



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Естественные науки»

Учебное пособие

по физике для иностранных слушателей
дополнительных общеобразовательных
программ

«Физика.

Электромагнитные явления»

Автор
Цветковская С. М.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Учебное пособие соответствует программе по физике для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ инженерно-технической и технологической, медико-биологической и естественнонаучной направленностям. Содержит краткую теорию, контрольные вопросы, практические и тестовые задания.

Рекомендуется для практических занятий и самостоятельной работы слушателей.

Учебное пособие «Физика. Электромагнитные явления» предназначено для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ.

Автор



доцент, кандидат физико-математических наук,
доцент, кафедра
«Естественные науки»
Цветковская С.М.



Оглавление

Глава 1. Магнитное поле5

1. Магнетизм. Магнитное взаимодействие постоянных магнитов	5
1.1. Постоянные магниты	5
S.....	5
N.....	5
1.2. Полюса магнита.....	5
1.3. Взаимодействие постоянных магнитов	5
1.4. Магнитное поле постоянного магнита	6
Силовые линии магнитного поля постоянного магнита. 6	
1.5. Магнитное поле Земли.....	6
2. Магнитное поле электрического тока	7
2.1. Опыт Эрстеда	7
2.2. Вектор магнитной индукции. Линии магнитной индукции	7
3. Действие магнитного поля на проводник с током	7
3.1. Закон Ампера	8
3.2. Модуль вектора магнитной индукции	8
4. Взаимодействие электрических токов.....	9
4.1. Опыт Ампера с параллельными проводниками	9
4.2. Единица силы тока	9
Контрольные вопросы и задания	10
Тестовые задания	10

Глава 2. Электромагнитное поле13

1. Магнитный поток	13
2. Действие магнитного поля на движущуюся заряженную частицу. Сила Лоренца.	13
3. Электромагнитная индукция	14
3.1. Открытие Майкла Фарадея	14
3.2. Закон электромагнитной индукции или закон Фарадея-Максвелла	15
3.3. Правило Ленца	15
4. Явление самоиндукции	15
4.1. Открытие Генри.....	15
4.2. Индуктивность. Закон Фарадея для ЭДС самоиндукции.	16
4.3. Токи индукции при изменении основного тока в цепи	17
5. Энергия магнитного поля тока.....	17
5.1. Работа силы Ампера при перемещении	

проводника с током в магнитном поле.....	17
5.2. Собственная магнитная энергия тока	17
Контрольные вопросы и задания	18
Тестовые задания	19
Приложение	20
Список литературы	21

ГЛАВА 1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

1. Магнетизм. Магнитное взаимодействие постоянных магнитов

1.1. Постоянные магниты

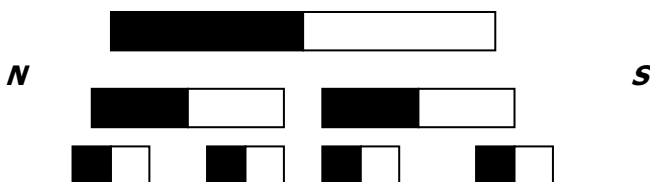
Слово магнит (от греческого "magnes") означает название руды, которую добывали в местности Магнезия ещё 2500 лет назад.

Магнетит – это естественный минерал, который состоит из FeO (31%) и Fe₂O₃ (69%).

Магнетизм – это свойство магнитных руд притягивать к себе лёгкие железные и стальные предметы.

В Китае, начиная со II века нашей эры, из магнетита изготавливали постоянные магниты, надолго сохраняющие магнитные свойства. Магнитный компас начали использовать в Европе в XI веке.

1.2. Полюса магнита



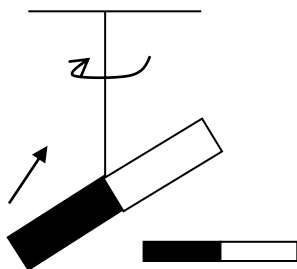
N - северный полюс;

S - южный полюс.

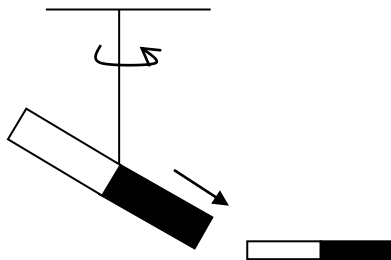
Опыты показали, что нельзя разделить северный и южный полюс магнита.

1.3. Взаимодействие постоянных магнитов

Одноименные полюса отталкиваются, разноимённые полюса притягиваются.

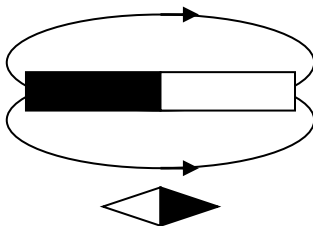


а) отталкивание полюсов



б) притяжение полюсов

1.4. Магнитное поле постоянного магнита



Силовые линии магнитного поля постоянного магнита.

Магнитная стрелка ориентирована вдоль силовой линии.

Северный полюс магнита – это полюс, из которого **выходят** силовые линии магнитного поля.

Южный полюс магнита – это полюс, в который **входят** силовые линии магнитного поля.

1.5. Магнитное поле Земли

В 1600 году Гильберт, врач английской королевы Елизаветы I, предположил, что Земля является большим естественным магнитом, а магнитные стрелки компаса указывают направление к его полюсам.

Магнитные полюса Земли находятся на расстоянии примерно 800 км от ближайших геофизических полюсов.

Магнитная ось Земли составляет с осью вращения Земли угол 11,50.

2. Магнитное поле электрического тока

2.1. Опыт Эрстеда

В 1820 году Хане Эрстед, профессор Копенгагенского университета, сделал одно из важнейших открытий в истории физики. Он обнаружил магнитное поле, которое создает электрический ток, текущий по проводнику.

Если тока в проводнике нет, то стрелка компаса ориентирована правильно, она указывает геофизический север

Если включить ток, то стрелка поворачивается. Если изменить направление тока, то стрелка поворачивается в обратную сторону (Рис.5в).

Опыт Эрстеда явился прямым доказательством взаимосвязи электричества и магнетизма: электрический ток оказывает магнитное действие.

2.2. Вектор магнитной индукции. Линии магнитной индукции

Вектор магнитной индукции \vec{B} – векторная физическая величина, которая характеризует магнитное поле.

Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением северного полюса свободной магнитной стрелки в данной точке.

В пространстве, окружающем электрический ток, существует магнитное поле.

Линии магнитной индукции – это линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора магнитной индукции в этой точке.

Линии магнитной индукции всегда замкнуты. Они не имеют начала и конца. Это значит, что магнитное поле не имеет источников: магнитных зарядов не существует.

Магнитное поле – вихревое поле, т.е. поле с замкнутыми линиями магнитной индукции.

Магнитное поле, во всех точках которого индукция одинакова, называется однородным.

Если вектор магнитной индукции изменяется по модулю и направлению, то такое магнитное поле будет неоднородным.

3. Действие магнитного поля на проводник с током

КОМ

3.1. Закон Ампера

В 1820 году Ампер экспериментально установил, от каких физических величин зависит сила, действующая на проводник с током, и куда она направлена.

$$F = I \cdot B \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha,$$

где

F - сила Ампера, Н;

I - сила тока, А;

B - магнитная индукция, Тл;

Δl - длина проводника, м;

α - угол между направлением B и I .

Сила, с которой магнитное поле действует на помещённый в него отрезок проводника с током, равна произведению силы тока, модуля вектора магнитной индукции, длины отрезка проводника и синуса угла между направлением тока и магнитной индукции. Направление силы Ампера определяется правилом левой руки.

Правило левой руки. Если четыре вытянутых пальца левой руки направлены вдоль тока в проводнике, а вектор магнитной индукции входит в ладонь, то большой палец показывает направление силы Ампера.

3.2. Модуль вектора магнитной индукции

Из закона Ампера $F_{a \max} = I \cdot B \cdot \Delta l$ следует, что

$$B = \frac{F_{a \max}}{I \cdot \Delta l}$$

Модуль вектора магнитной индукции – физическая величина, равная отношению максимально силы Ампера к произведению силы тока на длину отрезка проводника.

Единица магнитной индукции – тесла (1 Тл).

Магнитная индукция однородного поля равна 1 Тл, если на отрезок проводника длиной 1 м при силе тока в нём 1 А, на него действует максимальная сила Ампера в 1 Н.

4. Взаимодействие электрических токов

4.1. Опыт Ампера с параллельными проводниками

Параллельно расположенные проводники, по которым протекают токи

- в противоположных направлениях, отталкиваются
- в одном направлении, притягиваются

Сила F , с которой взаимодействуют проводники с током, определяется по формуле:

$$F = F_{12} = F_{21} = k \cdot \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot \Delta l}{r},$$

где

F - сила взаимодействия, Н;

I_1, I_2 - сила тока соответственно в проводнике 1 и 2, А;

r - расстояние между проводниками, м;

Δl - длина отрезка проводника, м;

k - коэффициент пропорциональности;

$$k = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{2 \cdot \pi} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н} / \text{А}^2,$$

где

μ - магнитная проницаемость;

μ_0 - магнитная постоянная.

4.2. Единица силы тока

Наряду с килограммом, метром, секундой ампер относится к основным единицам СИ, через которые выражаются другие физические единицы.

Сила тока в 1 А экспериментально определяется из опыта, в котором измеряется сила взаимодействия прямых токов (Рис.10).

1 А (один ампер) – сила постоянного тока ($I = 1\text{А}$), который, протекая по двум параллельным проводникам бесконечной длины ($l \rightarrow \infty$) и бесконечно малой площади поперечного сечения ($s \rightarrow 0$), расположенных в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга ($r = 1$ м), вызывает на каждом отрезке проводника длиной 1 м ($\Delta l = 1$ м) силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н ($F = 2 \cdot 10^{-7}$ Н).

Запись определения силы тока 1 А в символах:

Если при $l \rightarrow \infty, s \rightarrow 0, r = 1$ м и для каждого отрезка $\Delta l = 1$ м сила Ампера $F = 2 \cdot 10^{-7}$ Н, то $I = 1\text{А}$.

Контрольные вопросы и задания

1. Как взаимодействуют постоянные магниты?
2. Как называются полюса магнитов?
3. В какой полюс входят магнитные силовые линии?
4. Из какого полюса выходят магнитные силовые линии?
5. Как ориентирована магнитная стрелка в магнитном поле?
6. Как взаимно расположены геофизические и магнитные полюса Земли?
7. Что такое компас?
8. В чём заключается опыт Эрстеда?
9. Какую взаимосвязь доказал опыт Эрстеда?
10. Что такое вектор магнитной индукции?
11. В каких единицах измеряют модуль вектора индукции?
12. Какой вид имеют магнитные силовые линии проводника с током?
13. Что такое катушка с током?
14. Что такое однородное магнитное поле?
15. Что такое неоднородное магнитное поле?
16. Как действует магнитное поле на проводник с током?
17. Сформулируйте закон Ампера для проводника с током в магнитном поле.
18. Расскажите правило левой руки.
19. Расскажите правило буравчика.
20. Как взаимодействуют проводники с током?
21. Чему равна сила взаимодействия проводников с током?
22. Назовите основные единицы Международной системы единиц СИ.
23. Как экспериментально устанавливается эталонное значение силы тока в 1 А?

Тестовые задания

Укажите номер правильного ответа

№ задания	Содержание задания	№ ответа	Ответ
1.	Сила тока I измеряется в единицах	1	В
		2	Ом
		3	А
		4	Вт
2.	Единица магнитной ин-	1	Вб

	дукции B равна	2	Тл
		3	Гн
		4	В/м
3.	Катушка с током имеет	1	только северный полюс
		2	только южный полюс
		3	не имеет магнитных полюсов
		4	северный и южный полюса
4.	Если в одном из параллельных проводников с током сила тока равна нулю, то проводники	1	притягиваются
		2	отталкиваются
		3	не взаимодействуют
		4	слабо взаимодействуют
5.	Опыт Эрстеда доказал связь	1	электричества с магнетизмом
		2	электричества с гравитацией
		3	магнетизма с гравитацией
		4	магнетизма с ядерными силами
6.	В опыте Ампера на проводник с током длиной 10 см и силой тока 2 А, расположенный перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, электромагнитная индукция которого равна 5 Тл, действует сила Ампера, равная	1	10 Н
		2	1 Н
		3	1 кН
		4	0,1 Н
7	Основные единицы системы СИ	1	г, см, с, А
		2	кг, м, с, Кл
		3	кг, м, с, А
		4	кг, м, Тл, А

8	Эталонное значение силы тока в 1 А экспериментально определяется в опыте	1	взаимодействия параллельных проводников
		2	действия магнитного поля на проводник с током
		3	Эрстеда
		4	взаимодействия постоянных магнитов

ГЛАВА 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

1. Магнитный поток

Магнитный поток (поток магнитной индукции) через поверхность площадью ΔS – физическая величина, равная скалярному произведению вектора магнитной индукции \vec{B} на вектор площади $\vec{\Delta S}$.

$$\Phi = (\vec{B} \cdot \vec{\Delta S}) = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Магнитный поток равен произведению модуля вектора магнитной индукции B на площадь ΔS и на косинус угла α между векторами \vec{B} и $\vec{\Delta S}$.

Единица магнитного потока – вебер (1 Вб).

1 Вб – это магнитный поток, созданный однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через поверхность площадью 1 м².

2. Действие магнитного поля на движущуюся заряженную частицу. Сила Лоренца.

$$F_{\perp} = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где

F_{\perp} - сила Лоренца, Н;

q - заряд, Кл;

v - скорость частицы, м/с;

B - модуль вектора магнитной индукции, Тл;

α - угол между векторами скорости и магнитной индукции.

Если $\vec{V} \uparrow \uparrow \vec{B}$, то $F_{\perp} = 0$.

Заряженная частица, которая влетает в однородное магнитное поле, параллельно линиям магнитной индукции, движется равномерно вдоль этих линий.

Если $\vec{V} \perp \vec{B}$, то $F_{\perp} = q \cdot v_{\perp} \cdot B$.

Сила Лоренца сообщает частице постоянное центростремительное ускорение. В результате действия силы Лоренца частица массой m будет двигаться по окружности.

Задача. Вычислить радиус окружности, по которой будет вращаться заряженная частица массой m и зарядом q в магнитном поле, индукция которого равна B .

Из второго закона Ньютона следует, что

$$F = m \cdot a_n = \frac{m \cdot V_{\perp}^2}{R};$$

Сила Лоренца равна

$$F = q \cdot V_{\perp} \cdot B;$$

В результате получаем

$$R = \frac{m \cdot V_{\perp}}{q \cdot B}.$$

Заряженная частица, влетающая в однородное магнитное поле в плоскости, перпендикулярной линиям магнитной индукции, движется в этой плоскости по окружности.

Найдём период вращения заряженной частицы.

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{V_{\perp}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{q \cdot B},$$

где

T - период, с;

m - масса частицы, кг;

q - заряд частицы, Кл;

B - модуль вектора магнитной индукции, Тл.

Период вращения заряженной частицы в поперечном магнитном поле не зависит от её скорости.

Направление силы Лоренца определяется правилом левой руки. Вращение отрицательного заряда по окружности происходит в направлении, противоположном вращению положительного заряда.

3. Электромагнитная индукция

3.1. Открытие Майкла Фарадея

В 1831 году английский физик Майкл Фарадей открыл явление электромагнитной индукции.

Электромагнитная индукция – это физическое явление, которое заключается в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром.

Индукционный ток – это ток, который возникает при электромагнитной индукции.

Изменение магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, возможно при изменении с течением времени:

1. площади поверхности, ограниченной контуром;
2. модуля магнитной индукции;
3. угла, образуемого вектором индукции с вектором площади этой поверхности.

3.2. Закон электромагнитной индукции или закон Фарадея-Максвелла

$$E_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где

E_i - электродвижущая сила (э.д.с.) электромагнитной индукции, В;

$\Delta\Phi$ - изменение магнитного потока, Вб;

Δt - промежуток времени, с.

ЭДС электромагнитной индукции в замкнутом контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром.

3.3. Правило Ленца

Индукционный ток в контуре имеет такое направление, при котором созданный им магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток.

4. Явление самоиндукции

4.1. Открытие Генри

В 1832 году американский учёный Джозеф Генри впервые наблюдал и описал явление самоиндукции.

Экспериментально установлено, что при любом изменении электрического тока в реальной цепи, в ней индуцируется электродвижущая сила (ЭДС). В цепи возникает индукционный ток, который препятствует изменению основного тока.

Самоиндукция – это явление возникновения ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нём силы тока.

$$E_{si} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где

E_{si} - ЭДС самоиндукции, В;

$\Delta\Phi$ - изменение собственного магнитного потока, Вб;

Δt - промежуток времени, с.

4.2. Индуктивность. Закон Фарадея для ЭДС самоиндукции.

Явление самоиндукции объясняет не мгновенное, а постепенное уменьшение и увеличение тока при размыкании и замыкании в реальной электрической цепи.

Магнитный поток основного тока (собственный магнитный поток) зависит от величины силы тока и индукционных характеристик данной электрической цепи:

$$\Phi = L \cdot I,$$

где Φ - магнитный поток основного тока, Вб;

I - сила тока, А;

L - индуктивность (коэффициент самоиндукции), Гн (генри).

Индуктивность (коэффициент самоиндукции) - это характеристика индукционных свойств данной электрической цепи.

Следовательно, ЭДС самоиндукции по закону Фарадея записывается так:

$$E_{si} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где E_{si} - ЭДС самоиндукции, В;

L - индуктивность, Гн;

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ - скорость изменения силы тока, А/с.

В системе СИ 1 Гн (генри) = 1 В · с · А⁻¹.

Генри – это индуктивность такого проводника, в котором индуцируется ЭДС самоиндукции в 1В при изменении тока в нём 1 А за 1 с.

Индуктивность контура является мерой его «инертности» по отношению к изменению тока в контуре.

4.3. Токи индукции при изменении основного тока в цепи

Если основной ток уменьшается (увеличивается), то индукционный ток препятствует уменьшению (увеличению) основного тока. Таким образом, индукционный ток всегда противодействует любому изменению основного тока. Этот индуцированный ток называется током самоиндукции.

При размыкании цепи ток уменьшается до нуля не мгновенно, а постепенно в течение некоторого малого промежутка времени (Δt).

При замыкании цепи ток увеличивается не мгновенно, а постепенно в течение промежутка времени (Δt).

Явление самоиндукции объясняет постепенное уменьшение (увеличение) тока при размыкании (замыкании) в реальной электрической цепи.

Δt – это время установления режима.

5. Энергия магнитного поля тока

5.1. Работа силы Ампера при перемещении проводника с током в магнитном поле

Работа, совершаемая силами магнитного поля (силами Ампера) по перемещению проводника длиной Δl , по которому течёт электрический ток силой I , из начального положения в конечном на расстояние Δx , можно рассчитать по формуле

$$\delta A = F_A \cdot \Delta x = I \cdot B \cdot \Delta l \cdot \Delta x = I \cdot B \cdot \Delta S,$$

где δA – элементарная работа, Дж;

ΔS – элементарная поверхность, “заметаемая проводником”, m^2 .

Известно, что $\Delta \Phi = I \cdot B$, следовательно, можно записать:

$$\delta A = I \cdot \Delta \Phi,$$

где $\Delta \Phi$ – магнитный поток, Вб.

5.2. Собственная магнитная энергия тока

Известно, что $\Phi = L \cdot I$, следовательно, для проводника постоянной формы, в котором сила тока изменяется на ΔI , можно записать

$$\Delta \Phi = L \cdot \Delta I.$$

Тогда работа определяется по формуле

$$\delta A = L \cdot I \cdot \Delta I.$$

Для создания тока I в контуре с индуктивностью L необходимо совершить работу на преодоление ЭДС самоиндукции

$$A = \int_0^A \delta A = \int_0^I L \cdot I \cdot dI = \frac{L \cdot I^2}{2}.$$

Собственной энергией тока силой I называется величина W_m , численно равная работе A , которую надо совершить на преодоление ЭДС самоиндукции.

$$W_m = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется магнитным потоком?
2. Как называется сила, с которой магнитное поле действует на движущуюся заряженную частицу?
3. Как определить направление действия силы Лоренца, если известны направления скорости частицы и направление вектора магнитной индукции?
4. Сформулируйте закон электромагнитной индукции (закон Фарадея- Максвелла)?
5. Что называется явлением самоиндукции?
6. Что называется индуктивностью?
7. В каких единицах измеряется индуктивность?
8. Что объясняет явление самоиндукции при замыкании (размыкании) цепи?
9. Нарисуйте график тока при замыкании цепи. Укажите время установки режима постоянного тока.
10. Нарисуйте график тока при размыкании цепи. Укажите время установки режима постоянного тока.
11. Чему равна работа силы Ампера при перемещении проводника с током в магнитном поле?
12. Что называется собственной магнитной энергией проводника с током?
13. Чему равна собственная энергия проводника с током?
14. Выразите через основные единицы системы СИ единицу магнитного потока.
15. Выразите через основные единицы системы СИ единицу индуктивности.

Тестовые задания

Прочтите тексты тестовых заданий и укажите номера правильных ответов. Задание выполните письменно

№ вопроса	Тестовое задание	Варианты ответов
1	Магнитный поток измеряется в	1. Тл 2. Гн 3. Вб 4. Н
2	Сила Лоренца определяется по формуле	1. $V \cdot B \cdot q \cdot \sin \alpha$ 2. $V \cdot q \cdot \sin \alpha$ 3. $B \cdot q \cdot \sin \alpha$ 4. $V \cdot B \cdot q \cdot \cos \alpha$
3	Сила Лоренца измеряется в	1. Вт 2. Н 3. Дж 4. Кл
4	Явление электромагнитной индукции открыл	1. Фарадей 2. Ньютон 3. Джоуль 4. Герц
5	ЭДС электромагнитной индукции измеряется в	1. Тл 2. В 3. Гн 4. Дж
6	Явление самоиндукции открыл	1. Фарадей 2. Ньютон 3. Джоуль 4. Герц
7	ЭДС самоиндукции зависит от скорости изменения магнитного потока	1. прямо пропорционально 2. обратно пропорционально 3. пропорционально Φ^2 4. от другой величины

8	Коэффициент самоиндукции является характеристикой	<ol style="list-style-type: none"> 1. магнитного поля 2. электрического поля 3. электрической цепи 4. источника тока
9	Индуктивность обозначается символом	<ol style="list-style-type: none"> 1. L 2. Φ 3. A 4. E_{is}
10	Магнитный поток обозначается символом	<ol style="list-style-type: none"> 1. L 2. Φ 3. A 4. E_i
11	ЭДС индукции обозначается символом	<ol style="list-style-type: none"> 1. L 2. Φ 3. W_m 4. E_i
12	Магнитная энергия обозначается символом	<ol style="list-style-type: none"> 1. L 2. Φ 3. W_m 4. E_i

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Магнитная проницаемость

$$\mu = \frac{B}{B_0},$$

где

μ - магнитная проницаемость среды;

B - магнитная индукция в однородной изотропной среде,

B₀;

B₀ - магнитная индукция в вакууме, B₀.

2. Магнитная индукция в центре кругового тока

$$B = \frac{I \cdot \mu \cdot \mu_0}{2 \cdot R},$$

где

B - магнитная индукция в центре кругового тока, B₀.

I - сила тока, A;

R - радиус петли, м.

3. Магнитная индукция бесконечно длинного прямоугольного проводника

$$B = \frac{I \cdot \mu \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi \cdot R},$$

R – расстояние от проводника до точки поля, в которой определяется магнитная индукция.

4. Магнитная индукция внутри тороида и бесконечно длинного соленоида

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot I \cdot n,$$

где

n – число витков на единицу длины соленоида (тороида);

$$n = \frac{N}{l},$$

N – число всех витков;

l – длина соленоида (тороида).

5. Индуктивность соленоида

$$L = \mu \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot l \cdot S,$$

где

l – длина соленоида, м;

S – площадь его поперечного сечения, м²;

n – число витков на единицу длины.

6. Магнитная энергия контура

$$W = \frac{L \cdot I^2}{2},$$

где L – индуктивность контура, Гн/м;

I – сила тока, А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика: учеб. пособие для студ.-иностранцев. подгот. фак. вузов/Корочкина Л.Н.; Каурова Л.Д.; Шутенко Л.Д. – М.: Высш. Шк.. 1983. – 392 с.

2. Вердеревская Н.Н., Егорова С.П. Сборник задач и вопросов по физике: Учеб. пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – Высш. школа, 1980. – 216 с.