

Магнитное поле.

Цели занятия:

1. Изучить теоретические основы магнитного взаимодействия.
2. Научиться решать задачи по теме, ознакомиться со специфическими приёмами решения задач.
3. Акцентировать внимание на медико-биологических приложениях темы.

Основные теоретические вопросы темы

1. Магнетизм. Закон магнитного взаимодействия (закон Ампера).
2. Вектор напряженности магнитного поля. Закон Био-Савара-Лапласа.
3. Напряженность магнитного поля кругового и прямого токов.
4. Магнитная индукция. Сила Ампера. Взаимодействие двух токов. Сила Лоренца.
5. Циркуляция вектора напряженности магнитного поля. Закон полного тока и примеры его применения.

Краткие теоретические сведения по теме

- Взаимодействие между проводниками с током, т.е. взаимодействие между движущимися электрическими зарядами, осуществляется посредством особой формы материи – *магнитного поля*. Магнитное поле, как и электрическое, является одной из сторон единого электромагнитного поля.
- Основной характеристикой магнитного поля является *вектор магнитной индукции* \vec{B} . Магнитная индукция в данной точке однородного магнитного поля определяется максимальным вращающим моментом, действующим на рамку с единичным магнитным моментом, когда нормаль к рамке перпендикулярна направлению поля:

$$B = \frac{M_{max}}{P_m}.$$

- Магнитное поле изображается с помощью линий магнитной индукции. Линии магнитной индукции всегда замкнуты и охватывают проводник с током. Поля с замкнутыми силовыми линиями называют *вихревыми*. Направление силовых линий магнитного поля определяется по *правилу буравчика*.
- Вектор \vec{B} характеризует результирующее магнитное поле, создаваемое всеми макро- и микротоками. Магнитное поле макротоков описывается *вектором напряженности* \vec{H} . В случае однородной изотропной среды
$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}.$$
- Магнитная индукция поля в некоторой точке A , создаваемого элементом проводника dl с током I определяется *законом Био-Савара-Лапласа*

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r^3} [d\vec{l} \cdot \vec{r}]$$

где \vec{r} - радиус-вектор, проведенный из элемента $d\vec{l}$ проводника в точку A .

- Магнитная индукция результирующего поля, создаваемого несколькими токами или движущимися зарядами, равна векторной сумме магнитных индукций полей, создаваемых каждым током или движущимся зарядом в отдельности (*принцип суперпозиции магнитных полей*):

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i.$$

- На элемент проводника $d\vec{l}$ с током I , помещенный в магнитное поле, действует со стороны поля сила, которая согласно *закону Ампера*, равна:

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \cdot \vec{B}], \quad dF = IBdl \sin \alpha,$$

где α - угол между $d\vec{l}$ и \vec{B} . Направление силы Ампера определяется по *правилу левой руки*.

- На движущуюся заряженную частицу в магнитном поле действует *сила Лоренца*

$$\vec{F}_L = q[\vec{v} \cdot \vec{B}], \quad F_L = qvB \sin \alpha,$$

где α - угол между \vec{v} и \vec{B} . Направление силы Лоренца определяется по *правилу левой руки*. *Магнитное поле действует только на движущиеся в нем заряды.*

- На движущуюся заряженную частицу одновременно в электрическом и магнитном полях действует сила (*формула Лоренца*)

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v} \cdot \vec{B}]$$

Электрическое поле изменяет скорость, а следовательно, кинетическую энергию частицы; магнитное поле изменяет только направление ее движения.

- Циркуляция вектора \vec{B} по произвольному замкнутому контуру в вакууме равна произведению магнитной постоянной μ_0 на алгебраическую сумму токов, охватываемых этим контуром:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k,$$

где n – число проводников с токами, охватываемых контуром L произвольной формы. Циркуляция вектора \vec{E} электростатического поля всегда равна нулю, т.е. электростатическое поле является *потенциальным*. Циркуляция вектора \vec{B} магнитного поля не равна нулю, такое поле называется *вихревым*.

- Поток вектора магнитной индукции сквозь произвольную замкнутую поверхность равен нулю (*теорема Гаусса для поля \vec{B}*):

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = \oint_S B_n dS = 0.$$

Эта теорема отражает факт отсутствия в природе магнитных зарядов, вследствие чего линии магнитной индукции не имеют ни начала, ни конца и являются замкнутыми.

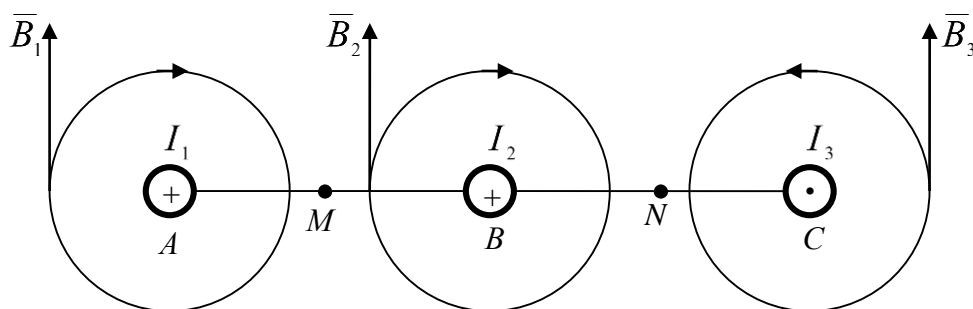
- Все вещества в магнитном поле намагничиваются, т.е. создают свое магнитное поле. Величина, показывающая, во сколько раз магнитная индукция в среде больше или меньше, чем в вакууме, называется *магнитной проницаемостью*:

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

- По значению магнитной проницаемости различают *диамагнетики* ($\mu < 1$), *парамагнетики* ($\mu > 1$) и *ферромагнетики* ($\mu \gg 1$). У ферромагнитных материалов μ зависит от внешнего магнитного поля.

Задача: На рис. изображены сечения трех прямолинейных бесконечно длинных проводников, по которым протекают токи в указанных направлениях. Расстояния между проводниками одинаковы и равны 5 см, $I_1 = I_2 = I, I_3 = 2I$. Найти точку на прямой AC , в которой напряженность магнитного поля равна нулю.

Дано: $AB = BC = 5$ см, $I_1 = I_2 = I, I_3 = 2I$.



Решение

Поставленному условию удовлетворяет точка M (в точке N напряженность результирующего поля $H \neq 0$, так как в ней по принципу суперпозиции модули векторов индукции \vec{B}_1, \vec{B}_2 и \vec{B}_3 будут складываться).

Для магнитного поля в вакууме $B = \mu_0 H$, откуда $H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{I}{2\pi a}$, так как

проводники прямолинейные.

Для точки M по принципу суперпозиции

$$\vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \vec{H}_3 = 0, \text{ или } H_1 - H_2 + H_3 = 0;$$

$$\frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{AB - a} + \frac{2}{AC - a} \right) = 0,$$

где a – расстояние от первого проводника до точки M .

Решая это уравнение, получим $a = 3,3$ см.

Ответ: искомая точка находится на прямой AC на расстоянии $3,3$ см от первого проводника.

Задачи по теме:

1. Прямой провод длиной 10 см, по которому течет ток силой 20 А, находится в однородном магнитном поле с индукцией $0,01$ Тл. Найти угол между направлением магнитной индукции и тока, если на проводник действует сила 10 мН. **Ответ: $\alpha=30^\circ$**
2. Определить магнитную индукцию в центре кругового проволочного витка радиусом 10 см, по которому течет ток 1 А. **Ответ: $6,28$ мкТл**
3. В магнитном поле с индукцией $0,1$ Тл расположен стержень длиной 1 м, который вращается перпендикулярно к направлению линий магнитной индукции. Ось вращения проходит через один из концов стержня. Определить поток магнитной индукции сквозь поверхность, которую образует стержень при каждом обороте. **Ответ: $0,3$ Вб**