

Лекция 3. Сила Ампера. Явление электромагнитной индукции

Сила Ампера

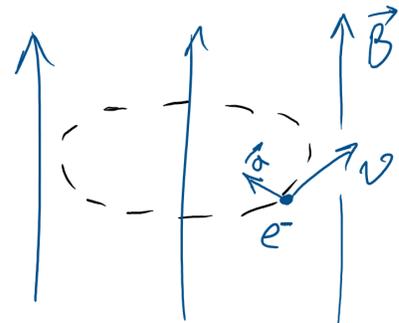
Вектор магнитной индукции характеризует силовое действие магнитного поля на движущиеся заряды. Сила, действующая на движущийся точечный заряд в магнитном поле, равна $\vec{F}_{Л(М)} = q[\vec{v}, \vec{B}]$ и называется магнитной составляющей силы Лоренца

Направление магнитной составляющей силы Лоренца зависит от знака заряженной частицы. Магнитная составляющая силы Лоренца всегда направлена перпендикулярно скорости, поэтому не совершает работы и не изменяет величину скорости заряженной частицы

Ex. Частица влетает перпендикулярно силовым линиям магнитного поля: $\vec{v} \perp \vec{B}$

Скорость частицы и действующая на нее сила все время лежат в плоскости, перпендикулярной к силовым линиям магнитного поля. Траекторией движения частицы будет окружность радиуса R , лежащая в этой плоскости. Условием движения по окружности является $qvB = m\frac{v^2}{R}$, из этого

$$R = \frac{mv}{qB}$$



Ex. Частица влетает под углом α к силовым линиям магнитного поля

Составляющая скорости, направленная вдоль силовых линий магнитного поля, не будет изменяться, а в плоскости, перпендикулярной силовым линиям, частица движется по окружности. Траектория движения представляет собой винтовую линию

Мет. Сила Лоренца - полная сила, действующая на заряд: $\vec{F}_{Л} = q\vec{E} + q[\vec{v}, \vec{B}]$

Разделение полной силы Лоренца на электрическую и магнитную зависит от выбора системы отсчета

Def. Сила Ампера - сила, действующая под действием магнитного поля на заряды проводника, создающие электрический ток

Пусть электрический ток в объеме dV элемента тока длиной dl и площадью сечения S образован заряженными частицами с зарядом q , движущимися со средней скоростью v вдоль элемента тока:

$$d\vec{F}_A = [\vec{j}, \vec{B}]dV$$

$$d\vec{F}_A = I[d\vec{l}, \vec{B}]$$

Направление силы Ампера можно определить с помощью правила левой руки: если ладонь левой руки расположить так, чтобы в нее входил вектор индукции магнитного поля, а четыре вытянутых - пальца по направлению тока, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Ампера

Для изучения свойств магнитного поля используется замкнутый плоский контур с током (рамка с током). Форма контура не имеет значения, а его размеры должны быть малы по сравнению с расстоянием до источников магнитного поля. Контур с током принято характеризовать магнитным моментом: $\vec{p}_m = IS\vec{n}$, где I - сила тока, S - площадь, ограниченная контуром, \vec{n} - нормаль, образующая с направлением тока правовинтовую систему

На контур с током действует сила Ампера $d\vec{F}_A = I[d\vec{l}, \vec{B}] \implies \vec{F}_A = I \oint [d\vec{l}, \vec{B}]$

Если поле однородно, то $\vec{F}_A = I \oint [d\vec{l}, \vec{B}] = I[\oint d\vec{l}, \vec{B}] = 0$

Если поле неоднородно, то $\vec{F} = p_m \frac{\partial \vec{B}}{\partial n}$

Ex. Рассмотрим случай поведения прямоугольного контура с током в однородном магнитном поле. Предположим, что рамка имеет возможность вращаться вокруг оси, проходящей через середины ее сторон длиной a и перпендикулярной к силовым линиям магнитного поля.

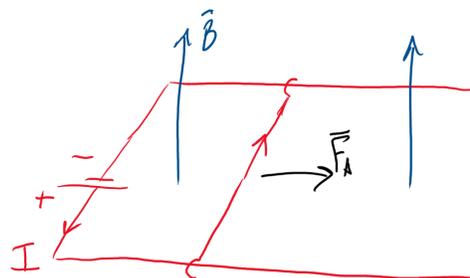
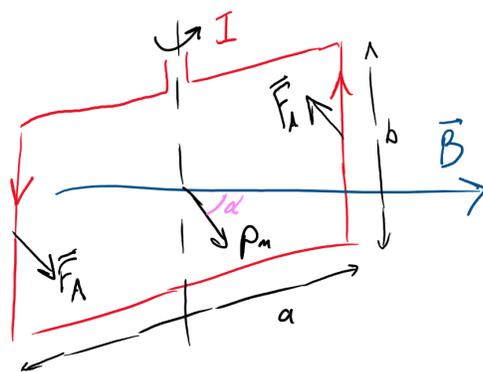
Силы Ампера, действующие на стороны a рамки, направлены вдоль оси вращения, поэтому действие этих сил сводится только к деформации контура (сжатию или растяжению). Силы Ампера, действующие на стороны b рамки, создают вращающий момент и равны $F_A = IBb$.

Тогда момент сил равен $M = Fa \sin \alpha = IBbS \sin \alpha = p_m B \sin \alpha \implies \vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}]$

Ex. Рассмотрим проводник в форме буквы «П» идвигающийся по нему другой проводник. По контуру, находящемуся в магнитном поле, течет ток, значит подвижный проводник будет двигаться влево, увеличивая площадь, охватываемого контуром.

Работа сил магнитного поля по перемещению подвижного проводника будет равна:

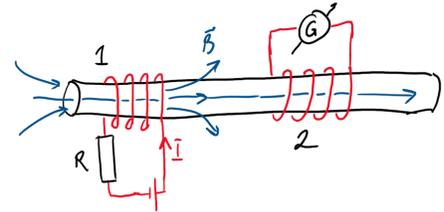
$$dA = d\vec{F} \cdot d\vec{r} = I[d\vec{l}, \vec{B}] \cdot d\vec{r} = Id\Phi$$



$$A = \int_1^2 Id\Phi$$

Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца

В цепи первой катушки течет постоянный ток I_1 , в цепи второй ток отсутствует. Если катушку 1 приближать к 2, в последней возникнет ток I_2 , который Фарадей назвал индукционным током. При удалении катушки 1 от 2 ток I_2 тоже появляется, но имеет противоположное направление. Катушку 1 можно заменить длинным полосовым магнитом.



При перемещении магнита вдоль оси катушки 2, тоже обнаружится возникновение в ней индукционного тока.

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, охватываемого этим контуром.

Закон Фарадея: ЭДС индукции в контуре пропорциональна скорости изменения магнитного потока сквозь площадь, ограниченную контуром:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, что его магнитное поле противодействует причине, вызвавшей его появление

Самоиндукцией называется явление возникновения ЭДС индукции в электрической цепи вследствие изменения электрического тока в этой же цепи.

Заметим, что $B \sim I$ и $\Phi \sim B$ (в отсутствии ферромагнетиков). Тогда $\Phi \sim I$ или же $\Phi = LI$

Коэффициент пропорциональности L называется индуктивностью контура. Индуктивность контура зависит от его размеров и формы, магнитных свойств среды

При изменении силы тока в контуре возникает ЭДС самоиндукции $\varepsilon_s = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(LI)}{dt} = -L\frac{dI}{dt} - I\frac{dL}{dt}$