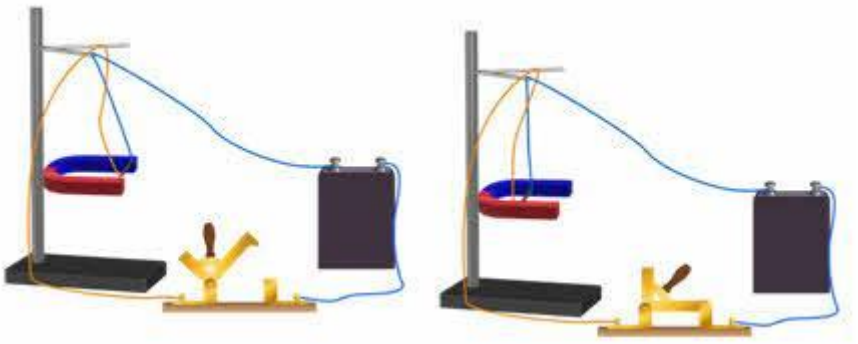
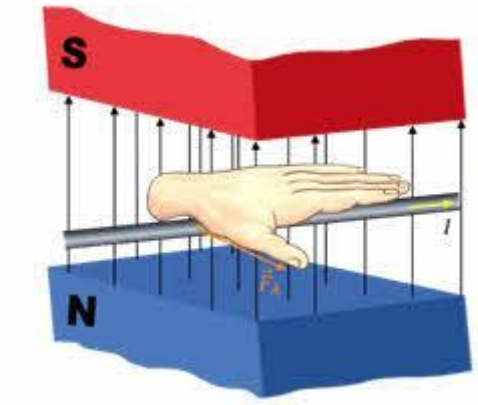
Урок
"Действие магнитного поля на проводник с током"

На прошлом уроке мы с вами установили, что о существовании магнитного поля можно судить по наличию силы, действующей на проводник с током. Эту силу называют **силой Ампера,** в честь французского учёного Адре Мари Ампера.
Тогда логично предположить, что если мы поместим проводник с током в магнитное поле, например в поле постоянного магнита, то на него будет действовать сила со стороны этого поля — магнитная сила. Проверим это предположение на опыте. Для этого возьмём проводник с током и расположим его так, чтобы только один его прямолинейный участок оказался в магнитном поле, а остальные части цепи находились в областях пространства, где магнитное поле слабое и его действием на эти части цепи можно пренебречь. Замкнув цепь, мы заметим, что проводник придёт в движение.



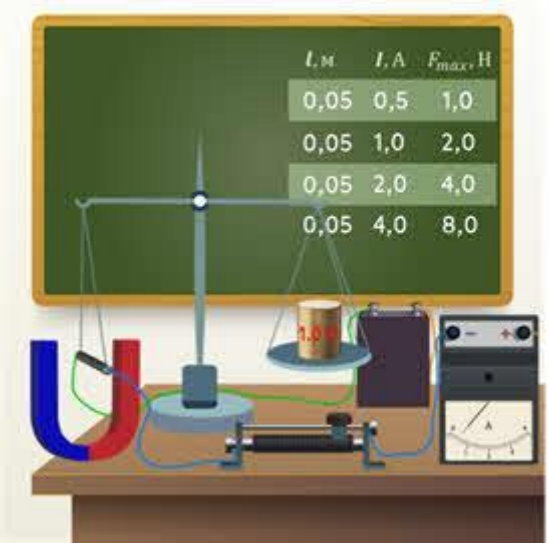
Уберём магнит, и проводник двигаться не будет. Значит, со стороны магнитного поля на проводник с током действует сила так же, как действует сила со стороны магнитного поля на магнитную стрелку. Изменяя направление тока или направление силовых линий магнитного поля, легко заметить, что при этом меняется и направление движения проводника, а значит, и направление действующей на проводник силы.

Направление действующей на проводник с током силы Ампера в магнитном поле можно определить, пользуясь **правилом левой руки. Руку располагают так, чтобы силовые линии поля перпендикулярно входили в ладонь, четыре пальца были направлены по току, тогда отставленный на 90° большой палец расположится вдоль направления действующей на проводник силы**.



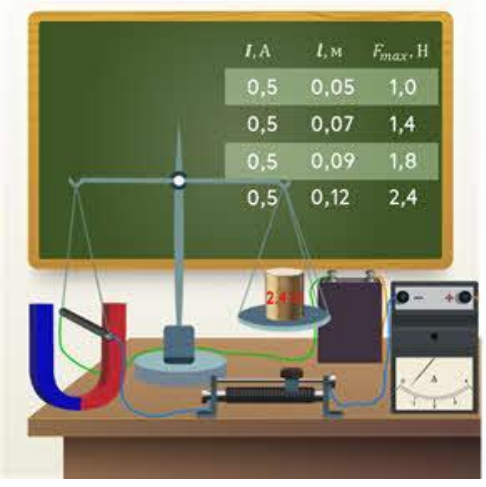
Рассмотрим теперь, от чего зависит величина этой силы. Для этого опять обратимся к опыту. Подвесим к левому плечу коромысла рычажных весов линейный проводник и поместим его между полюсами магнита так, чтобы он был перпендикулярен силовым линиям магнитного поля. Последовательно с этим проводником включим амперметр и реостат, с помощью которого можно менять силу тока в нашем проводнике. Уравновесим весы и замкнём цепь.

Не трудно заметить, что равновесие весов нарушилось. Чтобы его восстановить, на правую чашку придётся положить добавочный груз, вес которою будет равен силе, действующей на проводник вертикально вниз.



Теперь будем изменять ток в нашем проводнике в целое число раз. Как видим, увеличение силы тока в целое число раз приводит к увеличение в целое число раз силы, действующей на проводник. То есть сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током прямо пропорциональна силе этого тока.

А теперь проверим, зависит ли эта сила от длины проводника. Для этого будем помещать в магнитное поле проводники разной длины при одном и том же токе. Как видим, сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током, прямо пропорциональна длине части проводника, расположенной в магнитном поле.



На основании проведённых опытов мы с вами можем утверждать, что **максимальная сила, действующая со стороны магнитного поля на участок проводника, по которому идёт ток, прямо пропорциональна произведению силы тока на длину участка проводника.**
Однако при этом отношение силы к длине проводника и к току в нём есть величина постоянная, не зависящая ни от длины проводника, ни от тока в нём. Следовательно, величина этого отношения может служить характеристикой магнитного поля. Эту величину и называют **индукцией магнитного поля или просто магнитной индукцией.**

$$B = \frac{F_{max}}{I\Delta l}.$$

В системе единиц СИ за единицу индукции магнитного поля принимается индукция такого однородного магнитного поля, которое действует с силой один ньютон на каждый метр длины прямолинейного проводника, расположенного перпендикулярно направлению индукции поля, если по этому проводнику течёт ток в один ампер:

$$1\ \text{Тл} = \frac{1\ \text{Н}}{1\ \text{А} \cdot 1\ \text{м}} = 1\ \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}.$$

Эта единица измерения названа теслой в честь великого сербского инженера и изобретателя Николы Тесла.

Напомним вам, что **индукция магнитного поля — это векторная величина.** А её направление в данной точке совпадает с направлением силовой магнитной линии, проходящей через эту точку. Так же в системе СИ индукция магнитного поля является силовой характеристикой магнитного поля, подобно тому, как напряжённость электрического поля является силовой характеристикой поля электрического.
Зная индукцию магнитного поля, можно рассчитать максимальную силу Ампера, действующую на проводник с током со стороны магнитного поля:

$$F_{max} = IBl$$

.

В общем же случае, сила Ампера будет зависеть и от ориентации проводника в магнитном поле. И действительно, если в нашем первом опыте менять ориентацию проводника в магнитном поле, то можно заметить, что модуль действующей силы зависит от угла между направлениями тока в проводнике и магнитной индукции. Причём модуль силы обращается в ноль тогда, когда направление тока в проводнике и направление вектора магнитной индукции совпадают.

Таким образом, в общем случае **модуль силы Ампера равен произведению силы тока, модуля вектора магнитной индукции, длины отрезка проводника и синуса угла между направлениями вектора магнитной индукции и элемента тока:**

$$F = IBl \sin \alpha.$$

Это выражение называют **законом Ампера.** Он был установлен Адре Мари Ампером в 1820 году.
В случае, когда магнитное поле создаётся несколькими источниками, то индукцию результирующего магнитного поля определяют по **принципу суперпозиции: если магнитное поле в некоторой точке пространства создаётся несколькими**

источниками, то индукция результирующего магнитного поля в этой точке равна векторной сумме индукций магнитных полей, созданных каждым источником:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + + \vec{B}_n.$$

Теперь, для закрепления материала давайте с вами решим такую задачу. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,25 Тл и имеет вертикальное направление, на двух идеальных нитях горизонтально подвешен прямолинейный проводник массой 40 г. Активная длина проводника располагается в вакууме и равна 20 см. Какой ток течёт по проводнику, если нити отклонились на 45° от вертикали?

ДАНО

$B = 0{,}25$ Тл

$m = 0{,}04$ кг

$l = 0{,}2$ м

$\alpha = 45°$

$I = ?$

РЕШЕНИЕ

Условие равновесия: $\vec{T} + \vec{F}_A + m\vec{g} = \vec{0}$.

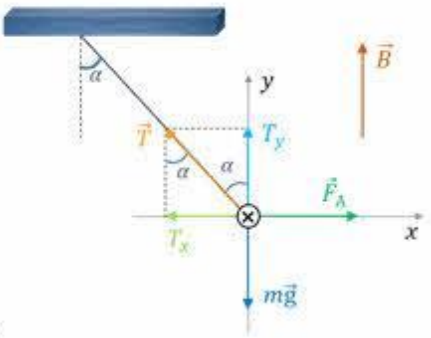
Oy: $T\cos\alpha - mg = 0 \Rightarrow T\cos\alpha = mg$.

Ox: $F_A - T\sin\alpha = 0 \Rightarrow T\sin\alpha = F_A$.

$$\frac{T\sin\alpha}{T\cos\alpha} = \frac{F_A}{mg} \Rightarrow \operatorname{tg}\alpha = \frac{F_A}{mg} = \frac{IBl}{mg} \Rightarrow I = \frac{mg\operatorname{tg}\alpha}{Bl}$$

Сила Ампера: $F_A = IBl\sin\beta = IBl$.

$$I = \frac{0{,}04\ \text{кг} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \operatorname{tg}45°}{0{,}25\ \text{Тл} \cdot 0{,}2\ \text{м}} = \frac{0{,}392\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}}{0{,}05\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{А} \cdot \text{м}} \cdot \text{м}} = 7{,}84\ \text{А}$$



ОТВЕТ: сила тока в проводнике равна 7,84 А.

В заключении отметим, что силы, действующие на проводник с током в магнитном поле, широко используются в технике. Электродвигатели и генераторы, телефоны и микрофоны — во всех этих и множестве других приборах используется взаимодействие токов, токов и магнитов и так далее.

Рассмотрим принцип действия электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы, предназначенных для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного тока.

Итак, приборы магнитоэлектрической системы состоят из постоянного магнита, создающего постоянное магнитное поле, усиливаемое специальными «полюсными башмаками». Между башмаками устанавливается катушка, изготовленная, как правило, из

алюминиевого каркаса (рамки) и обмотки, к которой подводится ток. Внутри рамки помещают железный цилиндр, который обеспечивает радиальное направление линий магнитной индукции в той области, где находятся витки катушки. Рамка укреплена на двух полуосях, на одной из которых закреплена показывающая стрелка. Вращение стрелки уравновешивается спиральными пружинами.

В таких приборах вращающий момент амперовых сил пропорционален силе проходящего по подвижной катушке тока. Противодействующий механический момент создаваемый спиральными пружинами, пропорционален углу закручивания. Следовательно, угол отклонения катушки, и скреплённой с нею стрелки, будет пропорционален силе протекающего по обмотке тока. А линейная зависимость между током и углом отклонения обеспечивает равномерность шкалы прибора.

И давайте рассмотрим ещё принцип работы громкоговорителя, который является одним из самых важных изобретений XX века. Именно его появление (наряду с микрофоном) обеспечило возможность развития систем звукозаписи и звуковоспроизведения.

Громкоговоритель — это прибор, который служит для возбуждения звуковых волн под действием переменного электрического тока, меняющегося со звуковой частотой. Иными словами, громкоговоритель применяется для преобразования электрических колебаний в звуковые.

Патент на первую электродинамическую головку (капсюль) был получен известным изобретателем Александром Беллом в 1876—1877 гг. В нём мембрана из магнитомягкого материала колебалась в магнитном поле постоянного магнита и электромагнита. До конца 1920-х годов большинство громкоговорителей использовало именно этот принцип работы.

Но такие громкоговорители имели высокий уровень нелинейных и частотных искажений. В 1924 году американцы Честер Рейс и Эдвард Келлог из компании «Дженерал электрик» запатентовали наиболее близкую к современной конструкцию динамического громкоговорителя. Уже через два года это устройство появилось в промышленных громкоговорителях и в радиоприёмниках.

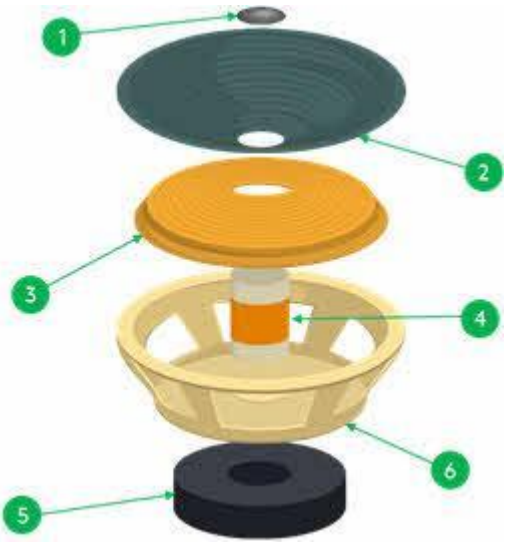
Интересно отметить, что почти одновременно работы по созданию электродинамических громкоговорителей велись и в России. В 1923 году в Петрограде была создана Центральная радиолаборатория, позднее переименованная в Институт радиовещательного приёма и акустики имени Александра Степановича Попова. А уже в 1926 году был создан первый электромагнитный громкоговоритель «Рекорд» и электромагнитный рупорный уличный громкоговоритель. Первые мощные громкоговорители были созданы в 1930—1932 гг. для звукоусиления на Красной площади в Москве.

За многие десятилетия акустические системы претерпели массу изменений. Однако их принцип работы до сих пор остаётся неизменным.

Итак, у громкоговорителя есть две части — подвижная и неподвижная. Подвижную часть, закрытую пылезащитным колпачком, называют диффу́зором. Он создаёт механические колебания, которые мы воспринимаем как звук.

1 — пылезащитный колпачок;
2 — диффузор;
3 — центрирующая шайба;
4 — звуковая катушка;
5 — кольцеобразный магнит;
6 — корзина.

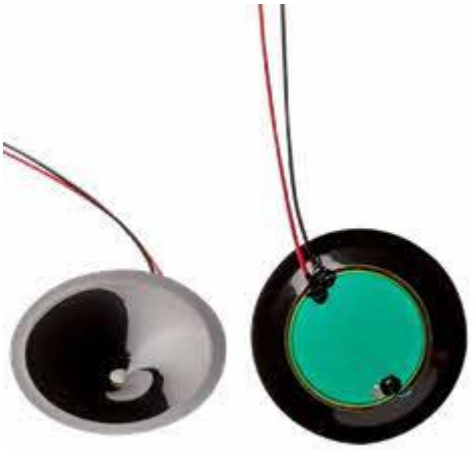
$\eta \approx 1—3\ \%$



За диффу́зором располагается центрирующая шайба, в которой находится звуковая катушка. Катушка может свободно перемещаться в магнитном поле мощного постоянного магнита, кольцевой формы, который крепится к корзине. В зависимости от силы поступаемого на обмотку электрического сигнала, прочно прикреплённая к диффузору катушка приводит последний в колебательные движения. Эти колебания возбуждают окружающий воздух, образовывая направленную звуковую волну.

Общим недостатком всех громкоговорителей является их малый КПД — всего порядка 1—3 %. Но на практике и этих процентов хватает с лихвой.

В настоящее время наряду с электромеханическими громкоговорителями широкое применение получили пьезоэлектрические громкоговорители (или излучатели). Их принцип действия основан на пьезоэлектрическом эффекте, который проявляется в виде деформации некоторых типов кристаллов в электростатическом поле.



Пьезогромкоговорители очень удобны в изготовлении и компактны. Поэтому их широко применяют радио- и мобильных телефонах, ноутбуках, часах-будильниках и даже в устройствах для отпугивания грызунов и насекомых.