

Л. Н. Лукашевич, Л. К. Катанова, И. А. Келарева,
С. А Фризен, Н. А Шварте, О. В. Садырева

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВСЕХ НАПРАВЛЕНИЙ

ОДОБРЕНО

Методической комиссией
геофизического факультета
“ “ _____ 1998 г.

Председатель комиссии
_____ проф. Г. Я. Дементьев

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВСЕХ НАПРАВЛЕНИЙ

Электромагнетизм: Учебно-методическое пособие к решению задач по физике для студентов всех направлений / Л. Н. Лукашевич, Л. К. Катанова, И. А. Келарева, С. А. Фризен, Н. А. Шварте, О. В. Садырева; Уральская госуд. горно-геол. академия, каф. физики, - Екатеринбург: изд. УГГГА, 1998. - 44 с.

В работе приведены примеры решения задач по физике и задачи для самостоятельного решения. Комментарии к задачам несут полезную для студентов информацию: в них разъясняется, как физические закономерности проявляются в различных приборах и установках, используемых для разведки полезных ископаемых, для изучения физических свойств горных пород, в процессах обогащения руд и т. д.

Пособие предназначено для преподавателей кафедры физики и студентов.

Пособие рассмотрено на заседании кафедры физики 23 декабря 1997 года (протокол № 3) и рекомендовано для издания в УГГГА.

Рецензент: И. Г. Сковородников, проф., д-р геол.-минерал. наук

© Уральская государственная
горно-геологическая
академия, 1998

СОДЕРЖАНИЕ

	с.
1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКОВ	3
<i>Примеры решения задач</i>	3
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	10
2. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИКИ С ТОКОМ И ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ	13
<i>Примеры решения задач</i>	13
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	21
3. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ	23
<i>Примеры решения задач</i>	23
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	29
4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	32
<i>Примеры решения задач</i>	32
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	38
Список использованной литературы	41

1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКОВ

Примеры решения задач

1.1 /1, 2/

Топограф пользовался компасом в 6 м от линии электропередачи, по которой идет постоянный ток 100 А. Сильно ли отражается это на показаниях компаса? Горизонтальная составляющая земного магнитного поля $H_0 = 16 \text{ А/м}$.

$r_0 = 6 \text{ м}$
$I = 100 \text{ А}$
$H_0 = 16 \text{ А/м}$
$H / H_0 = ?$

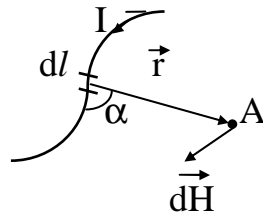


Рис. 1.1

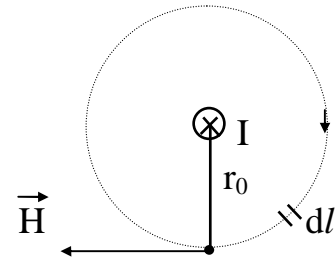


Рис. 1.2

Решение

По закону Био-Савара-Лапласа элемент контура dl , по которому течет ток I , создает в некоторой точке A пространства (рис. 1.1) магнитное поле напряженностью

$$dH = \frac{I \sin \alpha}{4\pi r^2} dl,$$

где r - расстояние от точки A до элемента dl ,

α - угол между радиусом-вектором \vec{r} и элементом тока $\vec{I} \cdot d\vec{l}$.

Используя этот закон и принцип суперпозиции, получаем, что напряженность магнитного поля, созданного бесконечно длинным прямолинейным проводником,

$$H = \frac{I}{2\pi r_0},$$

где r_0 - расстояние от проводника с током до точки, в которой определяется напряженность (рис. 1.2).

Это же выражение для напряженности можно было получить, применив теорему о циркуляции вектора \vec{H} по замкнутому контуру:

$$\oint H dl \cos \widehat{\vec{H} \cdot d\vec{l}} = I, \quad H \cdot \int_0^{2\pi r_0} dl = I.$$

Искомое отношение

$$\frac{H}{H_0} = \frac{I}{2\pi r_0 H_0} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot 16} = 0,17 \text{ или } 17 \%$$

Влияние линии электропередачи на показания компаса зависит от взаимного расположения векторов \vec{H} и \vec{H}_0 .

Чтобы ответить на вопрос, какие полезные ископаемые есть в данном районе, и точно указать, где и как искать новые месторождения, необходимо составить геологическую карту местности. Намечая пути будущих маршрутов, геолог изучает топографическую карту, на которой показаны озера, горные хребты, холмы и долины.

Геолог-съемщик на топографической карте при помощи условных знаков отмечает выходы горных пород, границы их распространения, характер залегания.

1.2 /3/

Определить напряженность и индукцию магнитного поля в центре квадратной рамки (рис. 1.3), используемой при электромагнитном зондировании глубин Земли. Сторона рамки 1 км, сила тока в ней $4 \cdot 10^4$ А.

$a = 10^3$ м
$I = 4 \cdot 10^4$ А
$\mu = 1$
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
$B - ?$
$H - ?$

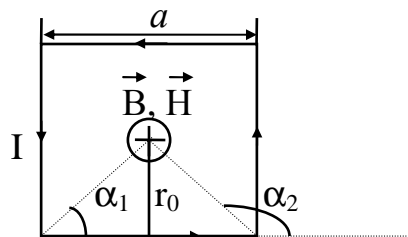


Рис. 1.3

Решение

Напряженность магнитного поля, создаваемого током в квадратном контуре, согласно принципу суперпозиции, равна сумме напряженностей полей, создаваемых токами в каждой из сторон квадрата

$$\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \vec{H}_3 + \vec{H}_4.$$

Так как в центре рамки магнитные поля, создаваемые отдельными токами, равны по величине и одинаково направлены, то напряженность результирующего поля

$$H = 4 H_1.$$

По закону Био-Савара-Лапласа напряженность магнитного поля конечного прямолинейного тока

$$H_1 = \frac{I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где $r_0 = 0,5 a$ - кратчайшее расстояние от центра квадрата до проводника с током,

α_1 и α_2 - углы входа и выхода, равные 45° и 135° .

Напряженность поля в центре рамки

$$H = 4H_1 = \frac{I(\cos 45^\circ - \cos 135^\circ)}{\pi 0,5a} = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot (0,71 + 0,71) \text{ А}}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^3 \text{ м}} = 36 \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

Индукция магнитного поля

$$B = \mu\mu_0 H = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 36 \text{ Тл} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}.$$

Такая квадратная петля с длиной стороны в 1 км использовалась при испытании на Урале мощной МГД-установки для электромагнитного зондирования глубин Земли. На изготовление петли было израсходовано 40 тонн алюминия. Сигнал, рожденный током $4 \cdot 10^4$ А, был в сотни тысяч раз сильнее, чем при использовании геофизических установок для аналогичных целей. Для запуска МГД-установки применялся обычный автомобильный мотор. Сигнал устойчиво регистрировали на расстоянии до 70 км по поверхности Земли и более, чем на 40 км вглубь Земли. Измеряя проводимость в направлениях с востока на запад и с севера на юг, исследователи обнаружили расхождение, которое объяснили наличием ранее неизвестного глубинного разлома.

1.3 /5, 7/

Конденсатор емкостью 10^{-5} Ф периодически заряжается от батареи, ЭДС которой 100 В, и разряжается через плоскую катушку, содержащую 32 витка радиусом 10 см. Плоскость кольца совпадает с плоскостью магнитного меридиана. Помещенная в центре катушки горизонтальная магнитная стрелка отклоняется на угол 45° , если переключение конденсатора происхо-

дит 100 раз в секунду. Найти горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

$$C = 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$\mathcal{E} = 100 \text{ В}$$

$$R = 0,10 \text{ м}$$

$$N = 32$$

$$\varphi = 45^\circ$$

$$v = 100 \text{ с}^{-1}$$

$$H_0 = ?$$

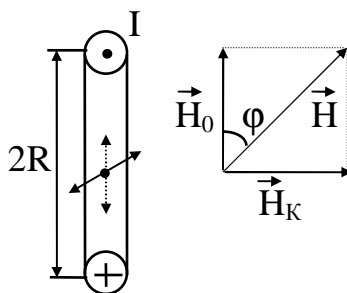


Рис. 1.4

Решение

На положение магнитной стрелки влияют горизонтальная составляющая \vec{H}_0 магнитного поля Земли и напряженность \vec{H}_K , создаваемая током в катушке и направленная перпендикулярно плоскости витка. Стрелка устанавливается вдоль результирующей напряженности \vec{H} .

Из рис. 1.4 видно, что

$$H_0 = \frac{H_K}{\operatorname{tg}\varphi}.$$

Учитывая, что по закону Био-Савара-Лапласа

$$H_K = \frac{NI}{2R},$$

а среднее значение силы тока в катушке

$$I = \frac{Q}{T} = \frac{C\mathcal{E}}{T} = C\mathcal{E}v,$$

получаем для горизонтальной составляющей

$$H_0 = \frac{NC\mathcal{E}v}{2R\operatorname{tg}\varphi} = \frac{32 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \cdot 100}{2 \cdot 0,1 \cdot 1} \text{ А / м} = 16 \text{ А / м}.$$

В одном и том же пункте земной поверхности H_0 испытывает годовые и суточные вариации. Так H_0 в северном полушарии имеет наименьшее значение около полудня, а наибольшее около 20 ч летом и около 6 ч зимой. Из всех типов нерегулярных возмущений H_0 самыми грандиозными являются

магнитные бури. Они начинаются внезапно и одновременно на всем земном шаре. За 1 - 2 ч во время начальной фазы бури H_0 возрастает на несколько десятков гамм ($1 \gamma = 8 \cdot 10^{-4} \text{ А/м}$). Затем следует главная фаза продолжительностью в несколько часов, в течение которой H_0 резко уменьшается до минимального значения. После этого наступает обратная фаза бури - H_0 в течение нескольких дней возвращается к прежнему невозмущенному значению. Такие бури происходят несколько раз в месяц. Примерно раз в год случаются бури, при которых амплитуда возмущения достигает 1500 - 2500 γ .

Замечено, что магнитные бури тесно связаны с солнечными вспышками. Магнитные бури обнаруживают тенденцию к 27-дневной повторяемости (период вращения Солнца вокруг оси для земного наблюдателя). Магнитные бури сопровождаются изменениями в ионосфере, появлением полярных сияний в области более низких широт, чем обычно, значительным ухудшением телеграфной и радиосвязи, ненормальностями в работе автоблокировки на железных дорогах и т. д. Так, например, во время магнитной бури 11 февраля 1958 года индуцированные электрические токи были так велики, что в Швеции в некоторых местах загорался электроизоляционный материал на кабелях, сгорали предохранители и даже трансформаторы.

Расчеты показывают, что полная энергия средней геомагнитной бури достигает 10^{17} Дж, а мощность 10^{12} Вт. Измерения скорости торможения искусственных спутников показали, что во время магнитных бурь плотность атмосферы на высоте 200 - 500 км увеличивается из-за потоков ионизированного газа.

1.4 /6, 7/

Кольца Гельмгольца, используемые в магниторазведке для получения однородного поля, представляют собой две плоские тонкие катушки одинакового радиуса R , расположенные параллельно друг другу на расстоянии $a = R$. Токи в катушках равны и имеют одинаковое направление, катушки содержат N витков. Сравните напряженности магнитного поля в центре каждого кольца и в средней точке на оси.

$$I_1 = I_2 = I$$

$$a = R$$

$$\delta = \frac{H_A - H_0}{H_A} - ?$$

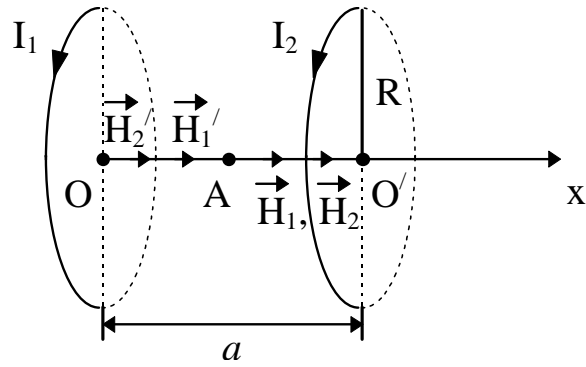


Рис. 1.5

Решение

По закону Био-Савара-Лапласа поле на оси плоской катушки

$$H = \frac{IR^2N}{2(R^2 + x^2)^{3/2}},$$

где x - расстояние от центра витка до любой точки на его оси.

По принципу суперпозиции напряженность результирующего поля равна векторной сумме напряженностей, создаваемых каждой катушкой в отдельности,

$$\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2.$$

В точке А (рис.1.5) векторы \vec{H}_1 и \vec{H}_2 направлены по одной прямой в одну сторону и равны между собой. Поэтому напряженность магнитного поля

$$H_A = 2 H_1 = \frac{2 IR^2N}{2(R^2 + 0,5^2 R^2)^{3/2}} = \frac{0,71 IN}{R}.$$

В точке О напряженность результирующего поля

$$H_0 = H_1' + H_2' = \frac{IN}{2R} + \frac{INR^2}{2(R^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{0,68 IN}{R}.$$

$$\delta = \frac{H_A - H_0}{H_A} = \frac{0,71 - 0,68}{0,71} = 0,042 \quad \text{или} \quad 4,2\%.$$

С небольшой погрешностью магнитное поле внутри колец Гельмгольца близко к однородному.

Магниторазведка является одним из основных методов разведочной геофизики, основанных на изучении естественного геомагнитного поля. Основная задача магниторазведки заключается в выяснении особенностей геологического строения земной коры в связи с поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых. Магниторазведка основана на изучении магнитных полей и магнитных свойств горных пород и руд. В поле, создаваемое кольцами Гельмгольца, можно помещать образцы горных пород для определения намагниченности и магнитной восприимчивости.

1.5 /8, 9/

Сколько ампер-витков нужно взять для электромагнита, чтобы получить поле с индукцией 1,65 Тл в зазорах (рис. 1.6), если длины участков магнитной цепи соответственно равны: $l_1 = 100$ см, $l_2 = 49,8$ см, $l_3 = 4$ мм. Магнитная проницаемость материала сердечника 1500. Площадь поперечного сечения магнитного потока на всех участках считать постоянной.

$B_3 = 1,65$ Тл
 $l_1 = 1$ м
 $l_2 = 0,498$ м
 $l_3 = 0,004$ м
 $\mu = 1500$
 $IN = ?$

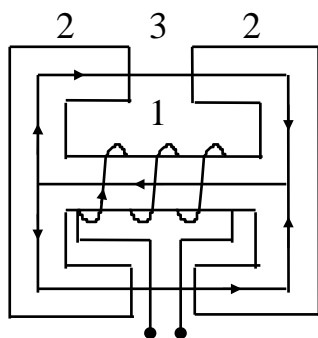


Рис. 1.6

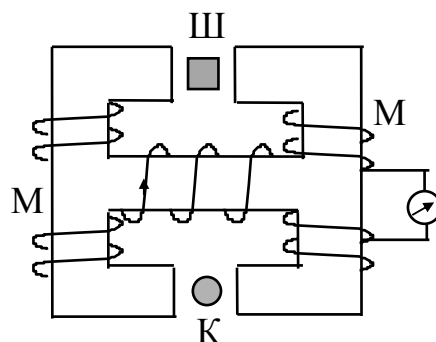


Рис. 1.7

Решение

Согласно теореме о циркуляции напряженности магнитного поля

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i$$

для контура 12321 имеем:

$$H_1 l_1 + 2H_2 l_2 + H_3 l_3 = I N.$$

Напряженности магнитных полей на участках 1, 2, 3

$$H_1 = \frac{\Phi_1}{S\mu_0\mu}, \quad H_2 = \frac{\Phi_2}{S\mu_0\mu}, \quad H_3 = \frac{\Phi_3}{S\mu_0\mu}.$$

Учитывая, что

$$\Phi_2 = \Phi_3, \quad \Phi_1 = 2\Phi_3, \quad B_3 = \frac{\Phi_3}{S},$$

получим

$$IN = \frac{B_3}{\mu_0} \left(\frac{2l_1 + 2l_2}{\mu} + l_3 \right) = \frac{1,65}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} \left(\frac{2,996}{1500} + 0,004 \right) \text{ А} = 7900 \text{ А}.$$

Такую же форму имеет магнитопровод электромагнитного дефектоскопа для проверки канатов (рис. 1.7). На сердечнике намотана первичная обмотка, а на лобовых сторонах магнитопровода симметрично расположены вторичные катушки М. В зазорах с одной стороны помещен проверяемый канат К, а с другой - регулируемый шунт Ш, набранный из трансформаторного железа. Если магнитные сопротивления обоих плеч разные, то отклоняется стрелка гальванометра, что свидетельствует об изношенности каната.

Задачи для самостоятельного решения

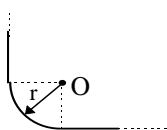
301. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток 50 А. Найти магнитную индукцию в точке, удаленной на расстояние 5 см от проводника. / 200 мкТл/

302. Два круговых витка радиусами 2 м и 3 м расположены в параллельных плоскостях так, что прямая, соединяющая их центры, перпендикулярна этим плоскостям. Расстояние между центрами витков 8 м. По второму витку течет ток 1 А. Какой ток должен быть в первом витке, чтобы магнитное поле в точке, лежащей на оси витков на равном расстоянии от их центров, было равно нулю? / 1,6 А/

303. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи 50 А и 100 А в противоположных направлениях. Расстояние между проводами 20 см. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной на 25 см от первого и на 40 см от второго провода. / 21 мкТл/

304. По двум длинным параллельным проводам, находящимся на расстоянии 5 см, протекают токи по 10 А в каждом в противоположных направлениях. Найти напряженность поля в точке, находящейся на расстоянии 5 см от обоих проводов. / 32 А/м/

305. По бесконечно длинному прямому проводнику, изогнутому, как показано на рисунке, течет ток 100 А. Вычислить напряженность магнитного поля в точке О, если $r = 10$ см.



/ 285 А/м/

306. По бесконечно длинному прямому проводу, согнутому под углом 120° , течет ток 50 А. Найти индукцию магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе угла и удаленной от вершины его на расстояние 5 см.

/ 350 мкТл/

307. По двум бесконечно длинным параллельным проводам текут в одном направлении одинаковые токи 60 А. Определить магнитную индукцию в точке, равноудаленной от проводов на 10 см. Перпендикуляры, проведенные из этой точки к проводам, образуют угол 60° .

/ 210 мкТл/

308. Бесконечно длинный провод с током 50 А изогнут под прямым углом. Найти магнитную индукцию в точке, лежащей на биссектрисе прямого угла на расстоянии 10 см от его вершины.

/ 240 мкТл/

309. Бесконечно длинный прямой провод образует круговую петлю, касательную к проводу. По проводу течет ток 5 А. Найти радиус петли, если известно, что напряженность поля в центре ее равна 41 А/м.

/ 8 см /

310. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток 3,14 А. Круговой виток расположен так, что его плоскость параллельна прямому проводнику, а перпендикуляр, опущенный на него из центра витка, является нормалью к плоскости витка. По витку проходит ток 3 А. Расстояние от центра витка до прямого проводника 20 см, радиус витка 30 см. Определить напряженность магнитного поля в центре витка.

/ 5,6 А/м /

311. Найти число витков в катушке диаметром 10 см, если магнитная стрелка, помещенная в ее центре, отклонилась от плоскости магнитного меридиана на 38° при токе 0,2 А. Горизонтальная составляющая земного магнитного поля 12,8 А/м. Плоскость катушки совпадает с плоскостью магнитного меридиана.

/ 5/

312. По тонкому проволочному кольцу течет ток. Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Определить отношение напряженности магнитного поля в центре кольца к напряженности в центре квадрата.

/ 0,88/

313. Определить горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли, если обмотка тангенс-буссоли имеет 10 витков радиусом 25 см. При токе 0,64 А стрелка отклоняется на угол 45° .

/ 12,8 А/м /

314. Определить напряженность магнитного поля в центре правильного шестиугольника, сторона которого 2 см, а ток, протекающий по нему, 5 А.

/ 140 А/м /

315. По контуру в виде равностороннего треугольника течет ток 40 А. Длина стороны треугольника 30 см. Определить магнитную индукцию в точке пересечения высот.

/ 240 мкТл/

316. Из проволоки длиной 1 м сделана квадратная рамка, по которой течет ток 10 А. Найти напряженность магнитного поля в центре рамки. Во сколько раз она изменится, если рамке придать форму равностороннего треугольника? / 36 А/м; увеличится в 1,2 раза/

317. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника, течет ток 60 А. Длины сторон прямоугольника равны 30 см и 40 см. Определить магнитную индукцию в точке пересечения диагоналей. / 200 мкТл/

318. По тонкому проводящему кольцу радиусом 10 см течет ток 80 А. Найти магнитную индукцию в точке, равноудаленной от всех точек кольца на 20 см. / 63 мкТл/

319. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка радиусом 8 см равна 30 А/м. Определить напряженность на оси витка в точке, расположенной на расстоянии 6 см от центра витка. / 15 А/м /

320. Длинный прямой соленоид из проволоки диаметром 0,5 мм намотали так, что витки плотно прилегают друг к другу. Какова напряженность магнитного поля внутри соленоида при токе 4 А? Толщиной изоляции пренебречь. / 8 кА/м /

321. Плоский контур площадью 25 см² находится в однородном магнитном поле 0,04 Тл. Определить магнитный поток, пронизывающий контур, если плоскость его составляет 30° с линиями индукции. / 50 мкВб/

322. Плоский контур площадью 20 см² находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,03 Тл. Найти магнитный поток, пронизывающий контур, если его плоскость составляет угол 60° с линиями индукции. / 52 мкВб/

323. Квадратная рамка со стороной 4 см находится в однородном магнитном поле с напряженностью 80 кА/м. Определить магнитный поток, пронизывающий рамку, если плоскость ее составляет угол 30° с направлением магнитных линий. / 80 мкВб/

324. Рамка площадью 16 см² вращается в однородном магнитном поле, делая 2 об/с. Ось вращения находится в плоскости рамки и перпендикулярна линиям поля, напряженность которого 80 кА/м. Найти зависимость магнитного потока, пронизывающего рамку, от времени и наибольшее значение магнитного потока.

$$/ \Phi = \Phi_0 \cos(4\pi t + \varphi_0) (\text{Вб}); 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб} /$$

325. В одной плоскости с длинным прямым проводом, по которому течет ток 50 А, расположена прямоугольная рамка так, что две большие ее стороны длиной 65 см параллельны проводу, а расстояние от провода до ближайшей из этих сторон равно ее ширине. Каков магнитный поток, пронизывающий рамку? / 4,5 мкВб/

326. Соленоид длиной 1 м содержит 2000 витков. Найти потокосцепление при токе в обмотке 10 А. Сечение соленоида 16 см^2 .

/ 0,08 Вб·витков/

327. Соленоид без сердечника сечением 10 см^2 содержит 8 витков на каждый сантиметр длины. Какой ток течет по соленоиду, если магнитный поток внутри него 10^{-5} Вб ?

/ 10 А/

328. Определить магнитный поток, создаваемый соленоидом сечением 10 см^2 при силе тока 20 А, если на каждый сантиметр длины соленоида приходится 10 витков.

/ 25 мкВб/

329. Внутри длинного соленоида, по которому течет ток 3 А, имеющего на каждый сантиметр длины 20 витков, помещен круговой виток радиусом 5 см. Нормаль к плоскости витка составляет с осью соленоида угол 60° . Найти поток магнитной индукции через плоскость этого витка.

/ 30 мкВб/

330. Сколько витков на каждый сантиметр длины должна содержать обмотка замкнутого соленоида с железным сердечником, чтобы при токе 2 А индукция поля в железе была равна 1,45 Тл?. Магнитная проницаемость железа 580.

/ 10 см^{-1} /

331. Тороид со стальным сердечником, длина которого по средней линии 1 м, имеет вакуумный зазор 4 мм. Обмотка содержит восемь витков на сантиметр. При какой силе тока индукция в зазоре будет 1 Тл? Магнитная проницаемость железа 1140.

/ 5 А/

332. Электромагнит изготовлен в виде тороида со средним диаметром 51 см и вакуумным зазором 2 мм. Обмотка тороида равномерно распределена по всей его длине. Во сколько раз уменьшится напряженность магнитного поля в зазоре, если при неизменном токе в обмотке зазор увеличить в три раза? Магнитная проницаемость сердечника тороида 800.

/ 2/

333. На железный тор диаметром 40 см и квадратным сечением со стороной квадрата 4 см намотана равномерно в один слой проволока. По проволоке течет ток 1 А. Число витков 500. Магнитная проницаемость 400. Найти поток индукции в торе.

/ 0,32 мВб/

334. Обмотка тороида, имеющего железный сердечник ($\mu = 600$) с узким воздушным зазором, содержит 1000 витков. По обмотке течет ток 1 А. Найти напряженность магнитного поля в зазоре шириной 0,1 см и внутри сердечника длиной 60 см.

/ 500 кА/м; 830 А/м/

335. Длина железного сердечника тороида 2,5 м, ширина воздушного зазора 1 см. Число витков в обмотке тороида 1000. При токе 20 А индукция поля в воздушном зазоре 1,6 Тл. Определить магнитную проницаемость сердечника при этих условиях.

/ 440/

2. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИКИ С ТОКОМ И ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ

Примеры решения задач

2.1 /10, 11/

Шины генератора представляют собой параллельные медные проводники длиной по 3 м, расположенные на расстоянии 20 см. Определить силу взаимного отталкивания шин при коротком замыкании, когда по ним течет ток $2 \cdot 10^4$ А.

$l = 3$ м
$r_0 = 0,2$ м
$I = 2 \cdot 10^4$ А
$F - ?$

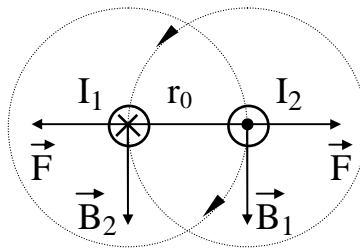


Рис. 2.1

Решение

По закону Ампера сила, действующая на проводник с током, помещенный в магнитное поле, пропорциональна магнитной индукции, силе тока, протекающего по проводнику, длине проводника и зависит от синуса угла между направлением тока и направлением вектора \vec{B} :

$$F = B_1 I_2 l \sin \alpha.$$

Считаем, что второй проводник находится в поле, создаваемом током в первом проводнике (рис. 2.1). Индукция, создаваемая током I_1 на расстоянии r_0 ,

$$B_1 = \frac{\mu \mu_0 I_1}{2\pi r_0}.$$

Учитывая, что $I_1 = I_2$ и $\alpha = 90^\circ$, получим, что сила взаимного отталкивания

$$F = \frac{\mu \mu_0 I^2 l}{2\pi r_0} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot 10^4)^2 \cdot 3}{2\pi \cdot 0,2} \text{ Н} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

При нормальном режиме работы величина протекающих токов невелика и сила взаимодействия мала. При коротких замыканиях силы достигают

таких значений, что могут привести к повреждению трансформаторов, к разрушению токоведущих частей и другого оборудования.

Короткие замыкания в электрических сетях возникают вследствие нарушения изоляции, при ошибочных оперативных включениях, при пробое изоляции сети, при перенапряжениях, возникающих во время грозových разрядов. Наиболее опасен случай так называемого металлического соединения (закорачивания) фаз.

Токи короткого замыкания вызывают механические и тепловые действия. При коротком замыкании на шинах подстанции резко снижается напряжение, что крайне нежелательно для работающих двигателей.

Шины выбирают по номинальным токам и проверяют на динамическую устойчивость по току короткого замыкания.

2.2 /6/

В масс-спектрометре фильтр скоростей 1 создан электрическим полем с напряженностью 10^2 В/м и перпендикулярным к нему магнитным полем с индукцией $2 \cdot 10^{-2}$ Тл. Однократно ионизированные частицы с массами $3,3 \cdot 10^{-26}$ кг и $3,6 \cdot 10^{-26}$ кг пролетают фильтр скоростей и совершают оборот на 180° в отклоняющем поле, направленном перпендикулярно пучку, с индукцией $9 \cdot 10^{-2}$ Тл. Определить расстояние S_1S_2 в ионной ловушке 2 (рис. 2.2).

$E = 10^2$ В/м
$B = 2 \cdot 10^{-2}$ Тл
$B_1 = 9 \cdot 10^{-2}$ Тл
$m_1 = 3,3 \cdot 10^{-26}$ кг
$m_2 = 3,6 \cdot 10^{-26}$ кг
$q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
$S_1S_2 - ?$

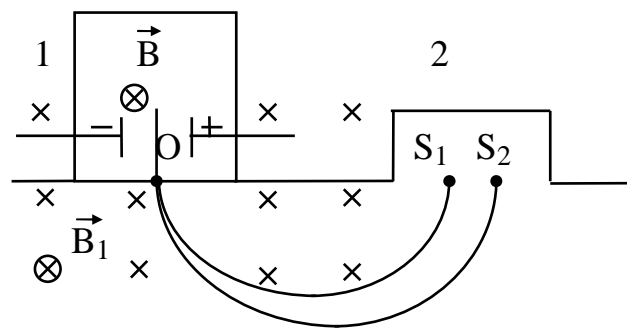


Рис. 2.2

Решение

В фильтре скоростей силы, действующие на ионы со стороны электрического и магнитного полей, равны.

$$|\vec{F}_{\text{Эл}}| = |\vec{F}_{\text{М}}|; \quad q E = q v B \sin 90^\circ.$$

Отсюда скорость ионов

$$v = \frac{E}{B}.$$

В магнитном поле с индукцией B_1 на ионы действует только сила Лоренца, которая является центростремительной. Ионы будут двигаться по окружностям с диаметрами OS_1 и OS_2 .

Из рисунка видно, что

$$S_1 S_2. OS_2 - OS_1 = 2(r_2 - r_1).$$

Радиусы окружностей найдем из равенства сил Лоренца и $F_{цс}$

$$F_{\text{лор}} = F_{\text{цс}}; \quad qvB_1 = \frac{mv^2}{r}.$$

Отсюда

$$r_1 = \frac{m_1 v^2}{qB_1 v} = \frac{m_1 v}{qB_1} = \frac{m_1 E}{BqB_1}.$$

Аналогично,

$$r_2 = \frac{m_2 E}{BqB_1}.$$

Расстояние

$$S_1 S_2 = \frac{2E(m_2 - m_1)}{BqB_1} = \frac{2 \cdot 10^2 \cdot (3,6 - 3,3) \cdot 10^{-26}}{2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9 \cdot 10^{-2}} \text{ м} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Масс-спектрометры нашли широкое применение в различных областях физики, химии, ядерной геофизики и др. Масс-спектрометрические методы исследования изотопного состава элементов являются наиболее современными точными методами. Они применяются в геологии для определения возраста минералов, для уточнения геохимических условий формирования месторождений. Выяснение этих генетических вопросов имеет важное значение при поиске месторождений полезных ископаемых.

2.3 /12, 13/

В электромагнитном насосе для перекачки расплавленного металла на металлургическом заводе участок трубы, через который пропускают ток 100 А, находится в поле с индукцией 0,1 Тл (рис. 2.3). Найти избыточное давление, создаваемое насосом, если $a = 4$ см.

$$\begin{array}{l} B = 0,1 \text{ Тл.} \\ I = 100 \text{ А} \\ a = 0,04 \text{ м} \\ p - ? \end{array}$$

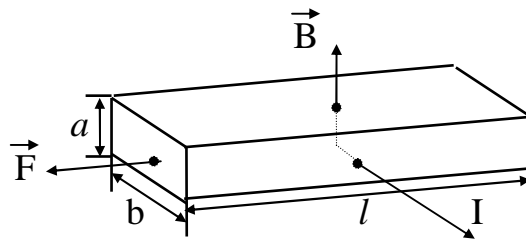


Рис. 2.3

Решение

На отдельную заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, действует сила Лоренца

$$F_1 = qvB \sin 90^\circ.$$

Сила тока в проводнике

$$I = q nvS,$$

где n - концентрация носителей тока,

S - площадь сечения участка трубы, перпендикулярного к направлению тока.

С учетом этого

$$F_1 = \frac{IB}{nS} = \frac{IB}{nal}.$$

Сила, действующая на все носители тока,

$$F = F_1 nV = \frac{IB}{nal} nabl = IBb.$$

Избыточное давление, создаваемое насосом,

$$p = \frac{F}{ab} = \frac{IB}{a} = \frac{100 \cdot 0,1}{0,04} \text{ Па} = 250 \text{ Па}.$$

Магнитогидродинамические устройства (электромагнитные насосы и желоба) используются на металлургических предприятиях для транспортировки алюминиевых и магниевых сплавов, олова, ртути, цинка и других жидких черных и цветных металлов.

В зависимости от направления магнитного поля насосы перекачивают жидкий металл или тормозят его поступление, регулируют расход, когда это требуется технологическими условиями.

Герметичность, бесшумность в работе, быстрота управления и возможность полной автоматизации процесса - таковы основные достоинства электромагнитного метода транспортировки металлов.

2.4 /14/

При какой плотности тока будут всплывать погруженные в электролит (раствор поваренной соли) частицы угля в устройстве для магнитодинамической сепарации полезных ископаемых (рис. 2.4)? Плотность каменного угля $1,35 \text{ г/см}^3$, плотность раствора $1,05 \text{ г/см}^3$. Индукция магнитного поля, направленного горизонтально и перпендикулярно к направлению тока в электролите, равна 1 Тл.

$$\begin{array}{l} \rho_0 = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \\ \rho = 1,35 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \\ B = 1 \text{ Тл} \\ j - ? \end{array}$$

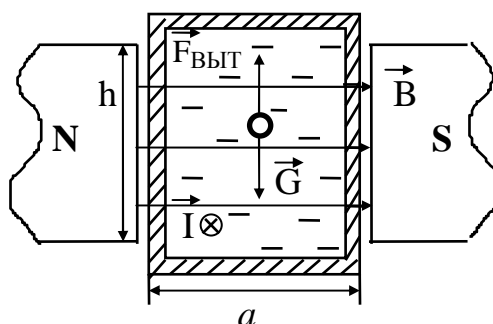


Рис. 2.4

Решение

На обогатительных фабриках применяется МГД-устройство, состоящее из электромагнита, кюветы из диэлектрического материала, металлических электродов, подключенных к клеммам источника электрического тока (см. рис. 2.4). В результате действия электромагнитных полей жидкие электролиты и растворы магнитных солей искусственно утяжеляются и при погружении в них минеральных смесей происходит разделение частиц по плотности.

Через элементарное сечение dS жидкости протекает ток

$$dI = j \, dS.$$

На элементарный объем жидкости в этом случае действует сила

$$dF = Bl \, dI = Bl \, j \, dS = B \, j \, dV,$$

где l - расстояние между электродами (длина кюветы в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа).

Отсюда величина, характеризующая утяжеление единицы объема жидкости под действием поля

$$V_j = \frac{dF}{dV}.$$

Погруженные в раствор частицы угля будут всплывать при условии

$$\rho g \leq \rho_0 g + V_j,$$

где ρg , $\rho_0 g$, V_j - соответственно сила тяжести, выталкивающая сила при отсутствии электромагнитного воздействия на жидкость и добавочная выталкивающая сила, вызванная утяжелением жидкости под действием поля, рассчитанные на единицу объема минеральных частиц.

Минимальная плотность тока

$$j = \frac{(\rho - \rho_0)g}{B} = \frac{(1,35 - 1,05) \cdot 10^3 \cdot 9,8}{1} \text{ А / м}^2 = 3 \cdot 10^3 \text{ А / м}^2.$$

МГД-сепараторы имеют длину $l \approx 7 - 8$ м, ширину $a \approx 2$ м, высоту $h \approx 5$ м. В качестве рабочей жидкости применяется водный раствор поваренной соли с концентрацией 5 - 7 %, размер погруженных в него частиц угля 0,5 - 13 мм, производительность до 50 т/ч.

Наиболее перспективно применение МГД-сепарации в тех случаях, когда компоненты обогащаемого сырья образуют естественные электролиты.

2.5 /15, 16/

В простейшей схеме МГД-генератора (рис. 2.5) площадь обкладок $0,1 \text{ м}^2$, расстояние между ними 0,2 м. Поток ионизированного газа с удельным сопротивлением $0,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и скоростью 10^3 м/с попадает в магнитное поле, направленное перпендикулярно скорости газа и параллельно плоскости обкладок. Определить ЭДС и максимальную мощность МГД-генератора, если индукция поля 1 Тл.

$S = 0,1 \text{ м}^2$
$d = 0,2 \text{ м}$
$\rho = 0,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
$v = 10^3 \text{ м/с}$
$B = 1 \text{ Тл}$
$\alpha = 90^\circ$
$\mathcal{E}, N_{\max} - ?$

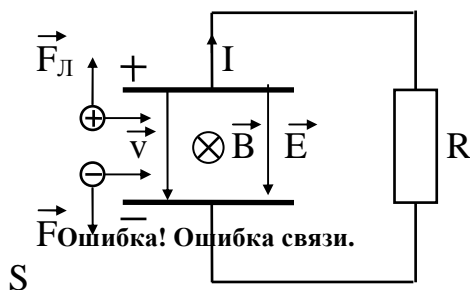


Рис. 2.5

Решение

На свободные заряды q ионизированного газа, движущиеся со скоростью v в магнитном поле с индукцией B , действует сила

$$F_L = qvB \sin\alpha.$$

Она искривляет траектории движения зарядов, отклоняя положительные заряды к верхней обкладке, отрицательные - к нижней (рис. 2.5). Накопление зарядов на пластинах продолжается до тех пор, пока сила электрического поля, возникающего между обкладками, не уравновесит силу Лоренца, если конденсатор не замкнут на внешнее сопротивление.

Такой конденсатор представляет собой источник тока, ЭДС которого равна разности потенциалов между обкладками.

$$\mathcal{E} = Ed = vBd = 10^3 \cdot 1 \cdot 0,2 \text{ В} = 0,2 \text{ кВ}.$$

Внутреннее сопротивление этого источника равно сопротивлению проводящего газа между обкладками

$$r = \rho \frac{d}{S}.$$

Если к конденсатору подключить внешнюю нагрузку с сопротивлением R , то по цепи пойдет ток

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

При этом на внешнем сопротивлении выделяется мощность

$$N = I^2 R,$$

которая будет максимальной при $R = r$.

$$N_{\max} = I^2 r = \left(\frac{\mathcal{E}}{2r} \right)^2 r = \frac{\mathcal{E}^2 S}{4\rho d}.$$

Подставляем числовые данные.

$$N_{\max} = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 0,1}{4 \cdot 0,1 \cdot 0,2} \text{ Вт} = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Вт} = 50 \text{ кВт}.$$

Ток в нагрузке при максимальной мощности

$$I = \frac{\mathcal{E}}{2r} = \frac{0,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,2} \text{ А} = 5 \cdot 10^2 \text{ А}.$$

МГД-генераторы применяются в сейсморазведке для электромагнитного зондирования земной коры. В 1979 году было обнаружено, что предвестником землетрясений является изменение удельного электрического сопротивления горных пород в пределах $7 \div 15 \%$.

Когда ток в импульсном МГД-генераторе достигает определенной величины, его подают на электроды, опущенные в Землю, которая играет роль нагрузки.

Установка «Памир-1» при сравнительно небольших габаритах и весе генератора и электромагнита позволяет получить мощность в несколько мегаватт в импульсе длительностью 10 с и обеспечить в нагрузке ток 10^4 А. Это позволило увеличить глубину зондирования до $10 \div 20$ км и площадь исследуемого сейсмоактивного поля. Приемные станции располагаются в разных направлениях от источника на максимальном расстоянии порядка 40 км.

Задачи для самостоятельного решения

336. На прямой провод длиной 10 см с током 30 А, находящийся в однородном магнитном поле, действует сила 0,015 Н. Напряженность поля равна 8 кА/м. Определить угол между направлениями поля и тока. / 30°/

337. Найти напряженность магнитного поля между полюсами электромагнита, если проводник массой 10 г и длиной 1 м при токе в нем 19,6 А висит в поле, не падая. / 4 кА/м /

338. По двум параллельным проводам длиной 1 м каждый текут одинаковые токи. Расстояние между проводами 1 см. Сила взаимодействия токов 1 мН. Найти токи в проводах. / 7 А/

339. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что ее две стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи 100 А. Найти силу, действующую на рамку, если ее ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине. / 1 мН/

340. С какой силой притягиваются при коротком замыкании две сборные шины распределительного устройства длиной 10 м, расположенные на расстоянии 15 см друг от друга, если ток короткого замыкания 25 кА? / 8,3 кН/

341. Рамка гальванометра длиной 4 см и шириной 1,5 см, содержащая 200 витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Какой вращающий

момент действует на рамку, когда по витку течет ток 1 мА? Каков магнитный момент рамки при этом токе? / $1,2 \cdot 10^{-5}$ Н·м; $1,2 \cdot 10^{-4}$ А·м²/

342. Какую работу надо совершить, чтобы переместить проводник с током 100 А на расстояние 5 см в однородном магнитном поле, напряженность которого 80 кА/м? Длина проводника 10 см, он движется перпендикулярно линиям индукции поля. / 0,05 Дж/

343. Определить необходимую мощность для перемещения проводника длиной 20 см со скоростью 5 м/с в поле с индукцией 0,5 Тл перпендикулярно линиям поля, если по проводнику течет ток 10 А. / 5 Вт/

344. На проволочный виток радиусом 10 см, помещенный между полюсами магнита, действует максимальный механический момент 6,5 мкН·м. Ток в витке равен 2 А. Найти напряженность поля между полюсами магнита. Действие магнитного поля Земли не учитывать. / 82 А/м/

345. Внутри соленоида длиной 30 см с числом витков 360 помещен виток проволоки с током 4 А и диаметром 2 см. Плоскость витка параллельна оси соленоида. Какой ток должен пройти по соленоиду, чтобы виток испытал механический момент 2 мкН·м? / 1 А/

346. Рамка с током 10 А, помещенная в однородное магнитное поле с индукцией $2 \cdot 10^{-2}$ Тл, испытывает вращающий момент 0,08 Н·м. Найти число витков в обмотке рамки, если площадь витка 20 см² и плоскость рамки составляет угол 60° с линиями поля. / 400/

347. По витку радиусом 10 см течет ток 50 А. Виток помещен в однородное поле с индукцией 0,2 Тл. Найти вращающий момент, действующий на виток, плоскость которого составляет 60° с линиями индукции. / 0,16 Н·м/

348. Виток радиусом 1 см находится в поле напряженностью 20 кА/м. Линии напряженности перпендикулярны плоскости витка. По витку течет ток 10 А. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть виток на 180° около оси, совпадающей с одним из диаметров. / 0,16 мДж/

349. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка равна 160 А/м, магнитный момент витка 1 А·м². Найти ток в витке и радиус витка. / 32 А; 0,1 м/

350. Плоскость витка радиусом 2 см перпендикулярна линиям поля напряженностью 8 кА/м. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть виток около его диаметра на 90°, если ток в витке равен 80 А? / 1 мДж/

351. Электрон влетел в однородное магнитное поле напряженностью 2,4 кА/м и, двигаясь нормально к его линиям индукции, описал дугу окружности радиусом 1 см. Найти скорость электрона. / $5,3 \cdot 10^6$ м/с/

352. Протон влетел в магнитное поле перпендикулярно линиям индукции и описал дугу радиусом 10 см. Найти скорость протона, если напряженность поля 100 кА/м. / 1,2 Мм/с/

353. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 400 В, попал в однородное магнитное поле напряженностью 10^3 А/м. Найти радиус кривизны траектории и частоту обращения электрона, если вектор скорости перпендикулярен линиям поля.

/ 5,3 см; 35 МГц/

354. Рассчитать радиус магнита и частоту ускоряющего электрического поля переменного тока в циклотроне, предназначенном для получения пучка протонов с энергией 5 МэВ. Индукция поля равна 2 Тл. Удельный заряд электрона $0,96 \cdot 10^8$ Кл/кг.

/16 см; 30 МГц/

355. Однозарядный ион натрия прошел ускоряющую разность потенциалов 1 кВ и влетел перпендикулярно линиям магнитной индукции в однородное поле 0,5 Тл. Найти удельный заряд иона, если он описал окружность радиусом 4,4 см.

/ 4,2 МКл/кг/

356. Электрон движется перпендикулярно двум скрещенным однородным полям: магнитному ($B = 0,5$ мТл) и электрическому ($E = 10$ В/см). Найти скорость электрона, если при одновременном действии двух полей электрон не испытывает отклонения, и радиус кривизны траектории, если включено одно магнитное поле.

/ 2 Мм/с; 2,3 см/

357. Перпендикулярно к однородному электрическому полю напряженностью 800 В/см возбуждено однородное магнитное поле напряженностью 40 А/см. Пучок электронов, движущихся перпендикулярно к линиям напряженности того и другого поля, не испытывает отклонения. Найти скорость электронов.

/16 Мм/с/

358. В магнитном поле, индукция которого 2 мТл, движется электрон по винтовой линии радиусом 2 см и шагом винта 5 см. Определить скорость электрона.

/ 7,6 Мм/с/

359. Электрон влетает в однородное магнитное поле напряженностью 16 кА/м со скоростью 8000 км/с. Направление скорости составляет угол 60° с направлением поля. Найти радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон в поле.

/ 2 мм; 7 мм/

360. Электрон движется в однородном магнитном поле, напряженность которого 7,2 кА/м, по винтовой линии радиусом 1 см и шагом 7,8 см. Найти период обращения электрона и его скорость.

/ $4 \cdot 10^{-9}$ с; 25 Мм/с/

3. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Примеры решения задач

3.1 /17, 18/

При аэромагнитной съемке самолет Ли-2, летящий горизонтально, развивает скорость 50 м/с. Определить ЭДС индукции, возникающую между концами крыльев, если их размах составляет 12 м, а вертикальная составляющая напряженности земного магнитного поля 40 А/м (рис. 3.1).

$$\begin{array}{l} v = 50 \text{ м/с} \\ l = 12 \text{ м} \\ H = 40 \text{ А/м} \\ \mu = 1 \\ \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \\ \hline \mathcal{E}_i \text{ -?} \end{array}$$

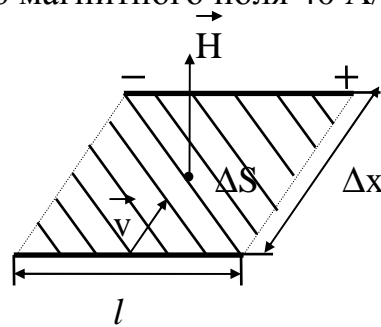


Рис. 3.1

Решение

При движении самолета в магнитном поле Земли на его корпусе и металлических крыльях наводится ЭДС индукции. Согласно закону Фарадея ее величина пропорциональна скорости изменения магнитного потока

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

Учитывая, что вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли

$$B = \mu\mu_0 H,$$

получаем

$$|\mathcal{E}_i| = \mu\mu_0 Hlv = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 40 \cdot 12 \cdot 50 \text{ В} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ В}.$$

Аэромагнитная съемка впервые была проведена в 1936 году. Для аэро-съемки применяют самолеты Ли-2, АН-2, ИЛ-12 и другие. На самолетах устанавливаются магнитометры различных типов.

Месторождения железных руд создают интенсивное магнитное поле, которое накладывается на существующее магнитное поле Земли, заметно

искажает его, увеличивая напряженность. У поверхности Земли возникает магнитная аномалия.

Аэромагнитометр автоматически записывает на ленту свои показания, а геофизик, находящийся на самолете, отмечает на карте все выявленные аномалии. Над наиболее интересными аномалиями маршруты повторяются, с самолета выбрасывается вымпел, который позволит найти на местности обнаруженную аномалию. Для уточнения контуров рудного тела затем проводятся наземные измерения.

При помощи аэромагнитной съемки производят поиски нефтяных и газовых месторождений, выявление крупных тектонических нарушений и границ их распространения, определение глубины залегания пород, создающих магнитные аномалии, с последующим использованием вычисленных глубин для построения структурно-тектонических схем.

3.2 /10, 19, 20/

Рамка площадью 150 см^2 содержит 1000 витков провода сопротивлением 12 Ом. Она совершает 50 оборотов в секунду с помощью электродвигателя ЭД (рис. 3.2). Концы рамки присоединены к кольцам, замкнутым с помощью щеток на гальванометр. Сопротивление гальванометра 35 Ом, максимальный ток в нем 5 мА. Определить вертикальную составляющую магнитного поля Земли.

$S = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$
$N = 10^3$
$R_1 = 12 \text{ Ом}$
$R_2 = 35 \text{ Ом}$
$\nu = 50 \text{ с}^{-1}$
$I_0 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$
$B - ?$

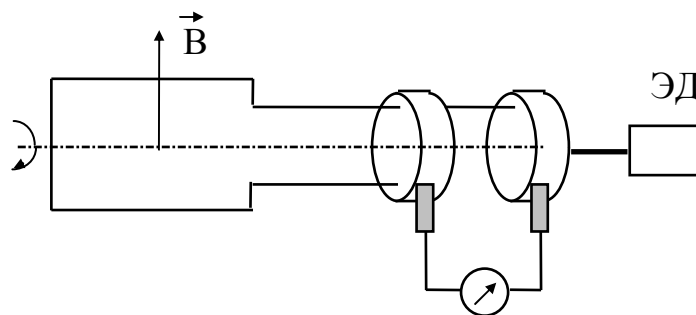


Рис. 3.2

Решение

По закону Ома сила тока

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R_1 + R_2}.$$

Мгновенное значение ЭДС индукции по закону Фарадея

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Psi}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt},$$

где Ψ - потокосцепление,

N - число витков, пронизываемых магнитным потоком Φ .

При вращении рамки магнитный поток Φ , пронизывающий рамку в момент времени t , изменяется по закону:

$$\Phi = B S \cos \omega t,$$

где ω - циклическая частота,

ωt - мгновенное значение угла между нормалью \vec{n} к плоскости рамки и вектором индукции \vec{B} .

Продифференцировав выражение Φ по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции:

$$\varepsilon_i = N\omega BS \sin \omega t = N2\pi\nu BS \sin \omega t.$$

Максимальное значение тока в гальванометре

$$I_0 = \frac{N2\pi\nu BS}{R_1 + R_2}.$$

Отсюда вертикальная составляющая магнитного поля Земли

$$B = \frac{I_0(R_1 + R_2)}{NS2\pi\nu} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot (12 + 35)}{10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 2\pi \cdot 50} \text{ Тл} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}.$$

На вращении рамки в магнитном поле Земли основано действие одного из видов магнитометров. Существуют магнитометры, предназначенные для измерения магнитного поля на поверхности Земли, в воздухе, в космическом пространстве и на море.

3.3 /4, 21/

На рис. 3.3 изображена схема, поясняющая принцип действия электромагнитного расходомера жидкости. Найти скорость течения жидкости в трубопроводе, если индукция магнитного поля равна 0,01 Тл, внутренний диаметр трубопровода 50 мм, а величина возникшей ЭДС составляет 0,25 мВ.

$$\begin{array}{l}
 B = 0,01 \text{ Тл} \\
 d = 0,05 \text{ м} \\
 \mathcal{E} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ В} \\
 \hline
 v - ?
 \end{array}$$

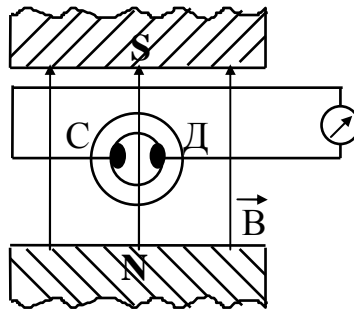


Рис. 3.3

Решение

Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на измерении ЭДС индукции на электродах С и Д, возникающей при движении проводящей жидкости в магнитном поле. Участок трубопровода, изготовленный из немагнитного материала и покрытый изнутри электрической изоляцией, расположен между полюсами магнита или электромагнита. Поле направлено перпендикулярно оси трубы.

Согласно закону Фарадея

$$|\mathcal{E}| = Bvd \sin 90^\circ.$$

Отсюда скорость движения жидкости

$$v = \frac{\mathcal{E}}{Bd} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{0,01 \cdot 0,05} \text{ м / с} = 0,5 \text{ м / с}.$$

Основное требование, предъявляемое к электромагнитным расходомерам, это линейная зависимость выходного сигнала от объемного расхода жидкости. С помощью электромагнитных расходомеров измеряют расход щелочей, кислот, растворов солей, различных суспензий, пульп на обогатительных фабриках. Расходомеры больших диаметров от 40 см до 4 м применяются для измерения скоростей при транспортировке угольных, рудных, глинистых и песчаных пульп в гидротранспорте, строительстве и др. Измеряемые скорости могут составлять от 1 см/с до нескольких десятков метров в секунду.

3.4 /22, 23/

Рассчитать взаимную индуктивность и количество витков в первой и второй обмотках катушки индукционного датчика железомера, если длина катушки 15 см, диаметр поперечного сечения первой обмотки 5 см и на концах второй обмотки возникает ЭДС 20 мВ при скорости изменения тока в первой обмотке 0,8 А/с. Первая обмотка при неизменной силе тока в ней 2 А создает магнитное поле напряженностью 16 кА/м (рис. 3.4).

$l = 0,15 \text{ м}$
$D = 0,05 \text{ м}$
$I_1 = 2 \text{ А}$
$H_1 = 1,6 \cdot 10^4 \text{ А/м}$
$dI_1/dt = 0,8 \text{ А/с}$
$\mathcal{E}_2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ В}$
$L_{21}, N_1, N_2 - ?$

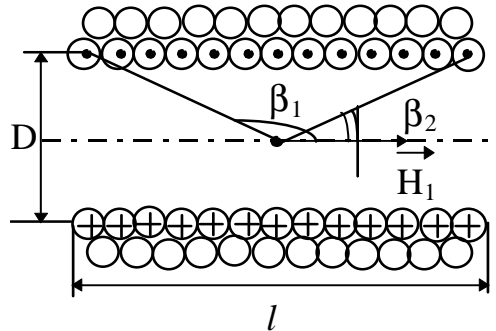


Рис. 3.4

Решение

Взаимной индукцией называется возбуждение тока в контуре при изменении тока в соседнем контуре. Согласно закону Фарадея

$$\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi_1}{dt} = -N_2 \frac{d}{dt} \left(\frac{L_1 I_1}{N_1} \right) = -\frac{N_2}{N_1} L_1 \cdot \frac{dI_1}{dt} = -L_{21} \frac{dI_1}{dt}.$$

Отсюда взаимная индуктивность

$$L_{21} = \frac{|\mathcal{E}_2|}{\left| \frac{dI_1}{dt} \right|} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{0,8} \text{ Гн} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}.$$

Число витков N_1 в первой обмотке определим, исходя из формулы для напряженности поля H_1 на оси первой обмотки при силе тока I_1 в ней

$$H_1 = \frac{I_1 N_1}{2l} (\cos\beta_1 - \cos\beta_2) = \frac{I_1 N_1}{l} \cos\beta_1 = \frac{I_1 N_1}{\sqrt{l^2 + D^2}},$$

так как

$$-\cos\beta_2 = \cos\beta_1 = \frac{l}{2\sqrt{\frac{l^2}{4} + \frac{D^2}{4}}} = \frac{l}{\sqrt{l^2 + D^2}}.$$

Отсюда

$$N_1 = \frac{H_1 \sqrt{l^2 + D^2}}{I_1} = \frac{1,6 \cdot 10^4}{2} \sqrt{(225 + 25) \cdot 10^{-4}} = 1265.$$

Число витков во второй обмотке N_2 найдем, учитывая, что

$$\frac{N_2}{N_1} L_1 = L_{21}.$$

и индуктивность первой обмотки

$$L_1 = \frac{\mu\mu_0 N_1^2 \pi D^2}{4l}.$$

$$N_2 = \frac{N_1 L_{21}}{L_1} = \frac{4l L_{21}}{\mu\mu_0 N_1 \pi D^2} = \frac{4 \cdot 0,15 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}}{4\pi^2 \cdot 10^{-7} \cdot 1265 \cdot 25 \cdot 10^{-4}} = 1203.$$

На магнитно-обогажительных фабриках для контроля качества продуктов обогащения применяют электромагнитный метод, основанный на измерении магнитной проницаемости пульпы. Можно выделить две основные группы датчиков: а) индуктивные и б) индукционные (рис. 3.5).

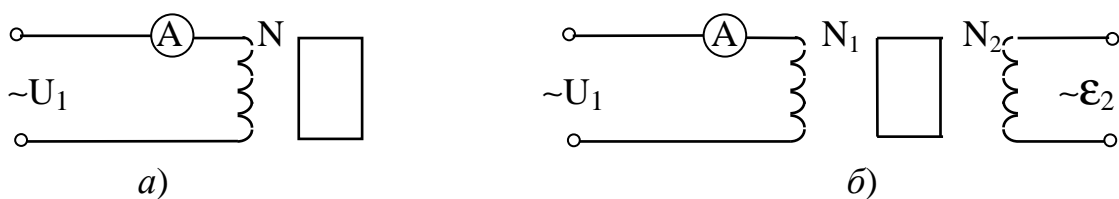


Рис. 3.5

Действие индуктивного датчика основано на зависимости индуктивности от магнитного сопротивления системы. При прохождении через полость катушки пульпы, содержащей ферромагнитный материал, изменяется магнитное сопротивление системы и ток, протекающий по этой катушке. По величине изменения тока судят о содержании магнитного материала в пульпе.

Действие индукционного датчика основано на изменении взаимной индуктивности двух систем обмоток при изменении магнитного потока в одной из них, при этом в другой обмотке возникает ЭДС. С помощью проградуированного датчика-расходомера можно контролировать расход пульпы в некоторых точках обогатительной фабрики.

На изменении индуктивности катушек с изменением плотности магнетитовой или ферросилициевой суспензии основан электромагнитный метод измерения плотности. Суспензия проходит через катушку индуктивности, смонтированную на трубопроводе. Индуктивное сопротивление катушки меняется при изменении плотности суспензии.

Задачи для самостоятельного решения

361. В однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл движется проводник длиной 10 см со скоростью 15 м/с, направленной перпендикулярно к магнитному полю. Найти ЭДС, индуцированную в проводнике.

/ 0,15 В/

362. Проводник длиной 20 см перемещается в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл таким образом, что вектор скорости составляет угол 30° с направлением линий индукции. С каким ускорением нужно двигать проводник, чтобы разность потенциалов на его концах возрастала равномерно на 1 В за 1 с?

/ 100 м/с^2 /

363. Квадратная рамка со стороной 10 см, содержащая 200 витков, вращается в однородном магнитном поле около оси, перпендикулярной к направлению поля. Чему равна индукция поля, если рамка делает 8 оборотов в секунду и максимальная ЭДС индукции равна 10 В?

/ 0,1 Тл/

364. В однородном магнитном поле, индукция которого 0,1 Тл, равномерно вращается катушка, состоящая из 100 витков проволоки. Частота вращения катушки 5 с^{-1} , площадь поперечного сечения $0,01 \text{ м}^2$. Ось вращения перпендикулярна к оси катушки и направлению магнитного поля. Найти максимальную ЭДС индукции во вращающейся катушке.

/ 3,14 В/

365. В однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл равномерно вращается рамка, содержащая 1000 витков. Площадь рамки 150 см^2 . Сколько оборотов в секунду совершает рамка, если известно, что максимальная ЭДС, возникающая в рамке, составляет 94 В?

/ 10 с^{-1} /

366. Проволочное кольцо радиусом 10 см лежит на столе. Какое количество электричества протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую? Сопротивление кольца 1 Ом. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

/ 3,14 мкКл/

367. Проволочный виток с сопротивлением 0,1 Ом надет на длинный прямой магнит. Когда магнит выдернули из витка, то по витку протекло количество электричества 10^{-4} Кл. Определить магнитный поток, пересеченный витком. / 10^{-5} Вб/

368. В магнитное поле с индукцией 0,05 Тл помещена катушка, состоящая из 200 витков проволоки. Сопротивление катушки 40 Ом, площадь поперечного сечения 12 см^2 . Катушка помещена так, что ее ось составляет угол 60° с направлением поля. Какой заряд пройдет по катушке при исчезновении магнитного поля? / 0,15 мКл/

369. В магнитном поле, индукция которого 0,1 Тл, находится квадратная рамка из медной проволоки ($\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м). Площадь поперечного сечения 1 мм^2 , площадь рамки 25 см^2 . Нормаль к плоскости рамки параллельна линиям индукции поля. Какое количество электричества пройдет по контуру рамки, если поле выключить? / 74 мКл/

370. Круговой контур радиусом 2 см помещен в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл. Плоскость контура перпендикулярна к направлению магнитного поля. Сопротивление контура 1 Ом. Какой заряд пройдет через контур при повороте его на 90° ? / 0,25 мКл/

371. Ток в катушке с немагнитным сердечником равномерно возрастает со скоростью 100 А/с. Определить ЭДС самоиндукции, если катушка содержит 1000 витков, длина ее 40 см и площадь сечения 5 см^2 . / 0,16 В/

372. Обмотка электромагнита содержит 800 витков. Площадь сечения сердечника 15 см^2 , индукция магнитного поля в сердечнике 1,4 Тл. Вычислить величину средней ЭДС, возникающей в обмотке при размыкании тока, если ток уменьшается до нуля в течение 0,001 с. / 1680 В/

373. Число витков однослойной катушки 1000. Сколько витков надо добавить, чтобы индуктивность возросла вдвое? / 414/

374. Сколько витков проволоки диаметром 0,4 мм нужно намотать на картонный цилиндр диаметром 2 см, чтобы получить однослойную катушку с индуктивностью 1 мГн? Витки плотно прилегают друг к другу. / 1000/

375. С какой скоростью должен нарастать ток в катушке с числом витков 800, площадью поперечного сечения 10 см^2 , длиной 30 см, чтобы величина ЭДС самоиндукции, возникшей в ней, была равна 25 мВ? / 9,3 А/с/

376. На железный стержень длиной 50 см и сечением 2 см^2 намотан в один слой провод так, что на каждый сантиметр длины стержня приходится

20 витков. Найти энергию магнитного поля в сердечнике соленоида, если ток в обмотке 0,5 А, а магнитная проницаемость в этих условиях равна 1040.

/ 65,3 мДж/

377. По обмотке тороида течет ток 0,6 А. Витки провода диаметром 0,4 мм плотно прилегают друг к другу. Найти энергию поля тороида и ее плотность, если сечение тороида 4 см^2 , а диаметр средней линии 30 см.

/ 0,53 мДж; $1,4 \text{ Дж/м}^3$ /

378. На железное кольцо намотано в один слой 200 витков провода. Чему равна энергия магнитного поля, если при токе 2,5 А магнитный поток в железе 0,5 мВб?

/ 0,125 Дж/

379. При токе в 1 А, проходящем по обмотке соленоида, энергия магнитного поля 10^{-4} Дж. Чему равна индуктивность соленоида?

/ 0,2 мГн/

380. Замкнутый соленоид намотан на немагнитный каркас и содержит 20 витков на каждый сантиметр длины. Найти объемную плотность энергии поля при токе 1 А.

/ $2,5 \text{ Дж/м}^3$ /

4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Примеры решения задач

4.1 /24/

Колебательный контур состоит из конденсатора переменной емкости и катушки индуктивности радиусом 2 см, длиной 30 см с числом витков 900 (рис. 4.1). После заполнения пространства внутри катушки измельченной ферромагнитной породой ее индуктивность стала равной 0,9 Гн. Определить магнитную проницаемость породы.

$\mu_B = 1$
$l = 0,3 \text{ м}$
$R = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
$N = 900$
$L = 0,9 \text{ Гн}$
$\mu - ?$

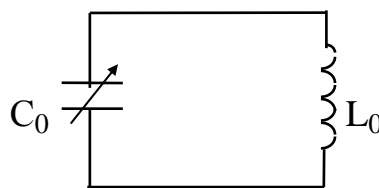


Рис. 4.1

Решение

Индуктивность катушки без породы

$$L_0 = \mu_B \mu_0 \frac{N^2}{l} S = \mu_B \mu_0 \frac{N^2}{l} \pi R^2.$$

Индуктивность катушки с породой

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2}{l} \pi R^2.$$

Отсюда магнитная проницаемость породы

$$\mu = \frac{L \mu_B}{L_0} = \frac{L l}{\mu_0 N^2 \pi R^2}.$$

Подставляем числовые значения

$$\mu = \frac{0,9 \cdot 0,3}{4\pi^2 \cdot 10^{-7} \cdot (900)^2 \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = 210.$$

Индуктивность L измеряют различными способами. Опишем один из них. Катушка является элементом измерительного колебательного контура, собственная циклическая частота которого

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}.$$

С сердечником из горной породы, которая может быть измельчена, происходит изменение индуктивности катушки и частоты колебаний в контуре. Изменяя емкость контура градуировочным конденсатором переменной емкости, настраивают контур на частоту ω_0 и определяют индуктивность по формуле:

$$L = \frac{L_0 C_0}{C}.$$

4.2 /24/

Определить изменение длины волны колебательного контура с индуктивностью 4 мГн при изменении на 0,001 мм расстояния между неподвижной и подвижной обкладками воздушного конденсатора, служащего сейсмографом и включенного в контур. Площадь обкладок 0,071 м², первоначальное расстояние между ними 0,25 мм (рис. 4.2)

$$\begin{array}{l} L = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \\ a = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м} \\ \Delta a = 10^{-6} \text{ м} \\ S = 0,071 \text{ м}^2 \\ v = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \\ \varepsilon = 1 \\ \hline \Delta \lambda - ? \end{array}$$

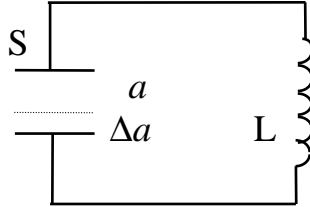


Рис. 4.2

Решение

По формуле Томсона период колебаний в контуре

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Емкость воздушного конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{a}.$$

Используя связь длины волны с периодом колебаний, запишем зависимость $\lambda(a)$.

$$\lambda(a) = v \cdot T = 2\pi v \sqrt{L \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{a}} = 2\pi v \sqrt{L\varepsilon\varepsilon_0 S} \cdot a^{-\frac{1}{2}}.$$

Изменение расстояния между обкладками на Δa приведет к изменению длины волны колебаний на величину

$$\Delta \lambda = -\pi v \sqrt{L\varepsilon\varepsilon_0 S} \cdot \Delta a \cdot a^{-\frac{3}{2}} = -\pi v \Delta a \sqrt{\frac{L\varepsilon\varepsilon_0 S}{a^3}}.$$

Подставляем численные значения.

$$\Delta \lambda = -3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,071}{(2,5 \cdot 10^{-4})^3}} \text{ м} = -12 \text{ м}.$$

Действие ряда сейсмографов основано на применении электрических колебательных контуров. В конденсаторном сейсмографе используется эф-

факт изменения длины волны при изменении расстояния между пластинами конденсатора. Одна из пластин конденсатора соединена с механическими частями сейсмографа. При колебаниях почвы изменяется расстояние между обкладками.

4.3 /25, 26/

Колебательный контур прибора, используемого для разогрева горной породы, состоит из конденсатора емкостью $3,2 \cdot 10^{-10}$ Ф и катушки радиусом 2 см, содержащей 500 витков проволоки диаметром 0,4 мм, плотно прилегающих друг к другу. На какую частоту настроен контур?

$$\begin{array}{l} \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \\ R = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ d = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м} \\ C = 3,2 \cdot 10^{-10} \text{ Ф} \\ N = 500 \\ \hline \nu - ? \end{array}$$

Решение

Частота, на которую настроен колебательный контур, может быть вычислена по формуле Томсона:

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Учитывая, что длина катушки

$$l = Nd,$$

а площадь поперечного сечения

$$S = \pi R^2,$$

получим

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{d}{\mu\mu_0\pi R^2 NC}} = \\ &= \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-4}}{4\pi^2 \cdot 10^{-7} \cdot 500 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 3,2 \cdot 10^{-10}}} = 2 \cdot 10^5 \text{ Гц} = 0,2 \text{ МГц} \end{aligned}$$

В поле такой частоты можно разрушать, например, магнитные руды. Индукционный виток, создающий магнитное поле, располагают на поверхности ферромагнитной породы и перемещают по карьере специальным тягачом. Порода под индуктором нагревается и разрушается.

Токами высокой частоты можно дробить такие крепкие породы, как гранит, диабаз, известняк; производить оттаивание и разрушение мерзлых грунтов.

Токи высокой частоты можно также использовать для обогащительных процессов: отделения полезных ископаемых от сопутствующего им балласта, так как нагрев породы токами высокой частоты является избирательным; одни компоненты сложной породы нагреваются сильнее, чем другие. Трещины проходят по границам различных компонентов, а не беспорядочно.

Электромагнитные поля с частотой более 300 МГц применяют в радиоволновых методах разрушения горных пород. При этом не существует непосредственного контакта с разрушаемой породой. Электромагнитная волна специальной антенной-излучателем направляется в массив в виде сконцентрированного луча. Радиоволна проникает в горную породу, в которой возникают термические напряжения, способные ее разрушить.

4.4 /27, 28/

Определить энергию, которую переносит за одну минуту плоская синусоидальная электромагнитная волна, распространяющаяся в горном массиве (принять $\epsilon = 7$, $\mu = 1$) через площадку в 10 см^2 , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Амплитуда напряженности электрического поля волны 1 мВ/м . Период волны $T \ll t$.

$t = 60 \text{ с}$ $S = 10^{-3} \text{ м}^2$ $E_0 = 10^{-3} \text{ В/м}$ $\epsilon = 7$ $\mu = 1$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$	<p style="text-align: center;">Решение</p> <p>Плотность потока энергии (или интенсивность излучения) электромагнитных волн, то есть количество энергии, переносимой за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны, определяется вектором Пойнтинга:</p> $\vec{P} = [\vec{E} \times \vec{H}].$
$W - ?$	

Учитывая, что в электромагнитной волне $\vec{E} \perp \vec{H}$, для модуля вектора \vec{P} получим

$$P = EH.$$

Величины E и H в каждой точке волны меняются по закону синуса, находясь в одинаковых фазах. Тогда

$$P = E_0 \sin \omega t \cdot H_0 \sin \omega t = E_0 H_0 \sin^2 \omega t.$$

P является функцией времени, поэтому можно говорить лишь о мгновенном значении этой величины.

Согласно определению

$$P = \frac{dW}{dt} \cdot \frac{1}{S}.$$

Отсюда энергия, переносимая волной через площадку S за время dt будет

$$dW = PS dt = E_0 H_0 \sin^2 \omega t \cdot S \cdot dt.$$

Величину H_0 найдем, учитывая равенство максимальных плотностей энергии электрического и магнитного полей волны.

$$\frac{\epsilon_0 \epsilon E_0^2}{2} = \frac{\mu_0 \mu H_0^2}{2}.$$

Отсюда амплитудное значение напряженности магнитного поля

$$H_0 = E_0 \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon}{\mu_0 \mu}}.$$

С учетом этого

$$dW = \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon}{\mu_0 \mu}} E_0^2 S \cdot \sin^2 \omega t \cdot dt,$$

а полная энергия, переносимая волной за время t ,

$$W = \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon}{\mu_0 \mu}} E_0^2 S \int_0^t \sin^2 \omega t dt = \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon}{\mu_0 \mu}} E_0^2 S \left(\frac{t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right).$$

Так как циклическая частота ω неизвестна, воспользуемся данным в условии неравенством $T \ll t$ для оценки значения дроби $\sin 2\omega t / 4\omega$. Учитывая соотношение $\omega = 2\pi / T$, имеем

$$\frac{\sin 2\omega t}{4\omega} = \frac{1}{8\pi} T \sin\left(\frac{4\pi t}{T}\right) \leq \frac{T}{8\pi}.$$

Этим членом в выражении для энергии можно пренебречь. Тогда искомая энергия

$$W = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon}{\mu_0 \mu}} E_0^2 St = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 7}{12,56 \cdot 10^{-7}}} \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} \cdot 60 \text{ Дж} = 2,1 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}.$$

За последние десятилетия геофизики-поисковики стали использовать многие особенности распространения и возбуждения электромагнитного поля в горных породах. Переменные низкочастотные поля и радиоволны, пронизывая пласты Земли, помогают отыскивать полезные ископаемые.

Большое внимание уделяется развитию радиоволновых методов разведки в диапазоне частот от десятков до сотен тысяч и миллионов герц.

Один из них заключается в просвечивании массивов пород в горных выработках и между скважинами. Он основан на изучении степени поглощения энергии электромагнитных волн при прохождении их через просвечиваемую толщу горных пород и обнаружении в пространстве между выработками или скважинами рудных тел, если они обладают хорошей электропроводностью. Радиоволны отражаются от электропроводного рудного тела.

Изучая рудное месторождение, геологи бурят много скважин, но случается, что руда находится между ними. С помощью радиоволн проводят подземную радиолокацию недр Земли: в одну скважину опускают портативную радиостанцию, а в другую - приемник. Если между скважинами нет рудных тел, то приемник будет принимать радиосигнал, который фиксируется измерительным устройством. А если между скважинами есть руда, то радиосигнал отразится от ее поверхности, и до приемника радиосигнал не дойдет. Между скважинами будет более плотная «радиотень».

Задачи для самостоятельного решения

381. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 888 пФ и катушки с индуктивностью 2 мГн. На какую длину волны настроен контур?

/ 2500 м/

382. Какую индуктивность надо включить в колебательный контур, чтобы при емкости 2 мкФ получить частоту 1000 Гц?

/ 12,7 мГн/

383. Найти частоту собственных колебаний в контуре, состоящем из катушки индуктивности и плоского конденсатора. Площадь каждой пластины конденсатора 30 см^2 и расстояние между ними $0,1 \text{ см}$. Число витков катушки 1000 , длина ее 30 см , сечение 1 см^2 . / $1,5 \text{ МГц}$ /

384. Индуктивность катушки в колебательном контуре 20 мкГн . Требуется настроить этот контур на частоту 5 МГц . Какую емкость следует выбрать? / 51 пФ /

385. Колебательный контур, состоящий из воздушного конденсатора с двумя пластинами по 100 см^2 каждая и катушки с индуктивностью 1 мкГн резонирует на волну длиной 10 м . Найти расстояние между пластинами конденсатора. / $3,14 \text{ мм}$ /

386. В колебательном контуре происходят свободные колебания. Зная, что максимальный заряд в контуре 1 мкКл , а максимальный ток 10 А , найти длину волны. / 188 м /

387. Электромагнитные волны распространяются в некоторой однородной среде со скоростью $2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Какую длину волны имеют электромагнитные колебания в этой среде, если их частота в пустоте была 1 МГц ? / 200 м /

388. Колебательный контур состоит из конденсатора и катушки с индуктивностью $0,2 \text{ Гн}$. Найти емкость конденсатора, если известно, что максимальная сила тока в контуре $0,45 \text{ А}$, а максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 90 В . Сопротивлением контура пренебречь. / 5 мкФ /

389. Катушка с индуктивностью 30 мкГн присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин $0,01 \text{ м}^2$ и расстоянием между ними $0,1 \text{ мм}$. Найти диэлектрическую проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами, если контур настроен на длину волны 750 м . / 6 /

390. Колебательный контур содержит конденсатор емкостью 80 пФ и катушку индуктивностью $0,5 \text{ мГн}$. Найти максимальный ток в контуре, если

максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 300 В. На какую длину волны резонирует данный контур? / 0,12 А; 377 м/

391. Соленоид с немагнитным сердечником длиной 40 см и сечением 5 см^2 , содержащий 800 витков, соединен параллельно с конденсатором емкостью 0,8 мкФ. Определить частоту колебаний контура.

/ 5650 Гц/

392. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 25 нФ и катушки индуктивностью 1,02 Гн. На обкладках конденсатора сосредоточен заряд 2,5 мкКл. Написать уравнение изменения тока в цепи в зависимости от времени.

/ $I = -15,7 \sin 2\pi \cdot 10^3 t$ (мА)/

393. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 1,02 Гн и конденсатора емкостью 0,025 мкФ. Заряд на конденсаторе равен $2,5 \cdot 10^{-6}$ Кл. Какова зависимость разности потенциалов на конденсаторе от времени?

/ $U = 100 \cos 2\pi \cdot 10^3 t$ (В)/

394. Закон изменения разности потенциалов на обкладках конденсатора в контуре задан уравнением $U = 50 \cos 10^4 \pi t$ (В). Емкость конденсатора равна 0,1 мкФ. Найти период колебаний, индуктивность, длину волны. Написать закон изменения тока в контуре.

/ $2 \cdot 10^{-4}$ с; 10 мГн; 60 км; $I = -0,157 \sin 10^4 \pi t$ (А) /

395. Закон изменения тока в контуре $I = -0,02 \sin 400\pi t$ (А). Индуктивность контура 1 Гн. Найти период свободных колебаний, емкость, максимальное напряжение и полную энергию.

/ 5 мс; 0,635 мкФ; 25 В; 0,2 мДж/

396. Колебательный контур состоит из конденсатора переменной емкости от 12 пФ до 80 пФ и катушки с индуктивностью 1,2 мГн. Найти диапазон длин электромагнитных волн, которые могут вызывать резонанс в этом контуре.

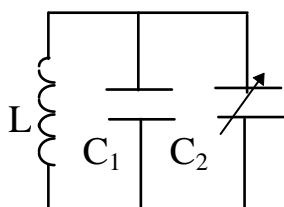
/ 226 м; 580 м/

397. Катушка (без сердечника) длиной 50 см и площадью сечения 3 см^2 имеет 1000 витков и соединена параллельно с конденсатором. Он состоит из двух пластин площадью 75 см^2 каждая, расстояние между пластинами 5 мм,

диэлектрик - воздух. Найти период колебаний контура и длину волны, на которую он настроен. / 628 нс; 188 м/

398. Индуктивность колебательного контура 0,5 мГн. Какова должна быть емкость контура, чтобы он резонировал на длину волны 300 м? / 51 пФ/

399. Определить частоту собственных колебаний контура, изображенного на рисунке, круговую частоту, период колебаний и длину волны, на которую контур настроен, если он содержит катушку с индуктивностью 10 мГн, конденсатор с емкостью C_1 , равной 880 пФ и подстроечный конденсатор с емкостью $C_2 = 20$ пФ.



ного на рисунке, круговую частоту, период колебаний и длину волны, на которую контур настроен, если он содержит катушку с индуктивностью 10 мГн, конденсатор с емкостью C_1 , равной 880 пФ и подстроечный конденсатор с емкостью $C_2 = 20$ пФ.

/ 53 кГц; $3,32 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$; 19 мкс; 5650 м/

400. Разность потенциалов на конденсаторе в контуре за 1 мс уменьшается в три раза. Найти коэффициент затухания. / $1,1 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ /

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холидей Д., Резняк Р. .Вопросы и задачи по общей физике.- М.: Просвещение, 1969.- 240 с.
2. Олейников А. Н. В недра планеты.- Л.: Недра, 1979.- 175 с.
3. Эврика - 79.- М.: Молодая гвардия, 1979.- 352 с.
4. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики.- М.: Наука, 1990.- 396 с.
5. Куликов К. А, Сидоренков Н. С. Планета Земля.- М.: Наука, 1977.- 192 с.
6. Пинский А. А. Задачи по физике.- М.: Наука, 1977.- 288 с.
7. Гринкевич Г. И. Магниторазведка.- М.: Недра, 1987.- 250 с.
8. Гурьев Л. Г. и др. Сборник задач по общему курсу физики.- М.: Высшая школа, 1972.- 432 с.
9. Правицкий Н. К. Рудничные подъемные установки.- М.- Госгортехиздат, 1963.- 416 с.
10. Чертов А. Г., Воробьев А. А. и др. Задачник по физике.- М.: Высшая школа, 1981.- 496 с.
11. Белых Б. П., Чеканов В. Д. Горная электротехника.- Свердловск: Металлургиздат, 1958.- 576 с.
12. Иродов И. Е. Задачи по общей физике.- .М.: Наука, 1988.- 416 с.
13. Меркулов А. П. Магнитные поля - труженики.- М.: Машиностроение, 1978.- 184 с.
14. Егоров В. Л. Магнитные электрические и специальные методы обогащения руд.- М.: Недра, 1977.- 200 с.
15. Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи физики. Справочник.- Киев: Наукова думка, 1977.- 576 с.
16. Наука и человечество. Международный ежегодник.- М.: Знание, 1981.- 346 с.

17. Темко С. В. и др. Физика раскрывает тайны Земли.- М.: Просвещение, 1976.- 128 с.
18. Логачев А. А., Захаров В. П. Магниторазведка.- Л.: Недра, 1979.- 351 с.
19. Низамов И. М. Задачи по физике с техническим содержанием.- М.: Просвещение, 1980.- 96 с.
20. Сузюмов А. Е. Земной магнетизм и тектоника дна океана.-М.: Знание, 1981.- №1.- 48 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Науки о Земле»).
21. Шерклиф Дж. Теория электромагнитного измерения расхода.- М.: Мир, 1965.- 207 с.
22. Хан Г. А. и др. Выбор основных параметров датчика железомера при его конструировании //Горный журнал.- 1969.- №3.- с. 47-49.
23. Шохин В. И., Лопатин А. Г. Гравитационные методы обогащения руд.- М.: Недра, 1980.- 400 с.
24. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых /петрофизика/. Справочник геофизика / Под ред. Н. Б. Дортман.- М.: Недра, 1984.- 455 с.
25. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород.- М.: Недра, 1984.- 359 с.
26. Бабат Г. И. Токи высокой частоты.- М.: Знание, 1956.- 47 с.
27. Иванов А. Г. Физика в разведке земных недр.- М.: Недра, 1971.- 200 с.
28. Фирганг Е. В. Руководство к решению задач по курсу общей физики.- М.: Высшая школа, 1977.- 351 с.

Электромагнетизм: Методические рекомендации к решению задач по физике с горнотехническим уклоном.

Авторы: Л. Н. Лукашевич, ст. преподаватель
Л. К. Катанова, доц., канд. физ.-мат. наук
И. А. Келарева, ст. преподаватель
С. А. Фризен, доц., канд. техн. наук
Н. А. Шварте, ст. преподаватель
О. В. Садырева, аспирант

Корректурa кафедры физики
Подписано к печати
Формат бумаги 60 x 84 1/16
Печ. л. 3,1. Тираж 100 экз. Заказ №
Цена С.

Лаб. множительной техники УГГГА
620144, Екатеринбург, Куйбышева, 30