

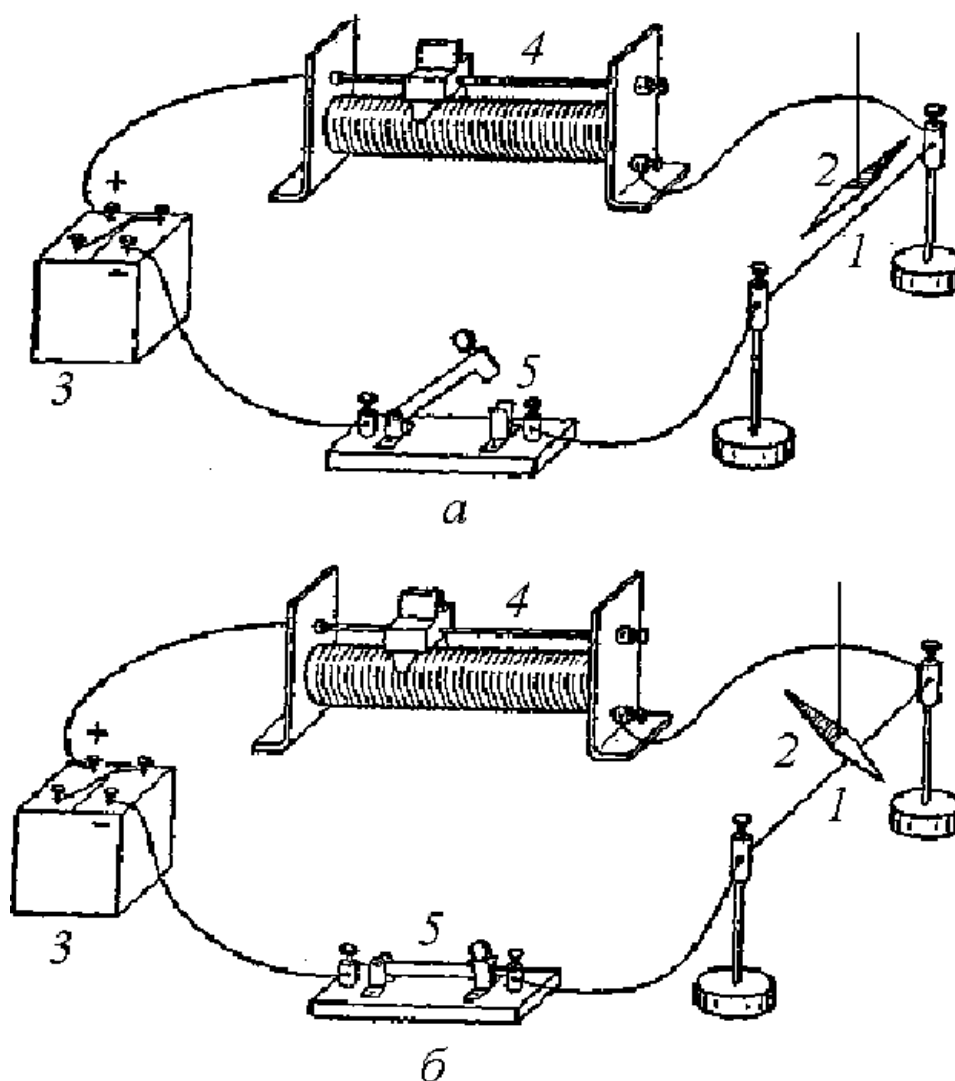
Раздел 3. Электромагнитные явления (16 часов)

Тема 1. Магнитное поле (9 часов)

78/1	0205	0205	0205	Магнитное поле. Магнитное поле прямого тока. Магнитные линии. Опыт Эрстеда.
------	------	------	------	---

Опыт Эрстеда - влияние тока на магнитную стрелку

В 1820 г. датский физик Ханс Христиан Эрстед (1777–1851) собрал электрическую цепь (рис. а):



На рис.: 1 – провод, 2 – магнитная стрелка, подвешенная параллельно проводу, 3 – батарея гальванических элементов, 4 – реостат; 5 – ключ.

... и произвел следующий опыт.

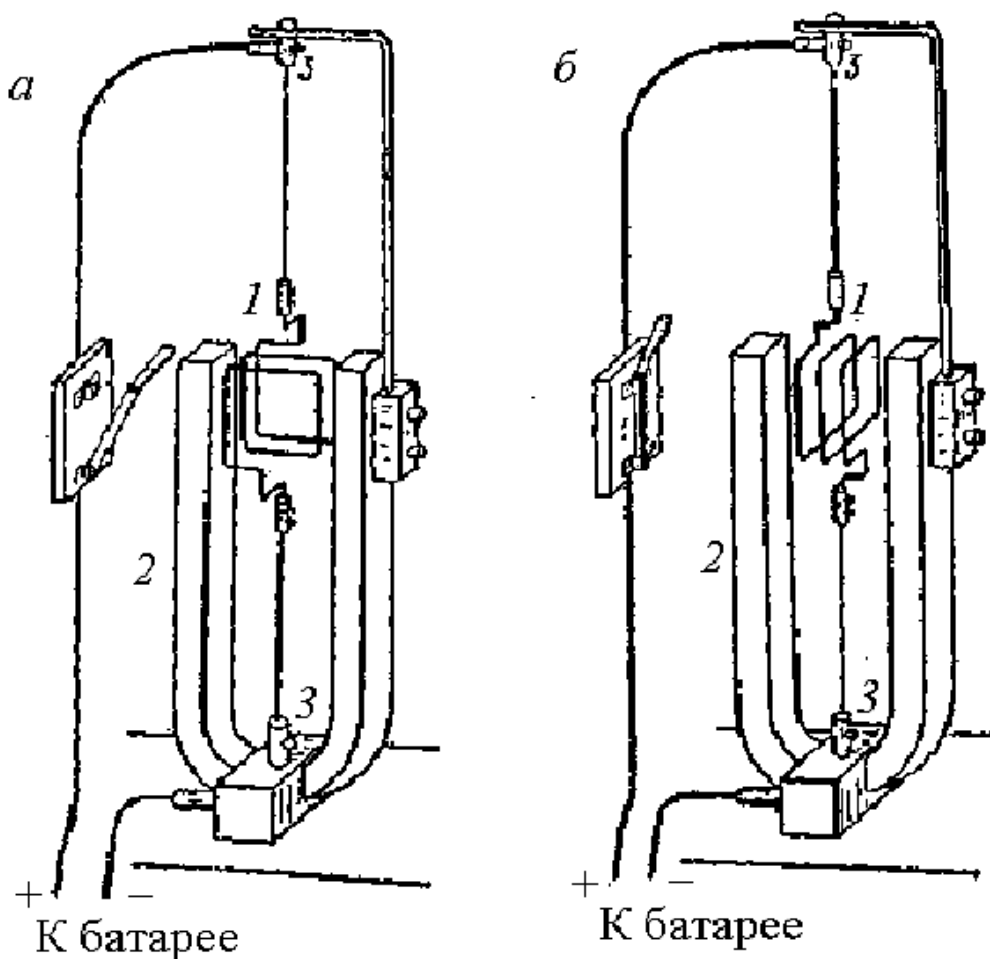
Магнитная стрелка 2 подвешена на тонкой нити над неподвижным проводом 1, расположенным вдоль меридиана, т.е. в направлении север–юг. Стрелка, как известно, устанавливается также приблизительно по линии север – юг, и поэтому располагается примерно параллельно проводу. Но как только замкнем ключ и пустим ток по проводу 1, то увидим, что магнитная стрелка поворачивается, стремясь установиться под прямым углом к нему, т.е. в плоскости, перпендикулярной к проводу (рис. б).

Этот фундаментальный опыт показывает, что в пространстве, окружающем проводник с током, действуют силы, вызывающие движение магнитной стрелки, т.е. силы, подобные тем, которые действуют вблизи естественных и искусственных магнитов. Такие силы называют магнитными силами, так же называют силы, действующие на электрические заряды, электрическими.

Ранее мы ввели понятие электрического поля для обозначения того особого состояния пространства, которое проявляется в действиях электрических сил. Точно так же называют магнитным полем то состояние пространства, которое дает о себе знать действием магнитных сил. Таким образом, *опыт Эрстеда доказывает, что в пространстве, окружающем электрический ток, возникают магнитные силы, т. е. создается магнитное поле.*

Опыт - влияние магнитного поля на рамку стоком

Рамка 1, сделанная из нескольких витков проволоки, свободно подвешена между полюсами неподвижного магнита 2 (рис. а).

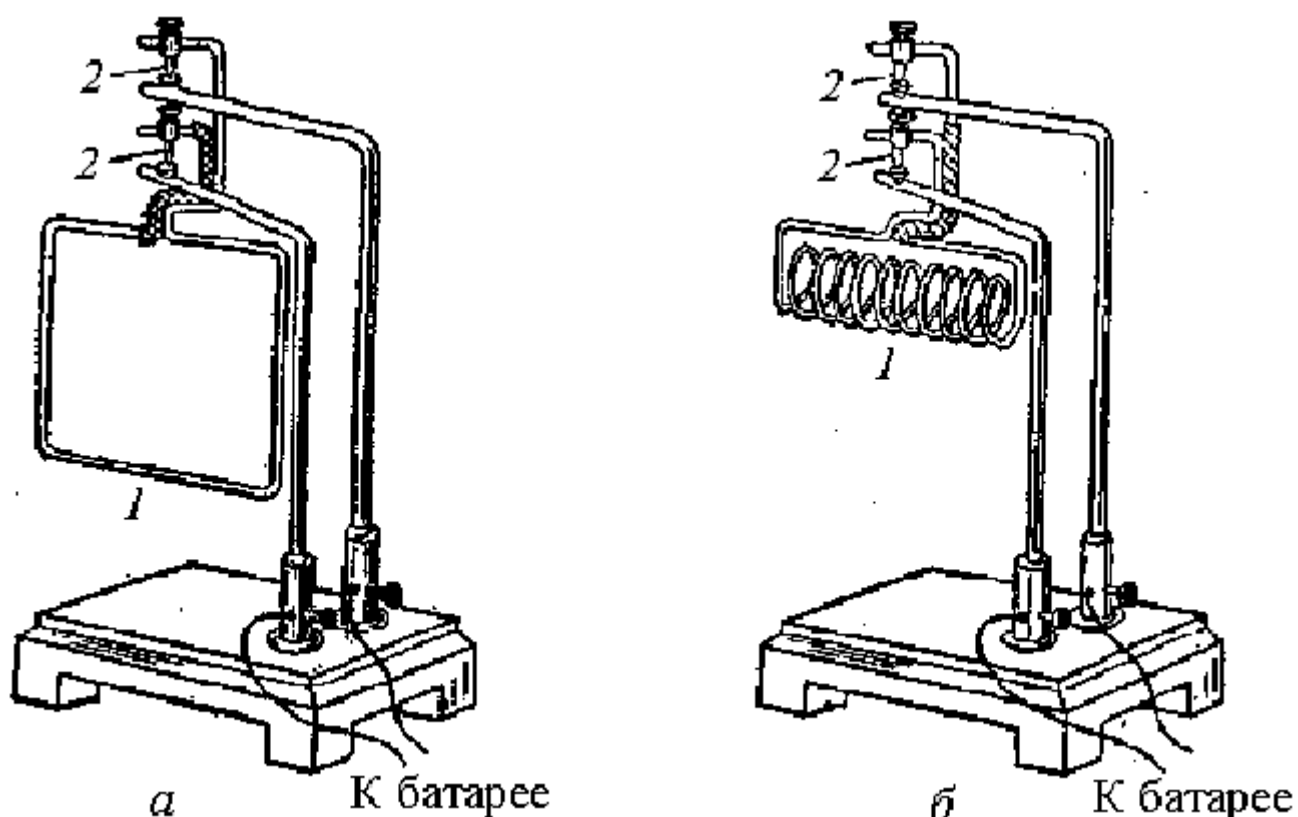


К ней может быть подведен ток через зажимы 3. После включения тока рамка устанавливается перпендикулярно к линии, соединяющей полюсы магнита (рис. б). Такое устройство из магнита и рамки используется в гальванометрах, для измерения постоянного тока.

Опыт - влияние магнитного поля Земли ориентацию рамки СТОКОМ

Магнитная стрелка, могущая свободно вращаться вокруг вертикальной оси, устанавливается, как известно, в определенном направлении – приблизительно с севера на юг. Ориентирует ли Земля также и электрические токи? В том же 1820 г. Ампер обнаружил и ориентирующее влияние Земли на виток с электрическим током.

Прибор Ампера состоял из проволочного витка 1 в форме почти замкнутого кольца диаметра около 40 см или квадратной рамки (рис. а).



Концы витка находятся точно один под другим на небольшом расстоянии друг от друга. К ним прикреплены два стальных острия 2, опущенных в чашечки с ртутью, к которым присоединены проводники, идущие от батареи. Благодаря такому устройству виток мог свободно вращаться на остриях, и при этом движении цепь тока не прерывалась.

Вместо этого можно, конечно, просто подвесить рамку или соленоид на гибких металлических шнурах, как в опыте с рамкой выше (опыт - *влияние магнитного поля на рамку с током*). При замыкании тока виток приходил в движение, и плоскость его устанавливалась приблизительно в направлении с запада на восток. Таким образом, действие магнитного поля Земли на виток с током такое же, как и на магнитную стрелку, ось которой перпендикулярна к плоскости витка. Особенно удобно наблюдать

ориентирующее действие Земли на виток с током, если в приборе Ампера подвесить не один виток, а катушку, или, как говорят, соленоид, состоящий из большого числа таких витков (рис. 6).

Источник: Филатов Е.Н. Физика–11. Часть 2. Механические колебания и волны. Электромагнитные явления. Экспериментальный учебник для профильных физико-математических классов. – М.: ВШМФ «Авангард», 2010. – 436 с. с.109.

79/2	0209	0207	0205	Графическое изображение магнитного поля. Однородные и неоднородные магнитные поля.
------	------	------	------	---

80/3	0210	0207	0207	Магнитное поле катушки с током. Электромагниты и их применение.
------	------	------	------	--

Хорошие постоянные магниты находят себе важные научные и технические применения, например, в электроизмерительных приборах. Но создаваемые ими поля не очень сильны. Кроме того, большим неудобством постоянных магнитов является невозможность быстро изменять магнитную индукцию их поля. В этом отношении гораздо удобнее применение соленоидов с током (электромагнитов), поле которых можно легко изменять, изменяя силу тока в обмотке соленоида. Поле соленоида можно увеличить в сотни и тысячи раз, помещая внутрь него железный сердечник. Именно так и устроено большинство электромагнитов, применяемых в технике.

Простейший электромагнит каждый легко может приготовить себе сам. Достаточно намотать на какой-нибудь железный стержень – болт или кусок железного прута – несколько десятков витков изолированной проволоки и присоединить концы этой обмотки к источнику постоянного тока: аккумулятору или гальванической батарее (рис. 12.8). Нередко электромагниту придают подковообразную форму (рис. 12.9), более выгодную для удержания груза.

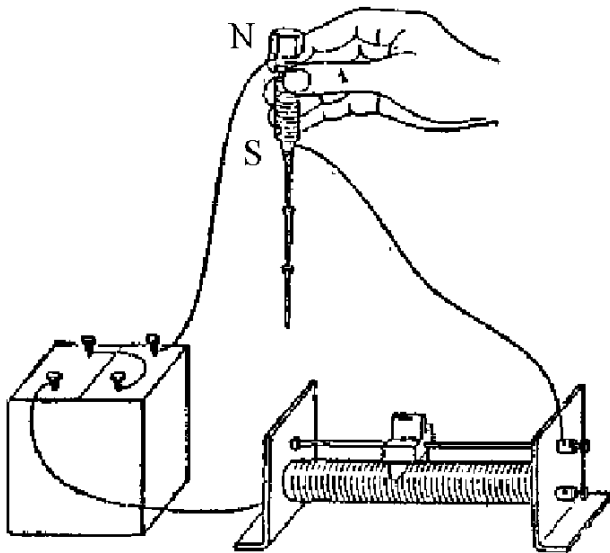


Рис. 8

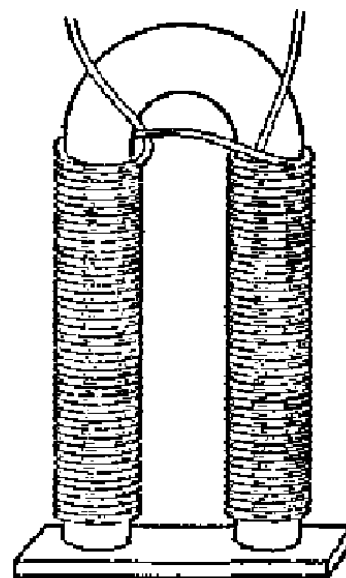


Рис. 9

Поле катушки с железным сердечником значительно сильнее, чем поле катушки без сердечника, потому что железо внутри катушки сильно намагничивается и поле его складывается с полем катушки. Большинство технических применений магнитов основывается на их способности притягивать и удерживать железные предметы. И в этих применениях электромагниты имеют огромные преимущества перед постоянными магнитами, ибо изменение силы тока в обмотке электромагнита позволяет быстро изменять его подъемную силу. Сила, с которой магнит притягивает железо, резко убывает по мере увеличения расстояния между магнитом и железом. Поэтому для определенности подъемной силой магнита условились называть силу, с которой магнит удерживает железо, расположенное в непосредственной близости к нему. Другими словами, подъемная сила магнита равна той силе, которая необходима, чтобы оторвать от магнита притянутый к нему кусок чистого мягкого железа.

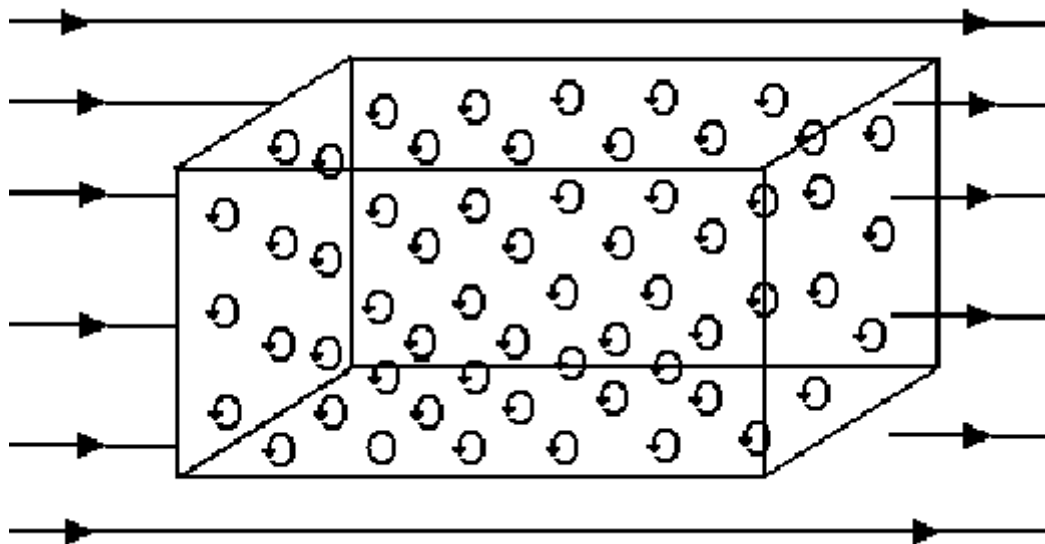
Чтобы получить электромагнит с возможно большей подъемной силой, нужно увеличить площадь соприкосновения полюсов магнита с притягиваемым железным предметом. Когда нужно получить очень сильное магнитное поле, хотя бы и в небольшом пространстве, применяют электромагниты с полюсными наконечниками в виде усеченных конусов (см. рис. 12.4). Тогда в небольшом пространстве между ними можно легко получать поле с магнитной индукцией до 5 Тл. Такие электромагниты применяются преимущественно в физических лабораториях для опытов с сильными магнитными полями.

81/4	0210	0209	209	<p style="text-align: center;">Постоянные магниты.</p> <p>Магнитное поле постоянных магнитов. Магнитное поле Земли.</p>
------	------	------	-----	---

Гипотеза Ампера об элементарных электрических токах

Открытие Эрстеда и Ампера привели к новому и более глубокому представлению о природе магнитных явлений. Опираясь на установленную в этих опытах тождественность магнитных действий магнитов и соответствующим образом

подобранных токов, Ампер решительно отказался от представления о существовании в природе особых магнитных зарядов. С точки зрения Ампера, элементарный магнит – это круговой ток, циркулирующий внутри небольшой частицы вещества: атома, молекулы или группы их. При намагничивании бóльшая или меньшая часть таких токов устанавливается параллельно друг другу, как показано на рис. (амперовы токи).



Мы видели, что по своим магнитным свойствам круговой ток вполне подобен короткому магниту, ось которого перпендикулярна к плоскости тока. Поэтому изображенная условно на рис. система ориентированных молекулярных токов совершенно равносильна цепочкам элементарных магнетиков в гипотезе Кулона. Таким образом, теория Ампера сделала ненужным допущение о существовании особых магнитных зарядов, позволив объяснить все магнитные явления при помощи элементарных электрических токов.

С точки зрения теории Ампера становится совершенно понятной неотделимость друг от друга северных и южных полюсов. Каждый элементарный магнит представляет собой круговой виток тока. Мы видели уже, что одна сторона этого витка соответствует северному, другая – южному полюсу. Именно поэтому нельзя отделить друг от друга северный и южный полюсы, как нельзя отделить одну сторону плоскости от другой.

Таким образом:

- Никаких магнитных зарядов не существует. Каждый атом вещества можно рассматривать в отношении его магнитных свойств как круговой ток. Магнитное поле намагниченного тела складывается из магнитных полей этих круговых токов.

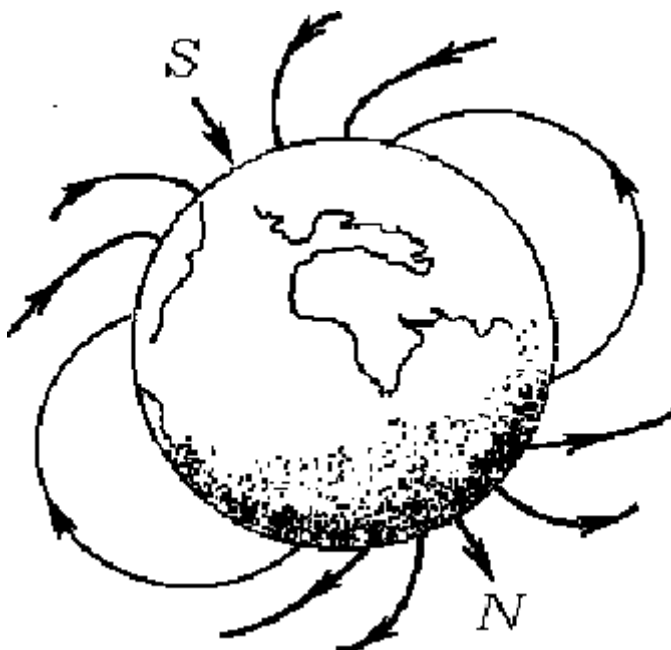
- В не намагниченном теле все элементарные токи расположены хаотически, и поэтому мы не наблюдаем во внешнем пространстве никакого магнитного поля.

- Процесс намагничивания тела заключается в том, что под влиянием внешнего магнитного поля его элементарные токи в большей или меньшей степени устанавливаются параллельно друг другу и создают результирующее магнитное поле.

Подвешенная на нити или укрепленная на острие магнитная стрелка устанавливается в каждой точке вблизи земной поверхности определенным образом – приблизительно в направлении с севера на юг.

Этот основной факт означает, что существует магнитное поле Земли.

Ход линий земного магнитного поля схематически изображен на рис. ...



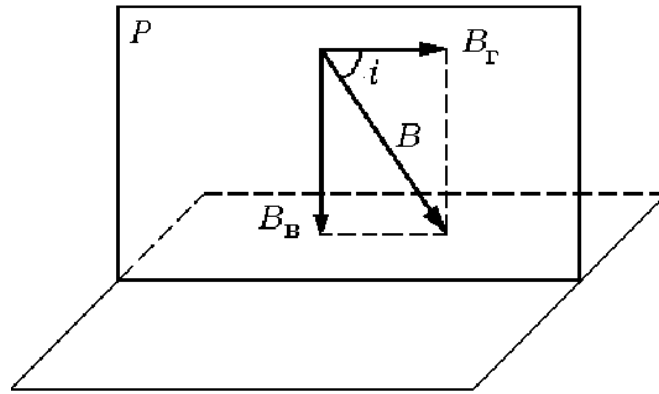
... из которого видно, что земное магнитное поле имеет такой вид, как будто земной шар представляет собой магнит с осью, направленной приблизительно с севера на юг.

В северном полушарии линии поля направлены перпендикулярно земной поверхности в точке, лежащей на $75^{\circ}50'$ северной широты и 96° западной долготы. Эта точка называется южным магнитным полюсом Земли. В южном полушарии линии магнитного поля перпендикулярны к земной поверхности в точке с координатами $70^{\circ}10'$ южной широты и $150^{\circ}45'$ восточной долготы, она называется северным магнитным полюсом Земли.

Магнитные полюсы Земли не совпадают с ее географическими полюсами. Магнитная ось Земли, т.е. прямая, проходящая через оба магнитных полюса Земли, не проходит через ее центр и, таким образом, не является земным диаметром. Линии земного магнитного поля, вообще говоря, не параллельны поверхности Земли.

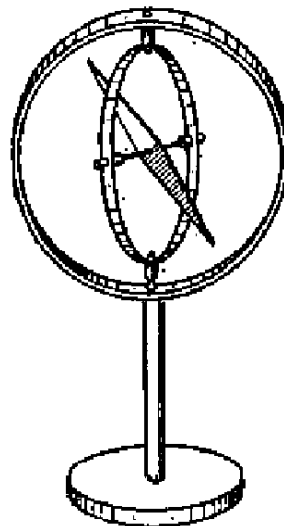
Это означает, что магнитная индукция поля Земли не лежит в плоскости горизонта данного места, а образует с этой плоскостью некоторый угол. Этот угол называется *магнитным наклоением*. Магнитное наклонение часто обозначают буквой *i*.

На рис. показано разложение магнитной индукции земного магнитного поля на горизонтальную и вертикальную составляющие. В разных местах Земли магнитное наклонение различно.



Очень ясное представление о направлении магнитной индукции земного магнитного поля в данной точке можно получить, укрепив магнитную стрелку так, чтобы она могла свободно вращаться и вокруг вертикальной и вокруг горизонтальной оси.

Это можно осуществить, например, с помощью подвеса (так называемого карданова подвеса), показанного на рис.



Из рисунка видно, что стрелка, укрепленная в кардановом подвесе, устанавливается по направлению магнитной индукции земного магнитного поля.

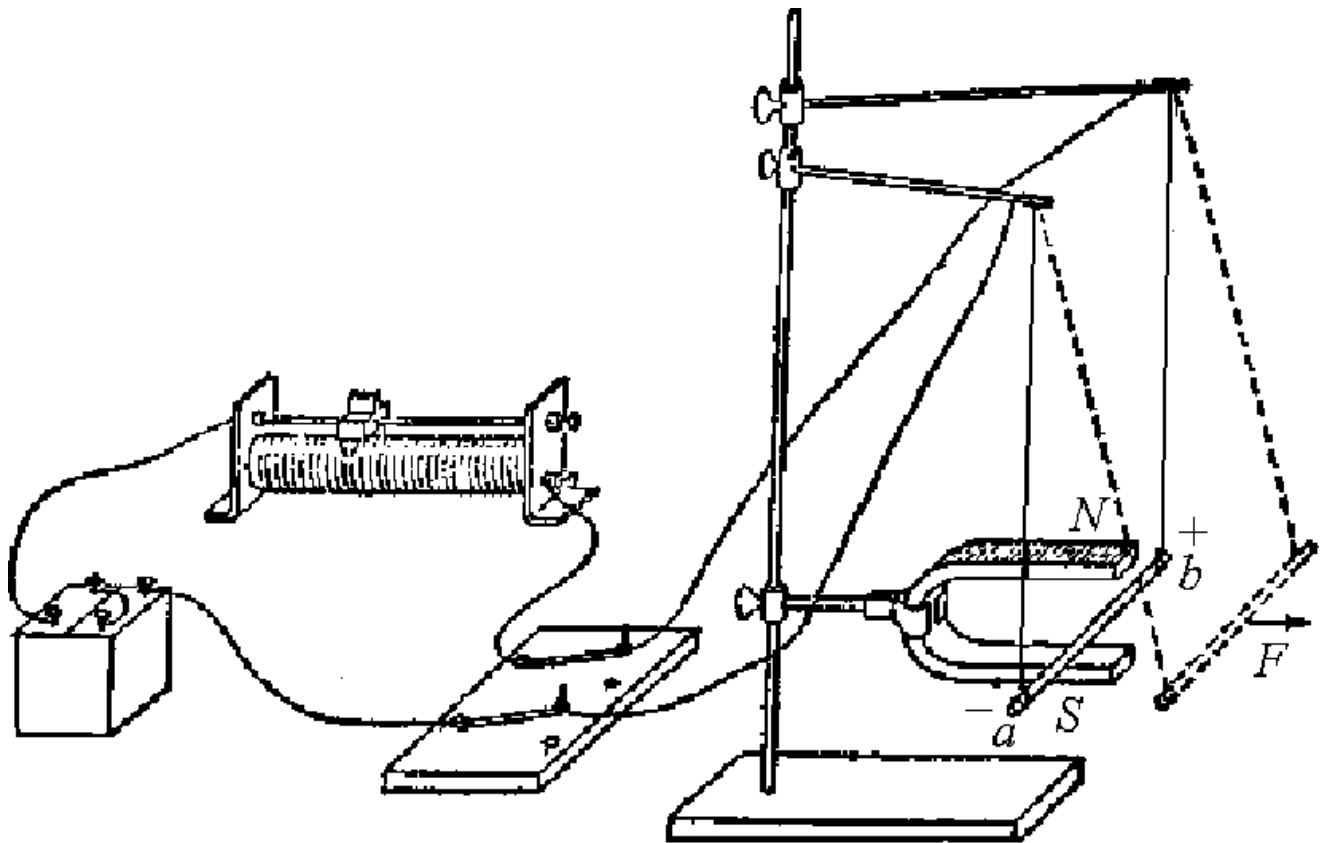
82/5	0212	0212	0212	Лаб. работа №10 «Сборка электромагнита и испытание его действия»
------	------	------	------	---

83/6	0216	0214	0212	Действие магнитного поля на проводник с током и на движущиеся заряды. Электрический двигатель.
------	------	------	------	---

Действие магнитного поля на проводник с током (сила Ампера)

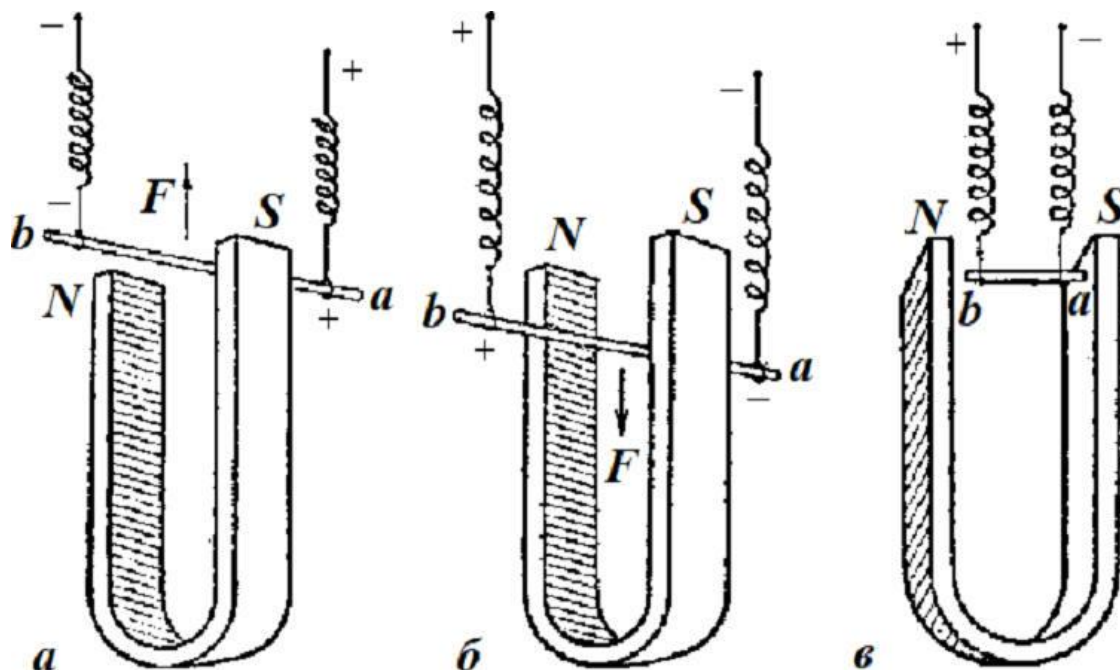
Поместим прямолинейный проводник с током в магнитном поле постоянного магнита, как на двух следующих рисунках.

Опыт на этом рисунке показывает, что сила F отталкивает вправо прямолинейный проводник с током ab .



На следующем рис. при перемене направления тока изменяется направление силы:

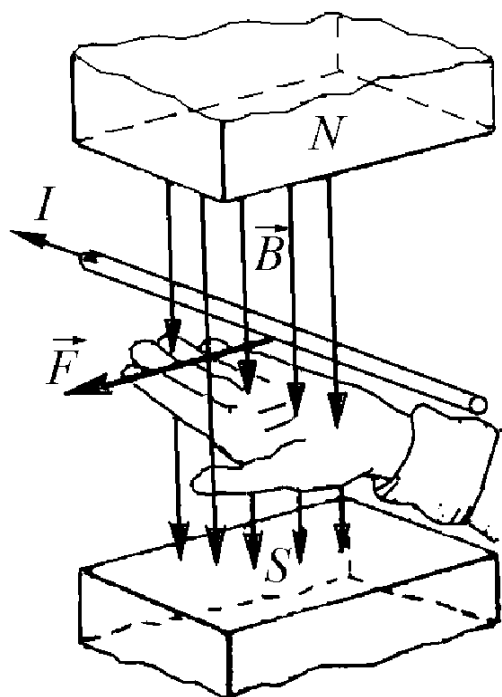
- проводник с током, который **выталкивался** из магнитного поля (a),
- начинает **втягиваться** в него (b).
- если направление тока параллельно линиям магнитного поля, то оно **не действует** на проводник с током (c).



Выполняя разнообразные опыты такого рода можно сделать общий вывод:

Направление силы, с которой магнитное поле B действует на прямолинейный проводник с током I , всегда перпендикулярно к проводнику и к направлению магнитного поля (*магнитной индукции*). На проводники, расположенные вдоль направления линий магнитного поля, поле не действует.

Направление силы определяется **правилом левой руки** (рис.):



Если расположить левую руку так, чтобы вытянутые четыре пальца указывали направление тока I , а линии магнитной индукции входили в ладонь, то отведенный в сторону большой палец укажет направление силы, действующей на проводник.

Силу, действующую на проводник с током, помещенный в магнитное поле, называют **силой Ампера**.

Как определить силу с которой действует магнитное поле на проводник с током?

Если рассуждать *по аналогии с электрическим полем*, вспомним, что «силовые возможности» электрического поля характеризуются напряженностью электрического поля E (*вектором напряженности*), которая определяется как величина, численно равная силе F , действующей на единичный положительный заряд q , помещенный в данную точку электрического поля. Зная его, можно определить силу, действующую на произвольный заряд q , помещенный в данную точку поля:

$$F = Eq.$$

Магнитное поле действует на прямолинейный проводник с током некоторой силой Ампера. Экспериментально установлено, что величина этой силы прямо пропорциональна длине проводника l , силе тока I в нем и синусу угла α , который образует направление магнитного поля B (вектор магнитной индукции) с направлением тока I в проводнике:

$$F \sim Il \sin \alpha.$$

Ясно также, что чем «сильнее» поле, тем больше сила Ампера, действующая на данный проводник с током.

Определим модуль вектора магнитной индукции как физическую величину, численно равную силе Ампера, действующей на прямолинейный проводник длиной $l = 1$ м с током силой $I = 1$ А, расположенный перпендикулярно к направлению вектора. Поле, в котором расположен проводник «единичной» длины, должно быть однородным.

Тогда на прямолинейный проводник длиной l с током I , расположенный в магнитном поле величиной (индукцией) B так, что направление тока составляет с направлением магнитного поля (*вектором*) B угол α , действует сила Ампера, равная по величине

$$F_A = BIl \sin \alpha. \quad (\text{Эта формула называется **законом Ампера**})$$

Направление силы Ампера определяется по **правилу левой руки**. Из этой формулы определяют размерность магнитного поля (*вектора*) B в СИ: $[B] = [F]/([I] \times [l]) = \text{Н}/(\text{А} \times \text{м}) = \text{Тл}$. $1 \text{Тл} = 1 \text{Н}/(1 \text{А} \times 1 \text{м})$.

Эту величину называют тесла (Тл) в честь знаменитого американского изобретателя в области электро- и радиотехники Николы Тесла (1853–1943).

Источник: Филатов Е.Н. Физика–11. Часть 2. Механические колебания и волны. Электромагнитные явления. Экспериментальный учебник для профильных физико-математических классов. – М.: ВШМФ «Авангард», 2010. – 436 с. с.130.

Действие магнитного поля на движущиеся заряды (*сила Лоренца*)

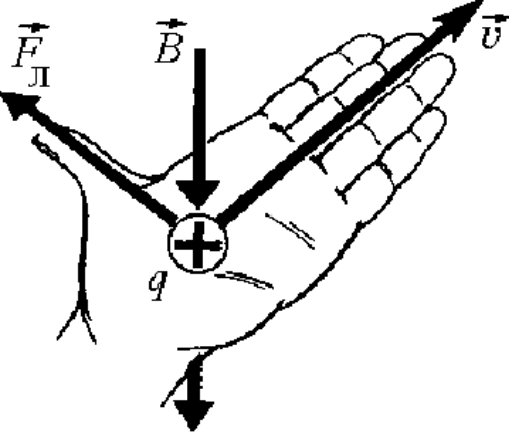
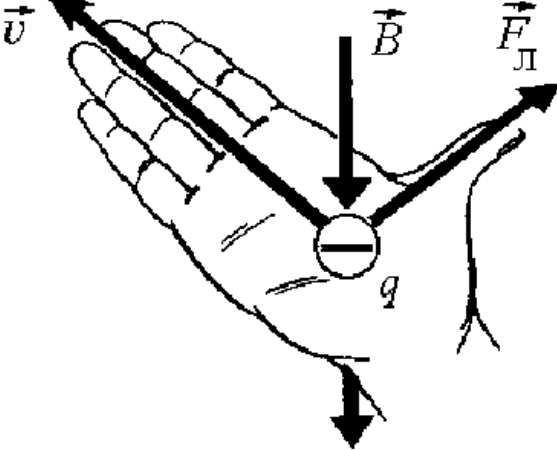
Экспериментально установлено, что на заряженную частицу зарядом q , движущуюся в магнитном поле (с индукцией) B со скоростью v действует сила F , названная **силой Лоренца** - в честь *Лоренца Хендрика Антона (1853–1928) – великогого нидерландского физика*.

Величина силы Лоренца определяется формулой:

$$F_{\text{л}} = qvB\sin\alpha$$

где α – угол между направлением магнитного поля (вектора магнитного поля B - магнитной индукции) и направлением (вектором) скорости v .

Направление действия этой силы для:

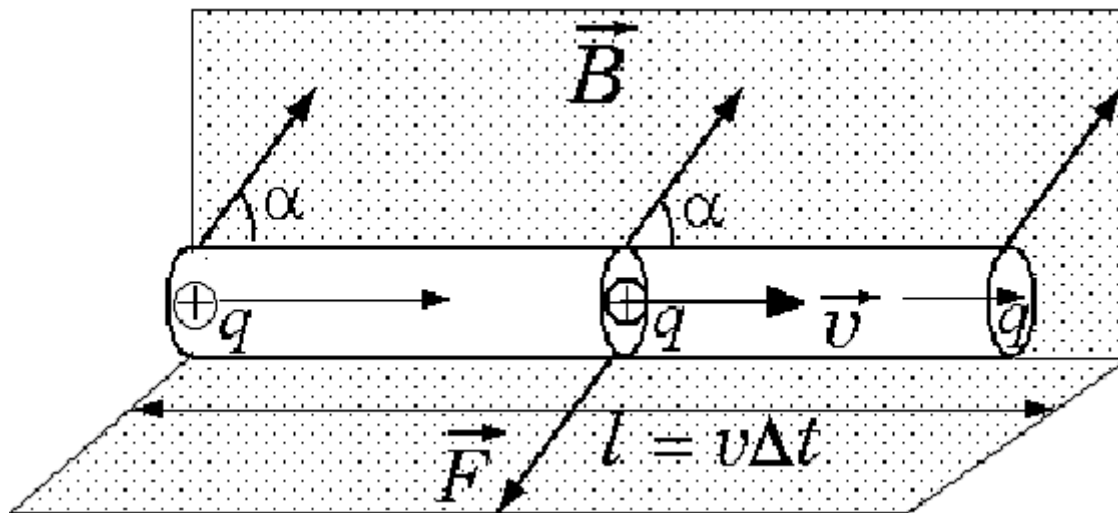
положительного заряда $+q$ определяется по <i>правилу левой руки</i> :	отрицательного заряда $-q$ определяется по <i>правилу правой руки</i> :
	
<p>Если частица имеет положительный заряд q, то надо расположить левую руку так, чтобы четыре пальца указывали направление скорости, а линии магнитной индукции входили в ладонь, тогда отведенный в сторону большой палец укажет направление силы Лоренца</p>	<p>Если частица имеет отрицательный заряд q, то надо расположить правую руку так, чтобы четыре пальца указывали направление скорости, а линии магнитной индукции входили в ладонь, тогда отведенный в сторону большой палец укажет направление силы Лоренца</p>

Сила Лоренца действует и на заряды внутри проводника.

Именно **сила Лоренца**, действующая на упорядоченно движущиеся электроны, приводит к появлению **силы Ампера**, действующей на проводник, как целое. Свободные носители заряда (электроны в проводнике) взаимодействуют с атомами и ионами, благодаря чему весь проводник начинает двигаться под действием магнитного поля.

Покажем **связь между силой Лоренца и силой Ампера**.

Пусть в проводнике движется одна положительно заряженная частица с зарядом q со скоростью v . Проводник находится в однородном магнитном поле B , направление которого (вектор магнитной индукции которого) составляет с направлением скорости частицы угол α . Пусть длина проводника равна l , а заряд проходит от одного конца проводника до другого за время Δt (рис. ниже).



Тогда через поперечное сечение нашего проводника за время Δt проходит заряд q , а значит, сила тока в нем $I = q/\Delta t$.

На заряд действует сила Лоренца, направленная «на нас», равная по величине:

$$F = qvB\sin\alpha = (I\Delta t)vB\sin\alpha = I(\Delta t)vB\sin\alpha = IB\sin\alpha.$$

т.е. на проводник будет действовать **сила Ампера**:

$$F = IB\sin\alpha.$$

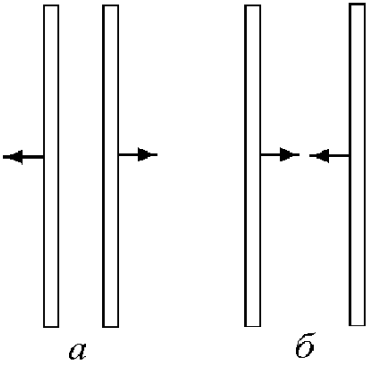
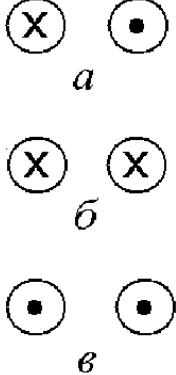
Источник: Филатов Е.Н. Физика–11. Часть 2. Механические колебания и волны. Электромагнитные явления. Экспериментальный учебник для профильных физико-математических классов. – М.: ВШМФ «Авангард», 2010. – 436 с. с.152.

Электрический двигатель

Источник: Филатов Е.Н. Физика–11. Часть 2. Механические колебания и волны. Электромагнитные явления. Экспериментальный учебник для профильных физико-математических классов. – М.: ВШМФ «Авангард», 2010. – 436 с. с.152.

Примеры

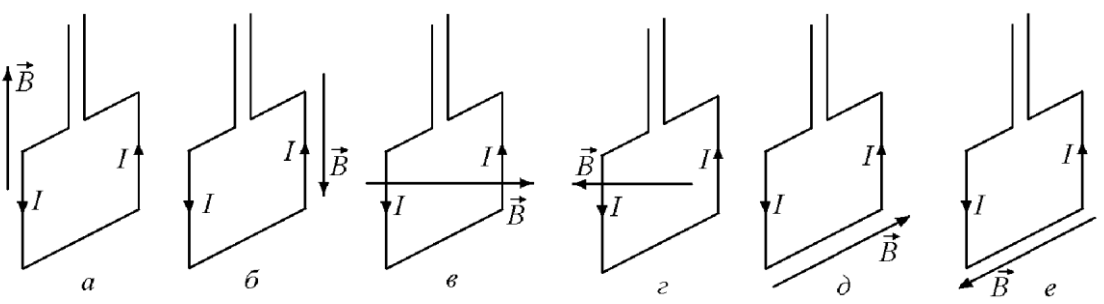
Задачи

<p>A1. Каковы направления токов в параллельных проводах, если силы взаимодействия направлены так, как показано на рис.?</p>	
<p>A2. Как взаимодействуют параллельные токи, направленные так, как указано на рис. ?</p>	

A3. Как взаимодействуют два воздушных провода троллейбусной линии: притягиваются или отталкиваются друг от друга?

A4. Почему струя жидкого расплавленного металла при пропускании по ней тока сужается?

A5. Почему два параллельных проводника, по которым текут токи в одном направлении, притягиваются, а два параллельных электронных пучка отталкиваются?

<p>A6. Определите, как расположится рамка с током в магнитных полях, показанных на рис. ? Рамка может вращаться только около вертикальной оси.</p>	
---	--

<p>A7. Определите, как расположится рамка с током в магнитных полях, показанных на рис. ?. Рамка может вращаться только около горизонтальной оси.</p>	
--	--

A8. Какая сила действует на провод длиной 10 см в однородном магнитном поле с магнитной индукцией 2,6 Тл, если сила тока в проводе 12 А, а угол между направлением тока и линиями магнитного поля (магнитной индукции) 90° ? 30° ?

A9. На проводник длиной 50 см с током 2,0 А однородное магнитное поле с магнитной индукцией 0,10 Тл действует с силой 0,050 Н. Вычислить угол между направлением тока и направлением магнитного поля (вектором магнитной индукции).

A10. Какова сила тока в проводе, если однородное магнитное поле силой (с магнитной индукцией) 2,0 Тл действует на его участок длиной 20 см с силой 0,75 Н? Угол между направлением линий магнитного поля (линий магнитной индукции) и проводником 49° .

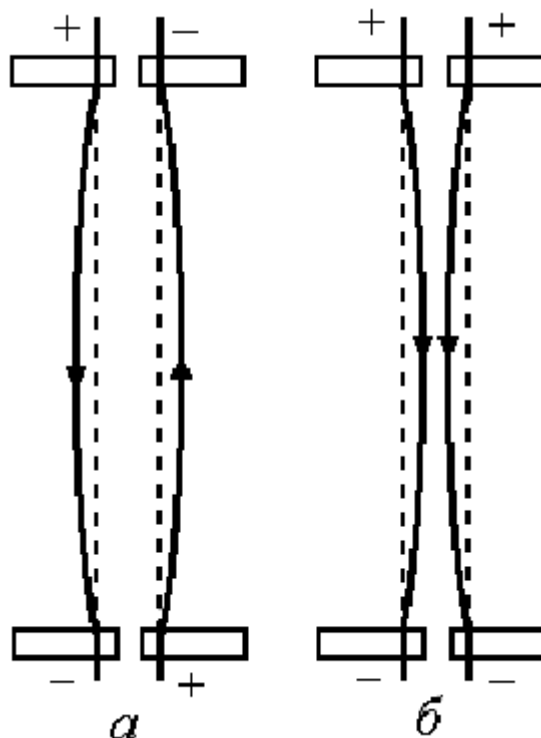
A11. Максимальный вращающий момент, действующий на рамку площадью 1 см², находящуюся в магнитном поле, равен 2 мкН×м. Сила тока, текущего в рамке, 0,5 А. Найти величину магнитного поля (индукцию магнитного поля).

A12. Рамка площадью 400 см² помещена в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл так, что нормаль (перпендикуляр к плоскости) к рамке перпендикулярна линиям магнитного поля (линиям индукции). При какой силе тока на рамку будет действовать вращающий момент 20 мН×м?

84/7	0217	0214	0214	Взаимодействие электрических токов
------	------	------	------	---

Опыт - взаимодействие между двумя проводниками

Ампер установил также новое и чрезвычайно важное явление – взаимодействие между двумя проводниками, по которым идет ток. Если расположить, например, две длинные гибкие проволоки параллельно друг другу, то при включении в них тока эти проволоки будут друг от друга отталкиваться, если токи в них противоположны по направлению (рис. а).

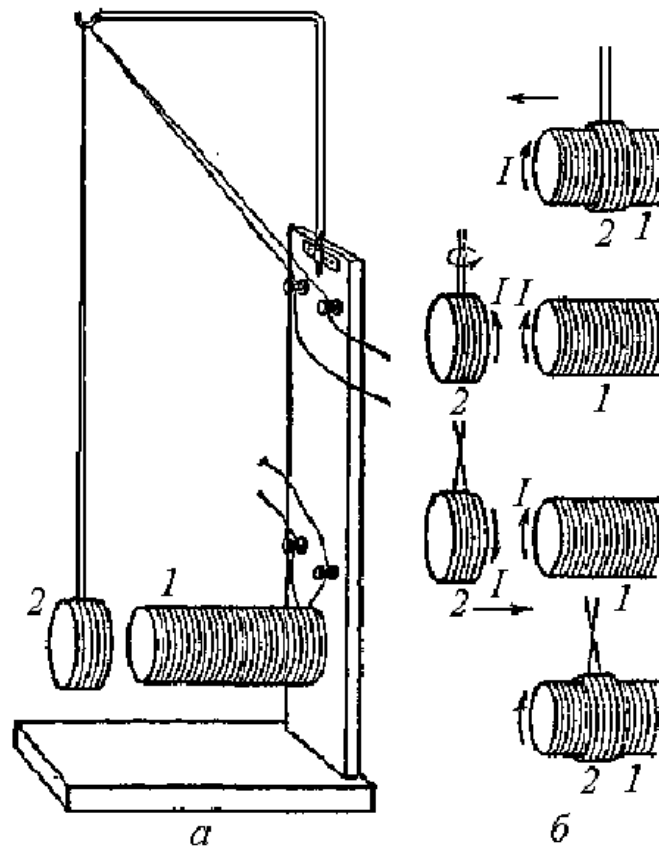


Напротив, проволоки будут друг к другу притягиваться, если токи в них имеют одинаковое направление (рис. б). Штриховыми линиями на рисунке показано положение обоих проводов при отсутствии тока в них.

Опыт - Движения проводников, вызываемые взаимодействием между ними

Движения проводников, вызываемые взаимодействием между ними, могут быть весьма разнообразны в зависимости от формы проводников, их взаимного расположения и условий закрепления.

Опыт, иллюстрирующий характер взаимодействия между двумя соленоидами с током, изображен на рис.



Сначала соленоид 1 закреплен неподвижно, соленоид 2 подвешен на гибком проводнике (рис. а); при включении тока соленоид 2 поворачивается так, чтобы направления тока в соленоидах 1 к 2 были одинаковы, притягивается к соленоиду 1 и надевается на него.

При перемене направления тока (рис. б) в одном из соленоидов соленоид 2 слетает с соленоида 1, поворачивается на 180° и снова надевается на него. Следует обратить внимание на то, что движения – повороты, притяжения и отталкивания – двух соленоидов носят такой же характер, как и движения двух намагниченных брусков (магнитных стрелок).

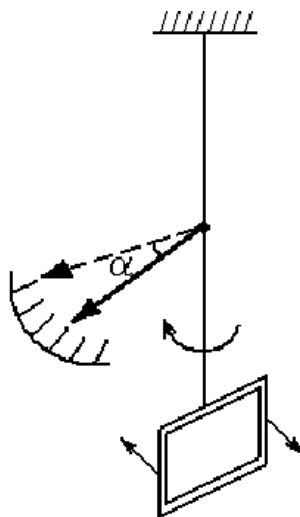
Мы видим, что по всем своим магнитным свойствам **соленоид с током подобен магнитной стрелке.**

Из этих опытов можно заключить, что магнитное действие магнитов вполне тождественно магнитному действию токов при соответствующем подборе тока и формы проводника.

85/8	0217	0216	0216	Электроизмерительные приборы.
------	------	------	------	--------------------------------------

Крутильные весы

Вращающий момент пары сил достаточно легко измерить с помощью крутильных весов. Крутильные весы схематически представляют собой нить со стрелкой, к которой подвешивают тело (например, рамку). На тело действуют силы, пытающиеся это тело повернуть (рис.).



Поворачиваясь, тело закручивает нить. Такая деформация вызывает появление сил, стремящихся раскрутить нить в обратном направлении и обладающих, следовательно, вращающим моментом. Когда измеряемый момент становится равным моменту закрученной нити, установится равновесие.

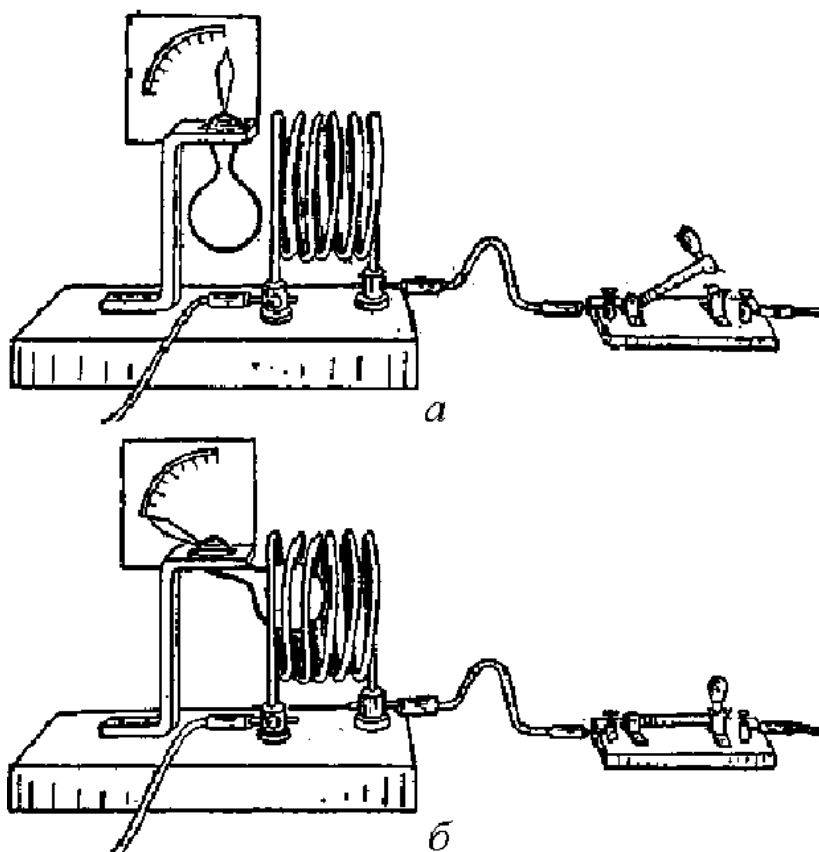
Экспериментально установлено, что при небольших углах поворота вращающий момент нити прямо пропорционален углу поворота нити α : $M \sim \alpha$. Поэтому, один раз измерив угол поворота нити при известном вращающем моменте, можно определить по углу поворота вращающий момент, который нужно измерить.

с.141

Задачи

Амперметр и вольтметр электромагнитной системы

В11. Кусок железа, помещенный перед катушкой, втягивается в нее при включении тока независимо от направления тока. На этом основано устройство амперметров и вольтметров **электромагнитной системы**, применяемых для измерения переменного тока и напряжения (на рис. для ясности кусок железа снабжен стрелкой и показана шкала). Объясните этот опыт. Пришло бы железо в движение, если бы мы поместили его внутрь катушки, т. е. в область, где магнитное поле однородно?



с.148

86/9	0219	0219	0219	Лаб. работа №11 «Изучение электрического двигателя постоянного тока»
------	------	------	------	---

Тема 2. Явление электромагнитной индукции (7 часов)

87/1	0223	0221	0219	Индукция магнитного поля, единицы измерения.
------	------	------	------	---

До сих пор мы рассматривали электрические и магнитные поля, не изменяющиеся с течением времени. Было выяснено, что электрическое поле создается электрическими зарядами, а магнитное поле — движущимися зарядами, т. е. электрическим током. Перейдем к знакомству с полями, величина которых меняется со временем. Самый важный факт, который удалось обнаружить, — это теснейшая взаимосвязь между электрическим полем и магнитным.

Изменяющееся во времени магнитное поле способно породить электрическое, а электрическое породить магнитное. Без этой связи между полями разнообразие проявлений электромагнитных сил не было бы столь обширным, каким оно является на самом деле. Не существовало бы ни радиоволн, ни света.

Не случайно первый, решающий шаг в открытии новых свойств электромагнитных взаимодействий был сделан основоположником представлений об электромагнитном поле Фарадеем. Фарадей был совершенно уверен в единой природе электрических и магнитных явлений. Электрический ток, рассуждал он, способен намагнитить кусок железа. Не может ли магнит в свою очередь вызвать появление электрического тока? Долгое время эту связь обнаружить не удавалось. Трудно было додуматься до главного: только движущийся магнит или меняющееся во времени магнитное поле могут возбудить электрический ток в катушке. Открытие электромагнитной индукции было сделано 29 августа 1831 г. Редкий случай, когда дата нового замечательного открытия известна столь точно. Вот краткое описание первого опыта, данное самим Фарадеем.

«На широкую деревянную катушку была намотана медная проволока длиной в 203 фута и между витками ее намотана проволока такой же длины, но изолированная от первой хлопчатобумажной нитью. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, а другая — с сильной батареей, состоящей из 100 пар пластин... При замыкании цепи удавалось заметить внезапное, но чрезвычайно слабое действие на гальванометре, и то же самое замечалось при прекращении тока. При непрерывном же прохождении тока через одну из спиралей не удавалось отметить ни действия на гальванометр, ни вообще какого-либо индукционного действия на другую спираль, несмотря на то, что нагревание всей спирали, соединенной с батареей, и яркость искры, проскакивающей между углями, свидетельствовали о мощности батарей» (М. Фарадей. Экспериментальные исследования по электричеству, I серия).

Итак, первоначально была открыта индукция в неподвижных друг относительно друга проводниках (прообраз современного трансформатора). Затем, ясно понимая, что сближение или удаление проводников с током должно приводить к тому же результату, как и замыкание и размыкание цепи, Фарадей с помощью опытов доказал, что ток возникает при перемещении катушек друг относительно друга (рис. 296). Знакомый с трудами Ампера, Фарадей понимал также, что ток — это магнит, а магнит в свою очередь — совокупность токов. 17 октября, как зарегистрировано в его лабораторном журнале, был обнаружен индукционный ток в катушке в момент вдвигания (или выдвигания) магнита (рис. 297). В течение одного месяца Фарадей опытным путем открыл все существенные особенности явления электромагнитной индукции.

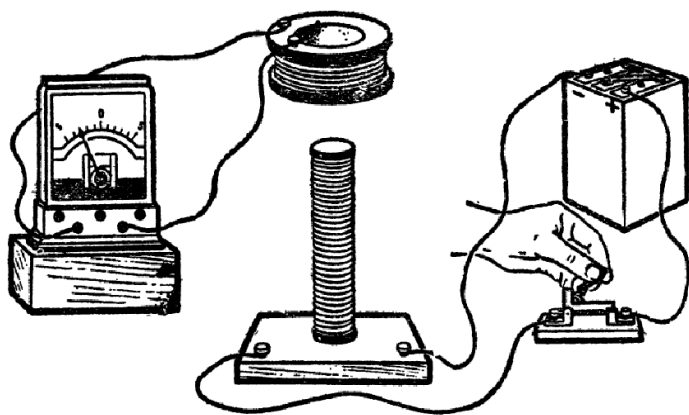


Рис. 296

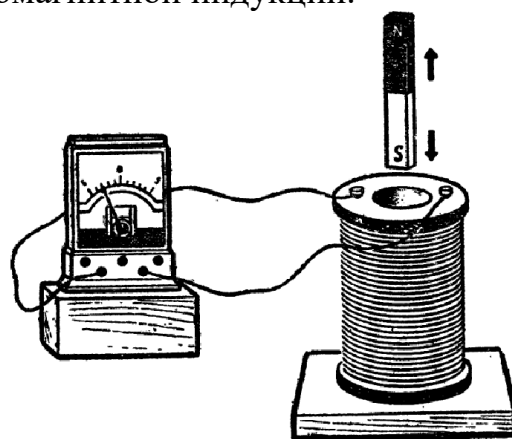


Рис. 297

В настоящее время опыты Фарадея может повторить каждый. Для этого надо иметь две катушки, магнит, батарею элементов и достаточно чувствительный

гальванометр (опыты Фарадея подробно были описаны в учебнике физики для VIII класса).

Уже сам Фарадей уловил то общее, от чего зависит появление индукционного тока в опытах, которые внешне выглядят по-разному.

В замкнутом проводящем контуре возникает ток при изменении числа линий магнитной индукции, пронизывающих площадь, ограниченную этим контуром (рис. 298).

И чем быстрее меняется число линий магнитной индукции, тем больше возникающий ток. При этом причина изменения числа линии магнитной индукции совершенно безразлична. Это может быть и изменение величины магнитной индукции, пронизывающей неподвижный проводник, вследствие изменения силы тока в соседней катушке, и изменение магнитной индукции вследствие движения катушки в неоднородном магнитном поле, густота линий которого меняется в пространстве (рис. 299).

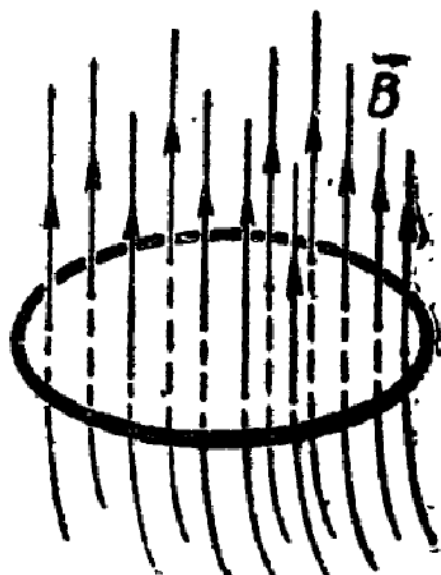


Рис. 298

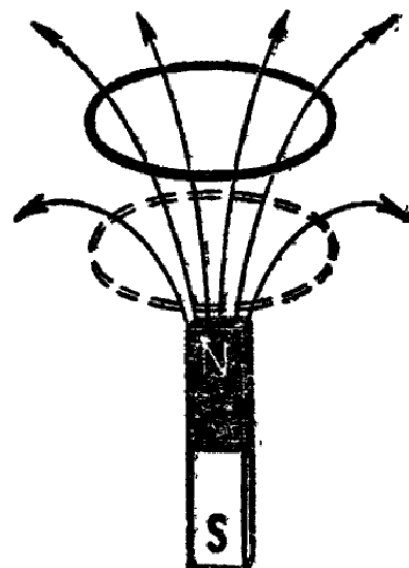


Рис. 299

88/2	0224	0221	0221	Магнитный поток, единицы измерения.
------	------	------	------	--

Для того чтобы дать точную количественную формулировку закона электромагнитной индукции Фарадея, нужно ввести новую величину - **поток магнитной индукции**.

Выделим в магнитном поле малую площадку ΔS . Площадка должна быть настолько мала, чтобы магнитную индукцию во всех точках площадки можно было бы считать одинаковой. Пусть n — нормаль к площадке ΔS , образующая угол α с направлением вектора магнитной индукции B (рис. 300).

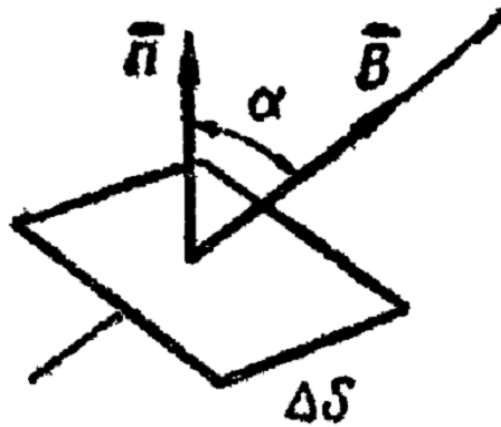


Рис.300

Потоком магнитной индукции $\Delta\Phi$ через площадку ΔS называют величину, равную проекции вектора магнитной индукции на нормаль к площадке, умноженной на величину площадки:

$$\Delta\Phi = B_n \Delta S = B \Delta S \cos\alpha$$

Поток магнитной индукции наглядно может быть истолкован как величина, пропорциональная числу линий вектора B , пронизывающих данную площадку.

89/3	0224	0224	0224	Явление электромагнитной индукции. Опыт Фарадея. Правило Ленца
------	------	------	------	---

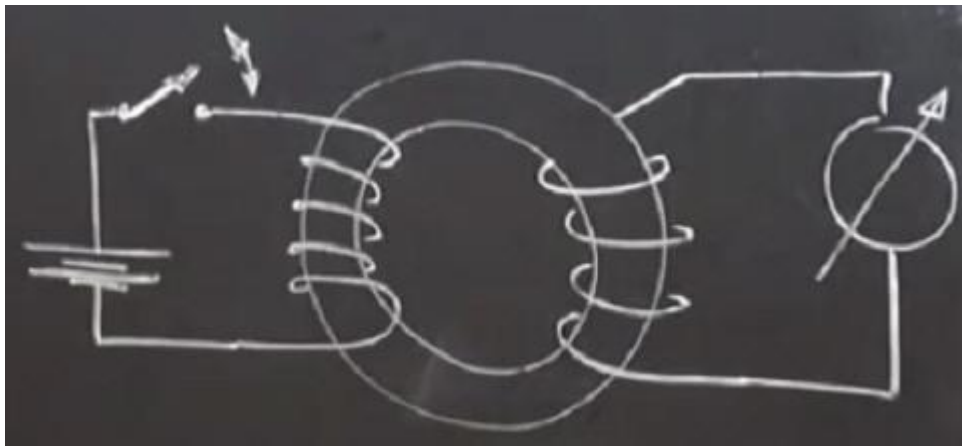
Превратить работу в тепло можно. Можно и теплоту превратить в работу. Эти процессы обратны и допустимы в природе.

Для магнитных явлений мы знаем, что если по проводнику течет электрический ток то вокруг него существует магнитное поле.

То есть ток порождает магнитное поле. Может ли быть обратный процесс в природе? Может ли магнитное поле быть использовано для создания электрического тока?

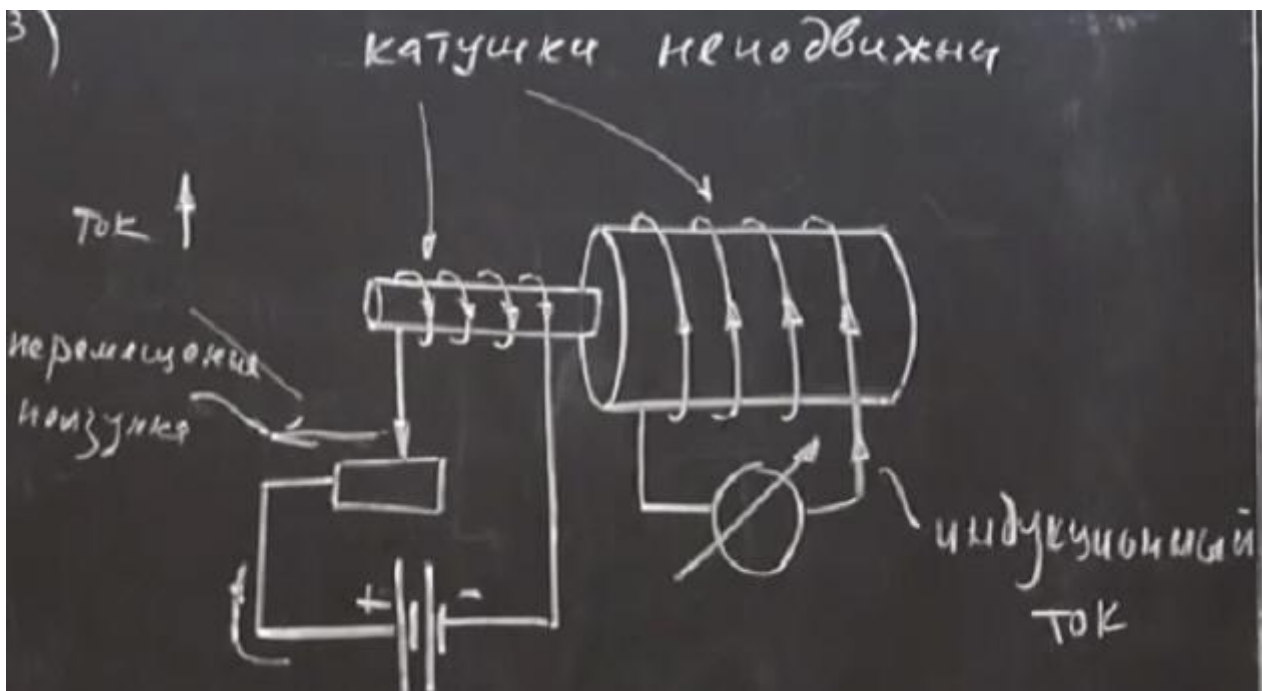
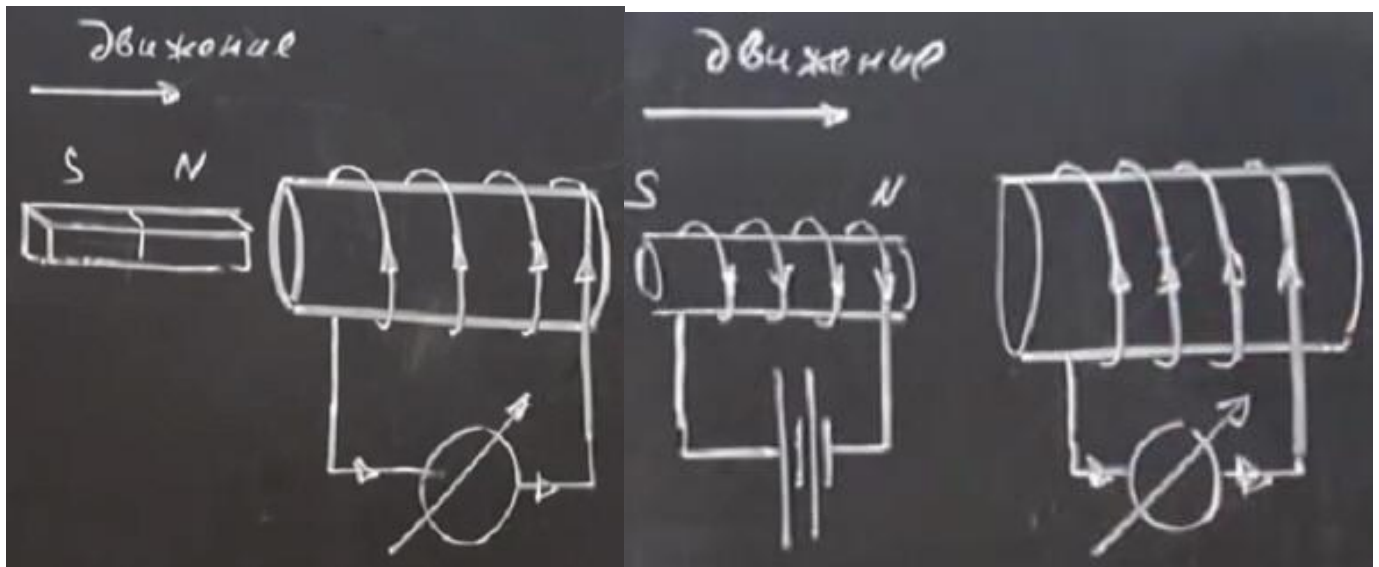
В 19 веке этим занимался Ампер и Фарадей (Англия). Именно Майкл Фарадей открыл **закон электромагнитной индукции.**

29 августа 1831 года.



Опыт Фарадея:

Три его варианта:



Электромагнитной индукцией называют явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре (катушке) при изменении магнитного поля в этом контуре.

(нестрогое определение)

для того чтобы возник ток должно появиться непростое, а **вихревое электрическое поле**, которое совершает работу по перемещению зарядов в проводнике катушки (отклоняет стрелку гальванометра) то есть возникает напряжение.

Возникающий индукционный ток взаимодействует с током, вызвавшим его, или с магнитом. Если магнит (или катушку с током) **приближать к замкнутому проводнику**, то появляющийся в проводнике **индукционный ток** будет обязательно отталкивать магнит. Поэтому для сближения магнита с проводником (катушкой) необходимо совершить работу. Индукционный ток в этом случае направлен таким образом, что его магнитное поле противоположно полю, вызвавшему этот ток (рис. 301).

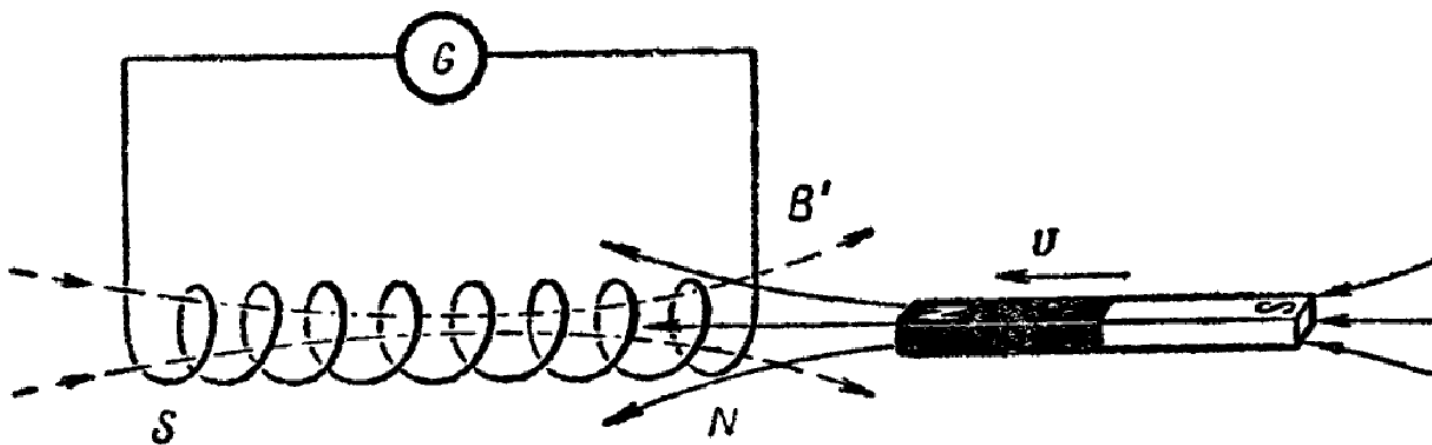


Рис. 301

Катушка при этом будет подобна магниту, обращенному одноименным полюсом к движущемуся магниту. Одноименные полюсы отталкиваются.

Представьте себе, что дело обстоит бы иначе. Вы подтолкнули слегка магнит к катушке, и он сам собой устремился бы внутрь ее. При этом нарушался бы закон сохранения энергии. Ведь кинетическая энергия магнита увеличивалась бы и одновременно возникал бы ток, что само по себе требует затраты энергии, ибо ток выделяет тепло.

При удалении магнита, наоборот, закон сохранения энергии требует, чтобы появилась сила притяжения.

Индукционный ток в данном случае направлен так, что его магнитное поле совпадает по направлению с полем, изменение которого создало данный ток (рис. 302).

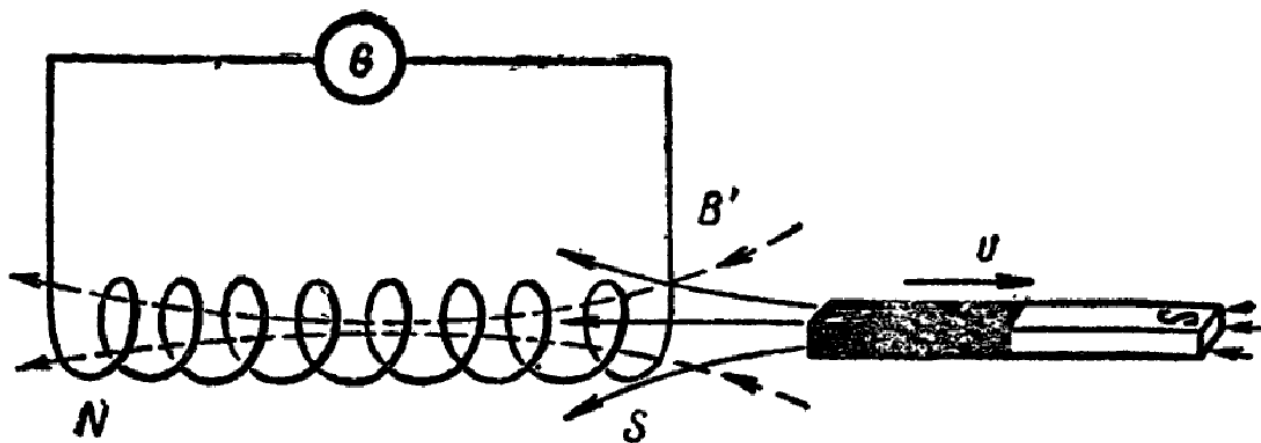


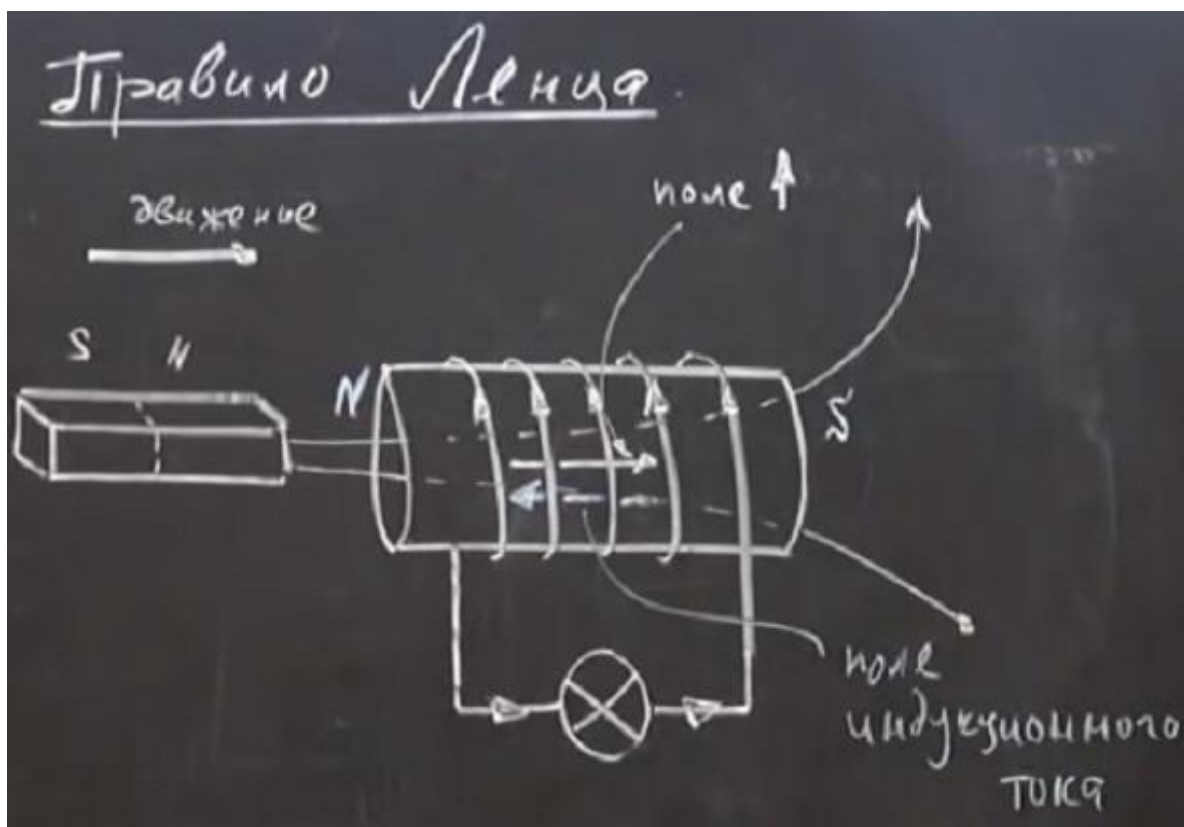
Рис. 302

Это правило, установленное русским ученым Ленцем, дает возможность определить направление индукционного тока в любом случае. Согласно правилу Ленца

возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им поток магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать то изменение потока магнитной индукции, которое вызывает данный ток.

или (по П.Виктору)

Правило Ленца: Индукционный ток направлен так что магнитное поле создаваемое индукционным током препятствует ИЗМЕНЕНИЮ магнитного поля, вызвавшего этот ток



Это означает, что если магнитный поток Φ нарастает, то поле индукционного тока стремится его ослабить и направлено против первичного поля (рис. 301). Наоборот, когда поток уменьшается, поле индукционного тока поддерживает поток Φ . т. е. направлено по первичному полю (рис. 302).

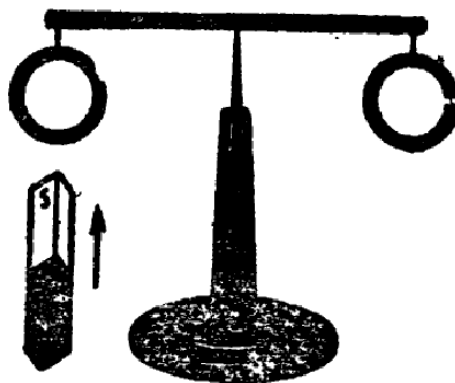


Рис. 303

Правило Ленца легко продемонстрировать на опыте с прибором, показанным на рисунке 303. На концах стержня, свободно вращающегося вокруг вертикальной оси, закреплены два проводящих кольца. Одно из них с разрезом. Если поднести магнит к кольцу без разреза, то в нем возникнет индукционный ток и направлен он будет так, что кольцо оттолкнется от магнита и стержень повернется. Если удалять магнит от кольца, то оно, наоборот, будет притягиваться к магниту. С разрезанным кольцом магнит не взаимодействует, так как разрез препятствует возникновению в кольце индукционного тока.

Закон электромагнитной индукции

Сформулируем закон электромагнитной индукции количественно. Опыты показывают, что индукционный ток I , в проводящем контуре пропорционален скорости изменения числа линий магнитной индукции B , пронизывающих площадь, ограниченную этим контуром. После введения понятия потока магнитной индукции Φ , мы можем уточнить это утверждение: индукционный ток в контуре пропорционален скорости изменения потока магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром. Если за очень малое время Δt поток магнитной индукции меняется на величину $\Delta\Phi$, то скорость изменения Φ равна отношению — $\Delta\Phi/\Delta t$.

Следовательно можно утверждать, что

$$I \sim \Delta\Phi/\Delta t$$

Этот ток зависит и от сопротивления самого проводника.

Для того чтобы закон электромагнитной индукции не содержал зависимости от свойств проводника, нужно формулировать его не для индукционного тока. Мы знаем, что в цепи появляется электрический ток в том случае, когда в ней действует **электродвижущая сила**. Следовательно, при изменении потока магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром, в нем появляется **э.д.с.** Эта **э.д.с.** получила название э.д.с. индукции.

Будем обозначать ее через \mathcal{E}_i . Зная ток I_i и сопротивление контура, можно с помощью закона Ома найти \mathcal{E}_i .

Опыты показывают, что токи в различных проводниках при одной и той же скорости изменения потока магнитной индукции различны по величине только вследствие неодинаковых сопротивлений проводников. Это позволяет следующим образом сформулировать закон электромагнитной индукции.

Э.д.с. индукции в замкнутом контуре равна по величине скорости изменения потока магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром:

$$|\mathcal{E}_i| = |\Delta\Phi/\Delta t|$$

Посмотрим теперь, как в законе электромагнитной индукции учесть направление индукционного тока (или знак э.д.с. индукции) в соответствии с правилом Ленца. На рисунке 304 изображен круговой контур.

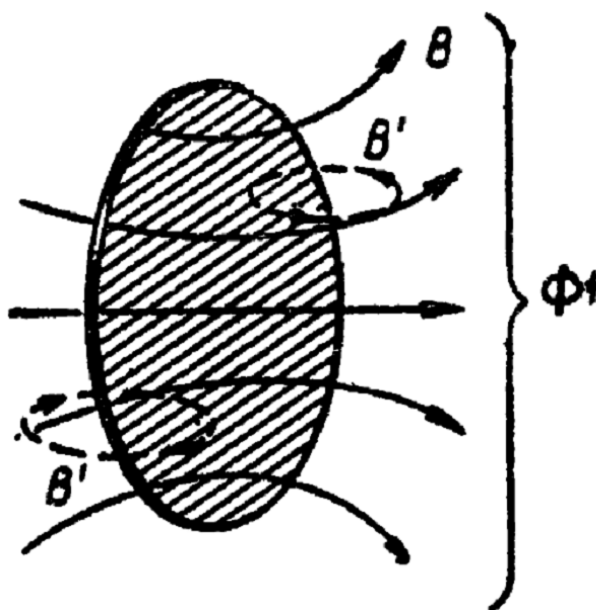


Рис 304.

Условимся считать ток в контуре (а значит, и э.д.с.) положительным, если направление B' магнитного поля индукционного тока внутри контура совпадает с направлением B поля, изменение которого порождает ток индукции. По правилу Ленца такое совпадение направлений магнитных полей B' и B будет в том случае, если магнитный поток Φ , изменение которого порождает индукционный ток, уменьшается, т. е. если $\Delta\Phi < 0$ и $\Delta\Phi/\Delta t < 0$. Чтобы э.д.с. индукции была при этом, как мы условились, положительной, в законе электромагнитной индукции должен стоять знак минус:

$$\mathcal{E}_i = - \Delta\Phi/\Delta t$$

Единицы магнитной индукции и потока магнитной индукции

В системе единиц СИ закон электромагнитной индукции используют для установления единицы потока магнитной индукции.

Эту единицу называют **вебером**.

Так как э.д.с. индукции \mathcal{E}_i измеряют в вольтах, а время в секундах, то согласно

$$\mathcal{E}_i = - \Delta\Phi/\Delta t$$

вебер можно определить следующим образом: поток магнитной индукции через площадь, ограниченную замкнутым контуром, равен одному веберу, если при равномерном убывании этого потока до нуля за 1 сек в контуре возникает э.д.с. индукции 1 В:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ сек.}$$

Единицу магнитной индукции устанавливают на основе соотношения $\mathcal{E}_i = \Delta\Phi/\Delta t$. Если вектор \mathbf{B} перпендикулярен поверхности S , то

$$\Phi = BS.$$

Отсюда магнитная индукция равна единице, если она создает через площадь 1 кв.м поток индукции 1 вб. Эту единицу магнитной индукции, называют тесла (Тл):

$$1 \text{ Тл} = 1 \text{ Вб}/1 \text{ кв.м}$$

Вихревое электрическое поле

Э.д.с. индукции возникает либо в неподвижном проводнике, помещенном в изменяющемся во времени поле, либо в проводнике, движущемся в магнитном поле, которое может не меняться со временем. Величина э.д.с. в обоих случаях определяется законом $\mathcal{E}_i = \Delta\Phi/\Delta t$., но происхождение э.д.с. различно.

Сначала остановимся на первом случае.

Допустим, перед нами стоит обыкновенный трансформатор. Включив первичную обмотку в сеть, мы получим ток во вторичной обмотке (рис. 305), если она замкнута.

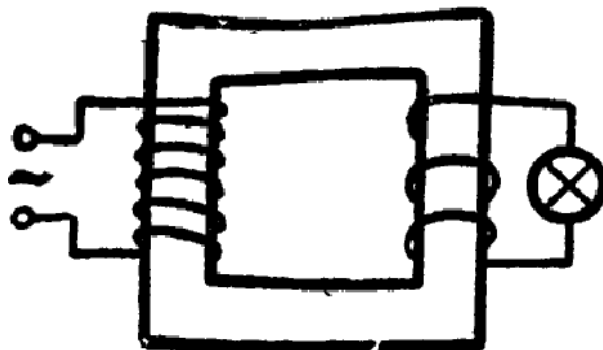


Рис. 305

Электроны в проводах вторичной обмотки придут в движение. Но какие силы заставляют их двигаться? Само магнитное поле, пронизывающее катушку, этого сделать не может, так как магнитное поле действует исключительно на движущиеся заряды (этим-то оно и отличается от электрического), а проводник с находящимися в нем электронами неподвижен (В действительности дело обстоит не так просто. И в неподвижном проводнике электроны совершают беспорядочное тепловое движение. Но

средняя скорость такого движения равна нулю. Соответственно и ток, вызванный непосредственно магнитным полем, также должен быть равным нулю.)

Кроме магнитного поля, на заряды действует еще поле электрическое. Причем оно-то может действовать и на неподвижные заряды. Но ведь же поле, о котором у нас пока шла речь (электростатическое поле), создается неподвижными зарядами, а индукционный ток появляется под действием переменного магнитного поля. Это заставляет предположить, что электроны в неподвижном проводнике приводятся в движение электрическим полем и это поле непосредственно порождается переменным магнитным полем. Тем самым утверждается новое фундаментальное свойство магнитного поля: изменяясь во времени, оно порождает электрическое поле. К этому выводу впервые пришел Максвелл.

Теперь явление электромагнитной индукции предстает перед нами в новом свете. Главное в нем — это процесс рождения магнитным полем поля электрического. Есть ли проводящий контур (катушка) или его нет, это не меняет существа дела. Проводник с запасом свободных электронов (или других частиц) лишь помогает обнаружить возникающее электрическое поле. Поле приводит в движение электроны в проводнике и тем самым обнаруживает себя. Сущность явления электромагнитной индукции **для данного случая** не столько в появлении индукционного тока, сколько в возникновении электрического поля.

Возникающее при изменении магнитного поля электрическое поле имеет совсем другую структуру, чем электростатическое.

Оно не связано непосредственно с электрическими зарядами, и его силовые линии не могут на них начинаться и кончаться. Они вообще нигде не начинаются и не кончаются, а представляют собой замкнутые линии, подобные линиям индукции магнитного поля. Это так называемое вихревое электрическое поле (рис. 306).

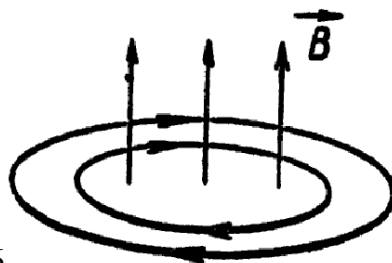


Рис. 306

В отличие от электростатического поля работа вихревого поля на замкнутом пути не равна нулю. Работа по перемещению единичного положительного заряда на замкнутом пути и представляет собой э.д.с. индукции в неподвижном проводнике.

При быстром изменении магнитного поля сильного электромагнита появляются мощные вихри электрического поля, которые можно использовать для ускорения электронов до скоростей, близких к скорости света. На этом принципе основано устройство ускорителя электронов — бетатрона. Электрический ток в бетатроне возникает непосредственно в кольцевой вакуумной камере.

90/4	0226	0226	0226	Получение переменного индукционного электрического тока.
------	------	------	------	---

Рассмотрим простейший генератор переменного тока (рис. 1). Между полюсами сильного магнита 1, т. е. в магнитном поле, вращается проволочная рамка 2, концы

которой припаяны к кольцам 3 и 4, вращающимся вместе с рамкой; к этим кольцам прижимаются пружинящие пластинки 5 и 6 (так называемые щетки), от которых идут провода к внешней цепи.

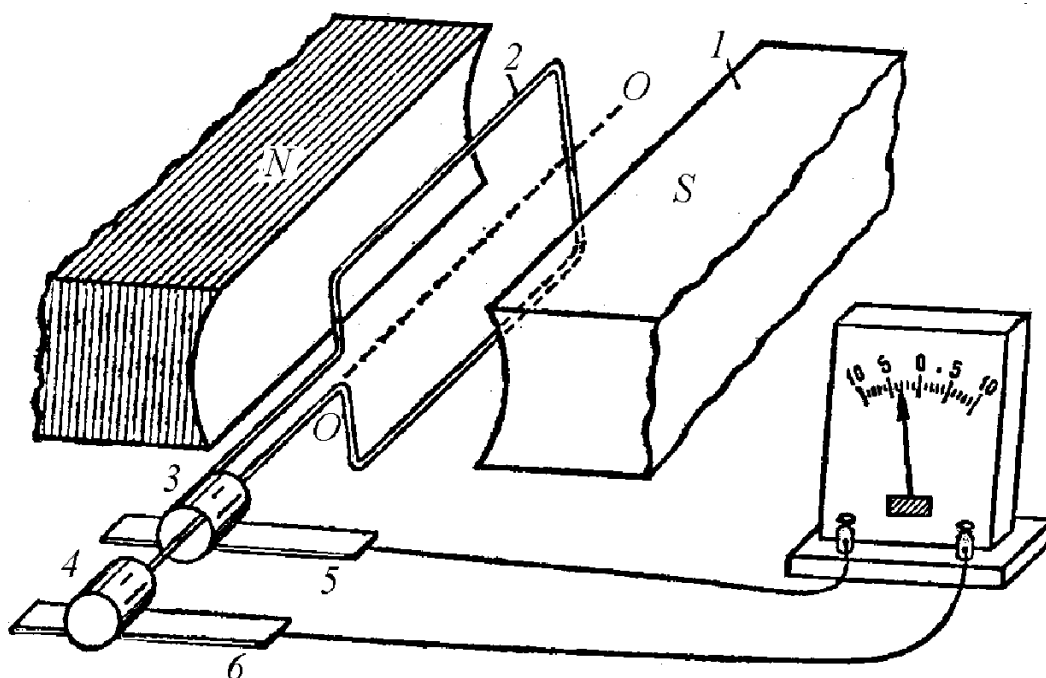


Рис. 1

При вращении рамки в магнитном поле пронизывающий ее магнитный поток все время изменяется и, следовательно, в рамке возникает индуцированная ЭДС.

Пусть рамка площадью S вращается с угловой скоростью ω в магнитном поле с индукцией B . И пусть в начальный момент времени рамка находится в «нейтральном» положении, т.е. нормаль к рамке совпадает по направлению с вектором (рис. 2, а).

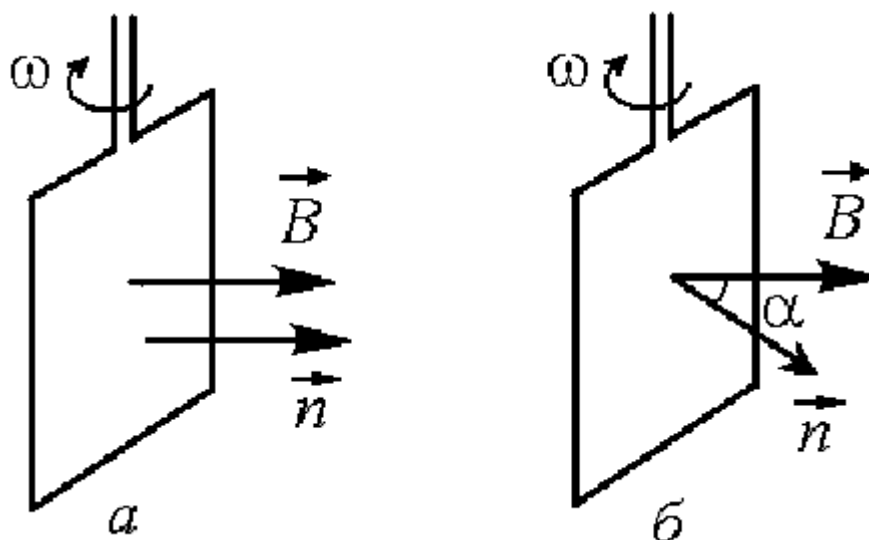


Рис. 2.

Тогда в произвольный момент времени t нормаль будет составлять с вектором угол $\alpha = \omega t$ (рис. 2).

Поток магнитной индукции через рамку в момент t будет равен

$$\Phi = BS\cos\omega t$$

Тогда согласно закону Фарадея в рамке будет индуцироваться ЭДС:

$$\mathcal{E}_i = -\Phi'(t) = (-BS\cos\omega t)' = -BS(-\sin\omega t \cdot \omega) = BS\omega\sin\omega t.$$

Таким образом, величина ЭДС изменяется по гармоническому закону с амплитудой $\mathcal{E}_0 = BS\omega$.

91/5	0301	0228	0226	Индукционный генератор переменного тока.
------	------	------	------	---

Для получения переменного тока достаточно поместить проволочную рамку (а лучше – катушку) в магнитное поле и обеспечить ее вращение с постоянной угловой скоростью в этом поле так, чтобы при вращении изменялся магнитный поток, пронизывающий рамку.

В принципе можно воспользоваться магнитным полем Земли. Вращая катушку с достаточно большой скоростью, можно безо всяких дополнительных устройств получить ток. Такой прибор существует и называется земным индуктором (рис. 1). Но магнитное поле Земли довольно слабое, порядка 10^{-5} Тл, значит, и ток, полученный с помощью земного индуктора, будет слабым.

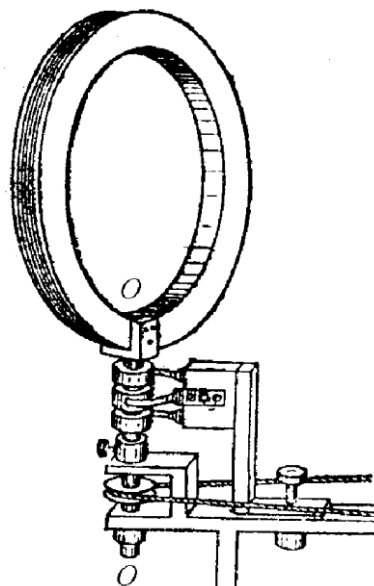


Рис. 1

Поэтому магнитное поле лучше создать с помощью магнитов. Можно использовать и постоянные магниты (рис. 2), но гораздо лучше – электромагниты – они самые сильные и не размагничиваются со временем (рис. 3). На рис. 3 катушка, намотанная на железный сердечник, вращается в поле электромагнита. Магнитный поток через катушку: а – велик, б – мал. При вращении катушки магнитный поток изменяется, и в ней индуцируется переменный ток.

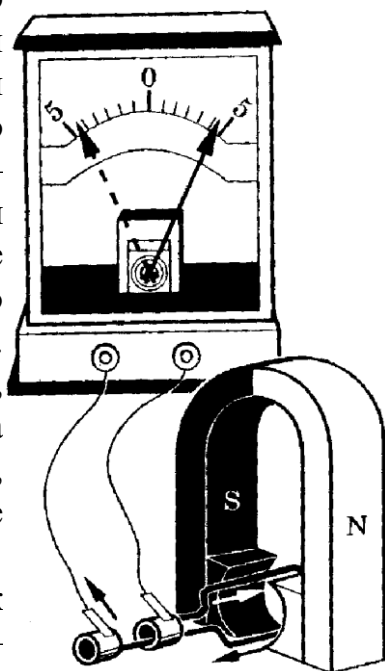


Рис. 2

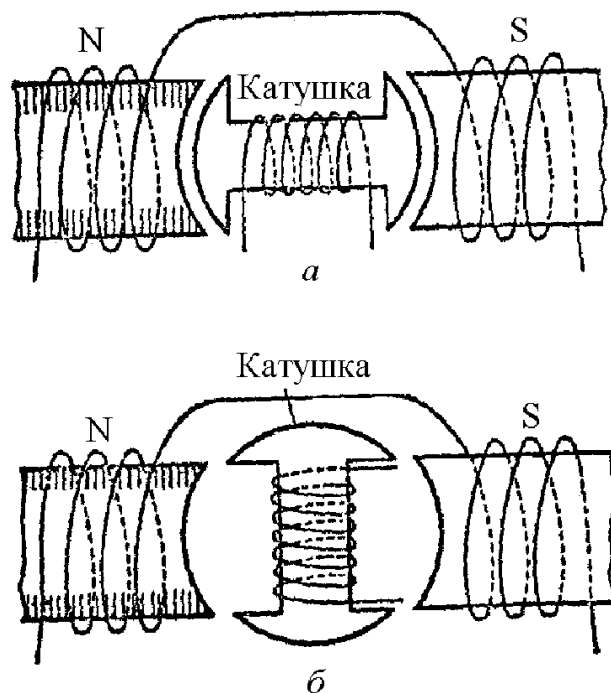


Рис. 3

Поскольку для возникновения ЭДС индукции важен лишь сам факт изменения магнитного потока через контур, то можно вращать не контур (рамку) в поле электромагнита, а наоборот, электромагнит около неподвижного контура (рис. 4). Именно такая схема предпочтительна для мощных электрогенераторов, потому что снимать ток с вращающихся обмоток очень неудобно: при больших напряжениях между трущимися частями происходит искровой разряд и так называемая «контактные щетки» быстро выходят из строя.

Электромагнит (или магнит), создающий магнитное поле, называется индуктором, рамка (катушка), в которой наводится ЭДС – якорем. Неподвижная часть генератора называется статором, а вращающаяся – ротором.

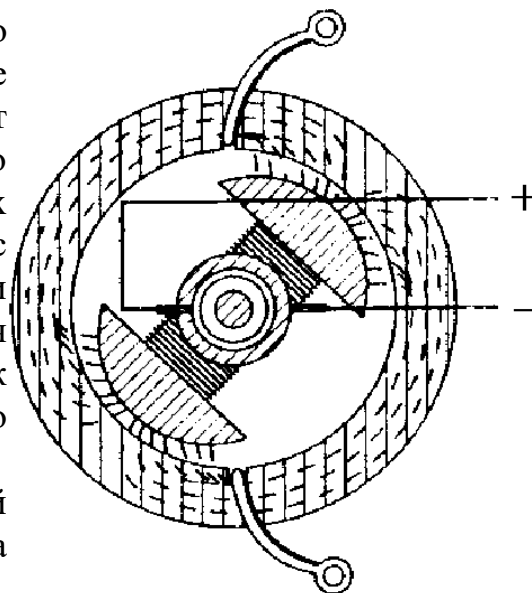


Рис.4

Так, на рис.2 и 3 индуктор является статором, а якорь – ротором, а на рис. 4, наоборот, индуктор является ротором, а якорь – статором.

Многополюсные генераторы переменного тока

Если ротор генератора имеет одну пару полюсов (см. рис. 4), то частота НАПРЯЖЕНИЯ, индуцируемого в генераторе, оказывается равной частоте вращения ротора, так как один оборот ротора соответствует одному периоду индуцируемой ЭДС. Для получения напряжения с частотой $\nu = 50$ Гц двигатель, приводящий в движение ротор генератора с одной парой полюсов, должен вращаться с частотой 50 об/с.

Некоторые двигатели (например, водяные турбины) не могут развивать такие скорости вращения. Поэтому, кроме генераторов с одной парой полюсов, изготавливаются многополюсные генераторы, у которых ротор имеет несколько пар полюсов.

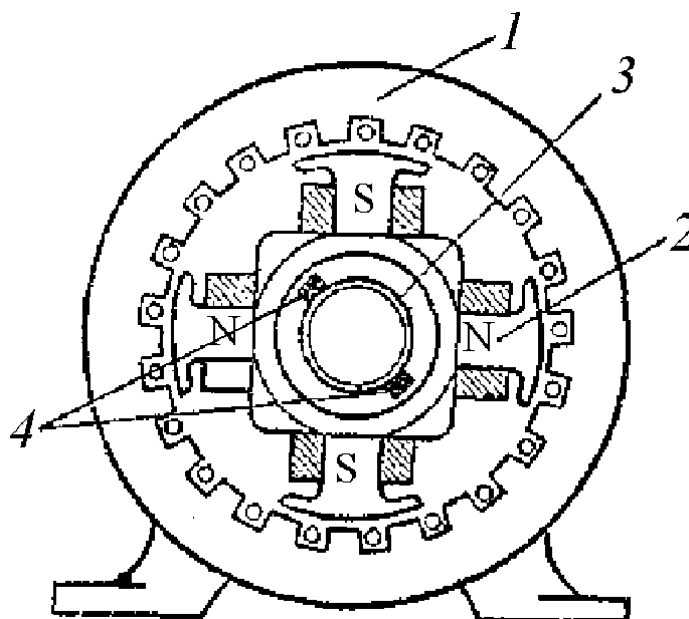


Рис. 5

На рис. 5 представлена схема устройства генератора: 1 – неподвижный якорь, 2 – вращающийся индуктор, 3 – контактные кольца; 4 – скользящие по ним щетки. При наличии n пар полюсов частота индуцированной ЭДС в генераторе равна

$$\nu = n\omega,$$

где n – частота вращения; p – число пар полюсов индуктора генератора.

Генератор постоянного тока

Генераторы постоянного тока представляют собой обычные индукционные генераторы, снабженные особым приспособлением – коллектором, – дающим возможность превратить переменное напряжение на зажимах (щетках) машины в постоянное.

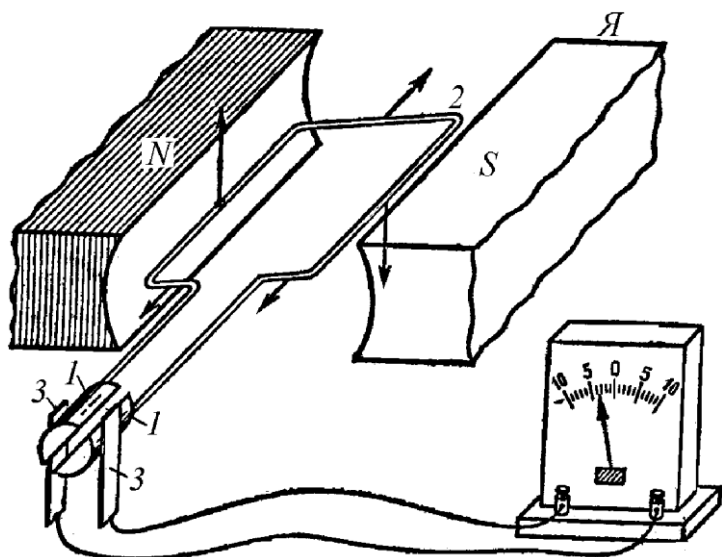


Рис. 9

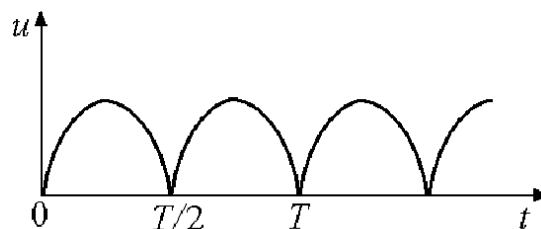


Рис. 10

Принцип устройства коллектора ясен из **рис. 9**, на котором изображена схема простейшей модели генератора постоянного тока с коллектором. Эта модель отличается от рассмотренной выше модели генератора переменного тока лишь тем, что здесь концы якоря (обмотки) соединены не с отдельными кольцами, а с двумя полукольцами 1, разделенными изолирующим материалом и надетыми на общий цилиндр, который вращается на одной оси с рамкой 2. К вращающимся полукольцам прижимаются пружинящие контакты (щеточки) 3, с помощью которых индукционный ток отводится во внешнюю сеть. При каждом полуобороте рамки концы ее, припаянные к полукольцам, переходят с одной щетки на другую. Но направление индукционного тока в рамке тоже меняется при каждом полуобороте рамки. Поэтому, если переключения в коллекторе происходят в те же моменты времени, когда меняется направление тока в рамке, то одна из щеток всегда будет являться положительным полюсом генератора, а другая – отрицательным, т. е. во внешней цепи будет идти ток, не меняющий своего направления. Можно сказать, что с помощью коллектора мы производим выпрямление переменного тока, индуцируемого в якоре машины.

График зависимости от времени напряжения на зажимах генератора, якорь которого имеет одну рамку, а коллектор состоит из двух полуколец, изображен на **рис. 10**.

В этом случае напряжение на зажимах генератора, хотя и является прямым, т. е. не меняет своего направления, но все время меняется от нуля до максимального значения. Такое напряжение и соответствующий ему ток часто называют прямым пульсирующим током. Нетрудно сообразить, что напряжение или ток проходят весь цикл своих изменений за время одного полупериода переменной ЭДС в обмотках генератора. Иначе говоря, частота пульсаций вдвое больше частоты переменного тока.

Чтобы сгладить эти пульсации и сделать напряжение не только прямым, но и постоянным, якорь генератора составляют из большого числа отдельных катушек, или секций, сдвинутых на определенный угол друг относительно друга, а коллектор составляют не из двух полуколец, а из соответствующего числа пластин, лежащих на поверхности цилиндра, вращающегося на общем валу с якорем. Концы каждой секции якоря припаиваются к соответствующей паре пластин, разделенных изолирующим материалом. Такой якорь называют якорем барабанного типа.

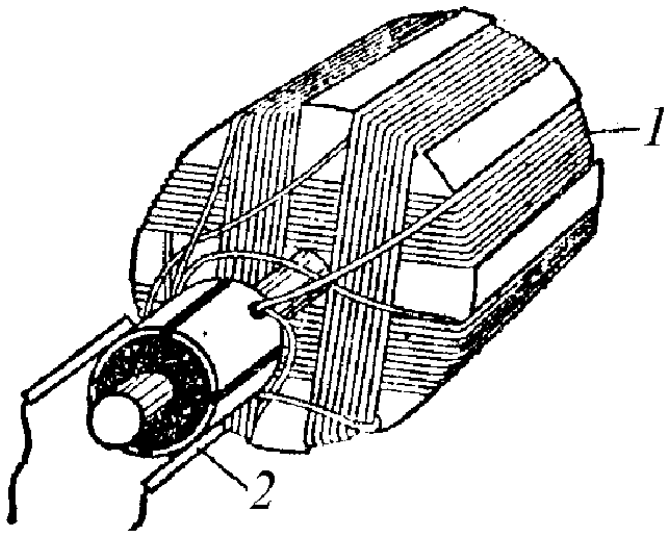


Рис. 11

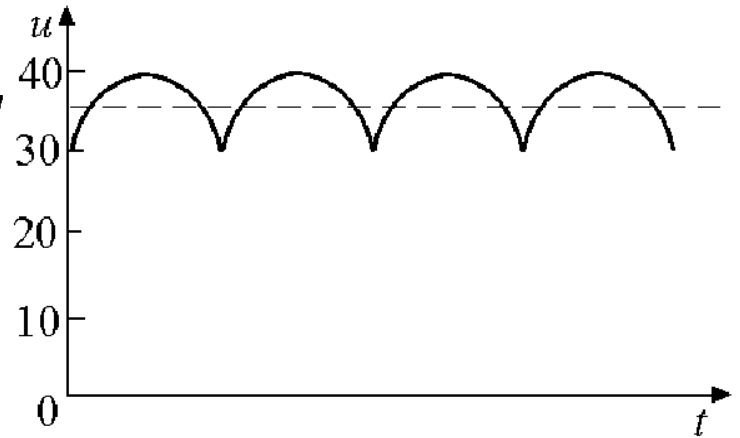


Рис. 11

На рис. 11 показан якорь барабанного типа генератора постоянного тока: 1 – барабан, на котором расположены витки четырех обмоток, 2 – коллектор, состоящий из двух пар пластин.

На рис. 12 дана зависимость напряжения от времени для этого генератора.

При достаточно большом числе обмоток можно добиться того, что пульсации будут практически незаметны, т. е. генератор будет вырабатывать постоянный ток.

92/6	0302	0228	0228	Трансформатор переменного тока. Передача электроэнергии на расстояния.
------	------	------	------	---

При передаче электроэнергии на большие расстояния потери энергии тем меньше, чем выше напряжение (ОБЪЯСНИТЕ ПОЧЕМУ!).

Задачи для повторения (довольно трудные):

1. На какое расстояние l можно передавать электроэнергию от источника тока с напряжением 5,0 кВ так, чтобы на нагрузке с сопротивлением $R = 1,6$ кОм выделялась мощность $N = 10$ кВт? Удельное сопротивление провода $\rho = 0,017$ мкОм·м, его сечение $S = 1,0$ мм².

2. От источника с напряжением $U_0 = 100$ кВ требуется передать на расстояние $l = 5,0$ км мощность $P = 5000$ кВт. Допустимая потеря напряжения в проводах $n = 1$ %. Рассчитать минимальное сечение медного провода, пригодного для этой цели. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \times 10^{-8}$ Ом·м.

3. При передаче электроэнергии на большое расстояние используется трансформатор, повышающий напряжение до 6 кВ и загруженный до номинальной мощности 1000 кВт. При этом разность показаний счетчиков электроэнергии, установленных на трансформаторной подстанции и в приемном пункте, увеличивается ежедневно на 216 кВт·ч. Во сколько раз необходимо повысить напряжение, чтобы при передаче потери электроэнергии не превышали 0,1%?

4. Под каким напряжением нужно передавать электрическую энергию постоянного тока на расстояние $l = 5,0$ км, чтобы при плотности тока $j = 2,5 \times 10^5$ А/м² в

медных проводах двухпроводной линии электропередачи потери в линии составляли 1% от передаваемой мощности? Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \times 10^{-8}$ Ом·м.

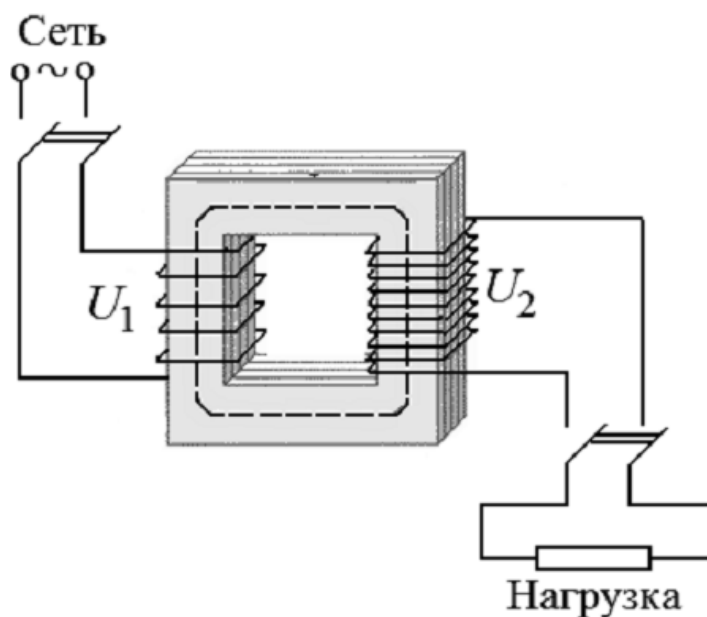
с.261

В то же время использовать электроэнергию, например, для питания бытовых приборов под высоким напряжением небезопасно. Поэтому все бытовые приборы рассчитаны на напряжение 220 В, а высоковольтные линии электропередач находятся под напряжением в десятки и сотни киловольт. В связи с этим возникает проблема: как повышать или понижать напряжение в зависимости от ситуации?

Техническое устройство, позволяющее повышать или понижать напряжение, называется трансформатором.

Достаточно легко поддается преобразованию (т.е. повышению или понижению) практически без потерь энергии переменное напряжение. Преобразовывать постоянное напряжение очень трудно. По этой причине в промышленности, в быту используется главным образом переменный ток.

Схема устройства трансформатора:



Трансформатор имеет железный сердечник, на который надеты две катушки (обмотки).

Концы одной из обмоток подключаются к источнику переменного напряжения. Эта обмотка называется первичной.

Концы второй обмотки подключаются к нагрузке. Эта обмотка называется вторичной. Количество витков в первичной и вторичной обмотках разное.

Например, на рис. выше число витков в первичной обмотке меньше, чем во вторичной. Поэтому напряжение U_2 на вторичной обмотке отличается от напряжения U_1 в первичной обмотке, и справедливо соотношение:

$$U_1/U_2 \approx N_1/N_2$$

где N_1 – число витков в первичной обмотке, а N_2 – число витков в вторичной обмотке. Величина

$$K = N_1/N_2$$

называется коэффициентом трансформации. Если $K > 1$, то трансформатор называется понижающим, если $K < 1$, то повышающим.

Когда трансформатор подключают к источнику переменного тока, то проходящий по первичной обмотке переменный ток создает переменное магнитное поле (одна из линий которого показана на рис. выше пунктиром). Так как обмотки надеты на общий железный сердечник, то почти все линии этого поля проходят через обе обмотки.

Иначе можно сказать, что обе обмотки пронизываются одним и тем же магнитным потоком.

При изменении этого потока в каждом витке обмоток, как первичной, так и вторичной, индуцируется одна и та же ЭДС e . Полная же ЭДС индукции \mathcal{E} , возникающая в каждой обмотке, равна сумме ЭДС e , возникающих в каждом витке обмоток - та как витки катушки "соединены" последовательно, если каждый виток катушки считать источником ЭДС.

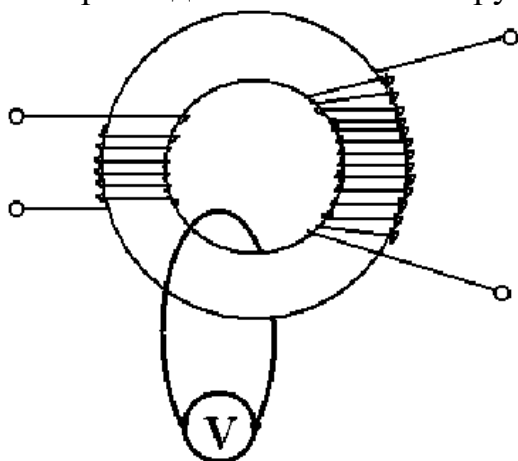
Если первичная обмотка имеет N_1 витков, а вторичная N_2 витков, то индуцированные в них ЭДС равны соответственно $\mathcal{E}_1 = eN_1$ и $\mathcal{E}_2 = eN_2$, т.е.

$$\mathcal{E}_1/\mathcal{E}_2 = N_1/N_2$$

Когда цепь вторичной обмотки разомкнута - такое состояние трансформатора называется режимом холостого хода. Тогда во второй обмотке $U_2 = \mathcal{E}_2$.

Как определить число обмоток трансформатора, имея вольтметр и проволоку?

Пример 1. Трансформатор, повышающий напряжение с $U_1 = 100$ В до $U_2 = 3300$ В, имеет замкнутый сердечник в виде кольца. Через кольцо пропущен провод, концы которого присоединены к вольтметру (рис.).



Вольтметр показывает $U = 0,5$ В. Сколько витков имеют обмотки трансформатора? Все значения считать точными.

Дано: $U = 0,5 \text{ В}$; $U_1 = 100 \text{ В}$; $U_2 = 3300 \text{ В}$.

Найти: $N_1 = ?$ $N_2 = ?$

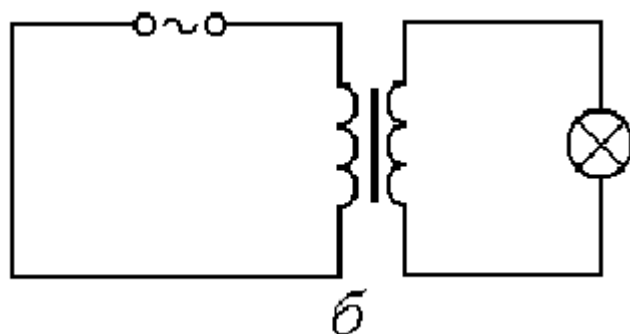
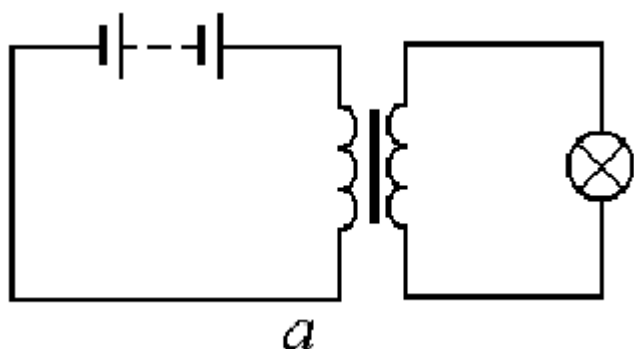
Решение. Рассмотрим вольтметр как вторичную обмотку, имеющую один виток: $N = 1$. Тогда согласно формуле $U_1/U_2 \approx N_1/N_2$
 $N_1 = 200$.

Теперь запишем то же соотношение для первичной и вторичной обмоток: $U_1/U_2 \approx N_1/N_2 \rightarrow N_2 = N_1(U_2/U_1) = 200 \cdot (3300\text{В}/100\text{В}) = 6600$.

Ответ: $N_1 = 200$, $N_2 = 6600$.

Задача 1. Сила тока в первичной обмотке трансформатора $0,50 \text{ А}$, напряжение на ее концах 220 В . Сила тока во вторичной обмотке 11 А , напряжение на ее концах $9,5 \text{ В}$. Определить КПД трансформатора.

Задача 2. Будет ли работать трансформатор в схемах, приведенных на рис.?



Задача 3. Сколько витков должна иметь вторичная обмотка трансформатора, чтобы повысить напряжение с 220 В до 11000 В , если в первичной обмотке 20 витков? Каков коэффициент трансформации?

Задача 4. Под каким напряжением находится первичная обмотка трансформатора, имеющая 1000 витков, если во вторичной обмотке 3500 витков и напряжение на ее концах 105 В ?

Задача 5. Изменяется ли мощность тока при преобразовании его в трансформаторе?

Задача 6. Электрический звонок включен в осветительную сеть через трансформатор. Потребляется ли электроэнергия, когда кнопка, включенная последовательно со звонком, не нажата?

Задача 7. Первичная катушка трансформатора присоединена к источнику тока, вторичная же разомкнута. Потребляется ли трансформатором электроэнергия?

с.337

3/7	302	301	301	Контрольная работа №5 «Электромагнитные явления»
-----	-----	-----	-----	---