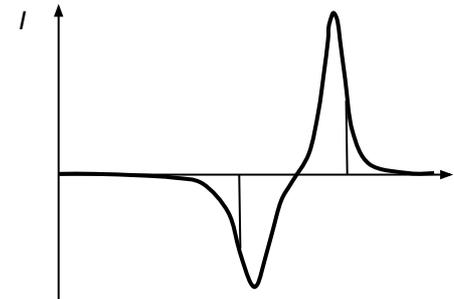


Рис. 2

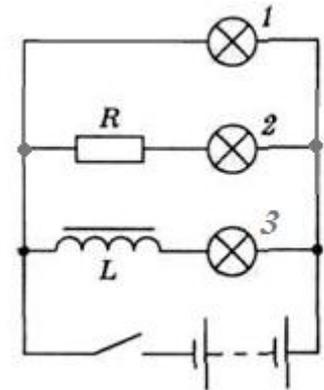
## Решение 2

При движении магнита изменяется магнитный поток через кольцо, следовательно, в нем возникает индукционный ток. Направление тока определяется правилом Ленца: индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван. Направление поля магнита во время его движения не меняется – оно все время направлено сверху вниз, следовательно, знак магнитного потока не меняется, но при приближении магнита поток увеличивается, а при удалении уменьшается, поэтому ток в кольце в разные моменты времени должен иметь разное направление.

Т.о., разумно предположить, что в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  магнит соответственно приближался к кольцу и удалялся от него, а различные направления тока вызваны различным характером изменения магнитного потока (его увеличением и уменьшением) и объясняются правилом Ленца.

Форма графика позволяет утверждать, что моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  действительно соответствуют приближению и удалению магнита:

Три лампы подключены к источнику постоянного тока так, как показано на рисунке. Первоначально ключ разомкнут. В какой последовательности загорятся лампы при замыкании ключа? Каким явлением это можно объяснить?

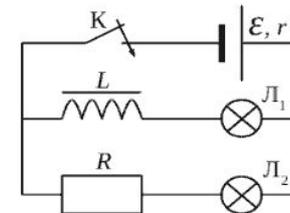


- 
- **Ответ:** Лампы 1 и 2 вспыхивают практически сразу. Лампа 3 разгорается постепенно.

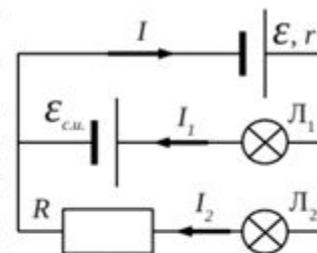
• **Решение:**

- При замыкании ключа ток возрастает во всех элементах цепи. При этом возникает ЭДС самоиндукции, противодействующая, по правилу Ленца, увеличению силы тока и зависящая от индуктивности элемента. Индуктивность участков 1 и 2 мала, поэтому ток через лампы 1 и 2 достигает рабочего значения практически сразу. Индуктивность катушки с сердечником значительно больше индуктивности всех остальных элементов, поэтому ток через нее будет нарастать медленно, и лампа 3 загорится позже и будет разгораться до нормального накала постепенно

Две одинаковые лампы Л1 и Л2 подключены к источнику тока, одна - последовательно с катушкой индуктивности L с железным сердечником, а другая - последовательно с резистором R (см. рисунок). Первоначально ключ К разомкнут. Опишите разницу в работе лампочек при замыкании ключа К. Каким явлением вызвана эта разница?



После замыкания ключа токи в цепи начнут увеличиваться. При этом, в катушке индуктивности возникнет ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_{с.и.} = -L \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ , которая по правилу Ленца будет направлена так, чтобы уменьшить возникшее изменение, то есть ЭДС самоиндукции будет "сдерживать" рост тока  $I_1$  через катушку (а, следовательно, и через лампу Л1). Таким образом, лампа Л1 будет **разгораться плавно в течении некоторого времени**. Конечно, это время будет зависеть от индуктивности катушки и сопротивления лампы с катушкой, но учитывая, что катушка с **железным сердечником** (который в десятки раз увеличивает её индуктивность), можно считать, что **время будет заметным**.



Рост тока  $I_2$  через лампу Л2 ничем не сдерживается, и время зажигания лампы определяется временем распространения электромагнитных волн по цепи, временем разогрева спирали лампы да влиянием индуктивности и ёмкости проводов и самой лампы (которое пренебрежимо мало) – можно считать, что лампа Л2 **загорится почти мгновенно**.

Однако, в конечном состоянии, когда прекратится изменение токов и исчезнет ЭДС самоиндукции, сопротивление участка с лампой Л1 станет меньше сопротивления участка с лампой Л2 (про сопротивление катушки ничего не сказано, значит, будем считать, что её сопротивление меньше сопротивления резистора R). А, так как эти участки соединены **параллельно**, то конечный ток через лампу Л1 будет больше тока через лампу Л2. Следовательно, **лампа Л1 будет гореть ярче лампы Л2**.

Шабалин Евгений Иванович

[www.reppofiz.info](http://www.reppofiz.info) – помощь по физике студентам и школьникам

Если кольцо диаметром 3-4 см, согнутое из тонкой проволоки, окунуть в раствор мыла, то, вынув его из раствора, можно обнаружить радужную пленку, затягивающую отверстие кольца. Если держать кольцо так, чтобы его плоскость была вертикальна, и рассматривать пленку в отраженном свете на темном фоне, то в верхней части пленки через некоторое время будет видно растущее темное пятно, окольцованное разноцветными полосами. Как чередуется цвет полос в направлении от темного пятна к нижней части кольца? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.

- **Решение:**

- Мыльный раствор, стекая вниз, образует клин, обращенный широкой гранью вниз. Световые волны, отраженные от передней и задней поверхностей клина, интерферируют. Результат интерференции зависит от разности хода волн, а она в свою очередь определяется толщиной клина в месте падения света.
- Появление темного пятна в верхней части каркаса объясняется тем, что пленка в этой области настолько тонкая, что разность хода волн не превышает половины длины самых коротких волн в спектре падающего света.
- По мере увеличения толщины пленки разность хода волн начинает удовлетворять условию максимума амплитуды сначала для самых малых, а затем все больших длин волн, поэтому ниже темного пятна цвета пленки сменяются от фиолетового, с минимальной длиной волны, к красному – с максимальной. Возрастающим значениям  $k$  соответствуют системы полос, в которых цвета чередуются указанным образом в направлении сверху вниз. При достаточно большой толщине пленки системы полос могут перекрываться, образуя смешанные цвета, поскольку при этом могут выполняться условия максимума амплитуды для волн разных длин.

