

А.В. Смирнов
Б.А. Федоров
В.Л. Володькина

Электричество. Магнетизм. Колебания

**Домашние задания по курсу общей физики
за второй семестр**



Санкт-Петербург
2005

Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики

А.В. Смирнов
Б.А. Федоров
В.Л. Володькина

Электричество. Магнетизм. Колебания

**Домашние задания по курсу общей физики
за второй семестр**

Учебное пособие
Под общей редакцией Б.А.Федорова



Санкт-Петербург
2005

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО. МАГНЕТИЗМ. КОЛЕБАНИЯ

Домашние задания по курсу общей физики за второй семестр

Учебное пособие/ Под общей редакцией Б.А. Федорова

А.В. Смирнов, Б.А. Федоров, В.Л. Володькина.

СПб: СПбГУИТМО, 2005, 34 с.

Содержит условия задач домашнего задания по курсу общей физики за второй семестр. Предназначено для студентов первого курса всех технических специальностей.

Печатается в соответствии с решением Совета естественнонаучного факультета, протокол № 1 от 30.08.2005

Пособие соответствует утвержденной программе курса физики СПбГУИТМО. Предназначено для использования студентами 1-го курса.

- © Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2005.
- © А.В. Смирнов, Б.А. Федоров, В.Л. Володькина, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Примеры решения задач.....	5
Варианты домашнего задания.....	10
Задачи.....	12
Литература.....	31

Введение

Предлагаемые домашние задания основаны на курсе лекций по физике, читаемых студентам технических специальностей СПбГУИТМО во втором семестре первого курса. Задания разбиты на два этапа. Первый этап содержит задачи по электростатике и постоянному току, второй этап – задачи по магнетизму, электромагнитной индукции, движению заряженных частиц в электрическом и магнитном поле, а также по колебательным процессам.

Большинство задач представленного сборника являются достаточно типовыми, но требуют внимательного прочтения указанных разделов курса физики. В помощь студентам прилагается список соответствующей литературы.

Разумеется, уловить «идею» задачи и, как следствие, найти путь ее решения студент может лишь самостоятельно, однако следующие рекомендации помогут избежать ошибок, часто встречающихся даже при физически правильном подходе к решению задачи:

- все размерные численные данные задачи следует перевести в основную форму системы СИ (например, сантиметры в метры);
- если позволяет характер задачи, необходимо сделать рисунок, поясняющий ее сущность;
- решать задачу следует, как правило, в общем виде; это позволяет установить определенные закономерности и тем самым дает возможность судить о правильности решения;
- получив решение в общем виде, необходимо проверить, правильную ли размерность оно имеет;
- рассчитав численный ответ, следует оценить его правдоподобность; если, например, радиус атома имеет величину порядка метра, то следует искать ошибку.

Как правило, физические константы, необходимые для решения задачи (диэлектрическая проницаемость среды, удельное сопротивление проводника и т. п.) приводятся в ее условии, но часто встречающиеся константы (электрическая и магнитная постоянные, скорость света в вакууме и т.п.) следует искать в учебниках, задачниках и справочниках по физике.

В качестве примеров решения задач, а также правильного оформления этого решения приводятся 5 задач по представленным в сборнике разделам физики.

Примеры решения задач

Задача 1П. Равномерно заряженная полуокружность радиуса $R = 20$ см несет заряд $q = 0,70$ нКл. Найти модуль напряженности E электрического поля в центре кривизны полуокружности.

Дано:	Перевод единиц
$R = 20$ см	0,2 м
$q = 0,70$ нКл	$7,0 \cdot 10^{-10}$ Кл
$E = ?$	

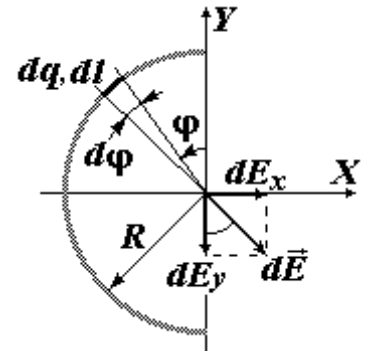


Рис. 1. К задаче 1П.

Решение. Элемент длины полуокружности $dl = R d\varphi$ (рис. 1), несет элементарный заряд

$$dq = \frac{q}{\pi R} dl = \frac{q}{\pi} d\varphi, \text{ где } d\varphi \text{ приращение угла } \varphi.$$

Разным точкам полукольца отвечают значения угла φ , лежащие в интервале от 0 до π . Заряд dq создает в центре кривизны элементарную напряженность $d\vec{E}$, модуль которой $dE = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{qd\varphi}{4\pi^2\epsilon_0 R^2}$ (здесь $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м). Проекция $d\vec{E}$ на ось X : $dE_x = dE \sin \varphi$, на ось Y : $dE_y = dE \cos \varphi$.

Проекции полной напряженности складываются из проекций напряженностей, создаваемых всеми элементарными зарядами, поэтому:

$$E_x = \int dE_x = \frac{q}{4\pi^2\epsilon_0 R^2} \int_0^\pi \sin \varphi d\varphi = \frac{q}{2\pi^2\epsilon_0 R^2},$$

$$E_y = \int dE_y = \frac{q}{4\pi^2\epsilon_0 R^2} \int_0^\pi \cos \varphi d\varphi = 0.$$

Таким образом,

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = E_x = \frac{q}{2\pi^2\epsilon_0 R^2}.$$

Подставив численные значения, получаем $E = 0,10$ кВ/м.

Ответ: $E = 0,10$ кВ/м.

Задача 2П. Найти в приведенной схеме (рис. 2) величину тока I через сопротивление R , если ЭДС источников тока $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В, $\mathcal{E}_2 = 3,7$ В, сопротивления $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом и $R = 5,0$ Ом. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь.

Дано:

$$\mathcal{E}_1 = 1,5 \text{ В}$$

$$\mathcal{E}_2 = 3,7 \text{ В}$$

$$R_1 = 10 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 20 \text{ Ом}$$

$$R = 5,0 \text{ Ом}$$

$$I = ?$$

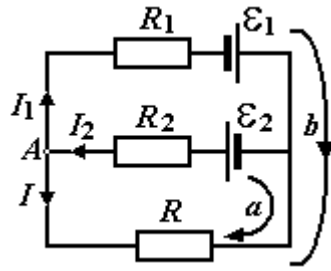


Рис.2. К задаче 2П.

Решение. Выберем направления токов I_1, I_2, I как показано на рисунке. По первому правилу Кирхгофа для узла A имеем:

$$I_2 = I_1 + I \quad (1)$$

По второму правилу Кирхгофа для обхода a ($R_2 \mathcal{E}_2 R R_2$) и обхода b ($R_1 \mathcal{E}_1 R R_1$), соответственно, получаем:

$$-\mathcal{E}_2 = -I_2 R_2 - IR; \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_1 = I_1 R_1 - IR. \quad (3)$$

Выражая из уравнений (2) и (3) токи I_2, I_1 :

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}_2 - IR}{R_2}; \quad I_1 = \frac{\mathcal{E}_1 + IR}{R_1},$$

и подставляя эти выражения в формулу (1), находим

$$I(RR_1 + RR_2 + R_1R_2) = \mathcal{E}_2R_1 - \mathcal{E}_1R_2;$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_2R_1 - \mathcal{E}_1R_2}{RR_1 + RR_2 + R_1R_2} = \frac{3,7 \cdot 10 - 1,5 \cdot 20}{5 \cdot 10 + 5 \cdot 20 + 10 \cdot 20} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ А.}$$

Ответ: $I = 20 \text{ мА}$.

Задача 3П. В двух взаимно перпендикулярных плоскостях расположены два круговых витка так, что центры витков совпадают (рис. 3). Радиусы витков $R_1 = 5 \text{ см}$, $R_2 = 10 \text{ см}$, токи в витках $I_1 = 5 \text{ А}$, $I_2 = 2 \text{ А}$, соответственно. Определить величину и направление напряженности \vec{H} магнитного поля в центре этих витков.

Дано:

Перевод
единиц

$$R_1 = 20 \text{ см}$$

$$0,2 \text{ м}$$

$$R_2 = 10 \text{ см}$$

$$0,1 \text{ м}$$

$$I_1 = 6 \text{ А}$$

$$I_2 = 4 \text{ А}$$

$$\vec{H} = ?$$

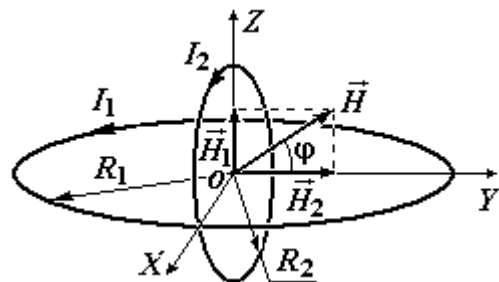


Рис. 3. К задаче 3П.

Решение. Вектор напряженности \vec{H}_1 магнитного поля, создаваемого в центре

током первого витка, равен по величине $H_1 = \frac{I_1}{2R_1}$ и направлен по оси Z .

Вектор напряженности \dot{H}_2 магнитного поля, создаваемого током второго витка, равен по величине $H_2 = \frac{I_2}{2R_2}$ и направлен Y .

Согласно принципу суперпозиции магнитных полей $\dot{H} = \dot{H}_1 + \dot{H}_2$. Результирующая напряженность лежит в плоскости ZOY . Так как векторы \dot{H}_1 и \dot{H}_2 взаимно перпендикулярны, для модуля напряженности H и угла φ между напряженностью и осью Y имеем:

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} = \sqrt{\frac{I_1^2}{4R_1^2} + \frac{I_2^2}{4R_2^2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{6}{0,2}\right)^2 + \left(\frac{4}{0,1}\right)^2} = 25 \text{ А/м.}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{H_1}{H_2} = \frac{I_1 R_2}{I_2 R_1} = \frac{6 \cdot 0,1}{4 \cdot 0,2} = 0,75 \Rightarrow \varphi = \operatorname{arctg} 0,75 = 37^\circ.$$

Ответ: $H = 25$ А/м, вектор \dot{H} лежит в плоскости ZOY и направлен под углом $\varphi = 37^\circ$ к оси Y .

Задача 4П. Длинный прямой провод с током $I = 10$ А и квадратная рамка со стороной $a = 1$ м находятся в одной плоскости (рис. 4). Рамку поступательно перемещают вправо с постоянной скоростью $v = 10$ м/с.

Найти ЭДС индукции \mathcal{E} в рамке в тот момент, когда расстояние от левой стороны рамки до прямого тока равно $b = 10$ см.

Дано:	Перевод единиц
$I = 10$ А	
$a = 1$ м	
$v = 10$ м/с	
$b = 10$ см	0,1 м
$\mathcal{E} = ?$	

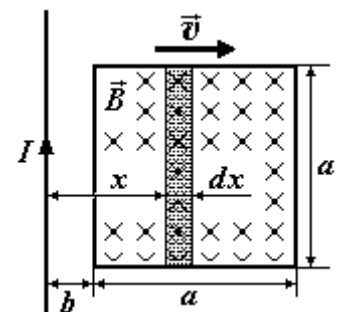


Рис. 4. К задаче 4П.

Решение. Выделим внутри рамки на расстоянии x от провода узкий прямоугольник высотой a шириной dx . Площадь прямоугольника $dS = a \cdot dx$. Магнитная индукция внутри рамки направлена перпендикулярно плоскости рамки от нас и на расстоянии x от провода ее величина $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$, где $\mu_0 =$

$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Элементарный магнитный поток, пронизывающий выделенный прямоугольник, $d\Phi = B \cdot dS = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} a dx$. Магнитный поток Φ ,

пронизывающий всю рамку $\Phi = \int d\Phi = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_b^{b+a} \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln \frac{b+a}{b}$. При

движении рамки этот магнитный поток изменяется, так как расстояние b изменяется с быстротой $\frac{db}{dt} = v$.

По закону электромагнитной индукции при изменении магнитного потока через рамку в ней наводится ЭДС

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Phi}{db} \cdot \frac{db}{dt} = -\frac{\mu_0 I a}{2\pi} \cdot \frac{b}{(b+a)} \cdot \frac{-a}{b^2} \cdot v = \frac{\mu_0 I a^2 v}{2\pi b(b+a)}$$

численные значения, находим:

$$\mathcal{E} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 1^2 \cdot 10}{2\pi \cdot 0,1 \cdot (1 + 0,1)} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ В}$$

Ответ: $\mathcal{E} = 0,18 \text{ мВ}$.

Задача 5П. Два квадрата со сторонами $a = 20 \text{ см}$ и $b = 10 \text{ см}$ лежат в одной плоскости и образуют замкнутый контур (рис.5). Однородное магнитное поле с индукцией $B = B_0 \sin \omega t$ ($B_0 = 10 \text{ мТл}$, $\omega = 100 \text{ рад/с}$) перпендикулярно плоскости контура. Сопротивление единицы длины контура $\rho = 50 \text{ мОм/м}$. Определить амплитуду индукционного тока I_0 в контуре, если его индуктивностью можно пренебречь.

Дано:

$a = 20 \text{ см}$

$b = 10 \text{ см}$

$B_0 = 10 \text{ мТл}$

$\omega = 100 \text{ рад/с}$

$B = B_0 \sin \omega t$

$\rho = 50 \text{ мОм/м}$

$I_0 = ?$

Перевод

единиц

$0,2 \text{ м}$

$0,1 \text{ м}$

10^{-2} Тл

$5 \cdot 10^{-2} \text{ Ом/м}$

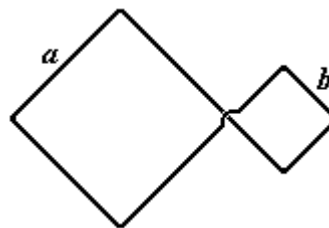


Рис. 5. К задаче 5П.

Решение. Так как контур пронизывает переменный магнитный поток, то в нем возникают индукционные токи, которые, согласно правилу Ленца, имеют в данных квадратах противоположные направления. Следовательно, возникающие в квадратах индукционные ЭДС \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 , также направлены

навстречу друг другу. Поэтому общая ЭДС в контуре $\mathcal{E} = |\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2|$.

Магнитный поток, пересекающий первый контур, $\Phi_1 = S_1 B = a^2 B_0 \sin \omega t$ и

$$\mathcal{E}_1 = -\frac{d\Phi_1}{dt} = -a^2 \omega B_0 \cos \omega t \quad (S_1 = a^2 - \text{площадь первого контура}).$$

Магнитный поток, пересекающий второй контур, $\Phi_2 = S_2 B = b^2 B_0 \sin \omega t$ и

$$\mathcal{E}_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt} = -b^2 \omega B_0 \cos \omega t \quad (S_2 = b^2 - \text{площадь второго контура}).$$

Периметр контура $L = 4(a+b)$, его сопротивление $R = \rho L = 4\rho(a+b)$.
 Таким образом, индукционный ток в контуре

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{(a^2 - b^2)B_0\omega \cos \omega t}{4\rho(a+b)} = \frac{(a-b)B_0\omega \cos \omega t}{4\rho}$$

и его амплитуда

$$I_0 = \frac{(a-b)B_0\omega}{4\rho} = \frac{(0,2-0,1) \cdot 100 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = 0,5 \text{ А.}$$

Ответ: $I_0 = 0,5 \text{ А.}$

Задача 6П. Шарик массы $m = 0,6 \text{ кг}$, подвешенный к спиральной пружине жесткостью $k = 30 \text{ Н/м}$, совершает затухающие колебания. Логарифмический декремент затухания $\lambda = 0,01$. Определить время t , за которое амплитуда колебаний уменьшится в $\eta = 3$ раза и число колебаний N шарика за это время.

Дано:

$$m = 0,6 \text{ кг}$$

$$k = 30 \text{ Н/м}$$

$$\lambda = 0,01$$

$$\eta = 3$$

$$t, N = ?$$

Решение. Уравнение затухающих колебаний: $x = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi)$, где

A_0 – начальная амплитуда колебаний, δ – коэффициент затухания, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ –

круговая частота колебаний, T – период колебаний, φ – начальная фаза колебаний.

Амплитуда колебаний A_t в момент времени t : $A_t = A_0 e^{-\delta t}$. Из условия

задачи: $\frac{A_0}{A_t} = \eta = e^{\delta t}$, поэтому $t = \frac{\ln(\eta)}{\delta}$.

Для затухающих колебаний: $\delta = \frac{\lambda}{T}$ и $\omega^2 = \omega_0^2 - \delta^2$, где $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ –

собственная круговая частота колебаний. Таким образом,

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \omega_0^2 - \frac{\lambda^2}{T^2} \quad \text{и} \quad T = \sqrt{\frac{4\pi^2 + \lambda^2}{\omega_0^2}}.$$

Так как по условию $\lambda = 4\pi$, $T \approx \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$.

Следовательно, $t = \frac{T \ln(\eta)}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{m}{k}} \ln(\eta)$ и $N = \frac{t}{T} = \frac{\ln(\eta)}{\lambda}$.

Ответ: $t = 98 \text{ с}$, $N = 110$.

Варианты домашнего задания

Этап 1. «Электричество. Постоянный ток»

Номер вариан та	Номера задач							
1	4	6	10	23	29	42	48	57
2	9	15	17	32	35	39	53	60
3	2	11	19	24	30	31	50	61
4	8	12	20	25	36	40	43	55
5	3	13	16	18	22	27	51	59
6	5	26	28	32	34	38	49	56
7	1	7	14	21	29	33	43	52
8	5	13	18	23	31	38	46	62
9	2	11	25	26	35	37	54	58
10	3	10	16	30	33	39	47	48
11	9	14	17	36	41	42	49	60
12	1	4	8	24	34	37	50	51
13	6	12	15	16	20	35	52	59
14	7	23	27	31	33	39	48	54
15	5	11	18	30	38	40	45	62
16	3	12	19	22	25	32	50	55
17	2	13	25	26	29	34	44	57
18	1	9	14	17	36	41	56	59
19	4	8	19	23	24	29	45	60
20	6	10	16	28	30	39	49	56
21	1	5	21	25	32	33	43	57
22	6	13	18	24	35	37	46	52
23	8	11	14	20	36	40	49	51
24	2	12	15	31	34	42	48	60
25	4	16	17	36	38	39	53	61
26	3	9	14	18	30	31	58	47
27	5	27	28	32	35	39	50	55
28	2	18	23	29	33	38	46	61
29	13	17	24	34	41	42	48	54
30	3	11	16	19	22	25	43	60
31	8	12	20	23	24	37	43	62

Этап 2. «Магнетизм. Электромагнитная индукция. Колебания»

Номер вариан та	Номера задач							
1	64	65	80	84	98	105	115	121
2	66	81	86	87	100	111	117	124
3	70	88	89	91	94	96	123	125
4	72	77	85	90	97	107	113	120
5	63	74	75	82	93	102	116	118
6	67	71	79	92	99	108	114	119
7	68	73	76	78	104	109	112	122
8	66	82	85	90	98	111	113	121
9	64	70	80	86	106	109	114	119
10	68	73	88	92	100	107	115	123
11	65	81	84	87	96	101	116	120
12	69	71	79	91	95	97	124	125
13	67	74	75	78	102	105	117	118
14	69	76	77	89	93	94	112	122
15	72	79	83	92	104	108	113	118
16	65	71	80	84	99	110	112	124
17	67	81	85	90	95	103	115	119
18	69	73	76	78	103	105	116	118
19	63	77	86	87	101	107	112	123
20	66	82	83	91	106	108	116	120
21	70	74	75	88	93	94	114	124
22	64	68	78	84	97	110	119	121
23	72	81	90	92	96	102	117	122
24	63	80	85	89	104	110	119	125
25	65	83	88	91	106	109	115	120
26	69	71	82	86	100	110	112	121
27	67	73	75	79	98	108	116	123
28	66	74	77	92	95	99	112	124
29	68	79	84	87	101	111	117	118
30	70	76	81	89	98	109	113	119
31	93	73	86	88	103	110	116	124

Задачи

1. Две концентрические равномерно заряженные сферы с поверхностными плотностями зарядов $\sigma_1 = 3,0$ мкКл/м² и $\sigma_2 = 9,0$ мкКл/м² находятся в вакууме. Радиусы сфер $R_1 = 1,0$ м и $R_2 = 2,0$ м, соответственно. Найти энергию W электрического поля, заключенного между сферами.

Ответ: $W = 3,2$ Дж.

2. Полуокружность радиуса $R = 2,0$ м заряжена равномерно с линейной плотностью заряда $\tau = 10$ нКл/м. Определить потенциал φ электрического поля, созданного этим зарядом в центре полуокружности.

Ответ: $\varphi = 0,28$ кВ.

3. Тонкий стержень длиной $l = 15$ см несет равномерно распределенный заряд $q = 9,0$ мкКл. Определить потенциал φ электрического поля в точке, лежащей на продолжении оси стержня на расстоянии $a = 50$ см от ближайшего его конца.

Ответ: $\varphi = 0,14$ МВ.

4. Положительный заряд $Q = 5$ нКл расположен в центре равностороннего треугольника. Какие одинаковые заряды q следует разместить в вершинах этого треугольника, чтобы результирующая сила, действующая на каждый заряд, была равна нулю?

Ответ: $q = - 8,7$ нКл.

5. Прямая бесконечная нить равномерно заряжена с линейной плотностью $\tau = 3,0$ мкКл/м. Найти разность потенциалов $\Delta\varphi$ между точками 1 и 2, если точка 2 находится в $\eta = 5,0$ раз дальше от нити, чем точка 1.

Ответ: $\Delta\varphi = 87$ кВ.

6. Четыре одинаковых положительных заряда $q = 1,0$ мкКл находятся в вершинах прямоугольника со сторонами $a = 20$ см и $b = 10$ см. Найти энергию W взаимодействия этой системы зарядов.

Ответ: $W = 0,35$ Дж.

7. Провод, изображенный на рис.6 равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau = 0,10$ нКл/м. Длина прямого отрезка $a = 40$ см, радиус полукольца $r = 10$ см. Какую работу A совершат электрические силы, если точечный заряд $q = 5,0$ нКл из центра O полукольца удалить на бесконечность?

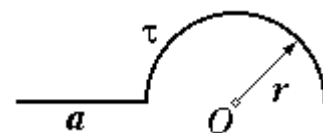


Рис. 6. К задаче 7.

Ответ: $A = 21$ нДж.

8. Заряды q , q и $-2q$, где $q = 1,0$ нКл, находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 10$ см (рис. 7). Какую работу A совершат электрические силы при перемещении заряда $-2q$ из точки B в точку C ?

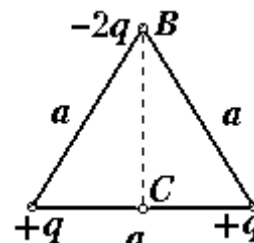


Рис. 7. К задаче 8.

Ответ: $A = 0,36$ мкДж.

9. Принимая протон p и электрон e^- , из которых состоит атом водорода, за точечные заряды, находящиеся на расстоянии $r = 50$ пм (рис. 8), найдите значения напряженности E_A и E_B электрического поля в точках A и B , когда частицы находятся в положении, изображенном на рис. 8.

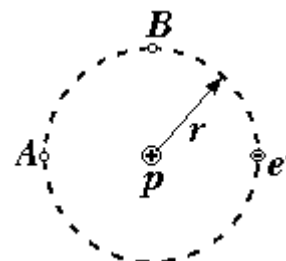


Рис. 8. К задаче 9.

Ответ: $E_A = 4,3 \cdot 10^{11}$ В/м, $E_B = 4,2 \cdot 10^{11}$ В/м.

10. Полусфера равномерно заряжена с поверхностной плотностью $\sigma = 10$ нКл/м². Определить величину напряженности E поля в центре полусферы.

Ответ: $E = 0,28$ кВ/м.

11. Одинаковые заряды $Q = 2,0$ нКл расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд q необходимо поместить в центр треугольника, чтобы результирующая сила, действующая на каждый заряд, стала нулевой?

Ответ: $q = -1,16$ нКл.

12. Определите заряд Q помещенного в глицерин ($\rho = 1,26$ г/см³) свинцового шарика ($\rho = 11,3$ г/см³) диаметром $d = 5,0$ мм, если в однородном электрическом поле шарик оказался взвешенным в глицерине. Электрическое поле направлено вертикально вверх, его напряженность $E = 4,0$ кВ/см.

Ответ: $Q = 16$ нКл.

13. Одинаковые заряды $Q = 2,0$ нКл расположены в вершинах квадрата со стороной $a = 5,0$ см. Определите напряженность E электростатического поля в середине одной из сторон квадрата.

Ответ: $E = 10$ кВ/м.

14. Равномерно заряженное кольцо с линейной плотностью заряда $\tau = 14$ нКл/м имеет радиус $r = 5,0$ см. Определить напряженность E электрического поля на оси кольца в точке, удаленной на расстояние $a = 10$ см от его центра.

Ответ: $E = 2,8$ кВ/м.

15. Равномерно заряженный фарфоровый шар с объемной плотностью заряда $\rho = 15 \text{ нКл/м}^3$ имеет радиус $R = 10 \text{ см}$. Определить напряженность E электрического поля: а) на расстоянии $r_1 = 5,0 \text{ см}$ от центра шара; б) на поверхности шара; в) на расстоянии $r_2 = 15 \text{ см}$ от центра шара. Построить график зависимости $E(r)$. Диэлектрическая проницаемость фарфора $\varepsilon = 5,0$.

Ответ: а) $E(r_1) = 5,6 \text{ В/м}$;

б) $E(R) = 11 \text{ В/м}$ (для $r \leq R$); $E(R) = 56 \text{ В/м}$ (для $r \geq R$);

в) $E(r_2) = 25 \text{ В/м}$.

16. Равномерно заряженная прямая бесконечная нить с линейной плотностью $\tau = 1,0 \text{ нКл/см}$ создает электрическое поле. Какую скорость v приобретет электрон, приблизившись под действием этого поля к нити с расстояния $r_1 = 1,5 \text{ см}$ до $r_2 = 1 \text{ см}$?

Ответ: $v = 1,6 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

17. В вершинах квадрата со стороной $a = 10 \text{ см}$ расположены одинаковые заряды $Q = 100 \text{ нКл}$. Определить потенциальную энергию W этой системы.

Ответ: $W = 4,9 \text{ мДж}$.

18. Кольцо радиусом $r = 5,0 \text{ см}$ из тонкой проволоки несет равномерно распределенный заряд $Q = 10 \text{ нКл}$. Определить потенциал φ электростатического поля в точке, удаленной на расстояние $a = 10 \text{ см}$ от центра кольца вдоль его оси.

Ответ: $\varphi = 0,81 \text{ кВ}$.

19. Электростатическое поле создано равномерно заряженным шаром радиусом $R = 10 \text{ см}$. Объемная плотность заряда $\rho = 20 \text{ нКл/м}^3$ диэлектрическая проницаемость вещества $\varepsilon = 1,0$. Определить разность потенциалов $\Delta\varphi$ между точками, лежащими на расстоянии $r_1 = 2,0 \text{ см}$ и $r_2 = 8,0 \text{ см}$ от центра шара.

Ответ: $\Delta\varphi = 2,3 \text{ В}$.

20. Электростатическое поле создано равномерно заряженным шаром радиусом $R = 10 \text{ см}$. Объемная плотность заряда $\rho = 20 \text{ нКл/м}^3$ диэлектрическая проницаемость вещества $\varepsilon = 1,0$. Определите разность потенциалов $\Delta\varphi$ между точками, лежащими на расстоянии $r_1 = 8,0 \text{ см}$ и $r_2 = 12,0 \text{ см}$ от центра шара.

Ответ: $\Delta\varphi = 2,6 \text{ В}$.

21. Зазор между пластинами плоского конденсатора полностью заполняют плоская слюдяная пластинка ($\varepsilon_1 = 7,0$) толщиной $d_1 = 1,0 \text{ мм}$ и слой парафина ($\varepsilon_2 = 2,0$) толщиной $d_2 = 1,0 \text{ мм}$. Определить значения напряженности E_1 и E_2 электрического поля в обоих диэлектриках при разности потенциалов между пластинами конденсатора $U = 500 \text{ В}$.

Ответ: $E_1 = 0,18 \text{ МВ/м}$; $E_2 = 0,64 \text{ МВ/м}$.

22. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора составляет $U = 200 \text{ В}$. Расстояние между пластинами $d = 1,0 \text{ см}$. Определить поверхностную плотность σ' связанных зарядов эбонитовой пластинки ($\varepsilon = 3,0$) толщиной $d_1 = 8,0 \text{ мм}$, прилегающей к одной из пластин конденсатора.

Ответ: $\sigma' = 0,25 \text{ мкКл/м}^2$.

23. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора $S = 200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d = 1,5 \text{ мм}$. Конденсатор зарядили от источника напряжением $U_0 = 500 \text{ В}$. Заряженный конденсатор отключили от источника, и пространство между пластинами заполнили парафином ($\varepsilon = 2,0$). Определить значения C_0 и C емкости конденсатора до и после заполнения парафином, а также разность потенциалов U между пластинами после заполнения парафином.

Ответ: $C_1 = 0,12 \text{ нФ}$, $C_2 = 0,24 \text{ нФ}$, $U_2 = 0,25 \text{ кВ}$.

24. Радиус центральной жилы коаксиального кабеля $r_1 = 0,50 \text{ см}$, а внутренний радиус оболочки $r_2 = 1,5 \text{ см}$. Определить напряженность E электрического поля на расстоянии $d = 1,0 \text{ см}$ от оси кабеля, если разность потенциалов между центральной жилой и оболочкой $U = 1,0 \text{ кВ}$.

Ответ: $E = 91 \text{ кВ/м}$.

25. Сферический конденсатор образован тонкими сферами с радиусами $r_1 = 1,0 \text{ см}$ и $r_2 = 3,0 \text{ см}$, между которыми приложена разность потенциалов $U = 1,0 \text{ кВ}$. Определить напряженность E электрического поля на расстоянии $r = 2,0 \text{ см}$ от центра конденсатора.

Ответ: $E = 38 \text{ кВ/м}$.

26. Проводящая сфера емкостью $C = 4,0 \text{ пФ}$ заряжена до потенциала $\varphi = 1,0 \text{ кВ}$. Определите энергию W электрического поля, заключенную в сферическом слое между сферой и концентрической с ней сферической поверхностью, радиус которой в 4 раза больше радиуса заряженной сферы.

Ответ: $W = 1,5 \text{ мкДж}$.

27. Определить энергию W электрического поля, заключенного между двумя металлическими концентрическими сферами с радиусами $r_1 = 20 \text{ см}$ и $r_2 = 50 \text{ см}$, если сферы заряжены одинаковыми зарядами $Q = 100 \text{ нКл}$.

Ответ: $W = 135 \text{ мкДж}$.

28. Определить энергию W электрического поля внутри равномерно заряженного эбонитового шара ($\varepsilon = 2,0$) радиусом $r = 5,0 \text{ см}$ при объемной плотности заряда $\rho = 10 \text{ нКл/м}^3$.

Ответ: $W = 0,16$ пДж.

29. Стеклянная пластинка ($\varepsilon = 7,0$) толщиной $d = 1,5$ см и площадью $S = 200$ см² помещена перпендикулярно силовым линиям однородного электрического поля напряженностью $E = 700$ В/м. Определить поверхностную плотность σ' связанных зарядов на пластинке и энергию W электрического поля внутри пластинки.

Ответ: $\sigma' = 5,3$ нКл/м²; $W = 9,3$ пДж.

30. Между пластинами плоского конденсатора приложена разность потенциалов $U = 100$ В. Определить силу притяжения F пластин друг к другу, если расстояние между ними $d = 0,50$ см, площадь каждой пластины $S = 200$ см² и пространство между ними заполнено парафином ($\varepsilon = 2,0$).

Ответ: $F = 7,1$ мН.

31. Пластины плоского конденсатора притягиваются друг к другу с силой $F = 1,0$ мН, площадь каждой пластины $S = 50$ см², пространство между пластинами заполнено слюдой ($\varepsilon = 7,0$). Определить поверхностную плотность σ' связанных зарядов на слюде.

Ответ: $\sigma' = 4,3$ мкКл/м².

32. Стеклянная пластинка ($\varepsilon = 7,0$) целиком заполняет пространство между обкладками плоского конденсатора. Напряженность электрического поля внутри пластинки $E = 0,10$ МВ/м. Определить давление p , испытываемое стеклянной пластинкой.

Ответ: $p = 0,24$ Н/м².

33. Две бесконечно длинные нити с одинаковой линейной плотностью заряда $\tau = 3,0$ мкКл/м² находятся на расстоянии $a = 2,0$ см. Какую работу A на единицу длины необходимо совершить, чтобы сблизить эти нити до расстояния $b = 1,0$ см?

Ответ: $A = 0,112$ Дж/м.

34. Между вертикально расположенными пластинами плоского конденсатора приложена разность потенциалов $U = 3,0$ кВ. На расстоянии $a = 1,0$ см от отрицательно заряженной пластины находится пылинка массой $m = 2,0 \cdot 10^{-9}$ г, несущая положительный заряд $q = 6,5 \cdot 10^{-17}$ Кл. Через какое время t после начала движения пылинки она достигнет пластины конденсатора? Соппротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: $t = 1,0$ с.

35. К одной из пластин плоского конденсатора прилежит фарфоровая пластинка ($\varepsilon = 6,0$) толщиной $d_1 = 3,0$ мм. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 5,0$ мм, разность потенциалов между ними $U = 150$ В.

Определить напряженности E_1 и E_2 электрического поля в воздухе и фарфоре.

Ответ: $E_1 = 27$ кВ/м; $E_2 = 4,6$ кВ/м.

36. К одной из пластин плоского конденсатора прилегает пластинка бромистого таллия ($\epsilon = 173$) толщиной $d_1 = 9,5$ мм. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 1,0$ см, конденсатор заряжен от источника напряжения $U = 100$ В. После отключения конденсатора от источника напряжения пластинку вынимают. Во сколько раз n увеличивается при этом разность потенциалов между пластинами конденсатора?

Ответ: $n = 18$.

37. Цилиндрический конденсатор заряжен до разности потенциалов $U = 2,3$ кВ. Радиусы цилиндров $r_1 = 3,5$ см и $r_2 = 1,5$ см. Какую скорость v приобретет электрон, перемещаясь под действием электрического поля с расстояния $l_1 = 2,0$ см до расстояния $l_2 = 2,5$ см от оси цилиндра?

Ответ: $v = 1,2 \cdot 10^7$ м/с.

38. Сферический конденсатор имеет радиусы внутренней и внешней оболочек $R_1 = 1,0$ см и $R_2 = 4,0$ см, соответственно. Между оболочками приложена разность потенциалов $U = 3,0$ кВ. Найти напряженность E электрического поля на расстоянии $r = 3,0$ см от центра оболочек.

Ответ: $E = 44$ кВ/м.

39. Заряд $q = 100$ нКл равномерно распределен по сферической оболочке радиуса $R_1 = 20$ см. Какую работу A совершат электрические силы, если расширят эту оболочку до радиуса $R_2 = 50$ см?

Ответ: $A = 135$ нДж.

40. Определить емкость C_∞ между клеммами A и B бесконечной цепи конденсаторов, изображенной на рис. 9. Емкости всех конденсаторов, включенные в цепь, одинаковы и равны C .

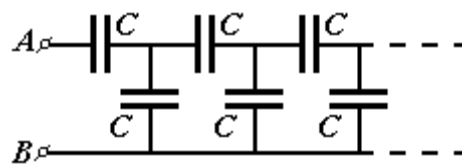


Рис. 9. К задаче 40.

Ответ: $C_\infty = 0,62 \cdot C$

41. Определить емкость C_{AB} между клеммами A и B системы конденсаторов, изображенной на рис. 10. Ёмкость каждого из конденсаторов равна C .

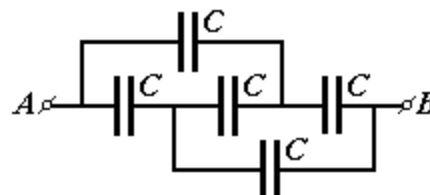


Рис. 10. К задаче 41.

Ответ: $C_{AB} = C$.

42. Вычислить разность потенциалов $\Delta\phi$ между центром и краем диска радиуса $R = 10$ см, вращающегося с частотой $\nu = 600$ мин⁻¹.

Ответ: $\Delta\varphi = 0,112$ нВ.

43. Найти сопротивления участка R_{AB} цепи, изображенной на рис. 11, если $r = 10$ Ом.

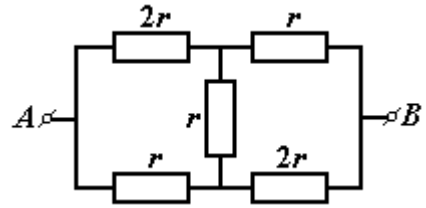


Рис. 11. К задаче 43.

Ответ: $R_{AB} = 14$ Ом.

44. Определить сопротивление R_{AB} цепи, содержащей бесконечное число резисторов с сопротивлением $r = 20$ Ом (рис. 12).

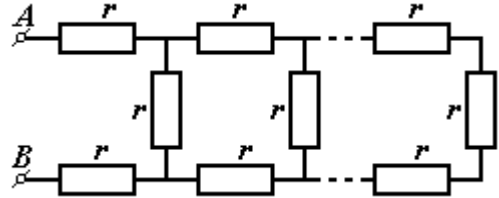


Рис. 12. К задаче 44.

Ответ: $R_{AB} = 54,6$ Ом.

45. Найти сопротивление R_{AB} проволочного каркаса куба (рис.13) между вершинами A и B , если все ребра имеют одинаковое сопротивление $r = 6$ Ом.

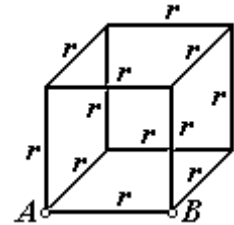


Рис. 13. К задаче 45.

Ответ: $R_{AB} = 3,5$ Ом.

46. Найти сопротивление R_{AB} проволочного каркаса куба (рис. 14) между вершинами A и B , если все ребра имеют одинаковое сопротивление $r = 6$ Ом.

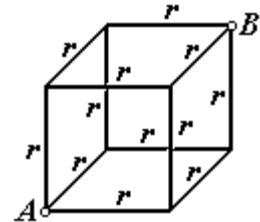


Рис. 14. К задаче 46.

Ответ: $R_{AB} = 5$ Ом.

47. Круглый прямой усеченный конус (рис. 15) с диаметрами оснований $D_1 = 10$ мм, $D_2 = 15$ мм и высотой $H = 30$ мм выполнен из железа. Определить сопротивление R конуса между основаниями. Удельное сопротивление железа $\rho = 1,2 \cdot 10^{-7}$ Ом·м.



Рис. 15. К задаче 47.

Ответ: $R = 96$ мкОм.

48. Найти силу тока I_3 , идущего через сопротивление R_3 в электрической цепи, изображенной на рис. 16, если $R_1 = 50$ Ом, $R_2 =$

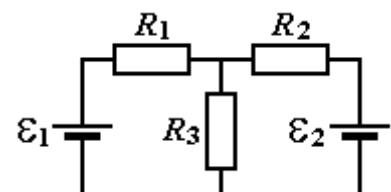


Рис. 16. К задаче 48.

80 Ом, $R_3 = 100$ Ом, $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В, $\mathcal{E}_2 = 1,0$ В. Внутреннее сопротивление источников пренебрежимо мало.

Ответ: $I_3 = 10$ мА.

49. Определить ЭДС \mathcal{E} источника тока в электрической цепи, изображенной на рис. 17 если $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 8$ Ом, $R_5 = 10$ Ом и в

сопротивлении R_4 сила тока $I_4 = 2$ мА. Внутреннее сопротивление источника пренебрежимо мало.

Ответ: $\mathcal{E} = 48$ мВ.

50. Найти внутренние сопротивления r_1, r_2, r_3 трех параллельно соединенных источников тока (рис. 18) с ЭДС $\mathcal{E}_1 =$

1,6 В, $\mathcal{E}_2 = 1,4$ В и $\mathcal{E}_3 = 1,1$ В, если при

сопротивлении нагрузки $R = 10$ Ом через них идут токи $I_1 = 0,8$ А, $I_2 = 0,6$ А, $I_3 = 0,2$ А, соответственно.

Ответ: $r_1 = 0,5$ Ом; $r_2 = 0,33$ Ом; $r_3 = 0,5$ Ом.

51. Определить среднюю скорость v упорядоченного движения электронов в медном проводнике сечением $S = 0,8$ мм² при силе тока $I = 80$ мА. Плотность меди $\rho = 8,9$ г/см³, ее молярная масса $\mu = 63,5$ г/моль. На каждый атом меди приходится один свободный электрон.

Ответ: $v = 7,4$ мкм/с.

52. По прямому проводнику длиной $l = 500$ м течет ток $I = 20$ А. Определить суммарный импульс p электронов в проводнике.

Ответ: $p = 5,69 \cdot 10^{-8}$ кг·м/с.

53. Найти сопротивление R между точками A и B цепи, изображенной на рис. 19, если $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = R_4 = R_6 = 2$ Ом, $R_5 = 4$ Ом.

Ответ: $R = 1,2$ Ом.

54. В сети с постоянным напряжением U вольтметр показывает напряжение $U_1 = 198$ В, если его включить последовательно с сопротивлением R_1 , и напряжение $U_2 = 180$ В при включении его последовательно с сопротивлением $R_2 = 200$ Ом. Сопротивление вольтметра $r = 900$ Ом. Определить сопротивление R_1 и напряжение в сети.

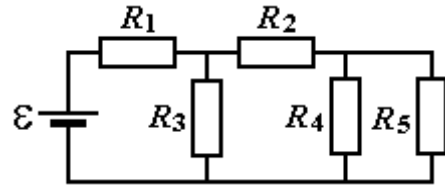


Рис. 17. К задаче 49.

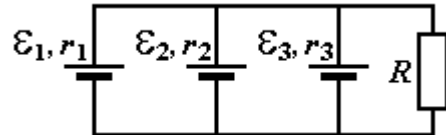


Рис. 18. К задаче 50.

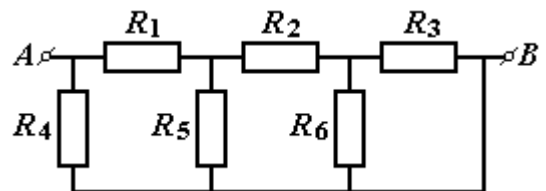


Рис. 19. К задаче 53.

Ответ: $R_1 = 100 \text{ Ом}$; $U = 220 \text{ В}$.

55. В участке цепи, изображенном на рис. 20, амперметр A показывает ток $I = 1,5 \text{ А}$, сопротивления $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$ и через сопротивление R_3 течет ток $I_3 = 0,5 \text{ А}$. Определить сопротивление R_3 , а также токи I_1 и I_2 , протекающие через сопротивления R_1 и R_2 , соответственно.

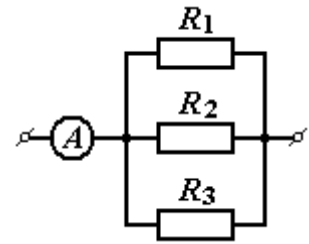


Рис. 20. К задаче 55.

Ответ: $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $I_1 = 0,75 \text{ А}$; $I_2 = 0,25 \text{ А}$.

56. При сопротивлении нагрузки $R_1 = 50 \text{ Ом}$ через источник ЭДС течет ток $I_1 = 0,2 \text{ А}$, при сопротивлении нагрузки $R_2 = 110 \text{ Ом}$ — ток $I_2 = 0,1 \text{ А}$. Чему равен ток $I_{кз}$ короткого замыкания источника?

Ответ: $I_{кз} = 1,2 \text{ А}$.

57. В нагрузке, подключаемой к источнику ЭДС, при силе тока $I_1 = 4 \text{ А}$ выделяется мощность $w_1 = 10 \text{ Вт}$, при силе тока $I_2 = 2 \text{ А}$ выделяется мощность $w_2 = 8 \text{ Вт}$. Определить ЭДС ε и внутреннее сопротивление r источника.

Ответ: $\varepsilon = 5,5 \text{ В}$; $r = 0,75 \text{ Ом}$.

58. В схеме, изображенной на рис. 21, конденсатор емкостью $C = 50 \text{ нФ}$ имеет заряд $Q = 2,2 \text{ мкКл}$.

Определить ЭДС \mathcal{E} источника, если $R_1 = R_2 = 50 \text{ Ом}$, $R_3 = 100 \text{ Ом}$ и внутреннее сопротивление источника пренебрежимо мало?

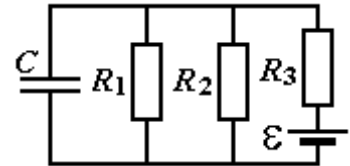


Рис. 21. К задаче 58.

Ответ: $\mathcal{E} = 220 \text{ В}$.

59. В схеме, изображенной на рис. 22, $\varepsilon_1 = 40 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 10 \text{ В}$, $\varepsilon_3 = 20 \text{ В}$, $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$, внутренними сопротивлениями источников ЭДС можно пренебречь. Определить токи I_1 и I_{ε_2} , протекающие через сопротивление R_1 и источник ε_2 , соответственно.

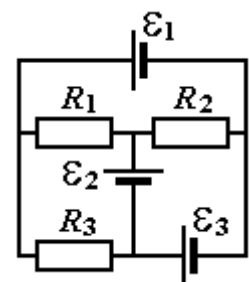


Рис. 22. К задаче 59.

Ответ: $I_1 = 1 \text{ А}$; $I_{\varepsilon_2} = 2 \text{ А}$.

60. Медный провод массы $m = 3,42 \text{ кг}$ имеет сопротивление $R = 10,0 \text{ Ом}$. Определить длину l и диаметр d провода. Плотность меди $\rho_m = 8,9 \text{ г/см}^3$, удельное сопротивление меди $\rho = 16 \text{ нОм}\cdot\text{м}$.

Ответ: $l = 0,49 \text{ км}$, $d = 1,0 \text{ мм}$.

61. Мощность, выделяющаяся в нагрузке, одинакова при сопротивлениях нагрузки $R_1 = 5 \text{ Ом}$ и $R_2 = 0,2 \text{ Ом}$. Определить внутреннее сопротивление r и КПД η источника тока.

Ответ: $r = 1 \text{ Ом}$, $\eta_1 = 83\%$, $\eta_2 = 17\%$.

62. Громоотвод заканчивается заземлением в виде шара, закопанного на несколько метров в землю. Вычислить сопротивление R такого заземления, если удельное сопротивление земли $\rho = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и диаметр шара $d = 12 \text{ см}$.

Ответ: $R = 26,5 \text{ Ом}$.

63. Тонкий провод (с изоляцией) образует плоскую спираль из $N = 100$ плотно прилегающих витков, по которым течет ток $I = 8 \text{ мА}$. Радиус внутреннего витка $a = 50 \text{ мм}$, радиус внешнего витка $b = 100 \text{ мм}$. Определить индукцию B магнитного поля центре спирали.

Ответ: $B = 7 \text{ мкТл}$.

64. Равномерно заряженный тонкий диск радиуса $R = 50 \text{ мм}$ вращается вокруг своей оси с угловой скоростью $\omega = 70 \text{ рад/с}$. Поверхностная плотность заряда $\sigma = 10 \text{ мкКл/м}^2$. Определить величину магнитной индукции B в центре диска и величину магнитного момента p_m диска.

Ответ: $B = 22 \text{ пТл}$; $p_m = 3,4 \cdot 10^{-9} \text{ А}\cdot\text{м}^2$.

65. Сечение системы трех прямых параллельных бесконечных проводов с токами $I_1 = I_2 = I$ и $I_3 = 2I$ изображено на рис. 23. Расстояние между соседними проводами $l = 5 \text{ см}$. С какой стороны и на каком расстоянии x от тока I_1 на прямой aa' напряженность магнитного поля равна нулю?

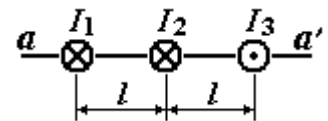


Рис. 23. К задаче 65.

Ответ: справа; $x = 3,3 \text{ см}$.

66. Два бесконечных прямых параллельных проводника разделены расстоянием $d = 10 \text{ см}$. По проводникам в противоположных направлениях текут токи $I_1 = I_2 = 5 \text{ А}$. Найти величину напряженности H магнитного поля в точке, равноудаленной от обоих проводников на расстояние $a = 10 \text{ см}$?

Ответ: $H = 8 \text{ А/м}$.

67. Определить напряженность H магнитного поля на оси кругового контура радиусом $R = 4 \text{ см}$ на расстоянии $a = 3 \text{ см}$ от его плоскости при токе в контуре $I = 2 \text{ А}$.

Ответ: $H = 12,7 \text{ А/м}$.

68. В параллельных плоскостях на расстоянии $d = 5 \text{ см}$ друг от друга расположены два соосных круговых витка радиусом $R = 4 \text{ см}$ каждый. По виткам в одном направлении текут токи $I_1 = I_2 = 4 \text{ А}$. Найти напряженность H магнитного поля в центре одного из витков.

Ответ: $H = 62,3 \text{ А/м}$.

69. В параллельных плоскостях на расстоянии $d = 5$ см друг от друга расположены два соосных круговых витка радиусом $R = 4$ см каждый. По виткам в противоположных направлениях текут токи $I_1 = I_2 = 4$ А. Найти напряженность H магнитного поля в центре одного из витков.

Ответ: $H = 37,7$ А/м

70. По квадратной рамке, сделанной из одного витка проволоки длиной $l = 1$ м, течет ток $I = 10$ А. Рассчитать напряженность H магнитного поля в центре рамки.

Ответ: $H = 36$ А/м.

71. В центре кругового проволочного витка создается магнитное поле напряженностью H при разности потенциалов $U_1 = 20$ В на концах витка. Какую надо приложить разность потенциалов U_2 , чтобы получить такую же напряженность магнитного поля в центре витка, сделанного из той же проволоки, но вдвое большего радиуса?

Ответ: $U_2 = 80$ В.

72. Бесконечно провод образует круговой виток, касательный к проводу (рис. 24). По проводу идет ток $I = 5,0$ А. Найти радиус R витка, при котором напряженность магнитного поля в центре витка $H = 41$ А/м.

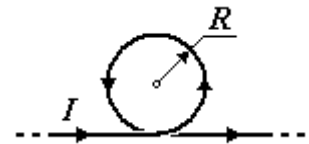


Рис. 24. К задаче 72.

Ответ: $R = 8,0$ см.

73. Соленоид длиной $L = 20$ см и диаметром $D = 5,0$ см изготовлен из витков медной проволоки ($\rho = 16$ нОм·м) диаметром $d = 0,50$ мм, уложенных вплотную друг к другу в один слой. Какую разность потенциалов U необходимо приложить к концам соленоида, чтобы получить напряженность магнитного поля $H = 1,0$ кА/м в его центре? Поле соленоида вблизи центра считать однородным.

Ответ: $U = 2,6$ В.

74. В соленоиде малого диаметра длиной $L = 30$ см течет ток $I = 5,0$ А. При каком числе витков N объемная плотность энергии магнитного поля в соленоиде равна $w = 1,75$ Дж/м³?

Ответ: $N = 100$.

75. Квадратный и круговой контуры имеют одинаковый периметр $l = 20$ см, и по ним идет одинаковый ток $I = 2,0$ А. Контур помещены в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,10$ Тл, и плоскость каждого контура составляет угол $\alpha = 45^\circ$ с направлением поля. Определить вращательные моменты $M_{\text{кв}}$ и $M_{\text{кр}}$, действующие на каждый из контуров.

Ответ: $M_{\text{кв}} = 3,5 \cdot 10^{-4}$ Н·м; $M_{\text{кр}} = 4,5 \cdot 10^{-4}$ Н·м.

76. Плоскость однородного проводящего диска массой $m = 0,35$ кг перпендикулярна направлению магнитного поля с индукцией $B = 24$ мТл. Между центром диска и его краем с помощью скользящих контактов подается постоянное напряжение. Диск начинает вращаться, и через промежуток времени $t = 30$ с достигает частоты вращения $\nu = 5$ с⁻¹. Определить ток I , проходящий через диск.

Ответ: $I = 15$ А.

77. Параллельно прямому длинному проводу на расстоянии $a = 4,0$ мм от него движется электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 300$ В. Какая сила F действует на электрон, если по проводнику течет ток $I = 5,0$ А?

Ответ: $F = 4,1 \cdot 10^{-16}$ Н.

78. Найти кинетическую энергию W (в электрон-вольтах) протона, движущегося по дуге окружности радиусом $R = 60$ см в магнитном поле с индукцией $B = 1,0$ Тл.

Ответ: $W = 18$ МэВ.

79. В однородное магнитное поле влетают протон и электрон, ускоренные одинаковой разностью потенциалов. Найти отношение радиусов кривизны траектории движения протона (R_1) и электрона (R_2).

Ответ: $R_1/R_2 = 42,9$.

80. В магнитном поле с индукцией $B = 0,3$ Тл по окружности радиуса $R = 4$ см движется заряженная частица со скоростью $v = 1,0 \cdot 10^6$ м/с. Найти заряд q частицы, если известно, что ее энергия $W = 12$ кэВ.

Ответ: $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл.

81. Силовые линии однородных электрического и магнитного полей с напряженностями $E = 1,0$ кВ/м и $H = 8,0$ кА/м направлены в одну сторону. Определить ускорение a электрона в тот момент, когда он движется со скоростью $v = 1,0 \cdot 10^5$ м/с перпендикулярно силовым линиям обоих полей.

Ответ: $a = 2,5 \cdot 10^{14}$ м/с².

82. Ускоренный разностью потенциалов $U = 6,0$ кВ, электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 13$ мТл под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению силовых линий и начинает двигаться по винтовой линии. Найти радиус R и шаг h винтовой линии.

Ответ: $R = 1,0$ см; $h = 11$ см.

83. На тонком кольце массы $m = 10$ г и радиуса $R = 8,0$ см равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 10$ нКл/м. Кольцо вращается с частотой $\nu = 15$ с⁻¹ относительно оси, проходящей через центр кольца перпендикулярно его плоскости. Определить: а) магнитный момент p_m

кругового тока, создаваемого кольцом; б) отношение p_m/L магнитного момента к моменту импульса кольца.

$$\text{Ответ: } p_m = 1,5 \text{ нА}\cdot\text{м}^2; p_m/L = 0,25 \text{ мкКл/кг.}$$

84. Под горизонтально расположенным прямым проводником с током $I_1 = 10 \text{ А}$ находится параллельный ему прямой алюминиевый провод с током $I_2 = 1,5 \text{ А}$. При какой площади S поперечного сечения алюминиевого провода он удерживается незакрепленным? Плотность алюминия $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$.

$$\text{Ответ: } S = 7,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2.$$

85. Два параллельных бесконечных прямых проводника с одинаковыми токами, текущими в одном направлении, расположены на расстоянии a . Чтобы их раздвинуть до расстояния $2a$, на каждый сантиметр длины проводников затрачивается энергия $W = 138 \text{ нДж}$. Определить силу тока I в проводниках.

$$\text{Ответ: } I = 10 \text{ А.}$$

86. Провод в форме квадрата со стороной $a = 0,50 \text{ м}$ и током $I_1 = 1,0 \text{ А}$ расположен в одной плоскости с бесконечным прямым проводником с током $I = 5,0 \text{ А}$. Две стороны квадрата параллельны прямому проводнику, и ближайшая к нему сторона находится на расстоянии $b = 10 \text{ см}$ от проводника. Определить силу F , действующую на контур.

$$\text{Ответ: } F = 4,2 \text{ мкН.}$$

87. Если предположить, что электрон в атоме водорода движется по круговой орбите, то радиус этой орбиты $R = 52,8 \text{ пм}$. Найти магнитную индукцию B , создаваемую электроном в центре его круговой орбиты.

$$\text{Ответ: } B = 12,6 \cdot 10^{-14} \text{ Тл.}$$

88. Электрон со скоростью $v = 1,0 \text{ Мм/с}$ влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 60^\circ$ к направлению силовых линий и начинает двигаться по винтовой линии. Напряженность магнитного поля $H = 1,5 \text{ кА/м}$. Определить: а) шаг h винтовой линии; б) радиус R её витка.

$$\text{Ответ: } h = 9,5 \text{ мм; } R = 2,6 \text{ мм.}$$

89. Напряженность магнитного поля в соленоиде $H = 1,5 \text{ кА/м}$. Длина соленоида $l = 0,40 \text{ м}$, диаметр $D = 5,0 \text{ см}$. Определить разность потенциалов U на концах обмотки соленоида, если для нее используется алюминиевый провод ($\rho = 26 \text{ нОм}\cdot\text{м}$) с диаметром $d = 1,0 \text{ мм}$.

$$\text{Ответ: } U = 3,1 \text{ В.}$$

90. Квадратная рамка со стороной $a = 10 \text{ см}$ расположена в одной плоскости с прямым бесконечным проводником с током $I = 20 \text{ А}$. Две стороны рамки параллельны прямому проводнику, и ближайшая к нему

сторона находится на расстоянии $b = 5,0$ см. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий рамку.

Ответ: $\Phi = 0,44$ мкВб.

91. Квадратный контур со стороной $l = 20$ см и током $I = 10$ А сориентирован в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0,20$ Тл так, что его магнитный момент совпадает с направлением поля. Какую работу A необходимо совершить, чтобы повернуть контур на угол $\alpha = 180^\circ$ вокруг оси, перпендикулярной направлению магнитного поля? Ток в рамке поддерживается постоянным.

Ответ: $A = 0,16$ Дж.

92. Плоскость кругового контура радиусом $R = 5,0$ см и током $I = 1,0$ А перпендикулярна направлению однородного магнитного поля напряженностью $H = 10$ кА/м. Какую работу A необходимо совершить, чтобы повернуть контур на 90° вокруг оси, лежащей в плоскости контура?

Ответ: $A = 99$ мкДж.

93. Квадратная рамка со стороной $a = 50$ см помещена в однородное магнитное поле так, что нормаль к рамке составляет угол $\alpha = 45^\circ$ с направлением силовых линий. Магнитное поле меняется по закону $B = B_0 \cos \omega t$, где $B_0 = 0,10$ Тл, $\omega = 4$ с⁻¹. Определить ЭДС \mathcal{E} индукции, возникающей в рамке в момент времени $t = 5,0$ с.

Ответ: $\mathcal{E} = 64$ мВ.

94. Выполненное из алюминиевого провода ($\rho = 26$ нОм·м) кольцо расположено в переменном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр кольца $D = 30$ см, диаметр провода $D_1 = 2,0$ мм. Определить скорость $\frac{dB}{dt}$ изменения магнитной индукции, если по кольцу течет ток $I = 1,0$ А.

Ответ: $\frac{dB}{dt} = 0,11$ Тл/с.

95. Плоский замкнутый контур площадью $S = 100$ см² и сопротивлением $R = 5,0$ Ом расположен в однородном магнитном поле напряженностью $H = 10$ кА/м перпендикулярно силовым линиям. При повороте контура на угол α вокруг оси, лежащей в плоскости витка, отсчет баллистического гальванометра, подключенного к контуру, составил $Q = 12,5$ мкКл. Определить угол поворота α .

Ответ: $\alpha = 60^\circ$.

96. На катушку длиной $l = 0,50$ м, диаметром $D = 5,0$ см и числом витков $N = 1500$ плотно надето кольцо из медной проволоки ($\rho = 16$ нОм·м)

сечением $S = 3,0 \text{ мм}^2$. Ток в катушке равномерно возрастает со скоростью $\frac{dI}{dt} = 0,20 \text{ А/с}$. Определить силу тока I_k в кольце.

Ответ: $I_k = 1,8 \text{ мА}$.

97. В магнитное поле, индукция которого равномерно изменяется со скоростью $\frac{dB}{dt} = 1,0 \text{ мТл/с}$, помещена катушка диаметром $D = 2,0 \text{ см}$.

Катушка имеет однослойную обмотку плотно прилегающих друг к другу $N = 500$ витков алюминиевого провода ($\rho = 26 \text{ нОм}\cdot\text{м}$) сечением $S = 1,0 \text{ мм}^2$, и её ось параллельна линиям индукции. Концы катушки замкнуты накоротко. Определить тепловую мощность w , выделяющуюся в катушке.

Ответ: $w = 30 \text{ нВт}$.

98. Проводящий стержень длиной $l = 0,50 \text{ м}$ равномерно вращается в горизонтальной плоскости в однородном магнитном поле. Силовые линии поля направлены вертикально, магнитная индукция $B = 20 \text{ мТл}$. Ось вращения параллельна силовым линиям и проходит через конец стержня. При какой частоте вращения ν на концах стержня возникнет разность потенциалов $U = 0,10 \text{ В}$?

Ответ: $\nu = 6,4 \text{ с}^{-1}$.

99. Катушка длиной $l = 10 \text{ см}$ и площадью поперечного сечения $S = 3,0 \text{ см}^2$ содержит $N = 1000$ витков. Определить силу тока I в катушке через время $t = 10 \text{ мс}$ после подключения к ней источника ЭДС $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$, если электрическое сопротивление катушки пренебрежимо мало.

Ответ: $I = 32 \text{ А}$.

100. Сопротивление $R_1 = 15 \text{ Ом}$ и катушка индуктивностью $L = 1,5 \text{ Гн}$, обладающая сопротивлением $R_2 = 150 \text{ Ом}$, соединены параллельно и подключены к источнику ЭДС $\mathcal{E} = 60 \text{ В}$ с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением. Определить напряжение U на зажимах катушки через время $t = 0,10 \text{ с}$ после отключения источника ЭДС.

Ответ: $U = 0,10 \text{ мВ}$.

101. Катушка длиной $l = 40 \text{ см}$ с поперечным сечением $S = 50 \text{ см}^2$ состоит из одного ряда плотно прилегающих друг к другу витков провода диаметром $d = 0,50 \text{ мм}$. Напряжение на зажимах катушки $U = 10 \text{ В}$. Определить силу тока I в катушке, если за время $t = 0,50 \text{ мс}$ в проводе выделяется количество теплоты, равное энергии магнитного поля катушки. Поле внутри катушки считать однородным.

Ответ: $I = 1,0 \text{ А}$.

102. Плотность витков в катушке $n = 20 \text{ см}^{-1}$. Определить объемную плотность энергии w магнитного поля в катушке при токе $I = 3,0 \text{ А}$.

Ответ: $w = 23 \text{ Дж/м}^3$.

103. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 20 \text{ мТл}$ поместили сверхпроводящее кольцо радиуса $r = 50 \text{ см}$ с индуктивностью $L = 1,5 \text{ Гн}$. Плоскость кольца параллельна вектору магнитной индукции, и начальный ток в кольце отсутствует. Кольцо повернули на угол $\alpha = 90^\circ$ так, что его плоскость стала перпендикулярной силовым линиям. Определить ток I в кольце после поворота и совершенную при повороте работу A .

Ответ: $I = 8 \text{ мкА}$; $A = 82 \text{ мкДж}$.

104. По длинному сверхпроводящему соленоиду течет ток $I_0 = 1,9 \text{ А}$. Каким станет ток I в соленоиде, если соленоид растянуть на 5%. Полный магнитный поток, пронизывающий соленоид, остаётся неизменным.

Ответ: $I = 2 \text{ А}$.

105. Состоящая из $N = 200$ витков катушка равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1 \text{ Тл}$. Ось вращения перпендикулярна к оси катушки и к направлению линий магнитной индукции. Найти максимальную ЭДС индукции \mathcal{E}_m в катушке, если ее период обращения $T = 0,20 \text{ с}$ и площадь поперечного сечения $S = 4,0 \text{ см}^2$.

Ответ: $\mathcal{E}_m = 0,25 \text{ В}$.

106. Соленоид из медного провода ($\rho = 16 \text{ нОм}\cdot\text{м}$) имеет длину $l = 25 \text{ см}$ и сопротивление $R = 0,20 \text{ Ом}$. Площадь поперечного сечения провода $S = 1,0 \text{ мм}^2$. Определить индуктивность L соленоида.

Ответ: $L = 63 \text{ мГн}$.

107. Квадратная рамка, изготовленная из медного провода ($\rho = 16 \text{ нОм}\cdot\text{м}$) с площадью поперечного сечения $S_{\text{пр}} = 1,0 \text{ мм}^2$, помещена в магнитное поле с индукцией $B = 0,10 \text{ Тл}$ так, что ее плоскость перпендикулярна линиям магнитной индукции. Какой заряд q пройдет по рамке при исчезновении поля, если площадь рамки $S = 25 \text{ см}^2$?

Ответ: $q = 78 \text{ мКл}$.

108. Источник тока с ЭДС $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением соединен последовательно с дросселем и вольтметром. Индуктивность дросселя $L = 2,0 \text{ Гн}$. Сопротивление вольтметра $R = 11 \text{ Ом}$. Через какое время t после подключения источника тока вольтметр покажет напряжение $U = 6,0 \text{ В}$?

Ответ: $t = 0,13 \text{ с}$.

109. Катушка из медного провода ($\rho = 16 \text{ нОм}\cdot\text{м}$) имеет длину $l = 20 \text{ см}$, диаметр $D = 2,0 \text{ см}$ и содержит $N = 200$ витков. Площадь поперечного сечения провода $S = 1,0 \text{ мм}^2$. Катушка подключена к источнику ЭДС. Через какое время t после отключения источника ЭДС и замыкания катушки накоротко ток в ее цепи уменьшится вдвое?

Ответ: $t = 0,27 \text{ мс}$.

110. Катушка с индуктивностью $L = 0,20 \text{ Гн}$ и сопротивлением $R = 1,6 \text{ Ом}$ подключена к источнику напряжения. Во сколько раз n уменьшится ток в катушке спустя время $t = 50 \text{ мс}$ после отключения источника напряжения и замыкания катушки накоротко?

Ответ: $n = 1,5$.

111. Ток I , идущий через катушку индуктивности $L = 21 \text{ мГн}$, меняется со временем t по закону $I = I_m \sin \omega t$. Максимальное значение тока $I_m = 5 \text{ А}$, его период $T = 20 \text{ мс}$. Найти зависимости от времени ЭДС \mathcal{E} самоиндукции и энергии W магнитного поля катушки.

Ответ: $\mathcal{E} = -33 \cos(100\pi t)$; $W = 0,263 \sin^2(100\pi t)$; при подстановке в эти формулы численного значения времени в секундах получаются значения ЭДС и энергии в вольтах и джоулях, соответственно.

112. Шарик массой $m = 40 \text{ г}$ закреплен на середине горизонтально натянутой струны длиной $l = 1,0 \text{ м}$. Найти период T малых вертикальных колебаний шарика. Натяжение струны считать постоянным и равным $F = 10 \text{ Н}$. Влиянием силы тяжести пренебречь.

Ответ: $T = 0,20 \text{ с}$.

113. Доска с лежащим на ней бруском совершает горизонтальные гармонические колебания с амплитудой $A = 10 \text{ см}$. Определить коэффициент трения μ между доской и бруском, если брусок начинает скользить по доске, когда ее период колебаний становится меньше $T = 1,0 \text{ с}$.

Ответ: $\mu = 0,40$.

114. Центр масс физического маятника установлен над точкой подвеса. Возвращаясь к положению устойчивого равновесия, маятник проходит его с угловой скоростью $\omega = 8,0 \text{ рад/с}$. Найти период T малых колебаний этого маятника.

Ответ: $T = 1,6 \text{ с}$.

115. Механический осциллятор совершает гармонические колебания вдоль оси Ox . Его полная энергия $W = 10 \text{ мкДж}$, максимальная сила $F_m = 0,5 \text{ мН}$,

период колебаний $T = 4$ с, начальная фаза $\varphi = \pi/6$. Написать уравнение колебаний осциллятора.

Ответ: $x = 0.04 \cos(\pi t/2 + \pi/6)$; при подстановке в эту формулу численного значения времени в секундах значение координаты получается в метрах.

116. Лежащее на столе тело массы $M = 4$ кг укреплено на горизонтальной пружине жесткостью $k = 900$ Н/м. Пуля массы $m = 10$ г, летящая вдоль направления оси пружины со скоростью $v = 600$ м/с, попадает в тело и застревает в нем. Пренебрегая массой пружины и силами трения, определить амплитуду A и период T колебаний тела.

Ответ: $A = 10$ см; $T = 0,42$ с.

117. Однородный стержень длиной $L = 35$ см, закрепленный перпендикулярно горизонтальной оси, совершает малые колебания под действием силы тяжести. Определить, при каком расстоянии l от центра масс до оси подвеса частота колебаний максимальна, если силами трения можно пренебречь.

Ответ: $l = 10$ см.

118. Электромагнитный контур состоит из соленоида индуктивностью $L = 0,20$ Гн и плоского конденсатора с площадью пластин $S = 155$ см² и расстоянием между пластинами $d = 1,5$ мм. Определить диэлектрическую проницаемость ε среды, заполняющей пространство между пластинами конденсатора, если контур настроен на длину волны $\lambda = 630$ м.

Ответ: $\varepsilon = 6,1$.

119. Электромагнитный контур состоит из плоского конденсатора и соленоида. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 1,5$ мм, площадь пластин $S = 100$ см². Длина соленоида $l = 5,0$ см, число витков $N = 500$, площадь поперечного сечения $S_1 = 1,5$ см². Определить частоту ω_0 собственных колебаний контура.

Ответ: $\omega_0 = 4,2 \cdot 10^6$ рад/с.

120. При совершении осциллятором двух последовательных колебаний амплитуда уменьшилась на 60%. Определить коэффициент затухания β и частоту ν_0 собственных колебаний осциллятора, если период колебаний $T = 0,50$ с.

Ответ: $\beta = 1,8$ с⁻¹; $\nu_0 = 2,0$ Гц.

121. Электрический осциллятор содержит конденсатор, соленоид с активным сопротивлением и генератор синусоидального напряжения постоянной амплитуды. При циклических частотах $\omega_1 = 400$ рад/с и $\omega_2 =$

600 рад/с установившаяся амплитуда силы тока в цепи одинакова.
Определить резонансную частоту $\omega_{\text{рез}}$ тока.

Ответ: $\omega_{\text{рез}} = 490$ рад/с.

122. Колебательный контур содержит конденсатор емкостью $C = 10$ нФ, соленоид индуктивностью $L = 0,10$ Гн и сопротивление $R = 3,0$ Ом. В контуре поддерживаются незатухающие колебания с амплитудой напряжения на конденсаторе $U_m = 2,0$ В. Определить среднюю мощность w , потребляемую контуром.

Ответ: $w = 0,60$ мВт.

123. Электромагнитный контур содержит конденсатор емкостью $C = 1,2$ нФ и соленоид индуктивностью $L = 6,0$ мкГн. К контуру подводится средняя мощность $w = 0,20$ мВт для поддержания в нем незатухающих колебаний с амплитудой напряжения на конденсаторе $U_m = 2$ В. Определить добротность Q контура, считая затухания достаточно малыми.

Ответ: $Q = 141$.

124. Колебательный контур содержит конденсатор емкостью $C = 1,0$ нФ и соленоид индуктивностью $L = 10$ мкГн с числом витков $N = 50$. Максимальное напряжение на конденсаторе $U_m = 5,0$ В. Определить максимальное значение магнитного потока Φ_m через один виток соленоида.

Ответ: $\Phi_m = 0,10$ мкВб.

125. Груз массой $m = 100$ г падает с высоты $h = 10$ см на чашку весов, подвешенную на пружине жесткостью $k = 600$ Н/м, и прилипает ко дну чашки. В результате падения груза чашка начинает совершать колебания. Определить их амплитуду A . Массы чашки и пружины пренебрежимо малы.

Ответ: $A = 18$ мм.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. Пособие: для вузов. В 5 кн. Кн.4. Волны. Оптика – 4-е изд., перераб.– М.: Наука, Физматлит, 1998.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. Пособие: для вузов.– 5-е изд., стер.– М.: Высш. шк., 1998.
3. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики: Учеб. пособие для вузов.– 2-е изд., испр. и доп.– М.: Высш. шк., 1999.
4. Иродов И. Е. Волновые процессы. Основные законы: Учеб пособие для вузов.–М.: Лаборатория базовых знаний, 1999.
5. Иродов И. Е. Задачи по общей физике. – 5-е изд., испр. –М.: Лаборатория базовых знаний, 2003.
6. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. – 7-е изд., переаб. и доп. –М: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2003.

Кафедра физики

Кафедра физики как одна из общеобразовательных кафедр существует с момента организации Ленинградского института точной механики и оптики. В довоенные и послевоенные годы кафедре возглавляли А.П. Ющенко, затем профессора В.Ф. Трояновский, Л.С. Поллак, И.В. Поройков, К.К. Аглинцев, Д.Б. Гогоберидзе, Н.А. Толстой, С.В. Андреев, А.Я. Вятский, основоположник теплофизической школы ЛИТМО профессор Г.М. Кондратьев и его ученики доцент А.Ф. Бегункова и профессор Н.А. Ярышев. В настоящее время коллектив кафедры составляют выпускники нашего университета, Ленинградского Политехнического института, физического факультета Ленинградского государственного университета. На кафедре успешно работают 7 профессоров, докторов наук; 20 доцентов, кандидатов наук; 2 старших преподавателя, кандидата наук; 1 старший преподаватель и 4 ассистента.

С момента образования кафедры ее сотрудники уделяют большое внимание совершенствованию методики преподавания физики, как одной из базовых дисциплин подготовки будущих инженеров и формирующему интеллект предмету. Сотрудниками кафедры написано более тридцати учебных пособий для студентов по различным разделам инженерного курса физики, по проведению лабораторных работ, обработке результатов физического эксперимента и решению физических задач. В настоящее время проводится комплексная работа по совершенствованию всего учебного процесса, включая создание фронтальных компьютеризированных учебных лабораторий, банков контроля и проверки усвоения знаний, подготовку программно-методического обеспечения по дистанционному обучению студентов через компьютерные сети RUNNET и INTERNET. В тесном сотрудничестве с объединением «Росучприбор». Министерства Образования России ведется разработка лабораторных учебных стендов и практикумов.

Коллектив кафедры ведет активную научную работу. В 1957-1973 годах было сформировано научное направление по исследованию физики взаимодействия электронных пучков с веществом. С 1973 года получили развитие научные исследования в области теплофизики, в частности, нестационарной теплопроводности и теплотрии. С 1979 года стали систематически проводиться научные разработки в области спектроскопии разупорядоченных конденсированных систем, с 1987 года по физике волновых процессов, нелинейной оптике и радиофизике анизотропных сред, с 1994 года - по оптическому и рентгеновскому рассеянию надмолекулярными, в частности, фрактальными структурами, с 1999 года – по фотонным кристаллам. Научные разработки кафедры неоднократно удостоивались грантов Министерства образования, Российских и Международных научных фондов.

С 1993 года кафедра получила статус выпускающей по специальности 03.05.33 «Профессиональное обучение. Компьютерные технологии», а с 2003 года – по специальности 07.19.00 «Информационные системы и технологии». Значительно увеличился объем научно-методической и научно-исследовательской работы со студентами, бакалаврами, расширен прием в аспирантуру. Десятки студентов и аспирантов, руководимые преподавателями кафедры, удостоивались стипендий Президента России, Правительства России, Администрации Санкт-Петербурга, Международных организаций (ISSEP, SPIE и др.).

Смирнов Александр Витальевич
Фёдоров Борис Александрович
Володькина Валентина Леонидовна

Электричество. Магнетизм. Колебания
Домашние задания по курсу общей физики за второй семестр
Под общей редакцией Б.А. Федорова

Редакционно-издательский отдел СПбГУИТМО
Зав. отделом Гусарова Н.Ф.
Подписано к печати 14.10.05
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99
Заказ № 867
Компьютерная верстка и дизайн авторов
Рисунок выполнен студенткой факультета ТМТ
Ольгой Соколовой

Отпечатано на ризографе СПбГУИТМО
Тираж 1500 экз.

Редакционно-издательский отдел
Санкт-Петербургского государственного
университета информационных
технологий, механики и оптики
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

