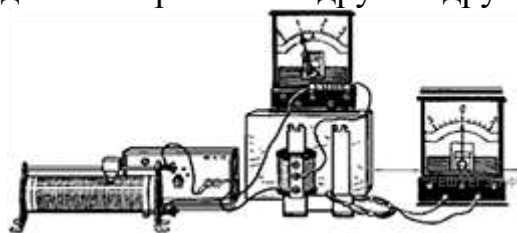


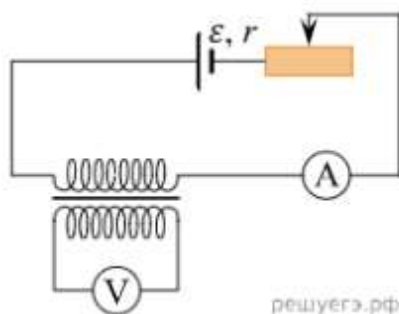
Домашнее задание
Задание №21. Электричество и магнетизм

1. На рисунке изображены две изолированные друг от друга электрические цепи.



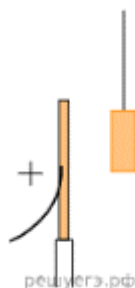
Первая содержит последовательно соединенные источник тока, реостат, катушку индуктивности и амперметр, а вторая — проволочный моток, к концам которого присоединен гальванометр, изображенный на рисунке справа. Катушка и моток надеты на железный сердечник. Как будут изменяться показания приборов, если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

2. На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра.

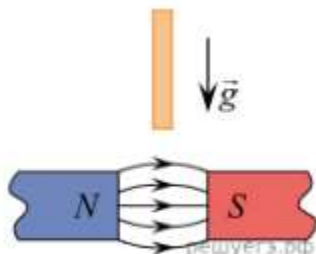


В начальный момент времени ползунок реостата установлен в крайнем правом положении и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться показания приборов в процессе перемещения ползунка реостата влево. ЭДС самоиндукции пренебречь по сравнению с ЭДС.

3. 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.



4. В зазоре между полюсами электромагнита создано сильное магнитное поле, линии индукции которого практически горизонтальны. Над зазором на некоторой высоте удерживают длинную плоскую медную пластинку, параллельную вертикальным поверхностям полюсов (см. рис.). Затем пластинку отпускают без начальной скорости, и она падает, проходя через зазор между полюсами, не касаясь их. Опишите, опираясь на физические законы, как и почему будет изменяться скорость пластинки во время ее падения.



5. Параллельно катушке индуктивности L с малым активным сопротивлением включена лампа накаливания (см. рис. *a*). Яркость свечения лампы прямо пропорциональна напряжению на ней. На рис. *б* представлен график зависимости силы тока I в катушке от времени t . Опираясь на законы физики, изобразите график зависимости яркости свечения лампы от времени. Объясните построение графика, указав явления и закономерности, которые Вы при этом использовали.

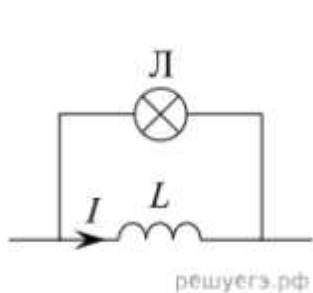


Рис. *a*

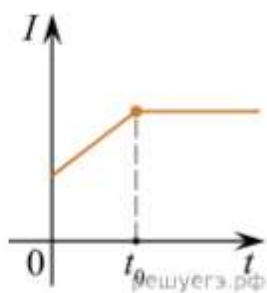
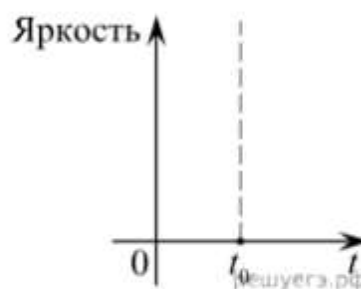
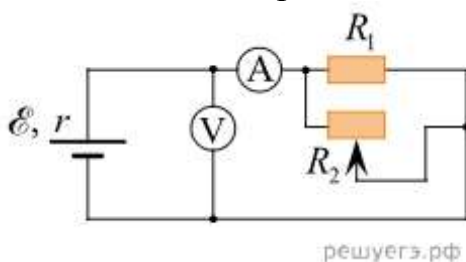


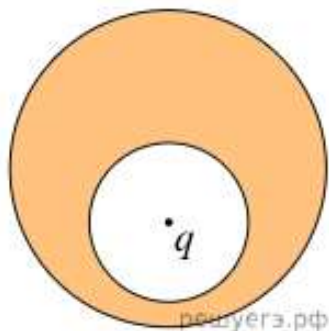
Рис. *б*



6. На рисунке показана принципиальная схема электрической цепи, состоящей из источника тока с отличным от нуля внутренним сопротивлением, резистора, реостата и измерительных приборов — идеального амперметра и идеального вольтметра. Как будут изменяться показания приборов при перемещении движка реостата вправо? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



7. В нижней половине незаряженного металлического шара располагается крупная шарообразная полость, заполненная воздухом. Шар находится в воздухе вдали от других предметов. В центр полости помещен положительный точечный заряд $q > 0$ (см. рисунок). Нарисуйте картину линий напряженности электростатического поля внутри полости, внутри проводника и снаружи шара. Если поле отсутствует, напишите в данной области: $\vec{E} = 0$. Если поле отлично от нуля, нарисуйте картину поля в данной области, используя восемь линий напряженности. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



Ответы к заданиям:

1. Решение:

1. 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.
2. При плавном перемещении катушки вверх ее индуктивность будет уменьшаться, что вызовет уменьшение потока вектора магнитной индукции через железный сердечник и небольшую ЭДС индукции в цепи этой катушки много меньше ЭДС цепи, которой можно пренебречь.
3. Сила тока через амперметр не изменится, поскольку в соответствии с законом Ома для замкнутой цепи она определяется выражением $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$, где R — сопротивление подключенной части реостата. Уменьшение потока вектора магнитной индукции через поперечное сечение сердечника вызывает изменение потока вектора индукции магнитного поля в проволочном мотке, соединенном с гальванометром. В соответствии с законом индукции Фарадея $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, что вызывает ток через гальванометр.

2. Решение:

1. Во время перемещения движка реостата показания амперметра будут плавно увеличиваться, а вольтметр будет регистрировать напряжение на концах вторичной обмотки. 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.)
2. При перемещении ползунка влево сопротивление цепи уменьшается, а сила тока увеличивается в соответствии с законом Ома для полной цепи: $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$, 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 индукции Фарадея возникает ЭДС индукции $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, во вторичной обмотке, а, следовательно, напряжение U на ее концах, регистрируемое вольтметром.

3. Решение:

1. Гильза притянется к пластине, коснется ее, а потом отскочит и зависнет в отклоненном состоянии.
2. Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе и произойдет ее электризация: та ее сторона, которая ближе к пластине (левая), будет иметь отрицательный заряд, а противоположная сторона (правая) — положительный. Поскольку сила взаимодействия заряженных тел уменьшается с ростом расстояния между ними, притяжение к пластине левой стороны гильзы будет больше отталкивания правой стороны гильзы. Гильза будет притягиваться к пластине и двигаться, пока не коснется ее.
3. В момент касания часть электронов перейдет с гильзы на положительно заряженную пластину, гильза приобретет положительный заряд и оттолкнется от теперь уже одноименно заряженной пластины.
4. Под действием силы отталкивания гильза отклонится вправо и зависнет в положении, когда равнодействующая силы электростатического отталкивания, силы тяжести и силы натяжения нити станет равна нулю.

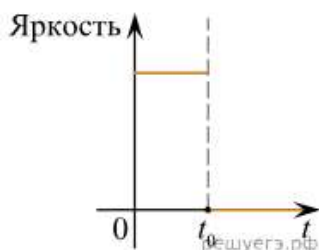
4. Решение:

1. Сначала пластинка начинает падать под действием силы тяжести с ускорением свободного падения при этом ее скорость увеличивается.
2. Как только нижний край пластинки достигает области между полюсами магнита, в которой существует сильное магнитное поле, магнитный поток через пластинку начинает возрастать, и в ней по закону электромагнитной индукции Фарадея появляются вихревые индукционные токи («токи Фуко»). Эти токи взаимодействуют по закону Ампера с магнитным полем магнита, и, в соответствии с правилом Ленца, появляется сила, тормозящая падение пластинки. Поэтому ускорение пластинки начинает уменьшаться.
3. Когда тормозящая сила сравнивается с силой тяжести, то ускорение пластинки становится равным нулю, и пластинка далее падает в зазоре электромагнита с постоянной скоростью.
4. Когда верхний край пластинки достигает верхнего края зазора электромагнита, магнитный поток через пластинку начинает падать, и тормозящая сила уменьшается. При этом в соответствии со вторым

законом Ньютона скорость пластинки возрастает, и после ее выхода из магнитного поля продолжается падение с ускорением свободного падения.

5. Решение:

1. Катушка и лампочка соединены параллельно, поэтому напряжение на лампочке равно напряжению на катушке.
2. По условию активное сопротивление R катушки пренебрежимо мало. Поэтому согласно закону Ома для участка цепи напряжение на нем стремится к нулю. Следовательно, напряжение на катушке равно ЭДС самоиндукции катушки.
3. При $t < t_0$ сила тока в катушке изменяется по линейному закону. ЭДС самоиндукции катушки $\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = \text{const}$. Напряжение на лампочке равно ЭДС самоиндукции, а, значит, постоянно, и яркость свечения лампочки на этом интервале времени также постоянна.
4. При $t > t_0$ сила тока в катушке постоянна, $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$ и, следовательно, ЭДС самоиндукции катушки и напряжение на лампочке равны нулю. На этом интервале лампочка не светит.
5. График зависимости яркости свечения лампочки от времени приведен на рисунке.



6. Решение:

По условию задачи сопротивлением амперметра можно пренебречь, а сопротивление вольтметра бесконечно велико. При перемещении движка вправо сопротивление реостата R_2 увеличивается, что ведет к увеличению сопротивления R всей внешней цепи: $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

В соответствии с законом Ома для полной цепи сила тока через амперметр уменьшается: $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ (знаменатель дроби растет, а числитель остается неизменным). Напряжение, измеряемое вольтметром, при этом растет: $U = IR = \varepsilon - Ir$

Ответ: напряжение, измеренное вольтметром, растет, а показания амперметра уменьшаются.

7. Решение:

1. Приведен схематический рисунок картины линий напряженности: внутри полости — семейство прямых лучей, исходящих из заряда и приходящих на поверхность полости по нормали; снаружи шара — семейство прямых лучей, по нормали к ней и уходящих в бесконечность.
2. Внутри проводника — электростатическое поле $\vec{E} = 0$.
3. Заряд q помещен в центр шарообразной полости, поэтому его электростатическое поле в полости обладает центральной симметрией и выглядит как поле уединенного точечного заряда $q > 0$, находящегося в центре полости. Линии напряженности этого поля подходят по нормали к поверхности полости, где равномерно распределен отрицательный индуцированный заряд $-q < 0$.
4. На наружной поверхности шара находится (в силу нейтральности шара в целом) положительный заряд $q > 0$. Поскольку внутри проводника $\vec{E} = 0$, а снаружи окружающие предметы расположены далеко от шара, этот заряд распределен по поверхности шара равномерно. Его поле вне шара выглядит как поле уединенного точечного заряда $q > 0$, расположенного в центре шара. Линии напряженности отходят от шара по нормали к его поверхности.

