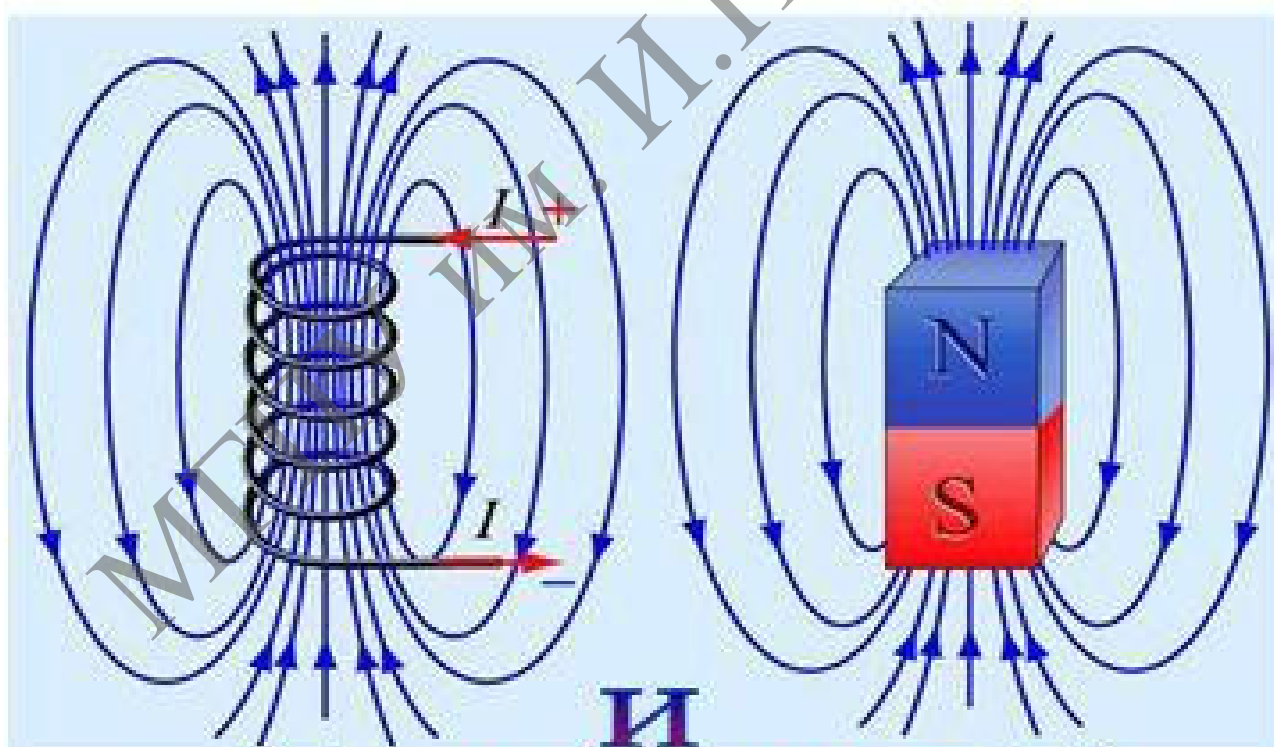


ОБЩАЯ ФИЗИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



И
МАГНЕТИЗМ

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина»

ОБЩАЯ ФИЗИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Справочные материалы

4-е издание

МГПУ ИМ. И. П. ШАМЯКИНА

Мозырь
МГПУ им. И. П. Шамякина
2020

УДК 531/534(076)
ББК 22.2я73
О-28

Составитель
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой физики и математики
учреждения образования «Мозырский государственный
педагогический университет имени И. П. Шамякина»
В. С. Савенко

Рецензенты:
доктор физико-математических наук, профессор УО «БТЭУПК»
Г. С. Митюрин;
кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой общей физики
УО «Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова»
И. В. Ивашкевич

Печатается по решению редакционно-издательского совета
учреждения образования «Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина»

Общая физика. Электричество и магнетизм : справочные
О-28 материалы / сост. В. С. Савенко. – 4-е изд. – Мозырь : МГПУ
им. И. П. Шамякина, 2020. – 39 с.
ISBN 978-985-477-708-5.

Материал разработан в соответствии с программой по общей физике
и предназначен для организации научно-методической подготовки студентов
специальностей: 1-31 04 08-03 Компьютерная физика. Компьютерное модели-
рование физических процессов. 1-02 06 02-07 Технология (технический труд).
Физика; 1-02 05 04-01 – Физика. Математика; 1-02 05 04-02 – Физика. Информатика;
1-08 01 01-05 Профессиональное обучение (строительство); 1-08 01 01-01
(машиностроение). Рекомендуется студентам дневной и заочной форм обучения.

УДК 531/534(076)
ББК 22.2я73

ISBN 978-985-477-708-5

© Савенко В. С., составление, 2017
© Савенко В. С., составление, 2018,
с изменениями
© УО МГПУ им. И. П. Шамякина, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Электростатика	5
Постоянный ток	13
Магнитные явления	28
Переменный ток.....	34
Перечень вопросов к экзамену по курсу «Электричество и магнетизм» ...	38

МГТУ им. И.П.Шамякина

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Общая физика» предназначена для подготовки студентов к их будущей специальности учителя физики средней школы. Раздел «Электричество и магнетизм» дисциплины «Общая физика» представляет собой органичную часть классического и современного курсов физики, посвящена изучению электромагнитных взаимодействий и их доминирующего влияния на основные физические свойства микро- и макросистем. Содержание раздела «Электричество и магнетизм» рассчитано на приобретение студентами знаний о физических процессах, происходящих в природе, при их органичном сочетании с современными данными других наук.

Целью раздела «Электричество и магнетизм» дисциплины «Общая физика» является развитие у студентов навыков физического мышления и умения самостоятельно ставить и решать принципиальные физические вопросы и конкретные физические задачи; формирование и развитие способности применять полученные знания и умения для решения задач в сфере профессиональной деятельности.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен *знать*:

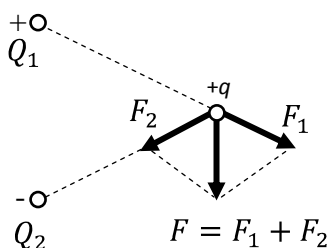
- сущность изучаемых физических понятий, явлений, законов, принципов, теорий электричества и магнетизма;
- определения изучаемых физических понятий, явлений электричества и магнетизма;
- обозначения и единицы измерения основных физических величин электричества и магнетизма;
- формулировки изучаемых законов электричества и магнетизма, их математическую запись;
- смысл физических понятий и явлений, основных законов и положений, вытекающих из них формул;
- устройство приборов, применяемых при выполнении эксперимента.

Реализации поставленной цели могут служить разработанные справочные материалы «Общая физика. Электричество и магнетизм». Пособие содержит основные теоретические сведения по разделу «Электричество и магнетизм», включающие определения физических величин, единицы их измерения, основные законы электромагнетизма, физические формулы, являющиеся математическим выражением физических законов. Для лучшего восприятия и запоминания материала выводы всех законов и закономерностей проиллюстрированы соответствующими рисунками.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

1. Закон Кулона

Кулон установил, что сила взаимодействия между двумя металлическими заряженными шариками обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними, пропорциональна величине зарядов и направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды:



$$F_{\text{эл}} = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2},$$

где $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$;

$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ – электрическая постоянная;

r – расстояние между зарядами q_1, q_2 ;

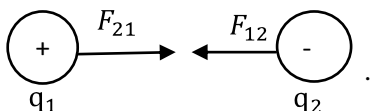
ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды q_1, q_2 (полагается, что среда – безграничный, однородный диэлектрик);

$$\epsilon_{\text{возд}} \approx \epsilon_{\text{вакуума}} = 1;$$

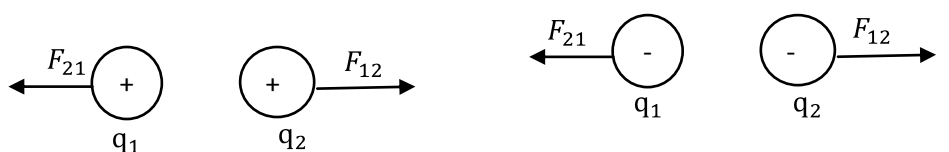
$F_{\text{эл}}$ – сила электростатического взаимодействия точечных зарядов q_1, q_2 .

Точечными считаются заряженные тела, размеры которых пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними.

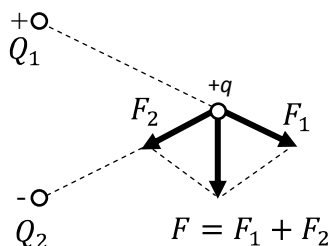
Заряды противоположных знаков («разноименные») притягиваются друг к другу:



Заряды одинаковых знаков («одноименные») отталкиваются друг от друга:



2. Принцип суперпозиции



Если на заряд q действуют несколько зарядов Q_1, Q_2, \dots , то:

$$F_{\text{на } q} = F_{\text{на } q} Q_1 + F_{\text{на } q} Q_2 + \dots,$$

где $F_{\text{на } q}$ – сила, действующая на заряд q со стороны системы зарядов Q_1, Q_2, \dots ;

$F_{\text{на } q} Q_1$ – сила, которая действовала бы на заряд q со стороны заряда Q_1 , в отсутствие остальных зарядов Q_2, Q_3, \dots

Электрическое поле – особая материя, возникающая вокруг любых электрических зарядов и действующая электрической силой на любые электрические заряды, попавшие в это поле.

3. Характеристики электрического поля

E – напряженность электрического поля – силовая характеристика поля. Напряженность численно равна силе, которая действовала бы на единицу пробного заряда, помещенного в данную точку поля:

$$F_{\text{на } q}^{\text{эл.}} = qE,$$

где $F_{\text{на } q}^{\text{эл.}}$ – электрическая сила, действующая на точечный заряд q со стороны электрического поля;

E – напряженность электрического поля, создаваемого в той точке, где находится q , всеми остальными зарядами (кроме q).



$$W = q \cdot \varphi$$

$$A_{1-2}^{\text{эл. над } q} = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

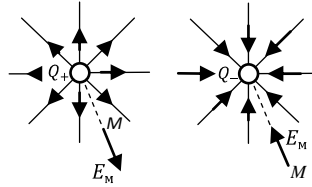
где φ – потенциал электрического поля – энергетическая характеристика поля. Потенциал численно равен потенциальной энергии, которую имела бы единица пробного заряда, помещенного в данную точку поля;

W – потенциальная энергия заряда q , который находится в точке, где все остальные заряды (кроме q) создают потенциал φ ;

$A_{1-2}^{\text{эл. над } q}$ – работа электрических сил над зарядом q при его перемещении из точки с потенциалом φ_1 в точку φ_2 (потенциалы φ_1 и φ_2 создаются всеми зарядами, кроме q).

3.1. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного одним точечным зарядом Q

$$E_M = k \frac{|Q|}{\epsilon r_M^2},$$



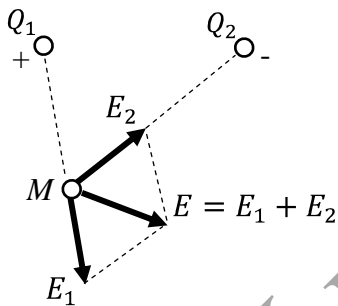
где E_M – напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом Q в точке M , расположенной на расстоянии r_M от Q ;

E – направлен от «+» зарядов к «-» зарядам.

$$\varphi_M = k \frac{Q}{\epsilon r_M},$$

где φ_M – потенциал электрического поля, созданного точечным зарядом Q в точке M , расположенной на расстоянии r_M от Q ;

$\varphi = 0$ на ∞ .



3.2. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного системой точечных зарядов Q_1, Q_2, \dots

$$E_M = E_M Q_1 + E_M Q_2 + \dots,$$

где E_M – напряженность электрического поля, созданного системой точечных зарядов Q_1, Q_2, \dots

в точке M ;

$E_M Q_1$ – напряженность электрического поля, которое создавал бы в точке M заряд Q_1 , в отсутствие остальных зарядов Q_2, Q_3, \dots .

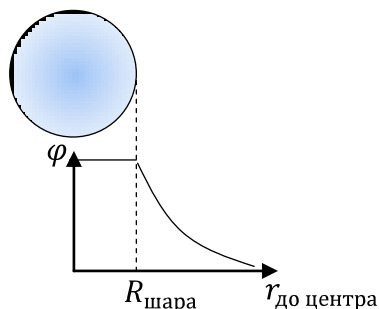
$$\varphi_M = \varphi_M Q_1 + \varphi_M Q_2 + \dots,$$

где φ_M – потенциал электрического поля, созданного системой точечных зарядов Q_1, Q_2, \dots в точке M ;

$\varphi_M Q_1$ – потенциал электрического поля, которое создавал бы в точке M заряд Q_1 в отсутствие остальных зарядов Q_2, Q_3, \dots .

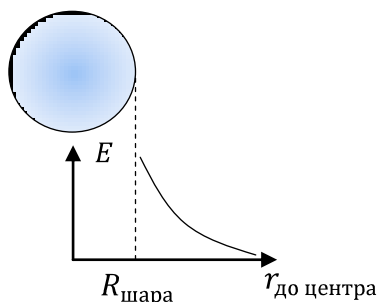
3.3. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного равномерно заряженным по поверхности шаром

В равновесном состоянии напряженность поля внутри проводника равна нулю (иначе заряды пришли бы в движение и состояние не было бы равновесным), а на поверхности проводника касательная составляющая напряженности равняется нулю (так как в противном случае возникло бы движение зарядов на поверхности).



$$E_{\text{вне шара}} = k \frac{|Q_{\text{шара}}|}{\varepsilon r_{\text{до центра шара}}^2}$$

$$E_{\text{внутри шара}} = 0.$$



$$\varphi_{\text{вне шара}} = k \frac{Q_{\text{шара}}}{\varepsilon r_{\text{до центра шара}}}, \varphi = 0 \text{ на } \infty,$$

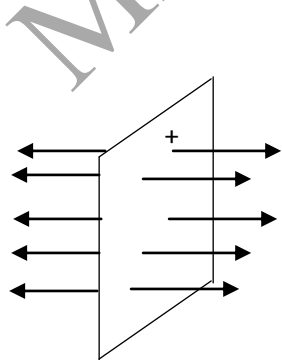
$$\varphi_{\text{внутри шара}} = \varphi_{\text{поверхности шара}} = \varphi_{\text{шара}} = k \frac{Q_{\text{шара}}}{\varepsilon R_{\text{шара}}}.$$

3.4. Напряженность и потенциал однородного электрического поля, созданного равномерно заряженной плоскостью или плоским конденсатором

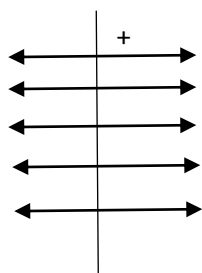
$$E_{\text{плоск}} = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0\varepsilon}, \quad \sigma = \frac{q}{S},$$

где σ — поверхностная плотность заряда,

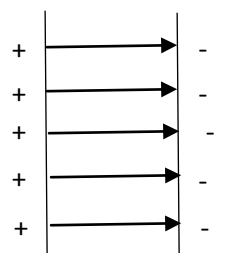
q — заряд поверхности площадью S .



Вид сбоку:



Плоский конденсатор
(вид сбоку в разрезе):



$$E_{\text{конд}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}.$$

Для любого однородного электрического поля:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E \cdot \Delta r_{1-2} = E \cdot \Delta r_{1-2} \cdot \cos \alpha = E_x \cdot \Delta x.$$

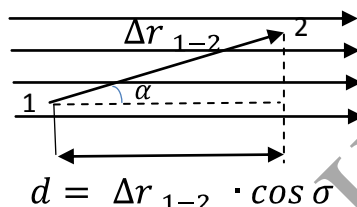
$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$ — напряжение (разность потенциалов) между точками 1 и 2 в однородном электрическом поле.

Δr_{1-2} — вектор, проведенный из точки 1 в точку 2.

$$d = \Delta r_{1-2} \cdot \cos \alpha$$

$U = E \cdot d$, где d — проекция вектора Δr_{1-2} на силовую линию.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E_x(x_2 - x_1)$$



4. Потенциальная энергия системы электрических зарядов

$$W_{\text{сист.}} = W_{\text{внеш.}} + W_{\text{взаим.}}$$

где $W_{\text{сист.}}$ — потенциальная энергия системы электрических зарядов;

$W_{\text{внеш.}}$ — энергия взаимодействия зарядов системы с внешним электрическим полем;

$$W_{\text{внеш.}} = q_1 \varphi_1^{\text{внеш.}} + q_2 \varphi_2^{\text{внеш.}} + \dots,$$

где $\varphi_1^{\text{внеш.}}$ — потенциал внешнего электрического поля в той точке, где расположен заряд q_1 .

$W_{\text{взаим.}}$ — энергия взаимодействия зарядов системы друг с другом.

Для системы из двух зарядов q_1, q_2 :

$$W_{12}^{\text{вз.}} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r_{12}}.$$

Для системы из трех зарядов q_1, q_2 и q_3 :

$$W_{123}^{вз.} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r_{12}} + k \frac{q_1 \cdot q_3}{\epsilon r_{13}} + k \frac{q_2 \cdot q_3}{\epsilon r_{23}}.$$

$$W_{вз.} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \cdot \varphi_i^{собр.},$$

где $\varphi_i^{собр.}$ — потенциал, создаваемый всеми зарядами системы, кроме q_i в точке, где находится заряд q_i .

5. Электрическое поле в диэлектриках

Заряды, которые при приложении внешнего электрического поля могут свободно перемещаться по проводнику и не связаны с ионами кристаллической решетки, называются **свободными**.

Заряды, входящие в состав молекулы, которые под действием внешнего поля лишь немного смещаются из своих положений равновесия и покинуть пределы молекулы не могут, называются **связанными**:

$$P_l = ql.$$

Если у молекулы в отсутствие внешнего электрического поля центры тяжести положительного и отрицательного зарядов совпадают, то есть дипольный момент молекулы $P_l = 0$, то такие молекулы называются **неполярными**. К ним относятся молекулы H_2 , O_2 , N_2 .

Молекулы, у которых в отсутствие внешнего поля центры тяжести положительных и отрицательных зарядов не совпадают, то есть существует дипольный момент $P_l \neq 0$, называются **полярными**.

Электрическое поле в диэлектриках. Диэлектрическая проницаемость. Электрическая индукция.

Диэлектрическая проницаемость – это отношение напряженности поля в вакууме к напряженности поля в однородной диэлектрической среде при неизменных зарядах, создающих поле:

$$\epsilon_0 = \frac{E_0}{E}.$$

Все сегнетоэлектрики являются кристаллическими телами, в которых отсутствует центр симметрии.

Для сегнетоэлектриков характерными являются следующие свойства:

1) Высокая диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков проявляется в определенных температурных интервалах.

2) Для сегнетоэлектриков существует специфическая зависимость вектора поляризации от напряженности внешнего электрического поля E .

3) Диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков зависит от величины внешнего электрического поля.

6. Електроемкость

Електроемкость уединенного проводника численно равна количеству электричества, изменяющему потенциал проводника на единицу. За единицу електроемкости в СИ, называемую фарадой, принимается електроемкость такого уединенного проводника, потенциал которого изменяется на 1 В при сообщении ему заряда в 1 кулон $1 \text{ ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}$.

$$C_{\text{пров}} = \frac{q}{\varphi},$$

где $C_{\text{пров}}$ – електроемкость уединенного проводника;

q – заряд проводника;

φ – потенциал проводника относительно бесконечности.

$$C_{\text{конд.}} = \frac{q}{U} = \frac{q_1}{\varphi_1 - \varphi_2}, \quad C_{\text{плоск.конд.}} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

где $C_{\text{конд.}}$ – електроемкость конденсатора;

q – заряд конденсатора (заряд его «+» – пластины);

q_1 – заряд пластины «1»;

$\varphi_1 - \varphi_2$ – разность потенциалов между пластинами «1» и «2»;

U – напряжение на конденсаторе (разность потенциалов между «+» и «-» пластинами).

$$U = E \cdot d,$$

где E – напряженность электрического поля между пластинами конденсатора;

d – расстояние между пластинами конденсатора;

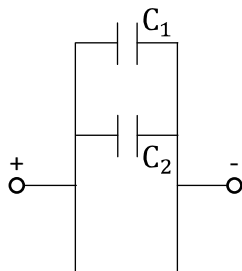
ε – диэлектрическая проницаемость вещества между пластинами;

S – площадь пластины конденсатора.

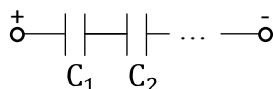
$$W_{\text{конд.}} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2},$$

где $W_{\text{конд.}}$ – энергия электрического поля конденсатора.

Параллельное соединение конденсаторов (каждый конденсатор соединен одной пластиной с «+» – выходом системы, а другой пластиной с «-» – выходом):



Последовательное соединение конденсаторов (каждый конденсатор соединен одной пластиной с предыдущим, а другой пластиной с последующим конденсатором без ответвлений):



$$C_{\text{общ. пар.}} = C_1 + C_2 + \dots, \quad \frac{1}{C_{\text{общ. посл.}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots,$$

где $C_{\text{общ. пар.}}$ – общая емкость системы конденсаторов – емкость такого одного конденсатора, при включении которого вместо всей системы не изменятся напряжение между выходами ($U_{\text{общ.}}$) и общий заряд $q_{\text{общ.}}$.

$$U_{\text{общ. пар.}} = U_1 = U_2 = \dots, \quad U_{\text{общ. посл.}} = U_1 + U_2 + \dots,$$

где U – напряжение между выходами системы;

$$q_{\text{общ. пар.}} = q_1 + q_2 + \dots, \quad q_{\text{общ. посл.}} = q_1 = q_2 = \dots,$$

где q – заряд проводника, соединенного с «+» – выходом системы.

7. Свойства проводника в электрическом поле

$E_{\text{внутри проводника}} = 0$	<u>Проводник эквипотенциален</u> $\varphi_1 = \varphi_2 = \dots = \varphi_{\text{пров.}}$	Силовые линии входят в проводник и выходят из него перпендикулярно поверхности
Если в проводнике нет тока		

Если проводник заряжен, то заряд распределен в бесконечно тонком слое на поверхности проводника (σ максимальна в выпуклостях, особенно на остриях, и минимальна на вогнутых участках поверхности).

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

1. Упорядоченная скорость

Электрический ток – упорядоченное движение заряженных частиц, т. е. такое движение, при котором через поперечное сечение проводника происходит перенос заряда.

Носители тока – заряженные частицы, движение которых образует ток.

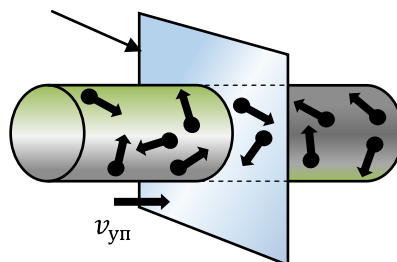
Обычно заряженные частицы в веществе движутся беспорядочно – «хаотично». Среди направлений движения этих частиц нет преимущественного – все направления встречаются одинаково часто, поэтому через любое сечение проводника проходит в обе стороны в среднем одинаковое число носителей. Среднее значение вектора скорости заряженных частиц при таком движении в любой момент равно нулю:

$$\vartheta = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2 + \dots + \vartheta_N}{N} = 0.$$

Но если, продолжая беспорядочное движение, вся эта масса хаотически движущихся носителей начинает смещаться в какую-либо сторону (это называется «дрейф»), то такое движение считается упорядоченным и образует электрический ток. В этом случае среднее значение вектора скорости уже не равно нулю и называется скоростью упорядоченного движения носителей:

$$\vartheta_{\text{уп.}} = \vartheta = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2 + \dots + \vartheta_N}{N}.$$

$\vartheta_{\text{уп.}}$ направлен туда, куда смещается масса хаотически движущихся частиц – в сторону дрейфа. Можно представить себе ток в проводе так: цилиндрический сосуд, заполненный хаотически движущимися носителями тока, медленно (по сравнению со скоростями теплового движения носителей) перемещается. Скорость сосуда в этой модели – $\vartheta_{\text{уп.}}$. Если сосуд мысленно расщечь неподвижной плоскостью, перпендикулярной $\vartheta_{\text{уп.}}$, то через эту плоскость будет переноситься заряд.



2. Сила тока

$$I = \frac{q}{t}, \quad I = \text{const},$$

где I – модуль силы тока;

q – модуль заряда, перенесенного через поперечное сечение проводника за время t .

Единица измерения силы тока в СИ – $1 \text{ A} = 1 \text{ Кл/с}$.

Если сила тока меняется ($I \neq \text{const}$), то вычисляют мгновенные значения силы тока (для каждого момента):

$$I = \frac{dq}{dt} = q'(t),$$

где dq – заряд, перенесенный через поперечное сечение проводника за такое малое время dt , за которое сила тока не успевает существенно измениться.

4. Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС

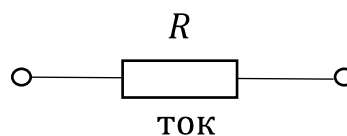
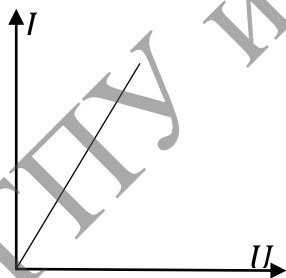
$$I = \frac{U}{R}$$

где I – модуль силы тока в проводнике;

U – напряжение (разность потенциалов) между концами проводника.

$U = \varphi_1 - \varphi_2$ (если ток течет от точки 1 к точке 2);

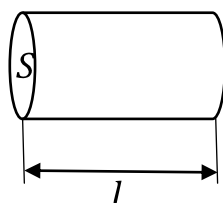
R – сопротивление проводника.



$$R = \frac{\rho l}{S},$$

где ρ – удельное сопротивление материала, из которого изготовлен провод; l – длина провода;

S – площадь поперечного сечения провода.



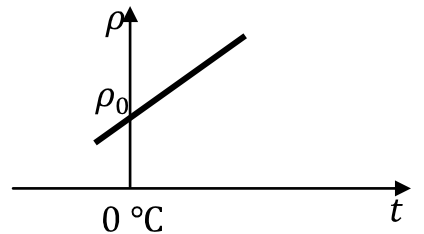
Единица измерения сопротивления в СИ: $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В/А}$.

Единица измерения удельного сопротивления в СИ: $1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \cdot t),$$

где α – температурный коэффициент сопротивления металла;

t – температура проводника в $^{\circ}\text{C}$.



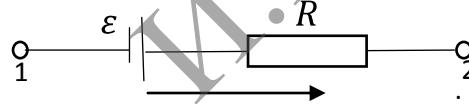
5. Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon;$$

где I – сила тока, текущего по участку 1–2;

R – полное сопротивление участка 1–2;

ε – суммарная эдс на участке 1–2.

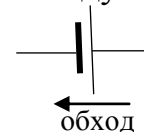


направление обхода от 1 к 2

$I > 0$, если ток $\uparrow\uparrow$ обходу 1 \rightarrow 2,

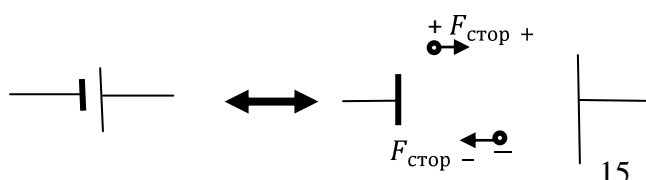
$I < 0$, если ток $\uparrow\downarrow$ обходу 1 \rightarrow 2,

$\varepsilon > 0$, если источник направляет ток $\uparrow\uparrow$ обходу 1 \rightarrow 2 $\varepsilon < 0$, если источник направляет ток $\uparrow\downarrow$ обходу 1 \rightarrow 2



источник тока – проводник, в котором действуют сторонние силы.

Сторонние силы – любые силы не электростатического происхождения, понуждающие носители тока к упорядоченному движению.



$$\varepsilon = \frac{A_{1-2}^{\text{стор.}}}{q},$$

где ε – эдс источника (электродвижущая сила),

$A_{1-2}^{\text{стор.}}$ – работа сторонних сил источника над зарядом q при его перемещении через источник в направлении обхода $1 \rightarrow 2$.

6. Закон Ома для полной (замкнутой) цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{\text{полн}}},$$

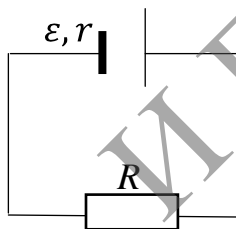
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где I – сила тока, текущего через каждый элемент цепи;

ε – суммарная эдс цепи;

$R + r$ – полное (суммарное) сопротивление цепи;

r – внутреннее сопротивление источника.



7. Последовательное соединение проводников

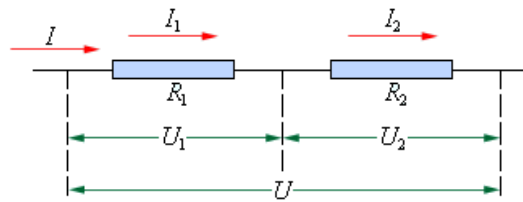
Последовательное соединение проводников – это соединение, при котором заряд полностью, без ответвлений, перетекает из предыдущего проводника в следующий.

$$I_{\text{общ.}}^{\text{посл.}} = I_1 = I_2 = \dots;$$

$$U_{\text{общ.}}^{\text{посл.}} = U_1 + U_2 + \dots;$$

$$R_{\text{общ.}}^{\text{посл.}} = R_1 + R_2 + \dots.$$

Если $R_1 = R_2 = \dots = R_N = R$, то $R_{\text{общ.}}^{\text{посл.}} = NR$.



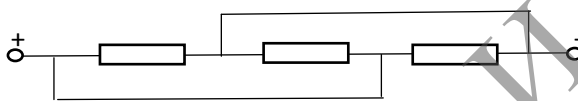
$U_{\text{общ.}} = U = \varphi_a - \varphi_b$ – общее напряжение – напряжение между выходами системы.

$I_{\text{общ.}} = I$ – общий ток – ток, втекающий через (+) выход системы и вытекающий через (-) выход.

$R_{\text{общ.}} = \frac{U_{\text{общ.}}}{I_{\text{общ.}}}$ – общее сопротивление – сопротивление резистора, который можно включить один вместо всей системы между ее выходами, при этом $I_{\text{общ.}}$ и $U_{\text{общ.}}$ не изменяются.

8. Параллельное соединение проводников

Параллельное соединение проводников – соединение, при котором каждый проводник присоединен одним концом к (+) выходу системы, а другим концом к (-) выходу.



$$I_{\text{общ. пар.}} = I = I_1 + I_2 + \dots;$$

$$U_{\text{общ. пар.}} = U = U_1 = U_2 = \dots;$$

$$\frac{1}{R_{\text{пар. общ.}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots;$$

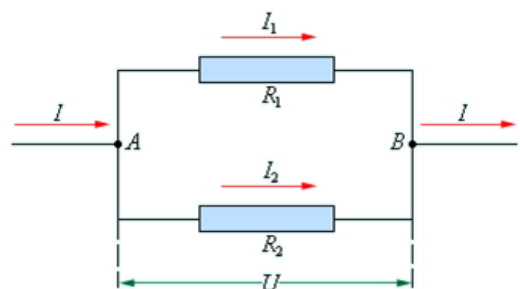
Если $R_1 = R_2 = \dots = R_N = R$, то $R_{\text{пар. общ.}} = \frac{R}{N}$.

9. Работа и мощность электрического тока

Для участка, не содержащего ЭДС:

$$A_{\text{тока}} = A_{\text{эл.}} = Q = IUT = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t \text{ (при } I = \text{const),}$$

где $A_{\text{тока}}$ – работа тока;



ПОСТОЯННЫЙ ТОК

$A_{\text{эл.}}$ – работа электрической силы;

Q – количество теплоты, выделяющееся на участке.

$$N_{\text{тока}} = N_{\text{эл.}} = N_{\text{тепл.}} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R},$$

где $N_{\text{тока}}$ – мощность тока;

$N_{\text{эл.}}$ – мощность электрической силы;

$N_{\text{тепл.}}$ – тепловая мощность (количество теплоты, выделяющееся за единицу времени).

Для участка, содержащего ЭДС:

$$A_{\text{тока}} = A_{\text{эл.}} = IUt.$$

$$Q = I^2 Rt.$$

$$A_{\text{стор.}} = I\epsilon t,$$

где $A_{\text{стор.}}$ – работа сторонних сил источника.

$$N_{\text{тока}} = N_{\text{эл.}} = IU,$$

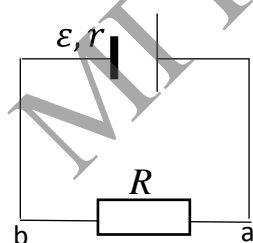
$$N_{\text{тепл.}} = I^2 R,$$

$$N_{\text{стор.}} = I\epsilon,$$

где $N_{\text{стор.}}$ – мощность сторонних сил источника.

10. КПД электрической цепи

К.п.д. линии передачи называют отношение мощности, расходуемой в точке потребления, ко всей мощности N , отдаваемой источником во внешнюю цепь.



$$\eta = \frac{N_{\text{нагр.}}}{N_{\text{ист.}}} = \frac{U}{\epsilon} = \frac{R}{R+r},$$

где N – мощность,

R – сопротивление нагрузки (внешнее сопротивление),

$U = \varphi_a - \varphi_b$ – напряжение на нагрузке.

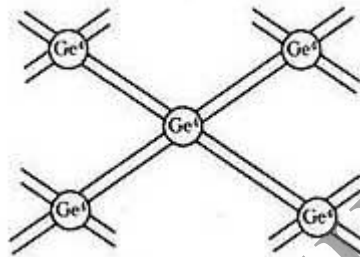
11. Условие выделения максимальной мощности на нагрузке

При данных значениях r и ϵ , максимальная мощность выделяется при условии, что $R = r$.

12. Полупроводники

Полупроводник – вещество, у которого удельное сопротивление может изменяться в широких пределах и очень быстро убывает с повышением температуры, а это значит, что электрическая проводимость ($\frac{1}{R}$) увеличивается.

Механизм проводимости у полупроводников: кристаллы полупроводников имеют атомную кристаллическую решетку, где внешние электроны связаны с соседними атомами ковалентными связями. При низких температурах у чистых полупроводников свободных электронов нет и он ведет себя как диэлектрик.



Собственная проводимость бывает двух видов:

1. Электронная (проводимость "n" – типа)

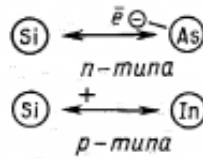
При низких температурах в полупроводниках все электроны связаны с ядрами и сопротивление большое; при увеличении температуры кинетическая энергия частиц увеличивается, рвутся связи и возникают свободные электроны – сопротивление уменьшается. Свободные электроны перемещаются противоположно вектору напряженности электрического поля. Электронная проводимость полупроводников обусловлена наличием свободных электронов.

2. Дырочная (проводимость "p" – типа)

При увеличении температуры разрушаются ковалентные связи, осуществляемые валентными электронами между атомами, и образуются места с недостающим электроном – "дырка". Она может перемещаться по всему кристаллу, т.к. ее место может замещаться валентными электронами. Перемещение "дырки" равноценно перемещению положительного заряда. Перемещение дырки происходит в направлении вектора напряженности электрического поля.

Примесная проводимость полупроводников:

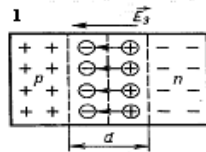
Донорная примесь: основные носители заряда – свободные электроны. Остается положительный ион примеси. Акцепторная примесь: основные носители заряда – дырки. Остается отрицательный ион примеси. В месте контакта донорного и акцепторного полупроводников возникает электронно-дырочный переход (p-n-переход).



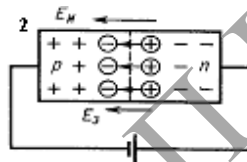
Свойства p-n-перехода

1. Образуется запирающий слой, образованный зарядами ионов примеси: $d = 10^{-7}$ м, $Dj = 0,4^{-0,8}$ В.

$$E = \frac{\Delta\varphi}{d} = \frac{0,4 \text{ В}}{10^{-7} \text{ м}} = 4 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

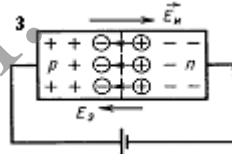


2. Направление внешнего поля (источника) совпадает с направлением контактного поля. Тока основных носителей заряда нет. Существует слабый ток неосновных носителей заряда. Такое включение называется обратным.



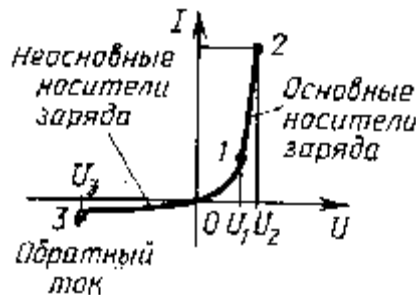
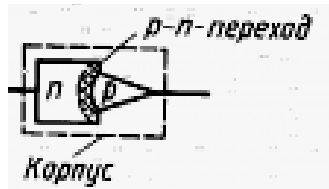
3. Прямое включение. Существует ток основных носителей заряда.

P-n-переход пропускает электрический ток только в одном направлении (свойство односторонней проводимости).



Полупроводниковый диод

Устройство диода:



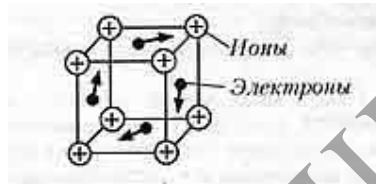
- 1, 2 – участок приближенно прямолинейен – экспонента;
- 3 – пробой диода;
- 0, 3 – обратный ток;
- 0, 1 – ток меняется нелинейно.

Обратный ток обусловлен наличием неосновных носителей заряда.

13. Электрический ток в металлах

Носители свободных зарядов в металлах – свободные электроны, которые упорядоченно перемещаются вдоль проводника под действием электрического поля с постоянной средней скоростью (из-за тормозного действия положительно заряженных ионов кристаллической решетки).

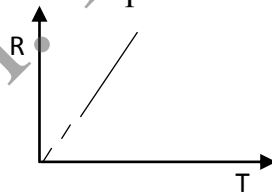
Металлы обладают электронной проводимостью.



С увеличением температуры сопротивление металлов растет.

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

где R_0 – сопротивление при 0 градусов Цельсия;
 t – температура;
 α – температурный коэффициент сопротивления.



Причина: при увеличении температуры происходит увеличение амплитуды колебаний ионов в узле кристаллической решетки, и при направленном движении электронов под действием поля это приводит к росту числа столкновений электронов с ионами и, как следствие, к росту сопротивления.

С уменьшением температуры в области 4,2 К для ртути наблюдается явление сверхпроводимости. В условиях сверхпроводимости ионы заморожены в узлах кристаллической решетки, амплитуда колебаний равна 0, и электроны проходят в решетке без столкновения с ионами – поток вязкой жидкости.

Работа выхода электронов из металла

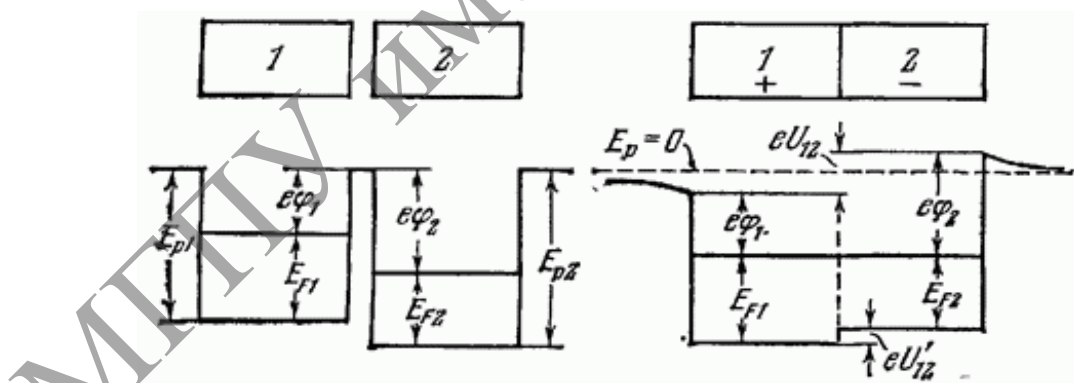
Силы притяжения свободных электронов, находящихся внутри металла, к положительным ионам решетки в среднем взаимно

уравновешиваются. Это дает возможность электронам свободно перемещаться внутри металла между узлами решетки. Если же по какой-либо причине электрон выйдет за пределы металла, то на него начнут действовать неуравновешенные силы притяжения со стороны ионов поверхности металла. Результирующая сила, направленная в сторону металла, будет стремиться возвращать электрон в металл.

Таким образом, для того чтобы покинуть металл и уйти в окружающую среду, электрон должен совершить работу против сил притяжения к металлу, действующих на расстояниях порядка размера кристаллической ячейки (10^{-10} м).

Работа A , которую необходимо совершить электрону, чтобы уйти из металла в окружающую его пустоту, называется работой выхода электрона из металла. Работу выхода принято выражать в электрон-вольтах (эВ). Работа выхода для разных металлов различна. Для чистых металлов она колеблется в пределах нескольких электрон-вольт (у цезия $A = 1,91$ эВ, у платины $A = 6,30$ эВ). Работа выхода совершается электронами за счет уменьшения их кинетической энергии. Понятно, что медленно движущиеся электроны вырваться из металла не могут. Но так как они определенным образом распределены по энергиям, то среди них всегда существуют электроны, обладающие достаточными энергиями для совершения работы выхода. Поэтому при любой температуре в окружающем пространстве вблизи поверхности металла образуются избыточные электроны.

Контактная разность потенциалов:



Если привести два металла в плотный электрический контакт – на краях металлов проявится контактная разность потенциалов.

- E_p – полная энергия электрона в металле;
- $e\phi$ – работа выхода электрона из металла;
- E_F – энергия Ферми.

При плотном энергетическом контакте происходит уравнивание уровней Ферми: электроны с более высокого уровня первого металла

переходят на второй металл – при этом 1 заряжается положительно, а 2 – отрицательно.

Одно из положений статической физики показывает: полная энергия в системе 2-х металлов в условии равновесия должна быть равна 0 ($E_p = 0$) – уровни Ферми уравниваются. Электронная жидкость перетекает из одного металла в другой – возникает внешняя контактная разность потенциалов:

$$U_{12} = \frac{e\varphi_2 - e\varphi_1}{e} = \varphi_2 - \varphi_1.$$

Т. к. металлы обладают характеристикой работы выхода, то у разных металлов она разная. Это приводит к тому, что возникает 2 встречных потока электронов из каждого металла, причем для металлов, у которых работа выхода меньше, интенсивность потока больше и наоборот.

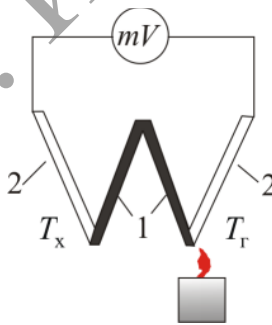
Разность интенсивности потоков обуславливают появление в металле внутренней контактной разности потенциалов, которая обуславливается разностью энергии Ферми:

$$U'_{12} = \frac{E_{F2} - E_{F1}}{e} = \varphi_2 - \varphi_1.$$

Суммарная разность потенциалов:

$$U = U_{12} + U'_{12}.$$

Явление возникновения контактной разности потенциалов и ее зависимость от температуры называют термоэлектрическим эффектом, или эффектом Зеебека. Эффект Зеебека (прямой термоэлектрический эффект) заключается в появлении разности потенциалов в термопарах.



На концах термопары возникает **термоЭДС термопары E**:

$$E = \frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} T_x - T_r = \alpha T_r - T_x ,$$

где T_r – температура горячего спая;

T_x – температура холодного спая.

Таким образом, термоЭДС термопары можно найти по формуле:

$$E = \alpha T_r - T_x ,$$

где $\alpha = \frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$ – *постоянная термопары.*

Эффектом Пельтье называют обратный термоэлектрический эффект. Он заключается в том, что при пропускании тока через термопару ее спай поглощает или выделяет тепло в зависимости от направления тока. Количество поглощенного тепла пропорционально плотности тока:

$$Q_{\text{п}} = P_{12}I,$$

где P_{12} – коэффициент Пельтье, зависящий от материала контактирующих металлов.

Эффект используют при изготовлении холодильников. Этот термоэлектрический эффект проявляется более эффективно, если используются полупроводники.

14. Электрический ток в жидкостях

Жидкости по степени электропроводности делятся на: диэлектрики (дистиллированная вода), проводники (электролиты), полупроводники (расплавленный селен).

Электролит – это проводящая жидкость (растворы кислот, щелочей, солей и расплавленные соли).

Электролитическая диссоциация (разъединение) – при растворении в результате теплового движения происходят столкновения молекул растворителя и нейтральных молекул электролита. Молекулы распадаются на положительные и отрицательные ионы. Например, растворение медного купороса в воде.



Ион – атом или молекула, потерявшая или присоединившая к себе один или несколько электронов;

– существуют положительные (катионы) и отрицательные (анионы) ионы.

Рекомбинация ионов. Наряду с диссоциацией в электролите одновременно может происходить процесс восстановления ионов в нейтральные молекулы.

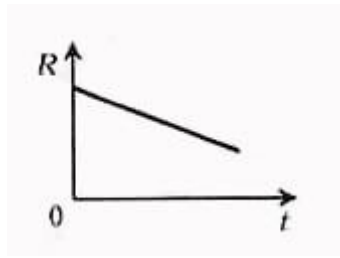
Между процессами электролитической диссоциации и рекомбинации при неизменных условиях устанавливается **динамическое равновесие**.

Зависимость сопротивления электролита от температуры

Температурная зависимость сопротивления электролита объясняется в основном изменением удельного сопротивления:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

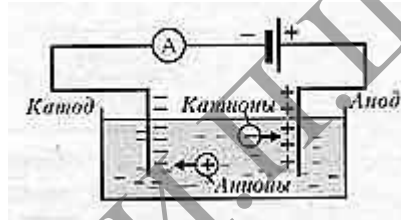
где α – температурный коэффициент сопротивления. Для электролитов всегда $\alpha < 0$. Поэтому:



Сопротивление электролита можно рассчитать по формуле:

$$R = R_0(1 + \alpha t).$$

Явление электролиза – сопровождается прохождением электрического тока через жидкость. Это выделение на электродах веществ, входящих в электролиты. Положительно заряженные анионы под действием электрического поля стремятся к отрицательному катоду, а отрицательно заряженные катионы – к положительному аноду. На аноде отрицательные ионы отдают лишние электроны (окислительная реакция). На катоде положительные ионы получают недостающие электроны (восстановительная реакция).



Закон электролиза (1833г. – Фарадей)

$$m = \frac{M_{\text{ионов}}}{ZeN_A} It = kIt = kq,$$

где m – масса вещества, выделившегося на электроде за время t ;

$M_{\text{ионов}}$ – молярная масса ионов, выделяющихся при электролизе;

Z – валентность ионов, выделяющихся при электролизе;

N_A – число Авогадро;

e – модуль заряда электрона;

k – электрохимический эквивалент вещества, выделяющегося при электролизе;

I – сила тока при электролизе;

q – заряд, выделившийся на электроде при электролизе.

$$IUt = I^2Rt + I\varepsilon_{\text{пол.}}t,$$

где U – напряжение между электродами;

R – сопротивление электролита;

$\varepsilon_{\text{пол.}}$ – ЭДС поляризации электролита;

IUt – энергия, затраченная на электролиз;

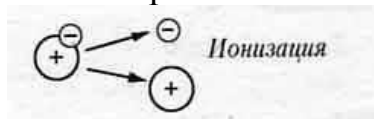
I^2Rt – количество теплоты, выделившееся в электролите;

$I\varepsilon_{\text{пол.}}t$ – энергия, затраченная на выделение веществ на электродах.

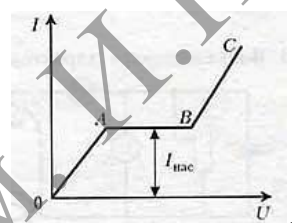
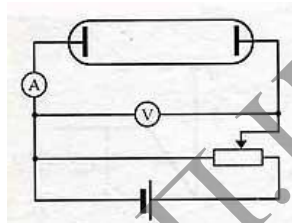
15. Электрический ток в газах

В обычных условиях газ – это диэлектрик, т.е. он состоит из нейтральных атомов и молекул и не содержит свободных носителей электрического тока.

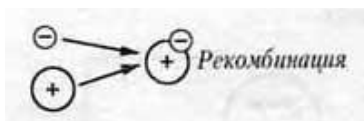
Ионизация газа – это распад нейтральных атомов или молекул на положительные ионы и электроны путем отрыва электронов от атомов. Ионизация происходит при нагревании газа или воздействия излучений (УФ, рентген, радиоактивное) и объясняется распадом атомов и молекул при столкновениях на высоких скоростях.



Газовый разряд – это электрический ток в ионизированных газах. Носителями зарядов являются положительные ионы и электроны. Газовый разряд наблюдается в газоразрядных трубках (лампах) при воздействии электрического или магнитного поля.



Рекомбинация заряженных частиц:



– газ перестает быть проводником, если ионизация прекращается, это происходит вследствие рекомбинации (воссоединения противоположно заряженных частиц).

Существует самостоятельный и несамостоятельный газовый разряд.

Несамостоятельный газовый разряд

Если действие ионизатора прекратить, то прекратится и разряд.

Когда разряд достигает насыщения – график становится горизонтальным. Здесь электропроводность газа вызвана лишь действием ионизатора.

Самостоятельный газовый разряд

В этом случае газовый разряд продолжается и после прекращения действия внешнего ионизатора за счет ионов и электронов, возникших в результате ударной ионизации (= ионизации электронного удара);

возникает при увеличении разности потенциалов между электродами (возникает электронная лавина).

Электрический пробой газа – процесс перехода несамостоятельного газового разряда в самостоятельный.

Самостоятельный газовый разряд бывает **4-х типов:**

Глеющий – при низких давлениях (до нескольких мм рт. ст.) – наблюдается в газосветных трубках и газовых лазерах.

Искровой – при нормальном давлении и высокой напряженности электрического поля (молния - сила тока до сотен тысяч ампер).

Коронный – при нормальном давлении в неоднородном электрическом поле (на острие).

Дуговой – большая плотность тока, малое напряжение между электродами (температура газа в канале дуги – 5000 – 6000 градусов Цельсия); наблюдается в прожекторах, проекционной киноаппаратуре.

Плазма – это четвертое агрегатное состояние вещества с высокой степенью ионизации за счет столкновения молекул на большой скорости при высокой температуре.

Плазма бывает:

низкотемпературная – при температурах меньше 100 000 К;

высокотемпературная – при температурах больше 100 000 К.

Основные свойства плазмы:

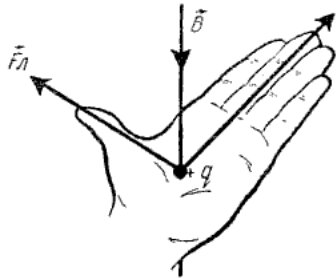
– высокая электропроводность;

– сильное взаимодействие с внешними электрическими и магнитными полями.

МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1. Магнитное поле

Магнитное поле – особая материя, возникающая вокруг любых движущихся электрических зарядов (токов).



Сила Лоренца – сила, действующая со стороны магнитного поля на отдельные движущиеся заряды:

$$F_{\text{Лор.}} = |q|vB \cdot \sin \alpha,$$

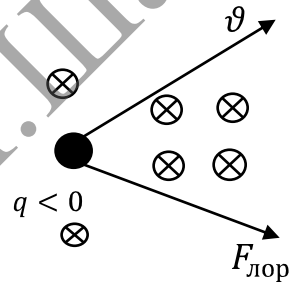
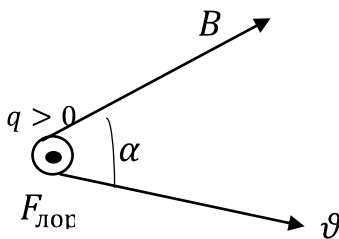
где v – модуль скорости заряда q ;

B – модуль вектора B – вектора магнитной

индукции;

α – угол между B и v .

$$F_{\text{Лор}} \perp v, F_{\text{Лор}} \perp B$$



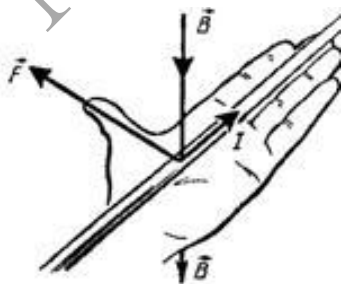
Большой палец указывает направление $F_{\text{Лор}}$, действующей на (+) заряд.

Пальцы $\uparrow \uparrow v, B$ – входит в ладонь.

Если заряд летит параллельно B , то $F_{\text{Лор}} = 0$.

Единица измерения магнитной индукции в СИ: 1Тл.

1 Тл = 1 $\frac{\text{Н}\cdot\text{с}}{\text{Кл}\cdot\text{м}}$ – индукция такого магнитного поля, в котором на единицу заряда, движущегося со скоростью 1 м/с, действует максимальная сила Лоренца 1 Н (сила максимальна при $\alpha = 90^\circ$).



Сила Ампера – сила, действующая со стороны магнитного поля на провод с током:

$$F_{\text{амп}} = IlB \sin \alpha,$$

где I – сила тока в проводе;

l – длина провода;

B – модуль вектора B – вектора магнитной

индукции;

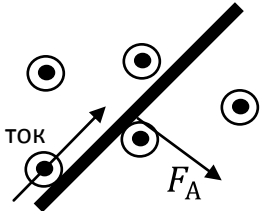
α – угол между током и B .

Провод прямолинейный, находится в однородном поле.

$$F_A \perp \text{току}, \quad F_A \perp B.$$

Большой палец указывает направление F_A .

Пальцы $\uparrow\uparrow$ току, B – входит в ладонь.



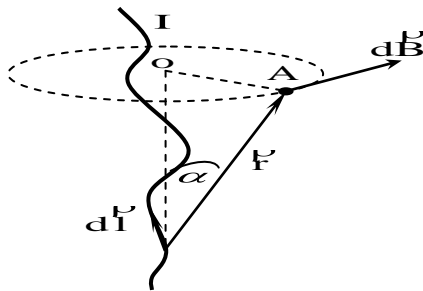
Если провод с током параллелен B , то $F_A = 0$.

$1 \text{ Тл} = \frac{\text{Н}}{\text{А}\cdot\text{м}}$ – индукция такого однородного магнитного поля, в котором на прямой провод длиной 1 м с током силой 1 А действует максимальная сила Ампера 1 Н.

(Сила максимальна при $\alpha = 90^\circ$).

2. Закон Био-Саварра-Лапласа

Био и Саварр изучали колебания магнитной стрелки и измеряли период колебаний для токов различной конфигурации.



Лаплас, математически обобщив результаты опыта, показал, что элемент тока создает напряженность магнитного поля, которое можно посчитать:

Закон Био - Саварра - Лапласа для напряженности: $H = \frac{idl \sin \alpha}{4\pi r^2}$,

где i – сила тока, текущая по проводнику;

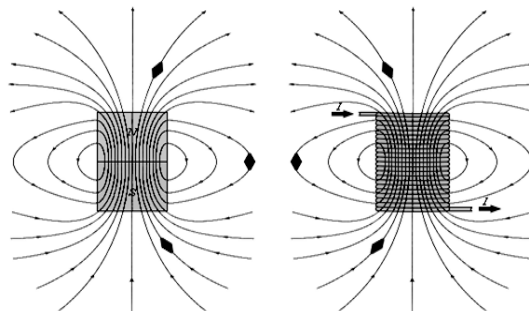
dl – элемент тока;

α – угол между радиус-вектором r и участком тока;

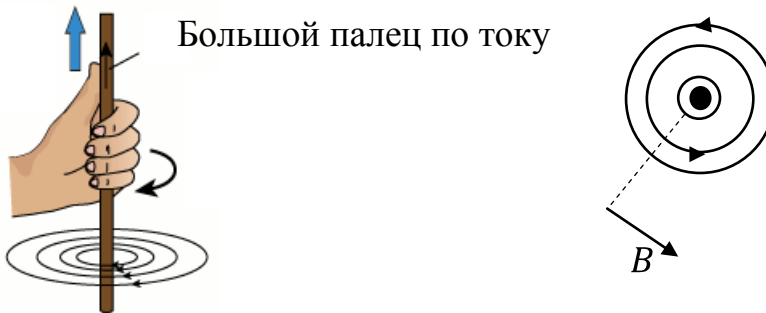
r – радиус-вектор (расстояние, где создается поле до точки, где она ищется).

Закон Био - Саварра - Лапласа для индукции: $B = \frac{\mu\mu_0 idl \sin \alpha}{4\pi r^3} r$.

3. Магнитные поля, создаваемые различными токами

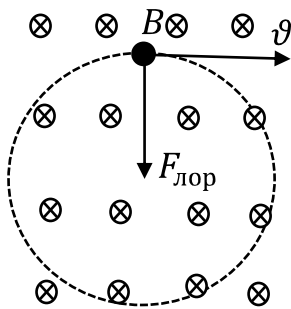


Магнитные линии – касательная к такой линии в любой точке совпадает по направлению с B в этой точке.



4. Движение зарядов в магнитном поле

1.1. Если скорость заряда $v \perp B$, то его траектория – окружность.



По II закону Ньютона: $ma = F_{\text{лор}}$. (массы частиц обычно так малы, что силой тяжести можно пренебречь по сравнению с $F_{\text{лор}}$.)

$F_{\text{лор}} \perp v$, отсюда $a \perp v$, отсюда $a = a_{\text{центр.}} = \frac{v^2}{R}$ – центростремительное ускорение.

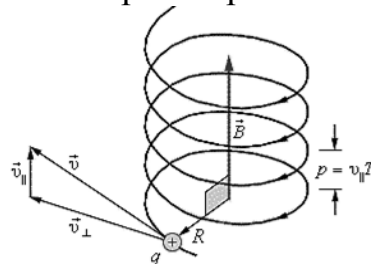
$$R = \frac{mv}{|q|B}$$

где R – радиус окружности, по которой движется частица массой m , зарядом q в однородном магнитном поле индукцией B .

$$T = \frac{s}{v} = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

где $T = \frac{2\pi m}{|q|B}$ – период обращения частицы массой m , зарядом q в однородном магнитном поле индукцией B не зависит от скорости.

1.2. Если скорость заряда v образует с B произвольный угол (не равный $90^\circ, 0^\circ, 180^\circ$), то его траектория – спираль.



$p = v_{\parallel} T$ – шаг спирали.

Шаг спирали – расстояние, на которое смещается частица вдоль направления B за один полный оборот, т.е. за время $T = \frac{2\pi m}{|q|B}$.

Скорость частицы v представляют как сумму двух векторов v_{\perp} и v_{\parallel} (перпендикулярная и параллельная B составляющие скорости). В системе отсчета K' , движущейся со скоростью v_{\parallel} , частица будет иметь скорость v_{\perp} и двигаться по окружности радиуса $R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B}$. К этому вращению добавляется поступательное движение K' - системы, в результате получается движение по спирали.

3. Плотность тока

Плотность тока – вектор J , направление которого совпадает с направлением, в котором переносится положительный заряд:

$$J \uparrow \uparrow v_{\text{уп.}+}; \quad J \uparrow \downarrow v_{\text{уп.}-};$$

$$j = \frac{I}{S};$$

где I – сила тока через поперечное сечение S .

Во всех точках сечения S одинаковы J .

$$J = q_0 n v_{\text{уп.}}$$

где q_0 – заряд одного носителя;

$v_{\text{уп.}}$ – скорость упорядоченного движения носителей тока;

n – концентрация носителей тока.

5. Рамка с током в магнитном поле

Силы Ампера разворачивают рамку с током так, что создаваемое внутри рамки собственное магнитное поле $B_{\text{собст.}}$ оказывается сонаправлено с внешним магнитным полем. (Поле $B_{\text{собст.}}$ создает ток, текущий в рамке).

Вращающий момент, действующий на рамку в произвольном положении, равен:

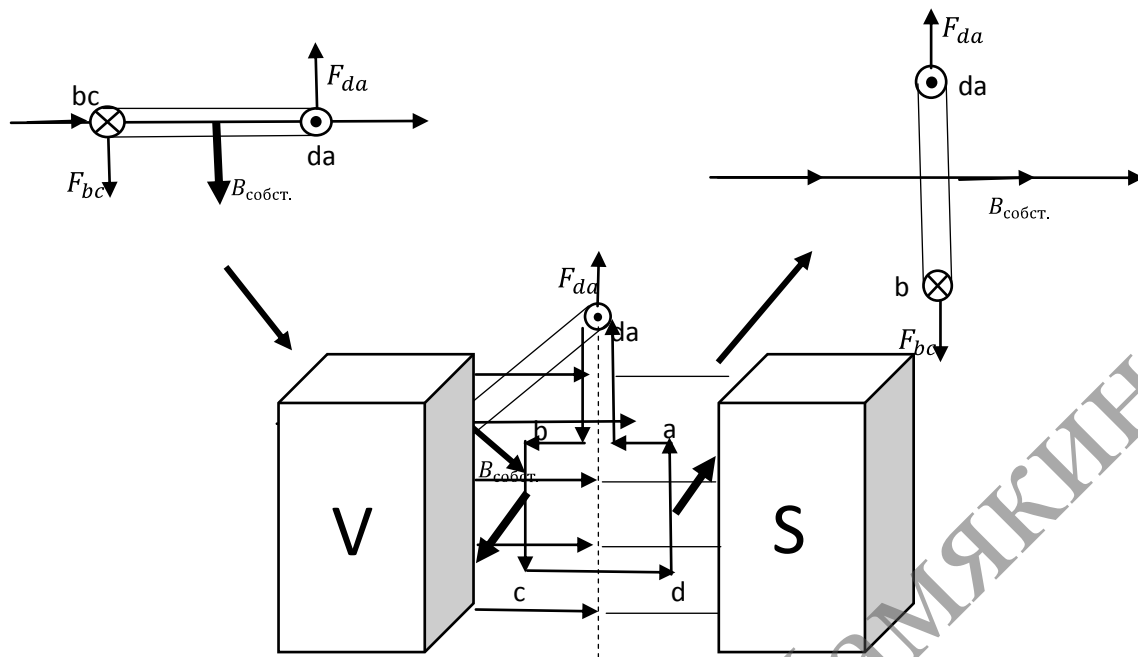
$$M = ISB \sin \alpha,$$

где I – сила тока в рамке;

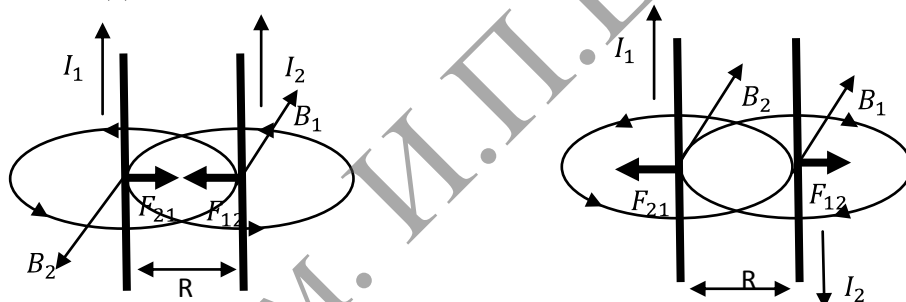
S – площадь внутри рамки (рамка плоская);

B – индукция внешнего магнитного поля (оно должно быть однородно);

α – угол между вектором индукции внешнего поля и перпендикуляром.

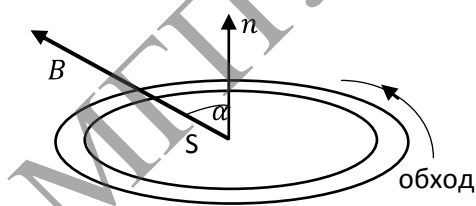


6. Взаимодействие токов



Сонаправленные токи притягиваются, противоположно направленные токи отталкиваются.

7. Явление электромагнитной индукции



Если в замкнутом проводящем контуре изменяется магнитный поток, то это приводит к появлению в этом контуре ЭДС (ЭДС индукции).

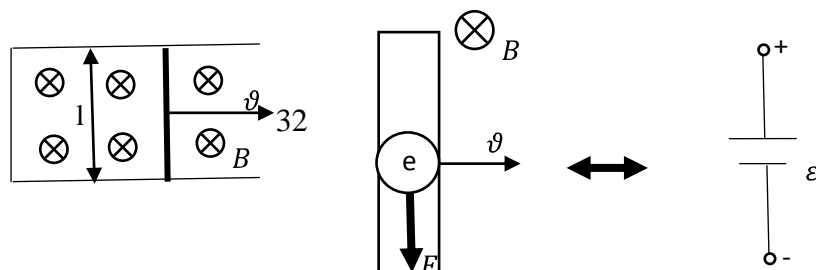
$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где Φ – магнитный поток.

Единица измерения магнитного потока в СИ: $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$.

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad \varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\Phi'(t),$$

где ε_i – ЭДС индукции. (Если Φ меняется равномерно).



$$\varepsilon_i = \vartheta l B$$

$$W_{\text{кат.}} = \frac{LI^2}{2},$$

где $W_{\text{кат.}}$ – энергия магнитного поля катушки индуктивности L , по которой течет ток I .

8. Явление самоиндукции

Явление самоиндукции – возникновение ЭДС в контуре вследствие изменения собственного магнитного потока через этот контур:

$$\Phi^{\text{собст.}} = LI,$$

где $\Phi^{\text{собст.}}$ – собственный магнитный поток;
 L – индуктивность контура.

Индуктивность контура – коэффициент пропорциональности между силой тока в контуре и собственным магнитным потоком.

$\Phi^{\text{собст.}}$ – магнитный поток, создаваемый магнитным полем, которое породил ток, текущий в контуре.

$\varepsilon_{\text{сам.}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$, $\varepsilon_{\text{сам.}} = -L \frac{dI}{dt} = -LI'(t)$ (если I меняется равномерно), где $\varepsilon_{\text{сам.}}$ – ЭДС самоиндукции.

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -BS\omega \sin \omega t.$$

Если в однородном магнитном поле равномерно вращается проводящий контур, то в нем возникает переменная э.д.с., $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t$.

Эта э.д.с. (электродвижущая сила) создает в контуре синусоидальный переменный ток силой:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t.$$

Переменный ток характеризуется периодом тока T и частотой ν , причем $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$.

$$I_{\text{эф}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

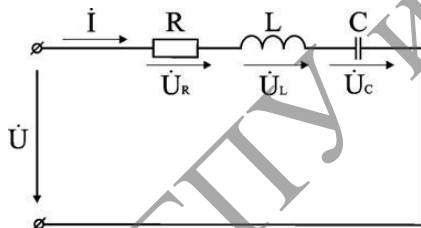
Если ток изменяется $I = I_0 \sin \omega t$, то напряжение на конденсаторе:

$$U_c = \frac{q}{C} = -\frac{I_0}{\omega C} \cos \omega t = \frac{I_0}{\omega C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}).$$

Напряжение на индуктивности:

$$U_L = L \frac{di}{dt} = I_0 L \omega \cos \omega t = I_0 \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}).$$

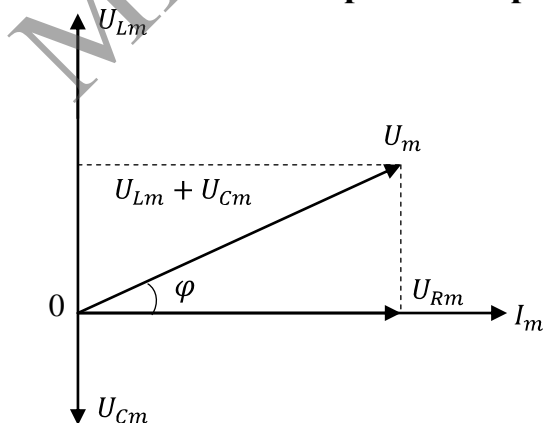
Последовательная электрическая цепь из R, L и C-элементов



$$i = I_m \cos \omega t, \quad u = U_m \cos \omega t + \varphi.$$

$$I_m = \frac{U_m}{Z}, \quad Z = \sqrt{R^2 + \omega L - \frac{1}{\omega C}}^2.$$

Векторная диаграмма последовательностей цепи



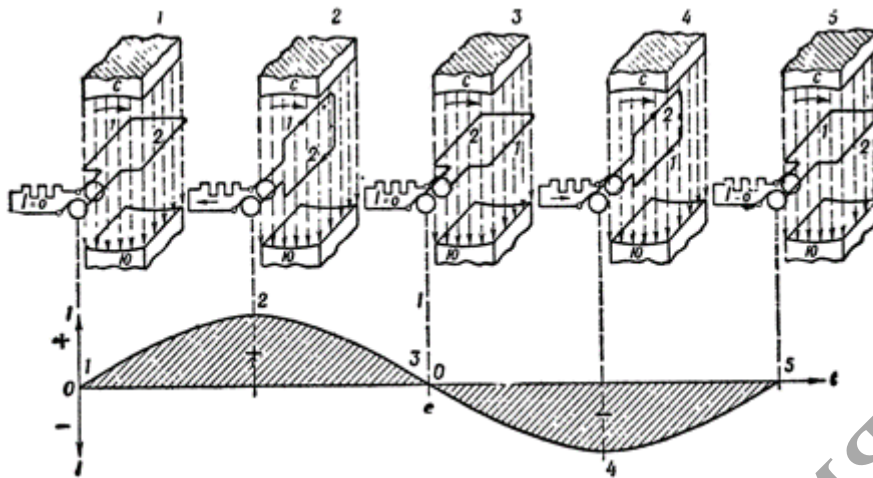
$$U_m = \sqrt{U_{Rm}^2 + U_{Im} - U_{Cm}}^2,$$

$$U_m = \sqrt{R^2 + X_L - X_C}^2,$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L - X_C}^2.$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}.$$

Резонанс в последовательной электрической цепи



$$R_C = \frac{1}{\omega C}.$$

$$R_L = \omega L.$$

$$tg\varphi =$$

$$\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

Трансформатор

ЭДС, создаваемая во вторичной обмотке, может быть вычислена по закону Фарадея:

$$U_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}.$$

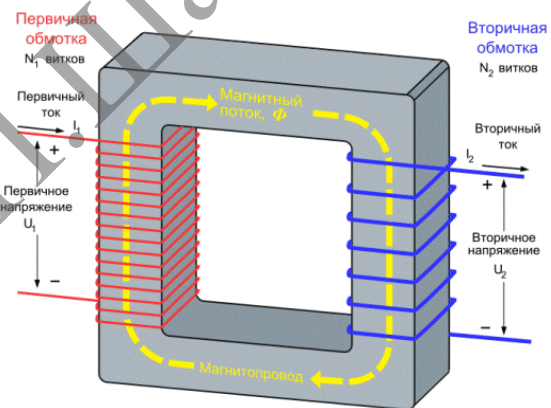
ЭДС, создаваемая в первичной обмотке, соответственно:

$$U_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}, \quad \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1},$$

где U_1 – мгновенное значение напряжения на концах первичной обмотки; N_1 – число витков в первичной обмотке.

Уравнение идеального трансформатора:

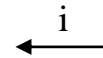
$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}.$$



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Колебательный контур:

L – индуктивность,
C – ёмкость.



Период свободных колебаний: $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$.

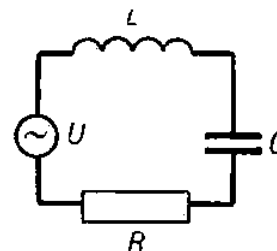
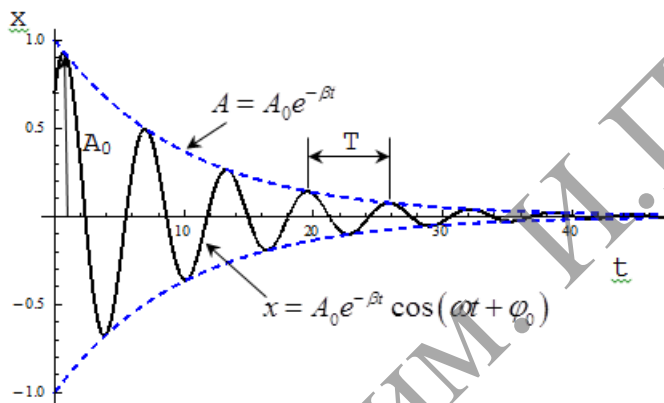
Частота: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$.

Энергия, запасенная в конденсаторе, составляет:

$$E_C = \frac{CU_0^2}{2}.$$

Магнитная энергия катушки: $E_L = \frac{LI_0^2}{2}$.

ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ



Период затухающих колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0^2 - \beta^2} = \frac{T_0}{1 - \frac{\beta^2}{\omega_0^2}}.$$

Напряжение на конденсаторе: $U_C = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos \omega t + \alpha$.

Ток в контуре: $I = \frac{dq}{dt} = q_{m0} e^{-\beta t} [-\beta \cos \omega t + \alpha - \omega \sin \omega t + \alpha]$.

Логарифмический декремент затухания: $\lambda = \ln \frac{\alpha t}{\alpha t + T}$.

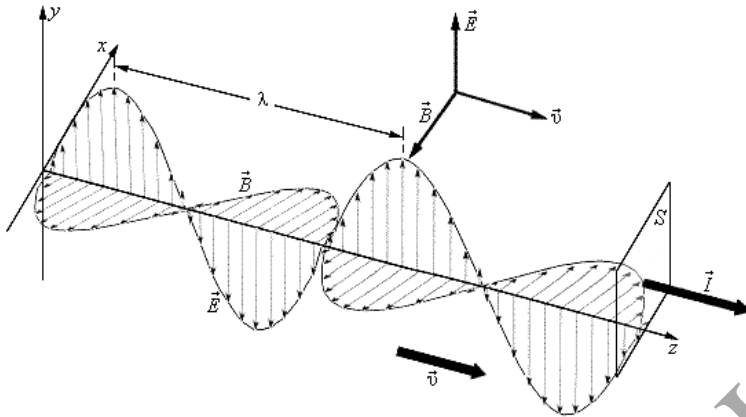
Добротность: $Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N_e$.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Конечная скорость: $v = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}$.

Скорость электромагнитных волн в вакууме ($\varepsilon = \mu = 1$):

$$c = \frac{1}{\varepsilon_0\mu_0} = 2,99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$



Объемные плотности электрической и магнитной энергии равны друг другу:

$$W_{\text{Э}} = W_{\text{М}},$$

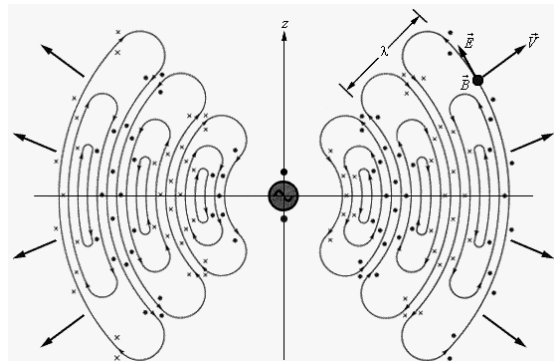
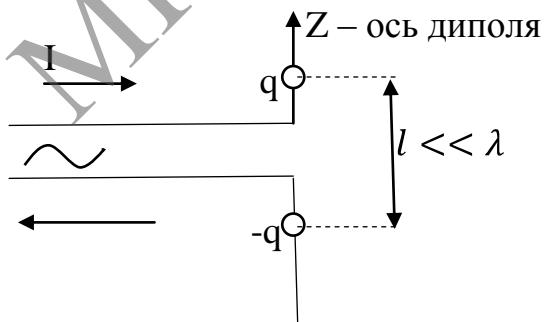
$$\frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}.$$

Индукция магнитного поля $B = \frac{\varepsilon\mu}{c} E$.

Плотность потока: $I = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0} E^2 = \frac{EB}{\mu\mu_0}$.

$w_{\text{ЭМ}}$ — объемная плотность электромагнитной энергии, $w_{\text{ЭМ}} = \rho_{\text{ЭМ}} c^2$.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ДИПОЛЬ



$$p = q l \quad l = p_0 \cos \omega t.$$

**Перечень вопросов к экзамену
по курсу «Электричество и магнетизм»**

1. Заряд и поле. Свойства заряда. Закон сохранения заряда. Распределение заряда.
2. Взаимодействие зарядов. Закон Кулона. Диэлектрическая проницаемость.
3. Электрическое поле и его характеристики. Напряженность. Линии напряженности.
4. Суперпозиция электрических полей. Поле диполя.
5. Теорема Остроградского-Гаусса и её применение для расчета электрических цепей.
6. Поле конденсатора равномерно заряженной сферической поверхности.
7. Работа сил поля при перемещении заряда. Потенциал.
8. Связь напряженности поля и градиента потенциала.
9. Свободные и связанные заряды. Полярные и неполярные молекулы. Диполь в электрическом поле.
10. Электрическое поле в диэлектриках. Диэлектрическая проницаемость. Электрическая индукция.
11. Сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики и электреты.
12. Проводники в электрическом поле. Электростатическая защита. Распределение зарядов в проводнике.
13. Емкость. Емкость уединенного проводника, плоского сферического конденсатора. Соединение конденсаторов.
14. Энергия электрического поля. Энергия системы неподвижных точечных зарядов. Плотность энергии.
15. Постоянный электрический ток. Закон Ома в дифференциальной форме. Соединение сопротивлений.
16. ЭДС. Закон Ома для полной цепи. Квазистационарный ток.
17. Работа и мощность в цепи постоянного тока. Закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме.
18. Разветвленные цепи. Правило Кирхгофа. Мост Уинстона.
19. Электропроводность твердых тел. Природа носителей тока. Опыты Стюарта, Томсона, Рикке.
20. Классическая теория электропроводности и ее трудности. Вывод закона Ома и Джоуля-Ленца.
21. Понятие о квантовой теории электропроводности твердых тел.
22. Полупроводники. Собственная проводимость полупроводников.
23. Примесная проводимость полупроводников.
24. Температурная зависимость металлов и полупроводников. Сверхпроводимость.
25. Работа выхода электрона из металла.
26. Контактная разность потенциалов. Законы Вольта.
27. Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека и Пельтье.

28. Термоэлектронная эмиссия. Ток в вакууме. Двухэлектродная лампа.
29. Контактные явления в полупроводниках. P-n-переход. Полупроводниковый диод.
30. P-n-P-переход. Транзистор.
31. Электрический ток в жидкостях. Законы Фарадея.
32. Электрический ток в газах. Ионизация. Несамостоятельный разряд.
33. Самостоятельный разряд. Плазма.
34. Магнитное поле. Взаимодействие токов. Напряженность и индукция. Магнитный момент контура.
35. Закон Био-Саварра-Лапласа. Поле кругового тока. Поле бесконечно длинного соленоида.
36. Поле прямого тока. Циркуляция вектора индукции магнитного поля. Суперпозиция магнитных полей.
37. Действие магнитного поля на проводник с током. Сила Ампера. Сила Лоренца.
38. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.
39. Определение удельного заряда электрона. Опыт Буша и Милликена.
40. Ускорители заряженных частиц.
41. Контур с током в магнитном поле.
42. Работа при движении проводника с током.
43. Эффект Холла.
44. Электромагнитная индукция. Взаимоиндукция.
45. Самоиндукция. Экстратоки замыкания и размыкания цепи.
46. Энергия и плотность энергии магнитного поля.
47. Электролитическая диссоциация. Подвижность ионов в электролитах. Проводимость электролитов
48. Переменный ток. Получение переменной ЭДС. Сопротивление в цепи переменного тока.
49. Индуктивность, емкость в цепи переменного тока.
50. Закон Ома в цепи переменного тока. Метод векторных диаграмм.
51. Работа, мощность в цепи переменного тока.
52. Трансформатор. Проблемы передачи энергии на расстоянии. Потери в трансформаторе.
53. Электрический колебательный контуры. Свободные, затухающие, вынужденные колебания. Резонанс.
54. Электромагнитные волны и их распространение (скорость волны, опыты Герца, вибратор Герца, энергия и плотность энергии электромагнитного поля, вектор Умова-Пойтинга).
55. Волны вдоль проводов. Волновое уравнение.
56. Природа диамагнетизма. Пара и ферромагнетизм.

Справочное издание

ОБЩАЯ ФИЗИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Справочные материалы

4-е издание

Составитель

Савенко Владимир Семенович

Корректор *Л. В. Журавская*

Оригинал-макет *Л. И. Федула*

Подписано в печать 21.02.2020. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная

Ризография. Усл. печ. л. 2,33. Уч.-изд. л. 2,78.

Тираж 78 экз. Заказ 4.

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования «Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий N 1/306 от 22 апреля 2014 г.

Ул. Студенческая, 28, 247760, Мозырь, Гомельская обл.

Тел. (0236) 24-61-29