

# Домашнее задание по курсу общей физики для студентов 3-го семестра

## Тема 1. Электростатика

Варианты №№ 1-9 - Задача 1.1

Варианты №№ 10-18 - Задача 1.2

Варианты №№ 19-27 - Задача 1.3

По результатам проведённых вычислений построить графически зависимости  $\frac{D(r)}{D(R)}$ ,  $\frac{E(r)}{E(R)}$  в интервале значений  $r$  от  $R$  до  $R_0$  для задач 1.1 и 1.2, и зависимости  $\frac{D(y)}{D(0)}$ ,  $\frac{E(y)}{E(0)}$  в интервале значений  $y$  от  $0$  до  $d$  для задачи 1.3.

Все зависимости изобразить на одном графике.

### Задача 2.1

Сферический диэлектрический конденсатор имеет радиусы внешней и внутренней обкладок  $R_0$  и  $R$  соответственно. Заряд конденсатора равен  $q$ . Диэлектрическая проницаемость меняется между обкладками по закону  $\varepsilon = f(r)$ .

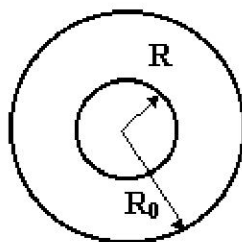


Рис. 1.1. Условие задачи 1.1.

Построить графически распределение модулей векторов электрического поля  $E$ , поляризованности  $P$  и электрического смещения  $D$  между обкладками конденсатора. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на внутренней  $\sigma'_1$  и внешней  $\sigma'_2$  поверхностях диэлектрика, распределение объёмной плотности связанных зарядов  $\rho'(r)$ , максимальную напряжённость электрического поля  $E$  и ёмкость конденсатора.

Функция  $\varepsilon = f(r)$  для чётных вариантов имеет вид:  $\varepsilon = \frac{R_0^n + R^n}{R^n + r^n}$ .

Функция  $\varepsilon = f(r)$  для нечётных вариантов имеет вид:  $\varepsilon = \frac{R_0^n}{R_0^n + R^n - r^n}$ .

Таблица 1.1. Значения параметров  $R_0/R$  и  $n$  в зависимости от номера варианта

№ варианта	$R_0/R$	$n$
1	2/1	2
2	3/1	2
3	3/2	2
4	2/1	3
5	3/1	3
6	3/2	3
7	2/1	4
8	3/1	4
9	3/2	4

### Задача 1.2

Цилиндрический бесконечно длинный диэлектрический конденсатор заряжен до разности потенциалов  $U$  и имеет радиусы внешней и внутренней обкладок  $R_0$  и  $R$  соответственно. Диэлектрическая проницаемость меняется между обкладками по закону  $\varepsilon = f(r)$ .

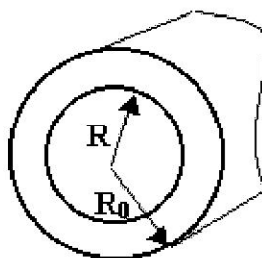


Рис. 1.2. Условие задачи 1.2.

Построить графически распределение модулей векторов электрического поля  $E$ , поляризованности  $P$  и электрического смещения  $D$  между обкладками конденсатора. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на внутренней  $\sigma'_1$  и внешней  $\sigma'_2$  поверхностях диэлектрика, распределение объёмной плотности связанных зарядов  $\rho'(r)$ , максимальную напряжённость электрического поля  $E$  и ёмкость конденсатора на единицу длины.

Функция  $\varepsilon = f(r)$  для чётных вариантов имеет вид:  $\varepsilon = \frac{R_0^n + R^n}{R^n + r^n}$ .

Функция  $\varepsilon = f(r)$  для нечётных вариантов имеет вид:  $\varepsilon = \frac{R_0^n}{R_0^n + R^n - r^n}$ .

Таблица 1.2. Значения параметров  $R_0/R$  и  $n$  в зависимости от номера варианта

№ варианта	$R_0/R$	$n$
10	2/1	2
11	3/1	2
12	3/2	2
13	2/1	3
14	3/1	3
15	3/2	3

16	2/1	4
17	3/1	4
18	3/2	4

### Задача 1.3

Плоский диэлектрический конденсатор заряжен до разности потенциалов  $U$  и расстояние между обкладками равно  $d$ . Диэлектрическая проницаемость меняется между обкладками по закону  $\varepsilon = f(y)$ .

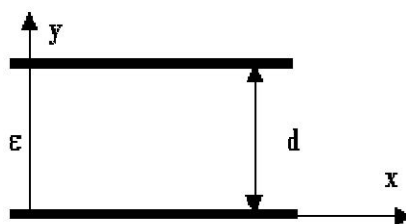


Рис. 1.3. Условие задачи 1.3.

Построить графически распределение модулей векторов электрического поля  $E$ , поляризованности  $P$  и электрического смещения  $D$  между обкладками конденсатора. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на нижней и верхней поверхностях диэлектрика, распределение объёмной плотности связанных зарядов  $\rho'(y)$ , максимальную напряжённость электрического поля  $E$  и ёмкость конденсатора на единицу площади.

Функция  $\varepsilon = f(y)$  для чётных вариантов имеет вид:  $\varepsilon = \frac{d_0^n + d^n}{y^n + d_0^n}$ .

Функция  $\varepsilon = f(y)$  для нечётных вариантов имеет вид:  $\varepsilon = \frac{d_0^n}{d_0^n - y^n}$ .

Здесь  $d_0$  - известный параметр.

Таблица 2.3. Значения параметров  $d_0/d$  и  $n$  в зависимости от номера варианта.

№ варианта	$d_0/d$	N
19	1/1	0,5
20	2/1	0,5
21	3/1	0,5
22	2/1	1
23	1/1	1
24	3/1	1
25	1/1	2
26	2/1	2
27	3/1	2

## Тема 2. Магнитостатика

Варианты №№ 1-9 - Задача 2.1

Варианты №№ 10-18 - Задача 2.2

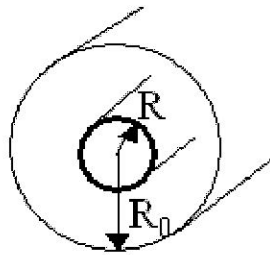
Варианты №№ 19-27 - Задача 2.3

По результатам проведённых вычислений построить графически зависимости  $\frac{B(r)}{B(R)}$ ,  $\frac{H(r)}{H(R)}$  в интервале значений  $r$  от  $R$  до  $R_0$  для задач 2.1 и 2.2, и зависимости  $\frac{B(y)}{B(0)}$ ,  $\frac{H(y)}{H(0)}$  в интервале значений  $y$  от  $0$  до  $d$  для задачи 2.3.

Все зависимости изобразить на одном графике.

### Задача 2.1

Проводник с током, равномерно распределённым по его поперечному сечению и имеющему плотность  $j$ , имеет форму трубки, внешний и внутренний радиусы которой равны  $R_0$  и  $R$  соответственно. Магнитная проницаемость меняется по закону  $\mu = f(r)$ .



**Рис. 2.1.** Условие задачи 2.1.

Построить графически распределения модулей векторов индукции магнитного поля  $B$  и напряжённости магнитного поля  $H$ , а также модуля вектора намагничённости  $J$  в зависимости от  $r$  в интервале от  $R$  до  $R_0$ . Определить поверхностную плотность токов намагничивания  $i'_n$  на внутренней и внешней поверхностях трубки и распределение объёмной плотности токов намагничивания  $i'_{об}(r)$ .

Функция  $\mu = f(r)$  для чётных вариантов имеет вид:  $\mu = \frac{R^n + r^n}{2R^n}$ .

Функция  $\mu = f(r)$  для нечётных вариантов имеет вид:  $\mu = \frac{R_0^n + R^n - r^n}{R^n}$ .

**Таблица 2.1.** Значения параметров  $R_0/R$  и  $n$  в зависимости от номера варианта

№ варианта	$R_0/R$	$n$
1	2/1	1
2	2/1	2
3	2/1	3
4	3/1	1
5	3/1	2
6	3/1	3

7	3/2	1
8	3/2	2
9	3/2	3

### Задача 2.2

По коаксиальному кабелю, радиусы внешнего и внутреннего проводника которого равны  $R_0$  и  $R$  соответственно, протекает ток  $I$ . Пространство между проводниками заполнено магнетиком, магнитная проницаемость которого меняется по закону  $\mu = f(r)$ .

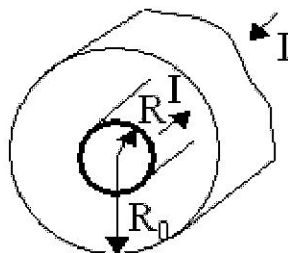


Рис. 2.2. Условие задачи 2.2.

Построить графически распределения модулей векторов индукции  $B$  и напряжённости  $H$  магнитного поля, а также вектора намагничённости  $J$  в зависимости от  $r$  в интервале от  $R$  до  $R_0$ . Определить поверхностную плотность токов намагничивания  $i'_n$  на внутренней и внешней поверхностях магнетика и распределение объёмной плотности токов намагничивания  $i'_{об}(r)$ . Определить индуктивность единицы длины кабеля.

Функция  $\mu = f(r)$  для чётных вариантов имеет вид:  $\mu = \frac{R_0^n + r^n}{R_0^n + R^n}$ .

Функция  $\mu = f(r)$  для нечётных вариантов имеет вид:  $\mu = \frac{R^n + r^n}{2R^n}$ .

Таблица 2.2. Значения параметров  $R_0/R$  и  $n$  в зависимости от номера варианта

№ варианта	$R_0/R$	$n$
10	2/1	1
11	2/1	2
12	2/1	3
13	3/1	1
14	3/1	2
15	3/1	3
16	3/2	1
17	3/2	2
18	3/2	3

### Задача 2.3

Два плоских проводника с токами  $I$ , текущими в противоположных направлениях, разделены слоем магнетика толщиной  $d$ . Ширина проводников равна  $L$  ( $L \gg d$ ). Магнитная проницаемость  $\mu$  магнетика меняется в направлении оси  $y$  по закону  $\mu = f(y)$ .

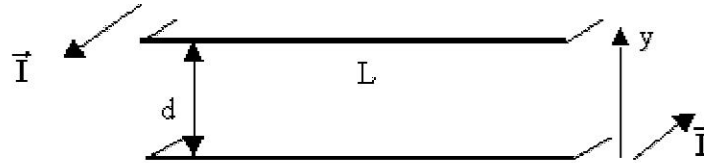


Рис. 2.3. Условие задачи 2.3.

Построить графически распределения модулей векторов индукции  $B$  и напряжённости  $H$  магнитного поля, а также вектора намагниченности  $J$  в зависимости от  $y$  в интервале значений от  $0$  до  $d$ . Определить поверхностную плотность токов намагничивания  $i'_n$  на верхней и нижней поверхностях магнетика и распределение объёмной плотности токов намагничивания  $i'_{об}(y)$ . Определить индуктивность единицы длины этой двухполосной линии.

Функция  $\mu = f(y)$  для чётных вариантов имеет вид:  $\mu = \frac{y^n + d_0^n}{d_0^n}$ .

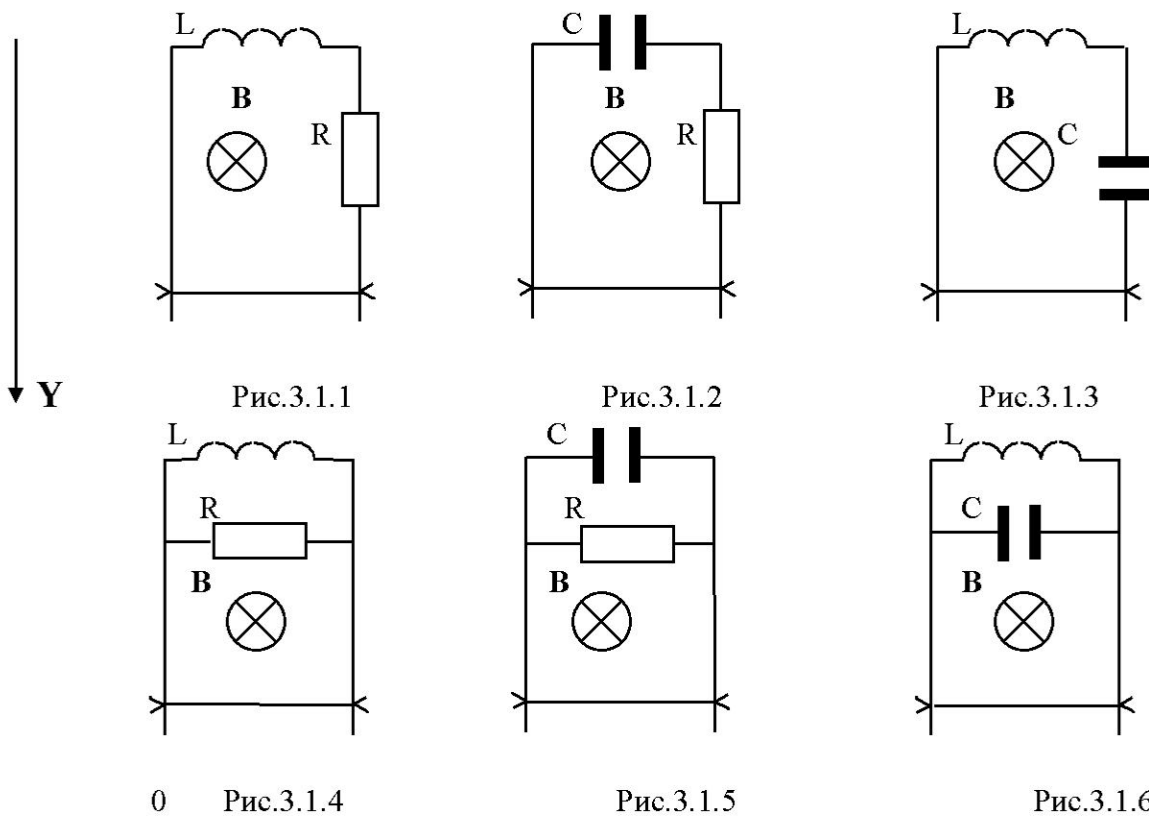
Функция  $\mu = f(y)$  для нечётных вариантов имеет вид:  $\mu = \frac{y^n + d^n}{d^n}$ .

Таблица 2.3. Значения параметров  $d_0/d$  и  $n$  в зависимости от номера варианта.

№ варианта	$d_0/d$	$n$
19	2/1	0,5
20	2/1	1
21	2/1	2
22	3/1	0,5
23	3/1	1
24	3/1	2
25	3/2	0,5
26	3/2	1
27	3/2	2

### Тема 3. Электромагнитная индукция. Работа и энергия в электростатическом и магнитном полях.

**Задача 3.1.** По двум гладким медным шинам, установленным вертикально в однородном магнитном поле  $B$ , скользит под действием силы тяжести медная перемычка массы  $m$ , которая замыкает электрическую цепь, приведенную на рисунке. Расстояние между шинами  $l$ . Сопротивления шин, перемычки и скользящих контактов, а также самоиндукция контура пренебрежимо малы. Найти закон движения перемычки  $Y(t)$  при условии, что начальная скорость, ток через индуктивность и заряд на конденсаторе равны 0,  $Y(0)=Y_0$ .



**Таблица 3.1.1** Номера вариантов и значения параметров  $L$ ,  $R$ ,  $C$  для соответствующего номера рисунка.

№ вар.	$L$	$C$	$R$	№ Рис.
1	$L_0$	---	$B l \sqrt{\frac{L}{m}}$	3.1.1
2	---	$C_0$	$R_0$	3.1.2
3	$L_0$	$C_0$	---	3.1.3
4	$L_0$	---	0	3.1.1

5	$L_0$	---	$R_0$	3.1.4
6	---	$C_0$	$R_0$	3.1.5
7	$L_0$	$C_0$	---	3.1.6
8	$L_0$	---	$4Bl \sqrt{\frac{L}{m}}$	3.1.1
9	$L_0$	---	$\frac{Bl}{4} \sqrt{\frac{L}{m}}$	3.1.4

**Задача 3.2.1.** По двум гладким медным шинам скользит перемычка массы  $m$ , закон движения которой задан  $Y = f(t)$ . Сопротивление перемычки равно  $R_0$ , поперечное сечение  $S$ , концентрация носителей заряда (электронов) в проводнике перемычки равна  $n_0$ . Сверху шины замкнуты электрической цепью, состоящей либо из конденсатора ёмкости  $C$ , либо из индуктивности  $L$  или из сопротивления  $R$  в соответствии с рисунком. Расстояние между шинами  $l$ . Система находится в однородном переменном магнитном поле с индукцией  $B(t)$ , перпендикулярном плоскости, в которой перемещается перемычка. Сопротивление шин, скользящих контактов, а также самоиндукция контура пренебрежимо малы. Ток через индуктивность, конденсатор и сопротивление в начальный момент времени равны 0.

Найти:

- закон изменения тока  $I(t)$ ;
- максимальное значение тока  $I_{max}$ ;
- закон изменения проекций силы Лоренца на ось  $X$  ( $F_{Lx}$ ) и на ось  $Y$  ( $F_{Ly}$ ), действующей на электрон;
- закон изменения напряженности электрического поля в перемычке  $E(t)$ ;
- силу  $F(t)$ , действующую на перемычку, необходимую для обеспечения заданного закона движения.

Установить связь между силой Ампера, действующей на перемычку, и силой Лоренца, действующей на все электроны в перемычке.

Построить зависимости тока через перемычку  $\frac{I(t)}{I_{max}}$ , силы Ампера  $\frac{F_a(t)}{F_{amax}}$ .



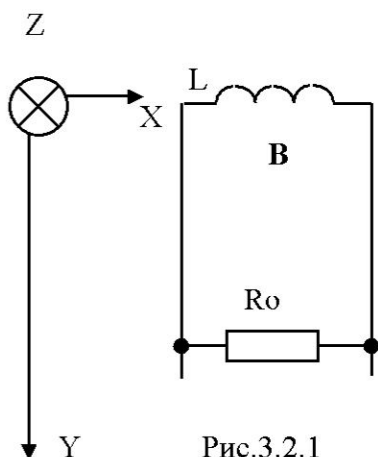


Рис.3.2.1

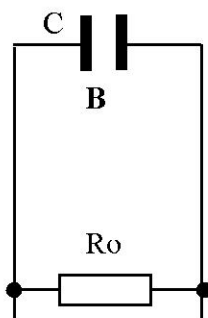


Рис.3.2.2

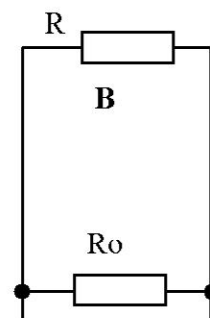


Рис.3.2.3

Закон движения перемычки для всех вариантов  $Y = ae^{-nt}$ ;

Закон изменения магнитного поля для нечетных вариантов  $B_z = ce^{-mt}$ , для четных вариантов  $B_z = -ce^{-mt}$ . Константы  $a$  и  $c$  считать известными.

**Таблица 3.2.1.** Номера вариантов и значения параметров  $n$ ,  $m$  для соответствующего номера рисунка.

№ вар	$n$	$m$	№ Рис.
10	$\frac{2R_0}{L}$	$2n$	3.2.1
11	$2m$	$\frac{2R_0}{L}$	3.2.1
12	$\frac{R_0}{2L}$	$2n$	3.2.1
13	$2m$	$\frac{R_0}{2L}$	3.2.1
14	$2m$	$\frac{2}{R_0 C}$	3.2.2
15	$\frac{2}{R_0 C}$	$2n$	3.2.2
16	$\frac{1}{2R_0 C}$	$2n$	3.2.2
17	$n$	$2n$	3.2.3
18	$2m$	$m$	3.2.3

**Задача 3.2.2.** По двум гладким медным шинам скользит невесомая перемычка, к которой приложена переменная сила  $F(t)$ . Сопротивление перемычки равно  $R_0$ , поперечное сечение  $S$ , концентрация носителей заряда (электронов) в проводнике перемычки равна  $n_0$ . Перемычка замыкает электрическую цепь, состоящую либо из конденсатора ёмкости  $C$ , либо из индуктивности  $L$  или из сопротивления  $R$ , в соответствии с рисунком. Расстояние между шинами  $l$ . Система находится в однородном переменном магнитном поле с индукцией  $B(t)$ , перпендикулярном плоскости, в которой перемещается перемычка. Сопротивление шин, скользящих контактов, а также самоиндукция контура пренебрежимо малы. Ускорение перемычки в начальный момент времени конечно, а положение ее определено и равно  $Y(0) = Y_0$ .

Найти:

- закон изменения тока  $I(t)$ ;
- закон движения перемычки  $Y = Y(t)$ ;
- максимальное значение  $Y_{max}$ ;
- законы изменения проекции силы Лоренца на ось  $X$  ( $F_{lx}$ ) и на ось  $Y$  ( $F_{ly}$ ), действующей на электрон;
- закон изменения напряженности электрического поля в перемычке  $E(t)$ ;

Установить связь между силой Ампера, действующей на перемычку, и силой Лоренца, действующей на все электроны в перемычке.

Построить зависимости тока через перемычку  $\frac{I(t)}{I_{max}}$ ,  $\frac{Y(t)}{Y(0)}$ .

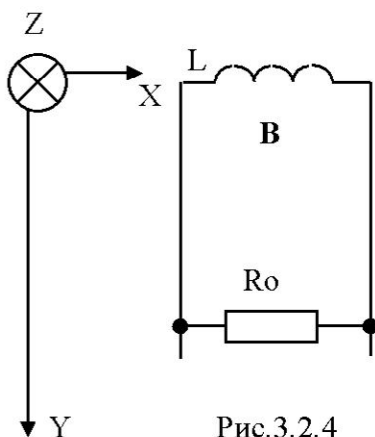


Рис.3.2.4

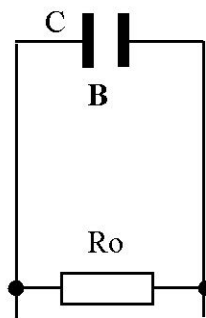


Рис.3.2.5

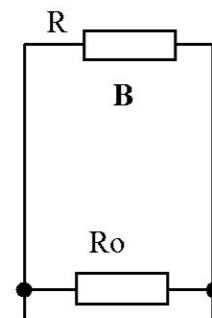


Рис.3.2.6

Закон движения перемычки для всех вариантов  $F_Y = -fe^{-nt}$ ;

Закон изменения магнитного поля для нечетных вариантов  $B_z = ce^{-mt}$ , для четных вариантов  $B_z = -ce^{-mt}$ . Константы  $f$  и  $c$  считать известными.

**Таблица 3.2.2** Номер вариантов и значения параметров  $n$ ,  $m$  для соответствующего номера рисунка.

<b>№ вар.</b>	<b><math>n</math></b>	<b><math>M</math></b>	<b>№ Рис.</b>
19	$n$	$2n$	3.2.4
20	$2m$	$M$	3.2.4
21	$n$	$3n$	3.2.4
22	$3m$	$M$	3.2.4
23	$2m$	$M$	3.2.5
24	$n$	$2n$	3.2.5
25	$n$	$3n$	3.2.5
26	$n$	$2n$	3.2.6
27	$2m$	$M$	3.2.6

## Задачи для индивидуальной подготовки.

**Задача 3.3.1.** В плоский воздушный конденсатор с квадратными пластинами ( $l \times l$ ), расстояние между которыми  $d$  ( $d \ll l$ ), медленно вдвигают с постоянной скоростью  $V$  квадратную металлическую пластину того же размера и толщиной  $d_1$ . Конденсатор подключен к электрической цепи, состоящей из источника ЭДС величиной  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$  и сопротивления  $R$ , в соответствии с рисунком.

**Задача 3.3.2.** В плоский воздушный конденсатор с квадратными пластинами ( $l \times l$ ), расстояние между которыми  $d$  ( $d \ll l$ ), медленно вдвигают с постоянной скоростью  $V$  квадратную диэлектрическую пластину того же размера и толщиной  $d$  с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ . Конденсатор подключен к электрической цепи, состоящей из источника ЭДС величиной  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$  и сопротивления  $R$ , в соответствии с рисунком.

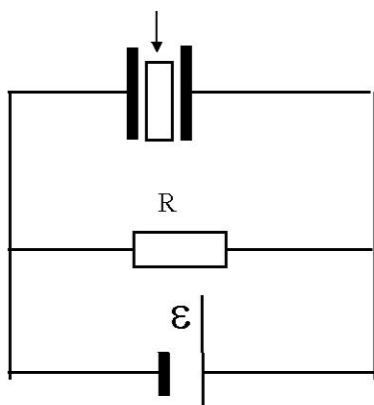


Рис.3.3.1

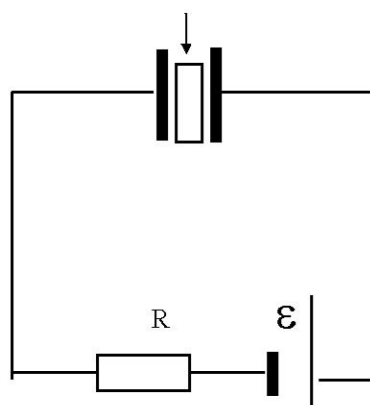


Рис.3.3.2.

Пренебрегая краевыми эффектами во всех задачах определить:

1. Закон изменения заряда на конденсаторе  $q = q(t)$ .
2. Закон изменения силы тока  $I(t)$ , протекающего через сопротивление  $R$ .
3. Энергию, выделившуюся на сопротивлении  $R$  за время движения.

В предположении, что в схеме на рисунке 3.3.1.  $R = \infty$ , для всех задач определить:

4. Работу, совершенную за время движения пластин внешними силами.
5. Работу, совершенную источником.
6. Изменение энергии конденсатора.

**Таблица 3.3.1** Номера вариантов и соотношения параметров  $d_1/d$  для соответствующего номера рисунка и номера задачи.

<b>№ вар</b>	<b><math>d_1/d</math></b>	<b>№ рис.</b>	<b>№ Зад.</b>
1	$1/2$	3.3.1	3.3.1
2	$1/3$	3.3.2	3.3.1
3	$1/2$	3.3.1	3.3.2
4	$1/3$	3.3.2	3.3.2

**Задача 3.3.3.** Длинный соленоид радиуса  $R_0$  с числом витков  $N$  имеет сердечник с магнитной проницаемостью  $\mu$ , плотно вставленный в него на всю длину. Соленоид постоянно подключен к электрической схеме, состоящей из источника ЭДС величиной  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$  и сопротивления  $R$ , в соответствии с рисунком. Длина соленоида  $l \gg R_0$ . Сердечник медленно извлекают из соленоида с постоянной скоростью  $V$ .

**Задача 3.3.4.** Длинный соленоид радиуса  $R_0$  с числом витков  $N$  имеет сердечник выполненный из сверхпроводника радиуса  $R_0/\sqrt{2}$ , вставленный в него на всю длину. Соленоид подключен к электрической схеме, состоящей из источника ЭДС величиной  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$  и сопротивления  $R$ , в соответствии с рисунком. Длина соленоида  $l \gg R_0$ . Сердечник медленно извлекают из соленоида с постоянной скоростью  $V$ .

**Задача 3.3.5.** Длинный воздушный соленоид радиуса  $R_0$  имеет число витков  $N$ . Соленоид подключен к электрической схеме, состоящей из источника ЭДС величиной  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$  и сопротивления  $R$ , в соответствии с рисунком. Длина соленоида  $l \gg R_0$ . Соленоид медленно растягивают на  $1/10$  длины с постоянной скоростью  $V$ . Считать, что радиус соленоида остается при этом постоянным. Во всех задачах сопротивление соленоида считать пренебрежимо малым в сравнении с  $r$  и  $R$ . В задачах условие которых соответствует рисунку 3.3.5, исследуемый процесс начинается одновременно с переключением ключа  $K$  из положения 1 в положения 2.

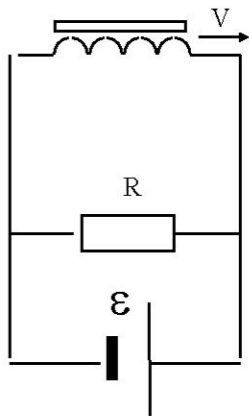


Рис.3.3.3

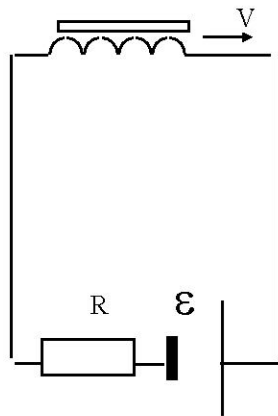


Рис.3.3.4

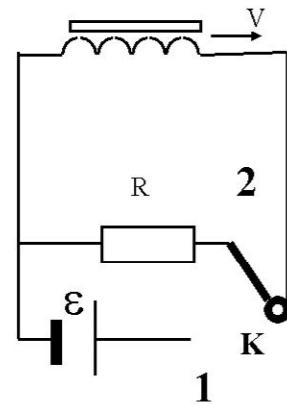


Рис.3.3.5

Пренебрегая краевыми эффектами во всех задачах определить:

1. Закон изменения тока через соленоид  $I(t)$ .
2. В предположении, что в схеме на рисунке 3.3.3.  $R = \infty$ , для всех задач определить:
  - a. Работу, совершенную за время движения внешними силами над сердечниками или соленоидом.
  - b. Силу, необходимую для извлечения сердечника или растягивания соленоида с заданной скоростью.
  - c. Изменение энергии соленоида.

№ вар.	№ рис.	№ Зад.
5	3.3.3	3.3.3
6	3.3.4	3.3.3
7	3.3.5	3.3.3
8	3.3.3	3.3.4
9	3.3.4	3.3.4
10	3.3.5	3.3.4
11	3.3.3	3.3.5
12	3.3.4	3.3.5
13	3.3.5	3.3.5