

«МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ.»

Магнитное поле.

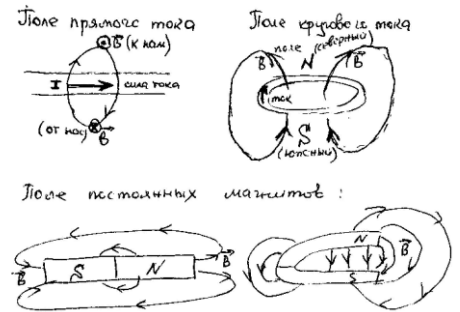
Магнитное поле – особого рода материя, осуществляющая взаимодействие между движущимися зарядами (токами).

Свойства:

- Порождается движущимися зарядами;
- Обнаруживается по действию на движущийся заряд;
- Оказывает ориентирующее действие на замкнутый контур с током;
- Однонаправленные токи притягиваются, разнонаправленные токи отталкиваются.

Магнитное поле может окружать образцы некоторых веществ – постоянных магнитов (например: магнитный железняк). Возникновение магнитного поля в этом случае объясняется усилением ввиду одинаковой направленности элементарных токов внутри атомов вещества (домены). Магнитное поле имеет две локальные области, где оно проявляется наиболее активно и мощно – полюса – северный и южный. Магнитным полем обладает Земля и другие объекты.

Количественной характеристикой магнитного поля является *вектор магнитной индукции*. Магнитное поле изображается линиями вектора магнитной индукции. Касательные к ним в каждой точке поля совпадают с направлением вектора магнитной индукции. Линии магнитной индукции замкнуты. Линии магнитной индукции полей постоянных магнитов направлены от северного полюса к южному. Линии магнитной индукции поля прямого тока окружают его и направлены согласно правилу правого винта (буравчика). Линии магнитной индукции кругового тока направлены по оси этого круга и также согласно правилу правого винта.



Со стороны магнитного поля на проводник с током действует **сила Ампера**. Ее числовое значение вычисляется по формуле:

$$F_a = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha ,$$

где F_a – сила Ампера [F_a] = Н; B – модуль вектора магнитной индукции [B] = Тл (Тесла); I – сила тока в проводнике [I] = А; l – длина активной части (находящейся в магнитном поле) проводника [l] = м; α – угол между направлением вектора магнитной индукции и направлением силы тока.

Направление силы Ампера определяется правилом левой руки (правило Флеминга): Если левую руку расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, причем четыре пальца были направлены по току, то большой палец, отогнутый на 90°, покажет направление силы Ампера. Если проще пользоваться правилом левого винта то см. рис.



Сила, действующая на одну движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля, называют **силой Лоренца**:

$$F_l = q \cdot B \cdot v \cdot \sin \alpha ,$$

где F_l – сила Лоренца [F_l] = Н; B – модуль вектора магнитной индукции [B] = Тл (Тесла); q – заряд частицы [q] = Кл; v – скорость частицы [v] = м/с; α – угол между направлением вектора магнитной индукции и направлением скорости частицы.

Направление силы Лоренца определяется правилом левой руки: Левую руку поместите, расположив четыре пальца по направлению движения положительно заряженной частицы (если частица заряжена отрицательно – то против направления ее движения), так, чтобы перпендикулярная к направлению движения частицы составляющая модуля вектора магнитной индукции входила в ладонь, то большой палец, отогнутый на 90°, покажет направление силы Лоренца. Сила Лоренца изменяет направление движение заряженной частицы, закручивая ее вокруг линий поля, и не совершает работы. Это свойство используется в ЭЛТ и масс-спектрографах – приборах для измерения удельного заряда (отношения заряда к массе) частицы. При вращении заряженной частицы вокруг линий магнитного поля центростремительное ускорение обеспечивается силой Лоренца.

Вещества, помещенные в магнитное поле, проявляют свойства намагничиваться - создавать собственные магнитные поля. В связи с особым характером циркулирующих внутри микроскопических токов все вещества классифицируют на три типа: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. Отношение индукции магнитного поля в веществе к индукции внешнего поля называется магнитной проницаемостью среды (вещества):

$$\mu = \frac{B_{\text{вещ.}}}{B_{\text{внешнее}}} .$$

У диамагнетиков $\mu \leq 1$, так как собственное поле направлено против внешнего поля и ослабляет его. У парамагнетиков $\mu \geq 1$, так как собственное поле сонаправлено с внешним полем и усиливает его. Собственные поля диамагнетиков и парамагнетиков невелики, такие вещества незначительно изменяют индукцию внешнего поля. Величина собственного поля ферромагнетиков зависит от величины и направления внешнего поля, это явление называется *гистерезис*. Ферромагнетизм объясняется квантовой теорией. При нагревании до температуры Кюри (справочная величина) вещество теряет ферромагнитные свойства и превращается в парамагнетик.



Электромагнитная индукция.

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении числа линий магнитной индукции, пересекающих данный контур (при изменении потока магнитной индукции через контур).

Потоком магнитной индукции называется скалярное произведение вектора магнитной индукции и вектора площади контура (вектор площади контура направлен по нормали (перпендикулярно) к его плоскости):

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

где Φ — поток магнитной индукции (магнитный поток) $[\Phi] = \text{Вб}$ (Вебер); B — модуль вектора магнитной индукции $[B] = \text{Тл}$ (Тесла); S — площадь контура $[S] = \text{м}^2$; α — угол между направлением вектора магнитной индукции и направлением нормали к плоскости контура.

Направление индукционного тока определяется правилом Ленца: *Возникающий в замкнутом проводящем контуре индукционный ток своим магнитным потоком противодействует тому изменению магнитного потока, которым сам ток был вызван.*

Закон электромагнитной индукции.

ЭДС индукции равна скорости изменения магнитного потока через поверхность контура:

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

где $\Delta \Phi$ — изменение потока магнитной индукции $[\Delta \Phi] = \text{Вб}$ (Вебер); Δt — малый промежуток времени $[\Delta t] = \text{с}$ ε_i — ЭДС индукции $[\varepsilon_i] = \text{В}$. Знак минус учитывает правило Ленца.

При движении проводников в магнитном поле на их концах наводится ЭДС:

$$\varepsilon_i = B \cdot v \cdot l \cdot \sin \beta,$$

где β — угол между направлением вектора магнитной индукции и направлением скорости проводника.

Самоиндукция — возникновение индукционного тока в проводнике, по которому уже течет ток. Между магнитным потоком индукционного тока и силой тока в проводнике существует прямая пропорциональная зависимость:

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

где L — индуктивность $[L] = \text{Гн}$ (Генри). Тогда для ЭДС самоиндукции:

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

где ΔI — изменение силы тока в проводнике $[\Delta I] = \text{А}$.

Энергия магнитного поля индуктивного проводника может быть вычислена по формулам:

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

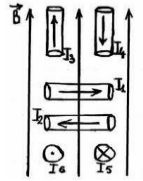
В природе не существует отдельно электрического поля и отдельно магнитного поля, а существует единое электромагнитное поле. Электромагнитное поле действует на заряд с силой, составляющей результат действия кулоновских сил электрического поля и сил Лоренца магнитного поля. Электромагнитное поле обладает энергией, состоящей из энергии электрической и магнитной его составляющих.

«МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ.»

"Магнитное поле."

1. Почему струя расплавленного металла при пропускании по ней тока сужается? (Ответ: притяжение однонаправленных токов.)

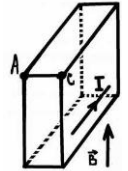
2. Шесть проводов внесены в магнитное поле (см. рис.). Определите направление силы, действующей со стороны магнитного поля на каждый провод. (Ответ: по правилу левой руки: F_1 - из-за плоскости чертежа, F_2 - за плоскость чертежа, $F_3=0$, $F_4=0$, F_5 - вправо, F_6 -влево.)



3. Почему параллельные провода, по которым текут однонаправленные токи, всегда притягиваются, а параллельные электронные пучки, в которых электроны движутся в одном и том же направлении, могут отталкиваться? (Ответ: в электронных пучках электрическая сила отталкивания больше магнитной силы притяжения.)

4. Почему для переноски горячего проката не применяют магнитный подъемный кран? (Ответ: при нагревании до температуры Кюри прокат теряет ферромагнитные свойства.)

5. Металлическую пластину, по которой течет ток, помещают в магнитное поле (см. рис.). При этом между точками А и С возникает разность потенциалов. Объясните это явление, называемое эффектом Холла. (Ответ: по правилу левой руки положительные заряды попадают на правую плоскость С до тех пор, пока Кулоновские силы не уравновесят силы Лоренца.)



6. В магнитное поле индукцией 37,5 мТл внесли три образца. Индукция поля в первом оказалась равной 0,75 Тл, во втором — 40 мТл, в третьем — 35 мТл. Классифицируйте материал образцов по намагниченности. (Ответ: ферромагнетик, парамагнетик, диамагнетик.)

7. На проводник длиной 50 см с током силой 2 А однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл действует с силой 50 мН. Вычислить угол между направлением силы тока в проводнике и вектором магнитной индукции поля. (Ответ: 30°.)

8. Максимальная сила Ампера, действующая на прямолинейный проводник длиной 1 м, по которому течет ток с силой 5 А, составляет 0,2 Н. Считая поле однородным, найдите его индукцию. (Ответ: 40 мТл.)

9. Протон движется в однородном магнитном поле по окружности в плоскости, перпендикулярной магнитным силовым линиям. Период обращения протона 0,75 мкс. Определите модуль вектора магнитной индукции. (Ответ: 0,08 Тл.)

10. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 600 В, влетает в однородное магнитное поле с индукцией 330 мТл, и движется по окружности. Каков радиус этой окружности? Будет ли изменяться энергия протона при движении в этом магнитном поле? (Ответ: 11 мм, нет.)

11. Заряженная частица движется прямолинейно равномерно со скоростью 1000 км/с в скрещенных под прямым углом электрическом и магнитном полях. Найти индукцию магнитного поля, если напряженность электрического поля 10 кВ/м. (Ответ: 10 мТл.)

12. По жесткому кольцу из медной проволоки течет ток силой 5 А. Кольцо находится в перпендикулярном к его плоскости магнитном поле с индукцией 0,5 Тл. Найдите растягивающее механическое напряжение в проволоке, если радиус кольца 5 см, площадь сечения проволоки 3 мм². Магнитным взаимодействием между различными участками кольца можно пренебречь. (Ответ: 42 кПа.)

13. С какой силой однородное магнитное поле с индукцией 0,25 Тл действует на проводник длиной 50 см, расположенный под углом 30° к вектору индукции, при силе тока в проводнике 5 А? (Ответ: 0,3125 Н.)

14. Прямой провод с током силой 10 А находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Угол между направлением тока и вектором магнитной индукции 60°. На провод со стороны магнитного поля действует сила 1 Н. Найти длину провода. (Ответ: 1,155 м.)

15. Прямой проводник, расположенный перпендикулярно линиям магнитной индукции, при пропускании по нему тока силой 1 А приобрел ускорение 2 м/с². Площадь поперечного сечения проводника 1 мм², плотность материала проводника 2500 кг/м³. Найти модуль вектора магнитной индукции поля. Силу тяжести и другие силы, кроме магнитных, не учитывать. (Ответ: 5 мТл.)

16. Горизонтальный проводник массой 30 г подвешен за концы на двух проводах. Средняя часть проводника, имеющая длину 50 см, находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл; провода находятся вне области магнитного поля. По проводнику протекает ток 2 А. На какой угол от вертикали отклоняются провода? (Ответ: 19°.)

Электромагнитная индукция.

17. Прямолинейный проводник длиной 10 см перемещают в однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл перпендикулярно силовым магнитным линиям со скоростью 3 м/с. Направление перемещения перпендикулярно проводнику. Найти разность потенциалов на концах проводника. (Ответ: 3 мВ.)

18. Катушку радиусом 3 см с 1000 витков помещают в однородное магнитное поле (ось катушки параллельна линиям поля). Индукция поля изменяется с постоянной скоростью 10 мТл/с. Какой заряд будет на конденсаторе, подключенном к концам катушки? Емкость конденсатора 20 мкФ. Катушка замыкается накоротко. Найдите выделяющуюся в ней тепловую мощность, если сопротивление катушки 16 Ом. (Ответ: 0,57 мкКл; 50 мкВт.)

19. Металлический диск радиусом 10 см расположен в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости диска. Диск вращается с угловой скоростью 500 рад/с. Два скользящих контакта (один на оси диска, другой на его цилиндрической поверхности) соединены через резистор, имеющий сопротивление 10 Ом. Какая мощность выделяется в резисторе, если индукция магнитного поля 0,5 Тл? (Ответ: 0,16 Вт.)

20. Медное кольцо, площадь которого 0,08 м², а сопротивление 4 мОм, помещено в однородное магнитное поле так, что плоскость кольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. Какое количество теплоты выделится в кольце за 0,1 с, если модуль вектора магнитной индукции убывает со скоростью 0,01 Тл/с. (Ответ: 16 мкДж.)

21. По двум горизонтальным проводам, замкнутым на источник постоянного тока с ЭДС 1,5 В и внутренним сопротивлением 1 Ом, может скользить проводник длиной 80 см и сопротивлением 9 Ом. В пространстве создано

магнитное поле с индукцией 0,4 Тл, направленное под углом 60° к горизонту, перпендикулярно скользящему проводнику. С какой скоростью нужно двигать проводник, чтобы по нему проходил ток с силой 0,2 А? (Ответ: 1,8 м/с.)

22. Определить индуктивность катушки, если при равномерном изменении силы тока на 5 А за 0,25 с в катушке возбуждается ЭДС самоиндукции 200 В. (Ответ: 10 Гн.)

23. Какой магнитный поток индуцируется постоянным электрическим током силой 20 А, протекающим по замкнутому контуру индуктивностью 20 мГн? (Ответ: 0,4 Вб.)

24. Кольцо радиусом 6 см изготовленное из изолированного провода сопротивлением 0,2 Ом расположено в однородном магнитном поле индукцией 20 мТл. Плоскость кольца перпендикулярна линиям индукции поля. Кольцо складывают (не перекручивая провод) так, что получается два одинаковых кольца в виде восьмерки, лежащей в той же плоскости, что и кольцо. После этого магнитное поле выключают. Какой заряд протечет по проводнику за время: а) когда кольцо складывают; б) когда магнитное поле выключают? (Ответ: а) 560 мкКл; б) 560 мкКл.)