

ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический
университет"

Кафедра физики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к решению задач и выполнению контрольной работы № 2
по физике для студентов всех технических направлений
подготовки заочной сокращённой формы обучения**

Воронеж 2012

Составители: канд. физ.–мат. наук А.Г. Москаленко, канд. техн. наук М.Н. Гаршина, канд. физ.-мат. наук И.А. Сафонов, канд. физ.-мат. наук Т.Л.Тураева

УДК 531 (07)

Методические указания к решению задач и выполнению контрольной работы № 2 по физике для студентов всех технических направлений подготовки заочной сокращённой формы обучения/ ФГБОУ ВПО “Воронежский государственный технический университет”; сост. А.Г. Москаленко, М.Н. Гаршина, И.А. Сафонов, Т.Л. Тураева. Воронеж, 2012. 62 с.

Методические указания содержат основные формулы, примеры решения задач, таблицы вариантов контрольных заданий по разделам: электростатика, постоянный электрический ток, электромагнетизм, колебания и волны.

Предназначены для студентов второго курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле Физика 3О. КР №2.docx.

Табл. 4. Ил. 33. Библиогр.: 8 назв.

Рецензент д-р физ.-мат. наук, проф. Е.В. Шведов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой канд. физ.-мат. наук, проф. Т.Л. Тураева

© ФГБОУ ВПО “Воронежский
государственный технический
университет”, 2012

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ СОКРАЩЁННОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

1. Контрольные работы необходимо выполнять чернилами в школьной тетради, на обложке которой привести сведения по следующему образцу:

**Контрольная работа №2
по физике студента ФВЗО, группы РК-031
Шифр251021
Иванова И.И.**

2. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяются по таблице вариантов в соответствии с последним номером зачётной книжки (шифром).

3. Условия задач в контрольной работе надо переписывать полностью без сокращений.

4. Решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями. В тех случаях, когда это возможно, даётся чертёж.

5. Решать задачу надо в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условиях задачи.

6. Все вычисления следует проводить в единицах СИ с соблюдением правил приближённых вычислений.

7. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить её на повторную рецензию, включив в неё те задачи, решение которых оказалось неверным.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

1.1. Основные законы и формулы

1. Напряженность и потенциал поля точечного заряда

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r}; \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}.$$

2. Принцип суперпозиции электростатических полей

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i; \quad \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i$$

3. Линейная, поверхностная и объемная плотность зарядов

$$\tau = \frac{dq}{dl}; \quad \sigma = \frac{dq}{ds}; \quad \rho = \frac{dq}{dV}.$$

4. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме

$$\Phi_E = \oint E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i = \frac{1}{\epsilon_0} \int \rho dV,$$

где $\sum q_i$ – алгебраическая сумма зарядов, охватываемых поверхностью.

5. Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} \varphi = -\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k} \right); \quad E_l = -\frac{\partial \varphi}{\partial l}.$$

6. Циркуляция вектора напряженности

$$\oint E_l dl = 0.$$

7. Работа сил электростатического поля

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad \text{или} \quad A_{12} = q \int_2^1 E_l dl.$$

8. Поляризованность диэлектрика

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n \vec{P}_i / \Delta V,$$

где $\vec{P}_i$ – дипольный момент i -ой молекулы; ΔV – объем диэлектрика.

Связь между поляризованностью диэлектрика и напряженностью электростатического поля

$$\vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E},$$

где χ – диэлектрическая восприимчивость вещества.

9. Вектор электрического смещения

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad \text{или} \quad \vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E},$$

где $\varepsilon = 1 + \chi$ – диэлектрическая проницаемость вещества.

10. Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике

$$\Phi_D = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n q_i,$$

где $\sum_{i=1}^n q_i$ – алгебраическая сумма сторонних электрических зарядов, заключенных внутри замкнутой поверхности.

11. Условия на границе раздела двух диэлектриков

$$D_{2n} = D_{1n}; \quad E_{2\tau} = E_{1\tau}.$$

12. Поле в однородном диэлектрике

$$\vec{E} = \vec{E}_0 / \varepsilon; \quad \vec{D} = \vec{D}_0,$$

где $\vec{E}_0$ и $\vec{D}_0$ – напряженность и электрическое смещение внешнего поля.

13. Напряженность электрического поля у поверхности проводника

$$E = \sigma / \varepsilon_0 \varepsilon,$$

где σ – поверхностная плотность зарядов.

14. Емкость уединенного проводника и конденсатора $C = q / \varphi$; $C = q / (\varphi_1 - \varphi_2)$.

15. Ёмкость плоского конденсатора

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S / d ,$$

где S – площадь каждой пластины; d – расстояние между пластинами.

16. Ёмкость цилиндрического конденсатора

$$C = 2\pi \varepsilon_0 \varepsilon \ell / \ln(r_2 / r_1) ,$$

где ℓ - длина обкладок конденсатора; r_1 и r_2 - радиусы коаксиальных цилиндров .

17. Ёмкость сферического конденсатора

$$C = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r_1 r_2 / (r_2 - r_1) ,$$

где r_1 и r_2 - радиусы концентрических сфер.

18. Ёмкость системы конденсаторов при последовательном и параллельном соединении

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} ; \quad C = \sum_{i=1}^n C_i .$$

19. Энергия взаимодействия системы точечных зарядов

$$W = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i ,$$

где φ_i - потенциал, создаваемый в той точке, где находится заряд q_i , всеми зарядами, кроме i – го.

20. Энергия системы с непрерывно распределенным зарядом

$$W = \frac{1}{2} \int \varphi \rho dV .$$

21. Энергия заряженного конденсатора

$$W = CU^2 / 2 = qU / 2 = q^2 / 2C .$$

22. Объёмная плотность энергии электростатического поля

$$\omega = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} .$$

1.2. Примеры решения задач

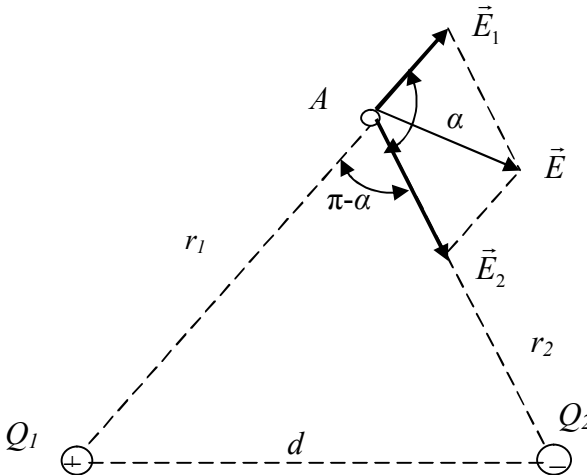
Пример 1. Два точечных электрических заряда $Q_1 = +1 \text{ нКл}$ и $Q_2 = -2 \text{ нКл}$ находятся в воздухе на расстоянии $d = 10 \text{ см}$ друг от друга. Определить напряжённость E и потенциал φ поля, создаваемого этими зарядами в точке A , удалённой от заряда Q_1 на расстоянии $r_1 = 9 \text{ см}$ и от заряда Q_2 на $r_2 = 7 \text{ см}$.

Решение

Согласно принципу суперпозиции электрических полей, каждый заряд создаёт поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Напряжённость $\vec{E}$ электростатического поля в искомой точке может быть найдена как геометрическая сумма напряжённостей $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

Напряжённости электростатического поля, создаваемого в воздухе ($\epsilon = 1$) зарядами Q_1 и Q_2 ,

$$E_1 = \frac{|Q_1|}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} \quad (1), \quad E_2 = \frac{|Q_2|}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} \quad (2).$$



Вектор $\vec{E}_1$ направлен по силовой линии от заряда Q_1 , так как этот заряд положителен, вектор $\vec{E}_2$ направлен также по силовой линии, но к заряду Q_2 , так как этот заряд отрицателен.

Модуль вектора $\vec{E}$ найдём по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}, \quad (3)$$

где α – угол между векторами $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$, который может быть найден из треугольника со сторонами r_1 , r_2 и d

$$\cos \alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2}.$$

Подставляя выражение E_1 из (1) и E_2 из (2) в (3), получим

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{Q_1^2}{r_1^4} + \frac{Q_2^2}{r_2^4} + 2 \frac{|Q_1||Q_2|}{r_1^2r_2^2} \cos \alpha}. \quad (4)$$

В соответствии с принципом суперпозиции электрических полей потенциал φ результирующего поля, равен алгебраической сумме потенциалов

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2. \quad (5)$$

Потенциал электрического поля, создаваемого в вакууме точечным зарядом Q на расстоянии r от него, выражается формулой

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (6)$$

Согласно формулам (5) и (6) получим $\varphi = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2}$, или

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} \right).$$

Произведём вычисления:

$$E = 3,58 \text{ В/м}, \quad \varphi = -157 \text{ В}.$$

Пример 2. Электрическое поле создано двумя параллельными бесконечными заряженными плоскостями с поверхностными плотностями заряда $\sigma_1=0,4 \text{ мкКл/м}^2$ и $\sigma_2=0,1 \text{ мкКл/м}^2$. Определить напряжённость электрического поля, созданного этими заряженными плоскостями.

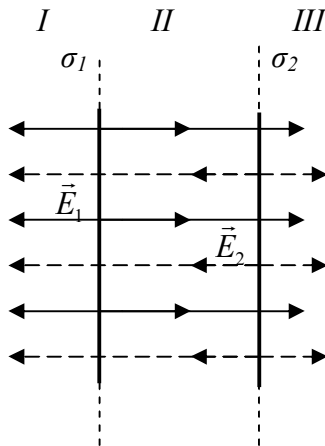
Решение

Согласно принципу суперпозиции электростатических полей,

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2,$$

где, $|\vec{E}_1| = \sigma_1/2\epsilon_0$ и $|\vec{E}_2| = \sigma_2/2\epsilon_0$ - напряженности электростатических полей, создаваемых первой и второй плоскостями соответственно.

Плоскости делят всё пространство на три области: *I*, *II*, *III*. Как видно из рисунка, в первой и третьей областях электрические силовые линии обоих полей направлены в одну сторону и следовательно, напряжённости суммарных полей $E^{(I)}$ и $E^{(III)}$ в первой и третьей областях равны между собой, противоположно направлены и равны сумме напряжённостей полей, создаваемых первой и второй плоскостями:



$$E^{(I)} = E^{(III)} = E_1 + E_2 \quad \text{или} \quad E^{(I)} = E^{(III)} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2\epsilon_0}.$$

Во второй области (между плоскостями) электрические силовые линии направлены в противоположные стороны и, следовательно, напряжённость поля $E^{(II)}$ равна разности напряжённостей полей, создаваемых первой и второй плоскостями: $E^{(II)} = |E_1 - E_2|$, или

$$E^{(II)} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{2\varepsilon_0}.$$

Подставив данные и произведя вычисления, получим

$$E^{(I)} = E^{(III)} = 28,3 \text{ кВ/м}, \quad E^{(II)} = 17 \text{ кВ/м}.$$

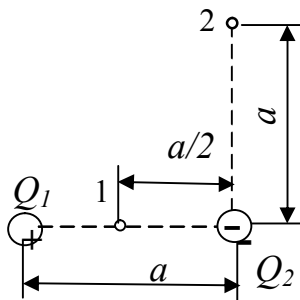
Пример 3. Электрическое поле создаётся двумя зарядами $Q_1 = 4 \text{ мкКл}$ и $Q_2 = -2 \text{ мкКл}$, находящиеся на расстоянии $a=0,1 \text{ м}$ друг от друга. Определить работу A_{12} сил поля по перемещению заряда $Q = 50 \text{ нКл}$ из точки 1 в точку 2 (см. рис.).

Решение

Для определения работы A_{12} сил поля воспользуемся соотношением

$$A_{12} = Q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Применяя принцип суперпозиции электрических полей, определим потенциалы φ_1 и φ_2 точек 1 и 2 поля:



$$\varphi_1 = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a/2} + \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a/2} = \frac{2(Q_1 + Q_2)}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a};$$

$$\varphi_2 = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a\sqrt{2}} + \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a} = \frac{Q_1/\sqrt{2} + Q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a}.$$

Тогда

$$A_{12} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a} \left[(2(Q_1 + Q_2)) - (Q_1/\sqrt{2} + Q_2) \right],$$

Или

$$A_{12} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a} \left[Q_1(2 - 1/\sqrt{2}) + Q_2 \right].$$

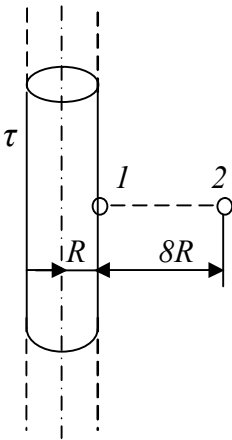
После подстановки численных значений, получим

$$A_{12} = 14,3 \text{ мДж}.$$

Пример 4. С поверхности бесконечного равномерно заряженного ($\tau = 50 \text{ нКл/м}$) прямого цилиндра вылетает α – частица ($v_0 = 0$). Определить кинетическую энергию T_2 α – частицы в точке 2 на расстоянии $8R$ от поверхности цилиндра.

Решение

Так как силы электростатического поля являются консервативными, то для определения кинетической энергии α – частицы в точке 2 воспользуемся законом сохранения энергии, записанном в виде $E_1 = E_2$, где E_1 и E_2 полные энергии α – частицы в точках 1 и 2.



Так как $E_1 = T_1 + U_1$ и $E_2 = T_2 + U_2$ (T_1 и T_2 – кинетические энергии α – частицы; а U_1 и U_2 – потенциальные), то, учитывая, что $T_1 = 0$ ($v_1 = 0$), можно записать $U_1 = T_2 + U_2$, откуда:

$$T_2 = U_1 - U_2 = Q(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (1)$$

где Q – заряд α – частицы, φ_1 и φ_2 – потенциалы точек 1 и 2.

Для определения разности потенциалов воспользуемся соотношением между напряжённостью поля и изменением потенциала: $\vec{E} = -\vec{\text{grad}}\varphi$.

Для поля с осевой симметрией, каким является поле цилиндра, это соотношение можно записать в виде

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}, \quad \text{или} \quad d\varphi = -E dr.$$

Интегрируя это выражение, найдём разность потенциалов двух точек, отстоящих на расстояниях r_1 и r_2 от оси цилиндра:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -\int_{r_1}^{r_2} E dr. \quad (2)$$

Так как цилиндр бесконечный, то для вычисления напряжённости поля можно воспользоваться формулой напряжённости поля, создаваемого бесконечно длинным цилиндром: $E = \tau / (2\pi\epsilon_0 r)$. Подставив выражение для E в уравнение (2), получим

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1},$$

или

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (3)$$

Тогда, подставив выражение (3) в уравнение (2), получим

$$T_2 = \frac{Q\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

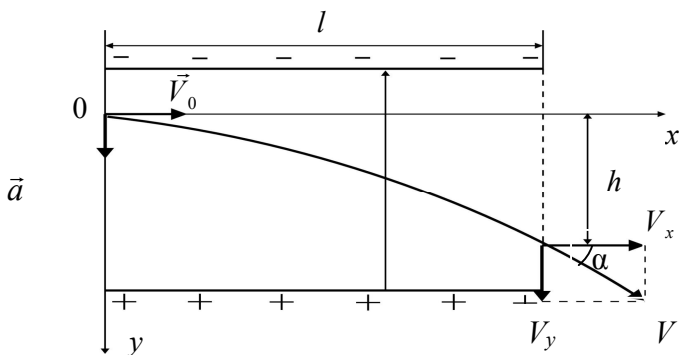
Проведём вычисления:

$$T_2 = 6,33 \cdot 10^{-16} \text{ Дж} = 3,96 \cdot 10^3 \text{ эВ}.$$

Пример 5. Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $v_0 = 10^7 \text{ м/с}$. Напряженность поля в конденсаторе $E = 100 \text{ В/см}$, длина конденсатора $l = 5 \text{ см}$. Найти модуль и направление скорости электрона в момент вылета из конденсатора. На сколько отклонится электрон от первоначального направления?

Решение

Совместим начало координат с точкой, где находился электрон в момент его попадания в поле конденсатора. Движение электрона в конденсаторе можно представить как результат сложения двух прямолинейных движений: равномерного движения со скоростью $v_x = v_0$ в горизонтальном направлении и равноускоренного движения с некоторым ускорением $\vec{a}$ вдоль оси OY .



Ускорение вдоль оси OY создает электростатическая сила (силой тяжести по сравнению с электростатической пренебрегаем)

$$a = \frac{eE}{m},$$

где e – заряд электрона, E – напряженность поля.

Тогда уравнения, определяющие зависимость координат x и y и проекций скорости v_x и v_y от времени, будут иметь вид:

$$x = V_0 t, \quad y = \frac{at^2}{2} = \frac{eEt^2}{2m}, \quad (1)$$

$$V_x = V_0, \quad V_y = at = \frac{eEt}{m}. \quad (2)$$

В момент вылета из конденсатора $x = l$, $y = h$, $t = t_1$. Тогда получим

$$t_1 = \frac{l}{v_0}; \quad V_y = \frac{eEl}{mv_0}; \quad h = \frac{eEl^2}{2mv_0^2}. \quad (3)$$

В момент вылета модуль скорости $\vec{v}$ равен

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{eEl}{mv_0}\right)^2}. \quad (4)$$

Направление вектора определяется углом α , для которого, как видно из рисунка,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_0} = \frac{eEl}{mv_0^2}. \quad (5)$$

Подставляя числовые значения, получим

$$h = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \quad V = 1,3 \cdot 10^7 \text{ М/с}; \quad \operatorname{tg} \alpha = 0,9; \quad \alpha \approx 42^\circ.$$

Пример 6. Конденсатор емкостью $C_1 = 3 \text{ мкФ}$ был заряжен до разности потенциалов $U_1 = 40 \text{ В}$. После отключения от источника тока конденсатор соединили параллельно с другим незаряженным конденсатором емкостью $C_2 = 5 \text{ мкФ}$. Какая энергия W' израсходуется на образование искры в момент присоединения второго конденсатора?

Решение

Энергия, израсходованная на образование искры,

$$W' = W_1 - W_2, \quad (1)$$

где W_1 — энергия, которой обладал первый конденсатор до присоединения к нему второго конденсатора; W_2 — энергия, которую имеет батарея, составленная из двух конденсаторов.

Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле

$$W = CU^2/2, \quad (2)$$

где C — емкость конденсатора или батареи конденсаторов.

Выразив в формуле (1) энергии W_1 и W_2 по формуле (2) и приняв во внимание, что общая емкость параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов, получим

$$W' = \frac{C_1 U_1^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2) U_2^2}{2} \quad (3)$$

где U_2 — разность потенциалов на зажимах батареи конденсаторов.

Учитывая, что заряд после присоединения второго конденсатора остался прежним, выразим разность потенциалов U_2 следующим образом:

$$U_2 = \frac{Q}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 U_1}{C_1 + C_2}. \quad (4)$$

Подставив выражение U_2 в (3), найдем

$$W' = \frac{C_1 U_1^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2) C_1^2 U_1^2}{2(C_1 + C_2)^2},$$

или
$$W' = \frac{1}{2} \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U_1^2.$$

Произведем вычисления: $W' = 1,5 \text{ мДж}$.

Пример 7. Плоский воздушный конденсатор с площадью пластин S равной 500 см^2 , подключён к источнику тока, ЭДС которого равна $\xi = 300 \text{ В}$. Определить работу A внешних сил по раздвижению пластин от расстояния $d_1 = 1 \text{ см}$ до $d_2 = 3 \text{ см}$ в двух случаях: 1) пластины перед раздвижением отключались от источника тока; 2) пластины в процессе раздвижения остаются подключёнными к нему.

Решение

1-й случай. Систему двух заряженных и отключённых от источника тока пластин можно рассматривать как изолированную систему, по отношению к которой справедлив закон сохранения энергии. В этом случае работа внешних сил равна изменению энергии системы:

$$A = \Delta W = W_2 - W_1, \quad (1)$$

где W_1 – энергия поля конденсатора в начальном состоянии (пластины находились на расстоянии d_1); W_2 – энергия поля конденсатора в конечном состоянии (пластины находились на расстоянии d_2).

Энергию в данном случае удобно выразить через заряд Q на пластинах, так как заряд пластин, отключённых от источника, при раздвижении не изменяется. Подставив в равенство (1) выражения $W_2 = Q^2 / 2C_2$ и $W_1 = Q^2 / 2C_1$, получим

$$A = \frac{Q^2}{2C_2} - \frac{Q^2}{2C_1}, \quad \text{или} \quad A = \frac{Q^2}{2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right).$$

Выразив в этой формуле заряд через ЭДС источника тока и начальную электроёмкость C_1 ($Q = C_1 \xi$), найдём

$$A = \frac{C_1^2 \xi^2}{2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right). \quad (2)$$

Подставляя в формулу (2) выражения электроёмкости ($C_1 = \varepsilon_0 S / d_1$ и $C_2 = \varepsilon_0 S / d_2$) плоского конденсатора, получим

$$A = \frac{\varepsilon_0^2 S^2 \xi^2}{2d_1^2} \left(\frac{d_2}{\varepsilon_0 S} - \frac{d_1}{\varepsilon_0 S} \right) = \frac{\varepsilon_0 S \xi^2}{2d_1^2} (d_2 - d_1). \quad (3)$$

Произведя вычисления по формуле (3), найдём

$$A = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 500 \cdot 10^{-4} \cdot 300^2}{2(1 \cdot 10^{-2})^2} (3-1) 10^{-2} = 3,98 \text{ мкДж}.$$

2-й случай. Пластины остаются подключёнными к источнику тока и система двух пластин уже не является изолированной. Воспользоваться законом сохранения энергии в этом случае нельзя.

При раздвижении пластин конденсатора разность их потенциалов не изменяется ($U = \xi$), а ёмкость будет уменьшаться ($C = \varepsilon_0 S / d$). Будут уменьшаться также заряд на пластинах конденсатора ($Q = CU$) и напряжённость электрического поля ($E = U/d$). Так как величины E и Q , необходимые для вычисления работы, изменяются, то работу следует вычислять путём интегрирования.

$$dA = QE_1 dx, \quad (4)$$

где E_1 – напряжённость поля, создаваемого зарядом одной пластины.

Выразим напряжённость поля E_1 и заряд Q через расстояние x между пластинами:

$$E_1 = \frac{1}{2}E = \frac{\xi}{2x} \quad \text{и} \quad Q = C\xi, \quad \text{или} \quad Q = \varepsilon_0 \frac{S}{x} \xi.$$

Подставив эти выражения E_1 и Q в равенство (4), получим

$$dA = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \frac{S\xi^2}{x^2} dx.$$

Проинтегрировав это равенство в пределах от d_1 до d_2 , найдём выражение для искомой работы:

$$A = \frac{1}{2} \varepsilon_0 S \xi^2 \int_{d_1}^{d_2} \frac{dx}{x^2} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 S \xi^2 \left(-\frac{1}{x} \right) \Big|_{d_1}^{d_2} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 S \xi^2 \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right).$$

После упрощения последняя формула имеет вид

$$A = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \frac{S\xi^2(d_2 - d_1)}{d_1 \cdot d_2}.$$

Сделав вычисления, получим $A = 1,33 \text{ мкДж}$.

2. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

2.1. Основные законы и формулы

1. Сила и плотность электрического тока

$$I = \frac{dq}{dt}; j = \frac{dI}{dS_{\perp}} = en \langle u \rangle,$$

где $\langle u \rangle$, – средняя скорость упорядоченного движения зарядов; n – концентрация зарядов.

Сопротивление и проводимость проводника

$$R = \int \rho \frac{dl}{S}; \quad \sigma = \frac{1}{\rho},$$

где ρ - удельное сопротивление.

2. Обобщенный закон Ома в дифференциальной и интегральной формах

$$\vec{j} = \sigma(\vec{E}^* + \vec{E}); \quad I = (\varphi_1 - \varphi_2 + \xi) / R,$$

где $\vec{E}^*$ - напряженность поля сторонних сил; $\varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов на концах участка цепи; ξ - ЭДС источников тока, входящих в участок

3. Закон Джоуля–Ленца в дифференциальной и интегральной формах

$$\omega = jE = \sigma E^2; \quad Q = \int RI^2 dt,$$

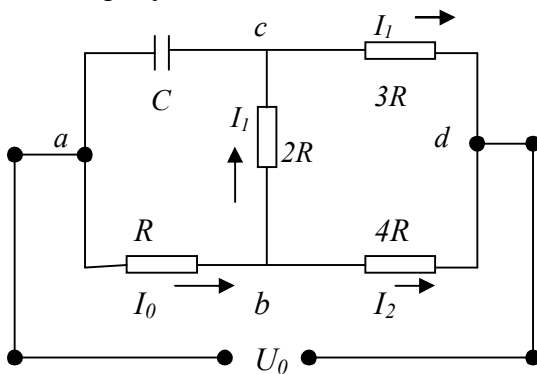
где ω - удельная тепловая мощность тока.

4. Правила Кирхгофа

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0; \quad \sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^n \xi_k.$$

2.2. Примеры решения задач

Пример 1. Найдите заряд на конденсаторе в схеме, изображенной на рисунке.



Решение

Постоянный ток через конденсатор не проходит и в ветви, где он включен, тока нет. Поэтому ток I_0 , идущий от источника напряжения U_0 , пойдет по резистору R и разветвится в точке b на токи I_1 и I_2 , не заходя в ветвь ac . Заряд на конденсаторе

$$q = C \cdot U_{ac}, \quad (1)$$

где

$$U_{ac} = U_1 + U_2. \quad (2)$$

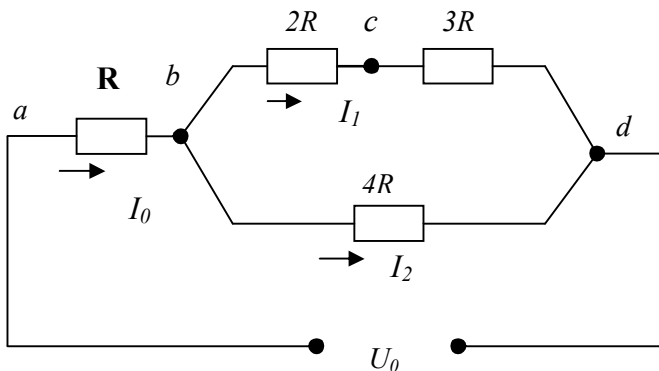
Здесь U_1 и U_2 - падения напряжений на резисторах сопротивлением R и $2R$ соответственно:

$$U_1 = I_0 \cdot R, \quad U_2 = I_1 \cdot 2R.$$

Для их нахождения воспользуемся правилами расчета последовательной и параллельной цепей, упростив схему.

Применим закон Ома ко всей цепи

$$I_0 = \frac{U_0}{R_{\text{общ}}} = \frac{U_0}{R + \frac{(2R + 3R) \cdot 4R}{2R + 3R + 4R}} = \frac{9}{29} \cdot \frac{U_0}{R}. \quad (3)$$



Для параллельных ветвей bcd и bd можно записать:

$$I_1(2R + 3R) = I_2 \cdot 4R.$$

Отсюда $I_2 = 5/4 I_1$. В то же время

$$I_0 = I_1 + I_2 = I_1 + \frac{4}{5}I_1 = \frac{9}{4}I_1, \quad I_1 = \frac{4}{9}I_0 = \frac{4}{9} \cdot \frac{9}{29} \frac{U_0}{R} = \frac{4}{29} \frac{U_0}{R},$$

$$U_2 = I_1 2R = \frac{4}{29} \cdot \frac{U_0}{R} \cdot 2R = \frac{8}{29} U_0, \quad U_1 = I_0 R = \frac{9}{29} \cdot \frac{U_0}{R} \cdot R = \frac{9}{29} U_0.$$

На основании (2) $U_{ac} = \frac{2}{29} U_0 + \frac{8}{29} U_0 = \frac{17}{29} U_0$

Подставляя это выражение в (1), получим $q = \frac{17}{29} C U_0$.

Пример 2. По проводнику сопротивлением $R=3 \text{ Ом}$ течет ток, сила которого возрастает. Количество теплоты Q , выделившееся в проводнике за время $\tau = 8 \text{ с}$, равно 200 Дж . Определить количество электричества q , протекшее за это время по проводнику. В момент времени, принятый за начальный, сила тока в проводнике равна нулю.

Решение

Из условия равномерности возрастания тока следует $I = kt$ или $dq/dt = kt$, где k - коэффициент пропорциональности.

Отсюда $dq = k \cdot t \cdot dt$, а $q = k \int_0^{\tau} t \cdot dt = \frac{k \tau^2}{2}$.

Значение k найдем из выражения количества теплоты, выделившейся в проводнике:

$$dQ = I^2 R dt = k^2 R t^2 dt.$$

Интегрируя, получим $Q = k^2 R \int_0^{\tau} t^2 \cdot dt = \frac{1}{3} k^2 \tau^3 R$.

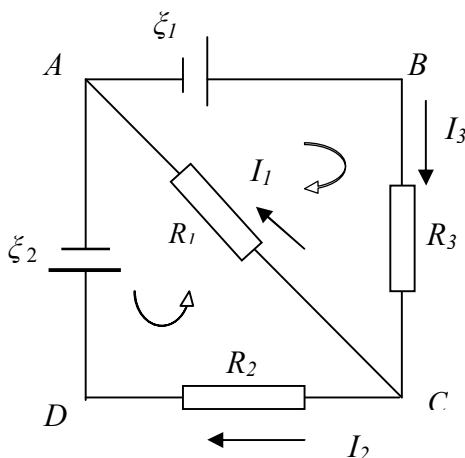
Отсюда $k = \sqrt{3Q / (\tau^3 R)}$.

После подстановки получим $q = \sqrt{3Q\tau / 4R} = 20 \text{ Кл}$.

Пример 3. Найти силу тока во всех участках цепи, представленной на рисунке. ($\zeta_1 = 2,1 \text{ В}$, $\zeta_2 = 1,9 \text{ В}$, $R_1 = 45 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$ и $R_3 = 10 \text{ Ом}$). Внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

Решение

Для расчета данной разветвленной цепи применим законы Кирхгофа.



Для этого выберем направления токов в ветвях и покажем их стрелками на схеме. Узлы схемы обозначим точками A и C. Так как число узлов равно двум, то запишем одно уравнение по первому закону Кирхгофа, например, для узла C

$$I_3 = I_1 + I_2. \quad (1)$$

Запишем второй закон Кирхгофа для контуров ABC и ACD, выбрав направления обхода контуров.

$$I_3 R_3 + I_1 R_1 = \xi_1, \quad (2)$$

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = \xi_2. \quad (3)$$

Вместо контура ACD или ABC можно было взять контур ABCD.

Имеем три уравнения с тремя неизвестными: I_1 , I_2 , I_3 . При решении этой системы уравнений целесообразно в уравнения подставить числовые коэффициенты. Тогда уравнения примут вид:

$$\begin{aligned} I_3 &= I_1 + I_2 \\ 10I_3 + 45I_1 &= 2.1 \\ 45I_1 - 10I_2 &= 1.9 \end{aligned}$$

Решая эти уравнения, получим, $I_1 = 0,04 \text{ A}$, $I_2 = -0,01 \text{ A}$, $I_3 = 0,03 \text{ A}$. Отрицательный знак у тока I_2 указывает на то, что направление этого тока было выбрано нами неверно. В действительности ток I_2 течет от D к C .

3. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

3.1. Основные формулы

1. Закон Био – Савара – Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin \alpha}{r^2},$$

где dB – магнитная индукция поля, создаваемого элементом контура dl , по которому течет ток I ; $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный от dl к точке, в которой определяется магнитная индукция; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная.

2. Принцип суперпозиции магнитных полей

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

3. Магнитная индукция полей, создаваемых токами простейших конфигураций:

а) бесконечно длинным прямым проводником

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

где b – расстояние от оси проводника;

б) круговым током

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R},$$

где R – радиус кругового тока;

в) прямолинейным отрезком проводника

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где α_1 и α_2 – значения угла между током и радиус-вектором $\vec{r}$ для крайних точек проводника;

г) бесконечно длинным соленоидом

$$B = \mu_0 n I,$$

где n – число витков на единицу длины;

д) соленоидом конечной длины

$$B = \frac{\mu_0}{2} I n (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где α_1 и α_2 – углы, которые образует с осью соленоида радиус-вектор, проведенный к крайним виткам соленоида.

4. Циркуляция вектора магнитной индукции

$$\oint B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k,$$

где $\sum_{k=1}^n I_k$ – алгебраическая сумма токов, охватываемых контуром.

5. Закон Ампера

$$d\vec{F} = I [d\vec{l}; \vec{B}],$$

где $d\vec{F}$ – сила, действующая на помещенный в магнитное поле с индукцией $\vec{B}$ элемент проводника длиной dl , по которому течет ток I

6. Момент сил Ампера, действующий на контур с током в магнитном поле с индукцией $\vec{B}$,

$$\vec{M} = \oint [\vec{r}, d\vec{F}] = [\vec{P}_m, \vec{B}],$$

где $\vec{P}_m = \vec{n} I S$ – магнитный момент контура с током; $\vec{n}$ – единичный вектор нормали к поверхности контура.

7. Сила, действующая на контур с током (магнитный диполь) в неоднородном магнитном поле,

$$\vec{F} = P_m \frac{\partial \vec{B}}{\partial n},$$

где $\partial \vec{B} / \partial n$ – производная вектора $\vec{B}$ по направлению диполя.

8. Элементарная работа сил Ампера при перемещении контура с током

$$dA = Id\Phi,$$

где $d\Phi = B_n \cdot dS$ – поток вектора магнитной индукции сквозь поверхность dS .

9. Формула Лоренца

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{V}, \vec{B}],$$

где $\vec{F}$ – результирующая сила, действующая на движущийся заряд q со стороны электрического и магнитного поля.

10. Закон электромагнитной индукции Фарадея

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt},$$

где ε_i – электродвижущая сила индукции; N – число витков; $\Psi = N\Phi$ – потокосцепление.

11. Магнитный поток, создаваемый током I в контуре с индуктивностью L ,

$$\Phi = LI.$$

12. ЭДС самоиндукции и взаимной индукции

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}; \quad \varepsilon = -L_{12} \frac{dI}{dt},$$

где L_{12} – взаимная индуктивность контуров.

13. Индуктивность соленоида

$$L = \mu_0 \mu n^2 V,$$

где n – число витков на единицу длины; V – объем соленоида.

14. Энергия магнитного поля

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

15. Объемная плотность энергии магнитного поля

$$\omega = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}.$$

3.2. Примеры решения задач

Пример 1. Рядом с длинным прямым проводом MN , по которому течёт ток силой I_1 , расположена квадратная рамка со стороной b , обтекаемая током силой I_2 . Рамка лежит в одной плоскости с проводником MN , так что её сторона, ближайшая к проводу, находится от него на расстоянии a . Определить магнитную силу, действующую на рамку.

Решение

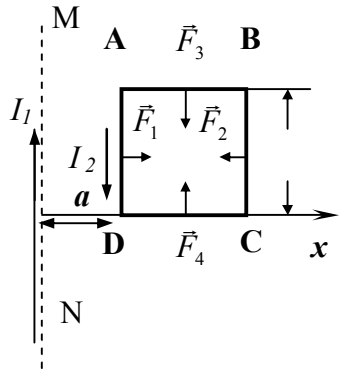
Рамка с током находится в неоднородном магнитном поле, создаваемым бесконечно длинным проводником MN :

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x}.$$

Каждая сторона рамки будет испытывать действие сил Ампера, направление которых показано на рисунке. Так как стороны AB и DC расположены одинаково относительно провода MN , действующие на них силы $\vec{F}_3$ и $\vec{F}_4$ численно равны и равнодействующая всех сил, приложенных к рамке, равна

$$F = F_1 - F_2,$$

$$\text{где } F_1 = I_2 B_1 b = \frac{\mu_0 I_1 I_2 b}{2\pi a}, \text{ а } F_2 = I_2 B_2 b = \frac{\mu_0 I_1 I_2 b}{2\pi (a + b)}.$$

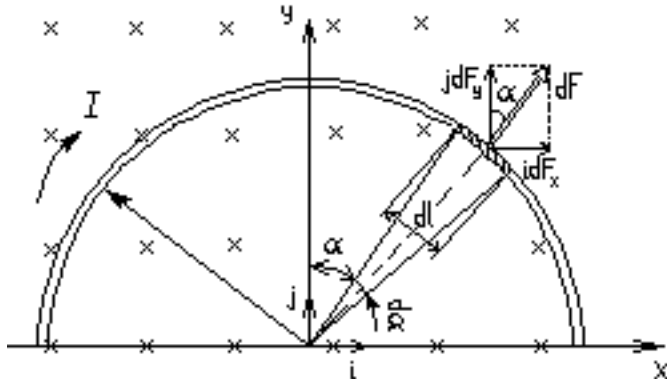


Окончательно

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 b^2}{2\pi(a+b)a}.$$

Пример 2. Провод в виде тонкого полукольца радиусом $R=10$ см находится в однородном магнитном поле ($B = 50$ мТл). По проводу течёт ток $I = 10$ А. Найти силу F , действующую на провод если плоскость полукольца перпендикулярна линиям магнитной индукции, а подводящие провода находятся вне поля.

Решение



Расположим провод в плоскости чертежа перпендикулярно линиям магнитной индукции и выделим на нём малый элемент dl с током. На этот элемент тока $I dl$ будет действовать по закону Ампера сила $d\vec{F} = I [\vec{dl}, \vec{B}]$. Направление этой силы можно определить по правилу векторного произведения или по правилу левой руки.

Используя симметрию, выберем координатные оси так, как это изображено на рисунке. Силу $d\vec{F}$ представим в виде

$$d\vec{F} = \vec{i} dF_x + \vec{j} dF_y,$$

где $\vec{i}$ и $\vec{j}$ – единичные векторы (орты); dF_x и dF_y – проекции вектора $d\vec{F}$ на координатные оси O_x и O_y .

Силу F , действующую на весь провод, найдём интегрированием:

$$\vec{F} = \int_L d\vec{F} = \vec{i} \int_L dF_x + \vec{j} \int_L dF_y,$$

где символ L указывает на то, что интегрирование ведётся по всей длине провода L . Из соображений симметрии первый

интеграл равен нулю $\left(\int_L dF_x = 0 \right)$. Тогда

$$\vec{F} = \vec{j} \int_L dF_y. \quad (1)$$

Из рисунка следует, что $dF_y = dF \cos \alpha$, где dF – модуль вектора $d\vec{F}$ ($dF = IBdl \sin(\vec{dl} \vec{B})$). Так как вектор $\vec{dl}$ перпендикулярен вектору $\vec{B}$ ($\sin(\vec{dl} \vec{B}) = 1$), то $dF = IBdl$. Выразив длину дуги dl через радиус R и угол α , получим

$$dF = IBR d\alpha.$$

Тогда

$$dF_y = IBR \cos \alpha d\alpha.$$

Введём dF_y под интеграл соотношения (1) и проинтегрируем в пределах от $-\pi/2$ до $+\pi/2$ (как это следует из рисунка):

$$\vec{F} = \vec{j} IBR \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} \cos \alpha d\alpha = 2\vec{j} IBR. \quad (2)$$

Из полученного выражения видно, что сила $\vec{F}$ сонаправлена с положительным направлением оси Oy (единичным вектором $\vec{j}$). Найдём модуль силы $\vec{F}$:

$$F = |\vec{F}| = 2IBR.$$

Убедимся в том, что правая часть этого равенства даёт единицу силы (H):

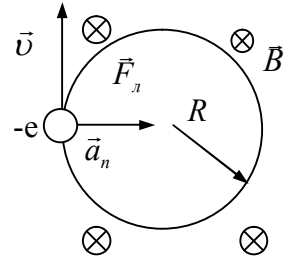
$$[I][B][R] = 1A \cdot 1T \cdot 1m = 1A \cdot 1H \cdot 1m \cdot 1m / (1A \cdot (1m)^2) = 1H.$$

Произведём вычисления: $F = 2 \cdot 10 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1H = 0,1H$.

Пример 3. Электрон, влетев в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2 \text{ Тл}$, стал двигаться по окружности радиуса $R = 5 \text{ см}$. Определить магнитный момент P_m эквивалентного кругового тока.

Решение

Электрон начинает двигаться по окружности, если он влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции, т. е. $\vec{v} \perp \vec{B}$. В этом случае сила Лоренца $\vec{F}_l$ сообщит электрону нормальное ускорение $\vec{a}_n$.



Согласно второму закону Ньютона $\frac{mv^2}{R} = e v B \quad (\sin \alpha = 1)$.

Отсюда находим скорость электрона $v = \frac{eBR}{m}$ и период его обращения $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{eB}$.

Движение электрона по окружности эквивалентно круговому току

$$I_{\text{экв}} = \frac{e}{T} = \frac{e^2 B}{2\pi m}.$$

Зная $I_{\text{экв}}$, найдем магнитный момент эквивалентного тока, который выражается соотношением

$$P_m = I_{\text{экв}} S,$$

где $S = \pi R^2$ – площадь, ограниченная окружностью, описываемой электроном.

Подставим значения $I_{\text{экв}}$ и S в формулу магнитного момента, окончательно получим $P_m = \frac{e^2 B R^2}{2m}$.

Убедимся в том, что правая часть равенства даст единицу измерения магнитного момента ($A \cdot m^2$):

$$\frac{e^2 B R^2}{m} = \frac{K \lambda^2 \cdot T \lambda \cdot m^2}{\kappa \varepsilon^2} = \frac{K \lambda^2 \cdot H}{\kappa \varepsilon \cdot A \cdot m} = \frac{A^2 \cdot c^2 \cdot m \cdot m^2}{A \cdot m \cdot \kappa \varepsilon \cdot c^2} = A \cdot m^2.$$

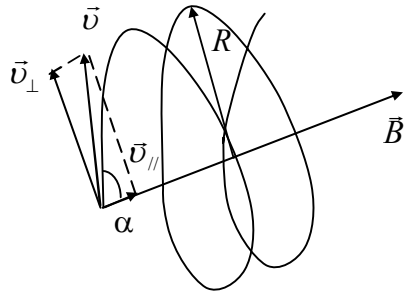
Произведем вычисление:

$$P_m = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 0,2 \cdot (0,05)^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} A \cdot m^2 = 7,03 \cdot 10^{-12} A \cdot m^2.$$

Пример 4. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B=10 \text{ мТл}$ по винтовой линии, радиус которой равен 1 см и шаг $h=6 \text{ см}$. Определить период T обращения электрона и его скорость v .

Решение

Разложим скорость $\vec{v}$ электрона на две составляющие: параллельную вектору $\vec{B}$ - $v_{\parallel}$ и перпендикулярную ему $v_{\perp}$.



Скорость $v_{\parallel}$ в магнитном поле не изменяется и обеспечивает перемещение электрона вдоль силовой линии. Скорость $v_{\perp}$ в результате действия силы Лоренца будет изменяться только по направлению, обеспечивая движение по окружности. Таким образом, электрон будет участвовать одновременно в двух движениях: равномерном перемещении его со скоростью $v_{\parallel}$ и вращательном со скоростью $v_{\perp}$.

Согласно второму закону Ньютона

$$e v_{\perp} B = \frac{m v_{\perp}^2}{R}.$$

Перпендикулярная составляющая скорости будет равна

$$v_{\perp} = \frac{eBR}{m}.$$

Период обращения электрона связан именно с этой составляющей скоростью соотношением

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{eB}.$$

Проверим размерность полученного выражения и произведем вычисление:

$$\left[\frac{m}{eB} \right] = \frac{\kappa\mathcal{Z}}{K\mathcal{L} \cdot T\mathcal{L}} = \frac{\kappa\mathcal{Z} \cdot A \cdot \mathcal{M}^2}{A \cdot c \cdot H \cdot \mathcal{M}} = \frac{\kappa\mathcal{Z} \cdot c^2 \cdot \mathcal{M}^2}{c \cdot \kappa\mathcal{Z} \cdot \mathcal{M}^2} = 1c$$

$$T = \frac{2\pi \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 3,57 \cdot 10^{-9} c = 3,67 ns.$$

Модуль скорости v , как видно из рисунка, можно выразить через $v_{\perp}$ и $v_{\parallel}$:

$$v = \sqrt{v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2}$$

Параллельную составляющую скорости $v_{\parallel}$ найдем из следующих соображений. За время, равное периоду обращения T , электрон пройдет вдоль силовой линии расстояние h , т.е. $h = Tv_{\parallel}$, откуда

$$v_{\parallel} = \frac{eBh}{2\pi m}.$$

Таким образом, модуль скорости электрона

$$v = \frac{eB}{m} \sqrt{R^2 + \left(\frac{h}{2\pi} \right)^2}$$

Произведем вычисления:

$$v = \frac{1,6 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left[0,01^2 + \left(\frac{0,06}{2\pi} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \text{ м/с} = 2,46 \cdot 10^7 \text{ м/с}.$$

Пример 5. В одной плоскости с бесконечно длинным прямым проводом, по которому течёт ток $I=50\text{ А}$, расположена прямоугольная рамка так, что две большие стороны её длиной $l=65\text{ см}$ параллельны проводу, а расстояние от провода до ближайшей из этих сторон равно её ширине. Каков магнитный поток Φ , пронизывающий рамку?

Решение

Магнитный поток Φ через поверхность площадью S определяется выражением

$$\Phi = \int_S B_n dS.$$

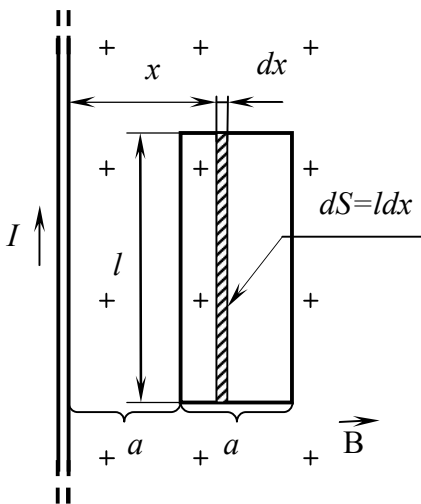
В нашем случае вектор магнитной индукции $\vec{B}$ перпендикулярен плоскости рамки. Поэтому для всех точек рамки $B_n=B$. Магнитная индукция B , создаваемая бесконечно длинным прямым проводником с током, определяется формулой

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

где x — расстояние от провода до точки, в которой определяется B .

Для вычисления магнитного потока заметим, что так как B зависит от x и элементарный поток Φ будет также зависеть от x , то

$$d\Phi = B(x) dS.$$



Разобьём площадь рамки на узкие элементарные площадки длиной l , шириной dx и площадью $dS=l dx$ (см. рис.). В пределах этой площадки магнитную индукцию можно считать постоянной, так как все части площадки равноудалены

(на расстояние x) от провода. С учётом сделанных замечаний элементарный магнитный поток можно записать в виде

$$d\Phi = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} l dx.$$

Проинтегрировав полученное выражение в пределах от $x_1 = a$ до $x_2 = 2a$, найдём

$$\Phi = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \int_a^{2a} \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \ln x \Big|_a^{2a}.$$

Подставив пределы, получим

$$\Phi = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \ln 2.$$

Убедимся в том, что правая часть полученного равенства дает единицу магнитного потока ($B\bar{o}$):

$$[\mu_0][I][l] = 1 \text{ Гн/м} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Вб}.$$

Произведя вычисления, найдём $\Phi = 4,5 \text{ мкВб}$.

Пример 6. В однородном магнитном поле ($B = 0,2 \text{ Тл}$) равномерно с частотой $\nu = 600 \text{ мин}^{-1}$ вращается рамка, содержащая $N = 1200$ витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки $S = 100 \text{ см}^2$. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определите максимальную ЭДС, индуцируемую в рамке.

Решение

Согласно закону электромагнитной индукции

$$\xi = - \frac{d\Phi}{dt},$$

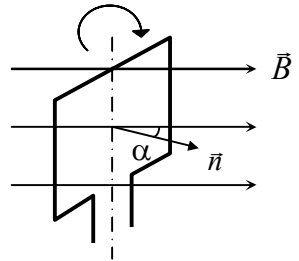
где $\Phi = NBS \cos \alpha$ – полный магнитный поток, пронизывающий рамку.

При вращении рамки угол $\alpha(\vec{n}, \vec{B})$, образованный нормалью $\vec{n}$ к плоскости рамки и линиями индукции $\vec{B}$, изменятся по закону

$$\alpha = \omega t = 2\pi \nu t.$$

Подставив в закон электромагнитной индукции выражение магнитного потока и продифференцировав по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции:

$$\xi = -NBS \frac{d}{dt}(\cos 2\pi\nu t) = NBS \cdot 2\pi\nu \cdot \sin 2\pi\nu t$$



Максимальное значение ЭДС определится при условии, что $\sin 2\pi\nu t = 1$. таким образом,

$$\xi_{\max} = 2\pi\nu NBS .$$

Убедимся в том, что правая часть этого равенства дает единицу ЭДС (В):

$$[2\pi\nu NBS] = \frac{Tл \cdot м^2}{с} = \frac{Н \cdot м}{А \cdot м \cdot с} = \frac{Дж}{Кл} = В .$$

Произведем вычисление:

$$\xi_{\max} = 2\pi \cdot 10 \cdot 1200 \cdot 0,2 \cdot 100 \cdot 10^{-4} = 151(В) .$$

4. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

4.1. Основные формулы

Механические колебания

1. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний материальной точки и его решение

$$\square x + \omega_0^2 x = 0 ,$$

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) ,$$

где x – смещение колеблющейся точки от положения равновесия; $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ – собственная частота колебаний; m – масса точки; k – коэффициент упругой (квазиупругой) силы.

2. Уравнение траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1).$$

3. Амплитуда и фаза результирующего колебания, возникающего при сложении двух одинаково направленных колебаний с одинаковыми частотами.

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1),$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}.$$

4. Период колебаний физического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{L/g},$$

где $L = J/ma$ – приведенная длина физического маятника, J – момент инерции маятника относительно оси колебаний, a – расстояние центра масс маятника от оси колебаний.

5. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение

$$\square \square \quad \square \quad x + 2\beta \dot{x} + \omega_0^2 x = 0, \quad \text{и}$$

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi),$$

где $\beta = r/2m$ – коэффициент затухания; r – коэффициент сопротивления; $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – угловая частота затухающих колебаний; $A = A_0 e^{-\beta t}$ – амплитуда колебаний в момент времени t .

6. Логарифмический декремент затухания и добротность Q колебательной системы

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T,$$

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N_e,$$

где $A(t)$ и $A(t+T)$ – амплитуды двух последовательных колебаний, отстоящих по времени друг от друга на период; N_e – число колебаний, в течение которых амплитуда уменьшается в $e=2,73$ раз.

7. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение для установившихся колебаний:

$$\ddot{x} + 2\beta \dot{x} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega_e t,$$

$$x = A \cos(\omega_e t - \varphi),$$

где $F_0 \cos \omega_e t$ - внешняя периодическая сила, действующая на материальную точку;

$f_0 = F_0/m$; $A = f_0 / \sqrt{(\omega_0^2 - \omega_e^2)^2 + 4\beta^2 \omega_e^2}$ – амплитуда вынужденных колебаний;

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\beta \omega_e}{\omega_0^2 - \omega_e^2}$$

8. Резонансная частота и резонансная амплитуда

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

$$A_{рез} = \frac{f_0}{2\beta \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}.$$

Электрические колебания

1. Дифференциальное уравнение затухающих электрических колебаний в контуре и его решение

$$\ddot{q} + 2\beta \dot{q} + \omega_0^2 q = 0,$$

$$q = q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi),$$

где $\beta = R/2L$ – коэффициент затухания, $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ – собственная частота колебаний, $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{1/LC - (R/2L)^2}$ – частота затухающих колебаний.

Добротность контура

$$Q = I/R \sqrt{L/C}$$

2. Дифференциальное уравнение вынужденных электрических колебаний при последовательном включении в контур переменной ЭДС и его решение

$$q + 2\beta \dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{E_m}{L} \cos \omega_e t,$$

$$q = q_m \cos(\omega_e t + \varphi),$$

$$I = I_m \cos(\omega_e t + \varphi_1),$$

где φ - разность фаз между колебаниями заряда и внешней ЭДС; ω_e - частота внешней ЭДС; $I_m = \omega_e q_m$ - амплитуда тока, $\varphi_1 = \varphi - \pi/2$ - сдвиг по фазе между током и внешней ЭДС.

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}};$$

$$I_m = \frac{E_m}{\sqrt{(R^2 + (\omega_e L - 1/\omega_e C)^2)}};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{\omega_e L - 1/\omega_e C}.$$

Волны

1. Уравнение бегущей волны

$$\xi(x, t) = A_0 \cos \omega(t - \frac{x}{v}) = A_0 \cos(\omega t - kx),$$

где ξ - смещение точки, имеющей координату x в момент времени t , $k = 2\pi/\lambda$ - волновое число, v - фазовая скорость, λ - длина волны.

2. Уравнение стоячей волны

$$\xi(x, t) = 2A_0 \cos kx \cdot \cos \omega t,$$

Расстояние l между двумя соседними пучностями или двумя соседними узлами стоячей волны и длина бегущей волны связаны соотношением:

$$l = \lambda / 2$$

3. Скорость распространения в веществе:

а) упругой продольной волны

$$v = \sqrt{E/\rho},$$

где E – модуль Юнга, ρ – плотность вещества.

б) упругой поперечной волны

$$v = \sqrt{G/\rho},$$

где G – модуль сдвига,

в) упругой продольной волны в газах

$$v = \sqrt{\gamma RT/\mu},$$

где $\gamma = C_p/C_v$ – показатель адиабаты, μ – молярная масса.

г) электромагнитной волны

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}};$$

где ϵ , μ – диэлектрическая и магнитная проницаемости.

4. Эффект Доплера для акустических волн

$$v = \frac{v_{зв} + v_{пр}}{v_{зв} - v_{ист}} v_0,$$

где v – частота звука, воспринимаемого движущимся приёмником, $v_{зв}$ – скорость звука, $v_{пр}$ – скорость приемника ($v_{пр} > 0$, если приемник приближается к источнику), $v_{ист}$ – скорость источника ($v_{ист} > 0$, если источник приближается), v_0 – частота звука, испускаемого источником.

4.2. Примеры решения задач

Пример 1. Частица совершает гармонические колебания вдоль оси x около положения равновесия $x=0$, частота колебания $\omega_0=4\text{ с}^{-1}$. В некоторый момент времени координата частицы $x_0 = 25\text{ см}$ и ее скорость $v_0 = 100\text{ см/с}$. Найти координату x и скорость v частицы через $t = 2,4\text{ с}$ после этого момента.

Решение

Запишем уравнение гармонических колебаний частицы в виде:

$$x = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1)$$

тогда уравнение скорости будет иметь вид:

$$v = x = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (2)$$

Для нахождения параметров данных уравнений воспользуемся начальными условиями. При $t = 0$ имеем:

$$x_0 = A\cos\varphi_0,$$

$$v_0 = -A\omega_0 \sin\varphi_0,$$

$$\text{откуда} \quad \operatorname{tg}\varphi_0 = -\frac{v_0}{\omega_0 x_0} = -1; \quad \varphi_0 = -\pi/4, \quad A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega_0^2}}.$$

Координата и скорость частицы v в момент времени $t = 2,4\text{ с}$ найдутся из уравнений (1) и (2):

$$x = -29\text{ см}, \quad v = -81\text{ см/с}.$$

Пример 2. Точка совершает гармонические колебания вдоль некоторой прямой с периодом $T = 0,6\text{ с}$ и амплитудой $A = 10\text{ см}$. Найти среднюю скорость точки за время, в течение которого она проходит путь $A/2$:

а) из положения равновесия; б) из крайнего положения.

Решение

Выберем за начало отсчета времени момент, когда точка проходит положение равновесия. Тогда уравнение колебаний имеет вид:

$$x = A \sin \omega_0 t.$$

Исходя из этого уравнения определим момент времени t_1 , соответствующий смещению точки $x = A/2$. Имеем:

$$\frac{A}{2} = A \sin \frac{2\pi}{T} t_1,$$

откуда $t_1 = T/12$.

Значение средней скорости точки при ее движении из положения равновесия определяется из формулы:

$$v_{cp1} = \frac{S}{t} = \frac{A}{2t_1}; \quad v_{cp1} = 100 \text{ см/с.}$$

Время движения точки из крайнего положения до половины амплитуды будет равно:

$$t_2 = \frac{T}{4} - t_1 = \frac{T}{16}.$$

С учетом этого:

$$v_{cp2} = \frac{A}{2t_2}; \quad v_{cp2} = 50 \text{ см/с.}$$

Аналогичные результаты могут быть получены при использовании формулы:

$$v_{cp} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt.$$

Пример 3. Найти амплитуду и начальную фазу результирующего колебания, возникающего при сложении двух одинаково направленных колебаний, выражаемых уравнениями: $x_1 = 3 \cos(\omega t + \pi/3) \text{ см}$, $x_2 = 8 \sin(\omega t + \pi/3) \text{ см}$. Написать уравнение результирующего колебания.

Решение

Вначале, используя тригонометрические формулы, приведем уравнение второго колебания к виду

$$x_2 = 8 \cos(\omega t - \pi/6) \text{ см.}$$

Затем построим векторную диаграмму сложения однонаправленных колебаний (см. рис.). Согласно теореме косинусов получим

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi},$$

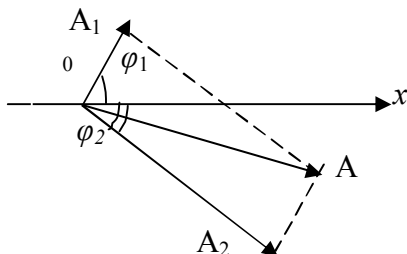
где $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

Произведя вычисления, найдем $A=8,5$ см. Тангенс начальной фазы результирующего колебания определится из рисунка

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}, \quad \text{откуда } \varphi = -0.2 \text{ рад.}$$

Уравнение результирующего колебания запишется в виде:

$$x = 8,5\cos(\omega t - 0.2) \text{ см.}$$



Пример 4. Тело массой $m = 5$ г совершает затухающие колебания. В течении времени $t = 50$ с тело потеряло 60 % своей энергии. Определить коэффициент сопротивления r .

Решение

Энергия тела, совершающего колебания, определяется по формуле

$$E = mA^2\omega^2/2.$$

Учитывая зависимость амплитуды затухающих колебаний от времени $A = A_0 e^{-\beta t}$,

получим $E = mA_0 e^{-2\beta t} \omega^2 / 2$, или

$$E = E_0 e^{-2\beta t}, \quad (1)$$

где $E_0 = mA_0^2 \omega^2 / 2$ – энергия тела в момент времени $t = 0$.

К моменту времени $t = 50$ с тело потеряло 60 % своей первоначальной энергии, следовательно,

$$E = 0,4E_0. \quad (2)$$

Приравнявая (1) и (2), сокращая на E_0 и, логарифмируя обе части равенства, найдем:

$$\ln 2,5 = 2\beta t.$$

Отсюда выражаем β :

$$\beta = (\ln 2,5)/2t. \quad (3)$$

$$\text{С другой стороны,} \quad \beta = r/2m. \quad (4)$$

Из сравнения (3) и (4) получим $r = (m \ln 2,5)/t$

После подстановки числовых значений найдем

$$r = 9,16 \cdot 10^{-5} \text{ кг/с.}$$

Пример 5. Тело массой $m=10 \text{ г}$ совершает затухающие колебания с максимальным значением амплитуды 7 см , начальной фазой, равной нулю, коэффициентом затухания, равным $1,6 \text{ с}^{-1}$. На это тело начала действовать внешняя периодическая сила, под действием которой установились вынужденные колебания. Уравнение вынужденных колебаний имеет вид $x=5\sin(10\pi t-0,75\pi) \text{ см}$. Найти: 1) уравнение свободных колебаний; 2) уравнение внешней периодической силы.

Решение

Уравнение свободных затухающих колебаний имеет вид

$$x = A_0 e^{-\beta t} \sin \omega t, \quad (1)$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ - частота затухающих колебаний; ω_0 - собственная частота колебаний; β - коэффициент затухания.

По условию сдвиг фаз φ между собственными и вынужденными колебаниями равен $-3\pi/4$; следовательно, $\text{tg}(-3\pi/4) = 1$. С другой стороны,

$$\text{tg} \varphi = \frac{2\beta\omega_s}{\omega_0^2 - \omega_s^2}.$$

Из равенства

$$\frac{2\beta\omega_s}{\omega_0^2 - \omega_s^2} = 1,$$

следует

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_s^2 + 2\beta\omega_s}. \quad (2)$$

У нас $\omega_0 = 10\pi$, $\beta = 1,6 \text{ с}^{-1}$. Подставляя эти значения в (2), получим, $\omega_0 = 10,5\pi$. С учётом того, что $\beta^2 \ll \omega_0^2$, получим, что частота ω затухающих колебаний равна частоте ω_0 собственных колебаний. Следовательно, уравнение свободных затухающих колебаний примет вид

$$x = 7 e^{-1,6t} \sin 10,5 \omega \pi t \text{ см.}$$

Уравнение внешней периодической силы

$$F = F_0 \sin \omega t. \quad (3)$$

Амплитудное значение вынуждающей силы

$$F_0 = f_0 m = A m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega_0^2)^2 + 4\beta^2 \omega_0^2}. \quad (4)$$

После подстановки числовых значений получаем $F_0 = 72 \text{ мН}$. С учетом этого уравнение внешней периодической силы будет иметь вид

$$F = 72 \sin 10\pi t \text{ мН.}$$

Пример 6. Омическое сопротивление контура $R = 10^2 \text{ Ом}$, индуктивность $L = 10^{-2} \text{ Гн}$, ёмкость $C = 10^{-6} \text{ Ф}$. Определить силу тока в контуре в момент времени $t = 5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$, если при $t = 0$ заряд на конденсаторе $q_0 = 10^{-5} \text{ Кл}$, а начальная сила тока равна нулю.

Решение

Общий вид уравнения затухающих колебаний в контуре запишем в виде: $q = q_m e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi_0)$, (1)

где $\beta = R/2L = 5 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$,

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} = 8,7 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}.$$

Начальную фазу φ_0 и амплитудное значение заряда q_m определим из начальных условий. Учитывая, что при $t = 0$ $q = q_0$, получаем

$$q_0 = q_m \sin \varphi_0. \quad (2)$$

Взяв производную по t от выражения (1), найдём закон изменения силы тока

$$I = -q_m \left[-\beta e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi_0) + \omega e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0) \right]. \quad (3)$$

Так как при $t = 0$ $I = 0$, получаем $-\beta \sin \varphi_0 + \omega \cos \varphi_0 = 0$.

Откуда $\operatorname{tg} \varphi_0 = \omega / \beta$ и $\varphi_0 = \arctg(\omega / \beta) \approx \pi/3$.

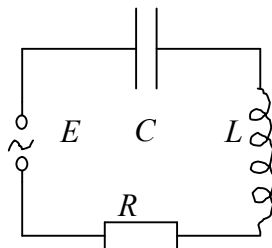
Наконец, из (2) находим

$$q_m = \frac{q_0}{\sin \frac{\pi}{3}} = \frac{2q_0}{\sqrt{3}}.$$

С учётом найденных параметров уравнения (3) определим силу тока в контуре в момент времени $t = 5 \cdot 10^{-5} \text{ c}$

$$I = 4,6 \cdot 10^{-2} \text{ A}.$$

Пример 7. В цепи, состоящей из последовательно соединённых резистора $R = 20 \text{ Ом}$, катушки индуктивностью $L = 1 \text{ мГн}$ и конденсатора ёмкостью $C = 0,1 \text{ мкФ}$, действует синусоидальная ЭДС. Определите частоту ω ЭДС, при которой в цепи наступит резонанс. Найдите действующие значения силы тока I и напряжений U_R , U_L , U_C на всех элементах цепи при резонансе, если при этом действующее значение ЭДС $E = 30 \text{ В}$.



Решение

Под действием переменной ЭДС в цепи установятся вынужденные колебания. При этом амплитудные значения тока I_0 и ЭДС E_0 связаны соотношениями

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}.$$

В соответствии с формулами, связывающими амплитудные и действующие значения токов и напряжений ($I = I_0/\sqrt{2}$, $E = E_0/\sqrt{2}$), данное соотношение имеет аналогичный вид и для действующих значений:

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}.$$

Максимальному току при резонансе $I_{рез}$ соответствует такое значение ω , при котором выполняется условие $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$, откуда $\omega = \omega_p = \sqrt{\frac{1}{LC}} = 1 \cdot 10^5 \text{ рад/с}$.

При этом сила тока $I = \frac{E}{\sqrt{R^2}} = \frac{E}{R} = 1,5 \text{ А}$.

Зная силу тока I , найдём действующие значения напряжения на каждом из элементов контура. В соответствии с законом Ома для каждого из участков получим:

$$U_R = I \cdot R = E = 30 \text{ В},$$

$$U_L = I \cdot L\omega = \frac{E}{R} L\omega = 150 \text{ В},$$

$$U_C = I \cdot \frac{1}{C\omega} = U_L = 150 \text{ В}.$$

Равенство $U_L = U_C$ следует из равенства $L\omega = 1/\omega C$ при резонансе.

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №2

1. Расстояние d между точечными положительными зарядами $q_1 = 9q$ и $q_2 = q$ равно 8 см. На каком расстоянии r от первого заряда находится точка, в которой напряженность E поля зарядов равна нулю? Где находилась бы эта точка, если бы второй заряд был отрицательным?

2. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $q_1 = 40$ нКл и $q_2 = -10$ нКл, находящимися на расстоянии $d = 10$ см друг от друга. Определить напряженность E в точке, удаленной от первого заряда на $r_1 = 12$ см и от второго на $r_2 = 6$ см.

3. В вершинах квадрата со стороной $a = 5$ см находятся одинаковые положительные заряды $q = 2$ нКл. Определить напряженность поля в середине одной из сторон квадрата.

4. Электростатическое поле создано двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными с поверхностной плотностью $\sigma_1 = 1$ нКл/м² и $\sigma_2 = -2$ нКл/м². Определить напряженность электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. Построить график $E(x)$.

5. Одинаковые по модулю, но разные по знаку заряды $|q| = 18$ нКл расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 2$ м. Найти напряженность поля E в третьей вершине треугольника.

6. В однородном электростатическом поле с напряженностью $E = 10^6$ В/м, направленном под углом $\alpha = 30^\circ$ к вертикали, висит на нити шарик массой $m = 2$ г, несущий заряд $q = 10$ нКл. Найти силу натяжения нити.

7. В двух вершинах равностороннего треугольника помещены одинаковые заряды $q_1 = q_2 = q = 5$ мкКл. Какой точечный заряд необходимо поместить в середину стороны,

соединяющей заряды q_1 и q_2 , чтобы напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника оказалась равной нулю?

8. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими одинаковый равномерно распределенный по площади заряд ($\sigma=1 \text{ нКл/м}^2$). Определить напряженность E поля: 1) между пластинами; 2) вне пластин. Построить график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной пластинам.

9. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по площади заряд с поверхностными плотностями $\sigma_1=1 \text{ нКл/м}^2$ и $\sigma_2=3 \text{ нКл/м}^2$. Определить напряженность E поля: 1) между пластинами; 2) вне пластин. Построить график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной пластинам.

10. Две бесконечные параллельные пластины равномерно заряжены с поверхностной плотностью $\sigma_1=10 \text{ нКл/м}^2$ и $\sigma_2=-30 \text{ нКл/м}^2$. Определить силу взаимодействия между пластинами, приходящуюся на площадь S , равную 1 м^2 .

11. По кольцу радиусом R равномерно распределен заряд q_0 . Какую работу нужно совершить, чтобы перенести заряд q из центра кольца в точку, расположенную на оси кольца на расстоянии R от его центра?

12. Два точечных заряда $q_1 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ и $q_2 = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ находятся в воздухе на расстоянии $r_1=1 \text{ м}$ друг от друга. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить заряды до расстояния $r_2 = 0,2 \text{ м}$?

13. Шарик массой 1 г и зарядом 10^{-8} Кл перемещается из точки A , потенциал которой равен 600 В , в точку C , потенциал которой равен нулю. Чему была равна скорость в точке A , если в точке C она стала равной 20 м/с ?

14. На расстоянии $r_1 = 4 \text{ см}$ от бесконечно длинной заряженной нити находится точечный заряд $2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$. Под

действием поля заряд перемещается до расстояния $r_2 = 2$ см. При этом совершается работа $5 \cdot 10^{-6}$ Дж. Найти линейную плотность заряда нити.

15. Около заряженной бесконечно протяженной плоскости находится точечный заряд $2 \cdot 10^{-8}$ Кл. Под действием поля заряд перемещается вдоль силовой линии на расстояние 2 см. При этом совершается работа $A = 5 \cdot 10^{-6}$ Дж. Найти поверхностную плотность заряда на плоскости.

16. Какую работу необходимо совершить при переносе точечного заряда q_0 из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии $r = 10$ см от поверхности заряженного металлического шара? Потенциал на поверхности шара $\varphi = 200$ В, радиус шара $R = 2$ см.

17. Две бесконечные параллельные плоскости находятся на расстоянии $d = 1$ см друг от друга. На плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $\sigma_1 = 0,2$ мкКл/м² и $\sigma_2 = -0,3$ мкКл/м². Определить разность потенциалов между плоскостями.

18. Электрон, летевший горизонтально со скоростью $v = 1,6$ Мм/с, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью $E = 90$ В/см, направленное вертикально вверх. Какова будет по модулю и направлению скорость v электрона через 1 нс?

19. Электрон влетел в пространство между пластинами плоского конденсатора со скоростью $v = 10$ Мм/с, направленной параллельно пластинам. На сколько приблизится электрон к положительно заряженной пластине за время движения внутри конденсатора (поле считать однородным), если расстояние d между пластинами равно 16 мм, разность потенциалов $U = 30$ В и длина l пластин равна 6 мм?

20. Электрон влетел в плоский конденсатор, имея скорость $v = 10$ Мм/с, направленную параллельно пластинам. В момент вылета из конденсатора направление скорости электрона составляло угол 35° с первоначальным направле-

нием скорости. Определить разность потенциалов U между пластинами (поле считать однородным), если длина l пластин равна 10 см и расстояние d между ними равно 2 см .

21. Параллельно обкладкам плоского конденсатора введена металлическая пластинка толщиной 6 мм . Определить емкость конденсатора, если площадь каждой из обкладок 100 см^2 , расстояние между ними 8 мм .

22. Один конденсатор заряжен до напряжения 50 В , другой конденсатор такой же емкости – до напряжения 150 В . Какое напряжение установится между обкладками конденсатора, если их соединить одноименно заряженными обкладками?

23. Два конденсатора емкостью 3 и 5 мкФ соединены последовательно и подсоединены к источнику постоянного напряжения 12 В . Определить заряд каждого конденсатора и разность потенциалов между его обкладками.

24. Между обкладками плоского конденсатора находится металлическая пластинка толщиной 4 мм . Как изменится емкость конденсатора, если эту пластинку убрать? Расстояние между обкладками 6 мм , площадь обкладок 100 см^2 .

25. Найти напряжение на каждом из двух конденсаторов, если они соединены последовательно, имеют емкость 4 и 6 мкФ и присоединены к источнику постоянного напряжения 100 В .

26. Два конденсатора одинаковой емкости 6 мкФ каждый были заряжены – один до 100 В , другой до 200 В . Затем конденсаторы соединили параллельно. Определить напряжение батареи после соединения и изменение энергии системы.

27. Два конденсатора одинаковой емкости 4 мкФ каждый заряжены – один до 100 В , другой до 200 В . Затем конденсаторы соединили последовательно. Определить изменение энергии системы.

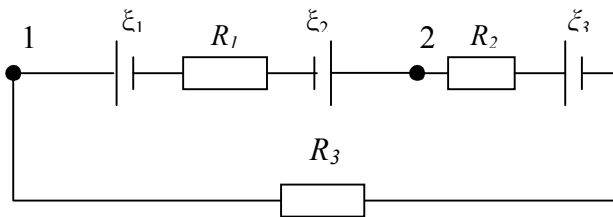
28. Шару радиусом R_1 сообщили заряд q_1 , а шару радиусом R_2 - заряд q_2 . Расстояние между шарами много больше их радиусов. Найти отношение поверхностной плотности зарядов на шарах к их радиусам, если шары соединить тонкой металлической проволокой.

29. Сила F притяжения между пластинами плоского воздушного конденсатора равна 50 мН . Площадь S каждой пластины равна 200 см^2 . Найти объемную плотность энергии поля конденсатора.

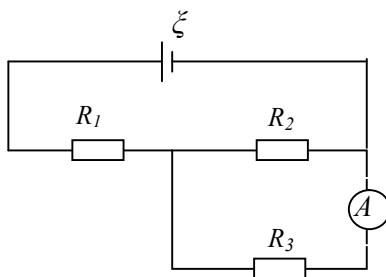
30. Плоский воздушный конденсатор с площадью пластины S подключен к источнику тока с ЭДС ξ . Определить работу A внешних сил по раздвижению пластин от расстояния d_1 до d_2 , если пластины перед раздвижением отключаются от источника.

31. К зажимам батареи аккумуляторов присоединен нагреватель. ЭДС батареи равна 24 В , внутреннее сопротивление $r=1 \text{ Ом}$. Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность $P = 80 \text{ Вт}$. Вычислить силу тока I в цепи и КПД нагревателя.

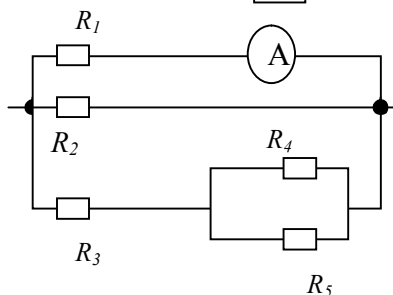
32. Определить разность потенциалов между точками 1 и 2 представленной цепи, если $\xi_1=2\text{В}$, $\xi_2=5\text{В}$, $\xi_3=2\text{В}$, $R_1=1\text{Ом}$, $R_2=2 \text{ Ом}$, $R_3=2 \text{ Ом}$.



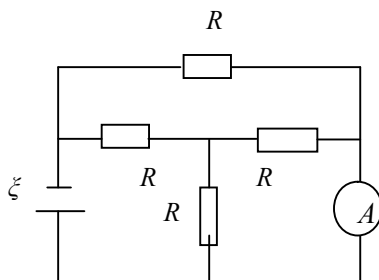
33. Определить силу тока, протекающего через амперметр. Напряжение на зажимах элемента в замкнутой цепи равно $2,1\text{ В}$; $R_1=5\text{ Ом}$, $R_2=6\text{ Ом}$, $R_3=3\text{ Ом}$. Сопротивлением амперметра пренебречь.



34. Амперметр, включенный в участок цепи, показывает силу тока $I_1 = 0,5\text{ А}$. Найти силу тока, протекающего через R_4 если $R_2 = 4\text{ Ом}$, $R_1 = R_4 = 2\text{ Ом}$, $R_3 = R_5 = 1\text{ Ом}$. Сопротивлением амперметра пренебречь.



35. Найти показание амперметра в схеме представленной на рисунке. Сопротивления амперметра и источника пренебрежимо малы. $R = 10\text{ Ом}$, $\xi = 30\text{ В}$.



36. Вольтметр, подключенный к зажимам источника тока, показал $U_1 = 6\text{ В}$. Когда к тем же зажимам подключили лампочку, вольтметр стал показывать $U_2 = 3\text{ В}$. Что покажет вольтметр, если вместо одной подключить две такие же лампочки, соединенные последовательно?

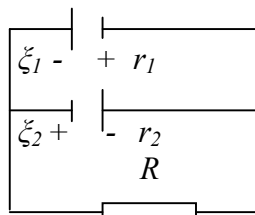
37. Сила тока в проводнике сопротивлением $R=15\text{ Ом}$ равномерно возрастает от $I_0 = 0$ до некоторого максимального значения в течение времени $t=5\text{ с}$. За это время в проводнике выделилось количество теплоты $Q=10\text{ кДж}$. Найти среднюю силу тока в проводнике за этот промежуток времени.

38. Сила тока в резисторе линейно нарастает за 4 с от 0 до 8 А. Сопротивление резистора 10 Ом. Определить количество теплоты, выделившееся в резисторе за первые 3 с.

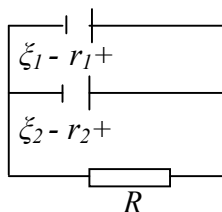
39. В течение 5 с по резистору сопротивлением 10 Ом течет ток, сила которого равномерно возрастает. В начальный момент сила тока равна нулю. Определить заряд, протекший за 5 с, если количество теплоты, выделившееся за это время, равно 500 Дж.

40. Сила тока в резисторе равномерно возрастает от нулевого значения в течение 10 с. За это время выделилось количество теплоты 500 Дж. Определить скорость возрастания тока, если сопротивление резистора 10 Ом.

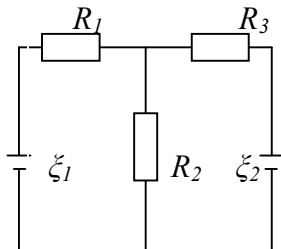
41. Две батареи аккумуляторов ($\xi_1=10$ В, $r_1=1$ Ом, $\xi_2=8$ В, $r_2=2$ Ом) и реостат сопротивлением $R=6$ Ом соединены как показано на рисунке. Найти силу тока в батареях и реостате.



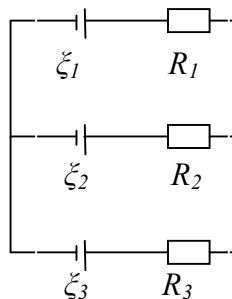
42. Два источника тока ($\xi_1=8$ В, $r_1=2$ Ом, $\xi_2=6$ В, $r_2=1,5$ Ом) и реостат сопротивлением $R=6$ Ом соединены как показано на рисунке. Вычислить силу тока, текущего через реостат.



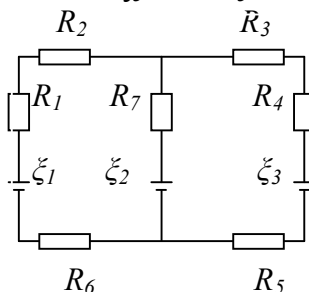
43. Определить силу тока I_3 в резисторе сопротивлением R_3 и напряжение U_3 на концах резистора, если $\xi_1=4$ В, $R_1=2$ Ом, $\xi_2=3$ В, $R_2=6$ Ом, $R_3=1$ Ом. Внутренними сопротивлениями амперметра и источников тока пренебречь.



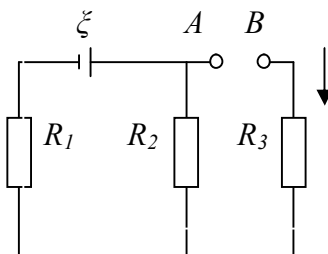
44. Три источника тока с $\xi_1 = 11 \text{ В}$, $\xi_2 = 4 \text{ В}$, $\xi_3 = 6 \text{ В}$ и три реостата с сопротивлениями $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$ соединены как показано на рисунке. Определить силы токов в реостатах. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь.



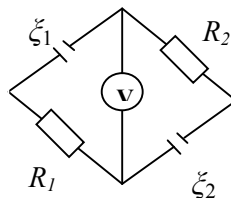
45. В схеме, изображенной на рисунке, $\xi_1 = 10 \text{ В}$, $\xi_2 = 20 \text{ В}$, $\xi_3 = 30 \text{ В}$, $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$, $R_4 = 4 \text{ Ом}$, $R_5 = 5 \text{ Ом}$, $R_6 = 6 \text{ Ом}$, $R_7 = 7 \text{ Ом}$. Внутренние сопротивления источников малы. Найти силы токов.



46. Три сопротивления $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 5 \text{ Ом}$ и $R_3 = 3 \text{ Ом}$, а также источник тока с ЭДС $\xi = 1,4 \text{ В}$ соединены, как показано на рисунке. Определить ЭДС источника тока, который надо подключить в цепь между точками А и В, чтобы сила тока через сопротивление R_3 составляла $I = 1 \text{ А}$. Направление тока указано на рисунке стрелкой. Сопротивлением источника тока пренебречь.



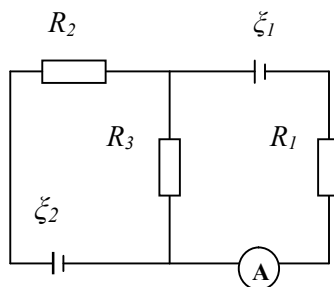
47. В схеме, представленной на рисунке, $\xi_1 = \xi_2 = 110 \text{ В}$, $R_1 = R_2 = 200 \text{ Ом}$, сопротивление вольтметра $R_v = 1000 \text{ Ом}$. Найти показание вольтметра. Сопротивлением источников пренебречь.



48. В схеме к задаче 47, $\xi_1 = \xi_2$, $R_2 = 2R_1$. Во сколько раз ток, текущий через вольтметр, больше тока, текущего через R_2 ? Сопротивлением источников пренебречь.

49. В схеме, к задаче 77, $R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$. Вольтметр показывает 50В , сопротивление вольтметра равно 150 Ом . Найти ЭДС батарей. Сопротивлением источников пренебречь.

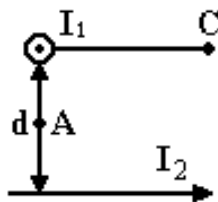
50. В схеме, представленной на рисунке, $\xi_1 = 110\text{В}$, $\xi_2 = 220\text{В}$, $R_1 = R_2 = R = 100 \text{ Ом}$, $R_3 = 500 \text{ Ом}$. Найти показание амперметра. Внутренними сопротивлениями амперметра и элементов пренебречь.



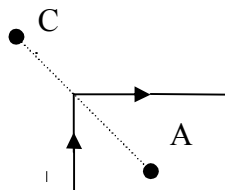
51. Вычислить магнитную индукцию поля, создаваемого отрезком AB прямолинейного проводника с током в точке C , расположенной на перпендикуляре к середине этого отрезка на расстоянии 6 см от него. По проводнику течет ток 30 А . Отрезок AB проводника виден из точки C под углом 90° .

52. Два прямолинейных длинных проводника расположены параллельно на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут токи $I_1 = I_2 = 5 \text{ А}$ в противоположных направлениях. Найти величину и направление магнитной индукции поля в точке, находящейся на расстоянии 10 см от каждого проводника.

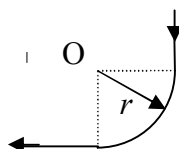
53. Два бесконечно длинных прямых проводника скрещены под прямым углом. По проводникам текут токи $I_1 = 80 \text{ А}$ и $I_2 = 60 \text{ А}$. Расстояние между проводниками $d = 10 \text{ см}$. Чему равна магнитная индукция в точках A и C , одинаково удаленных от обоих проводников?



54. Бесконечно длинный прямой проводник согнут под прямым углом. По проводнику течет ток $I = 100 \text{ А}$. Вычислить магнитную индукцию в точках A и C , лежащих на биссектрисе угла и удаленных от вершин угла на $a = 20 \text{ см}$.



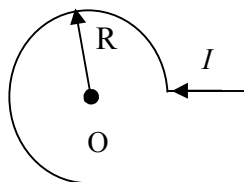
55. По бесконечно длинному прямому проводу, изогнутому так, как показано на рисунке, течет ток $I = 100 \text{ А}$. Определить индукцию B в точке O , если $r = 10 \text{ см}$.



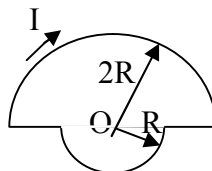
56. По тонкому проводящему кольцу радиусом $R = 10 \text{ см}$ течет ток $I = 80 \text{ А}$. Найти магнитную индукцию в точке, равноудаленной от всех точек кольца на $r = 20 \text{ см}$.

57. По контуру в виде квадрата течет ток $I = 50 \text{ А}$. Длина стороны квадрата равна 20 см . Определить магнитную индукцию B в точке пересечения диагоналей.

58. Бесконечно длинный тонкий проводник с током $I = 50 \text{ А}$ имеет изгиб (плоскую петлю) радиусом $R = 10 \text{ см}$. Определить в точке O магнитную индукцию B поля, создаваемого этим током.



59. По плоскому контуру из тонкого провода течет ток $I = 100 \text{ А}$. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого этим током в точке O . Радиус R изогнутой части контура равен 20 см .



60. По тонкому проволочному кольцу течет ток. Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Во сколько раз изменится магнитная индукция в центре контура?

61. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи $I = 1 \text{ кА}$. Определить силу F , действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине.

62. Тонкий провод в виде дуги, составляющей треть кольца радиусом $R=15 \text{ см}$, находится в однородном магнитном поле ($B=20 \text{ мТл}$). По проводу течет ток $I = 30 \text{ А}$. Плоскость, в которой лежит дуга, перпендикулярна линиям магнитной индукции, и подводящие провода находятся вне поля. Определить силу F , действующую на провод.

63. По тонкому проводу в виде кольца радиусом $R=20 \text{ см}$ течет ток $I=100 \text{ А}$. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено однородное магнитное поле с индукцией $B = 20 \text{ мТл}$. Найти силу F , растягивающую кольцо.

64. Из проволоки сделано полукольцо радиусом $R=10 \text{ см}$, по которому протекает ток силой $I=10 \text{ А}$. Полукольцо помещено в магнитное поле. Вектор индукции лежит в плоскости полукольца и перпендикулярен диаметру. Индукция B равна 50 мТл . Определить силу, действующую на проволоку.

65. Проводник в виде тонкого полукольца радиусом $R=10 \text{ см}$ находится в однородном магнитном поле с индукцией $B=5,0 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$. По проводнику течет ток $I=10 \text{ А}$. Найти силу, действующую на проводник, если плоскость полукольца перпендикулярна линиям индукции, а подводящие провода находятся вне поля.

66. Электрон, обладая скоростью $v=1 \text{ Мм/с}$, влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 60^\circ$ к направлению поля и начинает двигаться по спирали. Напряжённость магнитного поля $H=1.5 \text{ кА/м}$. Определите шаг и радиус витка спирали.

67. Электрон в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,1 \text{ Тл}$ движется по окружности. Найти величину

эквивалентного кругового тока, создаваемого движением электрона.

68. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B=10^{-4} \text{ Тл}$ по винтовой линии. Чему равна скорость электрона, если шаг винтовой линии $h=20 \text{ см}$, а радиус $R=5 \text{ см}$?

69. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 9 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$ по винтовой линии, радиус которой $r=1 \text{ см}$ и шаг $h=7,8 \text{ см}$. Определить период обращения электрона и его скорость.

70. В однородном магнитном поле с индукцией $B=2 \text{ Тл}$ движется протон. Траектория его движения представляет собой винтовую линию с радиусом $R=10 \text{ см}$ и шагом $h=60 \text{ см}$. Определить кинетическую энергию T протона.

71. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,4 \text{ Тл}$ в плоскости, перпендикулярной силовым линиям поля, вращается стержень длиной $l=10 \text{ см}$. Ось вращения проходит через один из концов стержня. Определить разность потенциалов на концах стержня при частоте его вращения $n=16 \text{ об/с}$.

72. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,35 \text{ Тл}$ равномерно с частотой $n=480 \text{ об/мин}$ вращается рамка, содержащая $N=500$ витков площадью $S=50 \text{ см}^2$. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Определить максимальную ЭДС индукции, возникающую в рамке.

73. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. По цепи протекло количество электричества 10^{-5} Кл . Определить магнитный поток Φ , пересеченный кольцом, если сопротивление цепи гальванометра равно 30 Ом .

74. Рамка из провода сопротивлением $0,01 \text{ Ом}$ равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $0,05 \text{ Тл}$. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки 100 см^2 . Какое

количество электричества протекает через рамку за время поворота ее на угол 30° в следующих трех случаях: 1) от 0 до 30° ; 2) от 30° до 60° ; 3) от 60° до 90° ?

75. Тонкий медный проводник массой 1 г согнут в виде квадрата, и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле ($B = 0,1 \text{ Тл}$) так, что плоскость его перпендикулярна линиям индукции поля. Определить количество электричества q , которое протечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины вытянуть в линию.

76. На расстоянии $a = 1 \text{ м}$ от длинного прямого проводника с током $I = 10^3 \text{ А}$ расположено кольцо радиусом $r = 1 \text{ см}$. Кольцо расположено так, что поток, пронизывающий кольцо, максимален. Чему равно количество электричества, которое протечет по кольцу, если ток в проводнике будет выключен. Сопротивление кольца $R = 10 \text{ Ом}$.

77. Соленоид содержит 1000 витков. Сечение сердечника равно 10 см^2 . По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией $B = 1,5 \text{ Тл}$. Найти среднее значение ЭДС, которая возникнет в соленоиде, если ток уменьшится до нуля за время, равное $5 \cdot 10^4 \text{ с}$.

78. Проволочное кольцо радиусом $r = 10 \text{ см}$ лежит на столе. Какое количество электричества протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую? Сопротивление R кольца равно 1 Ом . Вертикальная составляющая индукции B магнитного поля Земли равна 50 мкТл .

79. По длинному прямому проводу течет ток. Вблизи провода расположена квадратная рамка из тонкого провода сопротивлением $R = 0,02 \text{ Ом}$. Провод лежит в плоскости рамки и параллелен двум ее сторонам, расстояния до которых от провода соответственно равны $a_1 = 10 \text{ см}$, $a_2 = 20 \text{ см}$. Найти силу тока в проводе, если при его включении через рамку протекло количество электричества $q = 693 \text{ мкКл}$.

80. Горизонтальный стержень длиной $l=1$ м вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через один из его концов. Ось вращения параллельна магнитному полю, индукция которого $B=50$ мкТл. При какой частоте вращения стержня разность потенциалов на концах этого стержня $U=1$ мВ.

81. Колебания материальной точки совершаются по закону $x=0.03\sin \pi(t+0.5)$ м. Определить наибольшие значения скорости и ускорения. Чему равна фаза колебаний спустя 5 с после начала движения?

82. Написать уравнение гармонического колебательного движения, если максимальное ускорение точки равно $0,493$ м/с², период колебаний 2 с и смещение точки от положения равновесия в начальный момент времени 0,025 см.

83. Точка совершает гармонические колебания. Период колебания $T=2$ с, амплитуда $A=5$ см, начальная фаза равна нулю. Найти скорость точки в момент времени, когда ее смещение от положения равновесия равно 2,5 см.

84. Начальная фаза гармонического колебания равна нулю. Через какую долю периода скорость точки будет равна половине ее максимальной скорости?

85. Материальная точка одновременно участвует в двух колебаниях, происходящих вдоль одной прямой и выражаемых уравнениями $x_1=\sin\omega t$ см и $x_2=\cos\omega t$ см. Найти амплитуду A результирующего колебания, его частоту ν и начальную фазу φ . Написать уравнение движения.

86. Складываются два взаимно перпендикулярных колебания, выражаемых уравнениями

$$x = A_1 \sin \omega t \quad \text{и} \quad y = A_2 \cos \omega(t + \tau),$$

где $A_1 = 2$ см, $A_2 = 1$ см; $\omega = \pi$ с⁻¹; $\tau = 0,5$ с.

Найти уравнение траектории и построить ее, показав направление движения точки.

87. Точка совершает одновременно два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями

$$x = 4\cos \pi t \text{ см и } y = 8\cos \pi(t+1) \text{ см.}$$

Найти уравнение траектории и построить график ее движения.

88. Найти амплитуду и начальную фазу гармонического колебания, полученного от сложения одинаково направленных колебаний, данных уравнениями

$$x_1 = 4\sin \pi t \text{ см и } x_2 = 3\sin(\pi t + \pi/2) \text{ см.}$$

Написать уравнение результирующего колебания. Построить векторную диаграмму сложения амплитуд.

89. Написать уравнение результирующего колебания, получающегося в результате сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний с одинаковой частотой $\nu=5 \text{ Гц}$ и с одинаковой начальной фазой $\varphi = \pi/3$. Амплитуды колебаний равны $A_1=0.10 \text{ м}$ и $A_2=0.05 \text{ м}$.

90. Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях $x=\cos \pi t$ и $y=\cos \pi t/2$. Найти траекторию результирующего движения точки.

91. Амплитуда колебаний маятника длиной $l=1 \text{ м}$ за время $t=10 \text{ мин}$ уменьшилась в 2 раза. Определить логарифмический декремент колебаний λ .

92. Логарифмический декремент колебаний λ маятника равен 0,003. Определить число N полных колебаний, которые должен сделать маятник, чтобы амплитуда уменьшилась в два раза.

93. Гиря массой $m=500 \text{ г}$ подвешена к спиральной пружине жесткостью $k=20 \text{ Н/м}$ и совершает упругие колебания в некоторой среде. Логарифмический декремент колебаний $\lambda=0,004$. Определить число N полных колебаний, которые должна совершить гиря, чтобы амплитуда колебаний уменьшилась в 2 раза. За какое время t произойдет это уменьшение?

94. Математический маятник длиной в 24,7 см совершает затухающие колебания. Через какое время энергия колебаний маятника уменьшится в 9,4 раза, если логарифмический декремент затухания $\lambda = 0,01$?

95. Найти число N полных колебаний системы, в течение которых энергия системы уменьшилась в два раза. Логарифмический декремент колебаний $\lambda = 0,01$.

96. Пружинный маятник (жесткость пружины k равна 10 Н/м, масса m груза равна 100 г) совершает вынужденные колебания в вязкой среде с коэффициентом сопротивления $r=2 \cdot 10^{-2}$ кг/с. Определить коэффициенты затухания β и резонансную амплитуду $A_{рез}$, если амплитудное значение вынуждающей силы $F_0 = 10$ мН.

97. Найти время, за которое амплитуда колебания тока в контуре с добротностью $Q=5000$ уменьшится в два раза, если частота колебаний $\nu=2,2$ МГц.

98. Колебательный контур имеет емкость $C=10$ мкФ, индуктивность $L=25$ мГн и активное сопротивление $R=1$ Ом. Через сколько колебаний амплитуда тока в этом контуре уменьшится в $e=2,7$ раз?

99. Добротность колебательного контура $Q=5$. Определить, на сколько процентов отличается частота ω свободных колебаний контура от ее собственной частоты ω_0 .

100. Колебательный контур имеет емкость $1,1 \cdot 10^{-9}$ Ф, индуктивность $5 \cdot 10^{-3}$ Гн. Логарифмический декремент затухания равен 0,005. За какое время потеряется вследствие затухания 99% энергии контура?

6. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 2

Вариант	Номера заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
2	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
3	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
4	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
5	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
6	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
7	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
8	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
9	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные физические постоянные электромагнетизма

Элементарный заряд	$E = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона	$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса протона	$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Удельный заряд электрона	$e/m = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Скорость света в вакууме	$C = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Диэлектрическая проницаемость ϵ

Вода	81
Масло (трансформаторное)	2,2
Парафин	2,0
Слюда	7,0
Стекло	7,0
Фарфор	5,0
Эбонит	3,0

Удельное сопротивление ρ и температурный коэффициент проводимости α

Вещество	ρ при 20°C , нОм·м	α , $^\circ \text{C}^{-1}$
Железо	98	$6,2 \cdot 10^{-3}$
Медь	17	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Алюминий	26	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Графит	$3,9 \cdot 10^3$	$-0,8 \cdot 10^3$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс физики / И.В. Савельев. М.: Наука, 1989. Т.1-3.
2. Детлаф А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. М.: Высш. шк., 1989.
3. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. М.: Высш. шк., 2001.
4. Яворский Б.М. Справочник по физике/ Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. М.: Наука, 1985.
5. Чертов А.Г. Задачник по физике / А.Г Чертов, А.А. Воробьёв, учеб. пособие для студентов втузов. М.: Высш. шк., 1988.-527с.
6. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. Изд. 2 доп. и перераб. С.Пб.: Специальная литература, 1999-328с.
- 7.. Физика: методические указания к контрольным заданиям для студентов заочников инженерно-технических специальностей вузов / А.А Воробьёв, В.П. Иванов, В.Г. Кондакова, А.Г. Чертов. М.: Высш. шк., 1987 - 208с.
8. Дмитриева Т.Ф., Основы физики / Т.Ф. Дмитриев, В.Л. Прокофьев. М. Высш. шк., 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

Методические указания к решению задач и выполнению контрольных работ по физике для студентов заочной сокращённой формы обучения.....	1
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2.....	2
1. Электростатика.....	2
1.1. Основные законы и формулы	2
1.2. Примеры решения задач.....	5
2. Постоянный электрический ток.....	15
2.1. Основные законы и формулы.....	15

2.2. Примеры решения задач.....	16
3. Электромагнетизм.....	20
3.1. Основные формулы.....	20
3.2. Примеры решения задач.....	23
4. Колебания и волны.....	31
4.1. Основные формулы	31
4.2. Примеры решения задач.....	36
5. Задачи для выполнения контрольной работы №2.....	43
Варианты контрольной работы № 2.....	59
Приложение.....	60
Библиографический список.....	61

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к решению задач и выполнению контрольной работы № 2
по физике для студентов всех технических направлений
подготовки заочной сокращённой формы обучения

Составители:

Москаленко Александр Георгиевич

Гаршина Мария Николаевна

Сафонов Игорь Александрович

Тураева Татьяна Леонидовна

В авторской редакции

Компьютерный набор И.А. Сафонова

Подписано к изданию 16.10.2012.

Уч. – изд. л. 3,8.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп.,14