



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

Кафедра «Физика»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ №2
для студентов заочной формы обучения
третий (осенний) семестр

Для направления: 25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов
Профиль: Инженерно-техническое обеспечение полетов летательных аппаратов

Ростов-на-Дону
2024

УДК 530.1

Составители: Т.С. Беликова

Методические указания к выполнению контрольной работы по физике №2 в третьем (осеннем) семестре / сост. Т.С. Беликова – Ростов-на-Дону: Донской гос. тех. ун-т, 2024. – 72 с.

Методические указания содержат рекомендации по выполнению контрольной работы по дисциплине «Физика» №2 в третьем (осеннем) семестре для студентов, обучающихся по направлению подготовки 25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов, профиль Инженерно-техническое обеспечение полетов летательных аппаратов; необходимую для выполнения работы краткую теорию; условия заданий контрольной работы; примеры выполнения заданий.

УДК 530.1

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Физика»
д-р физ.-мат. наук, проф. А.В.Благин

В печать _____
Формат 60×84/16. Объем _____ усл. п. л.
Тираж 50 экз. Заказ № _____

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2024

Введение

Контрольная работа №2 по физике для студентов второго курса заочной формы обучения – это обязательный вид самостоятельной работы, предполагающий выполнение **шести многоэтапных физических заданий**, проведение расчетов и построение графиков зависимостей физических величин. Задания контрольной работы содержат все разделы физики, изучаемые во втором семестре.

Каждое из шести заданий начинается с краткой теории, содержащей все необходимые определения, формулы и законы по теме [1]. Далее идут формулировки заданий с таблицами с вариантами. В каждом из шести заданий разработано по 40 вариантов, что обеспечивает возможность выполнения каждым студентом индивидуальной работы. **Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в списке группы (см. электронный журнал, <https://edu.donstu.ru>)**. В каждом из шести заданий приведен пример его выполнения.

Правила оформления контрольной работы

1. КР выполняется в тетради в клетку.
2. К обложке тетради приклеивается титульный лист установленного образца с заполненными данными студента (см. Приложение 1).
3. КР выполняется от руки разборчивым почерком и не должна содержать исправлений.
4. Рисунки выполняются только с использованием простого карандаша, линейки, циркуля.
5. Графики строятся только с использованием простого карандаша и линейки. Площадь поля каждого графика должна быть не менее 10 см×12 см.
6. На осях координат должны быть указаны физические величины и единицы их измерения; масштаб наносится на оси с постоянным шагом.
7. Точки наносятся на поле чертежа без указания их на координатных осях и проведения каких-либо штриховых линий. Затем точки соединяются плавной линией, соответствующей графическому изображению той функции (линейной, квадратичной, экспоненциальной и т.д.), которая отражает проявляющуюся в данном опыте известную или предполагаемую физическую закономерность, выраженную в виде соответствующей формулы.
8. Если на одном поле располагаются несколько графиков, то каждый из них должен быть подписан.

Задание 1. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Краткая теория

Электрическим током называется упорядоченное движение электрических зарядов.

Закон Ома для однородного участка цепи: сила тока на однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению на этом участке и обратно пропорциональна его сопротивлению (рис. 1),

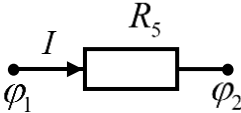


Рис. 1

$$I = \frac{U}{R}. \quad (1)$$

Напряжение на однородном участке цепи:

$$U = I \cdot R. \quad (2)$$

Единицы измерения величин: $[I] = 1 A$, $[U] = 1 B$, $[R] = 1 Ом$.

Физическая величина, равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда, называется электродвижущей силой (эдс), действующей в цепи или на ее участке:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{cm}}{q}, \quad [\mathcal{E}] = 1 B.$$

Внутреннее сопротивление источника тока r – количественная характеристика источника тока, которая определяет величину энергетических потерь при прохождении через источник электрического тока, $[r] = 1 Ом$.

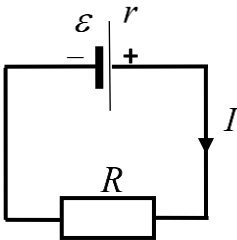


Рис. 2

Закон Ома для замкнутой цепи: сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна эдс источника тока и обратно пропорциональна сумме сопротивлений внутреннего и внешнего участков цепи (рис. 2),

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \quad (3)$$

С увеличением сопротивления напряжение на зажимах источника возрастает,

$$U = I \cdot R = \frac{\varepsilon R}{R + r} = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R}}. \quad (4)$$

При $R \rightarrow \infty$, согласно (4),
$$U = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{\infty}} = \varepsilon.$$

При $R \rightarrow 0$, согласно (4),
$$U = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{0}} = 0.$$

При $R = r$, согласно (4),
$$U = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{r}} = \frac{\varepsilon}{2}.$$

Полная мощность источника тока определяется формулой

$$P_{\text{ист}} = \varepsilon \cdot I. \quad (5)$$

С учётом (3),

$$P_{\text{ист}} = \frac{\varepsilon^2}{R + r}. \quad (6)$$

Полезная мощность, т.е. мощность, расходуемая на нагрузке,

$$P_n = U \cdot I. \quad (7)$$

С учётом (3) и (4),

$$P_n = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}. \quad (8)$$

Для выяснения условия, при котором P_n будет максимальной, исследуем функцию (8) на экстремум:

$$\frac{dP_n}{dR} = 0,$$

$$\frac{dP_n}{dR} = \frac{\varepsilon^2(R+r-2R)}{(R+r)^3},$$

$$R+r-2R=0 \Rightarrow R=r,$$

т. е. полезная мощность максимальна, если внешнее сопротивление равно внутреннему сопротивлению источника тока.

В этом случае, в соответствии с (8),

$$P_{n\max} = \frac{\varepsilon^2}{4R} = \frac{\varepsilon^2}{4r}. \quad (9)$$

Коэффициент полезного действия источника тока КПД – отношение полезной мощности к его полной мощности:

$$\eta = \frac{P_n}{P_{\text{ист}}}. \quad (10)$$

В соответствии с (6) и (8),

$$\eta = \frac{R}{R+r}. \quad (11)$$

Если полезная мощность максимальна (при $R=r$),

$$\eta = \frac{R}{R+R} = 0,5 \text{ или } 50\%. \quad (12)$$

Если внешнее сопротивление $R=0$, в цепи возникает короткое замыкание, ток источника резко возрастает и достигает своей максимальной величины; согласно (3)

$$I_{K.з.} = \frac{\varepsilon}{r}.$$

При $R=r$, согласно (3)

$$I = \frac{\varepsilon}{r+r} = \frac{\varepsilon}{2r} = \frac{I_{K.з.}}{2}.$$

Условие задания

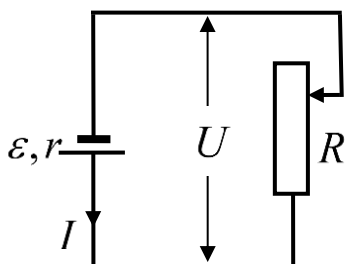


Рис. 3

Замкнутая электрическая цепь состоит из источника тока, который имеет эдс ε и внутреннее сопротивление r , и реостата R (рис. 3). При перемещении ползунка реостата значение внешнего сопротивления цепи R может изменяться в пределах от 0 до 20 Ом с шагом 2 Ом. Варианты значений ε и r приведены в таблице 1.

Таблица 1. Варианты заданий

| № | ε, B | $r, Ом$ | № | ε, B | $r, Ом$ | № | ε, B | $r, Ом$ |
|-----------|------------------|---------|-----------|------------------|---------|-----------|------------------|---------|
| 1 | 52 | 2 | 15 | 60 | 4 | 28 | 68 | 6 |
| 2 | 52 | 2 | 16 | 62 | 4 | 30 | 70 | 6 |
| 3 | 56 | 2 | 17 | 64 | 4 | 31 | 50 | 3 |
| 4 | 58 | 2 | 18 | 66 | 4 | 32 | 50 | 3 |
| 5 | 60 | 2 | 19 | 68 | 4 | 33 | 50 | 3 |
| 6 | 62 | 2 | 20 | 70 | 4 | 34 | 50 | 3 |
| 7 | 64 | 2 | 21 | 52 | 6 | 35 | 63 | 3 |
| 8 | 66 | 2 | 22 | 52 | 6 | 36 | 63 | 3 |
| 9 | 68 | 2 | 23 | 56 | 6 | 37 | 63 | 3 |
| 10 | 70 | 2 | 24 | 58 | 6 | 38 | 65 | 2 |
| 11 | 52 | 4 | 25 | 60 | 6 | 39 | 65 | 2 |
| 12 | 52 | 4 | 26 | 62 | 6 | 40 | 51 | 2 |
| 13 | 56 | 4 | 27 | 64 | 6 | 41 | 61 | 3 |
| 14 | 58 | 4 | 28 | 66 | 6 | 42 | 65 | 4 |

1. Для каждого значения R по формуле (3) рассчитать силу тока I в цепи. Результаты занести в табл. 2.
2. Для каждого значения R по формуле (2) рассчитать напряжение U на внешнем участке цепи. Результаты занести в табл. 2.
3. На одном поле построить графики зависимостей $I(R)$ и $U(R)$. Сделать вывод о характере зависимостей.
4. По графику $I(R)$ определить ток короткого замыкания $I_{K.3.}$. Убедиться, что значению сопротивления $R = r$ соответствует значение силы тока $I = \frac{I_{K.3.}}{2}$.
5. По графику $U(R)$ убедиться, что значению сопротивления $R = r$ соответствует значение напряжения $U = \frac{\varepsilon}{2}$.
6. Для каждого значения R рассчитать по формуле (7) полезную мощность P_n . Результаты занести в табл. 2.
7. Построить график зависимости $P_n(R)$.
8. По графику $P_n(R)$ определить значение максимальной полезной мощности $P_{n \max}$ и соответствующие ей значения R . Убедиться, что $P_{n \max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$.
9. Для каждого значения R рассчитать по формуле (11) коэффициент полезного действия η . Результаты занести в табл. 2.
10. Построить график зависимости $\eta(R)$.
11. По графику определить значение КПД, соответствующее значению сопротивления $R = r$.

Таблица 2. Результаты вычислений

| | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| $R, Ом$ | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| I, A | | | | | | | | | | | |
| U, B | | | | | | | | | | | |
| $P_{ист}, Вт$ | | | | | | | | | | | |
| $P_n, Вт$ | | | | | | | | | | | |
| η | | | | | | | | | | | |

Пример выполнения задания 1

Замкнутая электрическая цепь состоит из источника тока, который имеет эдс $\mathcal{E} = 54 В$ и внутреннее сопротивление $r = 2 Ом$, и реостата R (см. рис. 3).

При перемещении ползунка реостата значение внешнего сопротивления цепи R может изменяться в пределах от 0 до 20 Ом с шагом 2 Ом.

Дано:

$$\mathcal{E} = 54 В$$

$$r = 2 Ом$$

$$R = 0 \div 20 Ом$$

$$\Delta R = 2 Ом$$

Решение

1. Сила тока в цепи: $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$.

$$R_1 = 0, \quad I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r}, \quad I_1 = \frac{54}{0 + 2} = 27 А;$$

$$R_2 = 2 Ом, \quad I_2 = \frac{54}{2 + 2} = 13,5 А;$$

$$R_3 = 4 Ом, \quad I_3 = \frac{54}{4 + 2} = 9 А;$$

$$R_4 = 6 Ом, \quad I_4 = \frac{54}{6 + 2} = 6,75 А;$$

$$R_5 = 8 Ом, \quad I_5 = \frac{54}{8 + 2} = 5,4 А;$$

$$R_6 = 10 \text{ Ом}, \quad I_6 = \frac{54}{10 + 2} = 4,5 \text{ А};$$

$$R_7 = 12 \text{ Ом}, \quad I_7 = \frac{54}{12 + 2} = 3,8571428... \approx 3,68 \text{ А}$$

(во всех расчетах оставлять не более двух знаков после запятой);

$$R_8 = 14 \text{ Ом}, \quad I_8 = \frac{54}{14 + 2} = 3,375 \approx 3,76 \text{ А};$$

$$R_9 = 16 \text{ Ом}, \quad I_9 = \frac{54}{16 + 2} = 3 \text{ А};$$

$$R_{10} = 18 \text{ Ом}, \quad I_{10} = \frac{54}{18 + 2} = 2,7 \text{ А};$$

$$R_{11} = 20 \text{ Ом}, \quad I_{11} = \frac{54}{20 + 2} = 2,454545... \approx 2,46 \text{ А}.$$

Результаты расчетов силы тока занести в табл. 3.

2. Напряжение на внешнем участке цепи: $U = I \cdot R$.

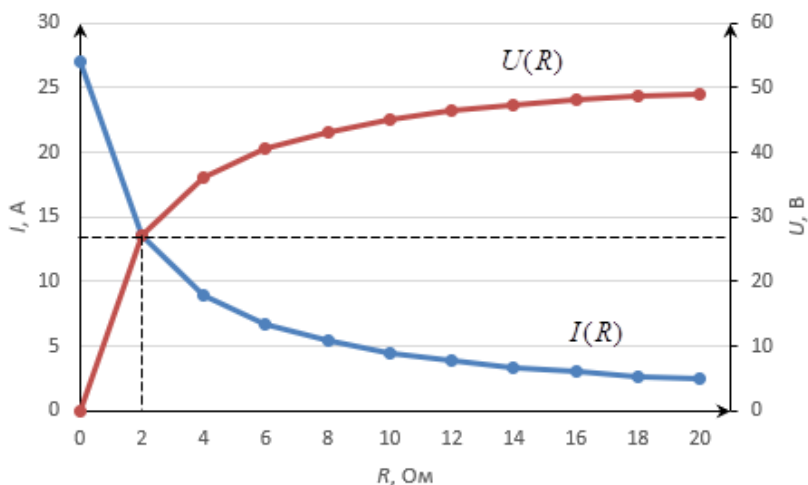
$$R_1 = 0, \quad U_1 = I_1 \cdot R_1 \quad U_1 = 27 \cdot 0 = 0;$$

$$R_2 = 2 \text{ Ом}, \quad U_2 = I_2 \cdot R_2, \quad U_2 = 13,5 \cdot 2 = 27 \text{ В};$$

$$R_3 = 4 \text{ Ом}, \quad U_3 = I_3 \cdot R_3, \quad U_3 = 9 \cdot 4 = 36 \text{ В} \text{ и т. д.}$$

Результаты расчетов напряжения занести в табл. 3.

3. Построить графики зависимостей $I(R)$ и $U(R)$.



Выводы:

– сила тока в замкнутой цепи обратно пропорциональна сопротивлению

внешнего участка цепи, $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$;

– с увеличением сопротивления R напряжение на зажимах источника

возрастает, $U = I \cdot R = \frac{\varepsilon}{R + r} \cdot R = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R}}$.

4. Если внешнее сопротивление $R = 0$, в цепи возникает короткое замыкание.

Ток короткого замыкания, $I_{к.з.} = \frac{54}{2} = 27 \text{ A}$.

При $R = r$ сила тока $I = \frac{I_{к.з.}}{2}$; $R = r = 2 \text{ Ом}$, $I = \frac{27}{2} = 13,5 \text{ A}$ (см.

график $I(R)$).

5. При $R = r$ напряжение $U = \frac{\varepsilon}{2}$; $R = r = 2 \text{ Ом}$, $U = \frac{54}{2} = 27 \text{ В}$ (см.

график $U(R)$).

6. Полезная мощность: $P_n = U \cdot I$.

При $R_1 = 0$, $P_{n1} = U_1 \cdot I_1$, $P_{n1} = 0 \cdot 27 = 0$;

$R_2 = 2 \text{ Ом}$, $P_{n2} = U_2 \cdot I_2$, $P_{n2} = 27 \cdot 13,5 = 364,5 \text{ Вт}$;

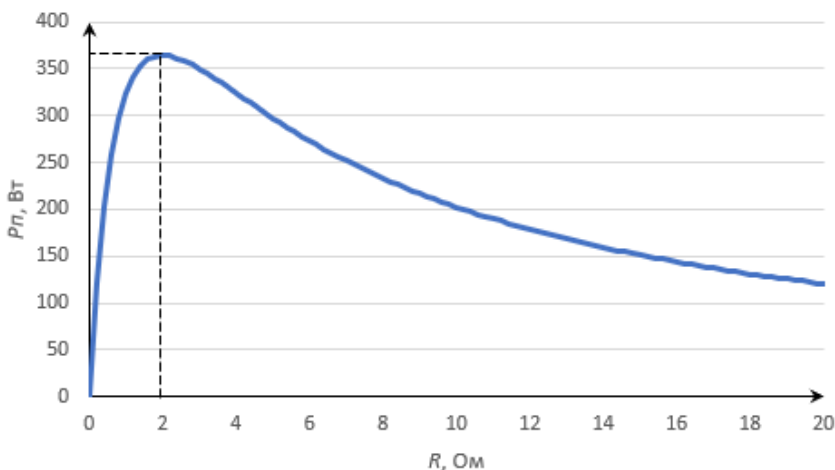
$R_3 = 4 \text{ Ом}$, $P_{n3} = U_3 \cdot I_3$, $P_{n3} = 36 \cdot 9 = 324 \text{ Вт}$ и т. д.

Результаты расчетов полезной мощности занести в табл. 3.

Таблица 3. Результаты вычислений

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----|-------|------|--------|--------|-------|-------|--------|------|--------|--------|
| $R, \text{Ом}$ | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| $I, \text{А}$ | 27 | 13,5 | 9 | 6,75 | 5,4 | 4,5 | 3,86 | 3,38 | 3 | 2,7 | 2,45 |
| $U, \text{В}$ | 0 | 27 | 36 | 40,5 | 43,2 | 45 | 46,32 | 47,32 | 48 | 48,6 | 49 |
| $r = 2 \text{ Ом}$ | 0 | 364,5 | 324 | 273,38 | 233,28 | 202,5 | 178,8 | 159,94 | 144 | 131,22 | 120,05 |
| η | 0 | 0,5 | 0,67 | 0,75 | 0,8 | 0,83 | 0,86 | 0,88 | 0,89 | 0,9 | 0,91 |

7. Построить график зависимости $P_n(R)$.



8. Максимальная полезная мощность:

$$P_{n \max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}, \quad P_{n \max} = \frac{54^2}{4 \cdot 2} = 364,5 \text{ Вт}.$$

Значение полезной мощности максимально при $R = r$.

9. Коэффициент полезного действия: $\eta = \frac{R}{R+r}$.

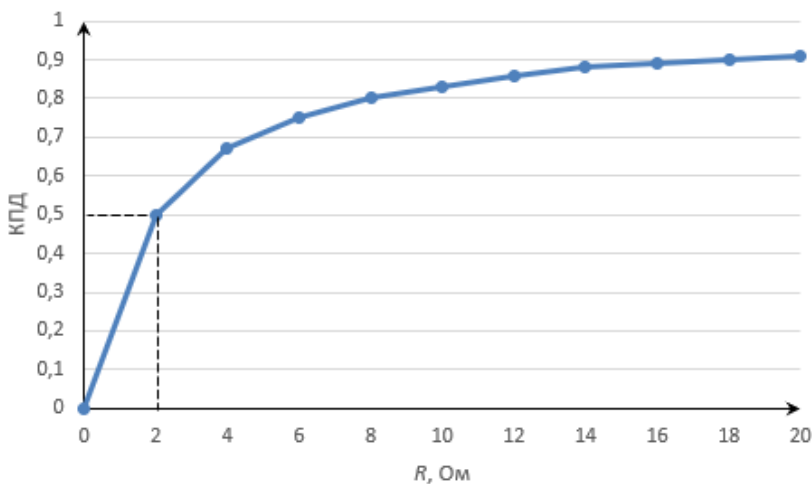
При $R_1 = 0$, $\eta_1 = \frac{R_1}{R_1 + r}$, $\eta_1 = \frac{0}{0+2} = 0$;

$R_2 = 2 \text{ Ом}$, $\eta_2 = \frac{R_2}{R_2 + r}$, $\eta_2 = \frac{2}{2+2} = 0,5$;

$R_3 = 4 \text{ Ом}$, $\eta_3 = \frac{R_3}{R_3 + r}$, $\eta_3 = \frac{4}{4+2} = 0,67$ и т. д.

Результаты расчетов КПД занести в табл. 3.

10. Построить график зависимости $\eta(R)$.



11. При $R = r$ полезная мощность максимальна, а КПД $\eta = \frac{R}{R+R} = 0,5$ или

50%. При $R = r = 2 \text{ Ом}$ $\eta = 0,5$.

Задание 2. РАСЧЁТ РАЗВЕТВЛЁННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРАВИЛ КИРХГОФА

Краткая теория

Рассмотрим разветвленную цепь постоянного тока (рис.1), обозначим все ее элементы и произвольным образом зададим предполагаемые направления токов.

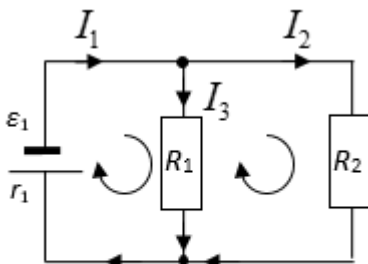


Рис. 1

Узел – это точка, в которой сходится три и более проводника. Участок цепи от узла до следующего узла называется *ветвью*.

Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю,

$$\sum_i I_i = 0. \quad (1)$$

Второе правило Кирхгофа: в любом замкнутом контуре, выделенном в разветвленной цепи, алгебраическая

сумма произведений сил токов на сопротивления соответствующих участков этого контура равна алгебраической сумме эдс,

$$\sum_i I_i R_i = \sum_i \mathcal{E}_i. \quad (2)$$

При расчете разветвленной цепи постоянного тока с использованием правил Кирхгофа необходимо помнить следующее.

1. Число уравнений должно быть равно числу искомых величин.
2. Для N узлов цепи записывается $(N - 1)$ независимых уравнений в соответствии с первым правилом Кирхгофа, остальные уравнения получают, используя второе правило Кирхгофа.
3. Целесообразно направление обхода выбирать так, чтобы большинство токов были положительны, т.е. совпадали по направлению с обходом контура.
4. Если направление обхода контура совпадает с направлением тока, ток считается положительным, если нет – отрицательным.
5. Обход контура целесообразно начинать с узла и вернуться к этому же узлу.



Рис.2

6. ЭДС источника тока считается положительной, если при выбранном направлении обхода внутри источника тока переход совершается от «минуса» к «плюсу», т.е. в сторону повышения потенциала. ЭДС источника тока считается отрицательной, если при выбранном направлении обхода внутри источника тока переход совершается от «плюса» к «минусу», т.е. в сторону понижения потенциала (рис. 2).

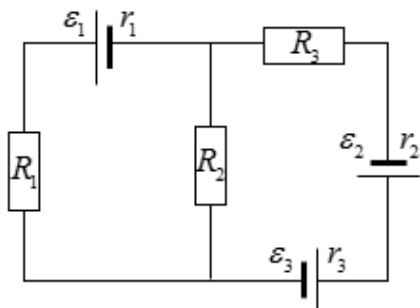


Рис. 3

В качестве примера рассмотрим разветвленную цепь постоянного тока, представленную на рис. 3, для которой:

$$\varepsilon_1 = 1,5 \text{ В}, \quad \varepsilon_2 = 0,5 \text{ В}, \quad \varepsilon_3 = 1 \text{ В},$$

$$r_1 = r_2 = r_3 = 0,5 \text{ Ом}, \quad R_1 = 5 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 10 \text{ Ом}, \quad R_3 = 15 \text{ Ом}.$$

Нанесём на схему обозначения, необходимые для расчёта (рис. 4).

1. Обозначим узлы разветвленной цепи. Очевидно, на схеме два узла: А и В.
2. Для студентов, начинающих осваивать тему, рекомендуется обозначить на схеме полюсы источников тока знаками «+» и «-».
3. Определим число независимых контуров в схеме. Контуров выбирают таким образом, чтобы каждый новый контур содержал хотя бы один участок цепи, не входивший в уже рассмотренные контуры. На нашей схеме удобно выбрать два независимых контура **1** и **2** (третий контур на схеме – внешний, но в нём нет ни одного участка цепи, который не входил бы в контуры **1** и **2**).
4. Обозначим токи на участках цепи. Число токов равно числу ветвей рассматриваемой цепи. Очевидно, в нашем случае, в цепи текут три тока: I_1, I_2, I_3 . В одной ветви от узла до узла течет один ток.
5. Произвольным образом зададим предполагаемые направления токов (поскольку заранее они неизвестны). Если в процессе решения задачи выяснится, что сила тока в каком-либо участке цепи имеет отрицательное значение, то это означает, что в действительности ток идет в направлении, противоположном тому, которое было выбрано в начале расчета.
6. Выберем произвольным образом и обозначим на схеме направления обхода

контуров **1** и **2**.

7. Составим систему уравнений, позволяющих полностью рассчитать схему на рис. 4 (т.е. определить значения всех токов, зная величины всех эдс и сопротивлений).

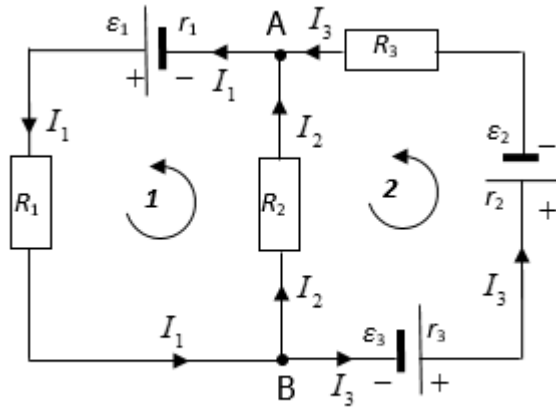


Рис. 4

Поскольку схема содержит три ветви (т.е. необходимо определить значения трёх токов I_1 , I_2 , I_3), система должна состоять из трёх уравнений.

В схеме имеется два узла, поэтому в соответствии с первым правилом Кирхгофа нужно составить одно уравнение для любого узла, и два уравнения в соответствии со вторым правилом для двух контуров:

для узла **A**:
$$I_1 - I_2 + I_3 = 0;$$

для контура **1**:
$$I_1 r_1 + I_1 R_1 + I_2 R_2 = \varepsilon_1;$$

для контура **2**:
$$I_3 r_3 + I_3 r_2 + I_3 R_3 - I_2 R_2 = \varepsilon_3 - \varepsilon_2.$$

Для определения численных значений I_1 , I_2 , I_3 (например, методом Гаусса) перепишем систему уравнений в следующем виде:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0, \\ (r_1 + R_1)I_1 + R_2 I_2 + 0 \cdot I_3 = \varepsilon_1, \\ 0 \cdot I_1 - R_2 I_2 + (r_3 + r_2 + R_3)I_3 = \varepsilon_3 - \varepsilon_2. \end{cases}$$

Подставим численные значения:

$$\begin{cases} 1 \cdot I_1 - 1 \cdot I_2 - 1 \cdot I_3 = 0, \\ 5,5 \cdot I_1 + 10 \cdot I_2 + 0 \cdot I_3 = 1,5, \\ 0 \cdot I_1 - 10 \cdot I_2 + 16 \cdot I_3 = 0,5. \end{cases}$$

Выпишем расширенную матрицу системы:

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 5,5 & 10 & 0 \\ 0 & -10 & 16 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1,5 \\ 0,5 \end{pmatrix}$$

Для вычислений воспользуемся онлайн калькулятором для метода Гаусса (например, <http://matrix.resish.ru/gauss-jordanElimination.php>).

Задать размер матрицы 3x4, что соответствует числу строк и столбцов нашей матрицы; внести значения в появившиеся ячейки (рис. 5) и нажать кнопку «Решить».

Калькулятор выдаст ответ (рис. 6), где x_1, x_2, x_3 соответствуют значениям токов I_1, I_2, I_3 . При записи ответа необходимо оставить четыре знака после запятой.

Размер матрицы: 3 X 4 Задать матрицу

Ввод матрицы

Восстановить матрицу

☐ Комплексные числа (подробнее)

Десятичный

| | X_1 | X_2 | X_3 | b |
|---|-------|-------|-------|-----|
| 1 | 1 | -1 | -1 | 0 |
| 2 | 5,5 | 10 | 0 | 1,5 |
| 3 | 0 | -10 | 16 | 0,5 |

Сбросить Заполнить пустые ячейки нулями

☐ Очень подробное решение Решить

Рис. 5. Screenshot экрана онлайн калькулятора

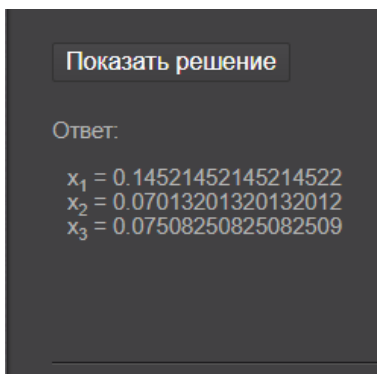


Рис. 6. Screenshot экрана с результатами вычислений

Таким образом, силы токов равны:

$$I_1 = 0,1452 \text{ A};$$

$$I_2 = 0,0701 \text{ A};$$

$$I_3 = 0,0751 \text{ A}.$$

Проверка (для узла **A**):

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0,$$

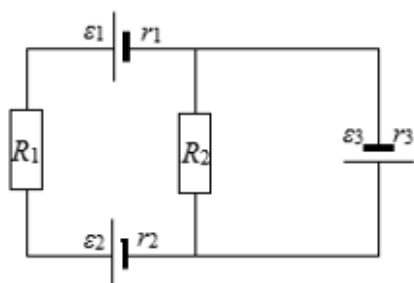
$$0,0701 + 0,0751 = 0,1452,$$

$$0,1452 = 0,1452.$$

Условие задания

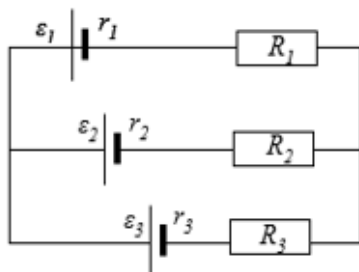
Рассчитать разветвлённую электрическую цепь в соответствии с вариантом задания (определить значения токов I_1 , I_2 , I_3).

Вариант 1



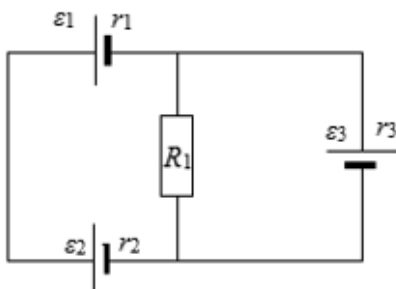
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 15 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 1,5 | 2,0 |

Вариант 2



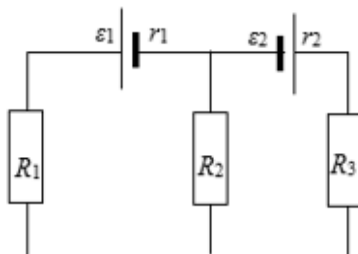
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 12 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 15 | 1,5 | 2,0 |

Вариант 3



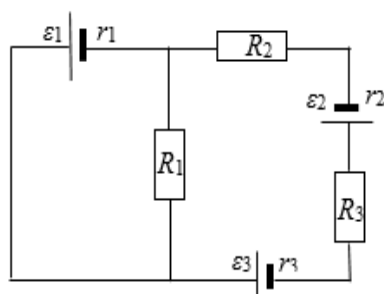
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 1,5 | 2,0 |

Вариант 4



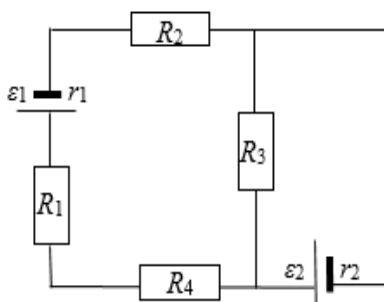
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 5



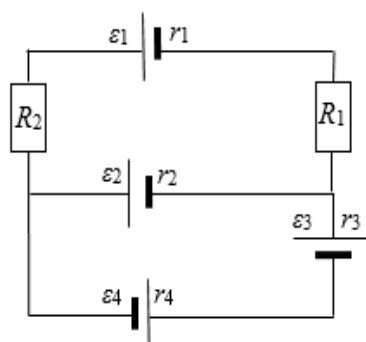
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | 0,5 | 1,0 |

Вариант 6



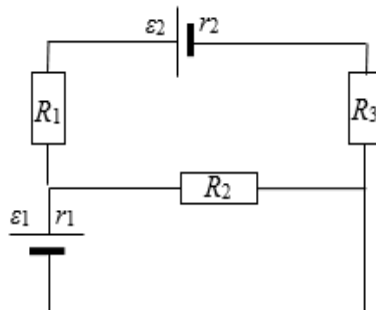
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |
| 4 | 15 | | |

Вариант 7



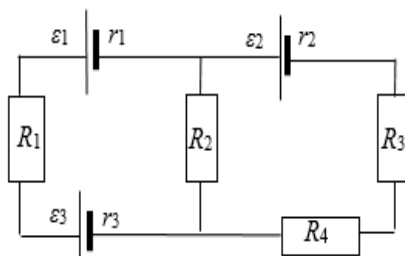
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 0,5 | 1,0 |
| 4 | | 1,0 | 1,5 |

Вариант 8



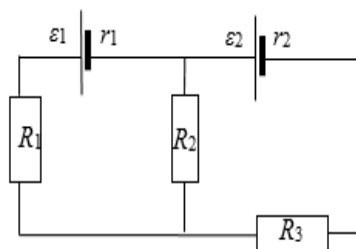
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 9



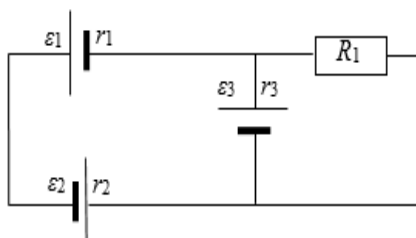
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | 0,5 | 1,0 |
| 4 | 15 | | |

Вариант 10



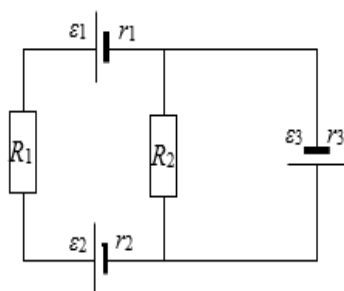
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 11



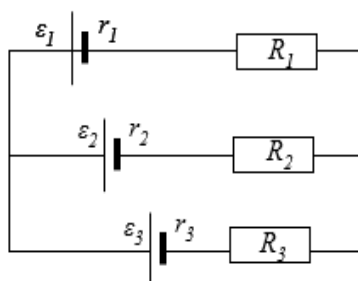
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 0,5 | 2,0 |

Вариант 12



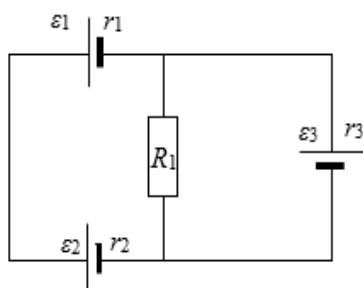
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 15 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 1,5 | 2,0 |

Вариант 13



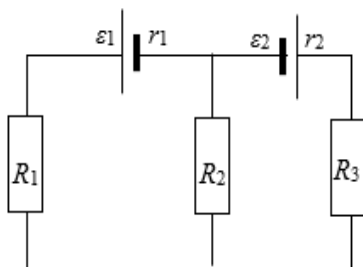
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 12 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 15 | 1,5 | 2,0 |

Вариант 14



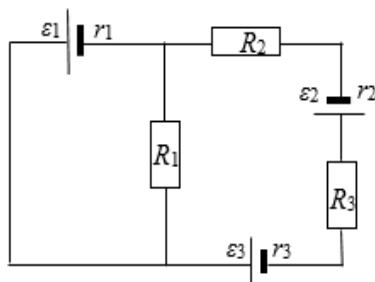
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 1,5 | 2,0 |

Вариант 15



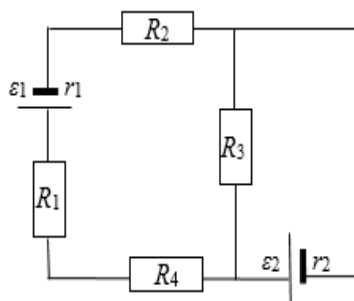
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 16



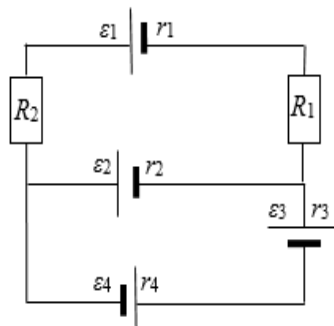
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | 0,5 | 1,0 |

Вариант 17



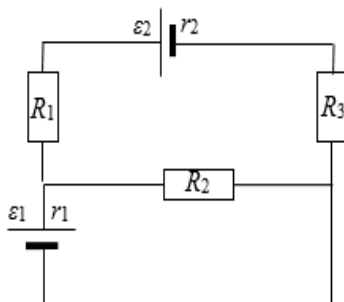
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |
| 4 | 15 | | |

Вариант 18



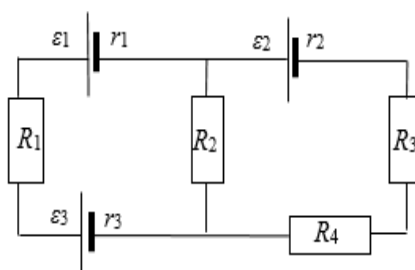
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 0,5 | 1,0 |
| 4 | | 1,0 | 1,5 |

Вариант 19



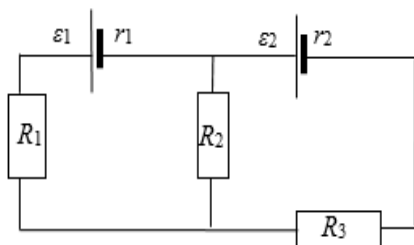
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 20



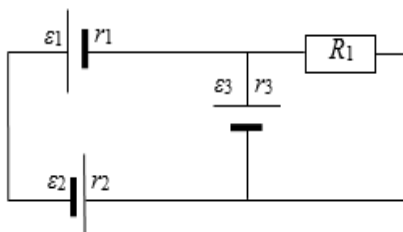
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | 0,5 | 1,0 |
| 4 | 15 | | |

Вариант 21



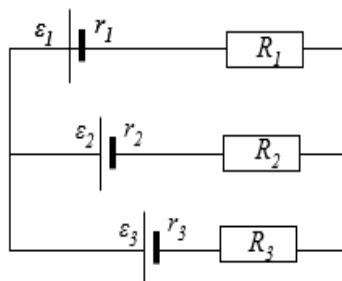
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 22



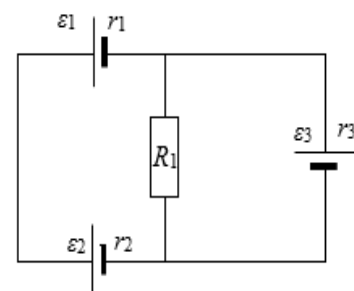
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 0,5 | 2,0 |

Вариант 23



| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 12 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 15 | 1,5 | 2,0 |

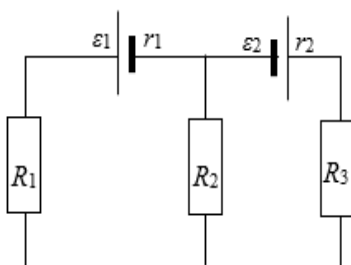
Вариант 24



| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 1,5 | 2,0 |

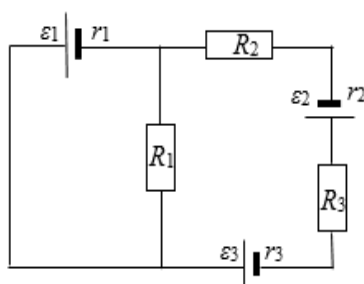


Вариант 25



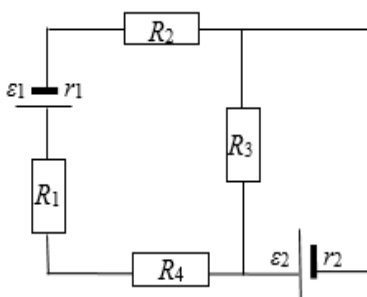
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 26



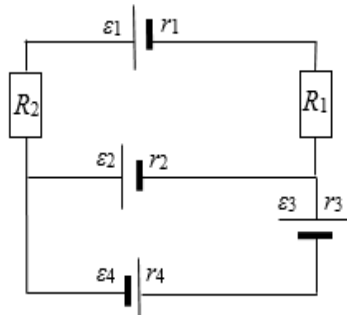
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | 0,5 | 1,0 |

Вариант 27



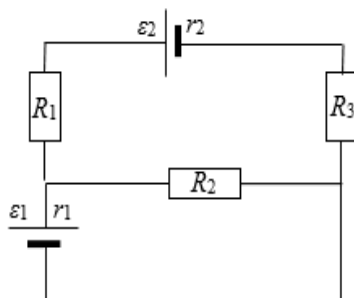
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |
| 4 | 15 | | |

Вариант 28



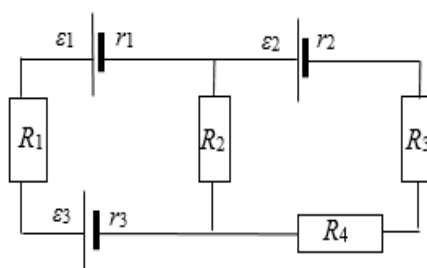
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 0,5 | 1,0 |
| 4 | | 1,0 | 1,5 |

Вариант 29



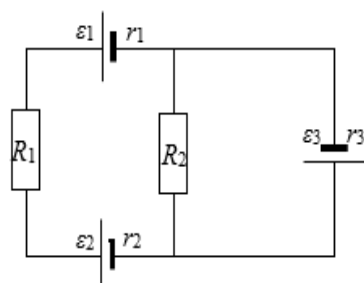
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 30



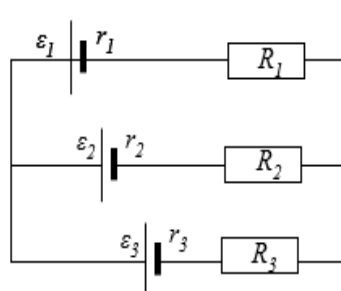
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | 0,5 | 1,0 |
| 4 | 15 | | |

Вариант 31



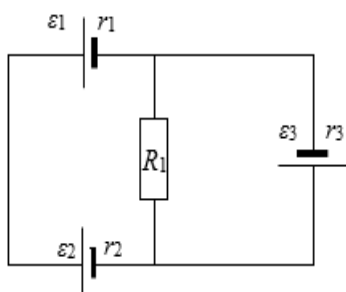
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 15 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 1,5 | 2,0 |

Вариант 32



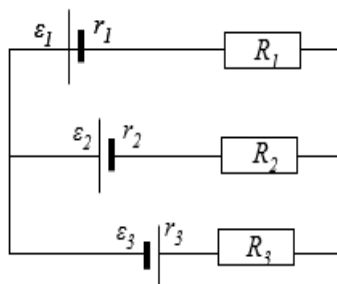
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 12 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 15 | 1,5 | 2,0 |

Вариант 33



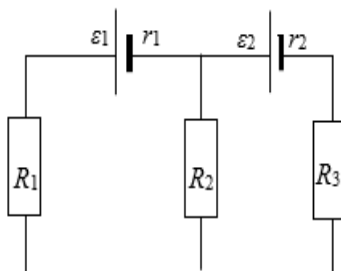
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 1,5 | 2,0 |

Вариант 34



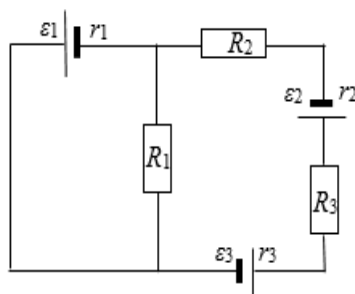
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 12 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 15 | 1,5 | 2,0 |

Вариант 35



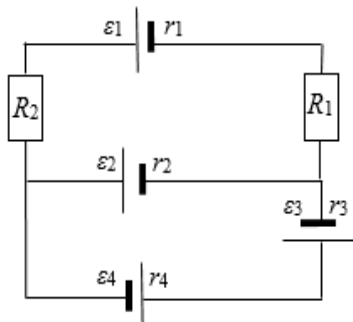
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 36



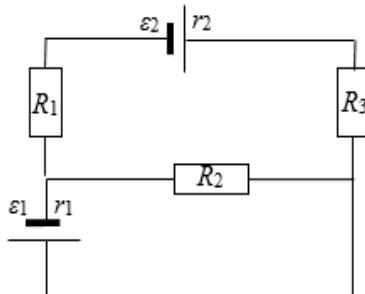
| № | $R_i, \text{ОМ}$ | $r_i, \text{ОМ}$ | $\varepsilon_i, \text{В}$ |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | 0,5 | 1,0 |

Вариант 37



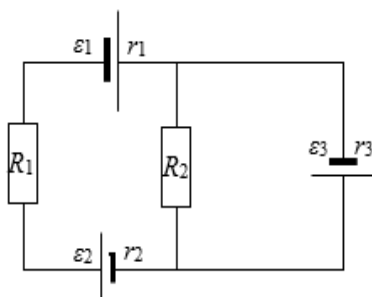
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 0,5 | 1,0 |
| 4 | | 1,0 | 1,5 |

Вариант 38



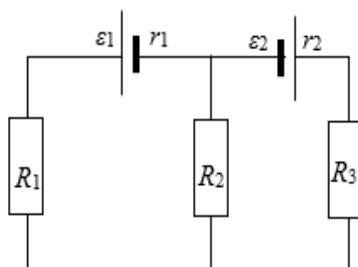
| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Вариант 39



| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 15 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | | 1,5 | 2,0 |

Вариант 40

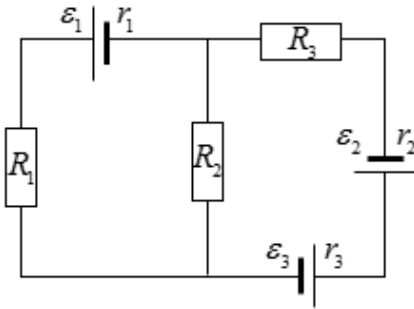


| № | R_i, OM | r_i, OM | ε_i, B |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 1,0 |
| 2 | 10 | 1,0 | 1,5 |
| 3 | 12 | | |

Пример выполнения задания 2

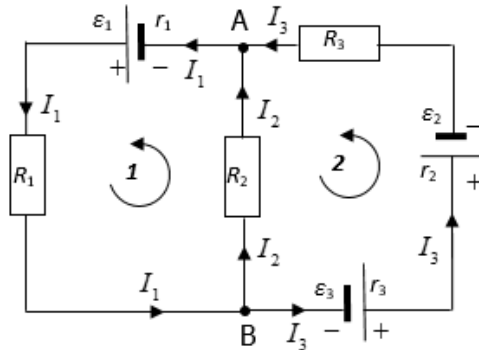
Рассчитать разветвлённую электрическую цепь (определить значения токов I_1, I_2, I_3).

Дано:



| № | $R_i, \text{ Ом}$ | $r_i, \text{ Ом}$ | $\varepsilon_i, \text{ В}$ |
|---|-------------------|-------------------|----------------------------|
| 1 | 5 | 0,5 | 1,5 |
| 2 | 10 | 0,5 | 0,5 |
| 3 | 15 | 0,5 | 1,0 |

Решение:



Для узла **A**: $I_1 - I_2 - I_3 = 0$ по первому правилу Кирхгофа;

для контура **1**: $I_1 r_1 + I_1 R_1 + I_2 R_2 = \varepsilon_1$ по второму правилу Кирхгофа;

для контура **2**: $I_3 r_3 + I_3 r_2 + I_3 R_3 - I_2 R_2 = \varepsilon_3 - \varepsilon_2$ по второму правилу Кирхгофа.

Для определения численных значений I_1, I_2, I_3 (например, методом Гаусса) перепишем систему уравнений в следующем виде:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0, \\ (r_1 + R_1)I_1 + R_2 I_2 + 0 \cdot I_3 = \varepsilon_1, \\ 0 \cdot I_1 - R_2 I_2 + (r_3 + r_2 + R_3)I_3 = \varepsilon_3 - \varepsilon_2. \end{cases}$$

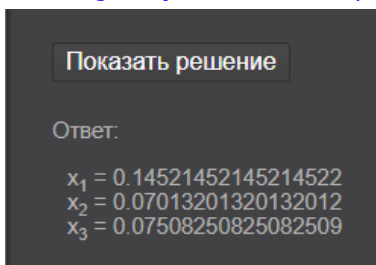
Подставим численные значения:

$$\begin{cases} 1 \cdot I_1 - 1 \cdot I_2 - 1 \cdot I_3 = 0, \\ 5,5 \cdot I_1 + 10 \cdot I_2 + 0 \cdot I_3 = 1,5, \\ 0 \cdot I_1 - 10 \cdot I_2 + 16 \cdot I_3 = 0,5. \end{cases}$$

Выпишем расширенную матрицу системы:

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 5,5 & 10 & 0 \\ 0 & -10 & 16 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1,5 \\ 0,5 \end{pmatrix}$$

Результаты вычислений с помощью онлайн калькулятора для метода Гаусса (<http://matrix.resnish.ru/gauss-jordanElimination.php>).



Таким образом, силы токов равны:

$$I_1 = 0,1452 \text{ A};$$

$$I_2 = 0,0701 \text{ A};$$

$$I_3 = 0,0751 \text{ A}.$$

Проверка (для узла **A**):

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0,$$

$$0,0701 + 0,0751 = 0,1452, \quad 0,1452 = 0,1452.$$

Задание 3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Краткая теория

Магнитное поле – это форма материи, окружающей движущиеся электрические заряды и намагниченные тела.

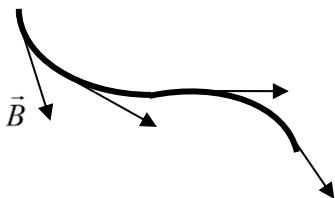


Рис. 1

Основную силовую характеристику магнитного поля называют индукцией магнитного поля \vec{B} .

Графически магнитное поле изображают с помощью линий магнитной индукции. *Линии магнитной индукции* – воображаемые линии, в каждой точке которой вектор магнитной

индукции \vec{B} направлен по касательной (рис. 1). Линии магнитной индукции всегда замкнуты.

Линии индукции магнитного поля прямолинейного тока имеют вид концентрических окружностей, расположенных в плоскостях, перпендикулярных к проводнику, а центры этих окружностей совпадают с проводником.

Направление линий индукции магнитного поля тока определяется по правилу правого винта: если поступательное движение винта происходит по направлению тока в проводнике, то направление вращения головки винта показывает направление линий магнитной индукции (рис. 2).



Рис. 2. Правило правого винта



Рис. 3. Правило правой руки

Также можно использовать *правило правой руки* – если направить большой палец правой руки по направлению тока в проводнике, то четыре согнутых пальца укажут направление линий магнитного поля тока (рис. 3).

Индукция магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током I , в точке пространства, удалённой от проводника на расстояние r , определяется по формуле:

$$B = \frac{\mu \mu_0 I}{2\pi r},$$

где μ – относительная магнитная проницаемость среды, для воздуха можно

принять $\mu = 1$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнитная постоянная.

Принцип суперпозиции магнитных полей: вектор индукции \vec{B} магнитного поля, создаваемого несколькими токами, равен векторной сумме векторов индукции \vec{B}_i полей, создаваемых каждым током в отдельности:

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i.$$

Условие задания

По трём бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расположенным в воздухе, текут токи $I_1 = I_2 = I_3 = 0,2 \text{ А}$ (рис 4.). Расстояния $AC = CD = 10 \text{ см}$. Направления токов в проводниках для разных вариантов приведены в таблице 1.

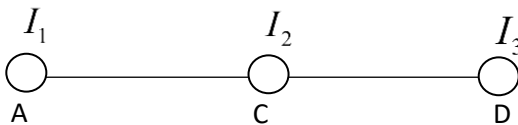


Рис. 4

Найти направление и модуль вектора магнитной индукции результирующего магнитного поля, создаваемого этими токами в точке M , расположенной на прямой AD справа от точки A .

Таблица 1. Варианты заданий

| № | $AM,$ $см$ | Направления токов | | | № | $AM,$ $см$ | Направления токов | | |
|-----------|---------------|----------------------|-------|-------|-----------|---------------|----------------------|-------|-------|
| | | I_1 | I_2 | I_3 | | | I_1 | I_2 | I_3 |
| 1 | 2 | ⊙ | ⊗ | ⊗ | 21 | 12 | ⊙ | ⊗ | ⊙ |
| 2 | 2 | ⊗ | ⊙ | ⊗ | 22 | 12 | ⊙ | ⊙ | ⊗ |
| 3 | 4 | ⊗ | ⊗ | ⊙ | 23 | 14 | ⊙ | ⊙ | ⊙ |
| 4 | 4 | ⊗ | ⊙ | ⊙ | 24 | 14 | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| 5 | 6 | ⊙ | ⊗ | ⊙ | 25 | 3 | ⊙ | ⊙ | ⊙ |
| 6 | 6 | ⊙ | ⊙ | ⊗ | 26 | 3 | ⊙ | ⊗ | ⊗ |
| 7 | 8 | ⊙ | ⊙ | ⊙ | 27 | 5 | ⊗ | ⊙ | ⊗ |
| 8 | 8 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | 28 | 15 | ⊗ | ⊗ | ⊙ |
| 9 | 12 | ⊙ | ⊙ | ⊙ | 28 | 15 | ⊗ | ⊙ | ⊙ |
| 10 | 12 | ⊙ | ⊗ | ⊗ | 30 | 7 | ⊙ | ⊗ | ⊙ |
| 11 | 14 | ⊗ | ⊙ | ⊗ | 31 | 7 | ⊙ | ⊙ | ⊗ |
| 12 | 14 | ⊗ | ⊗ | ⊙ | 32 | 7 | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| 13 | 16 | ⊗ | ⊙ | ⊙ | 33 | 22 | ⊗ | ⊗ | ⊙ |
| 14 | 16 | ⊙ | ⊗ | ⊙ | 34 | 23 | ⊗ | ⊙ | ⊙ |
| 15 | 16 | ⊙ | ⊙ | ⊗ | 35 | 24 | ⊙ | ⊗ | ⊙ |
| 16 | 16 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | 36 | 25 | ⊙ | ⊙ | ⊗ |
| 17 | 18 | ⊙ | ⊗ | ⊗ | 37 | 26 | ⊙ | ⊙ | ⊗ |
| 18 | 18 | ⊗ | ⊙ | ⊗ | 38 | 27 | ⊙ | ⊙ | ⊙ |
| 19 | 22 | ⊗ | ⊗ | ⊙ | 39 | 28 | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| 20 | 22 | ⊗ | ⊙ | ⊙ | 40 | 29 | ⊙ | ⊙ | ⊙ |

Рекомендации по выполнению задания 3

Например, согласно табл. 1 варианту №28 соответствуют направления токов (\otimes – от нас; \otimes – от нас; \odot – к нам) и расстояние $AM = 15\text{ см}$.

Изобразим графически условие задания (рис. 5).

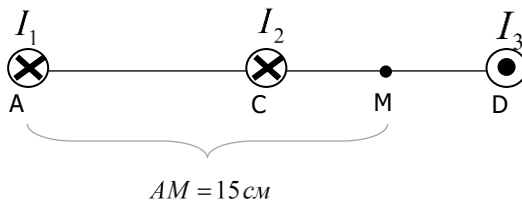


Рис. 5

Пример выполнения задания 3

Внимание! Пример решения приводится для двух проводников.

По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, находящимся на расстоянии $AC = 10\text{ см}$ друг от друга в воздухе, текут токи $I_1 = I_2 = 0,12\text{ А}$ противоположного направления (I_1 – от нас, I_2 – к нам, рис. 6). Найти направление и модуль вектора магнитной индукции результирующего магнитного поля, создаваемого этими токами в точке M , расположенной на прямой AC справа от точки A ; $AM = 4\text{ см}$.

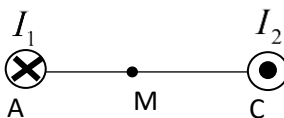


Рис. 6

$$I_1 = I_2 = 0,12 \text{ A}$$

$$AC = 10 \text{ см}$$

$$AM = 4 \text{ см}$$

$$I_1$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$\vec{B} = ?$$

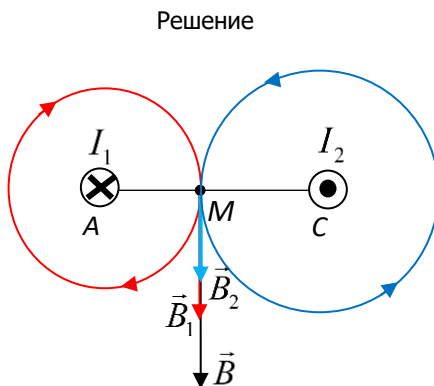


Рис. 7

По принципу суперпозиции магнитных полей индукция результирующего поля в точке М равна векторной сумме индукций полей, создаваемых каждым током в отдельности (рис. 7):

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

В скалярном виде

$$B = B_1 + B_2.$$

По закону Био-Савара-Лапласа индукция магнитного поля бесконечного прямого тока рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r}.$$

Для тока I_1 ,

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

Для тока I_2 ,

$$B_2 = \frac{\mu\mu_0 I_2}{2\pi \cdot BM}.$$

Внимание! $\vec{B}_1 > \vec{B}_2$, т. к. $I_1 = I_2$ и $AM < CM$. Это должно быть отражено на рисунке.

Индукция результирующего поля:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \left(\frac{I_1}{AM} + \frac{I_2}{BM} \right).$$

Вычисления:

$$B = \frac{1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \left(\frac{12 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-2}} + \frac{12 \cdot 10^{-2}}{6 \cdot 10^{-2}} \right) = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Тл}.$$

Задание 4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Краткая теория

Электромагнитные колебания представляют собой взаимосвязанные периодические изменения зарядов, токов, характеристик электрического и магнитного полей, сопровождающиеся взаимными превращениями этих полей.

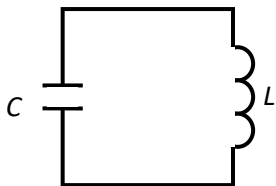


Рис. 1

Для возбуждения и поддержания электромагнитных колебаний используется *колебательный контур* – цепь, состоящая из конденсатора ёмкостью C , катушки индуктивностью L и сопротивления R . Если сопротивление контура R равно нулю, колебательный контур называют *идеальным* (рис. 1).

Колебания, возникающие в идеальном контуре, называются *собственными* или свободными. Свободные незатухающие электромагнитные колебания являются гармоническими.

В идеальном колебательном контуре заряд на обкладках конденсатора изменяется по гармоническому закону,

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где q_0 – максимальное значение заряда на обкладках конденсатора;

$(\omega_0 t + \varphi_0)$ – фаза колебаний; φ_0 – начальная фаза;

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ – циклическая частота собственных колебаний.

Период собственных незатухающих колебаний в колебательном контуре определяется формулой Томсона:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Изменение напряжения на обкладках конденсатора описывается законом:

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где $U_0 = \frac{q_0}{C}$ – максимальное значение напряжения.

Изменение силы тока описывается законом:

$$I = \frac{dq}{dt} = -q_0 \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -I_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где $I_0 = q_0 \omega_0$ – максимальное значение силы тока.

Колебания заряда (напряжения) и тока в контуре сдвинуты по фазе на $\frac{\pi}{2}$,

т.е. ток достигает максимального значения в те моменты времени, когда заряд и напряжение на обкладках конденсатора равны нулю, и наоборот.

Энергия электрического поля между обкладками конденсатора,

$$W_{эл} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q_0^2}{2C} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Максимальное значение энергии электрического поля

$$W_{эл \max} = \frac{q_0^2}{2C}.$$

Энергия магнитного поля

$$\begin{aligned} W_{маг} &= \frac{LI^2}{2} = \frac{Lq_0^2 \omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0) = \\ &= \frac{Lq_0^2}{2LC} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0) = \frac{q_0^2}{2C} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0). \end{aligned}$$

Максимальное значение энергии магнитного поля

$$W_{маг \max} = \frac{LI_0^2}{2} = \frac{q_0^2}{2C}.$$

Полная энергия по закону сохранения энергии

$$W = W_{эл} + W_{маг} = W_{эл \max} = W_{маг \max}.$$

Условие задания

В идеальном колебательном контуре заряд на обкладках конденсатора изменяется по гармоническому закону, уравнение которого приведено в табл. 1.

В зависимости от варианта известна индуктивность катушки L или ёмкость конденсатора C (см. табл. 1)

Определить:

- 1) максимальное значение заряда q_0 ;
- 2) циклическую частоту собственных колебаний ω_0 ;
- 3) период колебаний T ;
- 4) частоту колебаний ν ;
- 5) электроёмкость конденсатора C (или индуктивность катушки L);
- 6) значения заряда q в моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$, где T – период собственных незатухающих колебаний в колебательном контуре (численное значение T рассчитывается в п. 4); результаты занести в табл. 2;
- 7) закон изменения напряжения на обкладках конденсатора $U(t)$;
- 8) максимальное значение напряжения U_0 ;
- 9) значения напряжения U в моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$, результаты занести в табл. 2;
- 10) закон изменения силы тока в катушке $I(t)$;
- 11) максимальное значение силы тока I_0 ;
- 12) значения силы тока I в моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$, результаты занести в табл. 2;
- 13) максимальное значение энергии электрического поля $W_{эл\max}$;
- 14) максимальное значение энергии магнитного поля $W_{маг\max}$;
- 15) значения энергии электрического поля $W_{эл}(t)$ в моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$, результаты занести в табл. 2;

- 16) значения энергии магнитного поля $W_{\text{маг}}(t)$ в моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$, результаты занести в табл. 2;
- 17) значения полной энергии $W(t)$ в моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$, результаты занести в табл. 2;
- 18) построить графики зависимости $q(t), U(t), I(t), W_{\text{эл}}(t), W_{\text{маг}}(t), W(t)$, расположив оси так, как показано на рис. 2.

Таблица 1. Варианты заданий

| № | Уравнение | № | Уравнение |
|----------|---|-----------|---|
| 1 | $q = 10^{-2} \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right), Кл$ $C = 1 мФ$ | 21 | $q = 10^{-2} \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right), Кл$ $C = 1 мФ$ |
| 2 | $q = 10^{-1} \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right), Кл$ $L = 1 Гн$ | 22 | $q = 10^{-5} \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right), Кл$ $C = 1 мФ$ |
| 3 | $q = 0,1 \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right), Кл$ $L = 1 Гн$ | 23 | $q = 10^{-2} \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right), Кл$ $C = 1 мФ$ |
| 4 | $q = 10^{-4} \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right), Кл$ $L = 1 Гн$ | 24 | $q = 10^{-3} \cos\left(\frac{\pi}{6}t\right), Кл$ $C = 1 мФ$ |
| 5 | $q = 10^{-5} \cos(2\pi t), Кл$ $L = 1 Гн$ | 25 | $q = 10^{-1} \cos(\pi t), Кл$ $C = 1 мФ$ |
| 6 | $q = 0,1 \cos(\pi t), Кл$ $L = 1 Гн$ | 26 | $q = 10^{-2} \cos(\pi t), Кл$ $L = 1 Гн$ |

| | | | |
|-----------|---|-----------|---|
| 7 | $q = 10^{-2} \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ | 27 | $q = 10^{-2} \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right), K\lambda$ $C = 1 \text{ мФ}$ |
| 8 | $q = 10^{-2} \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ | 28 | $q = 0,2 \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right), K\lambda$ $C = 1 \text{ мФ}$ |
| 9 | $q = 10^{-2} \cos(4\pi t), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ | 29 | $q = 10^{-2} \cos(\pi t), K\lambda$ $C = 1 \text{ мФ}$ |
| 10 | $q = 10^{-3} \cos(6\pi t), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ | 30 | $q = 10^{-6} \cos(5\pi t), K\lambda$ $C = 1 \text{ мФ}$ |
| 11 | $q = 10^{-2} \cos\left(\frac{\pi}{6}t\right), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ | 31 | $q = 0,02 \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right), K\lambda$ $C = 1 \text{ мФ}$ |
| 12 | $q = 10^{-2} \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ | 32 | $q = 0,02 \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ |
| 13 | $q = 10^{-2} \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ | 33 | $q = 0,02 \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ |
| 14 | $q = 0,002 \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right), K\lambda$ $C = 1 \text{ мФ}$ | 34 | $q = 0,002 \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ |
| 15 | $q = 10^{-6} \cos(\pi t), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ | 35 | $q = 0,02 \cos(2\pi t), K\lambda$ $L = 1 \Gamma_H$ |

| | | | |
|-----------|--|-----------|--|
| 16 | $q = 10^{-2} \cos(\pi t), Кл$ $C = 1 мФ$ | 36 | $q = 0,2 \cos(\pi t), Кл$ $C = 1 мФ$ |
| 17 | $q = 10^{-2} \cos(2\pi t), Кл$ $C = 1 мФ$ | 37 | $q = 0,02 \cos(\pi t), Кл$ $L = 1 Гн$ |
| 18 | $q = 10^{-2} \cos(4\pi t), Кл$ $C = 1 мФ$ | 38 | $q = 10^{-4} \cos(2\pi t), Кл$ $L = 1 Гн$ |
| 19 | $q = 10^{-4} \cos(6\pi t), Кл$ $C = 1 мФ$ | 39 | $q = 0,02 \cos(5\pi t), Кл$ $C = 1 мФ$ |
| 20 | $q = 10^{-2} \cos(5\pi t), Кл$ $C = 1 мФ$ | 40 | $q = 0,2 \cos(\pi t), Кл$ $C = 1 мФ$ |

Таблица 2. Данные для построения графиков $q(t)$, $U(t)$, $I(t)$, $W_{эл}(t)$, $W_{маг}(t)$

| t | 0 | $\frac{T}{4}$ | $\frac{T}{2}$ | $\frac{3T}{4}$ | T |
|---------------|---|---------------|---------------|----------------|-----|
| $q, Кл$ | | | | | |
| $U, В$ | | | | | |
| $I, А$ | | | | | |
| $W_{эл}, Дж$ | | | | | |
| $W_{маг}, Дж$ | | | | | |
| $W, Дж$ | | | | | |

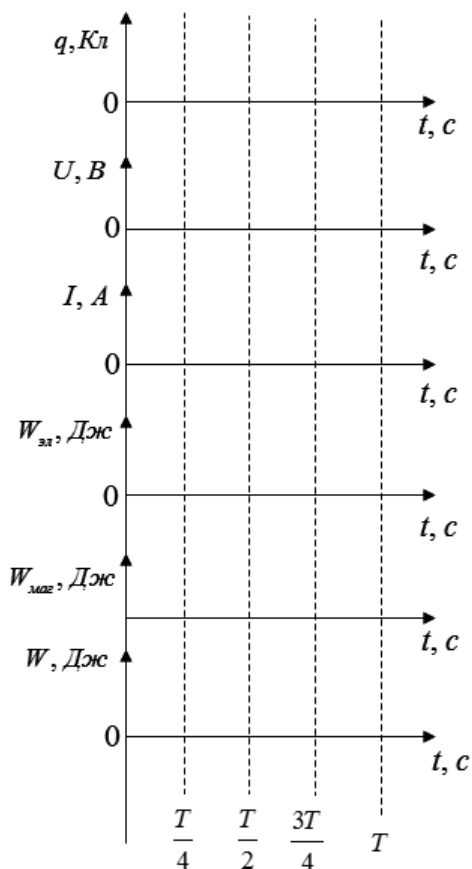


Рис. 2

Пример выполнения задания 4

В идеальном колебательном контуре заряд на обкладках конденсатора изменяется по гармоническому закону $q = 10^{-1} \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right), Кл$. Емкость конденсатора $C = 1 мФ$.

Дано

$$C = 1 \text{ мФ} = 10^{-3} \text{ Ф}$$

$$q = 10^{-1} \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right), \text{ Кл}$$

Решение

По условию заряд на обкладках конденсатора изменяется по гармоническому закону с начальной фазой равной нулю. Общий вид такого закона:

$$q(t) = q_0 \cos(\omega_0 t),$$

1) максимальное значение заряда $q_0 = 10^{-1} \text{ Кл}$;

2) циклическая частота собственных колебаний $\omega_0 = \frac{\pi}{2}$;

3) период колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$, $T = \frac{2\pi \cdot 2}{\pi} = 4 \text{ с}$;

4) частота колебаний $\nu = \frac{1}{T}$, $\nu = \frac{1}{4} \text{ Гц}$;

5) индуктивность катушки $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $\Rightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$, \Rightarrow

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C}, \quad L = \frac{4}{3,14^2 \cdot 10^{-3}} = 405 \text{ Гн};$$

6) значения заряда q в моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$ (численное значение периода собственных незатухающих колебаний в колебательном контуре рассчитано в п. 4, $T = 4 \text{ с}$):

$$t = 0 \quad q = 10^{-1} \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 0\right) = 10^{-1} \cdot 1 = 10^{-1} \text{ Кл},$$

$$t = \frac{T}{4} = \frac{4}{4} = 1 \text{ с} \quad q = 10^{-1} \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 1\right) = 10^{-1} \cdot 0 = 0,$$

$$t = \frac{T}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ с} \quad q = 10^{-1} \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2\right) = 10^{-1} \cdot \cos(\pi) = 10^{-1} \cdot (-1) = -10^{-1} \text{ Кл},$$

$$t = \frac{3T}{4} = \frac{3 \cdot 4}{4} = 3c \quad q = 10^{-1} \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 3\right) = 10^{-1} \cdot 0 = 0,$$

$$t = T = 4c \quad q = 10^{-1} \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 4\right) = 10^{-1} \cdot \cos(2\pi) = 10^{-1} \cdot 1 = 10^{-1} \text{ Кл}.$$

Полученные значения занести в табл. 3.

7) закон изменения напряжения на обкладках конденсатора:

$$U(t) = \frac{q(t)}{C},$$

$$U(t) = \frac{10^{-1} \cos\left(\frac{\pi}{2} t\right)}{10^{-3}}, B, \Rightarrow$$

$$U(t) = 100 \cos\left(\frac{\pi}{2} t\right), B;$$

8) максимальное значение напряжения $U_0 = 100 B$;

9) значения напряжения U в моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$:

$$t = 0 \quad U = 100 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 0\right) = 100 \cdot 1 = 100 B,$$

$$t = \frac{T}{4} = 1c \quad U = 100 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 1\right) = 100 \cdot 0 = 0,$$

$$t = \frac{T}{2} = 2c \quad U = 100 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2\right) = 100 \cdot (-1) = -100 B,$$

$$t = \frac{3T}{4} = 3c \quad U = 100 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 3\right) = 100 \cdot 0 = 0,$$

$$t = T = 4c \quad U = 100 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 4\right) = 100 \cdot 1 = 100 B.$$

Полученные значения занести в табл. 3.

10) закон изменения силы тока в катушке:

$$I(t) = \frac{dq}{dt} = -10^{-1} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}t\right) = -\frac{\pi}{20} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}t\right), A, \Rightarrow$$

$$I(t) = -0,157 \sin\left(\frac{\pi}{2}t\right), A;$$

11) максимальное значение силы тока $I_0 = 0,157 A$;

12) значения силы тока I в моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$:

$$t = 0 \quad I = -0,157 \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot 0\right) = -0,157 \cdot 0 = 0,$$

$$t = \frac{T}{4} = 1c \quad I = -0,157 \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot 1\right) = -0,157 \cdot 1 = -0,157 A,$$

$$t = \frac{T}{2} = 2c \quad I = -0,157 \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2\right) = -0,157 \cdot 0 = 0,$$

$$t = \frac{3T}{4} = 3c \quad I = -0,157 \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot 3\right) = -0,157 \cdot (-1) = 0,157 A,$$

$$t = T = 4c \quad I = -0,157 \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot 4\right) = 0.$$

Полученные значения занести в табл. 3.

13) максимальное значение энергии электрического поля:

$$W_{эл\max} = \frac{q_0^2}{2C}, \quad W_{эл\max} = \frac{(10^{-1})^2}{2 \cdot 10^{-3}} = 5 Дж;$$

14) максимальное значение энергии магнитного поля:

$$W_{маг\max} = \frac{LI_0^2}{2}, \quad W_{маг\max} = \frac{405 \cdot 0,157^2}{2} = 5 Дж;$$

15) значения энергии электрического поля $W_{эл}(t) = W_{эл\max} \cos^2(\omega_0 t)$ в

моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$:

$$t = 0 \quad W_{эл} = 5 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot 0\right) = 5 \text{ Дж} ,$$

$$t = \frac{T}{4} = 1 \text{ с} \quad W_{эл} = 5 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot 1\right) = 0 ,$$

$$t = \frac{T}{2} = 2 \text{ с} \quad W_{эл} = 5 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2\right) = 5 \text{ Дж} ,$$

$$t = \frac{3T}{4} = 3 \text{ с} \quad W_{эл} = 5 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot 3\right) = 0 ,$$

$$t = T = 4 \text{ с} \quad W_{эл} = 5 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot 4\right) = 5 \text{ Дж} .$$

Полученные значения занести в табл. 3.

16) значения энергии магнитного поля $W_{маг}(t) = W_{маг\max} \sin^2(\omega_0 t)$ в

моменты времени $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$:

$$t = 0 \quad W_{маг} = 5 \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot 0\right) = 0 ,$$

$$t = \frac{T}{4} = 1 \text{ с} \quad W_{маг} = 5 \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot 1\right) = 5 \text{ Дж} ,$$

$$t = \frac{T}{2} = 2 \text{ с} \quad W_{маг} = 5 \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2\right) = 0 ,$$

$$t = \frac{3T}{4} = 3 \text{ с} \quad W_{маг} = 5 \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot 3\right) = 5 \text{ Дж} ,$$

$$t = T = 4c \quad W_{\text{маг}} = 5 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \cdot 4 \right) = 0.$$

Полученные значения занести в табл. 3.

17) значения полной энергии $W(t) = W_{\text{эл}}(t) + W_{\text{маг}}(t)$ в моменты времени

$$t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T :$$

$$t = 0 \quad W = 5 + 0 = 5 \text{ Дж},$$

$$t = \frac{T}{4} = 1c \quad W = 0 + 5 = 5 \text{ Дж},$$

$$t = \frac{T}{2} = 2c \quad W = 5 + 0 = 5 \text{ Дж},$$

$$t = \frac{3T}{4} = 3c \quad W = 0 + 5 = 5 \text{ Дж},$$

$$t = T = 4c \quad W = 5 + 0 = 5 \text{ Дж}. \text{ Полученные значения занести в табл. 3.}$$

Таблица 3. Данные для построения графиков $q(t)$, $U(t)$, $I(t)$, $W_{\text{эл}}(t)$, $W_{\text{маг}}(t)$

| t | 0 | $\frac{T}{4}$ | $\frac{T}{2}$ | $\frac{3T}{4}$ | T |
|------------------------------|-----|---------------|---------------|----------------|-----|
| $q, \text{ Кл}$ | 0,1 | 0 | -0,1 | 0 | 0,1 |
| $U, \text{ В}$ | 100 | 0 | -100 | 0 | 100 |
| $I, \text{ А}$ | 0 | -0,157 | 0 | 0,157 | 0 |
| $W_{\text{эл}}, \text{ Дж}$ | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| $W_{\text{маг}}, \text{ Дж}$ | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| $W, \text{ Дж}$ | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

18) построить графики зависимости $q(t)$, $U(t)$, $I(t)$, $W_{эл}(t)$, $W_{маг}(t)$, $W(t)$, расположив оси, как показано на рис. 2.

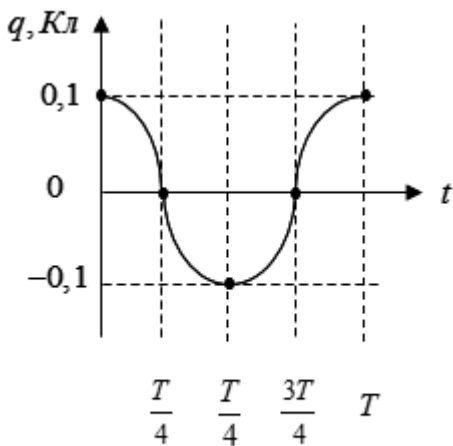


Рис. 3

На рис. 3 приведём пример построения **только** графика зависимости $q(t)$.

Задание 5. ОПТИКА

Краткая теория

Во многих оптических приборах часто используют различные линзы. Плосковыпуклая линза – оптически прозрачное однородное тело, ограниченное с одной стороны сферической поверхностью радиуса кривизны R , а с другой – плоскостью. Плосковыпуклая линза является собирающей.

Плосковыпуклая линза называется тонкой, если её толщина много меньше радиуса кривизны её сферической поверхности и расстояния от линзы до предмета. Толщину плосковыпуклой линзы можно описать формулой

$$\Delta h = \delta \cdot R, \quad (1)$$

где δ – заданный коэффициент.

Получим формулу, связывающую диаметр линзы D_L с радиусом кривизны ее поверхности R (рис. 1).

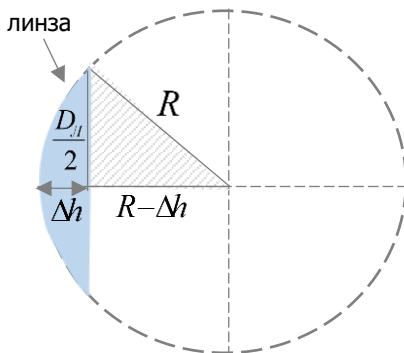


Рис. 1

По теореме Пифагора:

$$R^2 = \left(\frac{D_L}{2} \right)^2 + (R - \Delta h)^2,$$

$$R^2 = \frac{D_L^2}{4} + (R - \delta \cdot R)^2,$$

$$R^2 = \frac{D_{\mathcal{I}}^2}{4} + R^2 (1 - \delta)^2,$$

$$\frac{D_{\mathcal{I}}^2}{4} = R^2 - R^2 (1 - \delta)^2,$$

$$D_{\mathcal{I}}^2 = 4R^2 (1 - (1 - \delta)^2),$$

$$D_{\mathcal{I}}^2 = 4R^2 (2\delta - \delta^2),$$

$$D_{\mathcal{I}}^2 = 4R^2 \delta (2 - \delta),$$

$$D_{\mathcal{I}} = 2R\sqrt{\delta(2 - \delta)}. \quad (2)$$

На рис. 2 показано построение изображения предмета высотой h в тонкой собирающей линзе для случая, когда предмет расположен между фокусом и двойным фокусом. В этом случае изображение предмета является действительным, перевёрнутым и увеличенным.

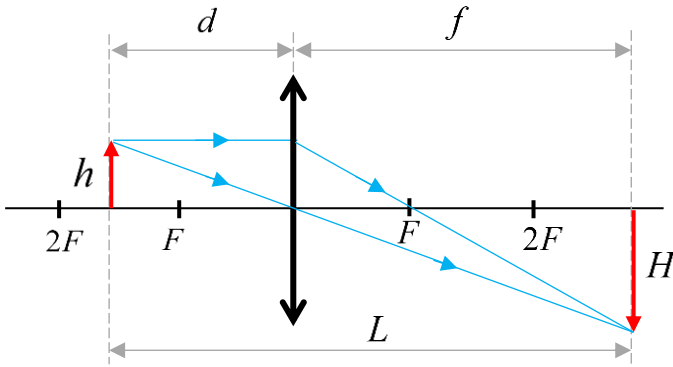


Рис. 2

На рис. 2: F – фокусное расстояние; h – высота предмета; H – высота изображения предмета; d – расстояние от линзы до предмета; f –

расстояние от линзы до изображения предмета; $L = d + f$ – расстояние от предмета до экрана.

Формула тонкой собирающей линзы, когда предмет и изображение действительные, имеет вид:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (3)$$

Фокусное расстояние плосковыпуклой линзы, расположенной в воздухе, определяется формулой:

$$F = \frac{R}{n-1}, \quad (4)$$

где n – абсолютный показатель преломления материала линзы, равный отношению скорости света в вакууме к скорости света в среде,

$$n = \frac{c}{v}.$$

Оптическая сила линзы – величина, обратная фокусному расстоянию:

$$D = \frac{1}{F}, \quad [D] = \frac{1}{\text{м}} = 1 \text{ дптр (диоптрия)}. \quad (5)$$

Линейное увеличение линзы – отношение размера изображения к размеру предмета:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (6)$$

Интерференция света — явление перераспределения интенсивности света при наложении когерентных световых волн. Интерференционная картина в виде концентрических колец вокруг точки соприкосновения плосковыпуклой линзы и плоскопараллельной пластины называется кольцами Ньютона (рис. 3). Кольца Ньютона используются для определения радиусов кривизны поверхностей линз.

Выразим радиус кривизны линзы через диаметр колец Ньютона.

Пусть монохроматический свет с длиной волны λ падает перпендикулярно к плоской поверхности линзы. Когда свет достигает выпуклой поверхности линзы (точка А), то часть его отражается и распространяется в

противоположном направлении (луч $1'$), а часть проходит в воздушный зазор и, падая на плоскую поверхность стеклянной пластинки (точка В), снова частично отражается в противоположном направлении (луч $1''$).

Лучи $1'$ и $1''$, отраженные от верхней и нижней поверхностей клинообразного зазора между линзой и пластиной, распространяются практически вдоль одной прямой, т.к. угол клина между линзой и пластинкой очень мал. Лучи являются когерентными и интерферируют. В отраженном свете будут видны чередующиеся цветные (цвет соответствует длине волны монохроматического света) и темные интерференционные кольца, называемые кольцами Ньютона (рис. 3).

Если между линзой и пластиной воздух, радиус темного кольца Ньютона с номером m ($m = 0, 1, 2, \dots$) в отраженном свете определяется формулой:

$$r_m = \sqrt{m \cdot \lambda \cdot R}.$$

Отсюда радиус кривизны линзы

$$R = \frac{r_m^2}{m \cdot \lambda}.$$

Если радиус m -го темного кольца Ньютона выразить его через диаметр

$$r_m = \frac{d_m}{2},$$

то

$$R = \frac{d_m^2}{4m\lambda}. \quad (7)$$

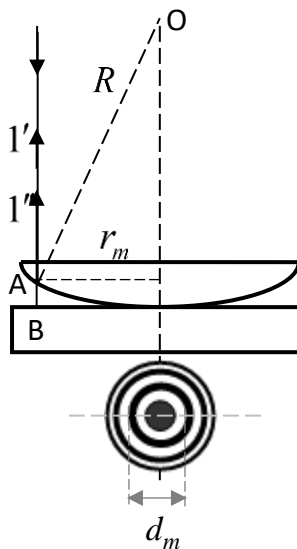


Рис. 3

Условие задания

Индикатор на лобовом стекле самолетов и вертолетов предназначен для отображения символьной и графической информации на лобовом стекле на фоне закабинной обстановки (рис. 5).

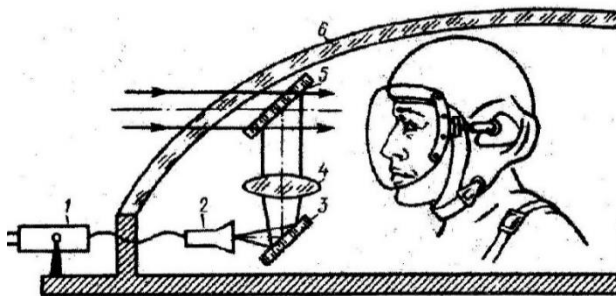


Рис. 5

Индикатор состоит из электронно-лучевого прибора и совмещённой с ним оптической системы (на рис. 5: 1 – передающая телекамера; 2 – кинескоп; 3, 5 – зеркала; 4 – объектив коллиматора; 6 – лобовое стекло). В оптической системе индикатора для получения на экране изображения высотой H объекта размером h используется тонкая плосковыпуклая линза с абсолютным показателем преломления стекла n . Толщина линзы определяется формулой $\Delta h = \delta \cdot R$, где δ – заданный коэффициент. Радиус кривизны поверхности линзы R определяется по интерференционной картине в виде колец Ньютона. Кольца Ньютона наблюдаются в отраженном свете длиной волны λ через микроскоп. Для определения истинного размера радиуса кольца Ньютона учитывается цена деления шкалы микроскопа $k = 1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{мм}}$. Варианты изображений колец Ньютона приведены на рис. 6. Численные значения длины волны света λ , показателя преломления материала линзы n , коэффициента δ , расстояния от предмета до линзы d , размера полученного с помощью линзы изображения H для каждого варианта приведены в табл. 1 [2].

1. Распечатать изображение колец Ньютона, соответствующее Вашему варианту, и вклеить в тетрадь для контрольной работы.
2. С помощью линейки измерить в миллиметрах диаметры первых пяти **темных** колец Ньютона D_m ($m = 1, 2, 3, 4, 5$); данные занести в табл. 2.
3. Рассчитать реальные значения диаметров колец Ньютона по формуле $d_m = k \cdot D_m$; результаты занести в табл. 2.
4. Рассчитать радиусы кривизны поверхности линзы для каждого значения диаметра по формуле (7); результаты занести в табл. 2.
5. Рассчитать среднее значение радиуса кривизны линзы
$$\langle R \rangle = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_5}{5}.$$
6. Используя заданный коэффициент δ , рассчитать толщину линзы по формуле (1).
7. Рассчитать диаметр линзы по формуле $D_{\text{Л}} = 2 \langle R \rangle \sqrt{\delta(2 - \delta)}.$
8. По полученным значениям $\langle R \rangle$, Δh и $D_{\text{Л}}$ построить линзу в натуральную величину.
9. Рассчитать фокусное расстояние плоско-выпуклой линзы по формуле (4).
10. Рассчитать оптическую силу линзы по формуле (5).
11. Рассчитать расстояние от предмета до линзы d .
12. Рассчитать расстояние от линзы до изображения предмета f , используя формулу (3).
13. Рассчитать линейное увеличение линзы по формуле (6).
14. Рассчитать высоту предмета h .
15. Рассчитать расстояние от объекта до экрана $L = d + f$.
16. Построить изображение предмета высотой h , учитывая заданное в варианте расстояние от предмета до линзы d . Сделать вывод о характере полученного изображения.

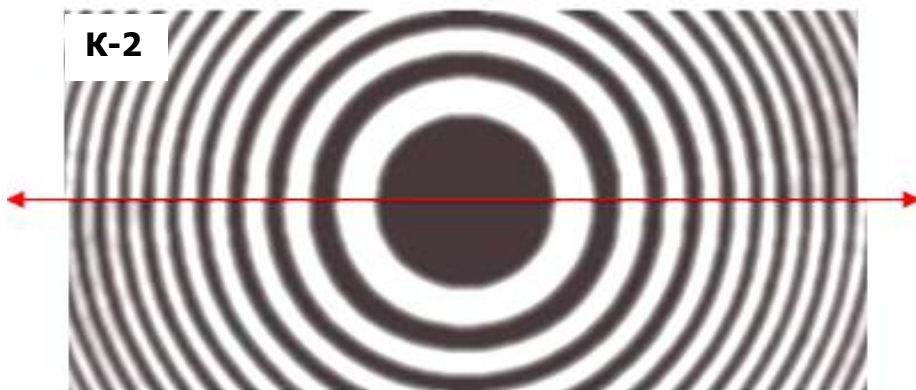
Таблица 1. Варианты заданий

| № | Рисунок колец Ньютона | $\lambda,$ $\times 10^{-7} \text{ м}$ | n | δ | d | $H, \text{ см}$ |
|----|-----------------------------|--|------|----------|-------|-----------------|
| 1 | K1 | 4,3 | 1,22 | 0,025 | 1,25F | 1,1 |
| 2 | K2 | 4,5 | 1,25 | 0,04 | 1,85F | 1,2 |
| 3 | K3 | 5,0 | 1,26 | 0,05 | 2,2F | 3 |
| 4 | K4 | 5,3 | 1,28 | 0,06 | 1,15F | 1,3 |
| 5 | K5 | 5,6 | 1,30 | 0,07 | 1,35F | 1,4 |
| 6 | K6 | 5,8 | 1,32 | 0,08 | 1,45F | 1,3 |
| 7 | K1 | 6,0 | 1,34 | 0,09 | 2,3F | 6 |
| 8 | K2 | 6,2 | 1,22 | 0,1 | 3F | 7 |
| 9 | K3 | 6,4 | 1,25 | 0,025 | 4F | 8 |
| 10 | K4 | 6,6 | 1,26 | 0,04 | 1,27F | 1,3 |
| 11 | K5 | 6,8 | 1,28 | 0,05 | 1,37F | 1,4 |
| 12 | K6 | 4,3 | 1,30 | 0,06 | 1,25F | 1,2 |
| 13 | K1 | 4,5 | 1,32 | 0,07 | 2F | 6 |
| 14 | K2 | 5,0 | 1,34 | 0,08 | 2,5F | 7 |
| 15 | K3 | 5,3 | 1,22 | 0,09 | 3F | 8 |
| 16 | K4 | 5,6 | 1,25 | 0,1 | 4F | 6 |
| 17 | K5 | 5,8 | 1,26 | 0,025 | 1,45F | 1,1 |
| 18 | K6 | 6,0 | 1,28 | 0,04 | 1,55F | 1,2 |
| 19 | K1 | 6,2 | 1,30 | 0,05 | 1,63F | 1,4 |
| 20 | K2 | 6,4 | 1,32 | 0,06 | 2F | 4 |
| 21 | K3 | 6,6 | 1,34 | 0,07 | 2,5F | 5 |
| 22 | K4 | 6,8 | 1,22 | 0,08 | 2F | 6 |
| 23 | K5 | 4,3 | 1,25 | 0,09 | 2,5F | 3 |
| 24 | K6 | 4,5 | 1,26 | 0,1 | 3F | 5 |
| 25 | K1 | 5,0 | 1,28 | 0,025 | 1,85F | 3 |
| 26 | K2 | 5,3 | 1,30 | 0,04 | 1,91F | 2 |
| 27 | K3 | 5,6 | 1,32 | 0,05 | 1,95F | 1,1 |
| 28 | K4 | 5,8 | 1,34 | 0,06 | 1,25F | 1,2 |
| 29 | K5 | 6,0 | 1,22 | 0,07 | 1,85F | 3 |
| 30 | K6 | 6,2 | 1,25 | 0,08 | 2,2F | 1,3 |
| 31 | K1 | 6,4 | 1,26 | 0,09 | 1,15F | 1,4 |
| 32 | K2 | 6,6 | 1,28 | 0,1 | 1,35F | 1,3 |
| 33 | K3 | 6,8 | 1,30 | 0,025 | 1,45F | 6 |
| 34 | K4 | 4,3 | 1,32 | 0,04 | 2,3F | 7 |
| 35 | K5 | 4,5 | 1,34 | 0,05 | 3F | 8 |
| 36 | K6 | 5,0 | 1,22 | 0,06 | 4F | 1,3 |
| 37 | K1 | 5,3 | 1,25 | 0,07 | 1,27F | 1,4 |
| 38 | K2 | 5,6 | 1,26 | 0,08 | 1,37F | 1,2 |
| 39 | K3 | 5,8 | 1,28 | 0,09 | 1,25F | 6 |
| 40 | K4 | 6,0 | 1,30 | 0,1 | 2F | 7 |

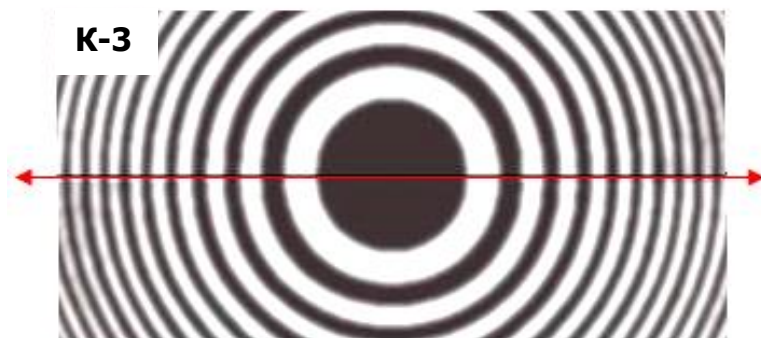
K-1



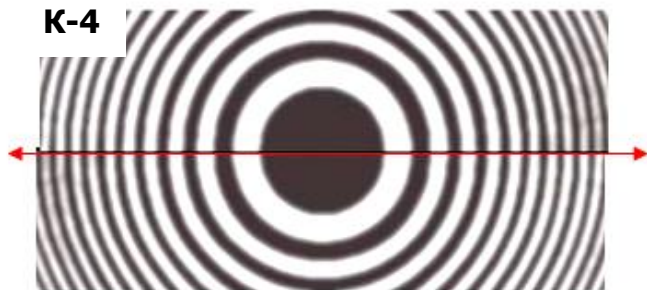
K-2



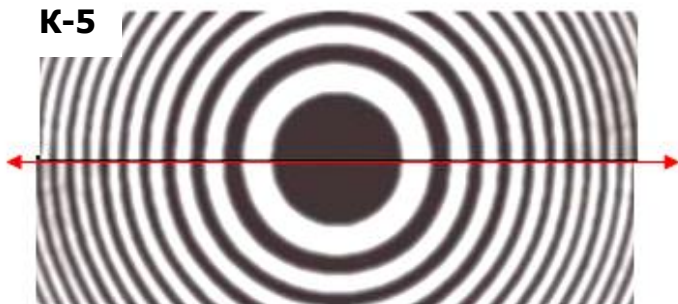
K-3



K-4



K-5



K-6

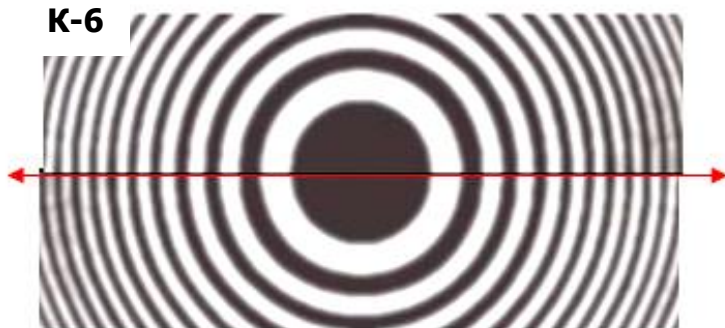


Рис. 6

Таблица 2. Расчетные данные

| Номер кольца m | Диаметр кольца $D_m, \text{мм}$ | Диаметр кольца $d_m = k \cdot D_m, \text{м}$ | Радиус кривизны линзы $R, \text{м}$ |
|--------------------------------------|------------------------------------|---|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Среднее значение $\langle R \rangle$ | | | |

Пример выполнения задания 5

Дано:

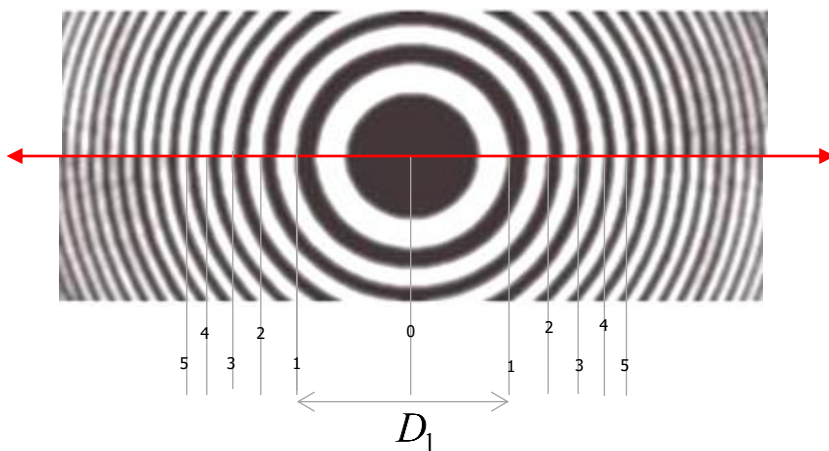


Рис. 7

Интерференционная картина колец Ньютона показана на рис. 7;

номера колец Ньютона $m = 1, 2, 3, 4, 5$;

длина волны света $\lambda = 4,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$;

показатель преломления стекла $n = 1,22$;

параметр толщины линзы $\delta = 0,06$;

расстояние от предмета до линзы $d = 2F$, где F – фокусное расстояние;

размер изображения $H = 1,1 \text{ см}$;

цена деления шкалы микроскопа $k = 1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{мм}}$.

Решение

1. Распечатать изображение колец Ньютона, соответствующую Вашему варианту (рис. 7).

2. С помощью линейки измерить диаметры первых пяти темных колец D_m в миллиметрах; результат занести в табл. 3. Так как кольцо Ньютона имеет конечную толщину, то измерение его диаметра удобно вести, определяя расстояние между внешним левым и внутренним правым краем кольца в месте пересечения кольца горизонтальной осью (см. рис. 7).

3. Рассчитать реальные значения диаметров колец Ньютона по формуле

$$d_m = k \cdot D_m.$$

$$m = 1, \quad d_1 = k \cdot D_1, \quad d_1 = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 28 = 28 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$m = 2, \quad d_2 = k \cdot D_2, \quad d_2 = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 37 = 37 \cdot 10^{-5} \text{ м и т. д.}$$

Результат занести в табл. 3.

4. Рассчитать радиус кривизны поверхности линзы для каждого значения диаметра

по формуле $R = \frac{d_m^2}{4m\lambda}$:

$$m = 1, \quad R_1 = \frac{(26 \cdot 10^{-5})^2}{4 \cdot 1 \cdot 4,3 \cdot 10^{-7}} = 39,30 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$m = 2, \quad R_2 = \frac{(37 \cdot 10^{-5})^2}{4 \cdot 2 \cdot 4,3 \cdot 10^{-7}} = 39,80 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$m = 3, \quad R_1 = \frac{(45 \cdot 10^{-5})^2}{4 \cdot 3 \cdot 4,3 \cdot 10^{-7}} = 39,24 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$m = 4, \quad R_1 = \frac{(52 \cdot 10^{-5})^2}{4 \cdot 4 \cdot 4,3 \cdot 10^{-7}} = 39,30 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$m = 5, \quad R_1 = \frac{(58 \cdot 10^{-5})^2}{4 \cdot 5 \cdot 4,3 \cdot 10^{-7}} = 39,12 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

5. Рассчитать среднее значение радиуса кривизны линзы по формуле

$$\langle R \rangle = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_5}{5},$$

$$\langle R \rangle = \frac{(39,30 + 39,80 + 39,24 + 39,30 + 39,12) \cdot 10^{-3}}{5} = 39,35 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 4 \text{ см}$$

Таблица 3

| Номер кольца m | Диаметр кольца $D_m, \text{ мм}$ | Диаметр кольца $d_m = k \cdot D_m, \text{ м}$ | Радиус кривизны линзы $R, \text{ м}$ |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| 1 | 26 | $26 \cdot 10^{-5}$ | $39,30 \cdot 10^{-3}$ |
| 2 | 37 | $37 \cdot 10^{-5}$ | $39,80 \cdot 10^{-3}$ |
| 3 | 45 | $45 \cdot 10^{-5}$ | $39,24 \cdot 10^{-3}$ |
| 4 | 52 | $52 \cdot 10^{-5}$ | $39,30 \cdot 10^{-3}$ |
| 5 | 58 | $58 \cdot 10^{-5}$ | $39,12 \cdot 10^{-3}$ |
| Среднее значение $\langle R \rangle$ | | | $39,35 \cdot 10^{-3}$ |

6. Рассчитать толщину линзы по формуле $\Delta h = \delta \cdot \langle R \rangle$,

$$\Delta h = 0,06 \cdot 39,35 \cdot 10^{-3} = 2,36 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 2,4 \text{ мм}.$$

7. Рассчитать диаметр линзы $D_{\text{л}} = 2 \langle R \rangle \sqrt{\delta(2 - \delta)}$,

$$D_{\text{л}} = 2 \cdot 39,35 \cdot 10^{-3} \sqrt{0,06 \cdot (2 - 0,06)} = 155,05 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 1,6 \text{ см}$$

8. Построить линзу в натуральную величину по полученным данным (для примера

см. рис. 1); $\langle R \rangle \approx 4 \text{ см}$, $\Delta h \approx 2,4 \text{ мм}$, $D_{\text{л}} \approx 1,6 \text{ см}$.

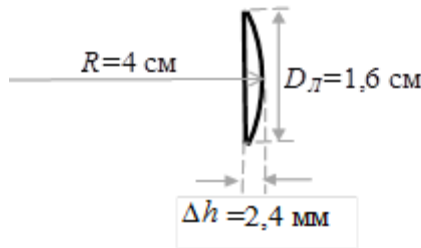


Рис. 8

9. Рассчитать фокусное расстояние плоско-выпуклой линзы по формуле

$$F = \frac{R}{n-1}, \quad F = \frac{39,35 \cdot 10^{-3}}{1,22-1} = 178,86 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 0,179 \text{ м}.$$

10. Рассчитать оптическую силу линзы $D = \frac{1}{F}$, $D = \frac{1}{0,179} = 5,59 \text{ дптр}$.

11. Рассчитать расстояние от предмета до линзы d . По условию данного варианта $d = 2F$, $d = 2 \cdot 0,179 = 0,358 \text{ м}$.

12. Используя формулу линзы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ найдем расстояние от линзы до изображения,

$$f = \frac{d \cdot F}{d - F} = \frac{2F \cdot F}{2F - F} = 2F = 2 \cdot 0,177 = 0,358 \text{ м}.$$

13. Рассчитать линейное увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{h}{H} = \frac{f}{d}, \quad \Gamma = \frac{h}{H} = \frac{0,358}{0,358} = 1.$$

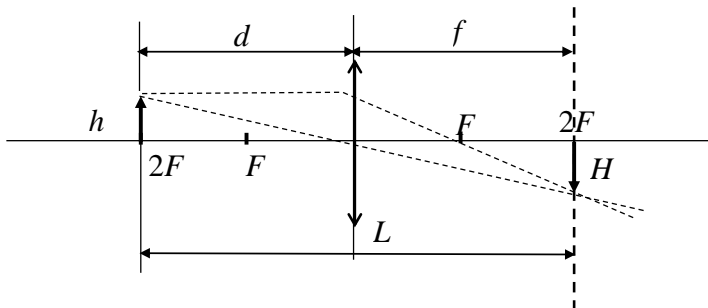
14. Рассчитать высоту предмета h ,

$$\Gamma = \frac{h}{H}, \quad \Rightarrow \quad h = \Gamma \cdot H, \quad h = 1 \cdot 1,1 = 1,1 \text{ см}.$$

15. Рассчитать расстояние от предмета до экрана $L = d + f$,

$$L = d + f = 2F + 2F = 4F = 4 \cdot 0,179 = 0,716 \text{ м.}$$

16. Построить изображение предмета высотой h .



Вывод: изображение предмета является действительным, перевёрнутым, не увеличенным.

Задание 6. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА

Краткая теория

Атомное ядро – центральная массивная часть атома, состоящая из протонов и нейтронов, которые имеют общее название – нуклоны.

Зарядовым числом Z называется число протонов в ядре. Оно равно атомному номеру данного элемента и, следовательно, определяет место элемента в периодической системе элементов Менделеева.

Число нейтронов в ядре обозначается N .

Массовое число A – число нуклонов в ядре, $A = Z + N$.

Для ядер применяется следующее обозначение ${}_Z^A X$, где X – химический символ элемента.

Изотопы – разновидности атомов одного и того же химического элемента, атомные ядра которых имеют одинаковое число протонов и разное число нейтронов. Изотопами называют также ядра таких атомов. Изотопы занимают одно и то же место в периодической системе элементов.

Например, у водорода три изотопа:

${}_1^1 H$ – протий; ${}_1^2 H$ – дейтерий; ${}_1^3 H$ – тритий.

В ядерной физике массы принято выражать в атомных единицах массы. Одна атомная единица массы равна 1/12 массы изотопа углерода ${}_{6}^{12} C$:

$$1 \text{ а. е. м.} \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Масса протона $m_p = 1,007276 \text{ а. е. м.}$

Масса нейтрона $m_n = 1,008665 \text{ а. е. м.}$

Дефектом массы называется разность между суммой масс покоя свободных нуклонов, из которых образовано ядро, и массой ядра:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_{\text{я}}. \quad (1)$$

Минимальная энергия, необходимая для разделения ядра на составляющие его нуклоны, без сообщения им кинетической энергии, называется энергией связи ядра. Такая же по величине энергия освобождается, если свободные нейтроны и протоны соединяются и образуют ядро.

Разности масс Δm соответствует энергия связи ядра, определяемая соотношением Эйнштейна:

$$E_{св} = \Delta mc^2 = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_{я})c^2.$$

Энергию связи в ядерной физике принято выражать в мегаэлектронвольтах (МэВ):

$$E_{св} = 931,5 \cdot \Delta m, \text{ МэВ}, \quad (2)$$

где Δm – в атомных единицах массы.

Удельная энергия связи ядра, т. е. энергия связи, приходящаяся на нуклон:

$$E_{уд} = \frac{E_{св}}{A}, \quad [E_{уд}] = 1 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}. \quad (3)$$

На рис. 1 приведен график зависимости удельной энергии связи различных атомных ядер от массового числа ядра [3]. Как видно из графика, удельная энергия связи нуклонов у разных ядер неодинакова. Для легких ядер удельная энергия связи сначала круто возрастает от 1,1 МэВ/нуклон у дейтерия до 7,1 МэВ/нуклон у гелия. Затем, претерпев ряд скачков, удельная энергия медленно возрастает до максимальной величины 8,7 МэВ/нуклон у элементов с массовым числом $A = 50 \div 60$ (хром – цинк), а потом сравнительно медленно снижается у тяжелых элементов. Например, у урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ она составляет 7,6 МэВ/нуклон.

Уменьшение удельной энергии связи при переходе к тяжелым элементам объясняется увеличением энергии кулоновского отталкивания протонов. В тяжелых ядрах связь между нуклонами ослабевает, а сами ядра становятся менее прочными.

Наиболее устойчивыми с энергетической точки зрения являются ядра элементов средней части системы Менделеева. Это означает, что существуют две возможности получения положительного энергетического выхода при ядерных превращениях: деление тяжелых ядер на более легкие; слияние легких ядер в более тяжелые. В обоих этих процессах выделяется огромное количество энергии. В настоящее время оба процесса осуществлены практически: реакции деления и термоядерные реакции.

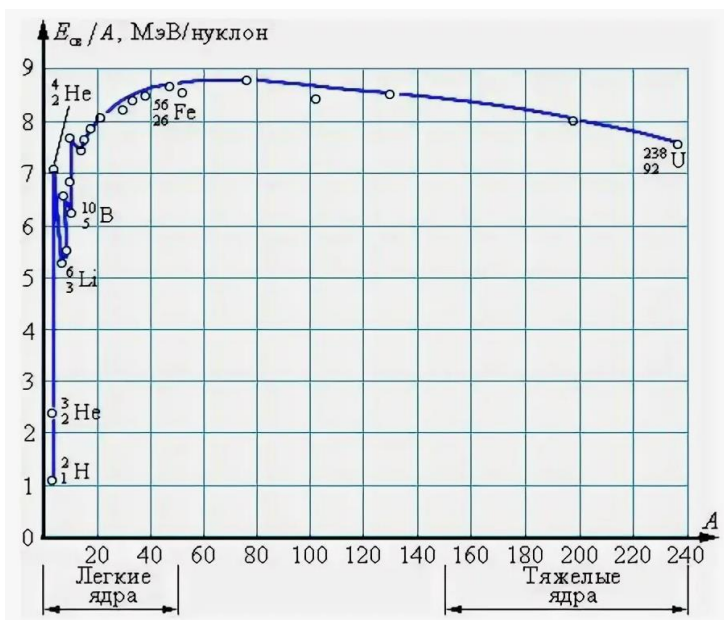
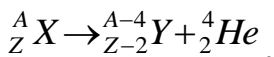


Рис. 1

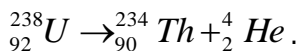
Радиоактивностью называется самопроизвольное превращение одних атомных ядер в другие с испусканием элементарных частиц.

Радиоактивный распад происходит в соответствии с правилами смещения, позволяющими установить, какое ядро возникает в результате распада исходного ядра.

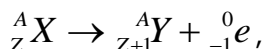
Альфа-распад (α -распад) – радиоактивный распад атомного ядра с испусканием α -частицы (ядра гелия ${}^4_2\text{He}$). При альфа-распаде массовое число A исходного ядра ${}_Z^A X$ уменьшается на 4 единицы, а зарядовое число Z уменьшается на 2 единицы,



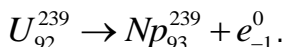
Пример α -распада изотопа ${}_{92}^{238}\text{U}$:



Бета-минус-распад (β^- -распад) – радиоактивный распад атомного ядра с испусканием β^- -частицы (электрона ${}_{-1}^0e$). При бета-минус-распаде массовое число A исходного ядра ${}_Z^AX$ не изменяется, а зарядовое число Z увеличивается на единицу,



Пример β^- -распада изотопа U_{92}^{239} :



Условие задания

1. Выписать из таблицы 1 изотоп ${}_Z^AX$, соответствующий Вашему варианту (например, для варианта 1 – изотоп урана ${}_{92}^{238}\text{U}$).
2. Определить число нуклонов, протонов и нейтронов в ядре ${}_Z^AX$.
3. Рассчитать дефект массы ядра ${}_Z^AX$.
4. Рассчитать энергию связи ядра ${}_Z^AX$.
5. Рассчитать удельную энергию связи ядра ${}_Z^AX$. Сравнить полученный результат со значением, представленным на графике зависимости удельной энергии связи от числа нуклонов в ядре (рис. 1).
6. В какой изотоп превращается ${}_Z^AX$ после трех последовательных радиоактивных распадов (виды распадов указаны в таблице 1)? Записать соответствующие реакции.

Таблица 1. Варианты заданий

| № | Изотоп | | $M_{я}, а.е.м.,$ [4] | Виды радиоактивных распадов | | |
|-----------|-------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| 1 | Уран | $^{238}_{92}U$ | 238,0004 | α | β^{-} | β^{-} |
| 2 | Нептуний | $^{237}_{93}Np$ | 236,997 | α | β^{-} | α |
| 3 | Протактиний | $^{233}_{91}Pa$ | 232,99 | β^{-} | α | α |
| 4 | Уран | $^{233}_{92}U$ | 232,99 | α | α | β^{-} |
| 5 | Торий | $^{238}_{90}Th$ | 238,007 | α | β^{-} | α |
| 6 | Радий | $^{224}_{88}Ra$ | 234,003 | β^{-} | α | α |
| 7 | Актиний | $^{225}_{89}Ac$ | 224,97 | α | α | α |
| 8 | Франций | $^{221}_{87}Fr$ | 220,97 | α | α | β^{-} |
| 9 | Астат | $^{217}_{85}At$ | 216,96 | α | α | β^{-} |
| 10 | Висмут | $^{213}_{83}Bi$ | 212,95 | β^{-} | α | β^{-} |
| 11 | Уран | $^{235}_{92}U$ | 234,99 | α | β^{-} | α |
| 12 | Торий | $^{231}_{90}Th$ | 230,99 | β^{-} | α | α |
| 13 | Полоний | $^{215}_{84}Po$ | 214,95 | β^{-} | α | α |
| 14 | Висмут | $^{214}_{83}Bi$ | 213,95 | β^{-} | α | α |
| 15 | Астат | $^{218}_{85}At$ | 217,96 | α | α | β^{-} |
| 16 | Торий | $^{232}_{90}Th$ | 231,99 | α | β^{-} | β^{-} |
| 17 | Радий | $^{228}_{88}Ra$ | 227,98 | β^{-} | β^{-} | α |
| 18 | Актиний | $^{228}_{89}Ac$ | 227,98 | β^{-} | α | α |
| 19 | Торий | $^{238}_{90}Th$ | 238,007 | α | α | α |
| 20 | Радий | $^{224}_{88}Ra$ | 223,97 | α | α | α |
| 21 | Радон | $^{224}_{86}Rn$ | 223,98 | α | α | α |
| 22 | Полоний | $^{220}_{84}Po$ | 219,97 | α | β^{-} | α |
| 23 | Свинец | $^{212}_{82}Pb$ | 211,95 | β^{-} | β^{-} | α |

| | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 24 | Таллий | $^{210}_{81}Tl$ | 209,95 | β^- | α | β^- |
| 25 | Свинец | $^{210}_{82}Pb$ | 209,94 | β^- | β^- | α |
| 26 | Полоний | $^{220}_{84}Po$ | 219,97 | α | β^- | β^- |
| 27 | Висмут | $^{213}_{83}Bi$ | 212,95 | α | β^- | β^- |
| 28 | Астат | $^{217}_{85}At$ | 216,96 | α | β^- | α |
| 29 | Франций | $^{221}_{87}Fr$ | 220,97 | α | α | α |
| 30 | Свинец | $^{214}_{82}Pb$ | 213,95 | β^- | α | β^- |
| 31 | Полоний | $^{218}_{84}Po$ | 217,96 | α | β^- | α |
| 32 | Полоний | $^{218}_{84}Po$ | 217,96 | α | β^- | β^- |
| 33 | Радон | $^{222}_{86}Rn$ | 221,97 | α | α | β^- |
| 34 | Радий | $^{226}_{88}Ra$ | 225,98 | α | α | α |
| 35 | Торий | $^{230}_{90}Th$ | 229,98 | α | α | α |
| 36 | Уран | $^{234}_{92}U$ | 233,99 | α | α | α |
| 37 | Протактиний | $^{234}_{91}Pa$ | 233,99 | β^- | α | α |
| 38 | Торий | $^{234}_{90}Th$ | 234,04 | β^- | β^- | α |
| 39 | Уран | $^{238}_{92}U$ | 238,0004 | α | β^- | β^- |
| 40 | Полоний | $^{220}_{84}Po$ | 219,97 | α | β^- | α |

Пример выполнения задания 6

Условие задания

| Изотоп | $M_{я}, а.е.м$ | Виды радиоактивных распадов | | |
|----------------|----------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| $^{238}_{92}U$ | 238,0004 | α | β^- | β^- |

- $^{238}_{92}U$ – изотоп урана.
- В ядре $^{238}_{92}U$ содержится $A = 238$ нуклонов, $Z = 92$ протона, $N = A - Z = 146$ нейтронов.

3. Дефект массы ядра, $\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_{\text{я}}$.

Для ядра ${}_{92}^{238}\text{U}$,

$$\Delta m = 92 \cdot 1,007276 + 146 \cdot 1,008665 - 238,0004 = 1,934082 \text{ а.е.м}$$

4. Энергия связи ядра, $E_{\text{св}} = 931,5 \cdot \Delta m, \text{ МэВ}$.

Для ядра ${}_{92}^{238}\text{U}$,

$$E_{\text{св}} = 931,5 \cdot 1,934082 = 1801,6 \text{ МэВ}.$$

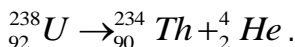
5. Удельная энергия связи ядра, $E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}$.

Для ядра ${}_{92}^{238}\text{U}$,

$$E_{\text{уд}} = \frac{1801,6}{238} = 7,6 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}.$$

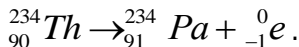
Полученное в расчете значение удельной энергии связи для ядра ${}_{92}^{238}\text{U}$ соответствует значению $E_{\text{уд}}$ на графике зависимости $E_{\text{уд}}(A)$ (рис. 1) для $A = 238$.

6. α -распад,



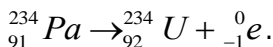
В результате α -распада ядра ${}_{92}^{238}\text{U}$ образовался изотоп тория ${}_{90}^{234}\text{Th}$.

7. β^- -распад,



В результате β^- -распада ядра ${}_{90}^{234}\text{Th}$ образовался изотоп протактиния ${}_{91}^{234}\text{Pa}$

8. β^- -распад,



В результате β^- -распада ядра ${}_{91}^{234}\text{Pa}$ образовался изотоп урана ${}_{92}^{234}\text{U}$.

Литература

1. В.А. Никеров, «Физика. Современный курс», – М: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К", 2019 г.
2. А.Г.Сукиязов, Оптические устройства: метод. указания. – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2018. – 22 с.
3. Электронный учебник «Открытая физика», Физикон,
<https://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter6/section/paragraph6/theory.html>
4. ВарламовВ.В., ИшхановБ.С., КомаровС.Ю. Атомные ядра. Основные характеристики: учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2010. – 334 с.
<https://studylib.ru/doc/2393174/atomnye-yadra.---cdfе---moskovskij-gosudarstvennyj>



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

Факультет Авиастроение

Кафедра Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного
оборудования

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Дисциплина ФИЗИКА

Направление подготовки 25.03.01 Техническая эксплуатация летательных
аппаратов и двигателей

Профиль Инженерно-техническое обеспечение полетов летательных аппаратов

Уровень образования: ВО-Бакалавры

Номер зачетной книжки _____

Номер варианта _____

Группа: АВЗТ _____

Обучающийся _____

подпись

И.О. Фамилия

«__» _____ 20__ г.

КР проверила, доцент _____

Т.С.Беликова

«__» _____ 20__ г.

Ростов-на-Дону

20__