Движущиеся заряды (токи) изменяют свойства окружающего пространства – создают магнитное поле. В магнитном поле на движущиеся заряды (токи, контуры с током) действуют силы.

Количественной характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции –аналог вектора напряженности для электрического поля.

**Магнитная индукция** – силовая характеристика магнитного поля.

**Принцип суперпозиции магнитного поля** – магнитная индукция результирующего поля равна векторной сумме индукций отдельных контуров с током.

**Линии индукции** – линии, касательные к которым направлены также как и вектор магнитной индукции в данной точке поля.

Свойства линий индукции магнитного поля:

1. Линии магнитного поля замкнуты, нигде не начинаются и нигде не заканчиваются. Магнитное поле является вихревым.
2. Густота линий пропорциональна модулю магнитной индукции.
3. Направление линий индукции определяется по правилу буравчика (правого винта).

**Сила Лоренца** – сила, действующая на движущийся заряд в электромагнитном поле. .

Направление силы Лоренца (магнитной силы) определяется по правилу левой руки.

Вектор силы всегда перпендикулярен направлению скорости, следовательно магнитная сила не совершает работы, т.е. энергия частицы, движущейся в постоянном магнитном поле, остается постоянной.

**Сила Ампера** – сила, действующая на элемент проводника с током. .

Движущийся заряд создает магнитное поле, индукция которого вычисляется по формуле , где – вектор, проведенный от заряда в точку, в которой определяется магнитная индукция, – магнитная постоянная, – скорость движения заряда.

**Закон Био-Савара-Лапласа** – магнитная индукция элемента проводника с током .

Магнитное поле бесконечного прямого тока: , где – расстояние от проводника до рассматриваемой точки.

Магнитное поле прямого конечного проводника: , где – расстояние от проводника до рассматриваемой точки, – углы между вектором тока и вектором, проведенным от рассматриваемой точки к току.

Магнитное поле кругового тока: , где – расстояние от центра витка до рассматриваемой точки вдоль оси, перпендикулярной плоскости контура.

**Магнитный поток** – мера силы и протяженности магнитного поля. .

Графическое представление магнитного поля:

1. Касательные к линиям магнитного поля совпадают с направлением вектора B.
2. Густота линий пропорциональна модулю индукции магнитного поля.
3. Магнитный поток пропорционален числу линий индукции магнитного поля.

Магнитный поток однородного поля , где – угол между вектором магнитной индукции и вектором нормали.

Поток вектора магнитной индукции через любую замкнутую поверхность равен нулю .

Циркуляция вектора по произвольному контуру равна произведению на алгебраическую сумму токов, охватываемых контуром (закон полного тока) . Ток считается положительным, если его направление связано с направлением обхода по контуру правилом правого винта.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Электрическое поле | Магнитное поле |
| Тип поля | Потенциальное | Вихревое, соленоидальное, непотенциальное |
| Теорема Гаусса |  |  |
| Теорема Гаусса в дифференциальной форме |  |  |
| Теорема о циркуляции |  |  |
| Теорема о циркуляции в дифференциальной форме |  |  |

Магнитное поле бесконечного прямого тока: внутри провода , снаружи . Если провод имеет форму трубки, то магнитное поле внутри отсутствует (согласно теореме о циркуляции).

Магнитное поле соленоида: внутри соленоида , снаружи , где – число витков провода на единицу длины. Магнитное поле внутри соленоида однородно.

Магнитное полк тороида: внутри , снаружи , где – число витков провода на единицу длины.

**Элементарный контур с током** – контур с током, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстояниями до других токов.

**Магнитный момент** – основная характеристика контура с током – векторная величина , где – площадь, обхваченная контуром, – единичный вектор, связанный правилом правого винта с направлением тока.

Сила, действующая на элементарный контур с током в неоднородном поле . Если поле однородно, то .

Момент сил Ампера, действующих на контур с током . Направление определяется правилом левой руки.

Работа при перемещении контура с током .

**Намагниченность** – количественная характеристика намагничивания веществ – суммарный магнитный момент в единице объема вещества. .

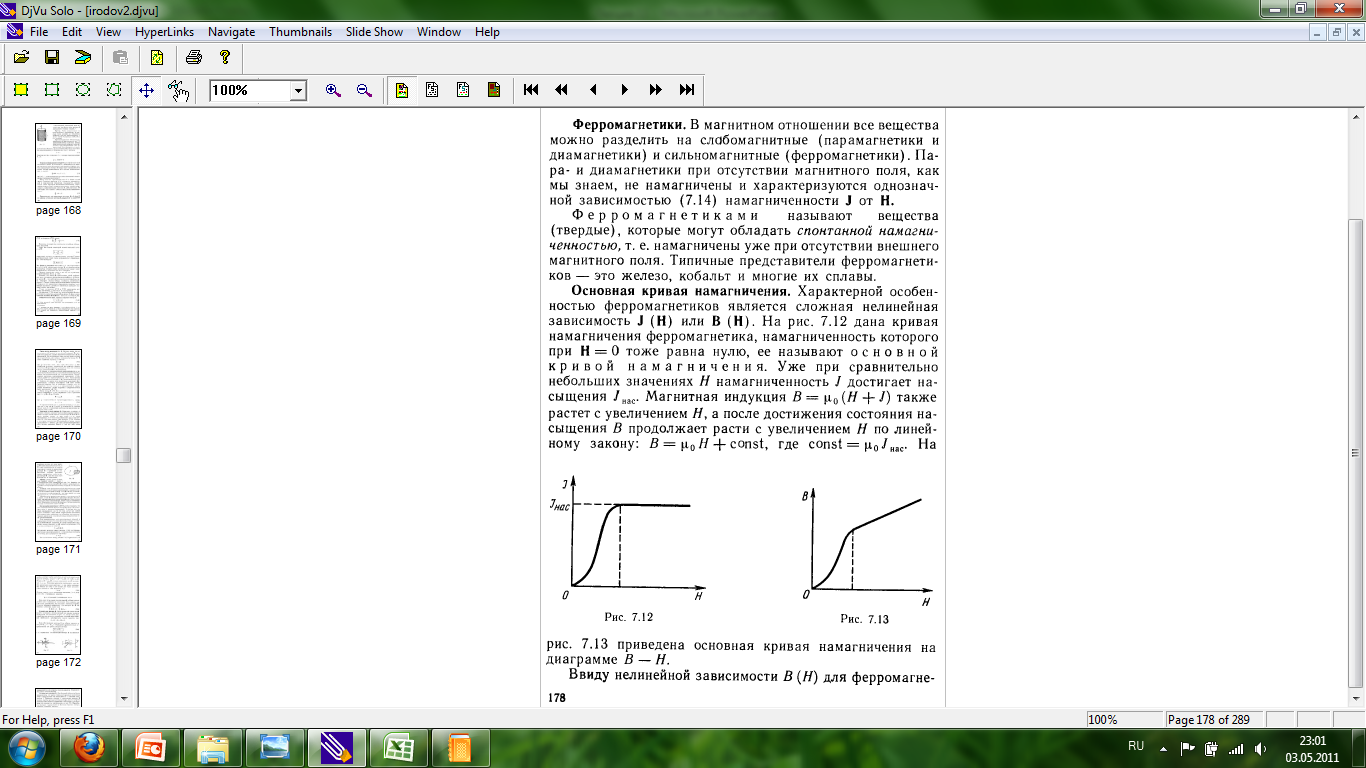
**Теорема Гаусса для вектора намагниченности**: .

Циркуляция вектора равна алгебраической сумме токов намагничивания, охватываемых контуром : .

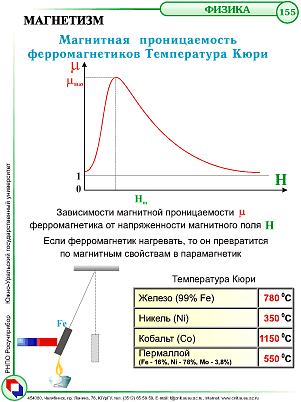
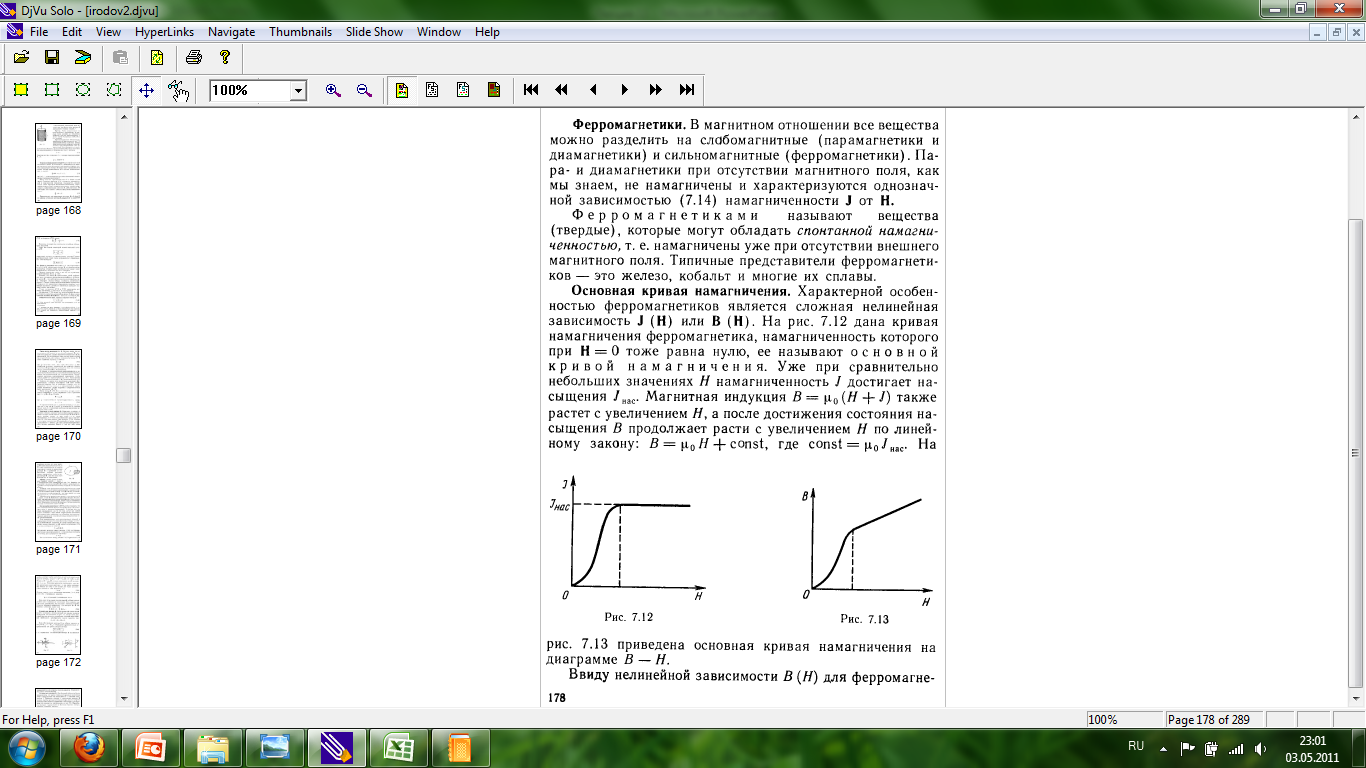
Теорема о циркуляции (закон полного тока) вектора : . - вспомогательный вектор (аналог вектора электрической индукции для электрического поля).

Взаимосвязь: , где – магнитная восприимчивость. .

**Магнетики** – вещества, способные намагничиваться (приобретать магнитный момент).

**Диамагнетики**: . Собственное магнитное поле направлено в противоположную сторону внешнему полю. Выталкиваются из внешнего магнитного поля. Молекулы не обладают собственным магнитным моментом.

**Парамагнетики**: . Намагничиваются в направлении внешнего магнитного поля. Втягиваются в область более сильного поля. Молекулы обладают собственным магнитным моментом. Чем больше температура, тем слабее намагничивается парамагнетик. Рисунок чуть выше показывает зависимость от для диа- и парамагнетиков.

**Ферромагнетики**: . Вещества, способные сохранять намагниченность в отсутствии внешнего магнитного поля. Кривая намагничивания ферромагнетика. . Рисунки справа отражают зависимости для ферромагнетиков.

С увеличением температуры способность ферромагнетиков намагничиваться уменьшается.

**Температура Кюри** – температура, выше которой ферримагнитные свойства исчезают, а ферромагнетик превращается в парамагнетик.

Намагничивание ферромагнетика зависит не только от индукции магнитного поля B, но и от предыдущих состояний вещества. Площадь петли гистерезиса пропорциональна энергии, затраченной при цикле перемагничивания.

При изменении магнитного потока возникает ЭДС индукции, которая совершенно не зависит от того, каким образом меняется магнитный поток, а зависит только от скорости его изменения (закон Фарадея).

Направление индукционного тока определяется правилом Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать причинам его вызывающим.

**ЭДС индукции**, возникающая в замкнутом контуре определяется скоростью изменения магнитного потока .

Изменяющееся во времени магнитное поле порождает электрическое поле независимо от наличия проводящего контура .

Явление самоиндукции – изменяющийся во времени ток в контуре приводит к изменению магнитного потока через контур, а, следовательно, к появлению ЭДС индукции в этом же контуре.

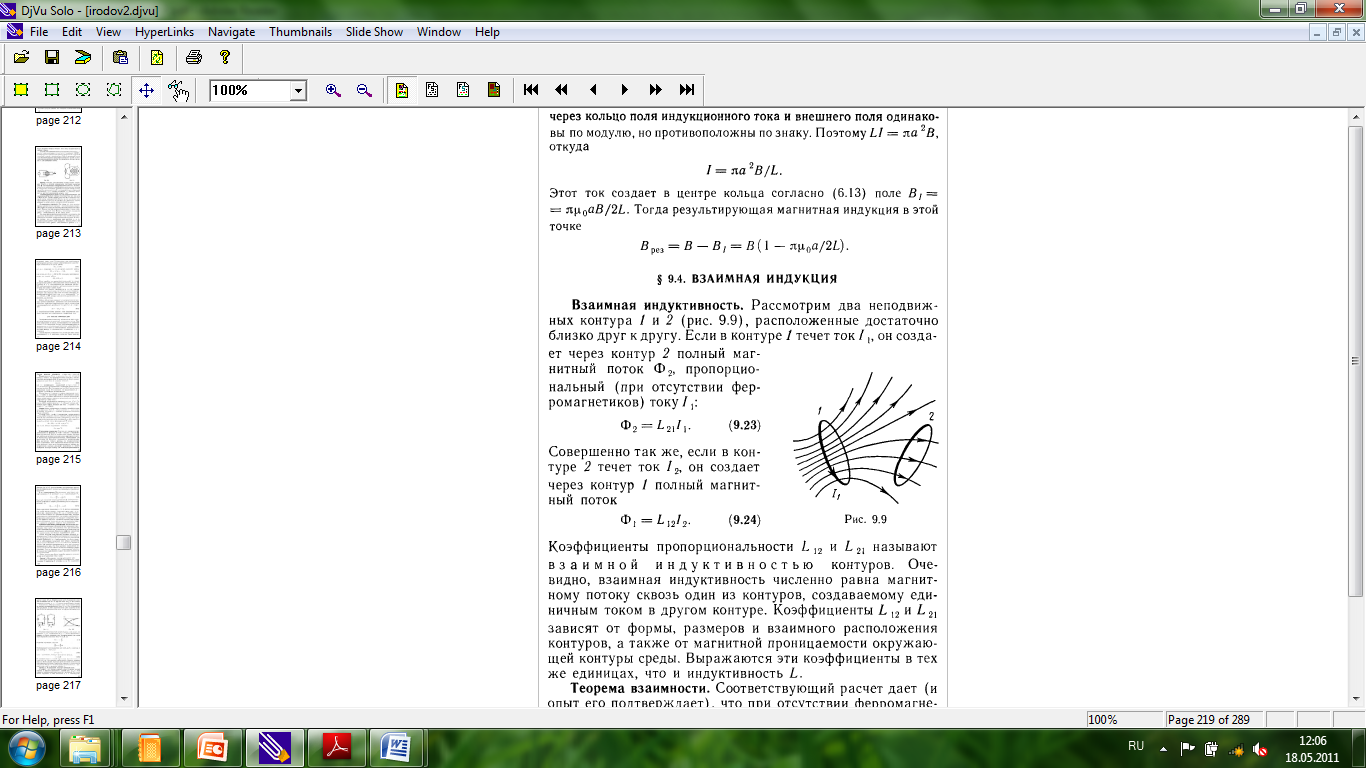
В отсутствие ферромагнетиков полный магнитный поток через контур с током равен , где – индуктивность, зависит от формы и размеров контура, а также от свойств окружающей среды.

Индуктивность соленоида , где – число витков на единицу длины.

При изменении силы тока в контуре возникает **ЭДС самоиндукции** . Явления самоиндукции проявляются при замыкании и размыкании в цепи.

Ток при размыкании цепи: , – время релаксации.

Ток при замыкании цепи: .

**Взаимная индукция** Ток в контуре 1 создает магнитный поток через контур 2 . - взаимная индуктивность контуров. Зависит от размеров, формы, взаимного расположения контуров и свойств окружающей среды. При всяком изменении тока в одном контуре в другом возникает ЭДС индукции. .

Энергия контура с током . Гармонические колебания: . . Математический маятник . Пружинный маятник . Колебательный контур . Полная энергия пружинного маятника . Полная энергия колебательного контура . Коэффициент затухания колебаний в колебательном контуре . Уравнение затухающих колебаний , где . Время релаксации – время за которое амплитуда колебаний уменьшается в раз. Логарифмический декремент затухания .

Добротность колебательного контура – отношение запасенной энергии в контуре к энергии, теряемой системой за один период .

Уравнения максвелла в ответах ко второй рубежке.