

Глава I. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

§ 1. Магнитные взаимодействия. Магнитное поле

1. Взаимодействие постоянных магнитов

Вспомним свойства постоянных магнитов, знакомые вам из курса физики основной школы.

1. На рисунке 1.1 изображены полосовые магниты, подвешенные на нитях. Северный и южный полюсы обозначены только у магнитов, подвешенных справа.

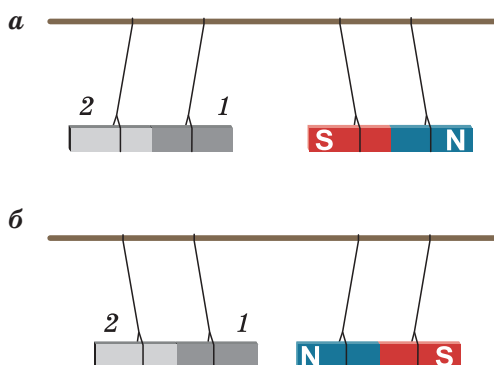


Рис. 1.1

- а) Какой цифрой обозначен северный полюс неокрашенного магнита на рисунке 1.1, а?
- б) Какой цифрой обозначен южный полюс неокрашенного магнита на рисунке 1.1, б?
2. Как вы знаете, Земля представляет собой огромный магнит. Вблизи какого географического полюса Земли находится её северный магнитный полюс?

2. Взаимодействие проводников с током

Электрические и магнитные явления долгое время рассматривались независимо друг от друга. Только в начале 19-го века датский

учёный Г. Эрстед обнаружил, что проводник с током¹⁾ обладает *магнитными свойствами*: помещённая вблизи него магнитная стрелка *поворачивается*. К этому опыту мы вернёмся в одном из заданий в конце параграфа, а сейчас рассмотрим магнитное взаимодействие прямолинейных проводников с токами, открытое на опыте французским физиком А. Ампером.

Взаимодействие прямолинейных проводников с током

Поставим опыт

На рисунке 1.2 изображены результаты опытов по взаимодействию параллельных прямолинейных проводников, по которым текут токи. В качестве проводников в этом опыте часто используют ленту из фольги, потому что при этом заметнее изгиб проводника, на который действует сила со стороны другого проводника.

3. В каком случае проводники *притягиваются* — когда токи в проводниках текут в одном направлении или в противоположных? В каком случае проводники *отталкиваются*?

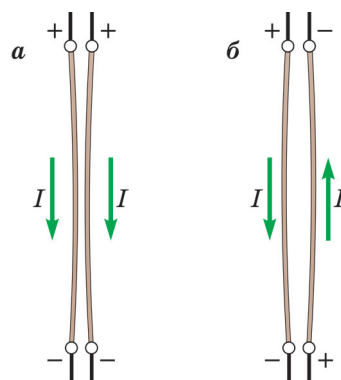


Рис. 1.2

4. Можно ли считать, что описанное выше взаимодействие проводников с токами имеет электрическую природу?

Итак, в описанном опыте проявляются *магнитные свойства* проводников с токами.

Единица силы тока

Взаимодействие прямолинейных проводников с токами выбрали для определения *единицы силы тока* в СИ — *ампера (А)*.

Сила тока в каждом из двух параллельных бесконечно длинных проводников очень малого поперечного сечения, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга, равна 1 А, если эти проводники взаимодействуют с силами, равными $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины²⁾.

Единица электрического заряда в СИ — *кулон (Кл)* связана с единицей силы тока *ампер (А)* соотношением $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$.

¹⁾ Для краткости мы будем называть так проводник, по которому течёт ток.

²⁾ Эта информация приведена исключительно в справочных целях.

Взаимодействие витков и катушек с током

Зная, как взаимодействуют прямолнейные проводники с токами, можно предсказать, как будут взаимодействовать круговые витки с токами.

5. В какой паре витков с токами из изображённых на рисунках 1.3, *а*, *б* витки притягиваются, а в какой — отталкиваются?

Перейдём от витков с токами к катушкам с токами.

6. На каком из рисунков 1.4, *а*, *б* изображены катушки, токи в которых направлены одинаково? Противоположно?

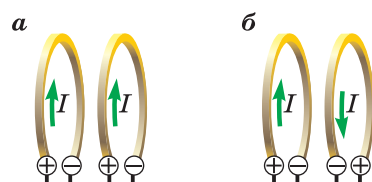


Рис. 1.3

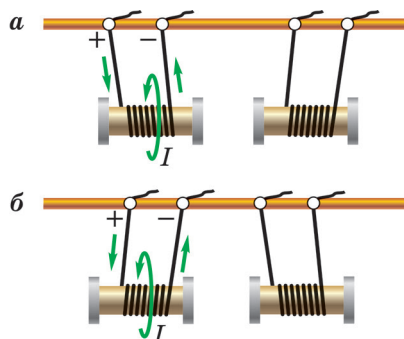


Рис. 1.4

3. Магнитные свойства вещества

Гипотеза Ампера

Сравнивая взаимодействие катушек с токами (см. рис. 1.4) и взаимодействие постоянных магнитов (см. рис. 1.1), легко заметить их сходство. Основываясь на этом наблюдении, Ампер предположил, что внутри постоянных магнитов циркулируют незатухающие одинаково направленные «молекулярные токи» (рис. 1.5, *а*).

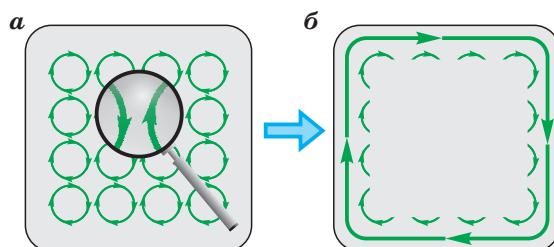


Рис. 1.5

В толще магнита соседние молекулярные токи направлены противоположно. Поэтому они взаимно компенсируют друг друга. Зато вблизи поверхности магнита все молекулярные токи направлены одинаково (рис. 1.5, *б*), и в результате они как бы образуют ток, текущий по поверхности магнита, подобно току в катушке. Это и объясняло, по мнению Ампера, магнитные свойства вещества.



7. Основываясь на гипотезе Ампера, объясните, почему при разламывании полосового магнита образуются снова два магнита, у каждого из которых есть северный и южный полюсы.

Ферромагнетики

Гипотеза Ампера была очень красивой, однако дальнейшие исследования не подтвердили, что свойства постоянных магнитов обусловлены «молекулярными токами».

Выяснилось, что магнитные свойства постоянных магнитов связаны с тем, что каждый электрон сам по себе является крошечным магнетиком. В веществах, из которых можно изготовить постоянные магниты, при определённых условиях некоторая (сравнительно небольшая) часть электронов-магнетиков ориентируется одинаково. В результате образец вещества начинает проявлять магнитные свойства. Эти вещества называют *ферромагнетиками*. Наиболее распространённые ферромагнетики — железо и его сплавы (сталь и чугун).

Магнитные свойства ферромагнетика исчезают, если нагреть его до температуры, которую называли *точкой Кюри* в честь французского физика П. Кюри. Например, точка Кюри для железа равна 753 °С.

4. Магнитное поле

Английский учёный М. Фарадей предположил, что *магнитные взаимодействия*, подобно электрическим, *осуществляются посредством поля*, которое называли *магнитным полем*.

Как мы уже знаем, магнитными свойствами обладают проводники с токами. Следовательно, *проводник с током является источником магнитного поля*.

Электрический ток представляет собой направленное движение заряженных частиц. Следовательно, *движущаяся заряженная частица является источником магнитного поля*.

Магнитное взаимодействие постоянных магнитов обусловлено магнитными свойствами электронов. Выяснилось, что и другие мельчайшие частицы вещества, которые называют *элементарными* (например, протон и нейтрон, из которых состоят атомные ядра) тоже обладают магнитными свойствами. Следовательно, *источниками магнитного поля могут быть элементарные частицы* (даже находящиеся в покое и даже не имеющие электрического заряда — например, нейтрон, входящий в состав атомных ядер).

Скоро мы узнаем, что *источником магнитного поля является также изменяющееся во времени электрическое поле*.

Вектор магнитной индукции

Магнитное поле проявляет себя тем, что оно действует с некоторой *силой* на проводник с током, на движущуюся заряженную частицу или на полюсы постоянного магнита.

Сила — это векторная величина, поэтому естественно ожидать, что магнитное поле характеризуется также *векторной* величиной. Эту величину называют *магнитной индукцией* и обозначают $\vec{B}$.

За направление вектора магнитной индукции $\vec{B}$ принимают направление, на которое указывает *северный* полюс свободно вращающейся магнитной стрелки (рис. 1.6).

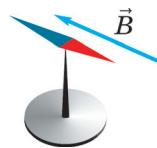


Рис. 1.6

Линии магнитной индукции

Поставим опыт

Если поместить небольшие магнитные стрелки вблизи постоянного магнита, то можно заметить, что они поворачиваются, выстраиваясь при этом вдоль некоторых линий (рис. 1.7).

Эти линии называют *линиями магнитной индукции* или *магнитными линиями*. Описанный опыт показывает, что

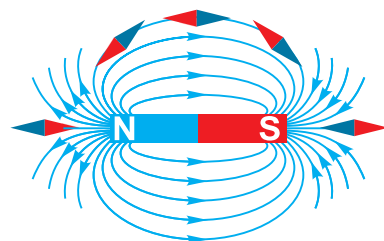


Рис. 1.7

касательная к линии магнитной индукции в данной точке пространства показывает направление вектора магнитной индукции $\vec{B}$ в этой точке.

На рисунках 1.8, *а*, *б* изображены линии магнитной индукции поля, созданного катушкой с током.

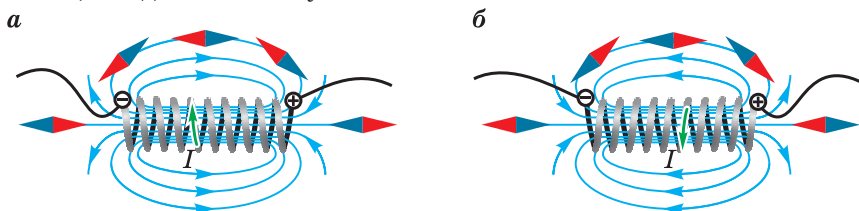


Рис. 1.8

8. Сравните магнитные линии поля, созданного катушкой с током, с магнитными линиями поля, созданного полосовым магнитом. Что у них общего и чем они отличаются?

Нетрудно заметить, что магнитные линии поля, созданного катушкой с током, похожи по форме на магнитные линии поля, соз-

данного полосовым магнитом. Отличие состоит в том, что магнитные линии поля, созданного полосовым магнитом, выходят из северного полюса и входят в южный полюс и поэтому *кажутся* незамкнутыми, а магнитные линии поля, созданного катушкой с током, *замкнуты*. На самом же деле магнитные линии поля, созданного полосовым магнитом, тоже *замкнуты*: они замыкаются *внутри* магнита, потому что внутри магнита тоже есть магнитное поле.

Особенность магнитных линий состоит в том, что они, в отличие от линий напряжённости электрического поля, замкнуты *всегда*.

9. Чем отличаются опыты, схематически изображённые на рисунках 1.8, *а* и *б*? Какой вывод можно сделать из этого наблюдения?

5. Правило буравчика

Правило буравчика для витка или катушки с током

Мы видели, что при изменении направления тока в катушке изменяется и направление магнитных линий поля, созданного этим током. В связи с этим возникает вопрос: как связано направление линий магнитной индукции поля, созданного катушкой с током, с направлением тока в катушке?

Ответ на этот вопрос даёт правило, называемое *правилом правого буравчика* или, сокращённо, *правилом буравчика*.

Если вращать буравчик с правой резьбой так, чтобы направление вращения ручки буравчика совпадало с направлением тока в катушке или витке, то направление поступательного движения буравчика покажет направление линий магнитной индукции поля внутри катушки или в центре витка (рис. 1.9, *а*, *б*).

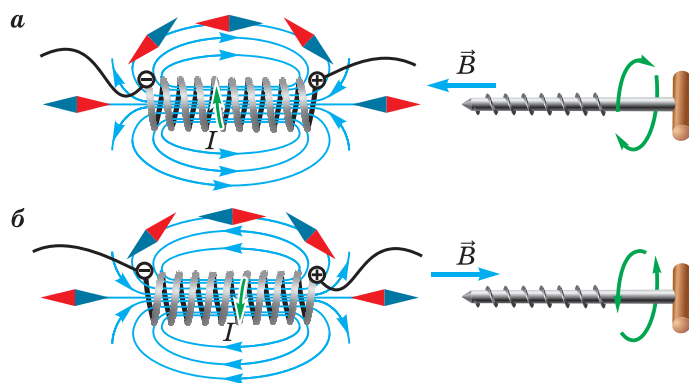


Рис. 1.9

10. Чем отличаются рисунки 1.9, *а* и *б*?

На примере правила буравчика мы видим, что при изучении магнитных явлений «используются» все *три* измерения пространства. Это в некоторой степени затрудняет изучение магнитных явлений, поэтому потренируемся в постановке и решении задач, для решения которых надо применять правило буравчика.

11. На горизонтальном столе лежит проволочный виток. Мы смотрим на него сверху.

- Как направлен вектор магнитной индукции поля в центре витка, если по нему течёт ток: по часовой стрелке? против часовой стрелки?
- В каком направлении движутся по витку свободные электроны (по часовой стрелке или против неё), если магнитная индукция поля, созданного током в витке, направлена в центре витка вниз? вверх?

Правило буравчика для прямолинейного проводника с током

Изучим теперь магнитное поле, созданное прямолинейным проводником с током.

Поставим опыт

На рисунках 1.10, *а*, *б* изображены магнитные стрелки, расположенные вблизи прямолинейных проводников с токами.

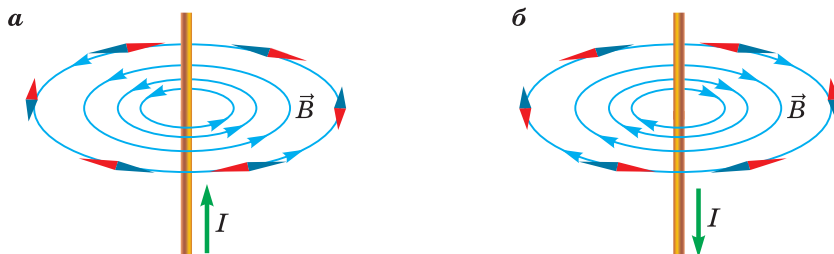


Рис. 1.10

Мы видим, что они располагаются по касательным к окружностям, центры которых находятся на оси проводника. Следовательно, эти окружности представляют собой магнитные линии поля, созданного прямолинейным проводником с током.

12. Чем отличаются опыты, схематически изображённые на рисунках 1.10, *а* и *б*? Какой вывод можно сделать из этого наблюдения?

Направление магнитных линий поля, созданного прямолинейным проводником с током, связано с направлением тока в проводнике правилом, которое называют также *правилом буравчика*.

Если вращать буравчик с правой резьбой так, чтобы направление его поступательного движения совпадало с направлением тока, то направление вращения ручки буравчика покажет направление линий магнитной индукции поля, созданного этим током (рис. 1.11).

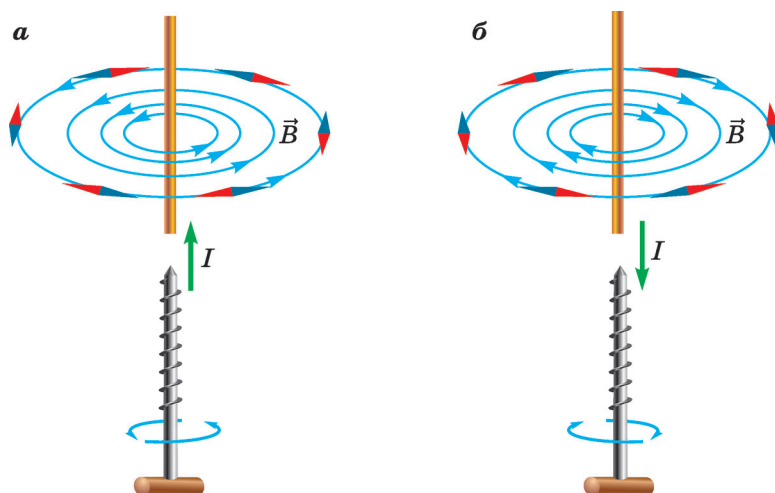


Рис. 1.11

13. Чем отличаются рисунки 1.11, а и б?



Обозначение направления для векторов и тока

При изучении магнитных явлений надо изображать на чертежах векторы, расположенные не только в плоскости чертежа, но и перпендикулярные этой плоскости, а также проводники с токами, направленными перпендикулярно плоскости чертежа.

Мы будем использовать обозначения¹⁾, показанные на рисунке 1.12. Слева изображены векторы магнитной индукции, ток и сила, направленные «от нас», а справа — направленные «к нам».

Потренируемся в использовании новых обозначений и правила буравчика для изучения магнитного поля, созданного прямолинейным проводником с током.

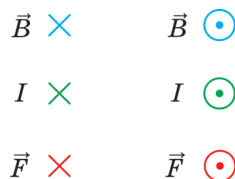


Рис. 1.12

1) Эти обозначения обусловлены представлением вектора в виде стрелы с хвостовым оперением.



14. На рисунках 1.13, *a*, *б* изображены прямолинейные проводники с токами и отмечены точки *A* и *C*. Перенесите рисунки в тетрадь и укажите на них направление вектора магнитной индукции поля, созданного каждым из токов, в отмеченных точках.

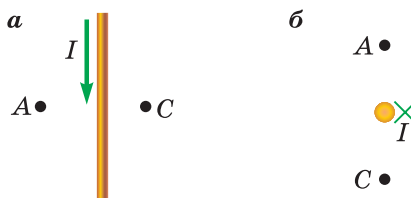


Рис. 1.13

Принцип суперпозиции

Опыт показывает, что

вектор магнитной индукции поля, создаваемого несколькими источниками поля, равен векторной сумме векторов магнитной индукции полей, создаваемых каждым источником поля.

Это утверждение называют *принципом суперпозиции для магнитного поля*.

Как «увидеть» линии магнитной индукции

Стальные или железные опилки в магнитном поле намагничиваются, превращаясь в очень маленькие магнитные стрелки, которые выстраиваются вдоль магнитных линий. Благодаря этому невидимые магнитные линии можно сделать «видимыми».

На рисунке 1.14 изображены опилки, насыпанные на бумажный лист, находящийся над полосовым магнитом.

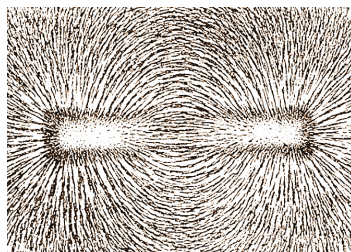


Рис. 1.14

15. Найдите в тексте этого параграфа рисунок, напоминающий «картину» магнитных линий на рисунке 1.14. Можно ли определить по рисунку 1.14, где находится северный и южный полюс магнита? Если нет, то что надо сделать, чтобы определить, где находятся эти полюсы?
16. Опишите опыт, в результате которого получилась «картина» магнитных линий, изображённая на рисунке 1.15.

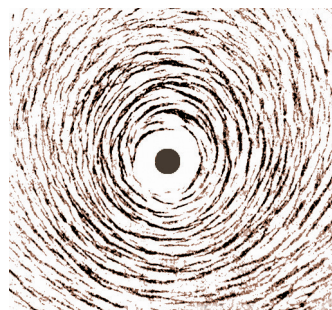
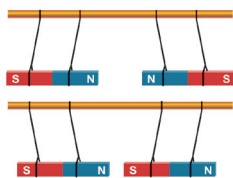


Рис. 1.15

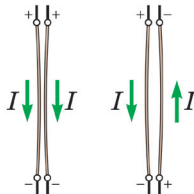
ЧТО МЫ УЗНАЛИ

Магнитное взаимодействие

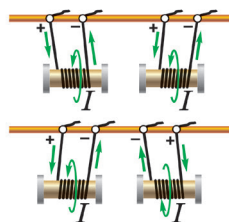
Взаимодействие постоянных магнитов



Взаимодействие проводников с током



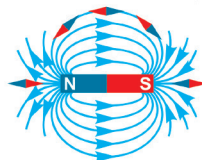
Взаимодействие катушек с током



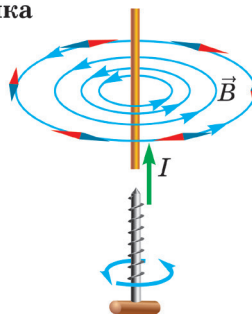
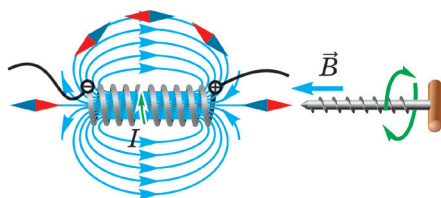
Вектор магнитной индукции



Линии магнитной индукции



Правило буравчика



? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

17. Полосовой магнит разломили на три части, как показано на рисунке 1.16. Перенесите рисунок в тетрадь и отметьте цветом полюсы A и B средней части магнита.

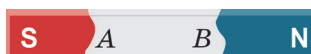


Рис. 1.16

18. На рисунке 1.17 изображён вектор магнитной индукции магнитного поля. Будет ли устойчивым показанное на рисунке положение магнитной стрелки, помещённой в это поле?

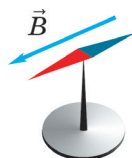


Рис. 1.17

19. Перенесите рисунки 1.18, a , b в тетрадь и обозначьте на них полюсы магнитов.

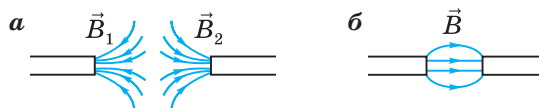


Рис. 1.18

20. На рисунке 1.19 изображены магнитные линии полосового магнита. Перенесите рисунок в тетрадь и обозначьте на нём полюсы магнита. Схематически изобразите устойчивые положения магнитных стрелок в точках A , B , C .

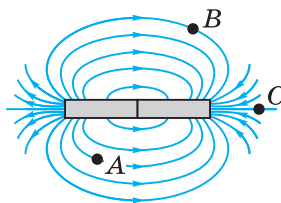


Рис. 1.19

21. В начале 19-го века Г. Эрстед обнаружил магнитное действие проводника с током. На рисунках 1.20, *а—б* изображена схема этого опыта (магнитная стрелка находится под проводником).

- Объясните, почему до включения в проводнике тока проводник надо расположить вдоль географического меридиана (рис. 1.20, *а*).
- Перенесите рисунки 1.20, *б* и *в* в тетрадь и обозначьте полюсы магнитных стрелок.

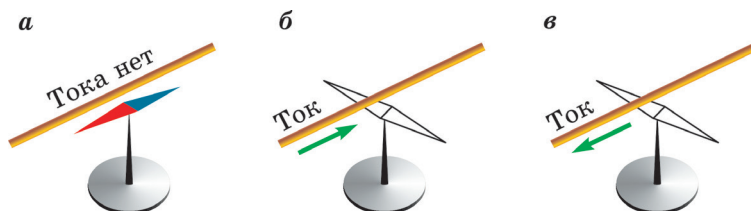


Рис. 1.20

22. Определите направление линий магнитной индукции в каждом из случаев, изображённых на рисунках 1.21, *а—ж*.

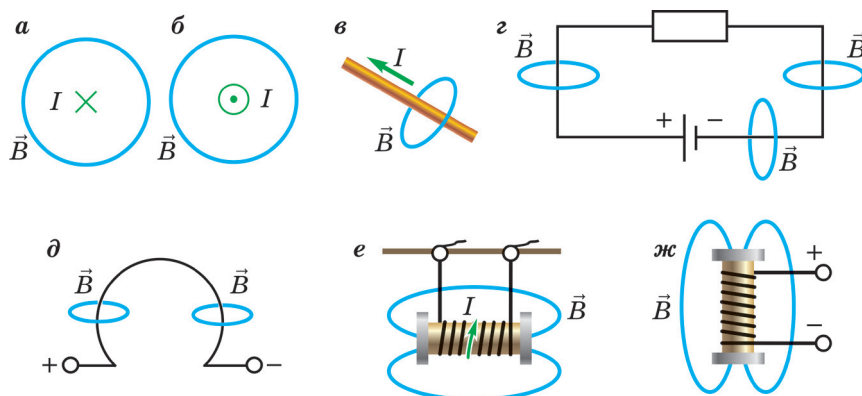


Рис. 1.21

§ 2. Закон Ампера

1. Модуль вектора магнитной индукции

Силу, действующую со стороны магнитного поля на проводник с током, называют *силой Ампера*.

Силу Ампера можно считать мерой «интенсивности» магнитного поля в той точке пространства, где находится данный проводник: чем сильнее поле, тем больше сила, действующая на этот проводник.

В этом параграфе нас будет интересовать проводник с током не как источник магнитного поля, а как средство для изучения магнитного поля, созданного *другими* источниками, — подобно тому, как мы использовали ранее пробный электрический заряд для изучения электрического поля, созданного другими зарядами.

Опыт показывает, что модуль силы Ампера достигает своего максимального значения $F_{\text{макс}}$, когда этот проводник *перпендикулярен* вектору магнитной индукции в данной точке (при заданной силе тока и длине проводника).

При этом значение $F_{\text{макс}}$ прямо пропорционально длине проводника l и силе тока I :

$$F_{\text{макс}} \sim Il.$$

Отсюда следует, что *отношение* $\frac{F_{\text{макс}}}{Il}$ не зависит ни от длины проводника, ни от силы тока в нём. Следовательно, оно является характеристикой *самого магнитного поля* в том месте, где находится данный проводник.

Модуль магнитной индукции равен отношению силы, действующей на проводник с током, расположенный *перпендикулярно* вектору магнитной индукции, к произведению силы тока в проводнике на длину проводника:

$$B = \frac{F_{\text{макс}}}{Il}.$$



А. Ампер
(1775—1836)

Единицу магнитной индукции в СИ назвали *тесла* (Тл) в честь сербского учёного и изобретателя Н. Теслы.

1. Докажите, что $1 \text{ Тл} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}}$.

2. Найдите в Интернете информацию о самом сильном магнитном поле, полученном учёными в настоящее время. Чему равен модуль магнитной индукции этого поля?



2. Закон Ампера

Ампер установил на опыте, что

если проводник длиной l , сила тока в котором равна I , расположен под углом α к направлению вектора магнитной индукции (рис. 2.1), то модуль действующей на него силы выражается формулой

$$F_A = BIl \sin \alpha.$$

Это утверждение называют *законом Ампера*.

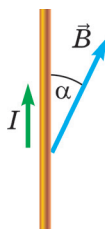


Рис. 2.1

3. При каком условии действующая на проводник с током в магнитном поле сила Ампера равна нулю?
4. Сколько величин входит в формулу закона Ампера? Используя эту формулу, поставьте и решите по одной задаче на нахождение каждой из этих величин при условии, что численные значения всех остальных величин заданы.



3. Правило левой руки

Направление силы Ампера в случае, когда проводник с током перпендикулярен вектору магнитной индукции

Направление действующей на проводник силы Ампера $\vec{F}_A$ зависит от направления тока I и направления вектора магнитной

индукции $\vec{B}$. Рассмотрим случай, когда проводник с током перпендикулярен вектору магнитной индукции. В таком случае, как показывает опыт, направление силы Ампера можно найти, используя следующее правило, которое называют *правилом левой руки*.

Если левую руку расположить так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали направление тока в проводнике, то отогнутый на 90° в плоскости ладони большой палец покажет направление силы Ампера, действующей на проводник (рис. 2.2).

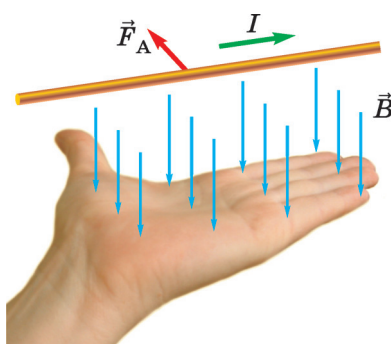


Рис. 2.2

Итак, чтобы найти направление силы Ампера, тоже приходится использовать все *три* измерения пространства, потому что согласно правилу левой руки *направление тока, направление вектора магнитной индукции и направление силы Ампера взаимно перпендикулярны друг другу*.



5. Перенесите рисунки 2.3, а, б, в в тетрадь и добавьте недостающие обозначения физических величин.

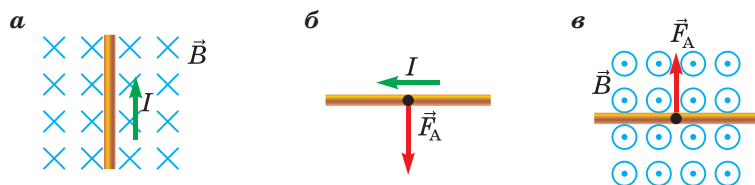


Рис. 2.3

4. Рамка с током в магнитном поле

Поставим опыт

Возьмём прямоугольную рамку с током, которая может свободно вращаться вокруг оси OO_1 , расположим её так, чтобы плоскость рамки была параллельна вектору магнитной индукции поля, и включим ток в рамке (рис. 2.4).

Мы увидим, что рамка *повернётся* и займёт положение, при котором её плоскость *перпендикулярна* вектору магнитной индукции внешнего поля $\vec{B}$. Устойчивое положение равновесия рамки с током в однородном магнитном поле показано на рисунке 2.5.

6. Рамка с током находится во внешнем магнитном поле в положении устойчивого равновесия (см. рис. 2.5). Совпадает ли внутри рамки направление вектора магнитной индукции поля, созданного током в рамке, с направлением магнитной индукции внешнего поля?

Выясним теперь: *почему* рамка с током поворачивается в магнитном поле, чтобы занять указанное выше положение устойчивого равновесия?

7. Пусть в начальном положении плоскость рамки с током *параллельна* вектору магнитной индукции внешнего поля $\vec{B}$ (см. рис. 2.4).

- Перенесите рисунок 2.4 в тетрадь и изобразите на нём силы Ампера, действующие на *вертикальные* стороны рамки с током.
- Как будет двигаться рамка с током под действием этих сил? Изобразите на рисунке схематически направление движения рамки.

Итак, мы видим, что силы Ампера, действующие на противоположные вертикальные стороны рамки с током, направлены *противоположно*, и поэтому они будут *поворачивать* рамку вокруг оси OO_1 .

- Как будут действовать силы Ампера на все стороны рамки, когда вектор магнитной индукции поля $\vec{B}_{\text{рам}}$, созданного током рамки внутри рамки, будет направлен *так же*, как вектор магнитной индукции внешнего поля $\vec{B}$? Сделайте пояснительный рисунок, на котором изобразите силы Ампера, действующие на все стороны рамки.

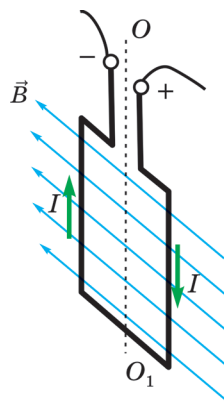


Рис. 2.4

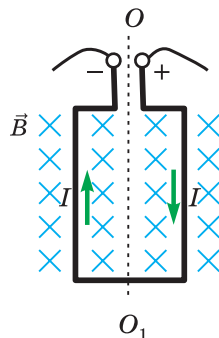


Рис. 2.5



Электроизмерительные приборы

Мы видели, что силы Ампера, действующие на рамку с током, стремятся *повернуть* её в положение устойчивого равновесия. Чем больше сила тока в рамке, тем больше момент этих сил относительно оси вращения, то есть тем больше их «вращающее действие». Поэтому рамку с током можно использовать как основной элемент электроизмерительного прибора (например, амперметра).

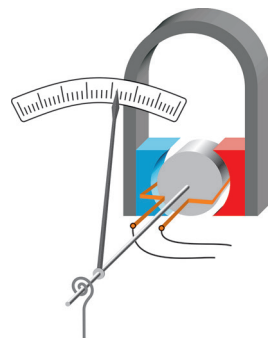


Рис. 2.6

8. На рисунке 2.6 схематически изображён электроизмерительный прибор. При отсутствии тока в рамке она под действием пружины принимает положение, при котором стрелка прибора указывает на нулевое деление шкалы. Объясните принцип действия прибора.

Электродвигатель

Поворот рамки с током в магнитном поле лежит также в основе действия электродвигателя. Простейшая модель электродвигателя постоянного тока изображена на рисунке 2.7, а.

Чтобы подводящие к рамке провода не запутывались при вращении рамки, а также для того, чтобы изменять направление тока в рамке через каждые пол-оборота, ток к рамке подводят с помощью *коллектора*. Он состоит из двух соединённых с рамкой металлических полуколец, ток к которым подводят, используя скользящие контакты («щёпки»).

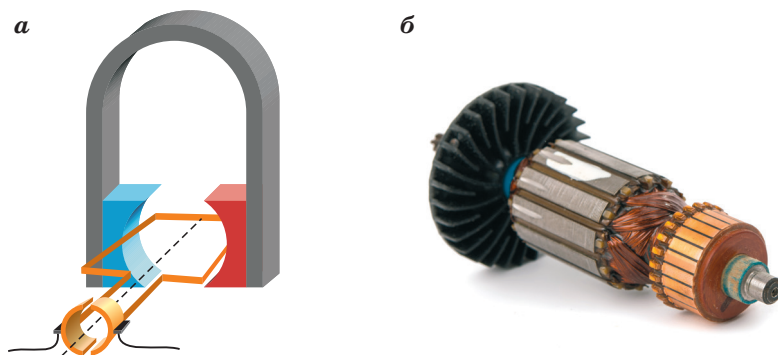
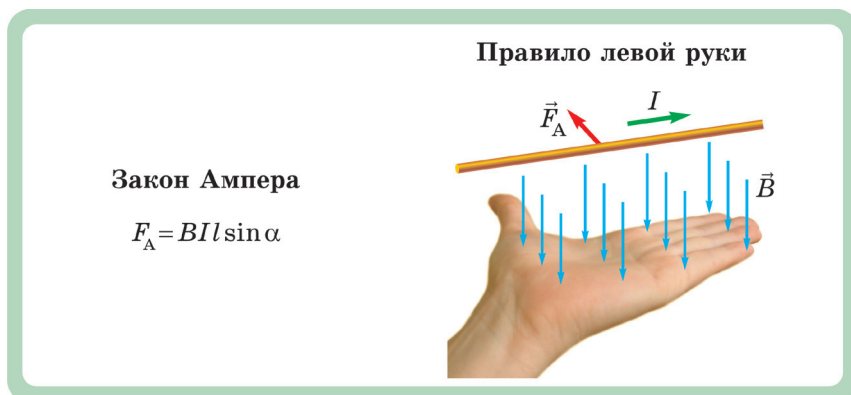


Рис. 2.7

9. Для чего необходимо изменять направление тока в рамке через каждые пол-оборота?

В реальных электродвигателях используют не одну, а много рамок — это позволяет значительно увеличить мощность электродвигателя (рис. 2.7, б). Вращающуюся часть электродвигателя, содержащую рамки, называют *ротором*. Неподвижную же часть, содержащую магниты, называют *статором*. В мощных электродвигателях используются не постоянные магниты, а электромагниты. Коллектор электродвигателя состоит из столько пар пластинок, сколько рамок содержится в роторе двигателя.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ



? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

10. Проводник с током длиной 0,5 м помещён в магнитное поле с индукцией 0,1 Тл. Сила тока в проводнике равна 2 А. Чему равна действующая на проводник сила Ампера, если угол между проводником и вектором магнитной индукции равен:
 - а) 0° ;
 - б) 30° ?
11. Проводник длиной $l = 25$ см расположен под углом $\alpha = 60^\circ$ к направлению вектора магнитной индукции. Сила тока в проводнике $I = 0,3$ А. Сила Ампера, действующая на проводник, равна $F_A = 0,2$ Н. Поставьте по этой ситуации две задачи и найдите ответы на них.
12. На прямолинейный проводник длиной 50 см действует сила Ампера, равная 0,25 Н. Модуль магнитной индукции равен 2 Тл, сила тока в проводнике 0,5 А. Чему равен угол между проводником и вектором магнитной индукции?
13. На проводник длиной 0,5 м, расположенный под углом 30° к вектору магнитной индукции, действует сила Ампера, равная 0,1 Н. Индукция магнитного поля 0,1 Тл. Чему равна сила тока в проводнике?

14. Проводник с током помещён в магнитное поле под углом 30° к вектору магнитной индукции. Изменится ли (и если изменится, то как) сила Ампера, действующая на проводник с током, если его расположить под углом 60° к вектору магнитной индукции?
15. Перенесите рисунки 2.8, *a—з* в тетрадь и добавьте недостающие обозначения физических величин. Если необозначенная величина равна нулю, отметьте это на рисунке.

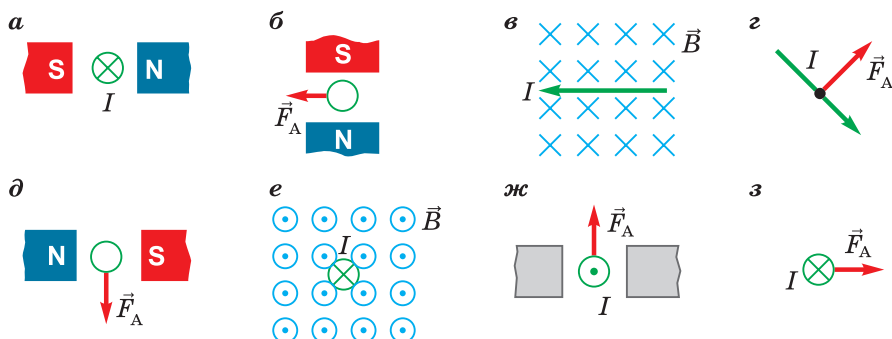


Рис. 2.8

16. На рисунке 2.9 изображена рамка с током, помещённая в однородное магнитное поле. Перенесите рисунок в тетрадь и укажите на нём в одном и том же масштабе силы Ампера, действующие на каждую сторону рамки.

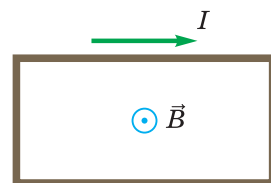


Рис. 2.9

§ 3. Сила Лоренца

1. Модуль силы Лоренца

Действие силы Ампера на проводник с током в магнитном поле обусловлено действием магнитного поля на *движущиеся свободные заряды* в проводнике.

Силу, действующую на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, называют *силой Лоренца* в честь голландского физика Х. Лоренца. Мы будем обозначать её $\vec{F}_L$.

Используя формулу для силы Ампера, можно показать, что

модуль силы Лоренца, действующей на частицу с зарядом q , движущуюся со скоростью, равной по модулю v , выражается формулой

$$F_{\text{Л}} = Bqv \sin \alpha,$$

где B — модуль магнитной индукции, α — угол между направлением скорости частицы и вектором магнитной индукции.

1. В каком случае сила Лоренца, действующая на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле, равна нулю?



2. Направление силы Лоренца

Поскольку за направление тока выбрали направление движения положительно заряженных частиц, направление силы Лоренца для положительно заряженных частиц можно определить, немного видоизменив правило левой руки. Рассмотрим случай, когда скорость частицы перпендикулярна вектору магнитной индукции.

Если левую руку расположить так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали направление скорости *положительно* заряженной частицы, то отогнутый на 90° в плоскости ладони большой палец покажет направление силы, действующей на эту частицу (рис. 3.1).

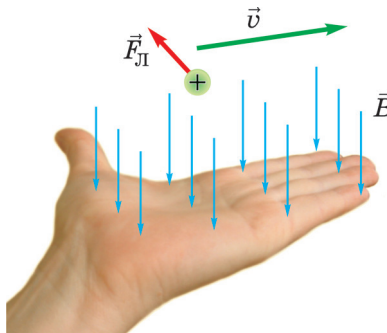


Рис. 3.1

Чтобы найти направление силы Лоренца, действующей на *отрицательно* заряженную частицу (например, электрон), можно найти сначала направление силы Лоренца, действующей на положительно

заряженную частицу, движущуюся в том же направлении, а потом изменить направление силы на *противоположное*.

2. Перенесите рисунки 3.2, а—в в тетрадь и добавьте недостающие обозначения.

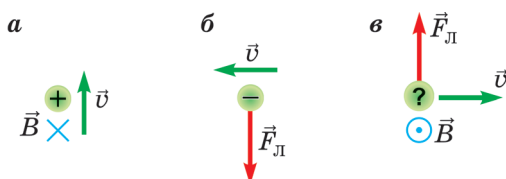


Рис. 3.2

3. Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле

Сила Лоренца перпендикулярна скорости заряженной частицы, поэтому если скорость частицы $\vec{v}$ перпендикулярна вектору магнитной индукции $\vec{B}$, то *в однородном магнитном поле частица будет равномерно двигаться по окружности*: центростремительное ускорение ей будет сообщать сила Лоренца (рис. 3.3).

3. Докажите, что радиус окружности, по которой будет двигаться частица массой m с зарядом q , можно найти по формуле

$$r = \frac{mv}{qB}.$$

4. Докажите, что период обращения частицы при её движении по окружности в магнитном поле выражается формулой

$$T = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Обратите внимание: период обращения частицы в магнитном поле не зависит от скорости частицы!

5. Протон и электрон движутся с одинаковыми по модулю скоростями по окружности в однородном магнитном поле. Вектор магнитной индукции направлен вертикально вверх.

- а) В какой плоскости движутся частицы — горизонтальной или вертикальной?

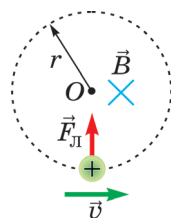
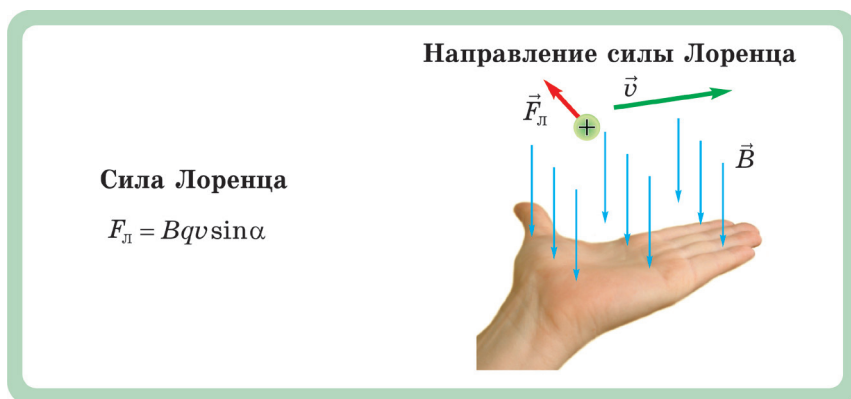


Рис. 3.3

- б) В каком направлении — по часовой стрелке или против неё (если смотреть сверху) движется по окружности протон? электрон?
- в) Какая частица движется по окружности меньшего радиуса? Чему равно отношение радиусов окружностей, по которым движутся частицы?
- г) Период обращения какой частицы больше? Во сколько раз?

ЧТО МЫ УЗНАЛИ



? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

6. Заряженная пылинка влетает в однородное магнитное поле со скоростью 10 м/с, направленной перпендикулярно линиям магнитной индукции. Чему равен заряд пылинки, если на неё действует сила $8 \cdot 10^{-7}$ Н, а модуль магнитной индукции 4 мТл?
7. На протон, влетевший в однородное магнитное поле со скоростью $3 \cdot 10^6$ м/с, направленной перпендикулярно линиям магнитной индукции, со стороны магнитного поля действует сила $3 \cdot 10^{-14}$ Н. Чему равен модуль магнитной индукции? Какова форма траектории, по которой движется протон?
8. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле с постоянной по модулю и направлению скоростью. Изобразите на чертеже направления скорости частицы и вектора магнитной индукции данного поля.

9. Перенесите рисунки 3.4, а—е в тетрадь и добавьте недостающие обозначения физических величин или знак заряда.

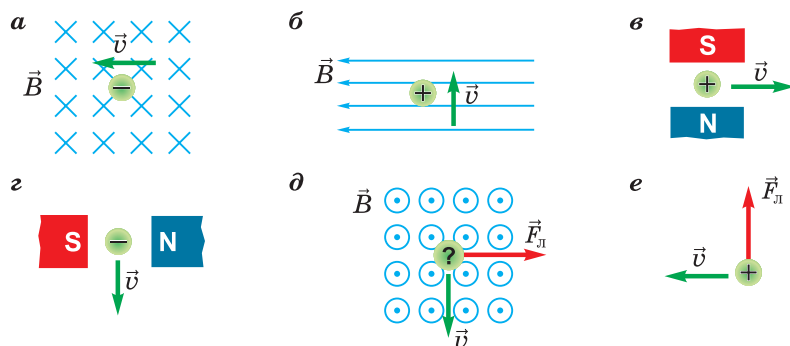


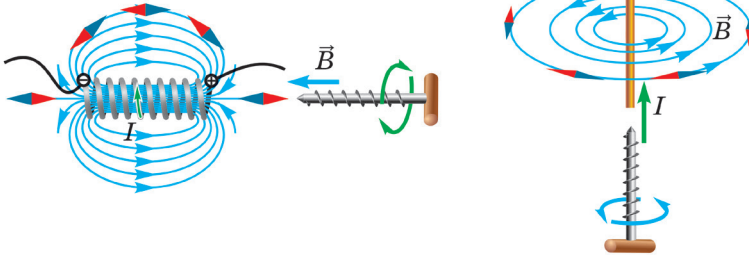
Рис. 3.4

10. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл со скоростью 10^7 м/с, направленной перпендикулярно линиям магнитной индукции.
- С какой силой магнитное поле действует на электрон?
 - Чему равен модуль ускорения электрона?
 - Будет ли изменяться модуль скорости электрона при его движении в магнитном поле?
11. В однородном магнитном поле по окружности радиусом 5 см движется протон. Чему равна скорость протона, если индукция магнитного поля 60 мТл?

ГЛАВНОЕ В ГЛАВЕ I

Магнитное взаимодействие		Вектор магнитной индукции
Взаимодействие постоянных магнитов	Взаимодействие проводников с током	

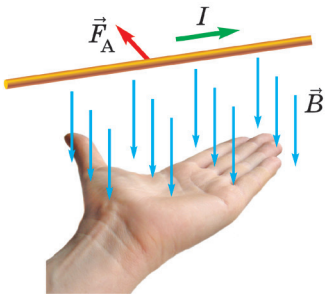
Правило буравчика



Закон Ампера

$$F_A = BIl \sin \alpha$$

Правило левой руки



Сила Лоренца

$$F_L = Bqv \sin \alpha$$

