

И.Л. Касаткина

# **ФИЗИКА**

## **11 класс**

**КРАТКАЯ ТЕОРИЯ  
И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ**

# **ЕГЭ-2010**

**решение задач  
из упражнений учебника  
«Физика 11»**

**Г.Я. Мякишева,  
Б.Б. Буховцева.**

*Самоучитель*

И. Л. Касаткина

# Физика 11 класс

*Краткая теория и решение задач*

Москва  
АСТ «Астрель»  
2009



УДК  
ББЛ

Серия основана в 2006 г.

**Касаткина И.Л.**

**К** Физика 11 класс. Краткая теория и решение задач. — М.: Изд-во «Книжкин Дом»; М.: Изд-во «Астрель», 2009. — 192 с. (Самоучитель)

ISBN

В пособии приведена краткая теория и показано решение задач из упражнений учебника «Физика 11» Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева. Решение сопровождается подробным объяснением с выводом формул и рисунками. Книга может быть полезна учащимся, испытывающим трудности при решении задач, абитуриентам. Пособие также может выступать в роли удобной методической поддержки повседневной работы учителя физики.

УДК  
ББЛ

Общероссийский классификатор продукции  
ОК-005-93, том 2; 953000 книги, брошюры

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 77.99.02.953.Д.009937.09.08 от 15.09.2008 г.

- © Касаткина И.Л., текст, 2009
- © Фролов И.И., обложка, 2009
- © ООО «Издательство «Астрель», 2009
- © Оригинал-макет: ООО «Издательство «Книжкин Дом»

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВСТУПЛЕНИЕ</b> .....	<b>5</b>
<b>МАГНЕТИЗМ</b> .....	<b>6</b>
Краткая теория.....	6
<i>Упражнение 1</i> .....	21
<i>Упражнение 2</i> .....	25
<b>МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ</b> .....	<b>35</b>
Краткая теория.....	35
<i>Упражнение 3</i> .....	44
<b>ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ</b> .....	<b>56</b>
Краткая теория.....	56
<i>Упражнение 4</i> .....	63
<i>Упражнение 5</i> .....	69
<b>МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ</b> .....	<b>73</b>
Краткая теория.....	73
<i>Упражнение 6</i> .....	78
<b>ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ</b> .....	<b>84</b>
Краткая теория.....	84
<i>Упражнение 7</i> .....	86
<b>ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА</b> .....	<b>89</b>
Краткая теория.....	89
<i>Упражнение 8</i> .....	113
<i>Упражнение 9</i> .....	128

— И.Л. Касаткина —

<b>ВОЛНОВАЯ ОПТИКА</b> .....	<b>138</b>
Краткая теория.....	138
<i>Упражнение 10</i> .....	142
<b>ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ</b> .....	<b>147</b>
Краткая теория.....	147
<i>Упражнение 11</i> .....	152
<b>КВАНТОВАЯ ОПТИКА</b> .....	<b>156</b>
Краткая теория.....	156
<i>Упражнение 12</i> .....	160
<b>АТОМНАЯ ФИЗИКА</b> .....	<b>168</b>
Краткая теория.....	168
<i>Упражнение 13</i> .....	178

# МАГНЕТИЗМ

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Вокруг движущихся электрически заряженных частиц существует *магнитное поле*. *Магнитное поле* — это форма материи, с помощью которой движущиеся заряженные частицы взаимодействуют друг с другом.

Силовой характеристикой магнитного поля является магнитная индукция. *Магнитная индукция  $\vec{B}$*  — это векторная величина, модуль которой равен отношению максимальной силы  $F_m$ , действующей на проводник с током в магнитном поле, к силе тока  $I$  в проводнике и длине проводника  $l$  в магнитном поле:

$$B = \frac{F_m}{Il}.$$

Единица магнитной индукции в СИ — тесла (Тл):

$$\text{Тл} = \text{Н} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}.$$

Направление вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  совпадает с направлением положительной нормали  $\vec{n}$  к контуру с током. За направление положительной нормали принято направление поступательного движения правого винта, когда его головку вращают по направлению тока в контуре (рис. 1).

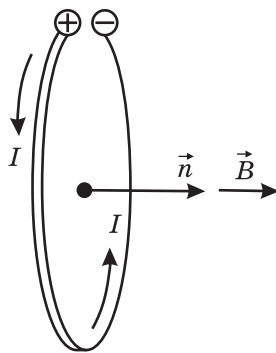


Рис. 1

Магнитное поле изображают графически с помощью магнитных силовых линий или линий магнитной индукции.

Линией магнитной индукции называют линию, в каждой точке которой вектор магнитной индукции направлен по касательной (рис. 2).



Рис. 2

В природе не существует магнитных зарядов, поэтому линии магнитной индукции всегда замкнуты. Магнитное поле является вихревым, в отличие от потенциального электростатического поля, линии которого всегда разомкнуты, т. к. начинаются и оканчиваются на электрических зарядах.

Линии магнитной индукции охватывают проводники с током. Линии магнитной индукции поля прямого тока представляют собой concentric circles with center on the conductor with current (рис. 3). Их направление можно определить с помощью правого винта (или с помощью вашей правой руки: если большой палец правой руки направить по направлению тока в проводнике,

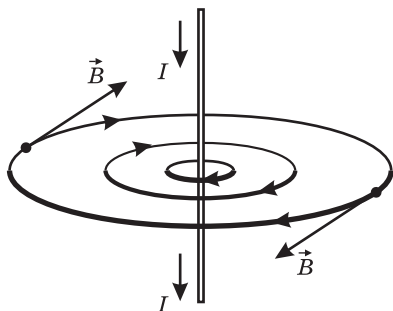


Рис. 3

то четыре загнутых пальца покажут направление линии магнитной индукции). По мере удаления от проводника с током индукция магнитного поля этого тока уменьшается.

Линии магнитной индукции поля кругового тока показаны  $\vec{B}$  на рис. 4. Вектор магнитной индукции на рис. 4 направлен от нас за чертеж. На рис. 4 его направление обозначено в центре кружком с крестиком, как будто стрелка улетает от нас и мы видим ее конец. А если стрелка вектора магнитной индукции направлена от чертежа к нам, то направление  $\vec{B}$  вектора изображается кружком с точкой в центре. Направление вектора магнитной индукции в центре кругового тока можно определить с помощью правого винта или вашей правой руки: если четыре пальца правой руки завернуть по току в контуре, то отставленный на  $90^\circ$  большой палец покажет направление вектора магнитной индукции в центре круга.

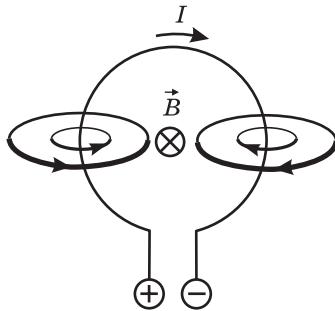


Рис. 4

*Магнитное поле, в каждой точке которого вектор магнитной индукции одинаков, называется однородным.* Линии магнитной индукции однородного поля представляют собой прямые, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга. Чем гуще они располагаются, тем больше магнитная индукция.



Примером однородного магнитного поля является магнитное поле внутри длинного *соленоида* — катушки с током (рис. 5, а).

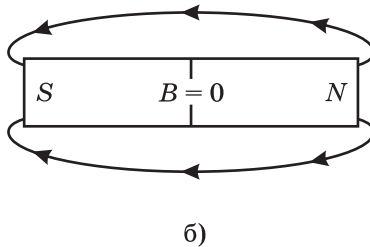
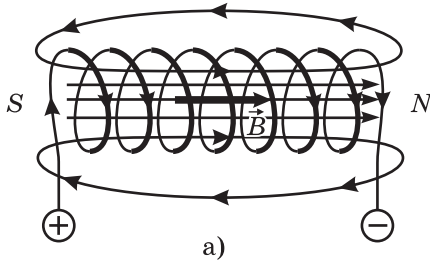


Рис. 5

Такое поле снаружи подобно магнитному полю полюсового магнита (рис. 5, б). Вне магнита линии магнитной индукции выходят из северного полюса  $N$  и входят в его южный полюс  $S$ . Магнитное поле полюсового магнита наибольшее на его полюсах, а в центре его магнитная индукция равна нулю. Поэтому, если немагнитный железный стержень поднести к любому из полюсов полюсового магнита, то он к ним притянется, а если его поднести к середине магнита, — то нет.

Одноименные полюса двух полюсовых магнитов отталкиваются, а разноименные притягиваются.

Внутри соленоида линии магнитной индукции, наоборот, направлены от южного полюса  $S$  к северному  $N$ ,

поскольку они замкнуты. На его полюсах и вне соленоида магнитное поле становится неоднородным.

Полярность соленоида можно определить так: если, повернув к себе соленоид торцом, вы видите, что по последнему витку ток течет по часовой стрелке, то это южный полюс соленоида, а если против — то северный. На рис. 5, б по левому концу соленоида ток течет по часовой стрелке, поэтому это южный полюс, а правый — северный. Направление вектора магнитной индукции внутри соленоида можно определить по правилу правого винта или с помощью вашей правой руки: если четыре пальца правой руки свернуть в направлении тока в витках соленоида, то отставленный на  $90^\circ$  большой палец покажет направление вектора  $\vec{B}$  внутри соленоида.

Однородным можно также считать магнитное поле между двумя разноименными полюсами двух полосовых магнитов (рис. 6). На их краях однородность нарушается.

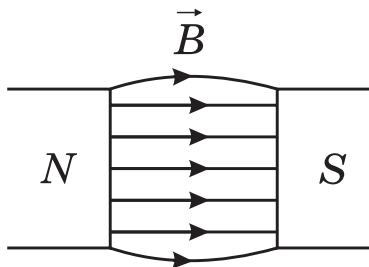


Рис. 6

На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера  $F_A$ , модуль которой определяет закон Ампера: сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, равна произведению индукции магнитного поля  $B$ , силе тока в проводнике  $I$ , длине проводника в магнит-

ном поле  $l$  и синуса угла между вектором индукции и направлением тока в проводнике:

$$F_A = B I l \sin \alpha.$$

Направление силы Ампера можно определить по правилу левой руки: если вектор магнитной индукции входит в ладонь левой руки, а четыре вытянутых пальца направлены по току в проводнике, то отставленный на  $90^\circ$  большой палец показывает направление силы Ампера (рис. 7).

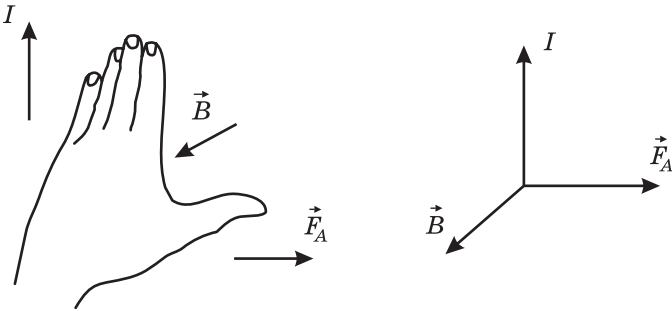


Рис. 7

На заряд, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца  $F_L$ , модуль которой равен произведению магнитной индукции  $B$ , модуля заряда  $q$ , скорости его движения  $v$  и синуса угла  $\alpha$  между векторами магнитной индукции и скорости:

$$F_L = B v l \sin \alpha.$$

Направление силы Лоренца можно определить, как и направление силы Ампера, по правилу левой руки, только за направление тока принять направление вектора скорости положительных зарядов. А если заряд

отрицательный, то четыре вытянутых пальца надо направить противоположно его вектору скорости.

Если вектор скорости заряда перпендикулярен линиям магнитной индукции, то заряд движется по окружности, охватывающей эти линии. Если при этом на заряд действует только одна сила Лоренца, то она направлена по радиусу к центру окружности (рис. 8) и равна произведению массы заряженной частицы и ее центростремительного ускорения, поэтому решение задачи удобно начинать с формулы второго закона Ньютона

$$ma_u = F_A, \quad \text{где } F_A = Bqv, \quad a_u = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \quad \text{и т. д.}$$

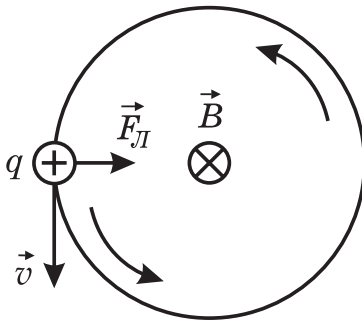


Рис. 8

На рис. 8 вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  направлен от наблюдателя за чертеж, о чем свидетельствует крестик внутри центрального кружка. Положительный заряд  $q$  движется вокруг магнитных линий против часовой стрелки. Если ладонь левой руки расположить так, чтобы вектор магнитной индукции в нее упирался (повернуть ладонь к себе), а четыре вытянутых пальца направить вниз, куда указывает вектор скорости положительного заряда, то отставленный большой палец покажет направление силы Лоренца. На рис. 8 сила Ло-

ренца направлена вправо — к центру круговой траектории заряда.

Сила Лоренца всегда направлена перпендикулярно перемещению заряженной частицы в магнитном поле. Поэтому работы перемещения она не совершает, и значит, кинетическая энергия частицы, движущейся в магнитном поле под действием только силы Лоренца, не изменяется.

Если между вектором скорости заряженной частицы  $\vec{v}$  и линией магнитной индукции есть угол  $\alpha$ , то частица движется по винтовой линии, охватывающей линии магнитной индукции (рис. 9).

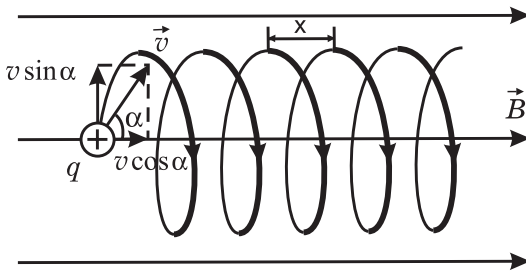


Рис. 9

При этом ее движение можно рассматривать как движение по окружности с линейной скоростью  $v \sin \alpha$  и равномерное перемещение в направлении линии магнитной индукции со скоростью  $v \cos \alpha$ . Расстояние  $x$ , пройденное вдоль линии магнитной индукции за время одного оборота частицы вокруг магнитных линий (за период  $T$ ), называется *шагом винта*. Шаг винта  $x$  можно определить по формуле равномерного движения со скоростью  $v \cos \alpha$  в течение времени  $T$ :

$$x = vT \cos \alpha .$$

Если заряженная частица движется одновременно и в электрическом, и в магнитном полях, то действующая на нее сила равна векторной сумме сил электрической и Лоренца.

Магнитным потоком  $\Phi$  сквозь некоторую площадку  $S$  в однородном магнитном поле называют величину, равную произведению индукции магнитного поля  $B$ , величины этой площадки и косинуса угла  $\alpha$  между вектором индукции и нормалью  $\vec{n}$  к площадке:

$$\Phi = BS \cos \alpha .$$

Если линии магнитной индукции перпендикулярны площадке  $S$ , то магнитный поток сквозь нее максимален (рис.10, а). Если площадка параллельна линиям магнитной индукции, то они скользят по площадке, не пересекая ее, поэтому магнитный поток сквозь площадку равен нулю (рис.10, б). Если линии магнитной индукции пересекают площадку под углом  $\alpha$  к нормали  $n$  (рис.10, в), то магнитный поток определяем по предыдущей формуле.

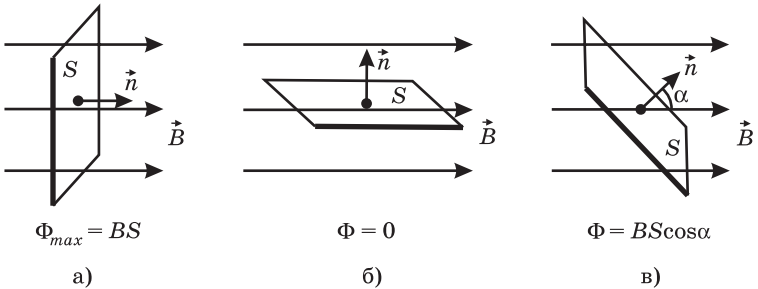


Рис. 10

Условно принято, что магнитный поток численно равен количеству линий магнитной индукции, пересекающих площадку  $S$ .

Магнитный поток — скалярная алгебраическая величина, т.е. он может быть положительным и отрицательным. Если магнитные линии выходят из площадки  $S$ , то магнитный поток положительный, а если входят — то отрицательный. Магнитный поток сквозь замкнутую поверхность всегда равен нулю, потому что сколько линий магнитной индукции входит в любую замкнутую поверхность, столько же и выходит, ведь магнитных зарядов, которые могли бы стать источниками новых линий магнитной индукции, в природе не существует.

Единица магнитного потока в СИ — вебер (Вб). Выразим *вебер* через основные единицы СИ:

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

Если магнитный поток, пересекающий контур, изменяется, в контуре возникает *индукционный* электрический ток. Это явление называется *электромагнитной индукцией*.

*Электромагнитная индукция* — это возникновение индукционного тока в замкнутом контуре при всяком изменении магнитного потока, пересекающего этот контур.

Магнитный поток изменяется при изменении любой из величин, входящих в формулу магнитного потока  $\Phi = BS \cos \alpha$ . При этом в контуре возникает ЭДС *электромагнитной индукции*  $\mathcal{E}_i$ .

*Закон Фарадея для электромагнитной индукции:* ЭДС индукции  $\mathcal{E}_i$ , возникающая в контуре при изменении магнитного потока, пересекающего этот контур, равна скорости изменения магнитного потока  $\Delta\Phi/\Delta t$ , взятой со знаком «минус»:

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

Эта формула применима, когда за одинаковое время  $\Delta t$  магнитный поток изменяется на одинаковую величину  $\Delta\Phi$ , т. е. когда скорость изменения магнитного потока  $\Delta\Phi/\Delta t$  постоянна. Если же скорость изменения магнитного потока меняется произвольно, например, при вращении контура в магнитном поле, когда угол  $\alpha$  в формуле магнитного потока то увеличивается, то уменьшается, последняя формула применима только для определения средней ЭДС индукции за время  $\Delta t$ .

Если за время  $\Delta t$  изменилась индукция магнитного поля на  $\Delta B = B_2 - B_1$ , то изменение магнитного потока  $\Delta\Phi = \Delta BS \cos \alpha$ . Если за это время изменилась площадь контура на  $\Delta S = S_2 - S_1$ , то  $\Delta\Phi = B\Delta S \cos \alpha$ . Если меняется угол  $\alpha$ , то, как правило, надо брать производную магнитного потока по времени.

Если прямой проводник длиной  $l$  движется поступательно со скоростью  $v$  в магнитном поле индукцией  $B$  под углом  $\alpha$  к линиям индукции, то для определения ЭДС индукции, возникающей в нем, применяем формулу

$$\mathcal{E}_i = Bvl \sin \alpha .$$

Если контур площадью  $S$  равномерно вращается с угловой скоростью  $\omega$  в магнитном поле индукцией  $B$ , то для определения ЭДС индукции применяем формулу

$$\mathcal{E}_i = B\omega S \sin \alpha .$$

Если в условии задачи идет речь о заряде, прошедшем через поперечное сечение контура, при прохождении по нему индукционного тока, то можно воспользоваться формулой

$$q = I_i \Delta t ,$$



где в соответствии с законом Ома

$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}.$$

Если сказано, что контур в магнитном поле повернули на  $180^\circ$ , то примите  $\alpha_1 = 0^\circ$ , а  $\alpha_2 = 180^\circ$ . Тогда

$$\Delta\Phi = BS \cos \alpha_2 - BS \cos \alpha_1 = BS (\cos 180^\circ - \cos 0^\circ) = -2BS,$$

т. к.  $\cos 180^\circ = -1$ , а  $\cos 0^\circ = 1$ .

Направление индукционного тока в контуре определяет *правило Ленца*.

*Правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, что своим магнитным полем он препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток.*

Это надо понимать так: при возникновении индукционного тока  $I_i$  вокруг него появляется его собственное магнитное поле  $B_i$ . И если внешнее магнитное поле индукцией  $B$  увеличивается, то вектор индукции магнитного поля индукционного тока  $\vec{B}_i$  направлен против вектора  $\vec{B}$  внешнего магнитного поля, а если внешнее поле убывает, то вектор  $\vec{B}_i$  направлен в сторону вектора  $\vec{B}$ . При этом направление вектора  $\vec{B}_i$  связано с направлением индукционного тока правилом правого винта.

На рис. 11, а внешнее магнитное поле индукцией  $B$  возрастает, поэтому его изменение  $\Delta B > 0$ . При этом в контуре возникает индукционный ток  $I_i$ , магнитное поле которого индукцией  $B_i$  противодействует нарастанию внешнего магнитного поля, согласно правилу Ленца. Поэтому вектор магнитной индукции  $\vec{B}_i$  поля индукционного тока будет направлен против вектора индукции  $\vec{B}$  внешнего магнитного поля. Направление индукционного тока связано с направлением вектора  $\vec{B}_i$

правилом правого винта, применив которое, убедимся, что индукционный ток крутится по часовой стрелке.

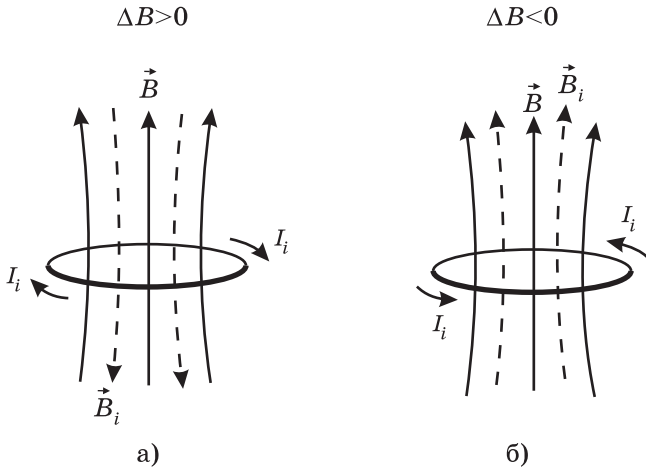


Рис. 11

Если внешнее магнитное поле убывает, то  $\Delta B < 0$ , и теперь по правилу Ленца индукционный ток своим магнитным полем препятствует его уменьшению. Теперь векторы  $\vec{B}$  и  $\vec{B}_i$  направлены в одну сторону, поэтому и направление индукционного тока в контуре изменилось на противоположное (рис. 11, б).

Когда по контуру пропускают ток из источника тока, то вокруг контура возникает магнитное поле, индукция которого пропорциональна силе тока в контуре. А магнитный поток пропорционален индукции магнитного поля. Вот и получается, что магнитный поток сквозь контур прямо пропорционален силе тока, текущего в этом контуре :

$$\Phi = LI.$$

Коэффициент пропорциональности  $L$  между магнитным потоком и силой тока в контуре называется *индук-*