

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра физики

ФИЗИКА
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Учебно-методическое пособие

Индивидуальные задания для расчетной работы

Санкт-Петербург
2018

УДК 537(075)
ББК 22.3я7
Э 454

Физика. Электромагнетизм: учебно-методическое пособие. Индивидуальные задания для расчетной работы. / сост. А.А. Ашкалунин, С.А. Поржецкий, В.О. Кабанов, В.И. Лейман; ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2018.- 46 с.

Настоящее пособие содержит индивидуальные задания для выполнения расчетных работ по темам: “магнитное поле тока и соленоида”, “сила Ампера”, “сила Лоренца”, “электромагнитная индукция”, ”самоиндукция”. Предназначается для студентов всех направлений и специальностей.

Рецензент: зав. кафедрой физики ВШТЭ СПбГУПТД, канд. физ.-мат. наук Е.А. Яшкевич

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой физики ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 3 от 16.11.2018 г.).

Утверждено к изданию методической комиссией института энергетики и автоматизации ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 4 от 18.12.2018 г.).

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом СПбГУПТД в качестве учебно-методического пособия.

© Высшая школа технологии
и энергетики СПбГУПТД, 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Индивидуальные задания для расчетных работ состоят из шести тем по магнетизму. Все темы содержат по десять задач, каждая из которых имеет десять вариантов условия. Студент получает двузначный номер варианта, вторая цифра которого означает номер задачи каждой темы, а первая цифра - номер условия. Перед решением задачи нужно переписать свой вариант условия. Затем приводится краткая запись условия с указанием единиц измерения всех величин. Если единицы измерения в условии не указаны, то данные приведены в СИ.

Стандартные приставки к единицам измерения: пк – 10^{-12} , н – 10^{-9} , мк – 10^{-6} , м – 10^{-3} , к – 10^3 , М – 10^6 . Расчетная работа выполняется в отдельной тетради (18 листов). Решение должно быть полным, со всеми необходимыми рисунками. Все используемые формулы приводятся сначала в стандартном виде. Затем должны быть выведены необходимые для расчета формулы в общем виде. Расчеты проводятся в системе СИ. При защите студент должен объяснить решение задачи, определение и свойства используемых величин, формулировки используемых физических законов.

ТЕМА 1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКА И ДВИЖУЩЕГОСЯ ЗАРЯДА

Магнитное поле описывается двумя векторными величинами: индукцией магнитного поля \vec{B} и напряженностью поля \vec{H} . Они связаны соотношением $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-12}$ Гн/м - магнитная постоянная, μ – магнитная проницаемость среды. Магнитная проницаемость среды показывает, во сколько раз среда усиливает магнитное поле по сравнению с вакуумом. Напряженность поля в однородной среде не зависит от магнитных свойств вещества. Большинство веществ являются немагнитными, для них $\mu = 1$. Магнитными являются железо, чугун, сталь и

некоторые сплавы. Индукция поля в СИ измеряется в Теслах (Тл), а напряженность – в А/м.

Силовые линии магнитного поля – это линии, в каждой точке которых вектор индукции направлен по касательной.

Магнитное поле создается движущимися зарядами и токами. Напряженность поля заряда q , движущегося со скоростью v в точке, отстоящей от заряда на расстоянии r ,

$$H = \frac{qv \sin \alpha}{4\pi \cdot r^2} ,$$

где α - угол между скоростью и вектором, проведенным из заряда в точку.

Напряженность поля тока зависит от силы тока, размеров и формы проводника и положения точки поля. Для расчета поля любого проводника с током используется *закон Био – Савара – Лапласа*, который позволяет найти напряженность поля, создаваемого элементом тока $J \cdot dl$, в точке на расстоянии r от него:

$$dH = \frac{Jdl \cdot \sin \alpha}{4\pi r^2} ,$$

где α – угол между направлением элемента тока и вектором, проведенным от этого элемента в точку. Поле всего проводника вычисляется по принципу суперпозиции как векторная сумма (интеграл) полей, создаваемых всеми элементами проводника

$$\vec{H} = \int d\vec{H} .$$

Напряженность поля *бесконечного прямого провода* с током на расстоянии a от него

$$H = \frac{J}{2\pi a} .$$

Силовые линии прямого тока – окружности, центры которых совпадают с проводом. Направление силовых линий определяется по правилу буравчика: если вращать буравчик в направлении силовых линий, он будет двигаться в направлении тока.

Напряженность поля отрезка провода на расстоянии a

$$H = \frac{J}{4\pi a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) ,$$

где α_1 и α_2 - углы между отрезком провода и векторами, проведенными из его концов в точку. Направление отрезка совпадает с направлением тока.

Для кругового витка радиуса R на его оси, на расстоянии h от центра витка, напряженность поля

$$H = \frac{J \cdot R^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}} , \text{ в центре витка} \quad H = \frac{J}{2R} .$$

Для магнитного поля выполняется *принцип суперпозиции*: напряженность поля в любой точке пространства равна векторной сумме напряженностей, создаваемых отдельными проводниками

$$\vec{H} = \sum \vec{H}_i$$

Задачи по теме 1

1.1. По двум длинным прямолинейным параллельным проводам текут в противоположных направлениях токи I_1 и I_2 (сечение проводов показано на рис.1). Расстояние между проводами равно a . Напряженность магнитного поля в точках М, К, L соответственно H_M , H_K и H_L .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	10	30	30	-	-	-	2	3	12	20
I_2	20	20	20	20	15	10	-	-	-	30
a	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	-
AM	0,05	-	-	0,06	-	-	0,02	-	-	-
AK	-	0,04	-	-	0,02	-	-	0,03	-	0,3
BL	-	-	0,06	-	-	0,03	-	-	0,04	-
H_M	-	-	-	5	-	-	10	-	-	-
H_K	-	-	-	-	60	-	-	31	-	34
H_L	-	-	-	-	-	20	-	-	10	-
Найти	H_M	H_K	H_L	I_1	I_1	I_1	I_2	I_2	I_2	a

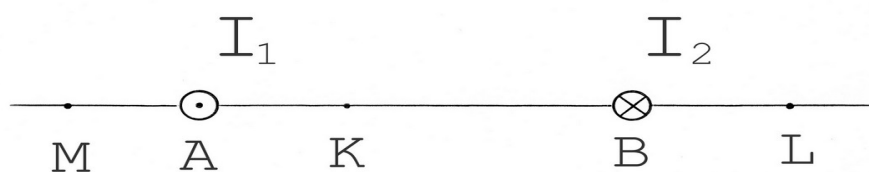


Рис. 1

1.2. По длинным параллельным проводам, лежащим в одной плоскости, текут токи I_1 , I_2 и I_3 . Направления токов I_1 и I_3 совпадают, направление тока I_2 им противоположно. Расстояние между проводами 1-2 равно a , между проводами 2-3 - равно b . Напряженность магнитного поля в точках K и L , расположенных на равных расстояниях между проводами 1 и 2, равна H_K , между 2 и 3 - H_L . В таблице указаны модули величин H_K и H_L .

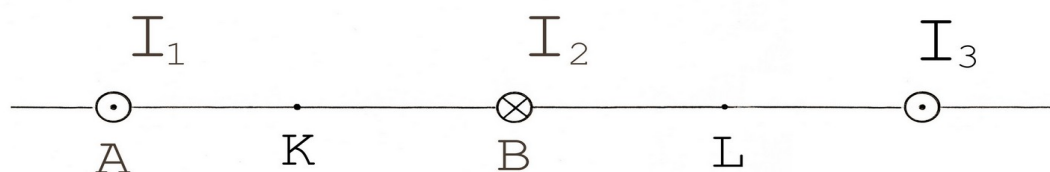


Рис. 2

Физ. велич	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	10	8	14	12	10	-	-	6	2	4
I_2	6	8	16	10	8	4	2	-	-	3
I_3	6	6	8	8	6	4	4	4	8	-
a	0,2	-	-	0,4	0,6	0,3	0,6	0,4	0,2	0,2
b	0,1	0,2	0,4	-	-	0,8	0,4	0,4	0,4	0,2
H_K	-	-	14,1	-	8,13	-	4,4	-	7,0	-
H_L	-	15,9	-	11,1	-	1,82	-	6,37	-	5,84
Найти	H_K , H_L	a , H_K	a , H_L	b , H_K	b , H_L	I_1 , H_K	I_1 , H_L	I_2 , H_K	I_2 , H_L	I_3 , H_K

1.3. По двум длинным параллельным проводам, расстояние между которыми r , текут токи I_1 и I_2 (ток, текущий от нас +, ток, текущий к нам -). Найти напряженность магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии a от первого провода и b – от второго. Задачу решить аналитически и графически, выполнив построение треугольника и напряженностей магнитного поля в подходящих масштабах.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	6	-6	10	2	-2	3	6	-8	4	8
I_2	10	12	-8	5	7	-4	8	-6	5	-2
r	0,1	0,5	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8
a	0,1	0,4	0,4	0,5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,8	0,8
b	0,2	0,6	0,4	1,0	0,5	0,3	0,5	0,3	1,0	0,3

1.4. По двум длинным прямолинейным проводам, находящимся на расстоянии АВ, текут токи I_1 и I_2 . Один провод расположен вертикально, другой – горизонтально (см. рис. 3). Напряженности магнитного поля в точках М и N – H_M и H_N .

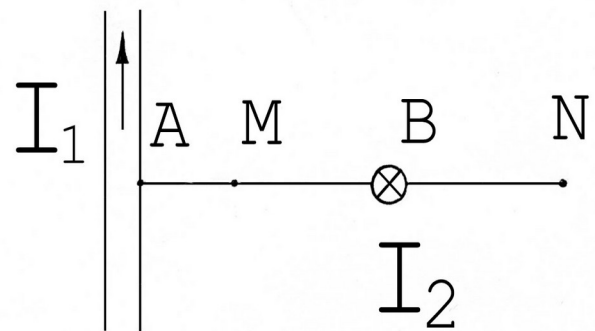


Рис.3

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	2	3	-	-	10	10	4	6	20	8
I_2	3	4	2	3	-	-	3	4	10	4
AB	0,4	0,4	0,15	0,15	0,3	0,15	1,0	0,2	-	-
AM	0,2	-	0,1	-	0,1	-	-	-	0,2	-
BN	-	0,3	-	0,05	-	0,05	-	-	-	0,4
H_M	-	-	10,2	-	20	-	1,6	-	25	-
H_N	-	-	-	18,6	-	20,4	-	3	-	5
Найти	H_M	H_N	I_1	I_1	I_2	I_2	AM	BN	AB	AB

1.5. По отрезку прямого провода длины L протекает ток силы I . Напряженность магнитного поля в точке М, расположенной на

расстоянии a от провода, равна H . Углы между отрезком a и лучами из точки M на концы отрезка равны β и γ (см. рис. 4).

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	5	34	10	10	-	-	-	-	7	12
L	1,2	-	3	4	2	-	1,5	1,2	-	-
β	45	40	45	-	45	45	60	-	55	45
γ	20	30	-	35	60	30	-	30	55	-
a	-	0,5	2,0	2,0	-	1,0	0,5	0,6	-	0,3
H	-	-	-	-	3	4	8	5	2	4,5
Найти	H	H	H	H	I	I	I	I	a	γ

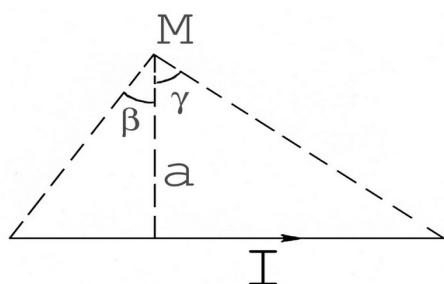


Рис. 4

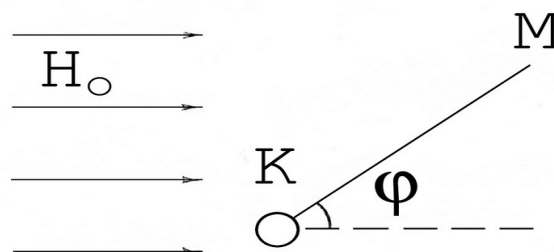


Рис. 5

1.6. По длинному горизонтальному прямому проводу, находящемуся в однородном магнитном поле H_0 , протекает ток I . Силовые линии магнитного поля направлены горизонтально и перпендикулярно проводу. Напряженность магнитного поля в точке M , расположенной на расстоянии R от проводника, равна H . Угол между направлением силовых линий однородного поля и отрезком KM равен φ (рис. 5). Положительный ток течет от нас, отрицательный – к нам.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	4	-3	-5	-	6	-9	-	2	-5	6
H	-	-	-	25	30	12,5	20	16	10	-
H_0	20	10	20	20	24	-	15	7	-	15
R	0,1	0,2	0,1	0,1	-	0,2	0,2	-	0,1	0,2
$\varphi, ^\circ$	45	0	90	0	0	0	90	90	90	135
Найти	H	H	H	I	R	H_0	I	R	H_0	H

1.7. Между полюсами магнита, создающего однородное магнитное поле напряженностью H , закреплена неподвижно короткая катушка из N витков радиуса R , плоскость сечения которой параллельна силовым линиям однородного поля. По катушке протекает ток I . Помещенная в центр катушки магнитная стрелка установилась под углом α к плоскости катушки. Напряженность суммарного магнитного поля в центре катушки равна H_1 . Магнитное поле Земли не учитывать.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H	80	-	100	10	70	-	-	-	40	180
N	10	10	-	6	10	-	10	8	-	12
I	2	1	2	-	1	1	-	-	0,5	1
R	0,1	0,1	0,1	0,2	-	0,2	0,15	0,2	0,05	-
$\alpha, ^\circ$	-	40	45	60	30	30	60	75	-	-
H_1	-	-	-	-	-	40	50	60	50	300
Найти	α, H_1	H, H_1	N, H_1	I, H_1	R, H_1	N, H	H, I	I, H	N, α	R, α

1.8. Плоскость катушки тангенс-гальванометра, имеющей N витков радиуса R , составляет угол α с плоскостью магнитного меридиана. По катушке течет ток I . Стрелка тангенс-гальванометра составляет угол β с плоскостью магнитного меридиана. Напряженность суммарного магнитного поля в центре катушки H . Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли $H_0=15,9$ А/м.

Величины	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R	0,1	-	0,07	0,1	-	0,08	0,1	-	0,08	0,08
N	10	10	-	12	8	-	5	6	-	8
I	0,5	0,5	0,5	-	0,3	0,4	-	0,5	0,3	-
$\alpha, ^\circ$	30	30	45	30	-	-	-	30	45	60
$\beta, ^\circ$	-	90	90	60	90	60	45	-	-	-
H	-	-	-	-	21,9	15,9	14,0	21,9	13,6	27,4
Найти	β, H	R, H	N, H	I, H	R, α	N, α	I, α	R, β	N, β	I, β

1.9. Частица с зарядом $q=Ze$ движется со скоростью V . Точка М находится на перпендикуляре длиной b к траектории частицы,

причем основание перпендикуляра отстоит от частицы на расстояние a . Напряженность магнитного поля в точке М равна H , индукция магнитного поля – B , $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

Физ. велич	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	4	-	1	2	1	-	1	1	2	1
$V \cdot 10^{-6}$	1	2	-	3	8	3	-	4	5	6
a	0,05	0,05	0,03	-	0	0,04	0,04	$a=b$	0	0,06
b	0,05	0,05	0,04	0,05	-	0,03	0,06	$b=a$	-	0,08
$H \cdot 10^{11}$	-	3,6	4,0	4,5	1,0	-	-	-	-	-
$B \cdot 10^{17}$	-	-	-	-	-	6,8	9,0	5,6	8,0	-
Найти	H, B	q, B	V, B	a, B	b, B	q, H	V, H	a, H	b, H	H, B

1.10. По проводу, представляющему собой полуокружность радиуса R с продолжающими ее прямыми проводниками длиной a и b , протекает ток I . Напряженность магнитного поля в центре полуокружности равна H . Углы между осью симметрии полуокружности и направлением на концы проводников a и b из центра O – α и β (см. рис. 6).

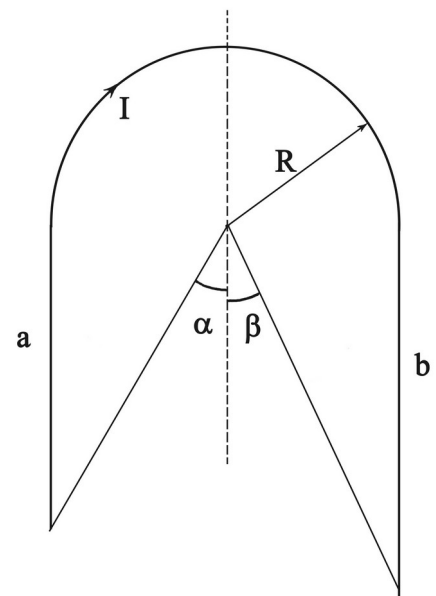


Рис. 6

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R	0,05	0,06	0,06	0,07	0,04	0,05	0,06	-	0,07	0,05
a	0,05	0,12	-	0,10	-	-	-	-	-	0,06
b	0,10	-	0,08	-	0,06	-	-	-	-	0,08
I	6	5	7	6	5	6	8	9	-	-
$\alpha, ^\circ$	-	-	30	-	-	45	-	30	30	-
$\beta, ^\circ$	-	45	-	-	-	-	45	30	50	-
H	-	-	-	32,6	48,2	45,7	46,1	50,0	40,0	60,0
Найти	H	H	H	b	a	β	α	R	I	I

ТЕМА 2. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СОЛЕНОИДА

Для магнитного поля выполняется *теорема о циркуляции напряженности магнитного поля*: циркуляция вектора напряженности магнитного поля по любому замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, охватываемых контуром:

$$\oint H_l dl = \sum J_k$$

На контуре выбирается положительное направление. Ток считается положительным, если, при вращении ручки буравчика в положительном направлении, направление тока совпадает с направлением движения буравчика.

Магнитный поток через площадку S - это $\Phi = B_n \cdot S = B \cdot S \cdot \cos \alpha$, где B_n - нормальная составляющая индукции поля, α - угол между вектором индукции и нормалью.

Напряженность поля длинного соленоида и тороида $H = J \cdot n$, где $n = N/l$ - число витков на единицу длины соленоида. Эта формула применима только к тороиду со сплошным сердечником. При наличии узкого зазора в сердечнике нужно применять теорему о циркуляции. Для немагнитных материалов $\mu \approx 1$. Для ферромагнитных материалов магнитная проницаемость μ зависит от H , поэтому $B(H)$ является нелинейной функцией. Образцы такой зависимости приведены на рис. 7.

Магнитное поле обладает энергией. Объемная плотность энергии, то есть энергия, приходящаяся на единицу объема,

$$\omega_m = \frac{\Delta W}{\Delta V} = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}$$

Задачи по теме 2

2.1. По обмотке длинного соленоида без сердечника длиной l с числом витков N течет ток I . Напряженность магнитного поля внутри соленоида - H , индукция магнитного поля - B . Витки обмотки намотаны из проволоки диаметром d плотно друг к другу. Площадь сечения соленоида - S , магнитный поток через сечение соленоида - Φ .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	0,4	0,3	-	0,2	-	0,5	0,4	-	0,4	0,3
N	800	600	500	-	600	-	800	600	-	-
$d, \text{мм}$	-	-	0,2	0,2	0,5	0,3	-	0,4	0,4	-
I	0,6	-	0,1	0,05	-	-	-	-	-	0,8
H	-	600	-	-	500	-	-	-	-	-
$B, \text{мкТл}$	-	-	-	-	-	-	250	300	100	-
$\Phi, \text{мкВб}$	-	-	0,6	-	-	0,5	-	-	-	0,24
$S, \text{см}^2$	-	5	-	-	-	20	-	-	3	10
Найти	d, H, B	d, I, Φ	l, B, S	N, B	l, I, B	N, I, B	d, I, H	l, I, H	Φ, I, H	N, d, H

2.2. Длинный прямой соленоид длиной l с числом витков N расположен перпендикулярно плоскости магнитного меридиана. Протекающий по соленоиду ток I создает внутри соленоида магнитное поле с напряженностью H и магнитной индукцией B . При пропускании тока магнитная стрелка, расположенная внутри соленоида, отклоняется на угол α . Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли - 20 мкТл.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	500	200	100	300	400	-	300	-	100	-
l	0,5	0,3	0,2	0,2	-	0,3	-	0,4	-	0,4
I	0,01	-	-	-	0,05	0,07	0,10	0,08	0,10	0,05
H	-	-	20	-	40	50	-	-	-	-
$B, \text{мкТл}$	-	25	-	-	-	-	100	60	-	-
$\alpha, ^\circ$	-	-	-	30	-	-	-	-	60	45
Найти	H, B, α	I, H, α	I, B, α	H, B, I	B, l, α	N, B, α	L, H, α	N, H, α	l, H, B	N, H, B

2.3. Длинный соленоид с сердечником из ферромагнетика (железо, сталь или чугун) имеет обмотку из k слоев проволоки с количеством витков N_1 в каждом слое. Длина соленоида - l , ток в обмотке - I . Напряженность магнитного поля внутри соленоида - H , индукция магнитного поля - B , магнитная проницаемость сердечника - μ . Зависимость $B(H)$ для железа, стали и чугуна приведена на рис. 7.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
k	2	-	4	3	2	-	4	1	3	3
N_1	300	400	-	100	200	200	-	300	200	300
l	0,3	0,4	0,4	-	0,15	0,1	0,3	-	0,4	0,4
I	1	1	0,5	2	-	0,1	0,5	0,6	-	1
$H, \text{кА/м}$	-	2	1,5	1,0	2,5	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	1,3	1,25	1,43	1,32	-
матер.	жел.	ст.	чуг.	жел.	ст.	жел.	ст.	жел.	ст.	чуг.
Найти	H, B, μ	k, B, μ	N, B, μ	l, B, μ	I, B, μ	k, H, μ	N, H, μ	l, H, μ	I, H, μ	H, B, μ

2.4. Тороид длиной l с железным сердечником имеет обмотку из k слоев и N_1 витков в каждом слое. Напряженность магнитного поля внутри тороида - H , индукция - B , магнитный поток - Φ . Радиус обмотки - R , ток в обмотке - I , магнитная проницаемость сердечника - μ . Зависимость $B(H)$ приведена на рис. 7.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	-	0,4	0,6	0,6	0,3	0,3	-	0,6	0,5	0,5
k	2	-	2	3	1	2	1	-	2	3
N_1	400	400	500	-	200	-	300	420	500	-
$R, \text{см}$	-	1,5	2	-	1	1,5	1,0	-	1,5	-
I	0,38	0,63	0,2	0,2	-	0,6	0,5	1,0	-	0,5
$H, \text{кА/м}$	0,6	-	-	1,4	-	0,8	-	-	1,0	1,2
B	-	1,35	-	-	1,4	-	1,3	1,6	-	-
$\Phi, \text{мВб}$	1,6	-	-	4,2	-	-	-	5	-	4,6
Найти	l, B, μ, R	k, H, μ, Φ	H, B, μ, Φ	N_1, B, μ, R	I, H, μ, Φ	N_1, B, μ, Φ	l, H, μ, Φ	k, H, μ, R	I, B, μ, Φ	N_1, B, μ, R

2.5. На длинную цилиндрическую катушку длиной l и радиусом R намотана однослойная обмотка из N витков медного провода сечением 1 мм^2 . Катушка подсоединена к батарее аккумуляторов с э.д.с. E и внутренним сопротивлением r . Магнитный поток через сечение катушки - Φ , индукция магнитного поля - B . Сердечник катушки немагнитный. Удельное сопротивление меди - $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	-	-	0,1	0,3	0,12	0,24	0,12	0,16	0,6	0,1
R	0,02	-	-	0,01	0,02	-	0,025	0,02	-	0,01
N	100	300	200	-	300	300	400	70	200	100
E	6	4	-	3	5	2	-	3	5	-
r	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	-	0,4	-	0,3	0,2
$\Phi, \text{мкВб}$	2	6	2,5	-	-	2,7	4	3,2	-	-
$B, \text{мТл}$	-	6	10	8	-	3,2	-	-	2,8	30
Найти	l, B	R, l	R, E	l, N	B, Φ	R, r	B, E	B, r	R, Φ	Φ, E

2.6. Внутри соленоида длиной l с обмоткой из N витков расположена квадратная рамка со стороной a , причем плоскость рамки составляет угол β с осью соленоида. Ток в соленоиде - I , пронизывающий рамку магнитный поток равен Φ , индукция магнитного поля в соленоиде - B .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	0,8	-	0,6	0,5	0,8	0,6	0,7	0,5	0,6	0,8
N	400	300	-	800	1000	-	700	700	-	1000
$a, \text{см}$	2	-	2	-	2,5	-	3	2	2,5	3
$\beta, ^\circ$	60	30	-	90	-	50	45	70	60	-
I	-	1,5	1,0	-	-	2,0	1,4	-	2,0	1,6
$\Phi, \text{мкВб}$	-	0,85	0,7	2,5	1,2	0,67	-	0,74	-	1,1
$B, \text{мТл}$	1,26	1,88	2,5	4,0	2,36	3,35	-	-	3,77	-
Найти	l, Φ	l, a	N, β	a, I	β, I	N, a	B, Φ	B, I	N, Φ	B, β

2.7. Замкнутый соленоид с железным сердечником содержит N витков. Длина соленоида - l , его сечение - S , ток в соленоиде - I . Напряженность магнитного поля - H , индукция - B , энергия магнитного поля соленоида - W , плотность энергии - ω_m , магнитная проницаемость сердечника - μ .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	400	800	600	500	400	300	500	-	800	600
l	-	0,6	1,0	0,4	-	0,6	0,5	0,8	-	0,3
$S, \text{см}^2$	12	10	30	15	-	20	20	20	15	20
I	2,0	1,0	2,0	-	1,0	1,5	-	0,8	0,5	-
$H, \text{кА/м}$	1,6	-	-	0,6	0,8	-	-	1,0	-	-
B	-	1,35	-	-	1,2	-	1,3	-	1,2	1,4
W	-	-	2,4	0,2	1,2	-	0,7	-	-	0,8
μ	10	-	-	-	-	1270	-	1020	1300	-
Найти	B, W	μ, H, ω_m	μ, B, ω_m	μ, B, I	ω_m, S, μ	H, B, W	μ, H, I	B, N, W	H, l, W	μ, H, I

2.8. Железное кольцо длиной l имеет прорезь d и обмотку из N витков, по которой течет ток I . Напряженность и индукция магнитного поля в сердечнике - H и B , в воздушном зазоре - H_0 и B_0 , плотность энергии магнитного поля в сердечнике - ω_m и в воздушном зазоре - ω_{m0} , магнитная проницаемость железа - μ .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	0,4	-	-	0,6	0,7	0,7	0,8	0,3	0,7	0,4
N	1000	1400	1200	800	-	700	800	600	800	-
$d, \text{мм}$	-	0,5	1	1	0,25	0,2	0,3	0,5	1,2	0,4
I	2	1	1,5	2	2,5	-	0,6	1,0	2	1,5
μ	800	1200	1700	900	700	300	-	1500	-	550
B_0	-	-	1,3	-	-	-	1,0	-	-	-
$H, \text{кА/м}$	-	1	-	-	1,5	1,5	-	-	-	2,0
B	1,4	-	-	-	-	-	-	-	1,35	-
Найти	H_0, d, ω_m	B, H_0, l, ω_{m0}	H, H_0, l, ω_m	H, B, ω_{m0}	H_0, ω_{m0}	B, I, ω_m	H, μ, ω_{m0}	H, B, μ	H_0, μ, ω_m	B, N, ω_m

2.9. Тороид с сердечником длиной l имеет прорезь d и обмотку из N витков, по которой течет ток I . Напряженность и индукция магнитного поля в сердечнике - H и B , в воздушном зазоре - H_0 и B_0 , магнитная проницаемость сердечника - μ .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	0,6	-	0,54	0,48	0,37	-	0,8	0,4	0,62	-
N	1000	350	-	500	780	750	-	800	1600	525
$d, \text{мм}$	-	1	0,8	1	-	2	5	10	-	2
I	3	4	2	-	2	2	3	-	3	4
$H_0, \text{кА/м}$	1000	-	-	-	-	-	-	-	480	-
B_0	-	-	0,5	1,3	1,35	-	1,2	1,2	-	-
H	-	700	-	-	-	1500	-	-	-	700
матер.	ст.	жел.	чуг.	ст.	жел.	чуг.	ст.	жел.	чуг.	ст.
Найти	H, d, μ	H_0, μ, l	H, N, μ	H, I, H_0	B, μ, d	H, B, μ	B, N, μ	H, μ, I	H, B, d	B, μ, l

2.10. Длинный соленоид без сердечника длиной l имеет две обмотки с числом витков N_1 и N_2 , намотанных одна на другую из проволоки диаметром d_1 и d_2 плотно друг к другу. По обмоткам в одну сторону текут токи I_1 и I_2 . Напряженность магнитного поля внутри соленоида - H , индукция - B , площадь сечения соленоида - S , магнитный поток через сечение соленоида - Φ .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	0,5	-	0,25	-	-	-	0,4	0,3	-	0,4
N_1	1000	-	500	600	-	-	800	-	-	600
N_2	500	-	-	400	-	-	400	300	-	200
$d_1, \text{мм}$	-	1	-	-	0,6	0,5	-	0,5	1,5	-
$d_2, \text{мм}$	-	0,6	0,5	-	0,5	1	-	-	1	-
I_1	0,2	1,0	0,2	0,6	0,2	0,15	0,3	0,4	0,9	-
I_2	0,5	-	0,5	1,0	0,1	0,5	-	0,8	0,8	1,2
$H, \text{кА/м}$	-	-	0,9	1,9	-	-	0,9	-	-	0,9
$S, \text{см}^2$	10	12	-	15	20	-	12	10	8	-
$\Phi, \text{мкВб}$	-	0,96	0,9	-	-	0,6	-	-	-	1,65
Найти	H, B, Φ	H, I_2	B, S	l, B, Φ	H, Φ	H, B, S	I_2, B, Φ	B, Φ	H, B, Φ	B, I_1, S

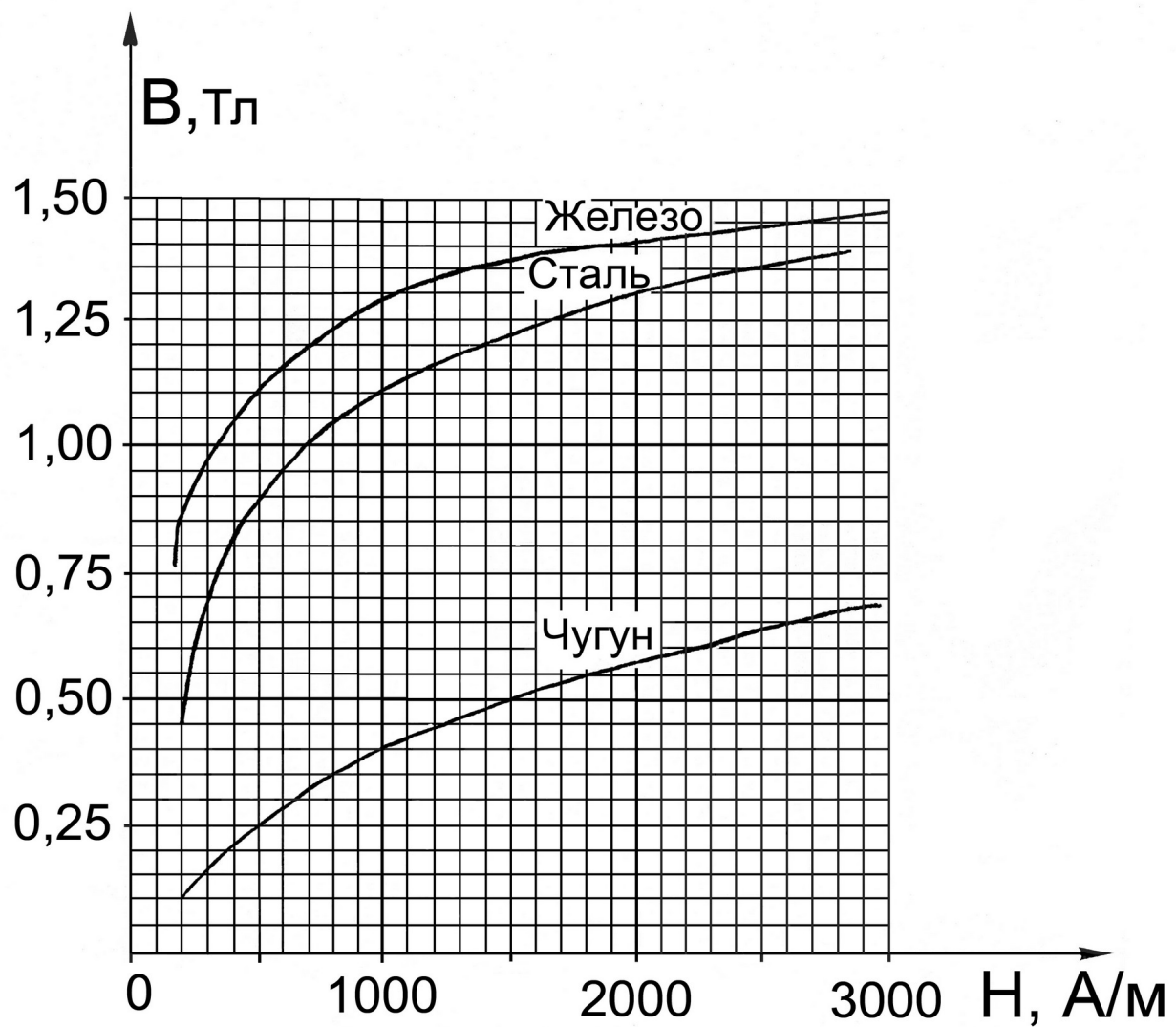


Рис. 7.

ТЕМА 3. СИЛА АМПЕРА

Магнитное поле оказывает силовое действие на движущиеся заряды и проводники с током. Силовое действие поля определяется индукцией B . Сила, действующая на проводник с током, называется *силой Ампера*. Для отрезка провода длиной l с током J в однородном поле сила Ампера

$$F = B \cdot J \cdot l \cdot \sin \alpha .$$

Сила Ампера всегда направлена перпендикулярно вектору индукции и отрезку провода, и ее направление определяется по правилу «левой руки».

При перемещении проводника с током в магнитном поле сила Ампера совершает работу $A = J \cdot \Delta \Phi$, где J – ток в проводнике, $\Delta \Phi$ – пересеченный проводником магнитный поток. Для замкнутого контура $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ - изменение магнитного потока через контур.

Для исследования магнитного поля удобно использовать небольшой контур с током или магнитную стрелку. Они обладают *магнитным моментом*. Магнитный момент контура по величине равен произведению силы тока на площадь контура: $p_m = J \cdot S$, и это вектор, направленный перпендикулярно плоскости контура по «правилу буравчика». Магнитный момент стрелки создается движением электронов по замкнутым орбитам в атомах и молекулах. В магнитном поле на контур и магнитную стрелку действует вращающий момент, стремящийся ориентировать магнитный момент в направлении индукции поля,

$$M = p_m B \cdot \sin \alpha ,$$

где α - угол между векторами индукции и магнитного момента.

Задачи по теме 3

3.1. В зазоре электромагнита (тороид с зазором, число витков на единицу длины - n , эффективная магнитная проницаемость - μ) расположен прямой провод длиной l под углом α к силовым

линиям поля. На проводник действует сила Ампера F , индукция поля в зазоре - B . Сила тока в обмотке тороида - I_1 , в проводе - I_2 .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	2	1,5	-	3,5	3	-	0,3	-	2	3
I_2	5	1,8	15	-	5	5	5	80	-	0,9
l	0,6	0,4	0,8	1,5	-	1,6	0,2	0,8	3,6	0,25
$n, \text{см}^{-1}$	-	20	30	30	40	50	60	-	70	15
μ	250	-	1	100	600	300	50	·	40	200
F	0,6	0,4	0,5	0,8	0,7	2	-	0,2	1,2	0,2
B	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	·
α	30	70	20	15	30	-	90	45	55	-
Найти	n	μ	I_1	I_2	l	I_1, α	F	B	I_2	α

3.2. В однородном магнитном поле с индукцией B перпендикулярно индукции движется прямой проводник длиной l со скоростью v . Проводник составляет угол β с силовыми линиями. По проводнику течет ток I , развиваемая проводником мощность - P . За время t проводник совершает работу A .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	-	0,5	0,2	0,3	0,4	0,8	1,3	0,9	1,2	-
B	0,2	-	0,8	0,6	0,8	0,5	0,3	0,8	-	0,25
l	0,6	0,4	-	1,5	-	1,6	0,2	0,8	3,6	0,75
v	3	2	1,5	-	0,8	0,4	0,6	0,7	2,5	1,2
β	20	30	45	60	-	80	90	75	25	50
P	0,15	0,2	-	-	-	-	-	-	-	0,2
t	-	-	20	10	12	-	·	25	15	-
A	-	-	1,2	0,8	3	-	6	-	50	-
Найти	I	B	l	v	β	P	t	A	B	I

3.3. Прямоугольная рамка, состоящая из N витков провода, находится в однородном магнитном поле в зазоре электромагнита (тороид с магнитным сердечником с магнитной проницаемостью μ и числом витков на единицу длины - n). Ток в обмотке тороида - I_1 , ток в рамке - I_2 . Стороны рамки - a и b , она обладает магнитным моментом p_m и на нее действует вращающий момент M . Нормаль к рамке составляет угол β с силовыми линиями.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	2,0	1,5	2,0	0,5	-	0,7	0,3	0,8	2,0	0,3
I_2	0,5	0,8	1,5	2,0	0,5	0,8	5,0	-	0,8	-
a , см	6	-	8	15	3	16	2	8	3	-
b , см	5	3	-	4	8	5	4	5	6	-
n , см ⁻¹	30	20	15	25	40	-	60	40	70	45
N	-	15	20	8	12	20	8	15	6	-
μ	50	40	60	-	600	300	50	70	40	200
M	0,20	0,20	0,25	0,8	0,7	0,20	0,10	0,16	-	0,30
β , °	30	70	20	45	30	60	90	50	55	33
Найти	N , p_m	a , p_m	b , p_m	μ , p_m	I_1 , p_m	n , p_m	β , p_m	I_2 , p_m	M , p_m	p_m

3.4. По трем длинным параллельным проводам, лежащим в одной плоскости, текут токи I_1 , I_2 и I_3 (рис.8). Ток, текущий от нас, считается положительным. Расстояние между первым и вторым проводом - a , между вторым и третьим - b . Силы, действующие на единицу длины каждого провода - f_1 , f_2 и f_3 . Найти все неизвестные величины.

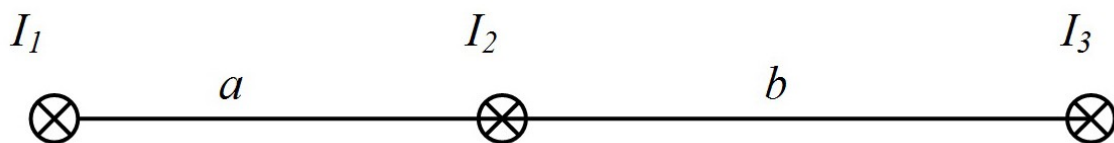


Рис. 8.

Физ. Велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	20	-	8	15	-5	-7	3	-8	-	3
I_2	5	30	-8	-	8	-	-5	-	8	14
I_3	-9	-10	8	-4	-	-10	12	15	20	-10

a , см	6	18	-	5	3	8	2	2	3	-
b , см	15	20	12	6	8	6	4	5	6	8
f_1 , мН	-	0,6	-	0,5	-	-	0,1	-	-	-
f_2 , мН	-	-	0,13	-	-	0,4	-	-	-	0,6
f_3 , мН	-	-	-	-	0,14	-	-	0,4	1,0	-

3.5. Прямоугольный контур со сторонами a и b , числом витков N и током I_1 находится в зазоре электромагнита (тороид с сердечником с магнитной проницаемостью μ , обмотка имеет n витков на единицу длины, и по ней течет ток I_2). Нормаль к контуру составляет угол β_1 с вектором магнитной индукции. При уменьшении угла до β_2 контур совершает работу A . Найти все неизвестные величины.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	2,0	1,5	2,0	-	0,5	0,7	0,3	0,8	2,0	0,3
I_2	0,5	0,8	1,5	2,0	0,8	-	5,0	2,0	0,8	1,4
a , см	6	-	8	15	3	16	2	8	3	5
b , см	5	3	-	4	8	5	4	5	6	8
n , см ⁻¹	30	20	15	25	40	15	-	20	10	15
N	-	15	20	8	12	20	8	15	6	-
μ	11	20	15	20	-	30	50	70	40	200
A , мДж	0,1	0,30	0,25	0,20	0,40	0,20	0,30	0,16	0,6	0,30
β_1	30	40	50	45	60	60	90	-	80	60
β_2	11	10	20	15	30	20	30	60	-	30

3.6. Плоский прямоугольный контур со сторонами a и b , по которому течет ток I , свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией B . Площадь контура – S , число витков в контуре – N . При повороте контура на угол β совершается работа A .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a , см	-	40	-	50	30	-	-	20	30	28
b , см	15	-	-	25	37	-	-	30	20	8
S	-	-	-	-	-	0,1	0,2	-	-	-
I	15	10	12	-	7	12	9	25	-	13

N	10	20	25	30	-	35	40	45	30	20
B	0,3	0,6	0,9	0,8	1,2	-	1,0	0,6	0,8	-
β	40	50	60	35	30	45	-	30	50	70
A	0,7	4,0	8,0	8,0	5,0	9,0	25	-	12	3,0
Найти	a	b	S	I	N	B	β	A	I	B

3.7. По трем длинным параллельным проводам, лежащим в одной плоскости, текут токи I_1 , I_2 и I_3 (рис. 8). Ток, текущий от нас, считается положительным. Расстояние между первым и вторым проводами - a , между вторым и третьим - b . Третий провод движется со скоростью v в направлении от первого и проходит путь Δx за время Δt , равное 0,1 сек. При этом на единицу длины провода совершается работа A и развивается мощность P . В пределах Δx изменением индукции поля можно пренебречь. Найти работу A и мощность P .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	20	-10	8	15	-5	-7	30	-8	12	30
I_2	5	30	-8	10	8	20	-15	12	8	14
I_3	9	10	8	4	20	10	12	15	20	10
a	6	8	2	4	3	8	2	3	3	6
b	5	2	3	6	8	6	4	5	6	8
v	2	-	-	3	2,5	-	0,5	-	3,5	1,5
$\Delta x, \text{см}$	-	0,4	0,5	-	-	0,15	-	0,7	-	-

3.8. В одной плоскости с длинным прямым проводом находится прямоугольная рамка со сторонами a и b . Сторона a параллельна проводу. Сила тока в проводе - I_1 , а в рамке - I_2 . Кратчайшее расстояние от рамки до провода - r . Сила, с которой рамка притягивается к проводу - F . Ток I_2 положителен, если в ближней стороне рамки он течет в том же направлении, как и в проводе. Отрицательный знак силы соответствует отталкиванию.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	2	15	20	-	15	7	30	8	20	15
I_2	5	2	3	3	-	15	5	5	8	-

a , см	6	-	8	15	20	16	10	8	3	5
b , см	5	3	-	4	8	5	4	-	6	8
r , см	3	10	6	5	4	4	2	4	10	5
F , мкН	-	0.7	3.0	8.0	20	-	30	4	-	13
Найти	F	a	b	I_1	I_2	F	a	b	F	I_2

3.9. В однородном магнитном поле с индукцией B находится квадратная рамка со стороной l , состоящая из N витков. Плоскость рамки составляет угол α с направлением поля. Магнитный момент рамки - p_m , на контур действует вращающий момент M , магнитный поток через сечение рамки - Φ .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	5	-	4	10	-	5	6	1	8	5
B	0,1	0,2	-	0,2	0,2	-	-	-	-	-
l , см	20	20	15	-	12	18	14	20	10	-
p_m	-	-	-	-	-	-	0,9	-	-	0,5
M	-	0,4	0,05	0,12	0,2	-	0,14	0,2	-	-
I	8	10	-	12	16	14	-	20	15	10
α , °	45	60	60	40	30	90	0	0	30	30
Φ , мВб	-	-	2,1	-	-	6,4	-	-	0,5	0,75
Найти	M , Φ	N , p_m	B , p_m	l , p_m	p_m , Φ	B , M	I , B	Φ , B	B , M	M , l

3.10. По трем длинным параллельным проводам текут токи I_1 , I_2 , I_3 , ток, текущий от нас, имеет знак +, к нам - . Расстояния между проводами 1-2, 1-3 и 2-3 равны a , b и c соответственно. Найти силу, действующую на единицу длины третьего провода. Решение сопроводить рисунком с указанием всех векторов, провода на рисунке расположить перпендикулярно плоскости листа.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1	20	15	20	-10	15	-7	30	18	-20	15
I_2	50	20	-30	30	-20	15	50	25	-28	-20

I_3	-5	10	6	8	10	20	6	7	5	12
a , см	6	10	8	15	12	16	10	8	7	5
b , см	5	8	10	15	8	5	8	6	6	8
c , см	3	10	6	10	12	20	6	6	10	5

ТЕМА 4. СИЛА ЛОРЕНЦА

Сила действующая на заряд q , движущийся в магнитном поле, называется силой Лоренца

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где v – скорость частицы, B – индукция магнитного поля, α – угол между скоростью и вектором индукции. Сила Лоренца всегда перпендикулярна векторам скорости и индукции, и ее направление определяется по «правилу левой руки» Для отрицательно заряженной частицы направление силы меняется на противоположное.

Так как сила Лоренца перпендикулярна скорости, то при движении только под действием магнитного поля тангенциальное ускорение равно нулю: $a_\tau = dv/dt = 0$, и, следовательно, величина скорости частицы остается постоянной, меняется только направление вектора скорости.

Если частица движется перпендикулярно силовым линиям, то кривизну траектории можно найти из второго закона Ньютона:

$$m a_n = m \frac{v^2}{R} = qvB, \text{ т.е. } R = \frac{mv}{qB}.$$

В однородном поле радиус кривизны постоянен и частица движется по окружности. Период обращения частицы по окружности

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

Следовательно, период не зависит от скорости

частицы, он зависит только от индукции поля и *удельного заряда* частицы q/m .

Если частица влетает в однородное магнитное поле под углом α к силовым линиям, то ее движение можно разложить на две составляющие: движение в плоскости, перпендикулярной силовым линиям, со скоростью $v_l = v \cdot \sin \alpha$ и движение вдоль силовых

линий со скоростью $v_2 = v \cdot \cos \alpha$. В плоскости, перпендикулярной силовым линиям, частица движется по окружности радиуса

$$R = \frac{mv_1}{qB} \text{ с периодом обращения } T = \frac{2\pi R}{v_1} = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Вдоль силовой линии частица движется с постоянной скоростью. В результате частица движется по винтовой линии с шагом $h = v_2 \cdot T$.

Независимость периода обращения заряженных частиц в магнитном поле от их скорости используется в ускорителе частиц - циклотроне. Циклотрон состоит из двух плоских полуцилиндров, помещенных в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. При постоянной скорости частицы описывали бы окружность. Между дуантами прикладывается ускоряющее переменное поле с частотой, равной частоте обращения частицы. Поэтому частицы, которые ускорились при первом прохождении между дуантами, будут ускоряться при каждом последующем прохождении. Максимальная энергия ускоренных частиц определяется предельным радиусом траектории и индукцией поля. Циклотрон может работать, только пока можно пренебречь зависимостью массы от скорости. Как следует из теории относительности, масса движущейся частицы

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad \beta = \frac{v}{c}.$$

где m_0 – масса покоящейся частицы, c – скорость света.

При большой энергии частиц приходится изменять либо частоту ускоряющего поля, либо индукцию магнитного поля, либо и то, и другое. Это используется в синхротронах, фазотронах и синхрофазотронах.

В задачах используются следующие величины:

Элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Масса протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

Массу нейтрона в данных задачах можно считать равной массе протона.

Энергия 1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Задачи по теме 4

4.1. Ион с зарядом Ze и массой $m=N \cdot m_p$ влетает со скоростью v в магнитное поле с индукцией B перпендикулярно силовым линиям; e – элементарный заряд, m_p – масса протона. На ион действует сила Лоренца F , сообщающая ему центростремительное ускорение a_n . Радиус кривизны траектории – R .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	-	2	1	3	5	-	3	4	-	1
N	5	-	2	6	10	3	7	-	-	-
B	0,1	0,09	-	0,2	0,5	0,25	0,16	-	0,1	0.1
v , км/с	500	450	100	-	300	250	-	180	219	255
$a_n \cdot 10^{-12}$	4	-	0,5	-	-	4	-	3	-	-
$F \cdot 10^{15}$	-	-	-	-	-	-	3,6	4	7	-
R , см	-	10	-	3	-	-	-	-	3,4	8
Найти	q, F	m, F	B, F	v, F	R, F	q, R	v	m, B	q, m	N, F

4.2. Ион с зарядом Ze и массой $N \cdot m_p$ влетает в скрещенные однородные электрическое и магнитное поля перпендикулярно силовым линиям. Скорость иона – v , ускорение – a . Напряженность электрического поля – E , индукция магнитного поля – B , силы, действующие со стороны электрического и магнитного поля, – F_E и F_m соответственно. Радиус кривизны траектории в начале движения – R .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	-	2	1	-	1	-	3	4	3	1
N	5	-	2	-	3	4	7	-	5	-
B	0,21	0,2	-	0,15	0,5	-	-	0,4	0,7	-
E , кВ/м	42	-	50	50	-	-	100	-	120	200
v , км/с	150	125	150	-	300	250	-	57	219	98
$a \cdot 10^{-12}$	-	0,5	-	-	-	-	5,0	-	-	-
$F_E \cdot 10^{15}$	20	10	-	24	-	32	-	16	-	-

$F_m \cdot 10^{15}$	-	-	-	14	24	32	-	16	-	11
R , см	-	-	0,9	1,4	1,6	-	1,0	0,1	-	0,22
Найти	a, Z	N, E	B, a	Z, N	E, a	B, E	F, ν	N, a	a, R	B, N

4.3. Два ядра, содержащие Z_1 и Z_2 протонов, и N_1 , и N_2 нейтронов, прошли ускоряющую разность потенциалов U_1 и U_2 , соответственно. Затем они влетают в однородное магнитное поле с индукцией B перпендикулярно силовым линиям и описывают дуги окружности радиусов R_1 и R_2 .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_1	1	2	1	2	-	3	2	5	4	1
Z_2	2	3	2	1	-	1	1	3	2	-
N_1	2	2	-	1	2	4	2	5	5	2
N_2	2	3	-	1	1	-	1	-	6	2
U_1 , кВ	10	15	20	12	16	14	-	20	30	8
U_2 , кВ	20	20	10	-	20	20	-	30	-	10
B	-	0,7	-	-	0,8	-	0,6	-	0,4	-
R_1 , см	5	-	4,1	4,8	3,1	3,3	3,4	4,8	-	7,5
R_2 , см	-	-	8,8	6,5	3,6	4,4	4,8	5,9	7,2	6,8
Найти	$R_2,$ B	$R_1,$ R_2	$N_1,$ N_2	$U_2,$ B	$Z_1,$ Z_2	$N_2,$ B	$U_1,$ U_2	$N_2,$ B	$R_1,$ U_2	$Z_2,$ B

4.4. Ион с зарядом Ze и массой $N \cdot m_p$ движется в однородном магнитном поле с индукцией B по винтовой линии радиусом R и шагом h со скоростью ν , направленной под углом α к индукции. Период обращения частицы - T .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	-	2	1	2	2	3	1	3	2	2
N	1	-	2	6	3	7	4	-	5	-
B	0,1	0,2	-	0,15	-	0,11	0,5	0,43	0,3	0,1
R , см	-	-	-	-	1,0	-	0,9	-	2,0	-
h , см	31	16	14	-	-	-	-	-	-	-
ν , км/с	500	330	230	400	500	400	215	200	300	300

α , град	20	27	30	15	40	20	-	45	-	50
T , мкс	-	-	-	-	-	1,4	-	0,3	-	2,3
Найти	q, R	N, T	B, R	R, h	B, h	R, h	α, h	N, R	α, h	R, h

4.5. Ион с зарядом Ze и массой $N \cdot m_p$ прошел ускоряющую разность потенциалов U и влетел со скоростью v в скрещенные под прямым углом однородные электрическое и магнитное поля с напряженностью E и индукцией B . Частица продолжает двигаться по прямой линии. Сделать рисунок с указанием всех векторов.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E , кВ/м	-	54	107	-	170	175	78	-	88	205
B	0,3	0,15	-	0,1	0,3	0,4	0,2	0,2	-	0,3
Z	2	2	1	1	1	-	2	1	2	2
N	7	-	2	1	3	6	-	2	5	-
U , кВ	-	1,0	3,0	4,0	-	3,0	1,2	1,5	-	5,0
v , км/с	330	330	-	-	-	-	-	-	440	-
Найти	E, U	v, N	B, v	E, v	U, v	Z, v	N, v	E, v	B, U	N, v

4.6. Ион с зарядом Ze и массой $N \cdot m_p$ движется в циклотроне со скоростью v_1 и энергией W_1 по дуге радиусом R_1 . После k целых оборотов его скорость, энергия и радиус кривизны траектории - v_2 , W_2 и R_2 соответственно. Индукция магнитного поля в циклотроне - B , ускоряющее напряжение между дуантами - U .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	2	1	1	2	-	3	2	-	1	3
N	4	1	2	3	3	-	3	-	3	6
k	25	15	10	5	15	14	20	10	-	24
B	1,0	0,8	-	0,9	1,2	1,1	1,0	1,0	1,2	1,1
U , кВ	20	10	10	8	6,6	8	12	7,5	7	-
W_1 , МэВ	-	-	-	-	0,29	-	-	0,2	-	-
W_2 , МэВ	-	0,39	-	-	-	-	1,1	-	-	2,0
v_1 , Мм/с	6	-	4,3	-	-	3,3	-	3,1	-	5,2
v_2 , Мм/с	-	-	-	-	5,6	-	-	4,9	-	-

R_1 , см	-	·	-	7,5	-	7,3	-	-	6	-
R_2 , см	-	-	16	-	-	-	-	-	11	-
Найти	$v_2,$ R_1	$W_1,$ R_1	$B,$ R_1	$v_2,$ R_2	$Z,$ R_1	$N,$ R_2	$R_2,$ v_1	$Z,$ N	$k,$ W_2	$U,$ R_2

4.7. Ионы с зарядом Ze и массой $N \cdot m_p$ ускоряются в циклотроне с индукцией магнитного поля B . Период обращения частиц - T , частота обращения - ν . Предельный радиус орбиты ионов - R , максимальная энергия - W .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	2	1	1	2	-	3	1	3	5	-
N	4	1	-	3	2	7	3	-	10	6
B	1,1	-	0,65	-	0,66	-	0,49	0,61	-	0,66
$W, МэВ$	-	-	-	20	11	40	-	20	40	-
R	0,9	0,6	1,0	1,0	-	-	1,2	-	-	0,5
$T, мкс$	-	0,1	0,2	-	0,2	-	-	0,25	-	0,2
$\nu, МГц$	-	-	-	-	-	4	-	-	4	-
Найти	$\nu,$ W	$W,$ B	$N,$ W	$\nu,$ B	$Z,$ R	$B,$ R	$W,$ T	$R,$ N	$B,$ R	$W,$ Z

4.8. Частица с зарядом q и массой m движется в однородном магнитном поле перпендикулярно силовым линиям со скоростью v . Индукция поля - B , на частицу действует сила Лоренца F , которая сообщает ей ускорение a . Частица движется по окружности радиуса R , энергия частицы - W , период её обращения - T .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q , нКл	20	-	15	-	9,3	-	6	-	15	8
m , мкг	5	8	-	-	16	12	-	-	6	12
B	0,4	0,3	0,2	0,15	-	0,2	0,25	0,24	-	0,3
ν , км/с	-	1,1	-	2,3	-	1,6	-	-	2,5	-
W , мДж	2	-	-	-	13	-	-	18	-	-
R , км	-	-	3,3	-	-	-	14	7,72	-	-
T	-	18	-	-	40	-	-	20	-	-

$a, \text{ км/с}^2$	-	-	-	0,6	-	0,22	0,22	-	-	0,33
$F, \text{ мкН}$	-	-	4,9	1,7	-	-	2,6	-	6,8	-
Найти	R, F	q, a	a, W	R, T	F, a	R, q	T, R	q, m	B, T	R, T

4.9. Ион с зарядом Ze и массой $N \cdot m_p$ движется в однородном магнитном поле с индукцией B по винтовой линии радиусом R и шагом h со скоростью v , направленной под углом α к индукции. Период обращения частицы - T . Ион ускорен напряжением U .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	1	2	1	-	2	3	1	3	2	2
N	1	-	2	6	-	7	-	6	3	-
B	0,19	0,13	-	0,27	0,33	-	0,2	0,3	0,3	0,1
$R, \text{ см}$	-	-	6,0	5,0	-	-	10	-	2,0	3,0
$h, \text{ см}$	25	·	-	-	-	47	86	-	7,3	-
$v, \text{ км/с}$	-	-	603	715	-	·	-	-	·	460
$\alpha, \text{ град}$	35	25	50	37	26	35	-	60	-	20
$T, \text{ мкс}$	-	1,0	-	-	0,3	-	1,0	-	-	-
$U, \text{ кВ}$	4,1	3,0	-	-	9,0	11	-	8,8	2,0	2,2
Найти	v, R	N, R	B, h	R, h	v, h	B, R	N, U	R, h	α, U	T, h

4.10. Ион с зарядом Ze и массой $m=N \cdot m_p$ влетает со скоростью v в однородное магнитное поле с индукцией B перпендикулярно силовым линиям. Кинетическая энергия иона - W ; e - элементарный заряд; m_p - масса протона. На ион действует сила Лоренца F , сообщающая ему центростремительное ускорение a . Радиус кривизны траектории - R , период обращения по окружности - T .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	3	2	1	3	5	-	3	4	-	2
N	5	-	3	6	10	3	-	7	-	-
B	0,2	0,15	-	0,3	-	0,21	0,2	-	0,12	0,1
$v, \text{ км/с}$	-	500	100	-	200	-	-	320	250	-
$W, \text{ кэВ}$	80	-	-	2,1	-	5,5	-	-	-	-

$a \cdot 10^{-12}$	-	-	0,25	-	-	-	3,3	-	-	3
$F \cdot 10^{14}$	-	-	-	-	-	-	3,3	-	2,6	-
R , см	-	5,2	-	1,8	-	8,9	-	2,9	-	7,35
T , мкс	-	-	-	-	0,3	-	-	-	1,1	-
Найти	R, F	N, a	B, T	ν, F	R, B	Z, T	N, ν	T, B	Z, R	N, F

ТЕМА 5. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Явление электромагнитной индукции заключается в том, что при любом изменении магнитного потока, проходящего через проводящий контур, в нем возникает ЭДС индукции \mathbf{E}_i , прямо пропорциональная скорости изменения магнитного потока:

$$E_i = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Это уравнение называется *законом Фарадея* для электромагнитной индукции. Знак “минус” связан с *правилом Ленца*: индукционный ток всегда «препятствует» изменению магнитного потока. Правило Ленца определяет полярность ЭДС и направление индукционного тока. Если необходима только величина ЭДС или тока, то “минус” можно не писать. Причины изменения потока могут быть самые разные: изменение магнитного поля, перемещение, вращение или деформация контура, а также любое их сочетание.

Если сопротивление контура конечно, то возникает индукционный ток, который переносит индуцированный заряд:

$$I = \frac{E_i}{R} = - \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}. \quad \text{Так как } I = \frac{dq}{dt}, \quad \text{то } dq = - \frac{d\Phi}{R}.$$

Интегрируя, получим:

$$q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R} = - \frac{\Delta\Phi}{R}.$$

Задачи по теме 5

5.1. В однородное магнитное поле с индукцией B помещена прямоугольная рамка со сторонами a и b , состоящая из N витков и имеющая сопротивление R . Плоскость рамки составляет угол β_1 с

направлением магнитного поля (рис.9). При выключении магнитного поля в катушке протекает заряд q .

Примечание: изменение магнитного потока берётся по модулю.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a , см	-	7,3	10,6	20,6	10,3	10,3	6,3	5,6	8,5	15,5
b , см	2	-	2,8	13	5,1	4,2	10,6	-	2	7
N	40	34	-	15	20	78	23	42	15	-
R	2,5	1,5	3,2	-	1,7	7,5	1,0	3,4	0,5	2,8
β_1 , град	12	25	32	42	-	53	58	75	-	110
q	0,06	0,03	0,15	0,1	0,73	-	0,1	0,02	0,04	0,02
B	0,15	0,07	0,02	0,06	0,05	0,02	-	0,08	0,07	0,03
Найти	a	b	N	R	β_1	q	B	b	β_1	N

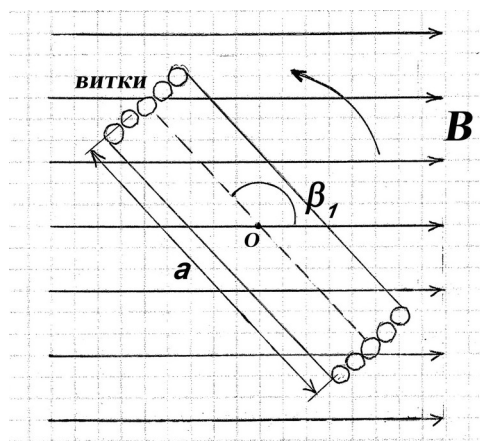


Рис. 9

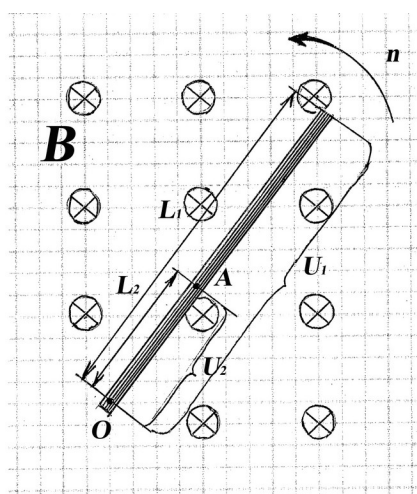


Рис. 10

5.2. Прямоугольная рамка, описанная в задаче 5.1, поворачивается так, что её плоскость после поворота образует угол β_2 с вектором индукции. Во время поворота по рамке протекает заряд q .

Примечание: изменение магнитного потока берётся по модулю.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a , см	6,2	7,3	10,6	20,6	10,3	10,3	6,3	-	8,5	15,5
b , см	2	-	2,8	13	5,1	4,2	10,6	5,8	2	7
N	100	340	-	150	10	78	230	420	15	-

R	2,5	1,5	3,2	-	1,7	7,5	1,0	3,4	0,5	2,8
β_1 , град	12	25	32	42	-	53	58	75	6	110
q	-	0,3	0,15	0,1	0,73	-	1,1	2,5	0,42	1,2
B	0,15	0,57	0,12	0,26	0,56	0,72	-	0,42	0,37	0,83
β_2 ,град	31	42	65	19	83	6	90	29	-	126
Найти	q	b	N	R	β_1	q	B	a	β_2	N

5.3. Короткозамкнутая короткая катушка с площадью поперечного сечения S и числом витков N расположена неподвижно в магнитном поле так, что её ось составляет угол β с индукцией магнитного поля B , величина которой изменяется со временем по закону: $B = B_0 + at + bt^2$. В катушке в момент времени t возникает ЭДС электромагнитной индукции ϵ_i и индукционный ток i . Заряд, протекающий по катушке за время от 0 до t , равен q , сопротивление катушки - R .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S , см ²	-	45	36	56	31	24	17	28	50	12
β , град	22	-	125	37	12	42	100	0	-	73
N	400	350	-	150	200	35	310	208	50	78
R	3,5	1,5	2	-	1,7	1,5	1,0	1,2	1,5	-
i , мА	38	90	25	42	-	56	105	-	-	-
t , мс	26	35	45	14	76	-	50	-	19	29
a	0,06	0,05	0,04	0,03	0,07	0,15	-	0,02	0,01	0,08
b	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,26	0,35	0,13	0,28	0,19
q , мкКл	-	-	-	-	-	-	-	-	235	170
ϵ_i , мВ	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-
Найти	q , ϵ_i , S	q , ϵ_i , β	q , ϵ_i , N	q , ϵ_i , R	q , ϵ_i , i	q , ϵ_i , t	q , ϵ_i , a	q , i , t	i , β , ϵ_i	R , i , ϵ_i

5.4. Короткая катушка с площадью поперечного сечения S и числом витков N равномерно вращается в однородном магнитном поле B с периодом T . Ось вращения катушки перпендикулярна направлению B (рис.9). Максимальное значение ЭДС электромагнитной индукции ϵ_m , а её значение в момент времени t

равно ε (дано минимальное значение времени в пределах одного периода). Максимальный магнитный поток через сечение одного витка катушки - Φ_m , сопротивление катушки - R . При $t = 0$ плоскость витков катушки перпендикулярна силовым линиям.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T, \text{мс}$	-	20	35	46	58	75	-	16	-	7,5
B	0,1	-	0,2	0,3	1,1	-	-	0,8	0,4	0,6
N	400	330	-	150	21	-	-	42	450	235
$S, \text{см}^2$	35	43	28	-	41	-	-	15	1,5	-
$t, \text{мс}$	20	4	12	8	-	30	15	-	8	2,3
ε	-	12	46	-	6	-	-	12	6	34
ε_m	25	-	-	45	-	-	25	32	15	-
$\Phi_m, \text{мВб}$	-	-	-	-	-	450	560	-	-	150
Найти	E, Φ_m	ε_m, Φ_m	ε_m, Φ_m	ε, Φ_m	ε_m, Φ_m	$\varepsilon, \varepsilon_m$	T, ε	t, Φ_m	T, Φ_m	S, ε_m

5.5. В однородном магнитном поле с индукцией B вращается тонкий проводящий стержень длиной L_1 , делая n оборотов в секунду. Ось вращения O перпендикулярна стержню и проходит через один из его концов (рис.10). Разность потенциалов между точками O и A ($OA = L_2$) стержня - U_2 , между осью и свободным концом - U_1 .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L_1, \text{см}$	-	24	50	-	83	103	91	78	50	35
$L_2, \text{см}$	22	-	42	23	71	82	51	30	12	-
$U_1, \text{мВ}$	480	-	-	-	200	-	300	420	-	45
$U_2, \text{мВ}$	-	320	-	-	-	150	-	-	-	-
B	0,1	0,2	0,3	0,4	-	0,6	-	0,8	0,9	1
n	12	9	5	3	23	-	45	-	17	1
Найти	U_2, l_1	U_1, l_2	U_1, U_2	U_1, U_2	U_2, B	U_1, n	U_2, B	U_2, n	U_1, U_2	l_2, U_2

5.6. Между полюсами электромагнита помещена небольшая катушка, расположенная так, что нормаль к её торцу совпадает с вектором индукции однородного магнитного поля B . При повороте катушки на угол β через неё протекает заряд q . Площадь сечения катушки - S , число витков - N , сопротивление - R .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q , мКл	-	190	250	340	125	90	45	80	-	9
S , см ²	22	-	32	43	16	27	15	-	12	38
N	40	54	-	98	120	200	-	180	60	46
R	3,1	1,5	2,8	-	0,9	-	4,1	0,5	1,7	9,3
B	0,1	0,17	0,23	0,25	-	0,3	0,4	0,5	0,44	-
β , град	90	60	30	45	120	180	150	135	80	130
Найти	q	S	N	R	B	R	N	S	q	B

5.7. «П» – образный проводник находится в однородном магнитном поле с индукцией B , величина которой изменяется со временем по закону: $B=B_0+at+bt^2$ (рис.11). Вдоль параллельных сторон этого проводника равномерно перемещают проводник-перемычку bc длиной L со скоростью V . В начальный момент времени ($t = 0$) площадь контура $abcd$ равна 0, ЭДС индукции в контуре через время t после начала движения проводника-перемычки равна ε . Магнитные силовые линии перпендикулярны плоскости контура.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L	-	0,4	0,2	0,8	0,5	0,3	0,4	1,5	-	0,2
B_0	0,1	0	0,2	0,25	0,4	0,5	0,2	0	0	0,5
a	0,2	-	0	0,3	1,1	0	0,7	0,2	0,45	0,3
b	0	0	0,1	0	0,2	0,04	-0,1	0,02	0	-0,1
ε	0,5	1,5	-	3	10	12	-	14	26	-
V	4	2	3	-	2,5	-	5	2	6,8	5,7
t	1,5	9,8	4	0,5	-	5	4	6	7,8	2
Найти	l	a	ε	V	t	V	ε	a	l	ε

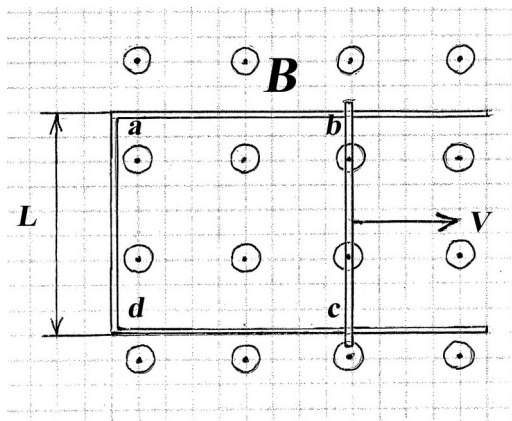


Рис.11

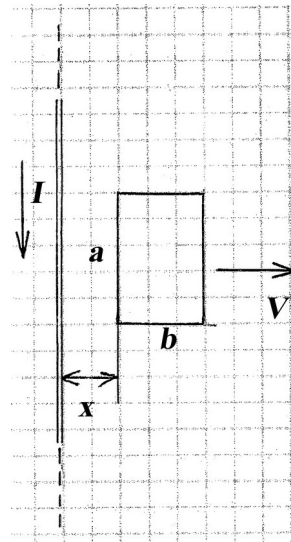


Рис.12

5.8. В соленоиде без сердечника длиной l , содержащем N витков, величина тока изменяется во времени по закону: $I = at + bt^2$. На соленоид надето проволочное кольцо с сопротивлением R . В момент времени t индукционный ток в кольце - i . Площадь сечения кольца и соленоида - S .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	-	0,3	0,6	0,25	0,3	0,5	0,2	0,16	0,5	0,2
N	400	-	500	150	200	180	300	320	500	600
R	8	11,5	-	2	10	1,5	5	7,5	2,5	-
$a \cdot 10^{-3}$	8	6	5	-	0	2	5	1,0	-	9
$b \cdot 10^{-3}$	3	4	4	0	-	0,8	3	0,3	0	5
t	5	7	2	4	5	-	4	10	8	6
$S, \text{ см}^2$	24	40	38	50	15	40	-	20	60	30
$i, \text{ мА}$	5	7,5	12	8	9	10	22	-	35	40
Найти	l	N	R	a	b	t	S	i	a	R

5.9. Прямоугольная рамка со сторонами a и b движется равномерно и прямолинейно в однородном поле со скоростью V , удаляясь от бесконечно длинного провода с током I , при этом сторона рамки a во время движения остаётся параллельной этому проводу (рис.12). В момент времени t , когда расстояние между проводом и рамкой равно x , в ней индуцируется ЭДС ε . В начальный момент времени $x = 0$.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a , см	-	24	60	20	13	10	20	26	15	25
b , см	20	-	30	40	14	25	30	50	-	5
V	4,0	2,5	-	2,4	2,0	0,6	3,0	1,2	2,5	0,6
x	-	-	0,6	-	0,1	0,4	-	0,6	1,5	-
t	0,2	0,4	-	1,7	-	-	0,5	-	-	0,75
I	10	15	25	35	12	-	15	-	20	-
ϵ , мкВ	0,6	1,0	8,6	-	-	0,8	-	2,8	1,0	1,2
Найти	a	b	V	ϵ	ϵ	I	ϵ	I	b	I

5.10. Короткая катушка с площадью поперечного сечения S вращается с угловой скоростью ω внутри длинного соленоида с током I и числом витков на единицу длины n (рис.13). Ось вращения O перпендикулярна оси катушки и оси соленоида. Максимальное значение ЭДС во вращающейся катушке - \mathcal{E}_{max} , диаметр катушки - D и число витков - N .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ω	-	10,4	20,6	30,6	40,3	50,3	8	12,6	10,5	7,5
n	250	-	350	390	160	300	1100	450	280	-
N	40	48	-	60	70	85	90	140	-	30
I	38	67	25	-	78	69	55	-	67	59
D , см	6,7	7,8	10	14	-	8,9	-	12	11	17
\mathcal{E}_{max} , мВ	30	45	15	58	8	-	22	14	5	7
Найти	ω	n	N	I	D	\mathcal{E}_{max}	D	I	N	n

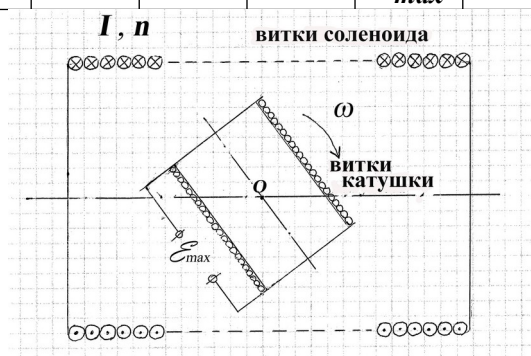


Рис.13

ТЕМА 6. ЯВЛЕНИЕ САМОИНДУКЦИИ ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Явление самоиндукции – при любом изменении силы тока в проводнике в нем возникает электродвижущая сила самоиндукции E_{si} пропорциональная скорости изменения силы тока,

$$E_{si} = -L \frac{dI}{dt},$$

где L -индуктивность проводника. Знак “минус” определяет направление ЭДС, так как ЭДС всегда «препятствует» изменению тока (правило Ленца).

Явление самоиндукции - частный случай явления электромагнитной индукции. Ток в проводнике создает магнитный поток Φ через контур проводника. Этот поток пропорционален силе тока в проводнике $\Phi=LI$. При изменении тока меняется и поток через проводник, и в нем возникает ЭДС индукции, которая и является ЭДС самоиндукции E_{si} : $E_{si} = - \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$.

Для катушки полный поток $\Phi=N \cdot \Phi_0$, где Φ_0 - поток через один виток.

Индуктивность длинного соленоида и тороида определяется:

$$L = \mu\mu_0 n^2 l S, \quad \text{где} \quad n = \frac{N}{l} \text{ - плотность намотки.}$$

Энергия магнитного поля проводника:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

Эта энергия распределена по всему пространству с объемной плотностью:

$$\omega_m = \frac{\Delta W_m}{\Delta V} = \frac{BH}{2}.$$

При включении тока в цепи с индуктивностью ток нарастает постепенно, так как возникающая при этом ЭДС самоиндукции препятствует мгновенному росту тока.

$$I = I_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{R}{L}t\right) \right).$$

Здесь I_0 - предельное (установившееся) значение силы тока в цепи, R – полное сопротивление контура.

При выключении тока в цепи его значение постепенно уменьшается со временем:

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{R}{L}t\right).$$

Здесь I_0 - ток через индуктивность в момент выключения, а R -полное сопротивление контура, по которому течет ток после отключения от ЭДС источника.

На участке цепи, состоящей из последовательно включенных индуктивности L и сопротивления R (оно включает и сопротивление самой катушки), в любой момент времени напряжение определяется по формуле: $U=I R - E_{si}$.

Задачи к теме 6

6.1. При переключении ключа K из положения 1 в положение 2 (рис.14) ток в цепи, содержащей катушку с индуктивностью L и сопротивлением R , убывает со временем t . В начальный момент времени ($t = 0$) ток в цепи I_0 , через время t равен I . ЭДС источника тока $-\varepsilon$, внутреннее сопротивление $-r$.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L, \text{мГн}$	8,7	7,5	12	15	14	10	25	-	0,5	0,5
R	2,5	4,1	2	3,7	1	1,5	1,9	8,9	-	-
I	-	0,3	-	-	0,8	0,4	-	3,5	0,2	0,5
I_0	-	-	3,5	5	7,8	8,8	-	10,7	1	9,7
$t, \text{мс}$	1,2	-	10	5	-	-	6	10	30	8
ε	16	10	12	-	-	31	-	-	-	21
r	0,8	1,1	-	0,5	0,4	-	-	2,3	1,3	-
Найти	I, I_0	I_0, t	I, r	I, \mathbf{E}	t, ε	r, t	I/I_0	L, ε	R, ε	r, R

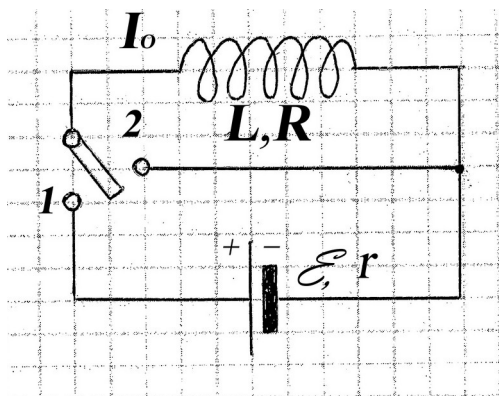


Рис.14

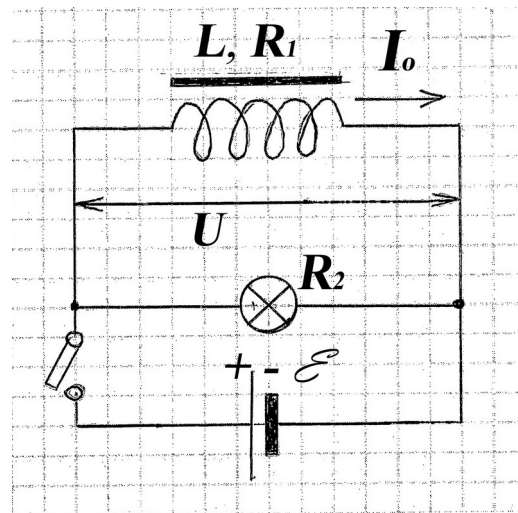


Рис.15

6.2. При переключении ключа из положения 2 в положение 1 (рис. 14) ток в цепи нарастает со временем. В моменты времени $t_0 = 0$ и t величины токов в цепи равны 0 и I , соответственно, установившееся значение тока - I_0 . ЭДС источника тока ε , внутреннее сопротивление - r .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L, \text{мГн}$	8,7	7,5	12	15	14	10	25	-	0,5	0,5
R	2,5	4,1	2	3,7	1	1,5	1,9	8,9	-	-
I	-	0,3	-	-	0,8	0,4	-	3,5	0,2	0,5
I_0	-	-	3,5	5	7,8	8,8	-	10,7	1	9,7
$t, \text{мс}$	1,2	-	2,5	10	-	-	6	10	30	8
ε	16	10	12	-	-	31	-	-	-	21
r	0,8	1,1	-	0,5	0,4	-	-	2,3	1,3	-
Найти	I, I_0	I_0, t	I, r	I, ε	t, ε	r, t	I/I_0	L, ε	R, ε	r, R

6.3. Обмотка катушки диаметром D и с индуктивностью L состоит из k слоёв проволоки диаметром d , намотанных вплотную. Число витков в одном слое - N . По катушке протекает ток I , при этом энергия магнитного поля в катушке - W_m .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
k	1	-	2	4	1	2	3	5	4	2
d , мм	0,6	1,6	-	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	0,6	0,4
N	-	390	300	-	-	500	480	-	380	400
D , см	4	5	6	4	4,5	4,2	4,5	4	-	-
L , мГн	1	2,4	1,8	2,5	6	-	-	8	12,4	2,8
I	-	4	4,5	-	5,5	-	0,1	-	3,6	-
W_m , мДж	8	-	-	10	-	6,5	-	12	-	8,4
Найти	N I	k W_m	D W_m	N I	N W_m	L I	L W_m	N I	D W_m	D I

6.4. Соленоид с магнитным сердечником имеет длину l , число витков на единицу длины n и площадь поперечного сечения - S . Индуктивность соленоида - L . По нему протекает ток I , создавая магнитное поле с энергией W_m и магнитный поток витка Φ . Относительная магнитная проницаемость сердечника - μ .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l , см	50	-	-	60	40	-	65	85	90	48
n	2000	500	400	-	2500	2000	-	800	-	1000
S , см ²	10	25	-	40	25	28	50	-	27	25
L	-	-	0,6	0,93	-	-	3,0	2,4	-	-
I	0,5	-	-	12	-	0,5	0,08	0,4	0,55	0,4
Φ , мВб	-	0,25	3	-	-	-	-	-	2,5	-
W_m	-	0,2	0,3	-	0,4	0,8	-	-	-	0,15
μ	640	1200	1550	1480	1600	750	850	1320	1500	-
Найти	L , W_m , Φ	l , L , I	l , S , I	n , W_m , Φ	L , I , Φ	l , L , Φ	n , W_m , Φ	S , W_m , Φ	n , L , W_m	L , μ , Φ

6.5. В катушке с индуктивностью L и сопротивлением R протекает изменяющийся со временем ток $I = I_0 + at^2$. В момент времени t напряжение, приложенное к катушке - U , ЭДС самоиндукции - \mathcal{E}_{si} , полный магнитный поток (потокосцепление) - Φ , W_m - энергия магнитного поля в катушке.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t	2	1	2	1,5	-	2	0,5	-	2	2
U	-	20	-	-	10	10	-	-	8	10
ϵ_{si}	-	-	-	6	3	-	4	8	-	-
a	1,5	2	0,5	1	0,75	-	2	2	2	-
I_0	0,5	1	0,5	-	0,5	-	-	1	2	-
I	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
R	10	5	4	-	-	2	-	-	-	1,5
L	2	-	-	-	0,5	-	-	-	-	2
Φ	-	-	5	10	-	4	6	-	4	8
W_m	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-
Найти	$U \epsilon$ ϵ_{si} W_m	ϵ_{si} L W_m	U $L \epsilon$ ϵ_{si}	I_0 L, I W_m	R Φ, t W_m	$\epsilon_{si},$ $a,$ I_0, L	U $I_0,$ $R,$ L	$U,$ R $L,$ I, t	$\epsilon_{si},$ R, L W_m	$\epsilon_{si},$ $a,$ I_0, I

6.6. Длина соленоида без сердечника - l , площадь поперечного сечения - S , индуктивность - L , число витков - N . По нему протекает ток I , создавая внутри его магнитное поле с индукцией B и объёмной плотностью энергии w_m .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l, \text{см}$	50	45	25	60	-	48	26	42	54	30
$S, \text{см}^2$	2	5	2	-	4,5	6	5	6,5	2,2	2,2
N	-	-	500	850	280	1200	400	-	-	-
$L, \text{мГн}$	0,2	-	-	0,45	-	-	-	-	0,25	0,36
I	-	0,2	0,1	-	0,25	-	0,6	0,5	-	-
$w_m, \text{мДж/м}^3$	10	25	-	-	-	9,5	-	-	-	14
$B, \text{мТл}$	-	-	-	0,28	0,2	-	-	1,2	-	-
Найти	I B	B L	w_m L	B w_m	L B	B I	L w_m	L w_m	w_m I	B I

6.7. На катушку с индуктивностью L надето кольцо того же диаметра, что и катушка, к которому присоединён баллистический гальванометр, измеряющий индуцированный заряд q . Через катушку пропускается ток I , создавая магнитный поток Φ в её

витках. При изменении направления тока в катушке через кольцо протекает индуцированный заряд q . Общее сопротивление кольца и гальванометра - R , длина катушки - l , число витков на единицу длины - n . Относительная магнитная проницаемость сердечника катушки - μ .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n, \text{см}^{-1}$	-	10	15	20	25	70	12	60	60	-
$l, \text{см}$	3	6	4	5	6	17	8	9	10	11
μ	50	65	-	76	69	150	98	-	-	150
$L, \text{мГн}$	-	-	-	-	-	0,6	-	1,5	0,5	0,5
I	0,5	0,7	1,5	3	-	0,4	5,1	0,8	-	0,5
$S, \text{см}^2$	4	-	5,8	7,1	2,9	-	10	4,2	5,2	8,3
$\Phi, \text{мкВб}$	15	12	20	-	-	-	-	-	15	-
$q, \text{мкКл}$	-	-	-	-	34	-	0,5	-	0,7	-
R	0,6	0,4	0,5	1,4	1,5	0,8	-	1,6	-	1,2
Найти	n, q, L	l, L, q	μ, L, q	L, q, Φ	L, I, Φ	S, q, Φ	L, R, Φ	μ, q, Φ	μ, R, I	n, q, Φ

6.8. Обмотка катушки с индуктивностью L и сопротивлением R подключена к источнику тока, изменяющегося со временем по закону: $I = at$. Через время t в нём выделяется количество теплоты Q , эквивалентное энергии магнитного поля катушки W_m в тот же момент времени.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L	-	4,7	3,2	6,9	9,1	13	8,9	11	16	3,5
R	2,1	-	0,7	3	-	2	1	-	2	0,4
a	-	-	-	-	0,2	0,1	0,4	0,5	-	-
t	20	15	-	-	43	-	-	31	-	-
Q	300	-	415	-	-	-	-	-	-	213
W_m	-	290	-	76	-	-	-	-	154	-
Найти	L, a	R, a	a, t	a, t	R, Q	t, Q	t, Q	R, Q	a, t	a, t

6.9. Дроссель (катушка большой индуктивности L с магнитным сердечником), имеющий сопротивление R_l , присоединён

параллельно к лампе накаливания с сопротивлением R_2 и источнику тока с ЭДС ε через ключ (рис.15), при этом ток в дросселе - I_0 . Через время t после размыкания цепи ключом напряжение на дросселе - U . Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L, \text{мГн}$	-	6	8	7,2	8	4	10	-	-	20
R_1	1,5	-	0,6	-	1,4	2	5	0,4	-	0,6
R_2	8,7	15	3	5	8,5	25	36	32	28	6
U	4	-	6	-	12	-	7,5	56	3	2
$t, \text{мс}$	1,8	1,4	1,1	2,3	-	0,8	0,5	0,9	1,9	1,9
I_0	-	3	-	17	-	-	-	-	20	12
ε	12	20	17	10	28	17	-	95	15	-
Найти	L, I_0	R_1, U	t, I_0	R_1, U	t, I_0	U, I_0	I_0, ε	L, I_0	L, R_1	U, ε

6.10. При выключении тока в цепи (рис.15) энергия магнитного поля дросселя W_m переходит в тепло Q_1 , выделяющееся в его обмотке с сопротивлением R_1 , и в тепло Q_2 в лампе накаливания с сопротивлением R_2 . Ток в дросселе перед выключением равен I_0 .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L	-	0,65	12,8	20	23	-	14	7,6	3,6	-
Q_1	0,8	-	-	6,5	-	21	-	15,1	-	45
Q_2	1,7	2,3	-	-	34	-	98	62	83	-
R_1	20	-	1,5	-	3,3	0,8	2,1	-	0,5	-
R_2	-	7,8	5,6	10,3	-	-	-	-	-	8,6
I_0	-	3,5	0,9	-	-	-	4,6	-	-	3,6
ε	50	-	-	-	-	6,8	-	10,6	4,1	-
W_m	-	-	-	28	42	76	-	-	-	250
Найти	L, I_0, R_2	Q_1, W_m, R_1	Q_1, W_m, ε	Q_2, ε, I_0	Q_1, ε, I_0	L, I_0, R_2	Q_1, ε, R_2	R_1, I_0, W_m	Q_1, I_0, R_2	L, ε, Q_2

Обозначения остальных величин те же, что в задаче 6.9. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

Библиографический список

Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.-СПб: Лань, 2008.

Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. В 3-х т. Т.2. Электричество и магнетизм.- СПб: Лань, 2007.

Оглавление

Предисловие	3
Тема 1. Магнитное поле тока и движущегося заряда	3
Тема 2. Магнитное поле соленоида	11
Тема 3. Сила Ампера	18
Тема 4. Сила Лоренца	23
Тема 5. Явление электромагнитной индукции	31
Тема 6. Явление самоиндукции. Энергия магнитного поля.	38
Библиографический список	45

Учебное издание

Александр Леонидович Ашкалуни
Владимир Олегович Кабанов
Сергей Александрович Поржецкий
Валерий Иванович Лейман

ФИЗИКА
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Учебно-методическое пособие
Индивидуальные задания для расчетной работы

Редактор и корректор В.А. Басова

Техн. редактор Л.Я.Титова

Темплан 2018 г., поз. 101

Подп. к печати 15.11.18 Бумага тип № 1.

Печать офсетная. Объем 2,75 печ.л.; 2,75 уч.-изд.л. Тираж 300 экз.

Изд № 101. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, СПб., ул.И.Черных, 4.