

## Содержание

1. Тематика практических занятий.....	4
2. Таблица контрольных заданий по электричеству.....	5
3. Таблица контрольных заданий по магнетизму.....	6
4. Задачи:	
4.1. Электростатика.....	7
4.2. Постоянный ток.....	15
4.3. Магнитное поле в вакууме .....	27
4.4. Движение заряженных частиц в магнитных и электрических полях .....	35
4.5. Электромагнитная индукция .....	38
4.6. Магнитное поле в веществе. Энергия магнитного поля .....	42
5. Вопросы физических диктантов.....	45
6. Экзаменационные вопросы.....	47
7. Литература.....	49

## 1. Тематика практических занятий ( 18 часов)

Тема занятия	Задачи	
	Ауд.	Дом.
<b>1.</b> Закон Кулона. Напряженность поля. Потенциал. Принцип суперпозиции электрических полей. Физический диктант N8.	1.1; 1.2; 1.9; 1.11; 1.24; 1.28; 1.30	1.3; 1.5; 1.7; 1.17; 1.27; 1.29; 1.30
<b>2.</b> Теорема Остроградского-Гаусса. Расчет электростатических полей. Электроемкость проводника и конденсатора. Физический диктант N9.	1.8; 1.33; 1.37; 1.42; 1.44; 1.47; 1.50; 1.52; 1.58	1.31; 1.34; 1.38; 1.45; 1.48; 1.49; 1.40; 1.54; 1.59
<b>3.</b> Движение заряда в электрических полях. Работа. Энергия поля заряда и конденсатора. Соединения конденсаторов.	1.63; 1.65; 1.68; 1.71; 1.75; 1.77; 1.84	1.66; 1.69; 1.74; 1.76; 1.85; 1.86; 1.89
<b>4.</b> Постоянный ток. Законы Ома и Джоуля-Ленца. Соединения проводников. Расчет электрических цепей. Физический диктант N10	2.1; 2.4; 2.9; 2.10; 2.15; 2.18; 2.22; 2.27; 2.31; 2.38	2.2; 2.6; 2.11; 2.16; 2.20; 2.24; 2.30; 2.33; 2.39
<b>5.</b> Расчеты сложных цепей. Законы Кирхгофа. Физический диктант N11.	2.41; 2.44; 2.47; 2.50; 2.53; 2.59; 2.65; 2.70; 2.86; 2.90	2.42; 2.45; 2.48; 2.52; 2.55; 2.63; 2.73; 2.76; 2.82
<b>6.</b> Магнитное поле в вакууме. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон полного тока. Сила Ампера. Работа перемещения проводника с током в магнитном поле. Физический диктант N12.	3.1; 3.7; 3.8; 3.14; 3.22; 3.25; 3.52; 3.53; 3.67; 3.73; 3.90	3.2; 3.5; 3.10; 3.17; 3.59; 3.60; 3.68; 3.74; 3.86; 3.89
<b>7.</b> Движение заряженных частиц в магнитном поле. Сила Лоренца. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея. Правило Ленца. Физический диктант N13.	4.1; 4.5; 4.7; 4.8; 4.19; 4.3; 5.16; 5.11; 5.12	4.2; 4.6; 4.9; 4.4; 4.12; 4.10; 5.17; 5.11; 5.19
<b>8.</b> Самоиндукция. Взаимоиндукция. Магнитное поле в веществе. Энергия поля. Физический диктант N14.	5.29; 5.27; 5.16; 5.21; 5.23; 5.29; 6.11; 6.17; 6.29; 6.30	5.120; 5.123; 5.128; 5.123; 5.128; 5.121; 5.136; 5.140; 5.143; 6.153; 6.151
<b>9.</b> Заключительное занятие	Защита контрольной работы N4	

**2. Таблица контрольных заданий по электричеству**  
(Контрольная работа № 3)

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
1.	1-1	1-31	1-61	2-1	2-31	2-61	2-81
2.	1-2	1-32	1-62	2-2	2-32	2-62	2-82
3.	1-3	1-33	1-63	2-3	2-33	2-63	2-83
4.	1-4	1-34	1-64	2-4	2-34	2-64	2-84
5.	1-5	1-35	1-65	2-5	2-35	2-65	2-85
6.	1-6	1-36	1-66	2-6	2-36	2-66	2-86
7.	1-7	1-37	1-67	2-7	2-37	2-67	2-87
8.	1-8	1-38	1-68	2-8	2-38	2-68	2-88
9.	1-9	1-39	1-69	2-9	2-39	2-69	2-89
10.	1-10	1-40	1-70	2-10	2-40	2-70	2-90
11.	1-11	1-41	1-71	2-11	2-41	2-71	2-91
12.	1-12	1-42	1-72	2-12	2-42	2-72	2-92
13.	1-13	1-43	1-73	2-13	2-43	2-73	2-93
14.	1-14	1-44	1-74	2-14	2-44	2-74	2-94
15.	1-15	1-45	1-75	2-15	2-45	2-75	2-95
16.	1-16	1-46	1-76	2-16	2-46	2-76	2-96
17.	1-17	1-47	1-77	2-17	2-47	2-77	2-97
18.	1-18	1-48	1-78	2-18	2-48	2-78	2-98
19.	1-19	1-49	1-79	2-19	2-49	2-79	2-99
20.	1-20	1-50	1-80	2-20	2-50	2-80	2-100
21.	1-21	1-51	1-81	2-21	2-51	2-68	2-101
22.	1-22	1-52	1-82	2-22	2-52	2-74	2-102
23.	1-23	1-53	1-83	2-23	2-53	2-70	2-103
24.	1-24	1-54	1-84	2-24	2-54	2-70	2-104
25.	1-25	1-55	1-85	2-25	2-55	2-80	2-105
26.	1-26	1-56	1-86	2-26	2-56	2-64	2-106
27.	1-27	1-57	1-87	2-27	2-57	2-67	2-107
28.	1-28	1-58	1-88	2-28	2-58	2-63	2-108
29.	1-29	1-59	1-89	2-29	2-59	2-76	2-109
30.	1-30	1-60	1-90	2-30	2-60	2-71	2-110

**2. Таблица контрольных заданий по магнетизму**  
(Контрольная работа № 4)

№ п/п	1	2	3	4	5	6
1.	3-1	3-31	3-61	4-1	5-1	6-1
2.	3-2	3-32	3-62	4-2	5-2	6-2
3.	3-3	3-33	3-63	4-3	5-3	6-3
4.	3-4	3-34	3-64	4-4	5-4	6-4
5.	3-5	3-35	3-65	4-5	5-5	6-5
6.	3-6	3-36	3-66	4-6	5-6	6-6
7.	3-7	3-37	3-67	4-7	5-7	6-7
8.	3-8	3-38	3-68	4-8	5-8	6-8
9.	3-9	3-39	3-69	4-9	5-9	6-9
10.	3-10	3-40	3-70	4-10	5-10	6-10
11.	3-11	3-41	3-71	4-11	5-11	6-11
12.	3-12	3-42	3-72	4-12	5-12	6-12
13.	3-13	3-43	3-73	4-13	5-13	6-13
14.	3-14	3-44	3-74	4-14	5-14	6-14
15.	3-15	3-45	3-75	4-15	5-15	6-15
16.	3-16	3-46	3-76	4-16	5-16	6-16
17.	3-17	3-47	3-77	4-17	5-17	6-17
18.	3-18	3-48	3-78	4-18	5-18	6-18
19.	3-19	3-49	3-79	4-19	5-19	6-19
20.	3-20	3-50	3-80	4-20	5-20	6-20
21.	3-21	3-51	3-81	4-21	5-21	6-21
22.	3-22	3-52	3-82	4-22	5-22	6-22
23.	3-23	3-53	3-83	4-23	5-23	6-23
24.	3-24	3-54	3-84	4-24	5-24	6-24
25.	3-25	3-55	3-85	4-25	5-25	6-25
26.	3-26	3-56	3-86	4-26	5-26	6-26
27.	3-27	3-57	3-87	4-27	5-27	6-27
28.	3-28	3-58	3-88	4-28	5-28	6-28
29.	3-29	3-59	3-89	4-29	5-29	6-29
30.	3-30	3-60	3-90	4-12	5-10	6-30

## 4. Задачи

### 4.1. Электростатика.

1-1. Точки  $A, B, C$  и  $D$  находятся на одной прямой. Причем  $AB = BC = CD = 10$  см. В точках  $A$  и  $C$  расположены заряды  $q_A = +2 \cdot 10^{-6}$  Кл,  $q_C = -15 \cdot 10^{-6}$  Кл. Определить напряженность и потенциал поля в точках  $B$  и  $D$ .

1-2. Два шарика одинакового радиуса и массы подвешены на нитях так, что их поверхности соприкасаются. После сообщения шарикам заряда  $4 \cdot 10^{-7}$  Кл они оттолкнулись друг от друга и разошлись на угол  $60$  градусов. Найти массу шарика, если расстояние от точки подвеса до центра каждого из шариков равно  $20$  см.

1-3. В вершинах квадрата  $ABCD$  со стороной  $25$  см находятся заряды:  $q_A = q_B = +100 \cdot 10^{-6}$  Кл,  $q_C = q_D = -100 \cdot 10^{-6}$  Кл. Вычислить напряженность и потенциал электростатического поля в центре квадрата.

1-4. Расстояние между двумя точечными зарядами  $q_1 = 22,5 \cdot 10^{-6}$  Кл и  $q_2 = -44 \cdot 10^{-6}$  Кл равно  $5$  см. Найти напряженность и потенциал поля в точке, находящейся на расстоянии  $3$  см от положительного заряда и  $4$  см от отрицательного заряда.

1-5. Два шарика одинакового радиуса и массы подвешены на двух нитях так, что их поверхности соприкасаются. Какой заряд нужно сообщить шарикам, чтобы натяжение нитей стало равно  $0,098$  Н? Расстояние от точки подвеса до центра каждого шарика равно  $10$  см. Масса шарика  $5 \cdot 10^{-3}$  кг.

1-6. В точках  $A$  и  $B$  помещены заряды  $q_A = -5 \cdot 10^{-6}$  Кл и  $q_B = +20 \cdot 10^{-6}$  Кл. Найти на прямой, проходящей через эти заряды, ближайшую к точке  $A$  точку  $C$ , в которой напряженность поля равна нулю.  $AB = 10$  см.

1-7. Три заряда  $q_1, q_2$  и  $q_3$ , лежащие на одной прямой, связаны между собой нитями длиной  $L$ . Определить силу натяжения этих нитей.

1-8. Поток вектора напряженности электрического поля через плоскую поверхность пластины, равномерно заряженную с поверхностной плотностью заряда  $\sigma$ , равен  $N$ . Определить силу, действующую на пластину в направлении, перпендикулярном ее плоскости.

1-9. Четыре маленьких заряженных шарика соединены тонкими нитями так, что система зарядов образует ромб с острым углом  $\alpha$ . Определить отношение зарядов соседних шариков.

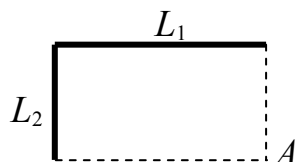
1-10. Кольцо из тонкой проволоки разрывается, если на нем находится заряд  $q$ . При какой величине заряда разорвется кольцо, если диаметр кольца и диаметр проволоки увеличить в два раза?

1-11. Какой заряд необходимо сообщить мыльному пузырю радиусом  $6$  мм, чтобы он стал раздуваться? Коэффициент поверхностного натяжения мыльной пленки равен  $40 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

1-12. Незаряженный металлический цилиндр вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Определить напряженность  $E$  электрического поля цилиндра на расстоянии  $R$  от его оси. Заряд и масса электрона равны соответственно  $q$  и  $m$ .

1-13. Два заряда  $q_1$  и  $q_2 = 6q_1$  находятся в вакууме на расстоянии 10 см друг от друга. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, в которой напряженность поля равна нулю? Определить положение этой точки в случае, когда второй заряд отрицательный.

1-14.



Тонкий стержень согнут под прямым углом так, что  $L_1 = 10$  см, а  $L_2 = 20$  см. Определить напряженность поля в точке А, если стержень заряжен с линейной плотностью  $\tau = 0,8 \cdot 10^{-6}$  Кл/м.

1-15. Прямой проводник длиной  $l = 25$  см заряжен с линейной плотностью  $\tau = 0,6 \cdot 10^{-6}$  Кл/м. Определить напряженность поля в точке, находящейся на перпендикуляре, восстановленному к середине проводника, на расстоянии 10 см от него.

1-16. Два заряда  $q_1 = 0,8 \cdot 10^{-6}$  Кл и  $q_2 = -0,6 \cdot 10^{-6}$  Кл находятся на расстоянии 36 см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, лежащей посередине между зарядами. Чему станет равна напряженность в этой точке, если второй заряд изменит знак на противоположный?

1-17. Точечный заряд  $q = 0,2 \cdot 10^{-6}$  Кл находится на расстоянии 2 мм от большой равномерно заряженной пластины. Определить силу, действующую на заряд, если поверхностная плотность заряда пластины равна  $0,4 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup>.

1-18. На двух одинаковых капельках воды находятся по два лишних электрона. При этом сила электрического отталкивания капелек уравнивает силу их взаимного тяготения. Определить радиусы капелек.

1-19. Три одинаковых одноименных заряда расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой противоположного знака заряд нужно поместить в центре треугольника, чтобы результирующая сила, действующая на каждый заряд, была равна нулю?

1-20. Три одинаковых заряда по 0,7 мкКл каждый, расположены в вершинах прямоугольного треугольника с катетами 30 и 60 см. Вычислить напряженность электрического поля создаваемого всеми зарядами в точке пересечения гипотенузы с перпендикуляром, опущенным на нее из вершины прямого угла.

1-21. С какой силой будут притягиваться два одинаковых стальных шарика радиусом 2 см, расположенных на расстоянии 1,5 м друг от друга, если у каждого атома первого шарика отнять по одному электрону и все их перенести на второй шарик? Атомная масса железа 56 у.е., а плотность равняется  $7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

1-22. Две параллельные металлические пластины площадью  $S$  каждая имеют заряды  $q_1$  и  $q_2$ . Вычислить поверхностную плотность зарядов, пренебрегая эффектом стекания их с краев пластины.

1-23. Две плоские пластины площадью  $300 \text{ см}^2$  каждая, имеющие равные заряды, притягиваются в керосине с силой  $0,26 \text{ Н}$ . Считая, что расстояние между пластинами мало, определить величины находящихся на них зарядов.

1-24. Полусфера равномерно заряжена с поверхностной плотностью заряда  $\sigma$ . Определить напряженность поля в центре основания полусферы.

1-25. Фарфоровому шарик радиусом  $5 \text{ см}$  сообщен заряд  $2 \text{ мКл}$ . Определить напряженность поля на расстоянии  $5 \text{ см}$ ,  $10 \text{ см}$ ,  $15 \text{ см}$  и  $25 \text{ см}$  от центра шара. Построить график зависимости  $E = f(r)$ .

1-26. Две бесконечные параллельные проводящие пластины заряжены так, что поверхностная плотность зарядов первой пластины  $\sigma_1$ , а второй  $\sigma_2$ . Определить заряды на каждой поверхности пластин.

1-27. Плоский конденсатор находится во внешнем однородном электрическом поле с напряженностью  $E = 10^3 \text{ В/м}$ , перпендикулярном пластинам. Площадь пластин  $10^{-2} \text{ м}^2$ . Определить заряды на каждой из пластин, если конденсатор замкнуть проводником накоротко.

1-28. В плоском вакуумном конденсаторе во взвешенном состоянии находится капелька ртути. Первоначальная разность потенциалов, приложенная к конденсатору, составляла  $1200 \text{ В}$ . Затем она внезапно уменьшилась до  $1115 \text{ В}$ . За какое время капелька достигнет нижней пластины, если она первоначально находилась посередине между пластинами конденсатора, расстояние между которыми  $0,5 \text{ см}$ ?

1-29. Плоский конденсатор, длина пластин которого много больше расстояния между ними, присоединен к источнику постоянного напряжения. Докажите, что напряженность электрического поля внутри конденсатора не изменится, если пространство между обкладками заполнить диэлектриком.

1-30. Плоский конденсатор состоит из двух пластин, разделенных стеклом с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 7$ . Какое давление производят пластины на стекло перед пробоем, если напряженность электрического поля в этом случае  $E = 50 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ ?

1-31. Используя теорему Остроградского-Гаусса, определите напряженность электрического поля внутри и вне заряженной сферы, если заряд сферы  $q$ .

1-32. Используя теорему Остроградского-Гаусса, определите напряженность электрического поля внутри и вне равномерно заряженного бесконечного цилиндра с объемной плотностью заряда  $\rho$ . Постройте график зависимости напряженности поля от расстояния до оси цилиндра.

1-33. Используя теорему Остроградского-Гаусса, определите напряженность электрического поля внутри и вне равномерно заряженной бесконечной пластины толщиной  $d$  и объемной плотностью заряда  $\rho$ . Постройте график зависимости напряженности поля от расстояния до центральной плоскости пластины.

1-34. Плоская прямоугольная площадка со сторонами  $a = 5$  см и  $b = 8$  см находится на расстоянии  $0,5$  м от точечного заряда  $q = 0,5$  мкКл. При этом линии напряженности составляют угол  $\alpha = 30^\circ$  с ее поверхностью. Найти поток вектора напряженности электростатического поля через эту площадку.

1-35. Электрическое поле создано прямым бесконечным проводом, равномерно заряженным с линейной плотностью  $\tau = 0,2$  мкКл/м. Определить поток вектора напряженности поля через прямоугольную площадку со сторонами  $a = 10$  см и  $b = 30$  см, две большие стороны которой параллельны проводу и одинаково удалены от него на расстоянии  $15$  см.

1-36. Две длинные прямые нити параллельны друг другу и находятся на расстоянии  $R = 10$  см друг от друга. На них равномерно распределены заряды с линейными плотностями  $\tau_1 = 0,7$  мкКл/м и  $\tau_2 = 10$  мкКл/м. Определить напряженность поля в точке, удаленной от первой нити на расстоянии  $4$  см, а от второй на расстоянии  $8$  см.

1-37. К бесконечной равномерно заряженной вертикальной плоскости подвесили на нити одноименно заряженный шарик массой  $100$  мг и зарядом  $0,5$  мкКл. Определить поверхностную плотность заряда на плоскости, если натяжение нити, на которой висит шарик, равняется  $1$  мН.

1-38. По тонкому кольцу радиуса  $R = 8$  см равномерно распределен заряд  $50$  нКл. Определить напряженность поля в точке на оси кольца, удаленной на расстоянии  $15$  см от центра кольца.

1-39. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром  $d = 10$  см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью  $\sigma = 2$  мкКл/м<sup>2</sup>. Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на расстоянии  $12$  см.

1-40. Бесконечно протяженная вертикальная плоскость заряжена с поверхностной плотностью  $\sigma = 600$  мкКл/м<sup>2</sup>. К плоскости на нити подвешен заряженный шарик массой  $30$  г. Нить составляет с плоскостью угол  $45^\circ$ . Определить заряд шарика.

1-41. Определить потенциал в точке на оси диполя, если расстояние  $R \gg L$  ( $L$  – длина диполя,  $R$  – его плечо).

1-42. Два проводящих шара различных диаметров приводят в соприкосновение и заряжают. Затем их отводят на значительное расстояние. Одинаковыми ли будут у них потенциалы?

1-43. Заряд величиной  $0,2$  Кл удален от заряда  $0,6$  Кл на расстояние  $25$  м. Определить потенциал поля в точке, находящейся на середине отрезка, соединяющего заряды.



1-44. Заряды по  $10^{-6}$  Кл каждый находятся в углах квадрата со стороной 20 см. Определить разность потенциалов в поле этих зарядов между центром квадрата и серединой одной из его сторон.

1-45. Точечный заряд 10 нКл находится в спирте, диэлектрическая проницаемость которого равняется 25. Определить потенциал в точке, отстоящей на 10 см от заряда.

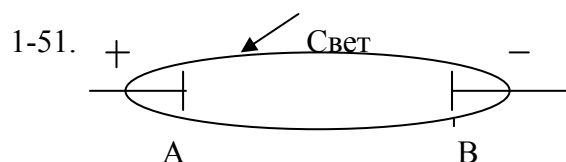
1-46. Определить разность потенциалов между вершиной и основанием Эйфелевой башни высотой 350 м, образующейся из-за вращения Земли. Широта Парижа  $45^{\circ}$ .

1-47. Шарик радиусом 2 см заряжен с объемной плотностью  $6 \cdot 10^{-8}$  Кл/см<sup>3</sup>. Определить напряженность  $E$  и потенциал поля  $\varphi$  на расстоянии 3 см от поверхности шара. Построить график зависимости  $E(r)$  и  $\varphi(r)$ , где расстояние  $r$  отсчитывается от центра шарика.

1-48. Найти потенциал в точке, находящейся на высоте  $h/2$  над металлической плоскостью, в двух случаях: а) плоскость заряжена с поверхностной плотностью  $\sigma$ , б) плоскость незаряжена, а на высоте  $h$  находится точечный заряд  $+e$ .

1-49. Известно, что электрический заряд Земли составляет около  $-6 \cdot 10^5$  Кл. Найти потенциал и градиент потенциала электростатического поля на земной поверхности, приняв радиус Земли  $R = 6400$  км. Пояснить, почему такое поле не опасно для жизни человека.

1-50. Полую металлическому шару радиуса 10 см, который находится в воздухе, сообщен заряд  $1,6 \cdot 10^{-9}$  Кл. Определить потенциал: а) внутри шара; б) на поверхности шара; в) на расстоянии 0,5 м от центра шара.



Под действием света, падающего на электрод А в вакуумной трубке, вылетают электроны с начальной скоростью 200 км/с. Между катодом (А) и анодом (В) приложена разность потенциалов 5 В, а расстояние между ними 15 см. Какое расстояние от катода А пройдут электроны, прежде чем начнут возвращаться назад?

1-52. Электрон, движущийся со скоростью  $50 \cdot 10^6$  м/с влетает в пространство между пластинами плоского конденсатора. Расстояние между пластинами 0,3 см, длина 1 см. К конденсатору приложено напряжение 60 В. На сколько увеличится скорость электрона на выходе из конденсатора по сравнению с начальной скоростью?

1-53. Электрон движется по направлению силовых линий однородного электрического поля с напряжённостью 160 В/м. Какое расстояние он пролетит в вакууме до остановки, имея начальную скорость 800 км/с.

1-54. Две альфа - частицы летят из бесконечности навстречу друг другу со скоростями  $V_1$  и  $V_2$ . На какое минимальное расстояние они смогут сблизиться и как будут после этого двигаться?

1-55. Молекулу воды можно представить как диполь, электрический момент которого  $6 \cdot 10^{-30}$  Кл·м. Положительные и отрицательные заряды равны  $8e$ . Определить электрическую энергию в стакане воды объёмом  $250 \text{ см}^3$ .

1-56. Какую работу нужно совершить, чтобы ионизировать атом водорода? Диаметр атома  $10^{-8}$  см, заряд электрона  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

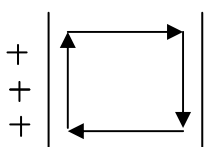
1-57. Большая тонкая проводящая пластинка площади  $S$  и толщиной  $d$  помещена в однородное электрическое поле напряжённости  $E$ , перпендикулярное пластине. Определить количество тепла, выделившееся в пластине, если поле мгновенно выключить?

1-58. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора 3000 В. Пространство между пластинами заполнено парафином толщиной 5 мм с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$ . Определить напряжённость поля в парафине, диэлектрическую восприимчивость парафина и плотность связанных зарядов на его поверхности.

1-59. В установке “статический душ” на электроды приложена разность потенциалов  $10^5$  В. Определить заряд, проходящий за 1 мин лечения, если силы электрического поля совершают работу 20 кДж.

1-60. Градиент потенциала электрического поля плоского конденсатора 800 кВ/м. Определить плотность заряда на пластинах, если диэлектрическая проницаемость среды равняется 10.

1-61. На поверхности двух концентрических сфер равномерно распределён заряд с поверхностной плотностью  $\sigma$ . Определить его величину, если для переноса из бесконечности в общий центр сфер 1 мКл требуется  $10^{-4}$  Дж энергии.

1-62.  Напряжённость электрического поля внутри конденсатора равна  $E$ . Определить работу перемещения заряда  $q$  по замкнутому прямоугольному контуру.

1-63. На расстоянии  $r_1 = 4$  см от бесконечно длинной заряженной нити находится точечный заряд  $2 \cdot 10^{-6}$  Кл. Под действием поля заряд перемещается по силовой линии в точку находящуюся на расстоянии  $r_2$  см от нити. При этом совершается работа 0,5 Дж. Найти линейную плотность заряда нити.

1-64. Около заряженной бесконечно протяженной плоскости находится точечный заряд  $2 \cdot 10^{-6}$  Кл. Под действием поля заряд перемещается по силовой линии в точку, находящуюся на расстоянии 2 см от плоскости. При этом совершается работа 0,5 Дж. Найти поверхностную плотность заряда плоскости.

1-65. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобретает скорость  $10^8$  см/с. Расстояние между пластинами 5,3 мм. Найти: 1) разность потенциалов между пластинами; 2) напряжённость электрического поля конденсатора; 3) поверхностную плотность заряда на пластинах.

1-66. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора 280 В. Поверхностная плотность заряда на пластинах  $4,95 \cdot 10^{-11}$  Кл/см<sup>2</sup>. Площадь каждой пластины 100 см<sup>2</sup>. Найти: 1) напряженность поля внутри конденсатора; 2) расстояние между пластинами; 3) скорость, которую получит электрон, пройдя в конденсаторе путь от одной пластины до другой.

1-67. Электрическое поле образовано положительно заряженной бесконечно длинной нитью. Двигаясь под действием этого поля по силовой линии от точки, находящейся на расстоянии  $x_1 = 1$  см от нити, до точки  $x_2 = 4$  см,  $\alpha$  - частица изменила свою скорость от  $2 \cdot 10^5$  до  $3 \cdot 10^6$  м/с. Найти линейную плотность заряда на нити.

1-68. Электрон влетает в плоский конденсатор, имея скорость, равную 10000 км/с и направленную параллельно пластинам. Расстояние между пластинами равно 2 см, разность потенциалов 1,5 кВ, длина пластин 10 см. На сколько миллиметров сместится электрон за время движения между пластинами под действием электростатического поля?

1-69. Электрон влетает в плоский конденсатор, находясь на одинаковом расстоянии от каждой пластины и имея скорость 10000 км/с, направленную параллельно пластинам. Какую наименьшую разность потенциалов нужно приложить к пластинам, чтобы электрон не вылетел из конденсатора, если расстояние между пластинами 2 см и длина пластин 10 см?

1-70. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора 900 В. Ёмкость конденсатора равна 200 см. Пространство между пластинами конденсатора заполнено стеклом с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 6$ . Какую работу нужно совершить, чтобы вынуть стекло из конденсатора, предварительно отключив его от источника напряжения? (Трением пренебречь).

1-71. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого 2 см, заряжен до разности потенциалов 3000 В. Какова будет напряжённость поля конденсатора, если, не отключая его от источника напряжения, пластины раздвинуть до расстояния в 5 см? Вычислить энергию конденсатора до и после раздвижения пластин. Площадь каждой пластины 100 см<sup>2</sup>.

1-72. Шар, погружённый в масло с диэлектрической проницаемостью среды  $\epsilon=4$ , имеет потенциал 4500 В и поверхностную плотность заряда  $3,4 \cdot 10^{-6}$  Кл/см<sup>2</sup>. Найти радиус, заряд, ёмкость и энергию шара.

1-73. Напряжение на четырёх конденсаторах соединённых параллельно, равно 200 В. Сколько тепла выделится при разряде этой батареи, если ёмкость каждого конденсатора 2 мкФ.

1-74. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора 100 см<sup>2</sup> и расстояние между ними 5 мм. Найти, какая разность потенциалов была приложена к пластинам конденсатора, если известно, что при разряде конденсатора выделилось  $4,19 \cdot 10^{-3}$  Дж тепла.

1-75. Найти объёмную плотность энергии электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 2 см от поверхности заряженного шара радиусом в 1 см. Поверхностная

плотность заряда на шаре  $5 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup>, диэлектрическая проницаемость среды  $\epsilon = 2$ . Вычислить ёмкость и полную энергию шара.

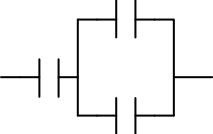
1-76. Плоский конденсатор, состоящий из двух пластин, имеет изолирующий слой толщиной 0,2 мм. Определить плотность связанных зарядов на поверхности изолирующего слоя, если конденсатор заряжен до 600 В, а диэлектрическая восприимчивость изолирующего слоя равна 0,5.

1-77. Первоначально плоский воздушный конденсатор с зазором между обкладками в 1 см был заряжен до 300 В. Затем, отключив конденсатор от источника, в него внесли пластину с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 5$  и толщиной в половину зазора. Найти напряженность электростатического поля в обоих случаях.

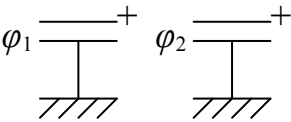
1-78. Плоский конденсатор заряжен до 120 В. Определить диэлектрическую проницаемость изолирующего слоя, если площадь одной пластины 60 см<sup>2</sup>, заряд на ней  $10^{-8}$  Кл, а расстояние между пластинами 6 мм. Определить также силу взаимодействия пластин.

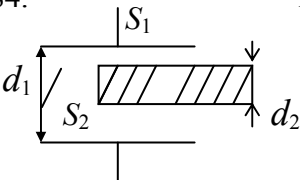
1-79. Определить энергию электрического поля равномерно заряженного шара радиуса  $R$  и заряда  $q$ .

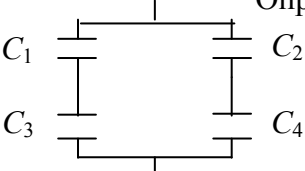
1-80. Батарея из шести последовательно соединённых лейденских банок, каждая ёмкостью  $4 \cdot 10^{-10}$  Ф, питается напряжением 80 кВ. Одна из банок пробивается. Определить изменение энергии батареи банок.

1-81.  Вычислить электроёмкость системы конденсаторов, представленной на рисунке, если ёмкость каждого конденсатора 0,9 мкФ.

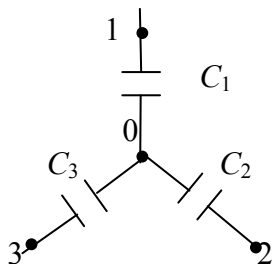
1-82. Несколько ( $N$ ) одинаковых конденсаторов соединили параллельно и зарядили до разности потенциалов  $\varphi_0$ . Затем с помощью переключателя их соединили последовательно. Определить разность потенциалов между крайними клеммами. Изменится ли энергия системы?

1-83.  Два одинаковых конденсатора заряжены до разных потенциалов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  относительно заземлённых отрицательных электродов. Затем конденсаторы соединили параллельно. Определить их потенциал после соединения и изменение энергии системы.

1-84.  В пространство между пластинами плоского воздушного конденсатора помещён стеклянный конденсатор с большой площадью пластин. Определить ёмкость такой системы, если: площадь пластины  $S_1=300$  см<sup>2</sup>,  $S_2=600$  см<sup>2</sup>,  $d_1=4$  мм,  $d_2=3$  мм. Толщиной пластин стеклянного конденсатора пренебречь.

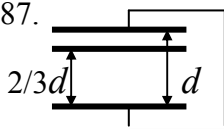
1-85.  Определить ёмкость батареи конденсаторов, если  $C_1 = 2$  мкФ,  $C_2 = 6$  мкФ,  $C_3 = 8$  мкФ,  $C_4 = 5$  мкФ.

1-86.



В цепи имеется участок, содержащий конденсаторы, показанные на рисунке. Потенциал точек 1,2,3 равны соответственно  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ . Определить потенциал точки 0, если емкости конденсаторов одинаковы.

1-87.



Между соединёнными проводником обкладками конденсатора помещена металлическая пластина. Какой заряд потечёт по проводнику, если внутренней пластине сообщить заряд  $Q$ ?

1-88. Система состоит из двух шаров радиусами  $r$ , находящихся в среде с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ . Найти ёмкость системы, считая, что расстояние между центрами шаров  $R \gg r$ . Заряды по поверхности шаров распределены равномерно.

1-89. Для того, чтобы сложить вместе две одинаковые пластины с равными зарядами, которые были удалены друг от друга на большое расстояние, необходимо совершить работу  $A$ . Какую работу нужно совершить, чтобы сложить 5 таких пластин?  $N$  пластин?

1-90. Протон и альфа – частица, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в плоский конденсатор параллельно пластинам. Во сколько раз отклонение протона полем конденсатора от прямолинейной траектории будет больше отклонения альфа – частицы.

## 4.2. Постоянный ток.

2-1. Какова средняя скорость направленного движения электронов в медных проводах при максимально допустимой для них плотности тока  $10 \text{ А/мм}^2$ ? Концентрацию носителей тока принять равной  $10^{29} \text{ м}^{-3}$ .

2-2. Определить плотность тока в волоске лампы накаливания, если величина тока  $0,25 \text{ А}$ , а диаметр волоска  $20 \text{ мм}$ .

2-3. Определить силу тока, проходящего между электродами установки для франклинизации пациента за 10 мин процедуры, соответствующую заряду  $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Кл}$ .

2-4. В синхротроне электроны движутся по приближённо круговой орбите длины  $240 \text{ м}$ . Во время цикла ускорения по орбите примерно со скоростью света движется  $10^{11}$  электронов. Определить ток.

2-5. В рентгеновской трубке пучок электронов с плотностью тока  $0,3 \text{ А/мм}^2$  попадает на скошенный под углом  $30^\circ$  торец антикатода площадью  $10^{-4} \text{ м}^2$ . Считая, что антикатод расположен вдоль оси пучка, определить ток в нём.

2-6. Какой заряд переносится за 10 с, если 1) ток равномерно возрастает от 0 до 3 А; 2) ток убывает от 20 А до 0, при этом за каждые 0,01 с он убывает вдвое?

2-7. Металлический шар радиуса 15 см поместили в поток протонов с плотностью тока 1 мкА/см<sup>2</sup>. За какое время его потенциал достигнет значения 220 В?

2-8. К цилиндру длиной  $L$  и поперечным сечением  $S$ , выполненному из проводящего материала удельной проводимостью  $\delta$ , подведено напряжение  $U$ . Какой ток течёт через сечение цилиндра и каково его сопротивление?

2-9. Медное кольцо диаметром 0.15 м и сечением  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  вращается вокруг оси с угловой скоростью  $62,8 \text{ с}^{-1}$ . Определить заряд, который пройдёт по кольцу, если его резко остановить.

2-10. Сила тока  $I$  в проводнике меняется со временем  $t$  согласно уравнению  $I = 8 + 4t$ , где  $I$  выражено в амперах, а  $t$  – в секундах. 1) Какое количество электричества проходит через поперечное сечение проводника за промежуток времени от  $t_1 = 2$  с до  $t_2 = 6$  с? 2) При какой силе постоянного тока через поперечное сечение проводника за это же время проходит такое же количество электричества?

2-11. По медной проволоке сечением  $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  и при температуре 320 К проходит ток 1,5 А. Считая, что на каждый атом меди приходится один электрон проводимости и что электронный газ подчиняется распределению Максвелла, определить, во сколько раз отличаются средние скорости теплового движения свободных электронов от скорости их упорядоченного движения.

2-12. Считая свободные электроны металла идеальным газом, определить коэффициент теплопроводности серебра при температуре 300 К. Удельное сопротивление серебра при этой температуре  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

2-13. В проводнике из материала плотности  $D$  и атомной массы  $A$  создано электрическое поле напряжённостью  $E$ . Считая, что на каждый атом приходится один электрон проводимости и в единичном объёме проводника выделяется за 1 с тепловая энергия  $N$ , определить время между соударениями электронов с ионами решётки. Удары считать неупругими.

2-14. Найти ток утечки в плоском конденсаторе, если электростатическое поле между его обкладками равно 10 кВ/м, площадь обкладок  $100 \text{ см}^2$ , удельная проводимость диэлектрика  $10^{-10} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ .

2-15. Угольный стержень соединён последовательно с железным стержнем такой же толщины. При каком соотношении между длинами стержней их общее сопротивление не зависит от температуры? Удельные сопротивления и температурные коэффициенты сопротивления железа и графита соответственно равны:  $98 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  и  $3900 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ,  $6,2 \cdot 10^{-3}$  и  $-0,8 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ .

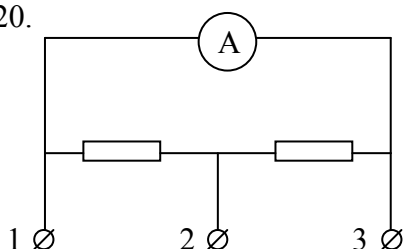
2-16. Определить сопротивление спирали лампы для инфракрасного облучения, если потребляемый ток составляет 5 А, а напряжение 120 В.

2-17. Электрическая цепь составлена из трёх проводников одинаковой длины и одного материала сечениями 1, 2 и  $3\text{ мм}^2$ . Разность потенциалов на концах цепи 22 В. Определить падение напряжения на каждом проводнике при их последовательном соединении.

2-18. Два металлических шара диаметром 0,2 м опущены на изолированных кабелях в океан на большую глубину. Расстояние между центрами шаров 250 м, удельная электропроводность морской воды 4 Ом/м. Определить сопротивление цепи при подключении источника к концам кабелей, оставшихся на поверхности воды. Сопротивление кабелей не учитывать.

2-19. Найти падение потенциала  $U$  на медном проводе длиной  $L = 500$  м и диаметром  $d = 2$  мм, если ток в нем  $I = 2$  А.

2-20.



К амперметру подсоединены два шунта (добавочные сопротивления). Шкала амперметра содержит 100 делений. Если амперметр включить в цепь через клеммы 1-2, цена деления шкалы его будет 0,01 А/дел, если через клеммы 2-3 - цена деления будет 0,02 А/дел. Какой ток можно измерять амперметром, подключив его к клеммам 1-3?

2-21. Имеется прибор сопротивлением 100 Ом, с ценой деления 1 мкА, шкала которого имеет 100 делений. Как из него сделать амперметр для измерения тока до 1 А?

2-22. Амперметр сопротивлением 0,2 Ом зашунтирован сопротивлением 0,06 Ом. Определить силу тока во внешней цепи, если ток через амперметр 10 А.

2-23. Сколько витков нихромовой проволоки диаметром 1 мм надо намотать на фарфоровый цилиндр радиусом 2,5 см, чтобы получить печь сопротивлением 40 Ом?

2-24. Сопротивление вольфрамовой нити накала электрической лампочки при  $20^\circ\text{C}$  равно 35,8 Ом. Какова будет температура нити лампочки, если при включении в сеть напряжением 120 В по нити идет ток 0,33 А? Температурный коэффициент сопротивления вольфрама равен  $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

2-25. Реостат из железной проволоки, миллиамперметр, и генератор тока включены последовательно. Сопротивление реостата при  $0^\circ\text{C}$  равно 120 Ом, сопротивление миллиамперметра 20 Ом. Миллиамперметр показывает 22 мА. Что будет показывать миллиамперметр, если реостат нагреется на  $50^\circ$ ? Температурный коэффициент сопротивления железа  $6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Сопротивлением генератора пренебречь.

2-26. Обмотка катушки из медной проволоки при температуре  $14^\circ\text{C}$  имеет сопротивление 10 Ом. После пропускания тока сопротивление обмотки стало равно 12,2 Ом. До какой температуры нагрелась обмотка? Температурный коэффициент сопротивления меди равен  $4,15 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

2-27. На сколько изменится сопротивление телеграфной линии при переходе от зимы ( $-30^\circ\text{C}$ ) к лету ( $+30^\circ\text{C}$ ), если она проложена железным проводом длиной (зимой) 100 км?

Удельное сопротивление железа  $8,7 \cdot 10^{-6}$  Ом·см, температурный коэффициент сопротивления  $6 \cdot 10^{-3}$  К<sup>-1</sup>. Изменится ли результат, если учесть удлинение провода? Коэффициент линейного расширения железа  $12 \cdot 10^{-6}$  К<sup>-1</sup>.

2-28. Вольтметр сопротивлением 1500 Ом рассчитан для измерения напряжения не выше 30 В. Какое добавочное сопротивление нужно присоединить к вольтметру, чтобы им можно было измерить напряжение 300 В.

2-29. Имеется некоторое число одинаковых сопротивлений 10 Ом. Сколько потребуется сопротивлений и как их нужно соединить (нарисуйте схему), чтобы эквивалентное сопротивление было равно 6 Ом?

2-30. Последовательно соединены  $n$  равных сопротивлений. Во сколько раз изменится сопротивление цепи, если их соединить параллельно?

2-31. Замкнутая цепь содержит сопротивление 10 Ом и источник с ЭДС равной 1 В. К ней параллельно подключаются три участка цепи, имеющих сопротивления и ЭДС, увеличенные соответственно в 2, 3 и 4 раза (20 Ом–2 В, 30 Ом–3 В и т.д.). Определить токи на этих участках цепи, если “плюс” первого источника соединен с “минусом” второго, “плюсом” третьего и “минусом” четвертого.

2-32. Какое внешнее сопротивление  $R$  необходимо подключить к источнику постоянного тока с электродвижущей силой  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$ , чтобы выделяемая на нем тепловая мощность была максимальной?

2-33. Элемент, с ЭДС равной 1,1 В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом, замкнут на внешнее сопротивление  $R = 9$  Ом. Найти ток в цепи, падение потенциала во внешней цепи и падение потенциала внутри элемента. С каким КПД работает элемент?

2-34. Элемент с ЭДС равной 2 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом замкнут на внешнее сопротивление. Найти падение потенциала внутри элемента при силе тока в цепи 0,25 А и внешнее сопротивление  $R$  цепи при этих условиях?

2-35. ЭДС элемента 6 В. При внешнем сопротивлении  $R = 1,1$  Ом сила тока в цепи равняется 3 А. Найти падение потенциала  $U$  внутри элемента и его внутреннее сопротивление  $r$ .

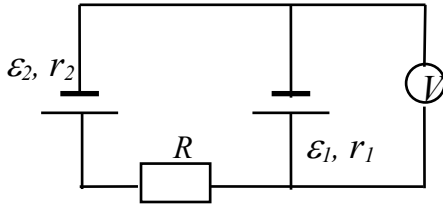
2-36. В лаборатории, удаленной от генератора на расстоянии  $L = 100$  м, включили электрический нагревательный прибор, потребляющий ток  $I = 10$  А. На сколько понизилось напряжение  $U$  на зажимах электрической лампочки, горящей в этой лаборатории, если сечение медных подводящих проводов  $S = 5$  мм<sup>2</sup>?

2-37. Элемент с ЭДС равной 1,6 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом замкнут на внешнее сопротивление. Найти КПД элемента при силе тока в цепи 2,4 А.

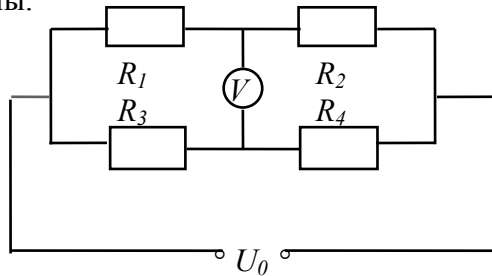
2-38. Элемент, сопротивление и амперметр включены в цепь последовательно. Элемент имеет ЭДС 2 В и внутреннее сопротивление  $r = 0,4$  Ом. Амперметр показывает ток  $I = 1$  А. Определить, с каким КПД работает элемент.



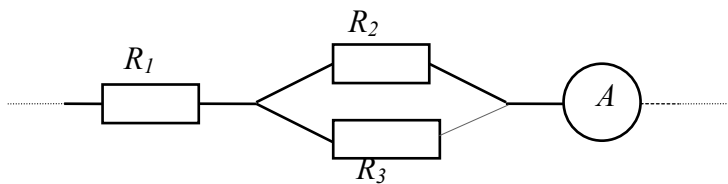
2-39. Найти напряжение, которое покажет вольтметр, включенный в схему так, как показано на рисунке. ЭДС источников тока и их внутренние сопротивления равны соответственно  $\varepsilon_1$ ,  $r_1$  и  $\varepsilon_2$ ,  $r_2$ . Сопротивление нагрузки равно  $R$ .



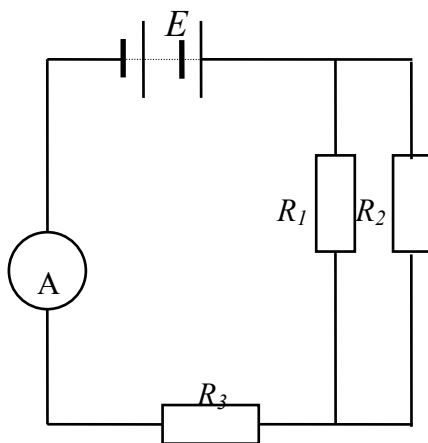
2-40. Найти напряжение, которое покажет высокоомный вольтметр, включенный в схему так, как показано на рисунке. Сопротивления резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$  и напряжение  $U_0$  известны.



2-41. Определить падение потенциала на сопротивлениях  $R_1 = 4$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом и  $R_3 = 4$  Ом (см. рисунок), если амперметр показывает силу тока 3 А. Найти силу тока, текущего через сопротивления  $R_2$  и  $R_3$ .



2-42.



В цепь включена батарея с Э.Д.С. равной 100 В и внутренним сопротивлением 2 Ом. Сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$  равны соответственно 25 Ом и 78 Ом. На сопротивлении  $R_1$  выделяется мощность 16 Вт. Найти показания амперметра включенного в цепь (см. рис.). Сопротивлением амперметра пренебречь.

2-43. Под конец зарядки батареи аккумуляторов током силой 5 А присоединённый к ней вольтметр показывал напряжение 6,5 В. В начале разрядки той же батареи током силой 6 А вольтметр показывал напряжение 5,2 В. Пренебрегая током, проходящим через вольтметр, определить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи.

2-44. Вольтметр, соединённый последовательно с сопротивлением 10000 Ом, показывает напряжение 75 В, а соединённый последовательно с неизвестным сопротивлением 15 В. Определить это сопротивление, если внешнее напряжение 120 В.

2-45. Генератор постоянного тока с ЭДС 130 В даёт ток в сеть, состоящую из параллельно включенных 15 ламп сопротивлением 200 Ом и 10 ламп сопротивлением 100 Ом каждая. Найти ток нагрузки и напряжение на зажимах генератора, если его внутреннее сопротивление 0,4 Ом. Сопротивлением проводов пренебречь.

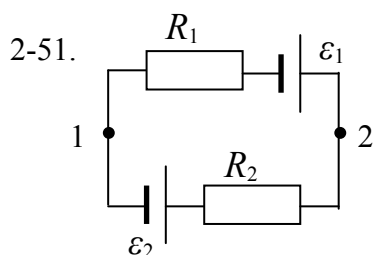
2-46. Получите условие, при котором ток, даваемый двумя соединёнными последовательно батарейками, ЭДС и внутреннее сопротивление которых равны соответственно  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  и  $r_1$ ,  $r_2$ , будет меньше тока, даваемого первым из них, если они включены на сопротивление R.

2-47. Два аккумулятора с ЭДС 1,5 В и 2 В и внутренними сопротивлениями 0,15 Ом, 0,3 Ом соединены параллельно. Определить ток в батарее и напряжение на её зажимах.

2-48. Гальванический элемент даёт на внешнем сопротивлении 6 Ом ток 0,15 А, а на сопротивлении 10 Ом ток 0,1 А. Определить ток короткого замыкания.

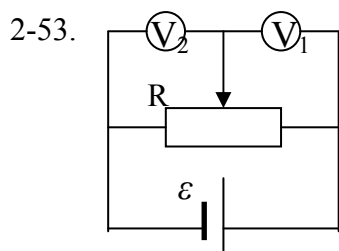
2-49. Определить ЭДС источника, если при подключении к нему двух вольтметров, соединённых последовательно, они показывают 8 и 5 В, а при подключении только первого вольтметра - 10 В.

2-50. Если к аккумулятору подключить последовательно амперметр и вольтметр, то они покажут 0,2 А и 16 В. Если приборы соединить параллельно и подключить к источнику, они покажут 1,2 А и 2 В. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора.



Найти разность потенциалов между точками 1 и 2, если  $R_1=15$  Ом,  $R_2=25$  Ом,  $\varepsilon_1=6$  В и  $\varepsilon_2=1,5$  В. Внутренними сопротивлениями источников можно пренебречь.

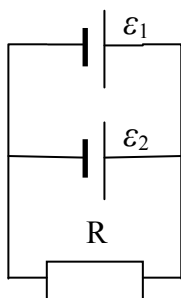
2-52. Имеется 10 элементов с ЭДС 1,2 В и внутренним сопротивлением 0,3 Ом. Как нужно соединить эти элементы, чтобы получить от батареи наибольший ток? Определить его величину.



В схеме сопротивления вольтметров 3 и 4 кОм, сопротивление потенциометра 1 кОм, источника 0,01 кОм. При каком соотношении плеч потенциометра  $U_1=2U_2$ ?

2-54. Если несколько элементов с внутренним сопротивлением  $2,4 \text{ Ом}$  соединить последовательно и замкнуть на сопротивление  $12 \text{ Ом}$ , то по цепи пойдёт ток  $0,44 \text{ А}$ . Если соединить элементы параллельно, то пойдёт ток  $0,123 \text{ А}$ . Определить максимально возможный ток во внешней цепи.

2-55.



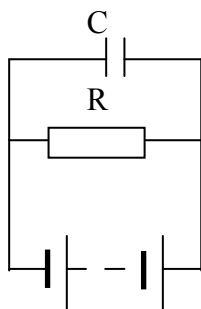
В схеме  $R = 2 \text{ Ом}$ ,  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 3,2 \text{ В}$ ,  $r_1 = 0,5$  и  $r_2 = 0,8 \text{ Ом}$ . Определить ток в каждом элементе и во всей цепи.

2-56. ЭДС генератора  $12 \text{ В}$ , внутреннее сопротивление  $0,6 \text{ Ом}$ . Определить ток в цепи, если к.п.д. элемента  $60\%$ .

2-57. Определить напряжение, которое нужно подать на катушку с  $1000$  витками медного провода, если диаметр витков  $4 \text{ см}$ , плотность тока  $3 \text{ А/мм}^2$ , а удельное электросопротивление меди  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

2-58. Динамо машина с внутренним сопротивлением  $r = 0,86 \text{ Ом}$  питает токком  $n = 50$  ламп, соединённых параллельно. Каждая имеет сопротивление  $R = 1000 \text{ Ом}$ , сопротивление всей линии  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ . Определить ЭДС машины и напряжение на её зажимах, если напряжение лампочек  $220 \text{ В}$ .

2-59.



Определить ЭДС батареи, если напряжённость электростатического поля конденсатора  $E = 1200 \text{ В/м}$ , внутреннее сопротивление батареи  $r = 0,5 \text{ Ом}$ , сопротивление  $R = 6 \text{ Ом}$ , а расстояние между пластинами конденсатора  $0,1 \text{ см}$ .

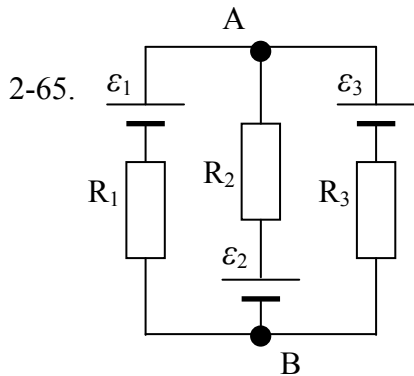
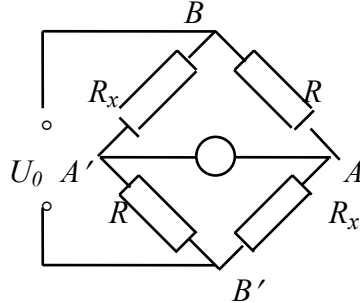
2-60. К клеммам источника с внутренним сопротивлением  $r = 1 \text{ Ом}$  подключены два параллельно соединённых сопротивления  $R_1 = 10 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ . Определить отношение токов, протекающих через первое сопротивление до и после обрыва в цепи второго сопротивления.

2-61. В цепь включены последовательно медная и стальная проволоки одинаковой длины и диаметра. Найти: а) отношение количества теплоты, выделяющихся в этих проволоках; б) отношение падений напряжения на этих проволоках.

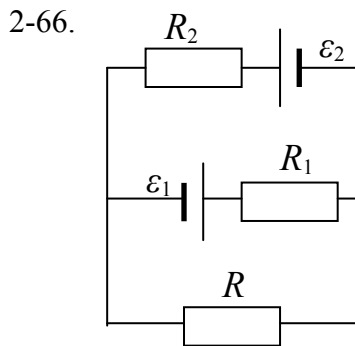
2-62. От генератора с ЭДС равной  $110 \text{ В}$  требуется передать энергию на расстояние  $l = 250 \text{ м}$ . Потребляемая мощность в сети  $P = 1 \text{ кВт}$ . Найти минимальное сечение  $S$  медных подводящих проводов, если потери мощности в сети не должны превышать  $1\%$ .

2-63. От батареи с ЭДС равной 500 В требуется передать энергию на расстояние  $L = 2,5$  км. Потребляемая мощность в сети  $P = 10$  кВт. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных проводов  $d = 1,5$  мм.

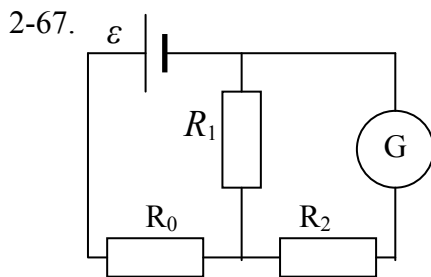
2-64. Резисторы и вольтметр включены в цепь переменного тока, как показано на рисунке. Напряжение между точками  $A$  и  $A'$  втрое меньше напряжения между точками  $B$  и  $B'$ . Найти сопротивление  $R_x$ , если сопротивление  $R$  известно.



В схеме на рис.  $\varepsilon = 3$  В,  $\varepsilon = 4$  В,  $\varepsilon = 5$  В, сопротивления  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 40$  Ом,  $R_3 = 60$  Ом. Пренебрегая внутренним сопротивлением источников, определить: 1) ток через сопротивление  $R_1$ ; 2) разность потенциалов между точками  $A$  и  $B$ .



Определить величину и направление тока через сопротивление  $R$  в схеме, если  $\varepsilon_1 = 1,7$  В,  $\varepsilon_2 = 4$  В,  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 40$  Ом и  $R = 6$  Ом. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

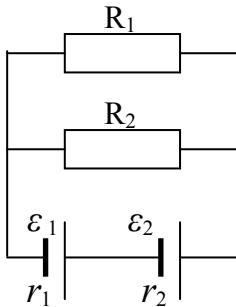


Для определения чувствительности гальванометра пользуется изображённой схемой. Определить его чувствительность, если при  $R_0 = 10^5$  Ом,  $R_1 = 50$  Ом,  $R_2 = 2 \cdot 10^5$  Ом,  $R_G = 2200$  Ом и  $\varepsilon = 1$  В, зайчик на шкале отклоняется на пять делений.

2-68. Генератор с ЭДС 120 В и внутренним сопротивлением 2,5 Ом соединён последовательно с нагревательным прибором сопротивлением 20 Ом. Вычислить ток, протекающий по цепи и заряд, прошедший по ней за 4 часа.

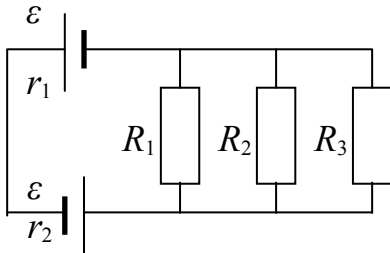
2-69. Как изменится ток во внешней цепи, сопротивление которой  $R = 4$  Ом, если десять одинаковых элементов первоначально соединить между собой последовательно, а затем параллельно? ЭДС элемента  $4$  В,  $r = 0,4$  Ом.

2-70.



Определить внутреннее сопротивление элемента  $r_1$ , если разность потенциалов на его зажимах равна нулю.  $R_1 = 6$  Ом,  $R_2 = 12$  Ом,  $r_2 = 0,8$  Ом. ЭДС элементов одинаковы.

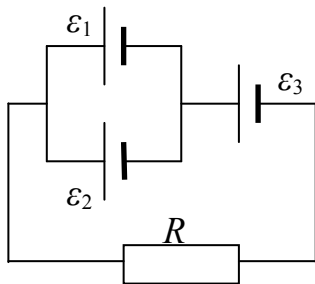
2-71.



При каком соотношении между сопротивлениями  $R_1, R_2, R_3, r_1$  и  $r_2$  разность потенциалов на зажимах одного из элементов будет равна нулю? ЭДС источников одинаковы.

2-72. Генератор постоянного тока с  $\varepsilon = 24$  В и внутренним сопротивлением  $0,4$  Ом заряжает батарею аккумуляторов с  $\varepsilon = 20$  В и внутренним сопротивлением  $0,8$  Ом. Параллельно батарее включена лампа сопротивления  $4$  Ом. Определить токи в батарее аккумуляторов и в лампочке.

2-73.

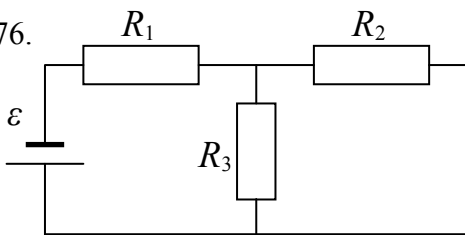


Три элемента с  $\varepsilon_1 = 1,3$  В,  $\varepsilon_2 = 1,5$  В,  $\varepsilon_3 = 2$  В,  $r_1 = r_2 = r_3 = 0,2$  Ом включены, как показано на схеме. Определить токи в элементах  $J_1, J_2, J_3$ , если сопротивление  $R = 0,55$  Ом.

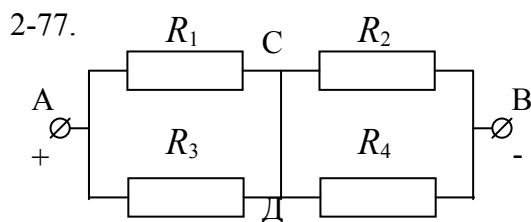
2-74. Батарея с ЭДС  $12$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1,2$  Ом питает внешнюю цепь, которая состоит из двух параллельно соединённых ламп сопротивлением  $4$  Ом и  $10$  Ом. Определить разность потенциалов на зажимах батареи и токи в лампах.

2-75. Необходимо создать ток  $16$  А в цепи с сопротивлением  $10$  Ом. Какое наименьшее количество аккумуляторов следует для этого взять, как их соединить в смешанную батарею, если  $\varepsilon = 2$  В,  $r = 0,5$  Ом для каждого аккумулятора?

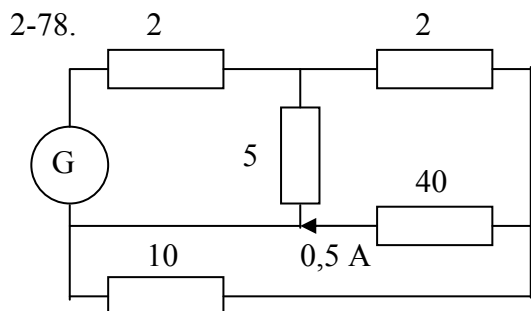
2-76.



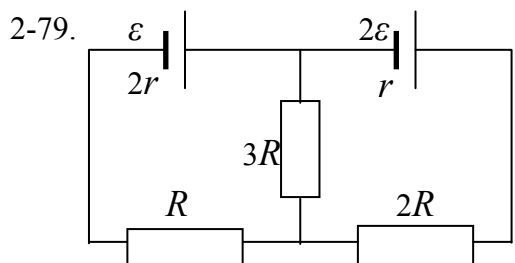
В схеме сопротивления  $R_1, R_2, R_3$  и  $J_3$  известны. Определить токи, текущие через сопротивления  $R_1, R_2$  и напряжение на батарее.



Между точками А и В цепи поддерживается постоянное напряжение 50 В. Найти ток и напряжение тока в участке СД, если  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом,  $R_3 = 6$  Ом,  $R_4 = 8$  Ом.

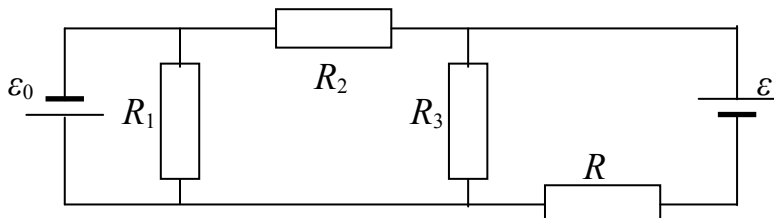


На схеме, изображённой на рисунке, указаны сопротивления в Омах и ток через одно из них. Определить токи через остальные сопротивления и напряжение генератора G.



Определить ток в сопротивлении  $3R$  в изображённой схеме.

2-80. Выразить ток через сопротивление  $R$  в схеме. Внутренними сопротивлениями источников пренебречь.



2-81. Определить работу тока на участке, не содержащем источник ЭДС и имеющем сопротивление 28 Ом, если ток за 10 с равномерно увеличился от 1 до 15 А.

2-82. Для накала нити электронной лампы необходимо напряжение 4 В и ток 0,6 А. Из-за испарения при нагревании материала нити диаметр её уменьшился на 10%. Определить ток и напряжение, которое необходимо для поддержания прежней температуры.

2-83. Сколько витков никелевой проволоки диаметром 0,1 мм надо намотать на фарфоровый цилиндр диаметра 2 см, чтобы устроить кипятильник, с помощью которого за 10 мин закипит 200 г воды с начальной температурой  $10^{\circ}\text{C}$ . Считать, что 60% электрической энергии идёт на нагревание воды, теплоёмкость воды  $4,2 \cdot 10^3$  Дж/кг·К, удельное сопротивление никеля  $0,42 \cdot 10^{-6}$  Ом·м, напряжение в сети 120 В.

2-84. Электромотор, сопротивление обмотки которого 6 Ом, подключён к генератору постоянного тока с ЭДС 240 В и внутренним сопротивлением 2 Ом. Определить к.п.д. электромотора, если через его обмотку проходит ток 8 А.

2-85. Момент сил сопротивления, действующих на вал электромотора, равен  $M$ . Мотор питается от источника с ЭДС равной  $\varepsilon$ , сопротивление всей цепи  $R$ . Определить скорость вращения вала мотора, если ток в цепи  $J$ .

2-86. В цепь батареи с ЭДС 60 В включён электромотор, потребляющий при нагрузке мощность в 10 раз большую, чем при работе вхолостую. При этом разность потенциалов на клеммах падает на 10%. Определить мощность тепловых потерь в проводящих проводах при холостом ходе, если нагрузочный ток 10 А.

2-87. При зарядке аккумулятора затрачена энергия 1 кВт·ч. При разрядке на сопротивление 10 Ом ЭДС аккумулятора равномерно убывала с 26 до 18 В за 10 часов. Определить ёмкость  $q$  аккумулятора и его к.п.д.

2-88. Свинцовая проволока диаметром  $d$  плавится при длительном пропускании тока  $J_1$ . При каком токе расплавится проволока диаметром  $2d$ . Потери теплоты проволокой пропорциональны поверхности проволоки.

2-89. Нагреватель выполнен из проволоки длиной  $l_1$ , диаметром  $d_1$  и рассчитан на напряжение  $U_1$ . Каким нужно взять длину и толщину проволоки, чтобы при напряжении  $U_2$  нагреватель потребовал ту же мощность? Теплопередача проволоки пропорциональна её поверхности.

2-90. Батарея с ЭДС равной 240 В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом замкнута на внешнее сопротивление  $R = 23$  Ом. Найти полную мощность  $P_0$ , полезную мощность  $P$  и КПД батареи.

2-91. Три одинаковые батареи подсоединяют к сопротивлению  $R = 10$  Ом, соединив их первый раз параллельно, а второй – последовательно друг с другом. При этом мощность, выделяемая на сопротивлении, во втором случае в 4 раза превышает мощность, выделяемую в первом случае. Определить внутреннее сопротивление батареи.

2-92. Две электрические лампочки включены в сеть параллельно. Сопротивление первой лампочки 360 Ом, сопротивление второй 240 Ом. Какая из лампочек поглощает большую мощность? Во сколько раз?

2-93. Электромотор постоянного тока сопротивлением  $R$  подключен к источнику с напряжением  $U$ . При каком значении тока через обмотку полезная мощность мотора максимальна? Определить её и к.п.д. мотора.

2-94. На сколько % уменьшился диаметр нити накала лампы из-за испарения, если для поддержания прежней температуры напряжение повысили на 2%? Теплопроводность нити пропорциональна площади её поверхности.

2-95. Определить мощность шести вольтовой лампочки Лодыгина, в которой использован угольный стержень в качестве нагревательного элемента, если он имеет длину 6 см, диаметр 2 мм. Удельное сопротивление угля  $7 \cdot 10^5$  Ом·м, температурный коэффициент сопротивления  $2 \cdot 10^{-4}$  град<sup>-1</sup>. Температура накала стержня 1600 °С.

2-96. Светотепловая ванна, имеющая 20 параллельно соединённых ламп накаливания сопротивлением 360 Ом каждая, включена в сеть с напряжением 220 В. Определить количество теплоты, выделившееся в ванне за 15 минут процедуры.

2-97. Через какое время в стерилизаторе с обмоткой из проволоки сопротивлением 25 Ом закипит 1 л воды с начальной температурой 18 °С. Стерилизатор подключён к сети напряжением 220 В, его к.п.д. 50%, удельная теплоёмкость воды  $4,2 \cdot 10^3$  Дж/м·К.

2-98. Две электроплитки соединены параллельно и потребляют мощность  $N$ . Какую мощность они будут потреблять, включённые последовательно, если одна из них потребляет мощность  $N_1$ ?

2-99. В старой аккумуляторной батарее, состоящей из  $n$  последовательно соединённых аккумуляторов с внутренним сопротивлением  $r$ , внутреннее сопротивление одного из них резко возросло до  $10r$ . Считая ЭДС аккумуляторов одинаковой, определить при каком сопротивлении нагрузки мощность, выделяемая на ней, не изменится при коротком замыкании повреждённого аккумулятора.

2-100. Аккумулятор подключён один раз к внешней цепи с сопротивлением  $R_1$ , а другой с  $R_2$ . Количество теплоты, выделяющееся во внешней цепи в единицу времени одинаково. Определить внутреннее сопротивление аккумулятора.

2-101. От источника напряжения 20 кВ необходимо передать на расстояние 10 км мощность 800 кВт. Допустимая потеря напряжения в проводах 1%. Определить сечение медного провода, если удельное сопротивление меди  $0,17 \cdot 10^{-7}$  Ом·м. Во сколько раз необходимо повысить напряжение источника, чтобы снизить потери мощности в 50 раз?

2-102. Как зависит мощность генератора, выделяемая на внутреннем сопротивлении  $r$ , от тока  $J$ , если напряжение генератора  $\mathcal{E}$ ? Какому сопротивлению соответствует максимальная мощность?

2-103. Какую наибольшую мощность можно получить от генератора с напряжением 200 В и внутренним сопротивлением 30 Ом? Какую мощность можно получить, если к.п.д. того же генератора 80%? Если максимально допустимый ток составляет 0,1 от тока короткого замыкания, то какую наибольшую мощность можно получить от генератора, не опасаясь его порчи?

2-104. Сопротивления стальной проволоки в два раза больше, чем медной. В которой из проволок будет выделяться больше тепла: а) при параллельном, б) при последовательном включении в цепь постоянного напряжения.



2-105. Аккумулятор замыкают один раз внешней цепью с сопротивлением  $R_1$ , другой раз  $R_2$ . При какой величине внутреннего сопротивления  $r$  количество тепла, выделяющегося во внешней цепи, одинаково в обоих случаях.

2-106. Какую ЭДС развивает генератор постоянного тока, если при сопротивлении цепи 500 Ом на вращение якоря затрачивается 80 Вт? Потери мощности на трение составляют 5%.

2-107. В цепь источника с ЭДС 60 В включён электромотор с помощью проводов сопротивлением 2 Ом. Напряжение при нагрузке мотора падает на 15% по сравнению с напряжением на холостом ходу. Во сколько раз мощность, потребляемая мотором при нагрузке, больше мощности, потребляемой на холостом ходу, если ток в цепи при нагрузке 8 А?

2-108. Электроэнергия генератора мощностью  $N_0$  передается потребителю по проводам, сопротивление которых  $R$ . Определить к.п.д. линии передачи, если ЭДС генератора равняется  $\mathcal{E}$ , а его внутренним сопротивлением можно пренебречь.

2-109. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 1 Ом подключен нагревательный прибор с сопротивлением 50 Ом. Как изменится мощность, выделяющаяся во внешней цепи, если параллельно с первым нагревателем подключить второй такой же нагреватель?

2-110. Электровоз массой 500 т движется с горы уклоном 0,01 со скоростью 36 км/ч. Какой ток протекает через мотор электровоза, если напряжение сети равняется 35 кВ, сила сопротивления движению составляет 5% от его веса, а к.п.д. равняется 80%?

### 4.3. Магнитное поле в вакууме.

3-1. По двум длинным прямолинейным проводникам текут в противоположных направлениях токи 20 и 30 А. Расстояние между проводниками 10 см. Найти напряженность магнитного поля в точке, расположенной на прямой линии, соединяющей проводники и отстоящей на 3 см от первого проводника.

3-2. Из проволоки длиной 1 м сделана квадратная рамка. По ней течет ток силой 10 А. Найти напряженность магнитного поля в центре рамки.

3-3. По двум прямолинейным проводникам, находящимся на расстоянии 10 см друг от друга в вакууме, текут соответственно токи 3 А и 2 А. Определить точки пространства, окружающего проводники, в которых магнитное поле отсутствует при одинаковом направлении токов.

3-4. Из проволоки длиной 3 м сделана рамка, представляющая собой равносторонний треугольник. По ней течет ток 5 А. Найти напряженность магнитного поля в точке пересечения биссектрис этой треугольной рамки.

3-5. Найти напряженность магнитного поля в центре симметрии контура, представляющего собой правильный шестиугольник, если по нему течет ток силой 1 А. Длина стороны равняется 1 м.

3-6. Найти напряженность магнитного поля в центре полукольца, соединенного своими концами с двумя полу бесконечными параллельными проводниками. Расстояние между проводниками равняется 1 м и по ним течет ток силой 1 А. Все проводники лежат в одной плоскости.

3-7. Найти напряженность магнитного поля на расстоянии 1 м от бесконечно прямого провода, по которому течет ток силой 1 А.

3-8. По каждому из двух соосных колец радиусом  $R = 10$  см, находящихся на расстоянии 20 см друг от друга, в одном и том же направлении течет ток силой 1 А. Определить напряженность магнитного поля на оси колец в точке, находящейся на равном расстоянии от каждого из них.

3-9. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка с током 1000 А/м. Радиус витка равен 3 см. Найти напряженность магнитного поля на оси витка в точке, удаленной на расстоянии 4 см от его плоскости.

3-10. Бесконечно длинный провод образует круговой виток, касательный к проводу. По проводнику течет ток силой 5 А. Радиус витка 20 см. Найти напряженность поля в центре образованного кольца.

3-11. По проволочной рамке, имеющей форму правильного шестиугольника, течет ток силой 2 А. Напряженность магнитного поля в центре рамки  $H = 33$  А/м. Найти длину проволоки, из которой сделана рамка.

3-12. Бесконечно длинный провод образует круговой виток, касательный к проводу. По проводу течет ток  $I = 5$  А. Найти радиус витка, если напряженность магнитного поля в центре витка  $H = 41$  А/м.

3-13. Катушка длиной 30 см имеет 1000 витков. Найти напряженность магнитного поля внутри катушки, если по ней проходит ток силой 2 А. Диаметр катушки считать малым по сравнению с ее длиной.

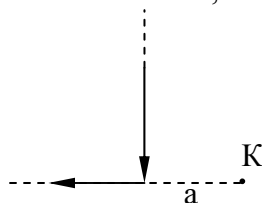
3-14. По трем бесконечно длинным прямым проводникам, расположенным в одной плоскости параллельно друг другу на расстоянии 5 см, текут токи  $I_1 = I_2$  и  $I_3 = -(I_1 - I_2)$ . Определить положение прямой, на которой напряженность поля, создаваемая токами, равна нулю.

3-15. По длинному проводу сверху вниз течет ток силой 10 А. Определить точку, в которой вектор напряженности магнитного поля, получающегося от сложения поля тока и земного поля, имеет вертикальное направление. Горизонтальная составляющая земного магнитного поля 16 А/м.

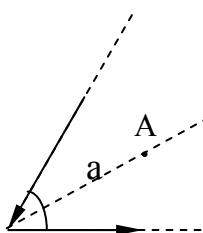
3-16. По двум бесконечно длинным проводам, расположенным параллельно друг другу на расстоянии 8 см, в одном направлении текут токи 15 А и 20 А. Определить напря-

женность магнитного поля в точке, отстоящей от первого провода на расстоянии 4 см, а от второго на расстоянии 10 см.

3-17. По длинному прямому проводу, согнутому под прямым углом, течет ток силой 18 А. Определить напряженность поля в точке К, если величина  $a$  равняется 4 см.



3-18. Ток силой 25 А течет по длинному прямому проводу, согнутому под углом  $60^\circ$ . Определить напряженность магнитного поля в точке А, находящейся на биссектрисе угла на расстоянии  $a=60$  см от его вершины.



3-19. Определить напряженность магнитного поля в центре прямоугольного контура, по которому течет ток силой 10 А. Стороны контура равны соответственно 20 см и 16 см.

3-20. Определить напряженность магнитного поля в вершине правильного тетраэдра. Магнитное поле создается током 7 А, текущему по замкнутому контуру в форме правильного треугольника со стороной 10 см. Для тетраэдра этот треугольник служит основанием.

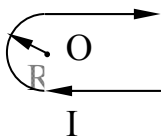
3-21. По проводнику, согнутому в форме кольца радиусом 8 см течет ток силой 10 А. Найти напряженность магнитного поля в центре кольца.

3-22. Четыре длинных прямых параллельных проводника проходят через вершины квадрата со стороной 20 см, перпендикулярно его плоскости. По каждому из них течет ток силой 8 А. При этом по трем проводникам ток течет в одном направлении, а по четвертому в противоположном. Определить индукцию магнитного поля в центре квадрата.

3-23. Длинный прямой провод имеет виток радиуса 10 см. По проводнику течет ток 5 А. Определить индукцию магнитного поля в центре витка и в точке, лежащей на его оси, на расстоянии 20 см от центра.

3-24. Определить индукцию магнитного поля в центре контура в форме прямоугольника с диагональю 12 см. Угол между диагоналями прямоугольника равен  $30^\circ$ . Ток в контуре 4 А.

3-25. Определить индукцию магнитного поля в точке  $O$ , если проводник с током  $I$  имеет вид, указанный на рисунке. Радиус изогнутой части  $R$ , а прямолинейные участки



проводника бесконечной длины.

3-26. Между полюсами электромагнита в горизонтальном магнитном поле находится проводник длиной  $0,5$  м, расположенный перпендикулярно линиям магнитной индукции поля. Определить ток, текущий через проводник, если он висит горизонтально, не падая. Индукция магнитного поля  $0,01$  Тл. Масса проводника  $1$  кг.

3-27. Между полюсами магнита на двух тонких проволочках подвешен горизонтально линейный проводник массой  $1$  кг и длиной  $15$  см. Индукция магнитного поля магнита направлена вертикально вверх и равна  $0,25$  Тл. На какой угол от вертикали отклонятся проволочки, если по проводнику пропустить ток  $5$  А?

3-28. По кольцу диаметром  $40$  мм выполненному из медной проволоки сечением  $1$  мм<sup>2</sup>, течет ток  $0,1$  А. Кольцо находится в однородном магнитном поле и его ось совпадает с направлением поля. Определить максимальное значение индукции магнитного поля, при котором кольцо не разорвется. Медь выдерживает нагрузку на разрыв  $2,3 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>.

3-29. По тонкому кольцу массой  $m$  и радиусом  $R$  течет ток  $I$ . Кольцо расположено горизонтально в вертикальном магнитном поле и находится в равновесии. Определить градиент магнитного поля в области кольца.

3-30. По соленоиду длиной  $0,5$  м, имеющему  $500$  витков, течет ток силой  $10$  А. Определить циркуляцию вектора магнитной индукции вдоль замкнутого контура, совпадающего с одной из линий магнитной индукции.

3-31. Определить циркуляцию вектора магнитной индукции вдоль контура, который охватывает токи  $10$  А и  $12$  А, текущие в одном направлении, и ток  $18$  А, текущий в противоположном направлении.

3-32. По проводнику течет ток плотностью  $100$  А/м<sup>2</sup>. Определить циркуляцию вектора напряженности вдоль окружности радиусом  $3$  мм, которая расположена внутри проводника и ориентирована так, что ее плоскость составляет угол  $30^\circ$  с вектором плотности тока.

3-33. По обмотке тороида с диаметром средней линии  $20$  см течет ток  $3$  А. Сечение тороида - круг радиусом  $3$  см. Определить максимальное и минимальное значение магнитной индукции в тороиде.

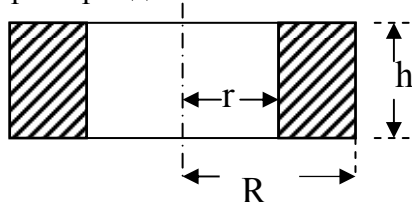
3-34. Определить индукцию и напряженность магнитного поля на оси тороида, по обмотке которого, содержащей  $500$  витков, течет ток силой  $3$  А. Внешний диаметр тороида  $50$  см, внутренний –  $40$  см. Сердечник отсутствует.

3-35. Соленоид длиной  $0,75$  м и сечением  $20$  см<sup>2</sup> имеет  $1500$  витков. Вычислить потокосцепление, если по соленоиду течет ток силой  $8$  А.

3-36. По соленоиду, число витков на единицу длины которого  $800 \text{ м}^{-1}$ , течет ток  $5 \text{ А}$ . Плоскость витков соленоида составляет угол  $30^\circ$  к оси соленоида. Определить индукцию магнитного поля внутри соленоида.

3-37. По длинному соленоиду, имеющему  $3000$  витков на единицу длины, течет ток  $0,15 \text{ А}$ . Ось соленоида установлена горизонтально в плоскости магнитного меридиана. Период колебаний маленькой магнитной стрелки, помещенной на упругом подвесе внутри соленоида вдоль его оси равен  $0,2 \text{ с}$ . Если ток в соленоиде отключить, то период колебаний стрелки станет равным  $0,4 \text{ с}$ . Определить по этим данным горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли.

3-38. Тороид с прямоугольным поперечным сечением ( $h = 0,5 \text{ см}$ ,  $R = 7 \text{ см}$ ,  $r = 4 \text{ см}$ ) имеет  $500$  витков. Определить, во сколько раз максимальная индукция магнитного поля внутри тороида больше минимальной, если по его виткам течет ток  $3 \text{ А}$ .



3-39. Определить магнитный поток в соленоиде при силе тока  $5 \text{ А}$ . Сечение соленоида прямоугольной формы и имеет те же размеры, что и тороид предыдущей задачи.

3-40. Обмоткой очень длинного соленоида радиусом сечения  $5 \text{ см}$  является тонкая лента-проводник шириной  $2 \text{ см}$ , намотанная в один слой вплотную. По ленте течет ток  $6 \text{ А}$ . Определить индукцию магнитного поля внутри и вне соленоида как функцию расстояния от его оси.

3-41. На деревянный сердечник тороида небольшого поперечного сечения намотано  $3 \cdot 10^3$  витков провода, по которому течет ток силой  $5 \text{ А}$ . Найти индукцию магнитного поля внутри тороида.

3-42. По медному проводу сечением радиуса  $10 \text{ мм}$  течет ток  $200 \text{ А}$ . Определить напряженность магнитного поля внутри провода в точке, отстоящей на расстоянии  $4 \text{ мм}$  от оси провода.

3-43. Найти магнитный поток через прямоугольное поперечное сечение тороида, если ток в его обмотке  $2 \text{ А}$ , число витков равняется  $1000$ , толщина (высота) тора  $10 \text{ см}$ , а отношение внешнего диаметра к внутреннему равно  $2$ .

3-44. Определить магнитный момент тонкого кругового витка с током, если радиус витка  $80 \text{ мм}$ , индукция магнитного поля в его центре  $6 \text{ мкТл}$ .

3-45. Вычислить магнитный момент тонкого проводника с током в  $1 \text{ А}$ , плотно намотанного на половину тора. Диаметр сечения тора  $4 \text{ см}$ . Число витков равняется  $200$ .

3-46. По прямому проводу, расположенному между полюсами электромагнита, течет ток  $500 \text{ А}$ . С какой силой действует магнитное поле на единицу длины провода, если он

расположен под углом  $30^0$  к силовым линиям поля, а индукция магнитного поля равняется  $0,5$  Тл?

3-47. По двум прямолинейным проводникам длиной  $0,5$  м каждый, текут одинаковые токи в одном направлении. Определить величину этих токов, если расстояние между проводниками  $2$  см, а сила их взаимодействия равняется  $10^{-2}$  Н.

3-48. По трем прямым параллельным проводникам, находящихся на одинаковом расстоянии в  $8$  см друг от друга, текут токи по  $10$  А. При этом по двум проводникам токи текут в одном направлении. Вычислить силу, действующую на единицу длины каждого проводника.

3-49. Шины генератора представляют собой параллельные медные полосы длиной  $2$  м, находящихся на расстоянии  $40$  см от его оси. При коротком замыкании по ним может пройти ток до  $10000$  А. С какой силой взаимодействуют шины? Изменится ли ответ, если шины сделать железными?

3-50. Соленоид длиной  $70$  см имеет три слоя обмотки по  $150$  витков в каждом слое. Определить ток, питающий соленоид, если напряженность поля внутри соленоида равняется  $6 \cdot 10^3$  А/м.

3-51. Квадратная рамка, выполненная из тонкой проволоки, подвешена на неупругой нити. Определить период колебаний рамки в магнитной поле индукции  $0,02$  Тл, если по ней пропущен ток  $3$  А.

3-52. Рамка гальванометра размером  $4 \cdot 1,5$  см<sup>2</sup> содержит  $200$  витков и находится в магнитном поле индукции  $0,05$  Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Вычислить вращающий момент, действующий на рамку, если по ней течет ток  $0,2$  А.

3-53. По длинному соленоиду, имеющему  $50$  витков на  $1$  см длины, течет ток  $5$  А. Определить индукцию поля внутри соленоида и в центре одного из его оснований.

3-54. Диаметр витков соленоида в  $3$  раза больше длины его оси. Число витков, находящихся на  $1$  см, равняется  $300$ . Определить индукцию магнитного поля внутри соленоида и в центре одного из его оснований, если по обмотке соленоида течет ток  $1$  А.

3-55. Найти силу взаимодействия двух катушек с магнитными моментами  $5 \text{ мА} \cdot \text{м}^2$  и  $8 \text{ мА} \cdot \text{м}^2$ , если их оси лежат на одной прямой, а расстояние между катушками значительно превышает их линейные размеры и равно  $25$  см.

3-56. Железное кольцо имеет разрез. Величина воздушного зазора равняется  $8$  мм. Длина средней линии кольца  $1,2$  м. Определить число витков, содержащихся в обмотке кольца, если при силе тока  $5$  А индукция магнитного поля в воздушном зазоре составляет  $0,6$  Тл. Рассеиванием магнитного потока в зазоре можно пренебречь.

3-57. Вычислить циркуляцию вектора магнитной индукции вдоль контура, охватывающего токи  $3$  А и  $5$  А, текущие в одном направлении, и токи  $4$  А и  $8$  А, текущие в противоположном направлении.

3-58. Прямолинейный проводник длиной 1 м, по которому течет ток 5 А, перемещается в магнитном поле с напряженностью  $1,6 \cdot 10^3$  А/м перпендикулярно его силовым линиям. Определить работу по перемещению проводника в течение 1 мин.

3-59. Вычислить работу необходимую для поворота рамки с током 5 А и площадью  $600 \text{ см}^2$  в однородном внешнем магнитном поле, индукция которого 1 Тл из положения рамки вдоль поля до положения, перпендикулярного полю.

3-60. Два параллельных прямолинейных проводника находятся на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут токи соответственно силой 20 А и 30 А в одном направлении. Какую работу надо совершить (на единицу длины проводника), чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния 20 см?

3-61. Два параллельных прямолинейных проводника находятся на расстоянии 10 см друг от друга. По ним течет ток силой 20 А в одном направлении. Какую работу надо совершить (на единицу длины проводника), чтобы раздвинуть проводники до расстояния 20 см?

3-62. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на некотором расстоянии друг от друга. По проводникам текут токи, равные по величине и одинаковые по направлению. Найти силу тока, текущего по каждому из проводников, если известно, что для того, чтобы раздвинуть эти проводники на вдвое большее расстояние, пришлось совершить работу  $6 \cdot 10^{-5}$  Дж на единицу длины проводника.

3-63. По длинному прямому проводу течет ток  $J_1$ . В одной плоскости с проводом находится квадратная рамка с током  $J_2$ . Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть рамку вокруг оси на  $90^\circ$ ? на  $180^\circ$ ?

3-64. В однородном магнитном поле с индукцией 0,05 Тл находится прямой проводник с током 3 А и длиной 15 см, расположенный перпендикулярно линиям индукции. Определить работу поля по перемещению проводника на расстояние 8 см.

3-65. Плоский контур площадью  $500 \text{ см}^2$  находится в однородном магнитном поле индукции 0,02 Тл. Плоскость контура перпендикулярна линиям индукции поля. Определить работу внешних сил по перемещению контура с током 8 А в область пространства, где магнитное поле отсутствует.

3-66. По квадратному контуру со стороной 15 см течет ток 10 А. Плоскость контура составляет угол  $30^\circ$  с линиями индукции магнитного поля, величина которого 0,08 Тл. Определить работу, необходимую для удаления контура за пределы поля.

3-67. По кольцевому проводнику радиусом 20 см течет ток 20 А. Перпендикулярно кольцу возбуждено магнитное поле с индукцией 0,2 Тл. Собственное магнитное поле кольца и внешнее поле совпадают по величине. Определить работу внешних сил, которые деформировали контур и придали ему форму квадрата.

3-68. Виток провода диаметром 30 см свободно установился в однородном магнитном поле, индукция которого 0,06 Тл. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть виток на угол  $\pi/2$  и на угол  $2 \cdot \pi$ .

3-69. Ось катушки, содержащей 800 витков диаметром 10 см, расположена параллельно земному магнитному меридиану. Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли равняется 16 А/м. Определить работу, которую нужно совершить, чтобы повернуть катушку на  $180^0$ . Ток в катушке 1 А.

3-70. Из проволоки длиной 40 см сделан квадратный контур, по которому течет ток в 2 А. Найти работу, которую нужно совершить, чтобы повернуть этот контур в магнитном поле с индукцией  $B = 0,2$  Тл на  $45^0$  от положения равновесия.

3-71. Из проволоки длиной 20 см сделан круговой контур. По контуру течет ток в 1 А. Найти работу, которую нужно совершить, чтобы повернуть этот контур в магнитном поле  $B = 0,1$  Тл от положения равновесия на 30 градусов.

3-72. Прямолинейный проводник длиной 40 см находится в магнитном поле с индукцией 0,5 Тл под углом  $60^0$  к линиям индукции. Определить работу, которую совершает магнитное поле, если по проводнику течет ток 10 А и он переместился на 50 см.

3-73. В магнитном поле электромагнита индукции 0,2 Тл находится прямоугольная рамка размером  $6 \times 4$  см<sup>2</sup>, по которой течет ток 3 А. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть рамку на  $60^0$  из положения равновесия.

3-74. Два прямолинейных проводника параллельны друг другу. По ним текут токи в противоположных направлениях соответственно 5 А и 8 А. Проводники находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Определить работу, необходимую для того, чтобы раздвинуть их до расстояния 25 см друг от друга.

3-75. Из проводящей проволоки длиной 60 см сделали круговой контур, по которому пропустили ток 0,5 А и поместили в магнитное поле индукции 0,25 Тл. Определить работу, необходимую для поворота контура на  $45^0$ .

3-76. Определить мощность, необходимую для поворота рамки с током в 3 А и площадью 100 см<sup>2</sup> в однородном магнитном поле индукции 0,4 Тл за 0,25 с из положения вдоль поля до положения перпендикулярного полю.

3-77. Квадратная рамка с током 1 А расположена в одной плоскости с длинным прямым проводником с током 6 А. Сторона рамки 4 см, а проходящая через середины противоположных сторон ось рамки параллельна проводу и отстоит от него на расстоянии в 2 раза большем стороны рамки. Определить момент сил, действующих на рамку, и механическую работу, которую нужно совершить, чтобы повернуть рамку вокруг оси на  $180^0$ .

3-78. В пространстве между двумя параллельными плоскостями с током создается однородное магнитное поле индукции  $B$ . Вне этой области магнитное поле отсутствует. Определить силу, действующую на единицу длины поверхности каждой пластины.

3-79. Медный провод сечением 3,5 мм<sup>2</sup> согнут в форме квадрата, и может поворачиваться вокруг горизонтальной оси, проходящей через одну из его сторон. Определить индукцию вертикального магнитного поля, если при пропускании тока 10 А рамка повернулась на  $30^0$ .



3-80. Пружина длиной  $L$  и радиусом  $r$  ( $r \ll L$ ) имеет  $N$  витков. Коэффициент упругости пружины  $k$  и к ней подвешен груз массой  $m$ . Определить смещение груза, если по пружине пропускается ток  $J$ .

3-81. В вертикальном магнитном поле индукции  $0,3$  Тл на двух тонких нитях расположен горизонтально проводник массой  $0,2$  кг и длиной  $0,8$  м. Определить угол, на который отклоняются от вертикали нити подвеса, если по проводнику течет ток  $5$  А.

3-82. Квадратная рамка с током расположена так, что может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из сторон. Рамка находится в вертикальном магнитном поле с индукцией  $B$ . Угол наклона рамки к горизонту  $\alpha$ , масса  $m$ , длина стороны  $a$ . Определить ток в рамке и ее магнитный момент.

3-83. Катушка с током  $J$  вертикально стоит на непроводящей плоскости. Масса катушки  $m$ , радиус  $R$ , число витков  $N$ . Определить индукцию однородного магнитного поля направленного горизонтально, под действием которого катушка опрокидывается.

3-84. Проводящее кольцо с током  $J$  поместили в магнитное поле перпендикулярное его плоскости. Радиус кольца  $R$  и оно выдерживает на разрыв нагрузку  $F$ . Определить индукцию магнитного поля, при котором кольцо разорвется. Магнитным полем тока  $J$  пренебречь.

3-85. В центре длинного соленоида расположена маленькая плоская рамка из  $30$  витков площадью  $10^{-4}$  м<sup>2</sup> каждый. По рамке течет ток силой  $1$  А того же направления, что и ток в соленоиде. Ток в соленоиде  $4$  А, плотность намотки  $5000$  витков/м. Какую работу против сил магнитного поля нужно совершить, чтобы переместить рамку в середину основания соленоида? Плоскость рамки перпендикулярна оси соленоида.

3-86. Определить мощность, необходимую для перемещения проводника длиной  $30$  см со скоростью  $8$  м/с в поле с индукцией  $0,1$  Тл. По проводнику течет ток  $12$  А, и он движется перпендикулярно силовым линиям поля.

#### 4.4. Движение заряженных частиц в магнитных и электрических полях.

4-1. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $1000$  В, влетает в однородное магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны его скорости. Индукция магнитного поля равна  $1,19 \cdot 10^{-3}$  Тл. Найти радиус кривизны траектории электрона.

4-2. Электрон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно его силовым линиям. Скорость электрона  $4 \cdot 10^7$  м/с. Индукция магнитного поля  $10^{-3}$  Тл. Чему равны тангенциальное и нормальное ускорение электрона в этом случае?

4-3. Протон и электрон, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории электрона?

- 4-4. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью  $10^6$  м/с. Индукция магнитного поля 0,3 Тл. Радиус окружности 4 см. Найти заряд частицы, если известно, что ее энергия 12 кэВ.
- 4-5. Силовые линии магнитного поля, индукция которого 0,05 Тл, перпендикулярны силовым линиям электрического поля, напряженность которого 100 В/м. Скорость пучка электронов перпендикулярна плоскости расположения векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ . Найти скорость электронов, если при одновременном действии обоих полей пучок электронов не испытывает отклонения.
- 4-6. Электрон влетает в плоский воздушный конденсатор, расположенный горизонтально, параллельно его пластинам со скоростью  $10^7$  м/с. Длина конденсатора 5 см, напряженность электрического поля 100 В/см. При вылете из конденсатора электрон попадает в магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны силовым линиям электрического поля. Индукция магнитного поля  $10^{-2}$  Тл. Найти радиус и шаг винтовой траектории электрона в магнитном поле.
- 4-7. Протон влетает в магнитное поле под углом 30 градусов к направлению поля и движется по спирали, радиус которой равен 1,5 см. Индукция магнитного поля 0,1 Тл. Найти кинетическую энергию протона.
- 4-8. Электрон влетает в магнитное поле с индукцией  $B = 10^{-3}$  Тл под углом  $\alpha = 30^\circ$  к его силовым линиям со скоростью  $V = 3 \cdot 10^7$  м/с. Найти шаг спирали, по которой будет двигаться электрон.
- 4-9. Найти период обращения протона в магнитном поле с индукцией  $B = 6,55 \cdot 10^{-4}$  Тл.
- 4-10. Протон, ускоренный разностью потенциалов 50 кВ, влетает в магнитное поле с индукцией  $B = 3,23 \cdot 10^{-2}$  Тл. Скорость частицы направлена перпендикулярно силовым линиям поля. Найти радиус кривизны траектории его движения в магнитном поле.
- 4-11. Пучок атомов натрия (масса атома  $3,84 \cdot 10^{-26}$  кг) влетает в неоднородное магнитное поле со скоростью  $10^5$  м/с направленной перпендикулярно вектору магнитной индукции и градиенту поля  $\delta B/\delta x = 4$  Тл/м. Пролетев в начальном направлении расстояние  $Y_0 = 2$  м, пучок сместился в направлении поля на расстояние  $X_0 = 2$  мм. Определить магнитный момент атома натрия.
- 4-12. Два электрона движутся с одинаковыми по модулю скоростями  $v$  в однородном магнитном поле. В какой-то момент расстояние между ними равняется  $2R$ , а скорости электронов перпендикулярны магнитному полю и прямой, соединяющей электроны. При какой индукции магнитного поля расстояние между электронами останется неизменным?
- 4-13. Поток электронов ускоряется электрическим полем с разностью потенциалов 300 В. Определить напряженность магнитного поля в вакууме, если сила, действующая на электрон, равна  $4,1 \cdot 10^{-12}$  Н.
- 4-14. Поток протонов, ускоренных разностью потенциалов  $2 \cdot 10^6$  В, влетает в однородное магнитное поле с напряженностью  $1,6 \cdot 10^6$  А/м. Скорость частиц перпендику-

лярна направлению магнитного поля. Определить силу, действующую на каждый протон.

4-15. В однородное магнитное поле влетает  $\alpha$  - частица с энергией 600 эВ. Определить силу, действующую на нее, если индукция магнитного поля равна 0,2 Тл и перпендикулярна направлению скорости частицы.

4-16. Из точки А, лежащей на оси прямого соленоида, вылетает электрон со скоростью  $v$  под углом  $\alpha$  к его оси. Индукция магнитного поля  $B$ . Найти расстояние от оси до точки попадания электрона на экран, расположенный перпендикулярно оси на расстоянии  $L$  от точки А.

4-17. В длинной трубке, содержащей ионизированный водород, вдоль ее оси движутся электроны со скоростью  $10^5$  м/с, образуя цилиндрический пучок диаметром 60 см. Ток пучка равен  $10^4$  А. Определить величину и направление силы, действующей на каждый электрон на боковой поверхности пучка.

4-18. Спираль, по которой движется протон в однородном магнитном поле индукции  $B$ , имеет диаметр  $d$  и шаг  $h$ . Определить скорость протона.

4-19.  $\alpha$  - частица движется в однородном магнитном поле индукции 1,5 Тл по окружности радиусом 50 см в плоскости, направленной под углом  $45^\circ$  к силовым линиям поля. Определить скорость и кинетическую энергию частицы.

4-20. В области пространства создано однородное электрическое поле напряженностью 1 МВ/м и однородное магнитное поле индукции  $10^{-2}$  Тл. Вектор напряженности электрического поля перпендикулярен вектору индукции магнитного поля. Перпендикулярно обоим векторам движется не отклоняясь пучок мюонов. Определить скорость частиц.

4-21. Как относятся радиусы траекторий двух электронов с кинетическими энергиями  $W_1$  и  $W_2$ , если однородное магнитное поле перпендикулярно их скоростям?

4-22. С помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле индукции  $B$ , наблюдают упругое рассеивание  $\alpha$  - частиц на ядрах дейтерия. Определить начальную энергию  $\alpha$  - частицы, если радиус кривизны начальных участков траектории ядра и  $\alpha$  - частицы после рассеивания равен  $R$ . Обе траектории лежат в плоскости, перпендикулярной индукции магнитного поля.

4-23. Протон влетает со скоростью  $10^4$  м/с в область пространства, в которой создано электрическое поле напряженностью 200 В/м и магнитное поле индукции 0,04 Тл, совпадающие по направлению. Определить ускорение протона в начальный момент движения в полях, если направление скорости - 1) совпадает с направлением полей; 2) перпендикулярно ему.

4-24. Для получения высоких температур, необходимых для осуществления термоядерной реакции, используют магнитную термоизоляцию. Уход частиц из зоны высокой температуры предотвращается магнитным полем. Определить ток в столбе газового разряда радиусом 3 см, необходимого для того, чтобы электроны, имеющие среднюю

скорость хаотического движения при температуре  $10^6$  К, не могли удалиться от поверхности столба на расстояние более чем 0,3 мм.

4-25. Алюминиевая пластина сечением  $X \cdot Y$  помещена в магнитное поле индукции 0,6 Тл, перпендикулярной ребру  $Y$  и направлению тока в 4 А. Определить возникающую поперечную разность потенциалов, если толщина пластины  $X = 0,2$  мм, а концентрация электронов проводимости равна концентрации атомов.

4-26. При изучении эффекта Холла в натриевом проводнике напряженность поперечного электрического поля оказалась равной  $5 \cdot 10^{-6}$  В/м, а индукция магнитного поля 1 Тл при плотности тока  $200$  А/см<sup>2</sup>. Определить концентрацию электронов проводимости и ее отношение к концентрации атомов в данном проводнике.

4-27. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов  $U$ , влетает в однородное магнитное поле созданное соленоидом длиной  $L$  с числом витков  $N$ , под углом  $\alpha$  к направлению индукции поля. Определить минимальную силу тока в соленоиде, при которой электрон пересечет ось соленоида дважды.

4-28. Однородное электрическое ( $5$  В/см) и магнитное поля ( $0,2$ Тл) взаимно перпендикулярны. Определить величину и направление скорости электрона, чтобы его траектория была прямолинейна.

4-29. Ток силой 1 А, протекая по кольцу из медной проволоки сечением  $S = 1,0$  мм<sup>2</sup>, создает в центре кольца магнитное поле с напряженностью  $H = 178$  А/м. Какая разность потенциалов  $U$  приложена к концам проволоки, образующей кольцо?

#### 4.5. Электромагнитная индукция.

5-1. Круговой проволочный виток площадью  $S = 0,01$  м<sup>2</sup> находится в однородном магнитном поле, индукция которого  $B = 1$  Тл. Плоскость витка перпендикулярна силовым линиям магнитного поля. Найти среднюю ЭДС индукции, возникающую в витке при выключении поля в течение времени  $t = 10$  мс.

5-2. В однородном магнитном поле, индукция которого  $B = 0,1$  Тл, равномерно вращается катушка, состоящая из  $N = 100$  витков проволоки. Частота вращения катушки  $n = 5$  с<sup>-1</sup>; площадь поперечного сечения  $S = 0,01$  м<sup>2</sup>. Ось вращения перпендикулярна к оси катушки и направлению магнитного поля. Найти максимальное значение ЭДС индукции во вращающейся катушке.

5-3. Горизонтальный стержень длиной 1 м вращается в магнитном поле с индукцией  $B = 50$  мкТл вокруг вертикальной оси, проходящей через один из его концов. Ось вращения параллельна силовым линиям магнитного поля. При какой частоте вращения стержня разность потенциалов на концах этого стержня равна 1 мВ?

5-4. На соленоид длиной  $L = 20$  см и площадью поперечного сечения  $30$  см<sup>2</sup> надет проволочный виток. Обмотка соленоида имеет 320 витков и по ней течет ток силой 3 А.

Какая средняя ЭДС индуцируется в надетом на соленоид витке, когда ток в соленоиде выключается в течение времени 1 мс?

5-5. Какая средняя ЭДС индуцируется в витке, если соленоид, рассмотренный в предыдущей задаче, имеет железный сердечник?

5-6. На соленоид длиной 144 см и диаметром 5 см надет проволочный виток. Обмотка соленоида имеет 2000 витков, и по ней течет ток 2 А. Соленоид имеет железный сердечник. Какая средняя ЭДС индуцируется в надетом на соленоид витке, если ток в соленоиде выключается в течение времени 2 мс?

5-7. В однородном магнитном поле, индукция которого 0,1 Тл, вращается катушка, состоящая из 200 витков. Ось вращения катушки перпендикулярна к ее оси и к направлению магнитного поля. Период обращения катушки 0,2 с. Площадь поперечного сечения 4 см<sup>2</sup>. Найти максимальную ЭДС индукции во вращающейся катушке.

5-8. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,2$  Тл в плоскости, перпендикулярной  $B$ , равномерно вращается стержень длиной 10 см с частотой  $8 \text{ с}^{-1}$ . Ось вращения перпендикулярна стержню и проходит через один из его концов. Определить возникающее на концах стержня напряжение.

5-9. Самолет, имеющий размах крыльев 30 м, летит горизонтально со скоростью 600 км/ч. Определить разность потенциалов на концах крыльев, если вертикальная составляющая магнитного поля Земли равна 40 А/м.

5-10. В однородном магнитном поле, индукция которого 0,8 Тл, равномерно вращается рамка с угловой скоростью 15 рад/с. Площадь рамки 150 см<sup>2</sup>. Ось вращения находится в плоскости рамки и составляет 30° с направлением силовых линий магнитного поля. Найти максимальное значение ЭДС индукции во вращающейся рамке.

5-11. Круговой контур, радиус которого 2 см, помещен в однородное магнитное поле, индукция которого 0,2 Тл. Плоскость контура перпендикулярна направлению магнитного поля, сопротивление контура 1 Ом. Какое количество электричества протечет через катушку при повороте ее на 90°?

5-12. В магнитное поле, индукция которого равна 0,1 Тл, помещена квадратная рамка из медной проволоки. Площадь поперечного сечения проволоки 1 мм<sup>2</sup>. Нормаль к плоскости рамки направлена по силовым линиям поля. Какое количество электричества пройдет по контуру рамки при выключении поля, если длина проволоки 1 м?

5-13. Катушка из 200 витков с площадью поперечного сечения 200 см<sup>2</sup> вращается в магнитном поле с индукцией 0,5 Тл, так что ось ее вращения параллельна силовым линиям поля и перпендикулярна оси катушки. Частота вращения катушки 50 Гц. Найти амплитуду индуцированной ЭДС.

5-14. Круговой контур радиусом 4 см помещен в однородное магнитное поле, индукция которого 0,1 Тл. Плоскость контура перпендикулярна направлению магнитного поля. Сопротивление контура 1 Ом. Какое количество электричества пройдет через катушку при выключении поля?

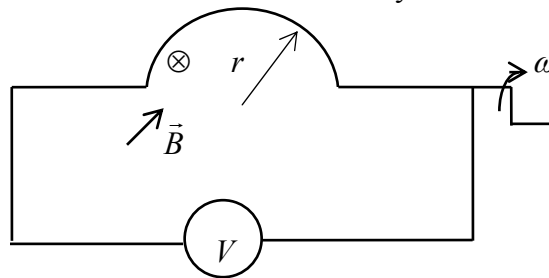
5-15. Соленоид диаметром 6 см поворачивается в магнитном поле индукции 1 Тл на  $180^\circ$  за 0,05 с. Определить ЭДС индукции, возникающую в соленоиде, если он имеет 100 витков.

5-16. Электромагнит создает между двумя квадратными полюсными наконечниками, площади которых по  $100 \text{ см}^2$ , однородное поле индукции 0,8 Тл. С какой наименьшей скоростью надо перемещать проводник перпендикулярно полю, чтобы возбудить в нем ЭДС индукции 1,5 В?

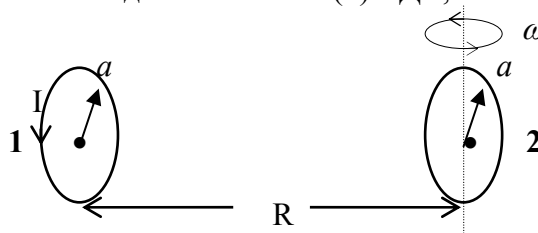
5-17. Рамка площадью  $200 \text{ см}^2$ , расположенная перпендикулярно магнитному полю, имеет 100 витков, сопротивление ее 5 Ом, индукция магнитного поля 0,08 Тл. Какой заряд индуцируется в рамке, если ее вынести из поля?

5-18. Виток радиусом 5 см расположен перпендикулярно магнитному полю напряженности  $5 \cdot 10^5 \text{ А/м}$ . Определить сопротивление витка, если при исчезновении поля через виток проходит заряд 1 мКл.

5-19. Жесткий провод, согнутый в полукруг радиуса  $r$ , вращается с угловой скоростью  $\omega$  в однородном магнитном поле  $B$ , перпендикулярном оси вращения. Определите напряжение и силу тока, наведенного в проводнике, если внутреннее сопротивление вольтметра  $R$ , а сопротивлением остальных частей цепи можно пренебречь. Магнитное поле тока не может заметно изменить величину магнитной индукции  $B$ .

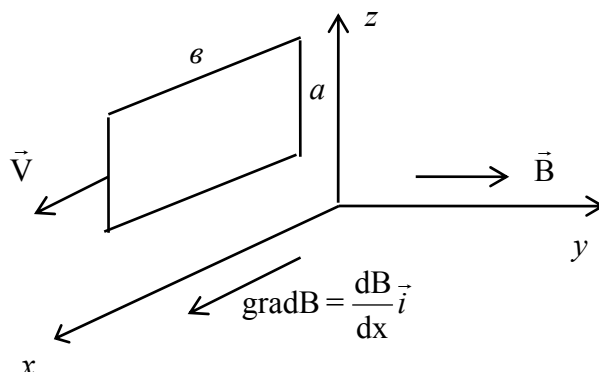


5-20. По круговому витку (1) радиуса  $a$  течет постоянный ток  $I$ . Другой такой же виток помещен на оси первого витка на расстоянии  $R \gg a$ . Плоскости витков параллельны. Затем виток (2) приводится во вращение вокруг одного из диаметров с угловой скоростью  $\omega$ . Какова наведенная в витке (2) ЭДС, если он разомкнут?



5-22. Соленоид содержит  $N = 600$  витков. Площадь сечения сердечника  $S = 8 \text{ см}^2$ . По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией  $B = 5 \text{ мТл}$ . Определить среднее значение э.д.с. самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если ток уменьшается практически до нуля за время  $\Delta t = 0,6 \text{ мс}$ . Сердечник изготовлен из немагнитного материала.

5-21. С какой скоростью должна двигаться прямоугольная рамка со сторонами  $a = 50$  см и  $b = 2$  см в магнитном поле, перпендикулярном ее плоскости, в направлении градиента поля  $|\text{grad } B| = 2$  Тл/м, чтобы в ней индуцировалась ЭДС равная 0,2 В.

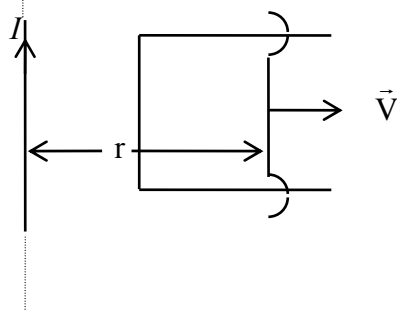


5-23. Из куска провода длиной 2 м и сопротивлением 2 Ом сделан квадрат так, что площадь его перпендикулярна к горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли, равной 15,9 А/м. Определить заряд, наведенный в контуре.

5-24. Соленоид длиной 2 м, состоящий из 1000 витков, площадью поперечного сечения  $8 \text{ см}^2$  включается в цепь, где сила тока изменяется на 20 А за 0,1 секунду. Определить ЭДС самоиндукции возбуждающуюся в соленоиде, если в него вставлен железный сердечник с магнитной проницаемостью равной 500.

5-25. В электрической цепи с сопротивлением  $r = 10$  Ом и индуктивностью  $L = 0,05$  Гн течет ток силой 60 А. Определить силу тока в цепи через  $\Delta t = 0,6$  мс после ее размыкания.

5-26. Длинный прямой проводник с током  $I$  и П-образный проводник с подвижной перемычкой расположены в одной плоскости, как показано на рисунке. Перемычку, длина которой  $l$  и сопротивление  $R$ , перемещают вправо с постоянной скоростью  $V$ . Найти ток, индуцируемый в контуре, как функцию расстояния  $r$  между перемычкой и прямым проводником. Сопротивление П-образного проводника и самоиндукция контура пренебрежимо малы.



5-27. Цепь состоит из катушки с индуктивностью  $L = 1$  Гн и источника тока. Источник тока можно отключать, не разрывая цепь. Время, по истечении которого сила тока уменьшится до 0,001 от первоначального значения, равно 0,69 с. Определить сопротивление катушки.

5-28. По катушке индуктивностью  $L = 5$  мкГн течет ток силой  $I = 3$  А. При выключении тока он изменяется практически до нуля за время  $\Delta t = 8$  мс. Определить среднее значение э.д.с. самоиндукции, возникающей в контуре.

5-29. Силу тока в катушке равномерно увеличивают на  $0,5$  А в секунду. Найти среднее значение э.д.с. самоиндукции, если индуктивность катушки  $L = 2$  мГн.

#### 4.6. Магнитное поле в веществе. Энергия магнитного поля.

6-1. Найти плотность магнитной энергии в катушке с железным сердечником ( $\mu = 2000$ ), по которой течет ток  $0,2$  А. На каждый сантиметр длины катушки приходится 5 витков.

6-2. Соленоид длиной 50 см и площадью поперечного сечения  $2$  см<sup>2</sup> имеет индуктивность  $2 \cdot 10^{-7}$  Гн. При какой силе тока объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна  $10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>?

6-3. Чему должно быть равно произведение числа витков на ток, текущий в тонком соленоиде (число ампер-витков) длиной 60 см, чтобы объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида была равна  $1,75$  Дж/м<sup>3</sup>?

6-4. Во сколько раз нужно увеличить силу тока в соленоиде, чтобы плотность энергии магнитного поля в нем выросла в 16 раз? Во сколько раз нужно увеличить число витков на единицу длины соленоида, чтобы плотность энергии магнитного поля при том же значении силы тока учетверилась?

6-5. Катушка длиной 20 см имеет 400 витков. Площадь поперечного сечения катушки  $9$  см<sup>2</sup>. Найти индуктивность катушки. Какова будет индуктивность катушки, если внутри нее введен железный сердечник? Магнитная проницаемость материала сердечника  $\mu = 400$ .

6-6. Катушка с железным сердечником имеет площадь поперечного сечения  $S = 20$  см<sup>2</sup> и число витков  $N = 500$ . Индуктивность катушки с сердечником  $L = 0,28$  Гн при токе через обмотку  $I = 5$  А. Найти магнитную проницаемость железного сердечника.

6-7. Соленоид длиной 50 см и площадью поперечного сечения  $2$  см<sup>2</sup> имеет индуктивность  $0,2$  мкГн. При каком токе объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида  $W_0 = 1$  мДж/м<sup>3</sup>?

6-8. В соленоид длиной 50 см вставлен сердечник из железа, для которого зависимость  $B = f(H)$  неизвестна. Число витков на единицу длины соленоида  $N_L = 400$  см<sup>-1</sup>; площадь поперечного сечения соленоида  $10$  см<sup>2</sup>. Найти магнитную проницаемость материала сердечника при токе через обмотку соленоида  $5$  А, если известно, что магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение соленоида сердечника  $\Phi = 1,6$  мВб. Какова индуктивность соленоида при этих условиях?



6-9. Для измерения магнитной проницаемости железа из него был изготовлен тороид длиной 50 см и площадью поперечного сечения  $4 \text{ см}^2$ . Одна из обмоток тороида имела  $N_1 = 500$  витков и была присоединена к источнику тока, другая имела  $N_2 = 1000$  витков и была присоединена к гальванометру. Найти магнитную проницаемость железа, если известно, что при переключении в первичной обмотке направления тока силой 1 А на противоположное через гальванометр прошел электрический заряд  $q = 0,06 \text{ Кл}$ . Сопротивление вторичной обмотки 20 Ом.

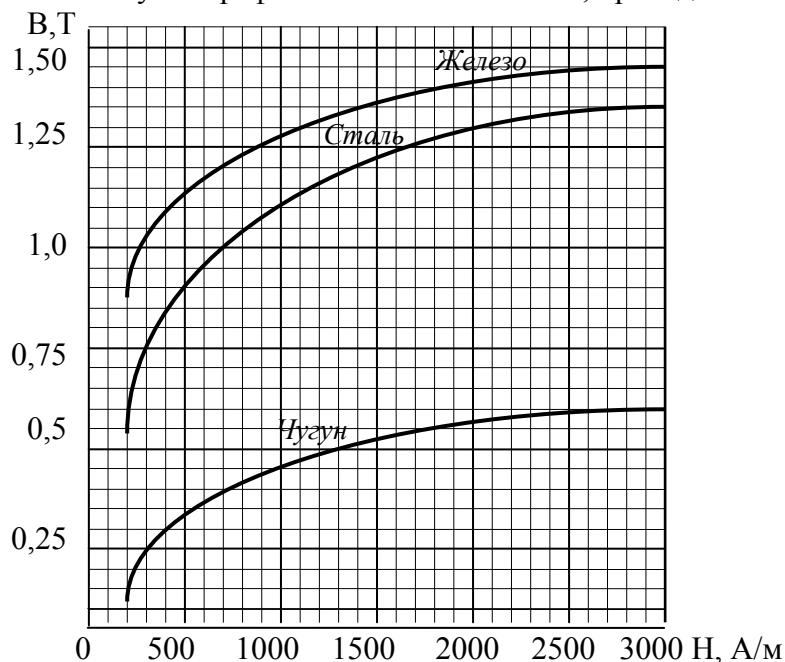
6-10. Найти магнитную индукцию  $B$  в замкнутом железном сердечнике тороида длиной 20,9 см, если число ампер-витков обмотки тороида равняется 1500. Какова магнитная проницаемость материала сердечника при этих условиях?

6-11. Обмотка соленоида содержит  $n = 10$  витков на каждый сантиметр длины. При какой силе тока объемная плотность энергии магнитного поля будет равна  $1 \text{ Дж/м}^3$ ? Сердечник выполнен из немагнитного материала. Магнитное поле во всем объеме однородно.

6-12. Соленоид имеет длину  $l = 1 \text{ м}$  и сечение  $S = 20 \text{ см}^2$ . При некоторой силе тока, протекающего по обмотке, в соленоиде создается магнитный поток  $\Phi = 80 \text{ мкВб}$ . Чему равна энергия  $W$  магнитного поля соленоида? Сердечник выполнен из немагнитного материала и магнитное поле во всем объеме однородно.

6-13. Обмотка тороида имеет  $n = 8$  витков на каждый сантиметр длины (по средней линии тороида). Вычислить объемную плотность энергии магнитного поля при силе тока  $I = 20 \text{ А}$ . Сердечник выполнен из немагнитного материала. Магнитное поле во всем объеме однородно.

6-14. Обмотка соленоида с железным сердечником содержит  $N = 500$  витков. Длина сердечника  $l = 50 \text{ см}$ . Как и во сколько раз изменится индуктивность  $L$  соленоида, если сила тока, протекающего по обмотке, возрастет от  $I_1 = 0,1 \text{ А}$  до  $I_2 = 1 \text{ А}$ ? Для решения задачи используйте график зависимости  $B$  от  $H$ , приведенный на рисунке.



6-15. Магнитный поток  $\Phi$  соленоида сечением  $S = 10 \text{ см}^2$  равен  $10 \text{ мкВб}$ . Определить объемную плотность энергии магнитного поля соленоида. Сердечник выполнен из немагнитного материала. Магнитное поле во всем объеме однородно.

6-16. Тороид диаметром  $D = 40 \text{ см}$  (по средней линии) и площадью сечения  $S = 10 \text{ см}^2$  содержит  $N = 1200$  витков. Вычислить энергию магнитного поля тороида при силе тока  $I = 10 \text{ А}$ . Сердечник выполнен из немагнитного материала. Магнитное поле во всем объеме однородно.

6-17. Соленоид имеет полностью размагниченный стальной сердечник объемом  $V = 200 \text{ см}^3$ . Напряженность  $H$  магнитного поля соленоида при силе тока  $I = 0,5 \text{ А}$  равна  $700 \text{ А/м}$ . Определить индуктивность  $L$  соленоида.

6-18. Соленоид содержит  $N = 800$  витков. При силе тока  $I = 1 \text{ А}$  магнитный поток  $\Phi = 0,1 \text{ мВб}$ . Определить энергию  $W$  магнитного поля соленоида. Сердечник выполнен из немагнитного материала. Магнитное поле во всем объеме однородно.

6-19. Определить плотность энергии магнитного поля в центре кольцевого проводника, имеющего радиус  $R = 25 \text{ см}$  и содержащего  $N = 100$  витков. Сила тока в проводнике  $I = 2 \text{ А}$ .

6-20. При какой силе тока в прямолинейном бесконечно длинном проводнике плотность энергии магнитного поля на расстоянии  $r = 1 \text{ см}$  от проводника равна  $0,1 \text{ Дж/м}^3$ ?

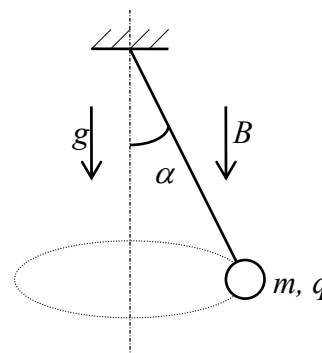
6-21. Соленоид содержит  $N = 800$  витков. При силе тока  $I = 6 \text{ А}$  в обмотке соленоида магнитный поток пронизывающий его витки  $\Phi = 30 \text{ мкВб}$ . Определить индуктивность  $L$  соленоида.

6-22. Соленоид сечением  $S = 6 \text{ см}^2$  содержит  $N = 1500$  витков. Индукция  $B$  магнитного поля внутри соленоида при силе тока  $I = 4 \text{ А}$  равна  $0,08 \text{ Тл}$ . Определить индуктивность  $L$  соленоида.

6-23. Источник тока замкнули на катушку с сопротивлением  $r = 20 \text{ Ом}$  и индуктивностью  $L = 0,4 \text{ Гн}$ . Через какое время сила тока в цепи достигнет  $95\%$  от максимального значения?

6-24. По замкнутой цепи с сопротивлением  $r = 23 \text{ Ом}$  течет ток. Через  $10 \text{ мс}$  после размыкания цепи сила тока в ней уменьшилась в  $10$  раз. Определить индуктивность цепи.

6-25. Шарик массы  $m$  с зарядом  $q$ , подвешенный на нити длиной  $l$ , движется так, что нить составляет угол  $\alpha$  с вертикалью (см. рис.). Найти угловую скорость движения шарика в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ .



6-26. Источник тока замкнули на катушку с сопротивлением  $r = 10$  Ом. По истечении времени  $t = 0,23$  с сила тока в цепи  $I$  достигла величины равной  $0,9$  от предельного значения. Определить индуктивность катушки.

6-27. Две катушки намотаны на один общий сердечник. Индуктивность одной из них  $0,1$  Гн, второй  $0,4$  Гн. Сопротивление второй катушки  $300$  Ом. Какой ток потечет по второй катушке, если ток силой  $0,6$  А, текущий в первой катушке, выключить в течение  $0,001$  секунд?

6-28. Катушка длиной  $20$  см и диаметром  $3$  см имеет  $400$  витков. По катушке идет ток равный  $2$  А. Найти индуктивность  $L$  катушки и магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий площадь его поперечного сечения.

6-29. Сколько витков проволоки диаметром  $0,6$  мм имеет однослойная обмотка катушки, индуктивность которой  $1$  мГн и диаметр равен  $4$  см? Витки плотно прилегают друг к другу.

6-30. Обмотка соленоида состоит из  $N$  витков медной проволоки, поперечное сечение которой  $1$  мм<sup>2</sup>. Длина соленоида  $25$  см, его сопротивление  $R = 0,2$  Ом. Найти индуктивность  $L$  соленоида.

## 5. Вопросы физических диктантов

### №8. Электростатика

1. Формула закона Кулона для точечных зарядов в векторной форме.
2. Формула напряженности электрического поля.
3. Формула напряженности поля точечного заряда в векторной форме.
4. Физический смысл относительной диэлектрической проницаемости среды.
5. Формула напряженности поля равномерно заряженной сферы.
6. Формула напряженности поля бесконечной равномерно заряженной плоскости.
7. Формула напряженности поля равномерно заряженных двух параллельных плоскостей.
8. Формула напряженности поля бесконечной равномерно заряженной нити.
9. Формула потенциала поля точечного заряда.
10. Связь напряженности с потенциалом электрического поля.

### №9. Электростатика.

1. Формула потока вектора напряженности электрического поля.
2. Понятие о циркуляции вектора  $E$  по замкнутому контуру.
3. Формула работы по перемещению заряда в электрическом поле.
4. Теорема Остроградского- Гаусса о циркуляции вектора  $E$  по замкнутому контуру.
5. Электроемкость уединенного проводника. Единица измерения электроемкости.
6. Электроемкость шара в системе СИ.
7. Формула электроемкости плоского конденсатора.
8. Формула электроемкости батареи последовательно соединенных конденсаторов.
9. Формула электроемкости батареи параллельно соединенных конденсаторов.

## 10. Формула энергии конденсатора.

## N10. Постоянный ток

1. Формула, определяющая физический смысл электрического тока.
2. Формула закона Ома в интегральной форме.
3. Формула закона Ома в дифференциальной форме.
4. Формула сопротивления проводника.
5. Формула зависимости сопротивления от температуры.
6. Закон Джоуля-Ленца в интегральной форме.
7. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме.
8. Формула э.д.с. источника тока и физический смысл.

## N11. Постоянный ток.

1. Формула закона Ома для неоднородного участка цепи.
2. 1-й закон Кирхгофа.
3. 2-й закон Кирхгофа.
4. Закон Видемана-Франца.

## N12. Магнитное поле в вакууме.

1. Что является “источником” магнитного поля?
2. Что такое вектор магнитной индукции? Как определить его направление?
3. Формула закона Био-Савара-Лапласа в векторном и скалярном видах.
4. Формула для определения магнитной индукции бесконечно длинного проводника с током в скалярном и векторном виде.
5. Формула для определения магнитной индукции проводника конечной длины в скалярном виде.
6. Формула для определения магнитной индукции кругового тока в скалярном виде.
7. Закон полного тока - теорема о циркуляции вектора магнитной индукции.
8. Магнитный момент контура с током (формула).
9. Формула для вычисления магнитной индукции соленоида.
10. Формула для вычисления магнитной индукции тороида.
11. Закон Ампера. Указать на рисунке направление силы Ампера.
12. Магнитный поток. Единицы его измерения.
13. Формула работы по перемещению проводника с током в магнитном поле.

## N13. Движение заряженных частиц в магнитном поле.

## Электромагнитная индукция.

1. Сила Лоренца. Укажите направление силы Лоренца, действующей на положительный и отрицательный заряды.
2. Формула для ЭДС Холла.
3. Сформулируйте и напишите формулу для ЭДС индукции (закон Фарадея-Ленца).
4. ЭДС самоиндукции (формула).
5. Закон убывания тока в цепи с индуктивностью (“экстра ток” размыкания).
6. Закон возрастания тока в цепи с индуктивностью (“экстра ток” замыкания).
7. Формула для индуктивности катушки.
8. Определение потока сцепления взаимной индукции (формулировка).
9. Формула индуктивности длинного соленоида.

## N14. Магнитное поле в веществе. Электромагнитная

## теория Максвелла.

1. Магнитная проницаемость вещества, что она характеризует?
2. По каким характеристикам и как делятся вещества на диа-, пара- и ферромагнетики?
3. Формула вектора намагниченности.
4. Формула для определения магнитной индукции в магнетике.
5. Гиромагнитное отношение для электрона, обусловленное его орбитальным движением.
6. В чем заключается диамагнитный эффект?
7. Что отвечает за ферромагнитные свойства вещества?
8. Что такое домен?
9. Формула для определения энергии магнитного поля.
10. Первое уравнение Максвелла, его физический смысл.
11. Что такое ток смещения?
12. Второе уравнение Максвелла, его физический смысл.
13. Что такое электромагнитная волна? Напишите формулу для длины волны.
14. Что колеблется в электромагнитной волне? Нарисуйте график волны.
15. Что такое колебательный контур? Что в нем колеблется? Напишите уравнение гармонических колебаний заряда в колебательном контуре.

## 6. Экзаменационные вопросы

1. Электрические заряды, электрическое поле, силовые линии, напряженность. Закон Кулона. Принцип суперпозиции полей.
2. Расчет электрического поля диполя.
3. Диэлектрики. Полярные и неполярные молекулы. Дипольный электрический момент. Вектор поляризации.
4. Электрическое поле в диэлектрике. Пьезоэффект.
5. Проводники. Распределение зарядов на проводнике. Поверхностная плотность зарядов.
6. Электрическое поле равномерно заряженной непроводящей сферы.
7. Работа сил электростатического поля. Циркуляция вектора  $E$ .
8. Поток вектора напряженности  $E$ . Теорема Гаусса.
9. Энергия электрического поля. Плотность энергии.
10. Потенциал электростатического поля. Единицы. Эквипотенциальные поверхности, их свойства.
11. Расчет потенциала двух разноименно заряженных бесконечных плоскостей.
12. Расчет потенциала равномерно заряженного тонкого кольца.
13. Связь между напряженностью и потенциалом электрического поля. Градиент потенциала.
14. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Соединения конденсаторов.
15. Энергия системы точечных зарядов. Собственная энергия конденсатора. Плотность энергии.
16. Понятие об электрическом токе. Вектор плотности тока.
17. Природа носителей заряда. Классическая теория электропроводности металлов.
18. ЭДС источника. Разность потенциалов. Напряжение.
19. Закон Ома для однородного участка цепи в дифференциальной и интегральной форме.

20. Закон Ома для неоднородного участка цепи в интегральной форме.
21. Последовательное и параллельное соединение проводников.
22. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа.
23. Закон Джоуля - Ленца в интегральной и дифференциальной форме. Вывод из классических представлений.
24. Закон Видемана-Франца. Затруднения классической электронной теории проводимости металлов.
25. Работа выхода электрона из металла. Термоэлектронная эмиссия.
26. Явление Зеебека и Пельтье.
27. Магнитное поле и его характеристики. Сравнительное описание электрических и магнитных полей.
28. Закон Био-Савара-Лапласа. Принцип суперпозиции полей.
29. Закон Ампера. Взаимодействие параллельных токов.
30. Магнитное поле прямого тока.
31. Магнитное поле кругового тока.
32. Теорема о циркуляции вектора  $\mathbf{B}$  для магнитного поля в вакууме.
33. Применение теоремы о циркуляции вектора  $\mathbf{B}$  для расчета магнитного поля прямого тока, поля соленоида и поля тороида.
34. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для поля  $\mathbf{B}$ .
35. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.
36. Работа по перемещению замкнутого контура с током в магнитном поле.
37. Магнитное поле движущегося заряда.
38. Действие магнитного поля на движущийся заряд.
39. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Анализ различных движений.
40. Ускорители заряженных частиц.
41. Эффект Холла. Вывод формулы и ее анализ.
42. Электромагнитная индукция. опыты Фарадея. Закон Ленца. Вывод закона электромагнитной индукции из закона сохранения энергии.
43. Закон Фарадея. Вывод из закона сохранения энергии. Правило Ленца.
44. Природа э.д.с. электромагнитной индукции: в движущемся проводнике и в случае движения магнитного поля относительно неподвижного проводника.
45. Вращение рамки в магнитном поле. Генераторы тока. Электродвигатели.
46. Индуктивность контура. Явление самоиндукции.
47. Взаимная индукция.
48. Энергия магнитного поля. Энергия магнитного поля соленоида.
49. Токи при размыкании и замыкании цепи.
50. Магнитные моменты электронов и атомов. Гиромагнитное отношение. опыты Эйнштейна и де-Гааза. Спин и спиновый магнитный момент. Гипотеза Ампера.
51. Диамагнитный эффект. Теорема Лармора. Прецессия электронных орбит.
52. Природа парамагнетизма. Закон Кюри-Вейсса.
52. Намагниченность. Магнитное поле в веществе. Магнитная проницаемость и восприимчивость.
53. Ферромагнетики и их свойства.
54. Природа ферромагнетизма. Доменная структура. Намагниченность ферромагнетиков. Гистерезис.
55. Ток смещения. Гипотеза Максвелла.
56. Система уравнений Максвелла в интегральной форме. Анализ.
57. Колебательный контур. Процессы, протекающие в нем. Вывод уравнения свободных колебаний заряда.

58. Электромагнитное поле. Распространение его в пространстве. Электромагнитная волна, ее свойства, скорость распространения в вакууме.

## 7. Литература

1. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. - М: Наука, 1973.
2. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. - М.: Наука, 1979.
3. Воробьев И.И. и др. Задачи по физике. – М.: Наука, 1988.
4. Сахаров Д.И. Сборник задач по физике. –М.: Учпедгиз, 1958.
5. Куликов А.С. Сборник задач по общей физике. – М.: Высшая школа, 1964.

НЕВЗОРОВА Эльвира Германовна  
ЗАВОДОВСКИЙ Алексей Геннадьевич

Сборник заданий по физике  
Часть 2.  
Электростатика. Постоянный ток. Магнетизм.

Учебное пособие

Редактор В.К. Бородина

ЛР № 020520 от 23.04.92 г.

Пописано в печать  
Формат 60X90 1/16

Уч.-изд. л. 3,36  
Отпечатано на RISO GR 3750

Усл. печ. л. 3,36  
Заказ  
Бумага тип №2  
Тираж 300 экз.

---

Тюменский государственный нефтегазовый университет  
625000, г. Тюмень, Володарского, 38  
Отдел оперативной полиграфии ТюмГНГУ