

27 - Магнитное поле движущегося заряда. Свойства сил магнитного взаимодействия.

TL;DR

- Поля не только воздействуют на движущиеся заряды, но и порождаются ими
- Индукцию магнитного поля, порождаемого зарядом можно найти при помощи следующей формулы: $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q \cdot \frac{[\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}$
- Модуль индукции можно найти $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q \cdot \frac{v}{r^2} \cdot \sin(\widehat{\vec{v}, \vec{r}})$
- Силовые линии магнитного поля - линии, такие что в каждой из их точек вектор магнитной индукции поля направлен к ним по касательной
- Не существует носителей магнитных зарядов. (то есть нет своего рода электронов мира магнетизма)
- Магнитные силы примерно в 10^{23} степени раз слабее электрических, однако во многих привычных нам ситуациях они оказывают огромное влияние по нескольким причинам:
 - Создаются большим количеством движущихся зарядов
 - Порождаемые силы при параллельном движении не компенсируют друг друга
 - Электрические силы порой компенсируют друг друга, так что магнитные силы остаются единоличными правителями
- Магнитные силы порождаются магнитными полями. Поля имеют свою скорость и распространяются со скоростью света, поэтому если источник поля убрать, то какое-то время другие тела не будут об этом знать
- *фан факт* - если солнце погаснет, мы об этом узнаем через 8 минут не только. Потому что останется не только свет, но и гравитационное поле
- Если взаимодействия передаются через посредников, они не обязаны подчиняться законам действия и противодействия

Магнитное поле движущегося заряда

Закон Био-Савара-Лапласа

Закон был выведен на основе экспериментальных данных:

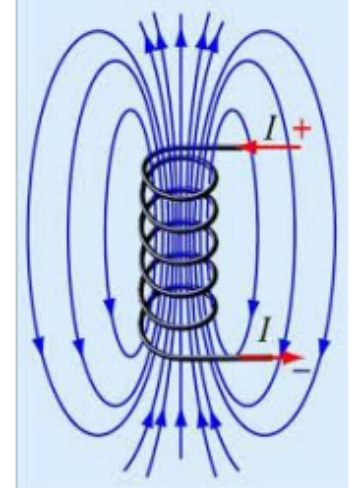
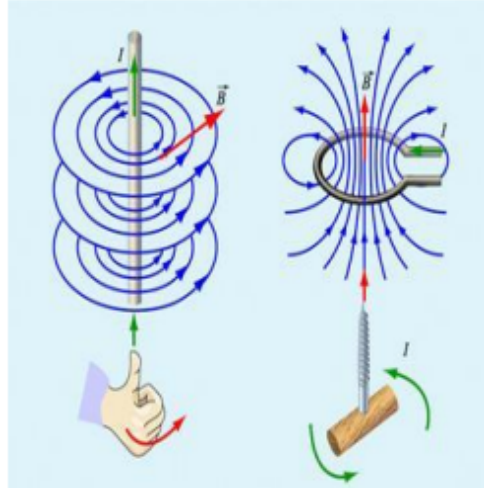
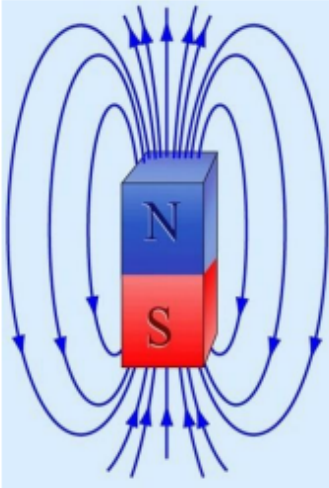
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q \cdot \frac{[\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}$$

При этом множитель $\frac{\mu_0}{4\pi}$ называется "магнитной постоянной". Направление создаваемого поля определяется по правилу правой руки

Модуль создаваемого вектора магнитной индукции находится по формуле

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q \cdot \frac{v}{r^2} \cdot \sin(\widehat{\vec{v}, \vec{r}})$$

Для магнитного поля возможно рисовать силовые линии по аналогии с электрическим. в таких линиях в каждой точке вектор \vec{B} должен быть касательным к каждой точке кривой. Получится замкнутая кривая

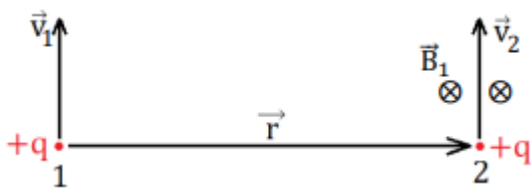


Такое определение силовых линий связано с тем, что в природе **не существует** магнитных зарядов, какие есть у электричества

Свойства: Сравнение сил магнитного и электрического взаимодействия

не совсем уверен, что под ними подразумевалось в параграфе, поэтому тут просто все, что было указано сверх понятий и определений

Параллельно движущиеся заряды



Для данного рисунка сила тока, действующая на со стороны 1 заряда на второй:

$$F_{эл21} = q_2 \cdot k \cdot \frac{q_1}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r^2}$$

В то же время магнитная сила, действующая со стороны первого заряда на второй, равна с учетом перпендикулярности \vec{B} и \vec{v} :

$$F_{м21} = q_2 v_2 B_1$$

Расписав B_1 получим:

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q_1 \cdot \frac{v_1}{r^2}$$

$$F_{M21} = q_2 \cdot v_2 \cdot \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q_1 \cdot \frac{v_1}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q^2 \cdot \frac{v^2}{r^2}$$

Из-за чего получается, что:

$$\frac{F_{M21}}{F_{эл21}} = \varepsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot v^2$$

В конспекте предлагается сделать замену при помощи **электродинамической константы**:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \varepsilon_0}}$$

$$\frac{F_{M21}}{F_{эл21}} = \frac{v^2}{c^2}$$

Так вот, ради чего весь сыр-бор - при сравнении получается, что магнитные силы примерно на **23** порядка меньше, чем электрические. Однако эти силы оказывают вполне существенный эффект, потому что движущихся частиц как правило много, а также играет важную роль, что магнитные сила пропорциональны **произведению** скорости и заряда.

Когда течёт ток, то заряды противоположных знаков движутся в противоположных направлениях. Силы, действующие со стороны магнитного поля, на заряды противоположных знаков оказываются сонаправлены, и следовательно, будут арифметически складываться

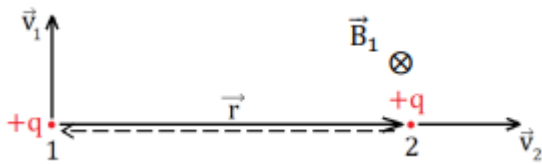
$$\vec{F}_M = \sum_i^N \vec{F}_{Mi}; |\vec{F}_M| = \sum_i^N \vec{F}_{Mi} \gg 0$$

Совсем иначе ведут себя заряды по отношению к электрическим полям. В выражение для электрической силы входит только q , от скорости движения v она не зависит. Поэтому, силы, действующие со стороны электрического поля, на заряды противоположных знаков оказываются направлены **противоположно**, и следовательно, будут арифметически вычитаться

$$\vec{F}_{эл} = \sum_i^N \vec{F}_{эл_i} = 0$$

То есть в данном случае роль магнитного поля становится основной

Перпендикулярно движущиеся заряды



Силу, действующую со стороны первого заряда на второй мы уже считали:

$$F_{m21} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q^2 \cdot \frac{v^2}{r^2}$$

В то же сила, действующая со стороны 2 заряда на первый равна: (расчеты я приведу в виде скриншота с вашего позволения и буду молиться, что качество не сожрется слишком сильно)

$$\vec{F}_{m12} = q_1 \cdot [\vec{v}_1, \vec{B}_2], \quad \vec{B}_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q_2 \cdot \frac{[\vec{v}_2, \vec{r}]}{r^3}$$

или

$$F_{m12} = q_1 \cdot v_1 \cdot B_2(\vec{r}) \cdot \sin(\widehat{\vec{v}_1, \vec{B}_2}),$$

$$B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q_2 \cdot \frac{v_2}{r^2} \cdot \sin(\widehat{\vec{v}_2, \vec{r}}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot q_1 \cdot \frac{v_1}{r^2} \cdot 0 = 0,$$

т.к. $\vec{v}_2 \updownarrow \vec{r}$, окончательно получается, что

$$F_{m12} = q_1 \cdot v_1 \cdot 0 = 0.$$

⚠ Вывод

Следовательно, силы магнитного взаимодействия не удовлетворяют принципу равенства действия и противодействия

Ньютоновская механика не дает ответ, почему так происходит, однако современные физические воззрения говорят, что взаимодействия передаются не напрямую от предмета к предмету, а при помощи полей.

⚠ При чем тут поля

Для взаимодействий, передающихся с помощью посредников, соблюдение принципа равенства действия и противодействия не обязательно

Также автор сообщает, что третий закон Ньютона лучше в такой связи считать следствием закона сохранения импульса. С чем я согласен, так как закон сохранения импульса более общий и выполняется в большем числе систем