

## Зачетные материалы по физике



**Составитель:** Анатолий Найдин



**г. Томск, ТФТЛ**

**2020**

# ЗАЧЕТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

## ЭЛЕКТРОСТАТИКА

*Старайся дать уму как можно больше пищи.*

*Л.Н. Толстой*

Электростатика - раздел электродинамики, в котором изучается взаимодействие неподвижных электрических зарядов (электростатическое взаимодействие). Основным законом электростатики - закон Кулона. Согласно закону Кулона, два точечных неподвижных заряда взаимодействуют друг с другом в вакууме с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению зарядов и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними:  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ . Такое взаимодействие осуществляется посредством

электрического поля. Главное свойство электростатического поля, как и электрического, способность действовать на электрические заряды, помещенные в него, с некоторой силой. Называется это свойство напряженностью электрического поля, и измеряется в данной точке поля отношением силы, действующей на пробный заряд, к величине этого заряда. Говорят, что поле задано, если известна напряженность в каждой его точке. Зная напряженность, всегда можно рассчитать силу, действующую на электрический заряд со стороны поля в данной точке по формуле:  $\vec{F} = q\vec{E}$ .

Силовые линии напряженности электростатического поля не замкнуты, они начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных, либо уходят на бесконечность. Этот факт позволяет сделать вывод о том, что источниками электрического поля являются электрические заряды. Если в какой-то точке пространства электростатическое поле создается несколькими источниками, то результирующая напряженность поля в данной точке равна геометрической сумме напряженностей полей, создаваемых каждым источником в отдельности в данной точке (принцип суперпозиции):

$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$ . Электростатическое поле потенциально, то есть его работа по перемещению электрического заряда между двумя точками поля не зависит от вида траектории. Вследствие потенциальности поля, каждая точка имеет потенциал, измеряемый в данной точке отношением потенциальной энергии взаимодействия пробного заряда с полем к величине этого заряда. Если поле задано (известен потенциал каждой точки), то можно определить напряжение между двумя точками поля:  $U = \varphi_1 - \varphi_2$  и измерить работу, совершаемую силами поля по перемещению заряда из одной точки в другую:  $A' = qU$ .

### ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ "ЭЛЕКТРОСТАТИКА"

Основные понятия: Электрический заряд, электрическое поле, напряженность электрического поля. Потенциал, работа электростатического поля, электрическое напряжение, разность потенциалов. Проводник, электрическая емкость, конденсатор, диэлектрик.

Модель: изображение полей с помощью силовых линий.

Ядро электростатики

Постулаты: Источниками электрического поля являются электрические заряды.

Законы:  $F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ ;  $\vec{F} = q\vec{E}$ ;  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N$ ;  $A = q\Delta\varphi$ .

Константы:  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ .

Следствия:  $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ ;  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ;  $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r}$ ;  $E = \frac{U}{d}$ ;  $E_n = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ ;

$C = \frac{q}{U}$ ;  $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ ;  $E = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2}$ .

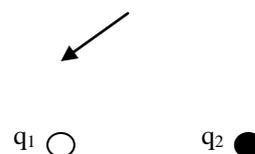
## ОТВЕТЬ НА ВОПРОСЫ!

1. Назовите известные вам типы фундаментальных взаимодействий.
2. Какое взаимодействие называют электромагнитным? Каковы его характерные особенности?
3. Дайте определение понятия "электрический заряд".
4. Какой электрический заряд называют элементарным? Приведите примеры частиц, заряд которых равен одному элементарному заряду.
5. Способны ли к электромагнитному взаимодействию окружающие вас тела? В каком случае? Как можно зарядить тело?
6. Объясните явление электризации. Приведите примеры веществ, обладающих значительной способностью к электризации.
7. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
8. Как зависит сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов от расстояния между ними; от величины каждого из зарядов; от свойств среды?
9. Сформулируйте закон Кулона. Запишите формулу закона Кулона.
10. Что называют электрическим полем? Назовите известные вам свойства электрического поля.
11. Назовите измеримые свойства электрического поля.
12. Что называют напряженностью электрического поля? Какова единица напряженности в СИ?
13. Что называют силовой линией электрического поля? Как графически изображаются электрические поля? Приведите примеры.
14. Какие заряды в веществе называют свободными? Как объяснить образование свободных электронов при конденсации нейтральных атомов металла в твердое или жидкое тело?
15. Какое явление называют электростатической индукцией?
16. Чему равно электростатическое поле внутри проводника? На каком принципе основана электростатическая защита? Приведите примеры.
17. Какой процесс называют поляризацией диэлектрика? Какие факторы влияют на степень поляризации диэлектрика?
18. Что называют диэлектрической проницаемостью среды?
19. Чем объяснить уменьшение напряженности электрического поля в веществе?
20. Какие поля называют потенциальными? Приведите примеры. Как измерить работу потенциального поля по перемещению заряда (тела)?
21. Что называют электрическим потенциалом данной точки электростатического поля? Какова его единица в СИ? В каких случаях говорят, что поле задано?
22. Дайте определение следующих понятий: потенциал; разность потенциалов; электрическое напряжение.
23. Что можно определить, если: а) измерена напряженность электрического поля в данной точке; б) измерен потенциал данной точки электростатического поля; в) измерено напряжение между двумя точками электростатического поля?
24. Когда перенос заряженного тела из одной точки электростатического поля в другую не сопровождается изменением его энергии?
25. Сформулируйте принцип суперпозиции.
26. Какова связь между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов?
27. Что мы понимаем под электроемкостью проводника? От каких факторов зависит электрическая емкость проводника и, какова ее единица в СИ?
28. Дайте определение электрической емкости?
29. Что называют конденсатором? Что мы понимаем под электроемкостью конденсатора? Дайте общую характеристику этому объекту.
30. Как выглядит поле у краев заряженного плоского конденсатора?
31. Для каких целей могут быть использованы конденсаторы в технике? Приведите примеры.

32. Запишите формулы: а) емкости конденсатора; б) емкости плоского конденсатора; в) энергии заряженного конденсатора; д) плотности энергии электростатического поля.
33. Прочитайте формулы основных законов электростатики вслух.

### ВЫБЕРИ ВЕРНЫЙ ОТВЕТ!

- Частицы обладают зарядом, если:
  - они притягиваются друг к другу;
  - они способны взаимодействовать с другими частицами;
  - сила их взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними;
  - они способны к электромагнитным взаимодействиям.
- Чему равна величина элементарного заряда в СИ?
  - $4,8 \cdot 10^{-10}$  Кл
  - $3 \cdot 10^9$  Кл
  - 1 эл. заряд
  - $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл
- Как изменится сила отталкивания двух неподвижных одноименных точечных зарядов в вакууме, если величину каждого заряда увеличить в 4 раза, а расстояние между ними уменьшить вдвое?
  - увеличится в 16 раз;
  - увеличится в 4 раза;
  - увеличится в 64 раза;
  - увеличится в 32 раза.
- Взаимодействие между электрическими зарядами осуществляется:
  - через пространство, разделяющее эти заряды;
  - посредством электрического поля, создаваемого этими зарядами;
  - посредством промежуточной среды;
  - непосредственно.
- Напряженность электрического поля ( $\vec{E}$ ) - свойство поля действовать в данной точке на электрический заряд с некоторой силой, измеряемое:
  - отношением этой силы к заряду;
  - в Н/Кл;
  - кулонометром;
  - динамометром.
- Каков знак заряда  $q_1$ , создающего совместно с положительным зарядом  $q_2$  электрическое поле в точке А?
- Внутри проводника, помещенного в электростатическое поле, напряженность поля:
  - равна нулю;
  - определяется внешними полями;
  - имеет вполне определенное значение;
  - не может быть измерена.
- Какую работу необходимо совершить, чтобы перенести заряд  $2 \cdot 10^{-8}$  Кл из бесконечности в точку, имеющую потенциал 20 В?
  - $4 \cdot 10^{-5}$  Дж;
  - $4 \cdot 10^{-7}$  Дж;
  - $1 \cdot 10^{-19}$  Дж;
  - $4 \cdot 10^{-9}$  Дж.
- Определить емкость конденсатора, если сообщение ему заряда  $3 \cdot 10^{-5}$  Кл, вызывает появление разности потенциалов 30 В между его обкладками?
  - 1 мкФ;
  - $90 \cdot 10^{-5}$  Ф;
  - 9 мкФ;
  - 2,3 Ф.
- Чем объяснить, что электролитические конденсаторы обладают большей емкостью?
  - площадь обкладок электролитического конденсатора велика;
  - оксидная пленка, служащая диэлектриком, имеет малую толщину;
  - диэлектрическая проницаемость оксидной пленки велика;
  - пробивное напряжение конденсатора велико.



## ЗАПОЛНИ ОБОБЩАЮЩУЮ ТАБЛИЦУ "ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ"!

### ЭЛЕКТРОСТАТИКА

#### I. Основание

1. Наблюдения
2. Эксперименты
3. Измеримые свойства
4. Модель

#### II. Ядро теории

1. Постулаты
2. Законы
3. Константы

#### III. Следствия

1. Формулы-следствия
2. Экспериментальная проверка
3. Границы применимости
4. Практические применения

Пользуясь структурной схемой изучения любой физической теории, выясните, к каким структурным элементам теории можно отнести приведенные ниже утверждения:

1. Электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.
2. Источниками электрического поля являются электрические заряды.
3. Электрическое поле - вид материи, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрическими зарядами.
4. Напряженность электрического поля - свойство поля действовать на электрический заряд с некоторой силой, измеряемое в данной точке отношением этой силы к величине заряда.
5. Два точечных неподвижных заряда взаимодействуют друг с другом в вакууме с силой, величина которой прямо пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.
6. Граммофонная пластинка, потертая сухой тряпкой, притягивает пыль.
7. Напряженность электростатического поля внутри равномерно заряженной сферы равна нулю.
8. Электрические поля наглядно изображают с помощью силовых линий.
9. Законы электростатики можно применять только для неподвижных электрических зарядов в электростатических полях.
10. В опытах Милликена-Иоффе был измерен элементарный электрический заряд.

### УМЕЙ ПОЛУЧАТЬ ФОРМУЛЫ-СЛЕДСТВИЯ!

1. Запишите последовательно вывод формулы для напряженности поля между пластинами плоского заряженного конденсатора. Изобразите подходящий рисунок.
2. Укажите зависимость от расстояния величин  $E$  и  $\varphi$  для источника поля в виде: а) точечного заряда; б) равномерно заряженного шара; в) бесконечной плоскости; г) диполя.
3. Используя основные законы электростатики, получите:
  - 1) формулы для напряженности поля точечного заряда; заряженного проводящего шара; заряженной бесконечной плоскости; заряженного конденсатора.
  - 2) формулу для определения емкости плоского конденсатора.
  - 3) формулу для определения энергии заряженного конденсатора.
  - 4) формулу для плотности энергии электрического поля.
  - 5) формулу связи между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов.
4. Докажите, что напряженность электростатического поля внутри равномерно

заряженной сферы равна нулю.

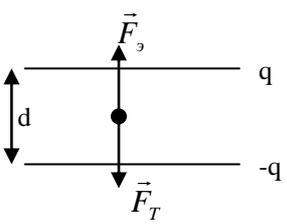
5. Как зависит линейная скорость частицы, движущейся по окружности вокруг заряженной нити, от радиуса ее орбиты?
6. Пластины диэлектрика удаляют из плоского конденсатора, подключенного к батарее. Как при этом изменяется емкость, заряд на обкладках конденсатора, разность потенциалов, энергия конденсатора, напряженность электрического поля?
7. Докажите, что если опустить края плоского заряженного конденсатора с вертикально расположенными обкладками в жидкий диэлектрик, то жидкость поднимется на некоторую высоту.
8. Выведите формулу, позволяющую определить высоту подъема жидкого диэлектрика в заряженном конденсаторе с вертикально расположенными стенками.
9. Как зависит диэлектрическая проницаемость газа от его давления?

### ТАК РЕШАЙ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

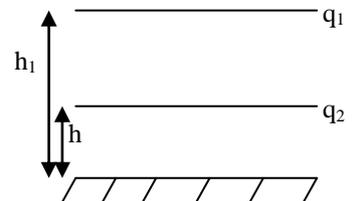
1. Два шарика, расположенные на расстоянии 10 см друг от друга, имеют отрицательные одинаковые заряды и взаимодействуют с силой 0,23 мН. Найти число избыточных электронов на каждом шарике.

Дано:		$q_1 = -Ne$	
$R = 10 \text{ см}$	0,1 м	$q_2 = -Ne$	
$F = 0,23 \text{ мН}$	$0,23 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{N^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$	
$N - ?$	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$N = \sqrt{\frac{F \cdot 4\pi\epsilon_0 r^2}{e^2}} = \frac{2r}{e} \sqrt{F\pi\epsilon_0} = 1 \cdot 10^{11}$	

2. Между двумя пластинами, расположенными горизонтально в вакууме на расстоянии 4,8 мм друг от друга, находится в равновесии отрицательно заряженная капля масла массой 10 мг. Сколько избыточных электронов имеет капля, если на пластины подано напряжение 1 кВ?

Дано:			$q = Ne$ $qE = mg$ $E = \frac{U}{d}$
$d = 4,8 \text{ мм}$	$4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$		
$m = 10 \text{ мг}$	$10 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$		
$U = 1 \text{ кВ}$	1000 В		
	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$		
$N - ?$		$Ne \frac{U}{d} = mg \rightarrow N = \frac{mgd}{eU} = 3000$	

3. Какую работу необходимо произвести, чтобы к плоской обкладке конденсатора с зарядом  $q_1$ , расположенной параллельно поверхности Земли на расстоянии  $h_1$  от нее, поднести параллельно вторую такую же пластинку с зарядом  $q_2$ , расположив ее на расстоянии  $h$  от первой? Площадь обкладок конденсатора  $S$ . Какое количество теплоты выделится, если верхнюю обкладку заземлить?

Дано:	
$q_1, h_1, q_2, h, S$	
$A - ? \quad Q - ?$	

До внесения пластины между обкладкой и Землей существовало электрическое поле  $E_1 = \frac{q_1}{S\epsilon_0}$ , в котором была запасена энергия  $E_{\text{э}1} = \frac{\epsilon_0 E_1^2}{2} V = \frac{q_1^2}{2S\epsilon_0} h_1$ . После внесения пластины поле между пластинами не изменилось, а между внесенной пластиной и Землей из-за наложения полей напряженность поля составила  $E'_2 = \frac{q_1}{S\epsilon_0} + \frac{q_2}{S\epsilon_0}$  (если заряды были одинаковы по знаку).

Тогда запасенная в системе энергия  $E_{\text{э}2} = E_{\text{э}1} + E'_{\text{э}2} = \frac{1}{2S\epsilon_0} (q_1^2 h_1 + 2q_1 q_2 h + q_2^2 h)$ .

Тогда произведенная работа  $A = E_{\text{э}2} - E_{\text{э}1} = \frac{q_2 h}{2S\epsilon_0} (q_2 + 2q_1)$ .

Если верхнюю обкладку заземлить, то выделится количество теплоты  $Q = E_{\text{э}1} - E_{\text{э}2}$ .

### УМЕЙ РЕШАТЬ ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ!

1. Почему два одноименно заряженных шара, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, взаимодействуют с меньшей силой, чем при разноименных зарядах?
2. При заправке баков самолета бензином металлический наконечник рукава всегда тщательно присоединяют проволокой к металлическому корпусу до погружения и, как такой способ выполняет свою задачу?
3. Имеется положительно заряженный шар. Как с помощью этого шара, не уменьшая его заряда, наэлектризовать два других шара: один положительно, другой - отрицательно?
4. При каких условиях перенос электрического заряда из одной точки электрического поля в другую не сопровождается затратами энергии?
5. Почему зимой электризация тел значительнее, чем летом?
6. Почему в опытах по электростатике человека устанавливают на изолирующую подставку?
7. Могут ли притягиваться одноименно заряженные тела? Рассмотреть только электромагнитное взаимодействие.
8. Мыльный пузырь, соединенный с атмосферой с помощью трубки, сдувается за некоторое время. Как изменится это время, если пузырю сообщить положительный заряд?
9. Почему стрелка электрометра отклоняется, если его корпусу сообщить электрический заряд? Будет ли отклоняться стрелка, если стержень электрометра не будет заземлен?
10. Почему стекло можно резать в воде ножницами?
11. Почему крупинки манки (диэлектрические стрелки) ориентируются вдоль силовых линий электрического поля?
12. Всегда ли одинаковы емкости двух одинаковых изолированных проводников?
13. Какую опасность представляет обесточенная цепь с имеющимися в ней конденсаторами?
14. Плоский воздушный конденсатор помещают в жидкий диэлектрик. Как меняется энергия заряженного конденсатора, если он подсоединен к батарее? А если не подсоединен? Почему?

### РЕШИ САМ!

1. Два одинаковых металлических шарика массой 10 г каждый расположены на расстоянии значительно большем радиуса шариков. Какой равный заряд необходимо сообщить этим шарикам, чтобы сила их электростатического отталкивания уравновешивалась силой их гравитационного притяжения?
2. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускаются в керосин. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения

- нитей в воздухе и в керосине был один и тот же?
3. Между горизонтальными пластинами плоского заряженного конденсатора находится пылинка, имеющая массу  $10^{-12}$  кг и заряд  $9,8 \cdot 10^{-17}$  Кл. Какова напряженность поля в конденсаторе, если сила тяжести, действующая на пылинку, уравновешивается электрической силой?
  4. Каковы величина и направление напряженности электрического поля в точке посередине между зарядами  $-20$  и  $60$  мкКл, удаленными на расстояние  $40$  см друг от друга?
  5. Электрон с начальной скоростью  $2,4 \cdot 10^6$  м/с движется параллельно электрическому полю с напряженностью  $8,4 \cdot 10^3$  Н/Кл. Какое расстояние он пройдет, прежде чем начнет двигаться в обратном направлении? Через какое время он вернется в исходную точку?
  6. Металлическая пластина площадью  $S$  расположена перпендикулярно силовым линиям однородного электрического поля напряженностью  $E$ . Какой величины заряды индуцируются на поверхности пластины?
  7. Какую работу необходимо совершить по переводу трех электронов из бесконечности на расстояние  $1 \cdot 10^{-10}$  м друг от друга?
  8. Конденсатор емкостью  $2,5$  мкФ заряжают до напряжения  $35$  В и отключают от батареи. Затем его подключают к другому конденсатору, при этом напряжение на первом конденсаторе падает до  $16$  В. Чему равна емкость второго конденсатора, если до подключения он был не заряжен?
  9. Имеются три конденсатора емкостью  $2000$  пФ,  $5000$  пФ и  $0,01$  мкФ. Какую наибольшую и наименьшую емкости можно составить из них? Как следует соединить для этого конденсаторы?
  10. Электрон находится на расстоянии  $5,3 \cdot 10^{-11}$  м от протона. Какой должна быть скорость электрона, чтобы он мог улететь в бесконечность?

### **ВЫПОЛНИ ЭКСПЕРИМЕНТ ДОМА!**

1. Изготовь комплект для наблюдения электризации тел.
2. Возьмите сухую и чистую расческу, расчешите чистые и сухие волосы и докажите, что гребенка наэлектризовалась. Для этого попытайтесь обнаружить действие этой гребенки на бумажки, цепочку, кусочек проволоки, подвешенные на нити.
3. Наэлектризуйте чистую сухую бутылку, для чего потрите ее газетой. Обнаружьте действие наэлектризованного тела, как и в предыдущем случае.
4. В стакан с водой поместили стальную булавку так, что она плавает. В какую сторону будет перемещаться булавка, если к ней поднести наэлектризованную эбонитовую палочку?
5. Поднесите к струе воды из крана наэлектризованную расческу. Что вы наблюдаете? Опишите наблюдаемое явление и объясните его.
6. Если некоторый объем воды замораживать с одной стороны, то на границе "лед-вода" возникает напряжение. Измерьте его и объясните явление.
7. Осуществите с помощью электрофорной машины (высоковольтного генератора) электрический пробой диэлектрика (стопки бумаги), и исследуйте с помощью микроскопа (лупы) края полученных отверстий в средней части стопки. Дайте объяснение увиденному эффекту.
8. Можно ли тонкое стекло резать в воде ножницами? Почему?
9. С помощью электропроводной бумаги (промокательная бумага, пропитанная слабым раствором соли), батарейки и микроамперметра, исследуйте потенциальные электростатические поля и изобразите их спектры.
10. Почему заряженный проводник, покрытый пылью, быстрее теряет свой заряд?

## УМЕЕШЬ ЛИ ТЫ ПРОВОДИТЬ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ?

1. Перечислите и опишите действия (используемые материалы и методику), при которых маленький металлический шар зарядится:
  - 1) положительно без прикосновения к заряженному телу;
  - 2) отрицательно при соприкосновении с заряженным телом?
2. Когда в сухой зимний день вы касаетесь металлического предмета, например, дверной ручки, вы видите искру и чувствуете удар. Обычно это объясняют, говоря, что человеком накоплен статический заряд. Как можно выяснить знак заряда, которым вы обладаете? Почему это явление не происходит летом во влажный день?
3. Измерьте размеры медной монеты и рассчитайте число свободных электронов, содержащихся в ней. Предположите, что на каждый атом приходится по одному свободному электрону.
4. Предложите способ измерения электрической постоянной с помощью конденсатора.
5. В каком случае листочек незаряженной металлической фольги с большого расстояния притянется к заряженной палочке: если он лежит на заземленном стальном листе или когда он находится на сухом стекле?
6. Как экспериментально проверить справедливость закона Кулона?
7. Каким образом Милликену удалось измерить элементарный электрический заряд?
8. Каким образом можно зарядить конденсатор?
9. Почему опыты с электрическими зарядами (электростатические эффекты) гораздо лучше получаются зимой, чем летом?
10. Почему невозможно разделить все положительные и отрицательные заряды, находящиеся в теле?
11. Как велик заряд 1 Кл?
12. Какова приблизительно ваша электрическая емкость?
13. Предложите способ измерения напряженности электрического поля Земли.

## УМЕЙ ПРИМЕНЯТЬ ПОЛУЧЕННЫЕ ЗНАНИЯ НА ПРАКТИКЕ!

1. Вы наэлектризовали пластмассовую расческу, потеряв ее шелковым шарфом. Как определить, какой заряд у расчески – положительный или отрицательный?
2. Почему капли дождя или тумана образуются на ионах или электронах в воздухе?
3. Когда наэлектризованная палочка притягивает кусочки бумаги, некоторые из них, коснувшись палочки, тут же отскакивают. Объясните это явление.
4. Причиной, каких явлений должна быть электризация?
  - 1) воспламенение газонептяного фонтана из скважины;
  - 2) молния;
  - 3) слипание листов копировальной бумаги;
  - 4) заправка самолета;
  - 5) возникновение разности потенциалов между крыльями самолета в полете.

5. Перед вами пять законов:  $F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$ ;  $\vec{F} = q\vec{E}$ ;  $E = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$ ;  $A' = qU$ ;  $E = U/d$ .

Выделите основные законы и прочитайте их формулы вслух. Какой из законов надо применять для объяснения данного явления?

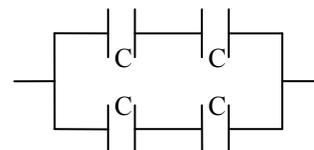
- 1) Два легких заряженных шарика, подвешенных на шелковых нитях, отталкиваются друг от друга.
- 2) Электрон, находящийся между обкладками заряженного конденсатора, перемещается к положительно заряженной обкладке.
- 3) При сближении клемм высоковольтного выпрямителя между ними проскакивает искра.
- 4) Напряженность электростатического поля внутри равномерно заряженной сферы равна нулю.
- 5) Электростатический маятник, помещенный между обкладками заряженного

воздушного конденсатора, совершает колебания.

- Обкладку плоского воздушного конденсатора наклонили так, что расстояние с одной стороны увеличилось в два раза. Как изменилась емкость конденсатора?
- Почему от оборванного трамвайного высоковольтного провода, лежащего на земле, следует отходить мелкими шагами.
- Предложите конструкцию прибора на электретах, с помощью которого можно: 1) управлять электронным пучком; 2) измерять влажность воздуха; 3) измерять электрический заряд.

### ПРОВЕРЬ СВОИ ЗНАНИЯ ПО ТЕМЕ "ЭЛЕКТРОСТАТИКА"!

- Почему граммофонная пластинка, потертая тканью, начинает притягивать пыль?
- Для каждого понятия дайте краткое определение или описание, четко объясняющее, что это такое:
  - электрический заряд;
  - напряженность электрического поля;
  - разность потенциалов;
  - электрическая емкость.
- Положительно заряженный шарик массой 0,18 г и плотностью вещества 1800 кг/м находится во взвешенном состоянии в жидком диэлектрике плотностью 900 кг/м. В диэлектрике имеется однородное электрическое поле напряженностью 45 кВ/м, направленное вертикально вверх. Найти заряд шарика.
- Докажите, что две единицы напряженности электрического поля 1 В/м и 1 Н/Кл эквивалентны.
- Почему при измерении напряженности электрического поля используют малый пробный заряд?
- Почему силовые линии электрического поля нигде не пересекаются?
- Два конденсатора подключены к батарее. В каком случае они запасают больше энергии: при последовательном или при параллельном соединении?
- Для каких целей можно использовать конденсатор?
- Расстояние между пластинами плоского конденсатора 0,1 мм. Какой должна быть площадь пластин, чтобы емкость конденсатора достигла 1Ф?
- Найдите отношение электростатической и гравитационной сил для двух электронов.
- Металлической сфере сообщен положительный заряд. Что произойдет при этом с массой сферы?
- Чему равна емкость четырех одинаковых конденсаторов, соединенных, как показано на рисунке?
- Предложите способы измерения емкости конденсатора.



## ЗАЧЕТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ТЕМЕ "ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК"

*Природа неистощима в своих выдумках.*

*И. Ньютон*

Электрическим током называют упорядоченное движение свободных заряженных частиц в среде. Постоянный электрический ток обладает свойством переносить электрический заряд через поперечное сечение проводника. Это его свойство называют силой электрического тока и измеряют отношением перенесенного заряда за определенный промежуток времени к этому промежутку времени. Масса вещества, выделившегося на катоде при электролизе, прямо пропорциональна перенесенному заряду. Однако эти методы измерения заряда не точны, поэтому силу тока измеряют непосредственно по его магнитному действию. Вещества, хорошо проводящие электрический ток, называют проводниками. Несмотря на довольно высокую электропроводность, проводник обладает свойством противодействовать протекающему по нему электрическому току. Это свойство называют электрическим сопротивлением ( $R$ ) и измеряют при постоянном напряжении на концах проводника отношением этого напряжения к силе тока.

Для замкнутой электрической цепи, содержащей источник тока, справедлив закон Ома:  $I = \varepsilon / (R + r)$ , где  $\varepsilon$  - ЭДС источника тока, а  $(R + r)$  - полное сопротивление электрической цепи.

О наличии электрического тока в проводнике можно судить по его действиям, которые он производит. Одно из них - магнитное - проявляется у всех без исключения проводников и осуществляется посредством магнитного поля. Главное свойство магнитного поля заключается в его способности действовать на движущиеся заряженные частицы (проводники с током и намагниченные тела) с некоторой силой. Это свойство поля называют магнитной индукцией ( $B$ ) и измеряют отношением максимальной силы, действующей в данной точке на движущуюся заряженную частицу, к ее заряду и скорости. Магнитное поле задано, если известна магнитная индукция в каждой его точке.

Линии магнитной индукции всегда замкнуты (не имеют ни начала, ни конца). Этот факт говорит о том, что в природе нет источников магнитного поля (магнитных зарядов). Магнитное поле создается движущимися электрическими зарядами (проводниками с током и намагниченными телами). Природа их едина: магнитное поле возникает в результате движения заряженных частиц (электронов, протонов, ионов), а также благодаря наличию у частиц собственного (спинового) магнитного момента.

В веществе магнитная индукция ( $B$ ) изменяется по отношению к вакууму ( $B_0$ ).

Отношение  $\mu = \frac{\vec{B}}{B_0}$  называется магнитной проницаемостью среды. В зависимости от величины  $\mu$  вещества делят на диамагнетики ( $\mu < 1$ ) и парамагнетики ( $\mu > 1$ ); вещества с  $\mu \gg 1$  называют ферромагнетиками.

Таким образом, если нам заданы напряженность электрического поля и индукция магнитного поля, то по известным правилам ( $F_e = qE$ ,  $F_m = qvB \sin \alpha$ ) можно рассчитать силы, действующие на движущийся заряд (или электрический ток). Поэтому задача расчета взаимодействия движущихся зарядов сводится к расчету электромагнитного поля.

### ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ "ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК"

Основные понятия: Электрический ток, сила тока, напряжение, сопротивление. ЭДС, внутреннее сопротивление источника тока, магнитное поле, магнитная индукция, магнитный поток, проводники, полупроводники, диэлектрики.

Модель: механическая аналогия замкнутой электрической цепи, изображение полей с помощью силовых линий.

Основные законы: 1. У магнитного поля нет источников. 2. Магнитное поле создается

ТОКОМ.

$$3. I = \frac{\varepsilon}{R+r}; \quad F_M = qvB \sin \alpha; \quad \vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_N.$$

Константы:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м

Следствия: 1. Формулы-следствия:

$$q = It; \quad I = q_0 n v S; \quad I = \frac{U}{R}; \quad A' = qU = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t; \quad R = \rho \frac{\ell}{S}; \quad P = \frac{A'}{t}; \quad P =$$

$$UI = I^2 R = U^2/R; \text{ законы Кирхгофа, } B = \mu\mu_0 \frac{I}{2\pi r}; \quad B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R};$$

$$B = \mu\mu_0 \frac{N}{\ell} I; \quad F_A = IB\ell \sin \alpha; \quad \varepsilon_i = vB\ell \sin \alpha.$$

2. Практические применения: расчеты электрических цепей и магнитных полей, действия электрического тока, особенности протекания тока в различных средах и их использование в технике и в быту.

## ОТВЕТЬ НА ВОПРОСЫ

1. Что называют электрическим током?
2. Как определить направление электрического тока в среде?
3. Что называют силой электрического тока? Назовите ее единицу в СИ. Дайте ее определение.
4. Какие вещества являются проводниками электрического тока? Приведите примеры.
5. Что называют вольтамперной характеристикой проводника? Изобразите ее графически для случая, когда температура проводника остается неизменной.
6. Сформулируйте закон Ома для участка электрической цепи.
7. Какую физическую величину называют сопротивлением проводника? Как можно ее измерить? Дайте ее определение.
8. Почему проводник обладает сопротивлением?
9. Как зависит сопротивление проводника от его размеров, от температуры и материала, из которого он изготовлен? Почему?
10. Каким образом проводники можно соединять друг с другом? Для чего это делается?
11. Какое соединение проводников называется последовательным?
12. Как соединить два проводника последовательно? Как определить общее сопротивление цепи, состоящей из нескольких последовательно соединенных проводников?
12. Сформулируйте законы последовательного соединения проводников.
13. Какое соединение проводников называют параллельным? Как соединить два проводника параллельно? Как определить общее сопротивление электрической цепи, состоящей из нескольких параллельно соединенных проводников? Сформулируйте законы параллельного соединения проводников.
14. Какое соединение проводников называют смешанным? Как определить общее сопротивление цепи при смешанном соединении?
15. С помощью какого прибора измеряют силу электрического тока; напряжение? Как расширить пределы измерения этих приборов?
16. В чем основное различие между вольтметром и амперметром? Объясните, почему сопротивление идеального амперметра равно нулю, а идеального вольтметра - бесконечно.
17. Используя механическую аналогию, объясните процессы в замкнутой электрической цепи. Какие превращения энергии происходят в этой цепи?
18. Какие силы называют сторонними? Какова их природа? Приведите примеры.
19. Что называют ЭДС сторонних сил? Запишите формулу для ее измерения. Дайте ее определение.

20. Что называют ЭДС источника тока? Какова ее единица в СИ и как она измеряется? Почему при замкнутых через нагрузку клеммах источника тока, напряжение на клеммах меньше ЭДС?
21. Почему внутреннее сопротивление гальванического элемента непостоянно?
22. Объясните различие между ЭДС и напряжением.
23. Сформулируйте закон Ома для замкнутой цепи. Какие величины он связывает? Для каких физических объектов применим? Приведите примеры его практических применений.
24. Что называют магнитным взаимодействием? Как осуществляется магнитное взаимодействие между проводниками с током?
25. Что называют магнитным полем? Перечислите известные вам свойства магнитного поля.
26. Как можно обнаружить присутствие магнитного поля в данной области пространства? Какие приборы или устройства необходимы для этого?
27. Что называют магнитной индукцией? Какова ее единица в СИ? Как ее измеряют? Дайте ее определение.
28. Как определить направление магнитной индукции с помощью магнитной стрелки? Вокруг прямого проводника с током? Внутри кольцевого проводника с током или соленоида?
29. Что называют линией магнитной индукции? Как графически изображаются магнитные поля? Приведите примеры.
30. Сформулируйте правило, с помощью которого можно определить направление силы, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током.
31. Запишите формулу для определения модуля силы Ампера.
32. Запишите формулу для определения магнитной силы (силы Лоренца). На какие частицы действует магнитная сила?
33. Почему лучше намагничивать железный стержень, помещая его внутрь соленоида с током, а не снаружи?
34. Сколько малых магнитов можно получить, разрезая магнит на все более мелкие части?
35. Можно ли намагниченность железного стержня повышать беспрестанно?
36. Сколько нужно атомов металла, чтобы получить настоящий металл?
37. Дайте общую характеристику следующим физическим объектам: металл, полупроводник, проводник, электролит, диэлектрик.
38. 37. Чем обусловлено электрическое сопротивление металла? Объясните его температурную зависимость.
38. Какое явление называют электролитической диссоциацией? Сформулируйте законы электролиза.
39. Почему опасно выкручивать из патрона лампочку накаливания мокрыми руками?
40. Диссоциация молекул при растворении в воде кристалла поваренной соли ведет к росту потенциальной энергии взаимодействия ионов. За счет чего это происходит?
41. Какой процесс называется ионизацией газа? Как его можно осуществить?
42. Почему для поддержания электрического тока в горячей дуге достаточно невысокого напряжения?
43. Каким образом можно удалить часть электронов из металла? Предложите способы. Где это явление можно использовать в технике?
44. Почему в дымоходных трубах частицы угля в дыме имеют положительный электрический заряд?
45. Как можно изменить ток насыщения в вакуумном диоде?
46. Каков механизм собственной и примесной проводимости в полупроводниках?
47. Изменяется ли сопротивление примесного полупроводника с изменением его температуры?
48. Расскажите о полупроводниковых приборах.
49. Прочтите формулы основных законов постоянного тока вслух.
50. Одинаково ли взаимодействуют два электрона, движущиеся в одном и том же

направлении и в противоположных направлениях?

### ВЫБЕРИ ВЕРНЫЙ ОТВЕТ!

1. Какое из приведенных ниже действий не вызывается электрическим током?
  - 1) Нагревание проводника.
  - 2) Отклонение магнитной стрелки вблизи проводника с током.
  - 3) Изменение массы металлического проводника.
  - 4) Выделение составных частей проводника на электродах.
2. По металлическому проводнику течет ток на запад. В какую сторону перемещаются свободные заряды в проводнике?
  - 1) На запад. 2) На север. 3) На юг. 4) На восток.
3. Сила тока - свойство постоянного электрического тока переносить электрический заряд через поперечное сечение проводника, измеряемое:
  - 1) электрическим прибором;
  - 2) отношением электрического заряда, перенесенного через поверхность, к промежутку времени, за который это перемещение произошло;
  - 3) в амперах;
  - 4) "токовыми весами" в амперах.
4. Провод одинакового сечения разрезали пополам и половинки свили между собой. Как изменилось его сопротивление?
  - 1) Уменьшилось в 2 раза. 2) Увеличилось в два раза.
  - 3) Не изменилось. 4) Уменьшилось в 4 раза.
5. Четыре проводника, сопротивлением по 0,5 Ом каждый, требуется соединить так, чтобы получить сопротивление 2 Ом. Как это сделать?
  - 1) Соединить все проводники параллельно.
  - 2) Соединить все проводники последовательно.
  - 3) Соединить проводники по два параллельно в две последовательные группы.
  - 4) Соединить 3 проводника параллельно и один последовательно к ним.
6. Какое из утверждений следует считать верным?
  1. ЭДС равна напряжению на внешнем участке замкнутой электрической цепи.
  2. ЭДС измеряется отношением работы сторонних сил к перенесенному ими заряду.
  3. ЭДС представляет силу, вызывающую движение свободных зарядов в замкнутой цепи.
  4. ЭДС совершает работу против сил электрического поля.
7. Каково направление магнитного поля, образуемого отрицательным зарядом, удаляющимся от вас?
  - 1) К вам. 2) От вас. 3) По часовой стрелке. 4) Против часовой стрелки.
8. По проводу течет ток с юга на запад в магнитном поле, направленном вертикально вверх. Как направлена сила, действующая со стороны магнитного поля на провод?
  - 1) На запад. 2) На восток. 3) На север. 4) На юг.
9. Определите магнитную силу, действующую на проводник длиной 1 м с током 5 А в однородном магнитном поле с индукцией 1,5 Тл, если проводник расположен перпендикулярно направлению поля.
  - 1) 7,5 Н. 2) 3,3 Н. 3) 1 Н. 4) 1,6 Н.
10. Электрон движется перпендикулярно направлению магнитного поля с индукцией 0,1 Тл, имея скорость  $2 \cdot 10^6$  м/с. Определите модуль силы, действующей со стороны магнитного поля на электрон.
  - 1) 0. 2)  $9,6 \cdot 10^{-8}$  Н. 3)  $2 \cdot 10^{-12}$  Н. 4)  $3,2 \cdot 10^{-14}$  Н.

## ЗАПОЛНИ ОБОБЩАЮЩУЮ ТАБЛИЦУ «ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ»!

### ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

#### I. Основание

1. Наблюдения
2. Эксперименты
3. Измеримые свойства
4. Модель

#### II. Ядро теории

1. Постулаты
2. Законы
3. Константы

#### III. Следствия

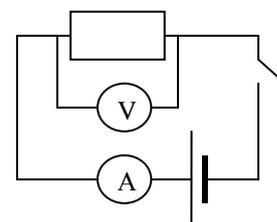
1. Формулы-следствия
2. Экспериментальная проверка
3. Границы применимости
4. Практические применения

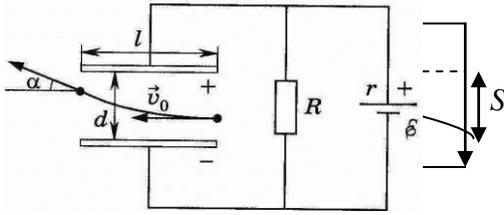
Пользуясь планом изучения любой физической теории, выясните, к каким элементам теории можно отнести приведенные ниже утверждения:

1. Магнитное поле создается движущимися электрическими зарядами.
2. Магнитная постоянная  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.
3. Электрическое сопротивление - свойство проводника оказывать противодействие протекающему по нему электрическому току, измеряемое при постоянном напряжении на его концах отношением этого напряжения к силе тока.
4. В 1820 году Х. Эрстед обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку,
5. Движение свободных зарядов в замкнутой электрической цепи с резистором напоминает падение тел в вязкой среде.
6. Законы постоянного тока применимы только для электрических цепей постоянного тока и только для описания движения заряженных частиц в стационарных магнитных полях.
7. В приборах магнитоэлектрической системы используется действие магнитного поля на проводник с током.
8. Напряжение на участке электрической цепи прямо пропорционально произведению силы тока на сопротивление этого участка.
9. Опытным путем было установлено, что магнитное поле действует только на движущиеся заряженные частицы.
10. Линии магнитной индукции дают наглядное представление о магнитном поле.

### УМЕЙ ПОЛУЧАТЬ ФОРМУЛЫ-СЛЕДСТВИЯ!

1. Показать, что электрический ток распределяется между двумя параллельно соединенными резисторами так, что полная рассеиваемая на этом участке цепи мощность минимальна.
2. Показать, что электрическое напряжение распределяется между двумя последовательно соединенными резисторами так, что полная рассеиваемая на этом участке цепи мощность минимальна.
3. Объясните последствия замыкания электрической цепи.
4. Пучок протонов с кинетической энергией  $E_k$  направляется в область однородного магнитного поля  $B$ , перпендикулярного к направлению пучка. Найти зависимость радиуса круговой траектории этих частиц и их периода обращения: а) от индукции магнитного поля; б) от индукции магнитного поля и кинетической энергии частиц.

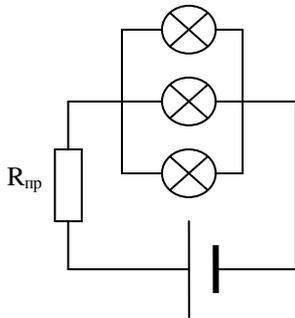




5. На рисунке изображена траектория движущегося электрона между обкладками заряженного конденсатора. Какого направления магнитное поле необходимо создать, чтобы оно отклонило электроны вверх? Какова должна быть индукция магнитного поля, чтобы смещение электрона не наблюдалось?
6. Выразите отношение  $q/m$  (заряда электрона к его массе) через смещение электрона (5); длину конденсатора  $l$ , напряженность электрического поля  $\vec{E}$  и индукцию магнитного поля  $B$ . Составьте план опыта и определите это отношение экспериментально.
6. Вывести формулу для импульса частицы с зарядом  $q$ , движущейся перпендикулярно однородному магнитному полю с индукцией  $B$  по окружности радиуса  $R$ .
7. Как узнать, отклоняется ли движущийся электрон в определенной области пространства электрическим или магнитным полем?
8. От каких свойств частицы зависит форма ее траектории при движении в гравитационном поле? В электрическом поле? В магнитном поле?
9. Описать движение электрона в параллельных электрических и магнитных полях. Начальная скорость электрона направлена под углом к  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ .
10. Железный сердечник внутри соленоида позволяет значительно увеличить индукцию магнитного поля, однако без сердечника удастся получить более сильные поля. Почему?

### ТАК РЕШАЙ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ!

1. Генератор питает 50 параллельно соединенных ламп сопротивлением 300 Ом каждая. Напряжение на зажимах генератора 128 В, его внутреннее сопротивление 0,1 Ом, сопротивление подводящей линии 0,4 Ом. Найти силу тока в линии, ЭДС генератора, напряжение на лампах, полезную мощность.



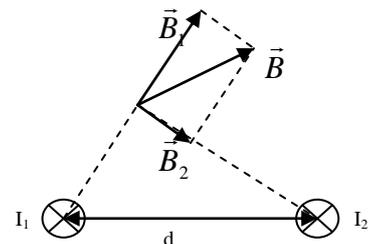
Решение:  $R = R_{np} + \frac{R}{N} = 6,4 \text{ Ом}$

$$I = \frac{U}{R} = 20 \text{ А} \quad \varepsilon = I(R + r) = 130 \text{ В}$$

$$U_{л} = U - IR_{np} = 120 \text{ В.}$$

$$P_n = U_{л} I = 2400 \text{ Вт.}$$

2. По каждому из двух тонких длинных параллельных проводников, находящихся на расстоянии 5 см друг от друга, в одном и том же направлении течет ток 10 А. Определите индукцию магнитного поля в точке, отстоящей на 4 см от одного проводника и на 3 см от другого.



$$B_1 = \mu_0 \frac{I}{2\pi r_1}; \quad B_2 = \mu_0 \frac{I}{2\pi r_2}. \quad B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$

3. При положительном напряжении  $U$  на диоде ток через диод  $I = \alpha U^2$ ; при отрицательном напряжении ток через него равен нулю. Найдите ток в цепи, если этот диод через сопротивление  $R$  подключен к батарее с ЭДС  $\varepsilon$ . Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

$$\varepsilon = U + IR; \quad \varepsilon = U + \alpha R U^2; \quad \alpha R U^2 + U - \varepsilon = 0; \quad U_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1 + 4\alpha\varepsilon R}}{2\alpha R}.$$

$$I = \frac{\varepsilon - U}{R} = \frac{\varepsilon - \frac{1 + \sqrt{1 + 4\alpha\varepsilon R}}{2\alpha R}}{R}.$$

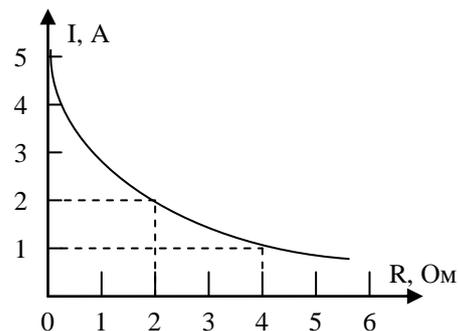
## УМЕЙ РЕШАТЬ КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ!

1. Вычертите такую схему цепи для освещения длинного проходного помещения, чтобы человек, входящий с любого конца, мог включить освещение, а при выходе через другую дверь погасить свет.
3. Почему птицы могут безопасно усаживаться на провода, находящиеся под высоким напряжением?
4. Отчего величина пускового тока в лампе больше рабочего?
4. Почему провода, соединяющие лампу с источником тока, почти не нагреваются, а нить накала лампы нагревается добела?
5. Две лампы, рассчитанные на одинаковое напряжение, но потребляющие различные мощности, включены в сеть последовательно. Почему одна из них будет гореть ярче?
6. Как изменилось количество теплоты, выделяемое электрической плиткой в единицу времени, если спираль плитки перегорела и была при ремонте несколько укорочена?
7. Мягкий провод, свитый в спираль, подвешен за один конец. Что произойдет, если по спирали пропустить ток?
8. Когда нет перемещения, то нет и работы в механическом смысле. На что расходуется энергия, подводимая к электромагниту, когда он «держит» груз?
9. По проводу течет ток слева направо в магнитном поле, направленном на вас. Как направлена сила, действующая со стороны магнитного поля на проводник?
10. Почему намагниченный кусок железа притягивается к любому полюсу магнита?
11. Заряженные частицы, приходящие на Землю из космоса, чаще достигают поверхности Земли вблизи полюсов, чем в более низких широтах. Почему?
12. Как определить, отклоняются ли движущиеся в определенной области пространства электроны электрическим или магнитным полем?
13. Можно ли включать конденсатор в цепь постоянного тока?
14. Можно ли осуществить электросварку в космосе?
15. Почему для поддержания электрического тока в горящей дуге достаточно невысокого напряжения?
16. Почему транзисторный радиоприемник перестает работать в трескучий мороз?

## УМЕЙ РЕШАТЬ ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ!

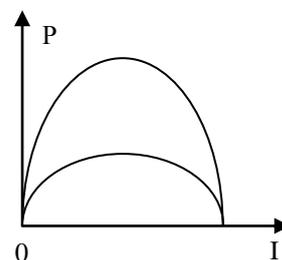
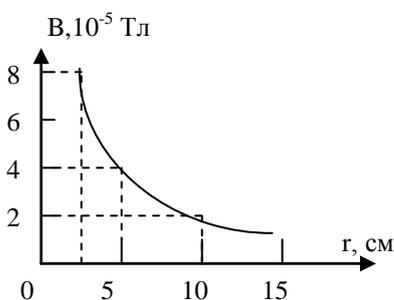
1. На рисунке изображен график силы тока в замкнутой электрической цепи от величины сопротивления нагрузки. Используя данный график, определите:

- 1) силу тока в электрической цепи при сопротивлении нагрузки 1 Ом, 2 Ом, 6 Ом;
- 2) напряжение на внешнем участке электрической цепи при сопротивлении нагрузки 1 Ом, 2 Ом, 6 Ом;
- 3) внутреннее сопротивление источника тока;
- 4) ЭДС источника тока;
- 5) величину падения напряжения на внутреннем участке электрической цепи, если сопротивление нагрузки равно 1 Ом, 5 Ом;



2. На рисунке изображен график зависимости индукции магнитного поля прямого проводника с током в зависимости от расстояния до него. Пользуясь рисунком, определите:

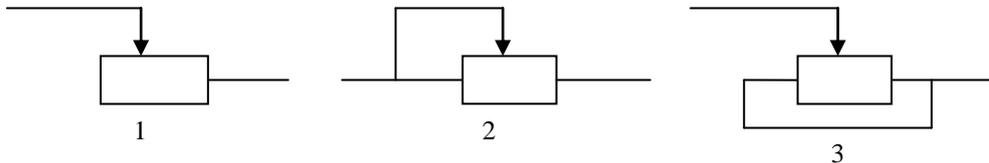
- 1) индукцию магнитного поля на расстоянии 3 и 5 см от него;
- 2) силу тока в проводнике;
- 3) максимальный момент сил,



действующих со стороны магнитного поля на рамку с током 5 А и площадью  $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , если она находится на расстоянии 4 см от первого проводника

3. В двух цепях, каждая из которых содержит источник тока и внешнее сопротивление, максимальные силы тока одинаковы, а максимальная мощность во внешней цепи в одном случае в два раза больше, чем во втором. Какими параметрами отличаются эти цепи?

4. Для каждой из трех схем включения реостата построить графики зависимости общего сопротивления цепи от сопротивления правой части реостата.



### РЕШИ САМ!

1. Имеется катушка медной проволоки с площадью поперечного сечения  $0,1 \text{ мм}^2$ . Масса всей проволоки  $0,3 \text{ кг}$ . Определите сопротивление проволоки. Удельное сопротивление меди  $1,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Плотность меди  $8,9 \text{ г/см}^3$ .
5. По железной проволоке пропускается ток такой силы, что она заметно нагревается. Почему при охлаждении одной части проволоки, например водой, другая часть начинает нагреваться сильнее, чем до охлаждения первой? Разность потенциалов на концах проволоки поддерживается постоянной.
6. При замыкании батареи с ЭДС  $15 \text{ В}$  на внешнее сопротивление напряжение на полюсах батареи  $9 \text{ В}$ , а сила тока в цепи  $1,5 \text{ А}$ . Каково внутреннее сопротивление батареи и внешнее сопротивление электрической цепи?
7. Молния ударила в железный флагшток высотой  $7 \text{ м}$  и диаметром  $9,8 \text{ см}$ , причем электроны движутся вниз по флагштоку. Разность потенциалов между вершиной и основанием флагштока равна  $2 \text{ кВ}$ . Какую величину и направление имеет индукция магнитного поля на расстоянии  $50 \text{ см}$  к северу от флагштока?
8. Подковообразный магнит держат вертикально так, что его северный полюс находится слева, а южный справа. По проводу, расположенному между полюсами магнита, течет ток в направлении от вас. В каком направлении действует на провод сила?
9. В однородном вертикальном магнитном поле на двух тонких нитях подвешен горизонтальный проводник длиной  $0,2 \text{ м}$ . Сила тяжести  $0,2 \text{ Н}$ . Индукция магнитного поля  $0,5 \text{ Тл}$ . На какой угол от вертикали отклонятся нити, если ток в проводнике  $2 \text{ А}$ ?
10. Электрон со скоростью  $3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  влетает в однородное магнитное поле с индукцией  $0,23 \text{ Тл}$  под углом  $45^\circ$  к направлению индукции магнитного поля. Определите радиус и шаг (расстояние между витками) спиральной траектории электрона.
11. Протон разгоняется из состояния покоя в электрическом поле с разностью потенциалов  $1,5 \text{ кВ}$  и попадает в однородное магнитное поле перпендикулярно к линиям магнитной индукции. В магнитном поле он движется по дуге окружности радиусом  $56 \text{ см}$ . Определить индукцию магнитного поля.
12. Какой максимальный заряд может нести сферический проводник радиусом  $5 \text{ см}$  в воздухе?

### ВЫПОЛНИ ЭКСПЕРИМЕНТ ДОМА!

1. Определите длину медного провода в катушке, не разматывая ее.
2. Измерьте сопротивление лампы накаливания в холодном и в рабочем состоянии.
3. Изготовьте кипятильник (спираль), с помощью которой стакан воды можно нагреть от комнатной температуры до  $60^\circ\text{C}$  за три минуты.
4. Назовите достоинства и недостатки последовательного и параллельного соединения лампочек в елочной гирлянде.
5. Две лампочки  $60 \text{ Вт}$  и  $100 \text{ Вт}$  (разной мощности) соедините последовательно и подключите к осветительной сети. Какая из ламп горит ярче? Почему?

6. Изготовьте гальванический элемент.
  - 1) Вначале рассмотрите устройство сухого элемента Лекланше, разломав элемент батарейки от карманного фонарика. Разберитесь в этом устройстве и начертите его схему.
  - 2) Изготовьте гальванический элемент сами, для чего в стакан с раствором поваренной соли опустите алюминиевый и угольный электроды. Присоедините к электродам провода и попробуйте их "на язык". Какое ощущение вы испытываете?
  - 3) Замкните провода от источника тока "накоротко" и опишите наблюдаемые изменения в электрической цепи. Как их можно объяснить?
  - 4) Погрузите концы проводов в свежий срез сырой картошки и опишите происходящие изменения. Как их можно объяснить? Можно ли с помощью сырой картошки определить полярность немаркированного источника тока?
  - 5) Попробуйте "продлить жизнь" вышедшего из строя гальванического элемента.
7. Измерьте ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока с помощью:
  - 1) двух одинаковых резисторов и амперметра;
  - 2) реостата, амперметра и вольтметра;
  - 3) реостата и вольтметра с известным внутренним сопротивлением;
  - 4) двух вольтметров с известным внутренним сопротивлением.
8. Попытайтесь обнаружить магнитное поле вокруг проводника с током.
  - 1) Расположите проводник над магнитной стрелкой, параллельно ей, и замкнув "накоротко" проводником клеммы батарейки от карманного фонарика, попытайтесь обнаружить действие магнитного поля на стрелку. В каком направлении ориентируется стрелка? Каков характер магнитного действия?
  - 2) Намотайте на провод катушку и повторите опыт. Каков характер действия в данном случае?

### **УМЕЕШЬ ЛИ ТЫ ПРОВОДИТЬ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ?**

1. Можете ли вы предложить план эксперимента по измерению удельного сопротивления материала проводника? Какое оборудование вам необходимо для этого? Какие измерения вам необходимо будет произвести?
2. Постройте вольтамперную характеристику лампочки накаливания.
3. Зарисуйте электрическую схему лабораторной установки по измерению ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.
4. Как с помощью вольтметра установить, с какой стороны находится источник тока в двухпроводной линии?
5. Даны два вольтметра и источник тока. Сопротивление одного из них известно. Как измерить сопротивление второго вольтметра?
6. Предложите метод измерения внутреннего сопротивления батареи.
7. Имеется вольтметр, амперметр и источник ЭДС с неизвестным внутренним сопротивлением. Как с их помощью измерить величину неизвестного сопротивления?
8. При проведении опыта по измерению электрохимического эквивалента меди были получены следующие данные: время прохождения тока 20 мин, сила тока 0,5 А, масса катода до опыта 70,4 г, масса после опыта 70,58 г. Какое значение электрохимического эквивалента было получено по этим данным?
9. Как измерить удельное сопротивление воды при комнатной температуре и при температуре кипения?
10. Зарисуйте вольтамперную характеристику резистора, полупроводникового диода и конденсатора на постоянном токе. В чем их отличие? Можно ли по виду вольтамперной характеристики установить, какой из этих элементов находится в "черном ящике"?
11. Что можно наблюдать с помощью источника тока, катушки-мотка и дугообразного магнита?
12. Как узнать, постоянный или переменный ток течет по проводу, если в вашем

- распоряжении только сильный магнит?
13. Как поведут себя железные опилки, насыпанные на плоский лист бумаги, на который плашмя положен прямой длинный провод с током?
  14. Как с помощью сильного магнита установить, постоянный или переменный ток течет по проводу?
  15. Как измерить отношение заряда электрона к его массе с помощью телевизора?

### **УМЕЙ ПРИМЕНЯТЬ ПОЛУЧЕННЫЕ ЗНАНИЯ НА ПРАКТИКЕ!**

1. Объясните поговорку электриков: "Горячая пайка всегда холодная, а холодная пайка - всегда горячая".
2. Требуется отрезать кусок провода сопротивлением 5 Ом. Как это сделать?
3. Предложите конструкцию и рассчитайте параметры реостата (материал провода, длина, площадь поперечного сечения), сопротивление которого может плавно изменяться от 0 до 100 Ом при максимальной силе электрического тока до 2 А. Для каких целей его можно использовать?
4. Для чего оборудование, к которому подведено электричество, заземляют? Дайте физическое обоснование этой мере, предусмотренной техникой безопасности.
5. Электрическая плитка выделяет больше тепла, чем электрическая лампочка, если их соединить параллельно. У кого из них большее сопротивление?
6. Почему опасно подходить к оборванному кабелю высокого напряжения, лежащему на земле?
7. Ученик по ошибке включил вольтметр вместо амперметра при измерении величины тока в цепи. Что при этом произойдет с накалом нити лампы? Что покажет вольтметр?
8. Как надо соединить обмотки двух нагревателей, опущенных в стакан с водой, чтобы вода скорее закипела?
9. Почему лампочка накаливания сгорает обычно при включении?
10. Почему не рекомендуется использовать зубные коронки из разных металлов?
11. Почему свет фар автомобиля тускнеет во время запуска двигателя?
12. Необходимо изготовить спираль для лабораторной электроплитки мощностью 300 Вт. Как это сделать?
13. Как изменяется сопротивление проволоки при ее растяжении? Установите эту зависимость в пределах упругих деформаций? Предложите конструкцию и рассчитайте параметры прибора (тензодатчика), предназначенного для измерения силы до 0,1 Н.
14. Спираль подсоединена к сети, вследствие чего она раскалилась. Как изменится накал спирали, если на часть ее попадет вода?
15. Почему после длительной эксплуатации разрушается небольшой участок нити лампы накаливания, тогда как остальная часть нити еще работоспособна?
16. Почему лампа накаливания, находящаяся в длительной эксплуатации, светит тускло?
17. Как переделать электроплитку, рассчитанную на напряжение 220В, на 110 В, при этом не меняя и не укорачивая ее спираль?
18. Какие из физических законов лежат в основе работы магнитоэлектрического измерительного прибора? Циклотрона? Гальванического элемента?
19. Предложите конструкцию электрического прибора для измерения удельной теплоемкости твердых и жидких тел.
20. Перед \_\_\_\_\_ вами \_\_\_\_\_ пять \_\_\_\_\_ законов:  

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad F = IB\Delta\ell \sin \alpha, \quad F = qBv \sin \alpha, \quad Q = I^2 Rt, \quad E = vB.$$
21. Выделите основные законы и прочитайте их формулы вслух. Какой из законов надо применять для объяснения следующих явлений?
  - 1) Нагревание спирали электроплитки при ее подключении к осветительной сети.

- 2) Возникновение разности потенциалов на концах проводника при его движении под некоторым углом к направлению индукции магнитного поля.
  - 3) Нагревание батарейки при замыкании "накоротко" ее клемм.
  - 4) Колебания мембраны громкоговорителя при его подключении к источнику переменного напряжения.
  - 5) Искривление траектории заряженной частицы при ее движении в магнитном поле.
22. Почему во время грозы нельзя ложиться на землю?
  23. Почему электродвигатель может сгореть, если остановить его ротор?
  24. Объясните, каким образом транзистор можно использовать в качестве электронного ключа? В качестве усилителя?
  25. Что можно изготовить из трех полупроводниковых диодов? Из транзистора? Из двух различных металлов? Из двух полупроводников с разными типами проводимости?
  26. Как уберечься от удара молнии?
  27. Вследствие короткого замыкания загорелись провода. Почему их нельзя гасить водой до тех пор, пока загоревшийся участок не будет отключен от сети?

### **ФИЗИКА В ТВОЕЙ ПРОФЕССИИ**

Электрохимические методы обработки металлов основаны на явлении электролиза. Известно, что, если в сосуд с токопроводящей жидкостью электрический ток. К числу электролитов относятся растворы кислот, щелочей и солей в воде или в других растворителях, а также расплавы солей. Носителями тока в электролитах служат ионы, которые движутся соответственно к отрицательному электроду - катоду и положительному электроду - аноду. Металл всегда выделяется на катоде, а на аноде происходит растворение металла, которое часто сопровождается выделением кислорода. Это явление получило название электролиза.

Сейчас электролиз широко применяется в промышленных масштабах для нанесения защитных и декоративных покрытий на металлические изделия (гальваностегия), изготовления металлических слепков с рельефных моделей (гальванопластика), получения металлов из расплавленных руд и очистки металлов (гидроэлектрометаллургия), в производстве хлора и т.д. Например, пластину из неочищенной меди – анод, помещают в электролитическую ванну с раствором серной кислоты и медного купороса. Катодом служит лист чистой меди. На катоде выделяется чистая медь. Золото, платина и серебро опускаются на дно ванны. А другие примеси остаются в растворе.

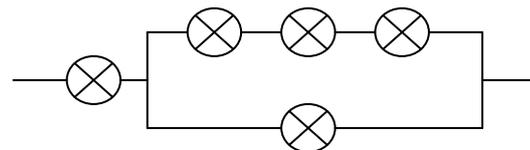
Получают алюминий тоже очень сложно. Его рудный концентрат - глинозем (оксид алюминия) плавится при 2050°C. Поэтому, чтобы снизить температуру плавки, приходится растворять глинозем в расплавленном криолите - минерале, в состав которого входят алюминий, натрий и фтор. Температура плавления этого раствора ниже 1000°C, а с такой температурой уже можно работать.

В электролитической ванне молекулы глинозема распадаются на составные части - ионы алюминия и кислорода, электрический ток разносит их в разные стороны. Алюминий осаждается на катод, которым является угольное дно самой ванны. Отсюда его потом и собирают.

При электрохимической размерной обработке металлов электроды (заготовка - анод и инструмент - катод) располагаются на очень близком расстоянии друг от друга (50-500 мкм). Между ними под давлением прокачивается электролит. Если при этом поддерживается постоянное расстояние между электродами, то на заготовке (аноде) можно получить достаточно точное зеркальное отображение формы электрода-инструмента (катада). Таким образом, можно сравнительно быстро обрабатывать заготовку, делать в деталях отверстия, пазы или полости любой формы.

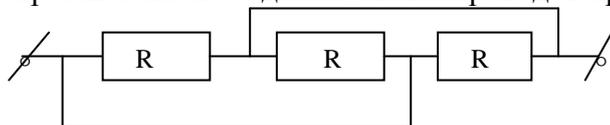
## ПРОВЕРЬ СВОИ ЗНАНИЯ ПО ТЕМЕ «ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК»!

1. Пять одинаковых ламп, каждая из которых рассчитана на напряжение 110 В, включены в цепь с напряжением источника 220 В. Не вычисляя, скажите, какая из ламп будет гореть ярче?



2. Для каждого понятия дайте краткое определение или описание, четко объясняющее, что это такое:

- 1) сила электрического тока;
  - 2) сопротивление;
  - 3) магнитная индукция.
3. Назовите физическую величину, единица которой 1 кВт·ч. и дайте ее значение в системе Си.
4. Каковы ваши действия, если повторно сработал автомат тепловой, защиты (сгорел предохранитель) в цепи электропитания вашей квартиры?
5. «Емкость» автомобильных аккумуляторов часто обозначают в ампер-часах (А·ч). Что означает эта характеристика?
6. Известно, что два параллельных электронных пучка одного направления отталкиваются, однако два проводника с током одного направления притягиваются. Как это объяснить?
7. По какой траектории станет двигаться заряженная частица, влетевшая в однородное электрическое поле под углом к силовым линиям?
8. Пучок электронов движется в направлении горизонтального проводника, по которому слева направо течет ток. В какую сторону отклонится пучок?
9. Простейший униполярный генератор представляет собой шар из проводника, который вращают вокруг оси, совпадающей с направлением однородного магнитного поля. Как работает такой генератор?
10. Почему электронный газ не вылетает из металла наружу?
11. Почему металлический проводник на ощупь всегда холоднее диэлектрика?
12. Объясните смысл высказывания: «Сопротивление как деньги - уж если оно есть, то есть, а если его нет, так нет».
13. Водород имеет три изотопа с массовыми числами 1, 2 и 3. Ионы какого из этих изотопов медленнее других продвигаются к катоду при электролизе воды?
14. Какими явлениями сопровождается процесс прохождения электрического тока через металл; электролит; газ; вакуум; полупроводник?
15. Чему равно сопротивление цепи, представленной на рисунке?
16. Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.



17. На сколько равных частей надо разрезать кусок однородной проволоки, чтобы при параллельном соединении этих кусков получить в  $n$  раз меньшее сопротивление?
18. Почему плавкий предохранитель выходит из строя раньше, чем какой-либо другой участок электрической цепи?
19. Почему спирали нагревательных приборов делают из провода большого сопротивления? Какой провод лучше всего применять?
20. К двум произвольным точкам проволочного кольца подвешены идущие радиально провода, соединенные с весьма удаленным источником тока. Показать, что магнитная индукция в центре кольца равна нулю.
21. Как вела бы себя магнитная стрелка, если бы она двигалась параллельно электронному пучку с той же скоростью, что и электроны?
22. Пучок одинаково заряженных частиц, сначала двигавшийся параллельно, под влиянием кулоновских сил постепенно расходится. Как зависит этот эффект от

скорости частиц?

23. Почему не гибнут птицы, сидящие на высоковольтных проводах? В каком случае они будут погибать?
24. В электротехнике встречается много схем, в которых лампы накаливания включают последовательно, например в сигнализации. В таких случаях при перегорании одной из ламп не горят и все остальные. Чтобы при неисправности одной лампы остальные продолжали гореть, включают параллельно им терморезистор. Объясните действие этой схемы.

## ЗАЧЕТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ТЕМЕ "ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ"

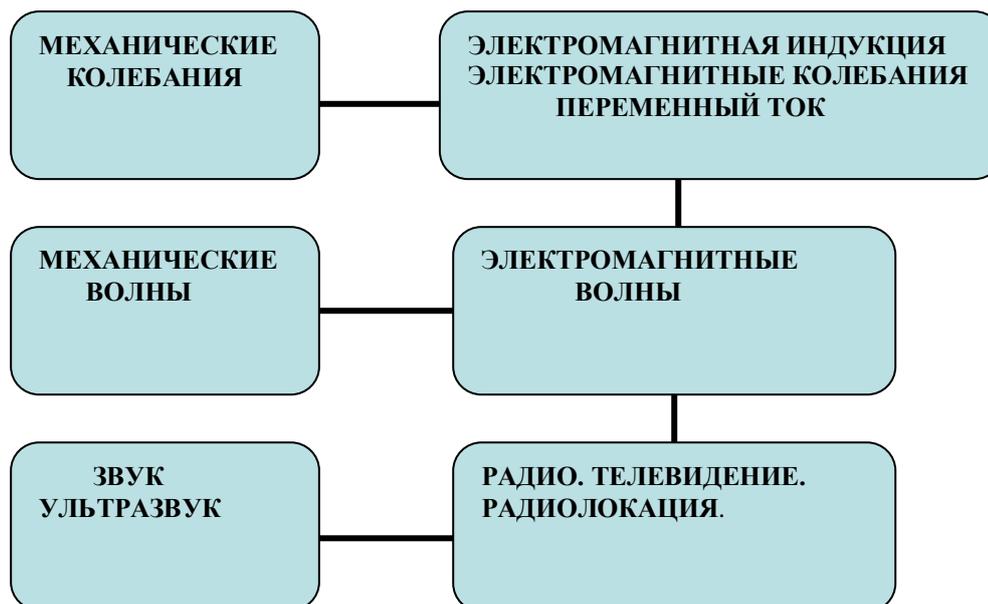
*Возможность действия одного тела на другое на расстоянии через пустоту без посредства чего-нибудь еще ... - для меня это настолько бессмысленно, что, по-моему, к такому заключению никогда не может прийти человек, обладающий достаточной способностью разбираться в философских вопросах.*

*И. Ньютон*

Все окружающее пространство пронизано электромагнитным излучением. Солнце, окружающие нас тела, антенны радиостанций и телевизионных передатчиков испускают электромагнитные волны, которые в зависимости от их частоты колебаний носят разные названия: радиоволны, инфракрасное излучение, видимый свет, рентгеновские лучи. Этот неиссякаемый поток энергии порождают колебания электрических зарядов, в том числе в атомах и молекулах. Если заряд колеблется, то он движется с ускорением, а значит, излучает электромагнитные волны. Изменяющийся поток индукции возбуждает вихревое электрическое поле, а оно, в свою очередь, возбуждает вихревое магнитное поле. Процесс захватывает одну точку пространства за другой. Распространяющееся электромагнитное поле и называют электромагнитной волной. Скорость его распространения в вакууме  $c = 299792458 + 1,2$  м/с. К такому выводу приводит теория электромагнитного поля, созданная в 1860-х гг. английским ученым Дж. Максвеллом. Вскоре после Максвелла немецкий физик Г. Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн. В его распоряжении были очень простые средства: источник высокого напряжения и вибраторы - пара металлических стержней, разделённых воздушным пространством. Вибраторы заряжали до напряжения, необходимого для пробоя воздушного промежутка. В момент пробоя в вибраторе возникали электромагнитные колебания, которые затухали по мере того, как электрическая энергия вибратора расходовалась на электромагнитное излучение и нагрев проводника. Излучение регистрировалось приёмным вибратором с малым пробивным промежутком. Излучаемая электромагнитная волна возбуждала в приёмном вибраторе резонансное колебание, и в промежутке между его проводниками происходил пробой - появлялись небольшие искры. По этим искрам можно было судить об интенсивности электромагнитного излучения в месте установки приёмного вибратора.

Герц не только получил электромагнитные волны, но и обнаружил, что они ведут себя подобно другим видам волн. В частности, он наблюдал отражение электромагнитных волн от металлического листа и интерференцию волн. При сложении волны, идущей от вибратора, с волной, отраженной от металлического листа, образуются максимумы и минимумы интерференционной картины. Перемещая приёмный вибратор, можно найти положение максимумов и определить длину волны. В опытах Герца длина волны составляла несколько десятков сантиметров. Вычислив собственную частоту электромагнитных колебаний вибратора, Герц смог определить скорость электромагнитной волны по формуле  $c = \lambda \nu$ . Она оказалась равной скорости света. Эти опыты блестяще подтвердили теоретические предсказания Максвелла.

## ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ: «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ»



### ОТВЕТЬ НА ВОПРОСЫ!

1. Какое явление называют электромагнитной индукцией?
2. Расскажите об опытах Фарадея по обнаружению электромагнитной индукции. Каково практическое значение этого открытия?
3. Сформулируйте закон электромагнитной индукции.
4. Пр продемонстрируйте знание правил, с помощью которых определяют направление индукционного тока.
5. Сформулируйте правило Ленца.
6. Приведите примеры применения правила Ленца.
7. Какое поле может вызвать электрический ток в замкнутом проводящем контуре?
8. Объясните явление электромагнитной индукции на основе представлений о вихревом электрическом поле.
9. Перечислите основные особенности вихревого электрического поля.
10. Каковы причины возникновения вихревых токов в массивных проводниках? Расскажите о технических применениях вихревых токов.
11. Сформулируйте в качественном виде основные законы электродинамики (уравнения Максвелла).
12. Дайте представление об электромагнитном поле.
13. Какое явление называют самоиндукцией?
14. Какое свойство проводника называют индуктивностью? Дайте ее определение.
15. Какую форму следует придать отрезку проводника заданной длины, чтобы его индуктивность была максимальной?
16. Почему вы уверены, что магнитное поле обладает энергией?
17. Запишите формулы энергии магнитного поля и плотности энергии магнитного поля.
18. Каковы преимущества энергии, запасенной в магнитном поле?
19. Приведите примеры свободных электромагнитных колебаний. Каким образом их можно получить и наблюдать?
20. От каких свойств колебательного контура зависит период свободных электромагнитных колебаний в нем?
21. Какие превращения энергии происходят при свободных электромагнитных колебаниях в колебательном контуре?
22. Что называют переменным током? Каким образом его можно получить?
23. Каким образом (с помощью какого устройства) можно получить переменное

- электрическое поле, изменяющееся по гармоническому закону? Переменное магнитное поле, изменяющееся по гармоническому закону?
24. Почему магнитное поле, создаваемое переменным электрическим полем в конденсаторе, обнаружить гораздо труднее, чем магнитное поле, создаваемое электрическим током в проводнике?
  25. Покажите, что существует асимметрия между переменными электрическими и переменными магнитными полями.
  26. Докажите, что всякое изменение силы электрического тока в проводнике приводит к возникновению и распространению электромагнитного импульса в пространстве.
  27. С какой скоростью распространяется электромагнитный импульс в вакууме?
  28. Что называют электромагнитной волной. Изобразите на рисунке ее мгновенный "снимок"?
  29. Напряженность электрического поля в электромагнитной волне, распространяющейся на север, колеблется в направлении восток-запад. Укажите направление колебаний индукции магнитного поля в этой волне.
  30. С помощью, каких устройств можно получить незатухающие электромагнитные колебания? Назовите эти устройства.
  31. Какой колебательный контур называют закрытым? Открытым? Что называют антенной? Каким образом можно получить колебания высокой частоты в антенне?
  32. Какой формулой связана длина электромагнитной волны и частота колебаний?
  33. Запишите формулу для определения собственной частоты свободных электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре.
  34. Почему в радиотехнике используют электромагнитные волны высоких частот?
  35. Какие свойства электромагнитных волн вам известны?
  36. Как и от каких материалов отражаются электромагнитные волны? В каком эксперименте это можно наблюдать?
  37. Что называют интерференцией волн? В каком эксперименте можно наблюдать интерференцию электромагнитных волн?
  38. Какое явление называют дифракцией волн? В каком эксперименте можно наблюдать дифракцию электромагнитных волн?
  39. Как можно получить стоячую электромагнитную волну? Чему равно расстояние между соседними узлами стоячей волны? Как можно измерить длину стоячей волны?
  40. Как доказать опытным путем, что электромагнитные волны поперечны?
  41. Назовите главное свойство волн.
  42. Какие электромагнитные волны называют радиоволнами? Расскажите о технических применениях радиоволн.
  43. Объясните устройство и принцип действия радиоприемника А.С.Попова.
  44. Каковы принципы современной радиосвязи. Изобразите блок-схему радиовещательного тракта.
  45. Объясните устройство и принцип действия детекторного радиоприемника, радиолокатора.
  46. Каковы принципы, лежащие в основе телевидения. Изобразите блок-схему телевещательного тракта.

## ЗАПОЛНИ ОБОБЩАЮЩУЮ ТАБЛИЦУ "ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ". ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

### I. Основание

1. Наблюдения
2. Эксперименты
3. Измеримые свойства
4. Модель

### II. Ядро теории

1. Постулаты
2. Законы
3. Константы

### III. Следствия

1. Формулы-следствия
2. Экспериментальная проверка
3. Границы применимости
4. Практические применения

Пользуясь планом изучения любой физической теории, выясните, к каким элементам теории можно отнести приведенные ниже утверждения.

1. Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме равна 300000 км/с.
2. Вихревое электрическое поле создается переменным магнитным полем.
3. Радиоприемник А.С. Попова - устройство, предназначенное для обнаружения и регистрации электромагнитных волн.
4. Период свободных электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре можно рассчитать по формуле Томсона:  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ .
5. Электромагнитная волна - взаимосвязанные колебания электрических и магнитных полей, распространяющиеся с конечной скоростью в пространстве.
6. Законы классической электродинамики применимы при малых частотах электромагнитных волн.
7. При всяком изменении магнитного потока через замкнутый проводящий контур в нем возникает индукционный ток.
8. Уравнения Максвелла описывают излучение строго постоянной частоты и амплитуды в течение бесконечно большого времени, что является идеализацией.
9. Г. Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн.
10. Электромагнитные волны, как и любые волны, способны проходить друг через друга, не изменяя своей формы.

### УМЕЙ ПОЛУЧАТЬ ФОРМУЛЫ-СЛЕДСТВИЯ!

1. Используя формулировки основных законов электродинамики, объясните:
  - 1) справедливость закона Кулона,
  - 2) справедливость формулы напряженности электрического поля точечного заряда,
  - 3) справедливость закона Ома,
  - 4) существование магнитного взаимодействия между проводниками с током,
  - 5) справедливость закона электромагнитной индукции,
  - 6) возникновение ЭДС индукции в движущихся в магнитном поле проводниках,
  - 7) факт существования электромагнитных волн,
  - 8) пропорциональность плотности потока электромагнитного излучения в четвертой степени частоте,
  - 9) электромагнитную природу света,
  - 10) факт распространения электромагнитных волн в вакууме с конечной скоростью.
2. Докажите, что свободные электромагнитные колебания в идеальном колебательном контуре являются гармоническими.
3. Докажите, что действующее значение переменного тока в  $\sqrt{2}$  раз меньше амплитудного значения.

- Объясните, почему невозможно "догнать" электромагнитную волну.
- Докажите, что вихревое электрическое поле непотенциально и поэтому работа этого поля при перемещении заряда по замкнутому пути не равна нулю.
- Покажите, что индуктивность катушки данной длины пропорциональна квадрату числа витков.
- Объясните последствия подключения люминесцентной лампы к осветительной сети.
- Покажите, что правило Ленца, является следствием закона сохранения энергии.
- Используя метод размерностей, выведите формулу Томсона

### ТАК РЕШАЙ ЗАДАЧИ!

1. Определить силу тока, который генерируется в сверхпроводящем кольце из ниобия диаметром 2 см, при мгновенном изменении индукции магнитного поля от 0,025 Тл до нуля. Индуктивность кольца  $3 \cdot 10^{-8}$  Гн.

#### АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ

1-ый вариант: Закон сохранения магнитного потока требует, чтобы убыль магнитного потока через поверхность кольца  $\Phi_1 = B_1 \cdot S$  компенсировалась потоком, создаваемым током индукционным  $\Phi_2 = LI$ .

$$\Phi_1 = \Phi_2 \quad \text{и} \quad B_1 S = LI \rightarrow I = \frac{B_1 \pi d^2}{4L} \approx 262 \text{ А.}$$

2-ой вариант: Изменение магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром кольца, приводит к возникновению ЭДС индукции  $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B_1 S}{\Delta t}$ , что приводит к возникновению индукционного тока и ЭДС самоиндукции. Поскольку  $R = 0$ , то

$$\varepsilon_i + \varepsilon_c = 0 \quad \text{и} \quad \frac{B_1 S}{\Delta t} = \frac{LI}{\Delta t}, \quad \text{откуда} \quad I = \frac{B_1 \pi d^2}{4L}.$$

2. Какая индуктивность должна быть соединена последовательно с электрической лампочкой (110 В, 60 Вт), если она должна нормально гореть, когда вся цепь будет присоединена к сети 220 В, 50 Гц?

#### АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ

Изобразим векторную диаграмму (Рис. 1) электрической цепи (Рис. 2).

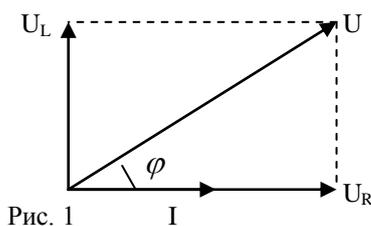


Рис. 1

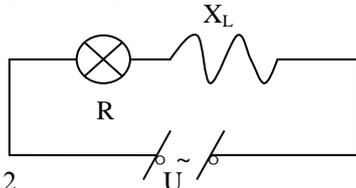


Рис. 2

$$U^2 = U_L^2 + U_R^2 \rightarrow U_L = \sqrt{U^2 - U_R^2}$$

$$P_R = IU_R \rightarrow I = \frac{P_R}{U_R}$$

$$X_L = \frac{U_L}{I} = \omega L = 2\pi\nu L$$

$$L = \frac{U_L}{2\pi\nu I} = \frac{U_R \sqrt{U^2 - U_R^2}}{P_R 2\pi\nu} = 0,11 \text{ Гн.}$$

3. Заряд q на пластинах конденсатора колебательного контура изменяется с течением времени t в соответствии с уравнением  $q = 10^{-6} \text{ Кл} \cos 10^4 \pi t$ .

Записать уравнение  $i = i(t)$ , выражающее зависимость силы тока от времени. Найти период и частоту колебаний в контуре, амплитуду колебаний заряда и амплитуду колебаний силы тока.

#### АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ

$$q = q_m \cos \omega t; \quad i = q' = q_m \omega \sin \omega t; \quad q_m = 10^{-6} \text{ Кл}; \quad I_m = q_m \omega = 314 \text{ мА}; \quad \omega = 10^4 \cdot \pi \text{ с}^{-1}; \quad T = 1/\nu = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}; \quad \nu = \frac{\omega}{2\pi} = 5 \cdot 10^3 \text{ Гц} \quad i = 0,314 \text{ А} \sin 10^4 \pi t$$

## УМЕЙ РЕШАТЬ КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ!

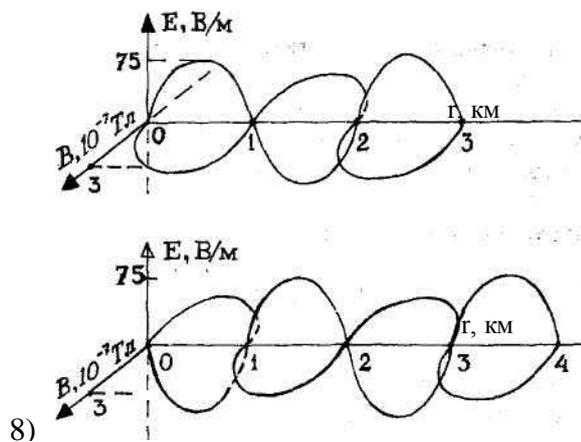
1. Какие превращения энергии происходят при внесении магнита в замкнутое проводящее кольцо?
2. Почему иногда недалеко от места удара молнии могут расплавиться предохранители в осветительной сети и повредиться чувствительные электроизмерительные приборы?
3. Что произойдет в кольце, когда в него введут магнит, если кольцо сделано; а) из диэлектрика; б) проводника; в) сверхпроводника?
4. Встречаются ли замкнутые линии магнитной индукции в пространстве, в котором нет электрических зарядов? Если встречаются, то, в каком случае?
5. Почему кольцо из сверхпроводника парит над магнитом?
6. Полосовой магнит поочередно вводится в кольцевые проводники различного радиуса. Что вы можете сказать об ЭДС индукции, возникающей в проводниках? О напряженности вихревого электрического поля? О силе тока?
7. В какой момент искрит рубильник: при замыкании или размыкании?
8. В цепь электродвигателя постоянного тока, включен амперметр для измерения величины тока. Если вращающийся якорь двигателя задержать тормозом, то величина тока возрастет. Как объяснить это явление?
9. При торможении поезда метро электродвигатели отключаются от контактного провода и подключаются к специальным реостатам. Объясните, на чем основан такой способ торможения.
10. Почему не применяют для освещения переменный ток с частотой 10-15 Гц?
11. В электрическую цепь включена катушка, по которой пропускают сначала постоянный, а затем переменный ток того же напряжения. В каком случае катушка нагреется больше?
12. Почему говорят, что переменный ток более опасен для здоровья человека, чем постоянный?
13. Почему очень часто срывается одежда с человека, пораженного ударом молнии?
14. Почему трансформатор выходит из строя, когда в нем замыкаются накоротко хотя бы два соседних витка?
15. Для размагничивания случайно намагниченных часов их помещают в соленоид, по которому протекает переменный ток. Затем часы медленным движением удаляют из соленоида. Почему при этом происходит размагничивание?
16. На что теряется энергия в процессе электромагнитных колебаний в контуре?
17. Для каких целей в колебательный контур иногда включают конденсатор переменной емкости или катушку с переменной индуктивностью?
18. Зачем нужен постоянный магнит в телефонном наушнике?
19. Можно ли использовать в качестве излучающей антенны резистор; конденсатор; катушку индуктивности?
21. Почему невозможно "догнать" электромагнитную волну?
20. Почему при связи на коротких волнах появляются зоны молчания?

## УМЕЙ РЕШАТЬ ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ!

1. Полосовой магнит падает вертикально через замкнутую проволочную катушку (виток). Построить примерный график зависимости: а) ускорения магнита от времени; б) силы тока в катушке от времени.
2. Максимальное значение заряда конденсатора  $6 \cdot 10^{-4}$  Кл. Период свободных электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре 0,01 с. Пользуясь этими данными, запишите закон изменения заряда конденсатора и силы тока в катушке с течением времени и постройте их график.
3. Между обкладками плоского воздушного конденсатора - вакуум. На обкладки подано переменное напряжение, которое изменяется по закону  $U = U_m \cos \omega t$ . Постройте график зависимости от времени координаты, проекции скорости и проекции ускорения электрона, оказавшегося между обкладками конденсатора.
4. На рисунках изображены два последовательных "моментальных снимка"

электромагнитной волны в пространстве, интервал времени между которыми 4 мкс. Пользуясь этими рисунками, определите:

- 1) длину электромагнитной волны;
- 2) период и частоту колебаний электрического и магнитного полей;
- 3) скорость распространения электромагнитной волны;
- 4) амплитуду напряженности электрического поля и амплитуду индукции магнитного поля;
- 5) разность фаз колебаний векторов поля в областях пространства, расстояние между которыми 1,5 км;
- 6) отношение амплитуды напряженности электрического поля к амплитуде индукции магнитного поля;
- 7) диэлектрическую проницаемость среды, в которой распространяется электромагнитная волна;
- 9) запишите уравнение электромагнитной волны.



### РЕШИ САМ!

1. Металлическое кольцо радиусом 4,8 см расположено в магнитном поле с индукцией 0,012 Тл, перпендикулярно к линиям магнитной индукции. На его удаление из поля затрачивается 0,025 с. Какая средняя ЭДС при этом возникает в кольце?
2. Последовательно с электроплиткой в городскую сеть подключили катушку индуктивности, при этом мощность плитки упала в два раза. Найдите индуктивность катушки, если активное сопротивление плитки 50 Ом.
3. Для зарядки аккумулятора постоянным током  $I_0$  требуется  $t$  часов. Сколько времени понадобится для зарядки такого аккумулятора от осветительной сети через однополупериодный выпрямитель, если амплитудное значение тока равно  $I_0$ ?
4. Идеальный колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 1 мГн и конденсатора емкостью 10 мкФ. Конденсатор заряжен от источника тока с ЭДС 100 В. Определить максимальный заряд конденсатора и максимальный ток в контуре. Записать уравнение для определения мгновенного значения силы тока в контуре.
5. Индуктивность колебательного контура 500 мкГн. Требуется настроить этот контур на частоту 1 МГц. Какую емкость следует взять?
6. Вертикальная антенна радиостанции мощностью 20 кВт излучает по всем направлениям электромагнитную волну. Какая ЭДС будет возбуждаться в вертикальной приемной антенне длиной 2 м, расположенной на расстоянии 20 км от радиостанции, если станция работает на полную мощность?
7. Можно ли приемным колебательным контуром, состоящим из катушки индуктивностью 1 мГн и конденсатора емкостью 10 пФ, принимать передачи радиостанции, работающей на длине волны 100 м?

## УМЕЕШЬ ЛИ ТЫ ПРОВОДИТЬ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ?

1. Что можно определить с помощью следующих приборов: источника переменного тока, вольтметра и амперметра (миллиамперметра) переменного тока, конденсатора?
2. Можно ли лампочку от карманного фонаря включить в осветительную цепь переменного тока так, чтобы она горела нормальным накалом? Предложите несколько способов включения. Какие дополнительные приборы вам необходимы для этого?
3. Катушка от школьного универсального трансформатора включена в цепь последовательно с лампочкой от карманного фонаря и источником переменного тока регулируемой частоты. Как изменится накал лампочки, если, не меняя частоту, поместить в катушку железный сердечник? Уменьшить частоту?
4. Зарисуйте вольтамперные характеристики конденсатора, резистора и катушки индуктивности на постоянном и переменном токе. В чем их отличие? Можно ли по виду вольтамперной характеристики установить, какой из этих приборов находится в "черном ящике"?
5. Две катушки, включенные последовательно и питаемые переменным током, подвешены близко друг к другу так, что их оси совпадают. Между катушками поочередно вставляются медный и железный листы. Почему притягивающиеся катушки начинают отталкиваться, когда между ними вставлен медный лист? Почему картина меняется, если вместо медного листа вставить железный лист?
6. Как экспериментально доказать, что свободные колебания груза на пружине или нитяного маятника происходят по гармоническому закону?
7. Как измерить ускорение свободного падения с помощью нитяного или пружинного маятника?
8. Каким образом можно экспериментально проверить справедливость формулы Томсона для периода свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре?
9. Как объяснить изменение громкости звучания струны, по которой течет переменный ток звуковой частоты, при перемещении вдоль нее магнита?
10. Известно, что стеклянная трубка с двумя электродами и металлическими опилками между ними (когерер) обладает различным сопротивлением в цепях постоянного и переменного тока. Почему?

## УМЕЙ ПРИМЕНЯТЬ ПОЛУЧЕННЫЕ ЗНАНИЯ НА ПРАКТИКЕ!

1. Падающий ребром медный пятак попадает в зазор между полюсами электромагнита так, что магнитное поле перпендикулярно плоскости монеты. Как будет изменяться ускорение монеты? Магнитное поле между полюсами считать однородным.
2. Имеются три одинаковые коробочки для изготовления корпуса компаса: пластмассовая, железная, медная. Какая коробочка предпочтительнее?
3. Почему два провода, по которым течет переменный ток, стараются располагать близко друг к другу?
4. Опаснее ли переменный ток постоянного тока?
5. Электрическая цепь, состоящая из двух катушек индуктивности и лампочки, подключена к генератору переменного напряжения. Если в одну из катушек вдвинуть железный сердечник, то свечение лампочки усиливается. Если же сердечник вдвинуть во вторую катушку, то свечение лампочки ослабевает. Нарисовать схему электрической цепи и объяснить явление.
6. На каких свойствах конденсатора основаны его следующие технические применения?
  - 1) Использование конденсатора в лампах-вспышках.
  - 2) Подключение электродвигателя переменного тока последовательно с конденсатором к сети переменного тока.
  - 3) Включение лампочки от карманного фонаря через конденсатор в городскую осветительную сеть.
  - 4) Применение конденсатора в громкоговорителях для ослабления низких частот.
  - 5) Разделение с помощью конденсатора переменной и постоянной составляющей электрического тока.

- б) Подключение с помощью конденсатора трехфазного электродвигателя к однофазной электрической цепи.
- 7) Подключение конденсатора параллельно телефону в детекторном радиоприемнике.
7. При электросварке применяется стабилизатор - катушка со стальным сердечником, включенная последовательно с дугой. Почему стабилизатор обеспечивает устойчивое горение дуги?
  8. Почему некоторые лампы дневного света при включении долго мигают?
  9. Как можно избежать аварии, связанной с перегоранием обмотки сверхпроводящего соленоида?
  10. Зарисуйте электрическую схему детекторного радиоприемника.

## **ФИЗИКА В ТВОЕЙ ПРОФЕССИИ**

С развитием таких ведущих отраслей техники, как электронная, авиационная, приборостроительная, увеличилась потребность в высокопрочных сталях и сплавах, очень хрупких и твердых материалах типа германия, ферритов, кварца, рубина, алмаза. Обрабатывать такие материалы механическими методами чрезвычайно трудно. Во всех этих случаях на помощь традиционным механическим методам приходят новые методы: электрофизические (электроэрозионные, ультразвуковые, лучевые).

Электроэрозионная обработка. Все знают, какое разрушительное действие может произвести атмосферный электрический заряд - молния. Но не каждому известно, что уменьшенные до малых размеров электрические разряды с успехом используются в промышленности. Они помогают создавать из металлических заготовок сложнейшие детали машин аппаратов. Температура в месте воздействия этих электрических разрядов достигает 5000-10000°C. Электрические разряды как бы «разъедают» металл. Каждый из возникающих разрядов удаляет маленькую частичку металла, и инструмент, например, мягкая латунная проволока, постепенно погружается в заготовку, копируя в ней свою форму. Разряды между заготовкой и инструментом в электроэрозионных станках следуют один за другим с частотой от 50 до сотен тысяч в секунду, в зависимости от того, какую скорость обработки и шероховатость поверхности мы хотим получить. Чем чаще разряды и чем меньше их мощность, тем меньше шероховатость поверхности, но скорость обработки при этом уменьшается.

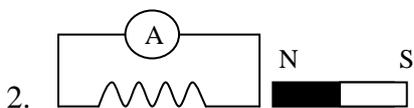
Электронно-лучевая обработка. Обработка материалов (сварка, резание и т.п.) пучком электронов - совсем новая область техники. В современной технике приходится иметь дело с очень твердыми или очень хрупкими труднообрабатываемыми материалами. В электронной технике, например, применяются пластинки из чистого вольфрама, в которых необходимо просверлить сотни микроскопических отверстий диаметром в несколько десятков микрометров. Волокна, протягиваемые через них, получаются тоньше человеческого волоса.

Оказалось, что для этих целей можно использовать электронный луч. Попадая на обрабатываемый металл, в месте воздействия нагревает его и почти мгновенно испаряет, образовав в материале отверстие или углубление. Современная техника позволяет регулировать плотность электронов, а, следовательно, и температуру нагрева металла.

## ПРОВЕРЬ СВОИ ЗНАНИЯ ПО ТЕМЕ

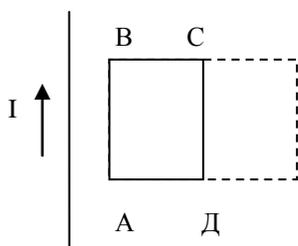
### "ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ"

1. Объясните последствия при движении магнита относительно катушки.



3. Построить график изменения индукционного тока при размыкании цепи, в которой имеется катушка индуктивности. Что означает площадь фигуры, ограниченной графиком и осью времени. Изменение, какой величины можно определить по графику?
4. Два замкнутых проводящих контура расположены друг над другом параллельно. В верхнем контуре ток течет по часовой стрелке. Каково направление индукционного тока в нижнем контуре, если в верхнем контуре: а) ток нарастает; б) ток убывает; в) ток не изменяется; г) течет переменный ток.

5. В магнитном поле прямого постоянного тока находится квадратная металлическая рамка ABCD. Рамку переводят в новое положение, показанное на рисунке пунктиром. Это можно сделать двумя способами: равномерным поворотом вокруг стороны CD или равномерным параллельным переносом вдоль AD.



При каком способе выделится больше тепла, если время перевода рамки в новое положение в обоих случаях одинаково?

6. Подвешенный на пружине магнит совершает свободные колебания. Что произойдет, если снизу поднести алюминиевую пластинку, не касаясь магнита?
7. Для исследования стальных балок (рельсов) на них надевают катушку изолированной проволоки, замкнутую на гальванометр, и перемещают ее вдоль балки. При всякой неоднородности строения балки (трещины, раковины и т.д.) в гальванометре возникает ток. Объясните явление
8. Медицинский прибор для извлечения неферромагнитных опилок из глаза представляет собой сильный электромагнит, питаемый переменным током. Каков должен быть график зависимости силы тока в обмотках от времени, чтобы прибор отвечал своему назначению?
9. Перечислите основные свойства: а) колебательного контура, б) конденсатора, в) катушки индуктивности, г) трансформатора.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
2. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. – М.: Дрофа, 2002.
3. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе.- М.: Просвещение, 1972.
4. В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин и др. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. - М.: Просвещение, 1972.
5. Д. Джанколи. Физика.- М.: Мир, 1989.
6. А.А. Найдин. Использование обобщающих таблиц при формировании понятий. Физика в школе, 3 (1989).

7. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
8. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
9. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
10. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
11. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
12. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн.– М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
13. Кондратьев А. С., Ларченкова Л. А, Ляпцев А. В. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: – М.: Издательская фирма «Физико-математическая литература» МАИК «Наука/Интерпериодика», 2012 г.
14. А.А. Найдин. Как научить школьников открывать и применять законы? ж. «Физика в школе», №7, 2012 г.
15. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
16. Славов А.В., Щеглова О.А., Абражевич Э.Б., Чудов В.Л., ФИЗИКА, ЗАДАЧИ, КАЧЕСТВЕННЫЕ ВОПРОСЫ, ТЕСТЫ. «Издательский дом МЭИ», 2016
17. Физика. 10—11 кл.: Сборник задач и заданий с ответами и решениями. Пособие для учащихся общеобразоват. учреждений / С.М. Козел, В. А. Коровин, В. А. Орлов. — М.: Мнемозина, 2001. — 254 с.: ил.
18. Кондратьев А.С., Прияткин Н.А. Современные технологии обучения физике: Учеб. пособие. — СПб.: С.-Петербург. ун-т, 2006.