

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Международный институт дистанционного образования

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Методические указания,
контрольные задания и учебные материалы

Минск
БНТУ
2011

УДК 530.1(075.8)
ББК 22.3я7
Э 45

Составитель *О.А. Бояршинова*

Рецензенты:
А.А. Иванов, В.В. Галынский

Издание содержит учебные материалы, задания контрольной работы и задачи для самостоятельной подготовки студентов по курсу «Электричество и магнетизм». Приведена рабочая программа по соответствующим разделам физики, сформулированы методические требования, предъявляемые к выполнению и оформлению контрольных работ.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее методическое пособие представляет собой комплекс материалов, необходимых для успешного освоения физики студентами технического вуза дистанционной формы обучения. В пособии представлена часть рабочей программы, которая содержит вопросы, изучаемые во втором семестре обучения физике; требования к оформлению контрольной работы, предусмотренной учебным планом; задачи, включенные в контрольную работу, а также ряд задач для самоподготовки студентов. Все задачи пособия разбиты на тематические блоки, которые сопровождаются краткими теоретическими сведениями, достаточными для того, чтобы студенты смогли самостоятельно решать задачи своего варианта.

Задачи, включенные в контрольную работу, разбиты на десять вариантов, в каждом варианте восемь задач. Номер варианта, который должен выполнить студент совпадает с последней цифрой номера зачетной книжки студента. Задачи контрольной работы составлены таким образом, чтобы охватить максимальное количество вопросов, изучаемых в данном разделе курса общей физики. Задачи, не включенные в контрольную работу, а также задачи других вариантов дополняют друг друга и будут способствовать более глубокому пониманию изучаемых явлений и законов, а также развитию логического мышления.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА ФИЗИКИ

Электричество и магнетизм

Предмет классической электродинамики. Электрический заряд и его дискретность. Закон сохранения электрического заряда.

Электростатика

Закон Кулона. Электростатическое поле. Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции для напряженностей электростатических полей системы зарядов. Поток вектора напряженности. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Гаусса для расчета напряженности электростатических полей. Работа при перемещении заряда в электростатическом поле. Теорема о циркуляции вектора напряженности. Потенциал электростатического поля. Связь потенциала и напряженности. Принцип суперпозиции для потенциалов системы зарядов. Разность потенциалов. Вычисление разности потенциалов по напряженности поля. Электрический диполь. Момент сил, действующих на диполь в электростатическом поле. Потенциальная энергия диполя в электростатическом поле.

Электростатическое поле в веществе

Электрическое поле в веществе. Диэлектрики. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Поляризация диэлектриков. Виды поляризации. Поляризованность. Напряженность поля в диэлектрике. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрическая восприимчивость. Вектор электрического смещения. Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике. Граничные условия на границе раздела двух диэлектриков. Сегнетоэлектрики. Диэлектрический гистерезис. Пьезоэлектрики, пьроэлектрики и электреты. Проводники. Распределение заряда в проводнике. Поле внутри проводника и у его поверхности. Электростатическое поле в полости идеального проводника. Электростатическая защита. Электроемкость уединенного проводника. Емкость системы проводников. Конденсаторы. Емкость конденсаторов различной геометрической формы. Емкость при параллельном и последовательном соединении системы конденсаторов. Энергия системы зарядов, уединенного проводника и

конденсатора. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

Постоянный электрический ток

Постоянный электрический ток. Сила и плотность тока. Сторонние силы. Электродвижущая сила. Уравнение непрерывности. Проводники и изоляторы. Закон Ома для однородного участка цепи в интегральной и дифференциальной форме. Сопротивление проводника. Закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме. Работа и мощность тока. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Закон Ома для замкнутой цепи. Правила Кирхгофа для разветвленных цепей.

Электрические токи в различных средах

Классическая электронная теория электропроводности металлов. Вывод законов Ома, Джоуля-Ленца и Видемана-Франца. Границы применимости классической электронной теории проводимости. Работа выхода электронов из металла. Поверхностный скачок потенциала. Эмиссионные явления (термоэлектронная, фотоэлектронная, вторичная электронная и автоэлектронная эмиссии). Электрический ток в газах. Несамостоятельный газовый разряд. Ионизация и рекомбинация газа. Самостоятельный газовый разряд. Ударная ионизация, напряжение пробоя. Виды самостоятельных газовых разрядов (тлеющий, искровой, дуговой и коронный разряды). Плазма.

Магнитное поле постоянного тока

Магнитное поле. Вектор магнитного момента. Индукция и напряженность магнитного поля. Принцип суперпозиции. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение для расчетов магнитного поля (магнитное поле прямолинейного проводника с током и магнитное поле кругового тока). Взаимодействие параллельных токов. Закон Ампера. Магнитная постоянная.

Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Ускорители заряженных частиц. Эффект Холла. МГД-генератор. Масс-спектрографы. Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока для магнитного поля в вакууме (теорема о циркуляции вектора магнитной индукции). Магнитные поля соленоида и тороида. Поток вектора

магнитной индукции. Теорема Гаусса для потока вектора магнитной индукции. Дивергенция и ротор магнитного поля. Сила, действующая на контур с током в магнитном поле. Работа сил магнитного поля по перемещению контура с током.

Магнитное поле в веществе

Намагничивание вещества. Магнитные моменты электронов и атомов. Намагниченность. Магнитная восприимчивость. Магнитная проницаемость вещества. Токи намагничивания. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля. Граничные условия на границе раздела двух магнетиков. Виды магнетиков. Пара- и диамагнетики. Ферромагнетики. Домены. Спиновая теория магнетизма. Обменные силы. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Точка Кюри. Антиферромагнетики. Ферриты.

Электромагнитная индукция

Опыты Фарадея. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца. Вихревые токи (токи Фуко). Индуктивность контура с током. Явление самоиндукции. Электродвижущая сила самоиндукции. Токи при размыкании и замыкании цепи. Взаимная индуктивность. Трансформаторы. Энергия магнитного поля. Объемная плотность энергии. Работа перемещения ферромагнетика.

Электрические колебания

Колебательный контур. Свободные гармонические колебания в идеальном колебательном контуре. Дифференциальное уравнение свободных колебаний и его решение. Формула Томсона. Свободные затухающие колебания в колебательном контуре. Логарифмический декремент затухания. Добротность контура. Дифференциальное уравнение вынужденных электромагнитных колебаний и его решение. Переменный ток. Закон Ома для цепи переменного тока. Резонанс напряжений. Резонанс токов. Мощность в цепи переменного тока. Действующие значения тока и напряжения.

Уравнения Максвелла. Электромагнитные волны

Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Плотность тока смещения. Полный ток. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла

в интегральной и дифференциальной форме. Инвариантность уравнений Максвелла относительно преобразований Лоренца. Относительный характер разделения электромагнитного поля на электрическое и магнитное поля.

Электромагнитные колебания

Основные свойства электромагнитных волн. опыты Герца и Лебедева. Шкала электромагнитных волн. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны. Плоская электромагнитная волна. Поперечность и монохроматичность электромагнитных волн. Энергия и импульс электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Излучение колеблющегося электрического диполя.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом по курсу физики, студент дистанционной формы обучения должен выполнить ряд контрольных работ, первая из которых охватывает следующие разделы физики: «Электричество и магнетизм». При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие правила:

1. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, следует определить по таблице 1.

2. Контрольная работа может быть выполнена как рукописно в тетради, так и набрана в электронном виде с последующей распечаткой.

3. Контрольную работу следует выполнять аккуратно, оформляя каждую задачу с новой страницы.

4. Условия задач своего варианта следует переписывать полностью, а заданные физические величины выписывать отдельно; при этом все численные величины должны быть представлены в одной системе единиц (СИ).

5. Для пояснения решения задачи, где это нужно, сделать чертеж.

6. Решение задач и выбор используемых при этом формул следует сопровождать пояснениями.

7. В пояснениях к задаче необходимо указывать основные законы и формулы, на использовании которых базируется решение данной задачи.

8. При получении расчетной формулы, которая нужна для решения конкретной задачи, надо приводить ее вывод.

9. Решение задачи рекомендуется сначала сделать в общем виде (в буквенных обозначениях), давая при этом необходимые пояснения.

10. Вычисления следует проводить путем подстановки заданных числовых значений в расчетную формулу.

11. В конце решения следует проверить единицы полученных величин по расчетной формуле, тем самым подтвердив ее правильность.

12. В контрольной работе следует указывать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач.

13. Результаты расчета следует округлять, руководствуясь правилами округления физических величин.

Правила округления следующие:

– при сложении и вычитании все слагаемые округляют так, чтобы они не имели значащих цифр в тех разрядах, которые отсутствуют хотя бы в одном из слагаемых;

– при умножении и делении исходные данные и результат округляют до такого числа значащих цифр, сколько их содержится в наименее точном числе;

– при возведении в степень в результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их содержится в числе, возводимом в степень;

– при извлечении корня в окончательном результате количество значащих цифр должно быть таким, как в подкоренном выражении;

– в промежуточных вычислениях следует сохранять на одну цифру больше, чем рекомендуют правила, приведенные выше.

Значащими цифрами называют все цифры, кроме первых нулей, и ноль, если он стоит в середине числа или является представителем сохраненного десятичного разряда.

Контрольные работы, представленные без соблюдения указанных правил, а также работы, не относящиеся к требуемому варианту, засчитываться не будут.

При отсылке работы на повторное рецензирование обязательно представлять работу с первой рецензией.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

Белорусский национальный технический университет
Международный институт дистанционного образования
Кафедра «Информационные системы и технологии»

Контрольная работа по «Физике»
за ___ семестр
Вариант _____

Выполнил:

студент _ курса, группы _____

ФИО _____

дом. адрес _____

Проверил:

ФИО преподавателя _____

Минск 20 _____

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Таблица 1

| <i>Варианты</i> | <i>Номера задач</i> | | | | | | | |
|-----------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 301 | 312 | 336 | 352 | 401 | 411 | 430 | 444 |
| 2 | 302 | 313 | 337 | 353 | 402 | 412 | 431 | 445 |
| 3 | 303 | 314 | 338 | 354 | 403 | 414 | 432 | 446 |
| 4 | 304 | 315 | 339 | 355 | 404 | 418 | 433 | 447 |
| 5 | 305 | 316 | 340 | 356 | 405 | 419 | 434 | 448 |
| 6 | 306 | 317 | 341 | 357 | 406 | 422 | 435 | 449 |
| 7 | 307 | 318 | 342 | 358 | 407 | 423 | 436 | 450 |
| 8 | 308 | 319 | 343 | 359 | 408 | 424 | 437 | 451 |
| 9 | 309 | 320 | 344 | 360 | 409 | 428 | 438 | 452 |
| 0 | 310 | 321 | 345 | 361 | 410 | 429 | 439 | 453 |

ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Электростатика

Закон сохранения электрического заряда: алгебраическая сумма электрических зарядов замкнутой системы тел сохраняется

$$q_1 + q_2 + \dots + q_N = \text{const}.$$

Элементарный электрический заряд – (e), минимальный электрический заряд, положительный или отрицательный, величина которого $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Заряд электрона $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Закон Кулона: сила электростатического взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов q_1 и q_2 в вакууме равна:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}_{12},$$

где \vec{F}_{21} – сила, действующая со стороны первого заряда на второй (рис. 1), \vec{r}_{12} – вектор, проведенный от первого заряда ко второму, r – расстояние между зарядами, коэффициент пропорциональности $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}$, где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ – электрическая постоянная.

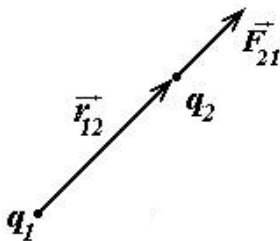


Рисунок 1

Если же заряды находятся в некоторой однородной изотропной среде с диэлектрической проницаемостью ε , сила электростатического взаимодействия станет равной:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^3} \vec{r}_{12}.$$

Вектор напряженности электрического поля (силовая характеристика поля), равен

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q},$$

где \vec{F} – сила, действующая со стороны электрического поля на точечный пробный заряд q , помещенный в рассматриваемую точку поля, к величине этого заряда.

Принцип суперпозиции электрических полей: напряженность \vec{E} электрического поля, созданного несколькими электрическими зарядами, равна геометрической сумме напряженностей \vec{E}_i полей, созданных каждым i -м зарядом в отдельности

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N.$$

Согласно *теореме Остроградского-Гаусса* поток вектора напряженности электростатического поля сквозь любую замкнутую поверхность в вакууме равен алгебраической сумме электрических зарядов, заключенных внутри этой поверхности, деленной на электрическую постоянную:

$$\oiint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i q_i.$$

Теорема Остроградского-Гаусса позволяет найти напряженность поля, созданного такими заряженными телами как:

- поле бесконечно длинной равномерно заряженной нити $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 d}$, где $\tau = \frac{dq}{dl}$ – линейная плотность заряда на нити, d – расстояние от нити;
- поле равномерно заряженной нити конечной длины в точке, находящейся на перпендикуляре, восстановленном из середины нити на расстоянии d от нее $E = \frac{\tau \sin \varphi}{2\pi\epsilon_0 d}$, где φ – угол между направлением нормали к нити и радиус-вектором, проведенным из рассматриваемой точки к концу нити;
- поле равномерно заряженной бесконечной плоскости $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, где $\sigma = \frac{dq}{dS}$ – поверхностная плотность заряда;
- поле, равномерно заряженного по объему шара $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, где r – расстояние от центра шара, радиус которого R , причем $r \geq R$.

Потенциалом электростатического поля (энергетическая характеристика поля) называют физическую величину φ , равную отношению потенциальной энергии взаимодействия W пробного точечного электрического заряда, помещенного в рассматриваемую точку поля, с электростатическим полем, к величине этого заряда:

$$\varphi = \frac{W}{q}.$$

Потенциал электростатического поля, созданного точечным зарядом q или равномерно заряженным шаром, на расстоянии r от заряда (центра шара):

$$\varphi(r) = k \frac{q}{r},$$

в случае полого шара, потенциал всех его внутренних точек одинаков и равен потенциалу точек расположенных на его поверхности.

При наложении электрических полей их потенциалы алгебраически складываются

$$\varphi = \sum_i \varphi_i.$$

Работа ΔA , совершаемая кулоновскими силами при перемещении $\Delta \vec{r}$ точечного заряда q в электростатическом поле, равна уменьшению потенциальной энергии взаимодействия W_{nom} этого заряда с полем:

$$\Delta A = -\Delta W_{nom} = \vec{F} \Delta \vec{r} = q \vec{E} \Delta \vec{r}.$$

Потенциальная энергия системы из N зарядов равна:

$$W_{nom} = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i,$$

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

301. Тонкая шелковая нить выдерживает максимальную силу натяжения $T = 10 \text{ мН}$. На этой нити подвешен шарик массы $m = 0,60 \text{ г}$, имеющий положительный заряд $q_1 = 11 \text{ нКл}$. Снизу в направлении линии подвеса к нему подносят шарик, имеющий отрицательный заряд $q_2 = -13 \text{ нКл}$. При каком расстоянии l между шариками нить рвется?

302. По кольцу могут свободно перемещаться три положительно заряженных шарика, несущие заряды: q_1 на одном шарике и q_2 на каждом из двух других. Чему равно отношение зарядов q_1 и q_2 , если при равновесии дуга между зарядами q_2 составляет 60° ?

303. Отрицательный точечный заряд Q расположен на прямой, соединяющей два одинаковых положительных точечных заряда q . Расстояния между отрицательным зарядом и каждым из положительных относятся между собой, как 1:3. Во сколько раз изменится модуль силы, действующая на отрицательный заряд, если его поменять местами с ближайшим положительным?

304. На двух одинаковых капельках воды находится по одному лишнему электрону, причем сила электрического отталкивания ка-

пелек уравновешивает силу их взаимного гравитационного тяготения. Каковы радиусы капелек? Плотность воды $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

305. Два отрицательных точечных заряда $q_1 = -9,0 \text{ нКл}$ и $q_2 = -36 \text{ нКл}$ расположены на расстоянии $r = 3,0 \text{ м}$ друг от друга. Когда в некоторой точке поместили заряд q_0 , то все три заряда оказались в равновесии. Найти заряд q_0 и расстояние между зарядами q_1 и q_0 .

306. На изолированной подставке расположен вертикально тонкий фарфоровый стержень, на который надет полый металлический шарик A радиусом $r_1 = 1,0 \text{ см}$ (рис. 2). После сообщения шарiku заряда $q = 60 \text{ нКл}$ по стержню опущен такой же незаряженный металлический шарик B с массой $m = 0,10 \text{ г}$. На каком расстоянии h от шарика A будет находиться в равновесии шарик B после соприкосновения? Трением шариков о стержень пренебречь.

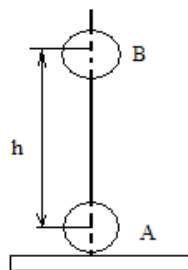


Рисунок 2

307. Два одинаковых заряженных шарика, подвешенных на нитях равной длины в одной точке, разошлись в воздухе на некоторый угол 2α . Какова должна быть плотность материалов ρ , из которых изготовлены шарики, чтобы при погружении их в керосин (диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2$) угол между нитями не изменился? Плотность керосина $\rho_k = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

308. Вокруг закрепленного отрицательного точечного заряда $q_0 = -15 \text{ нКл}$ равномерно движется по окружности под действием силы притяжения маленький заряженный шарик. Чему равно отношение заряда шарика к его массе, если угловая скорость вращения шарика $\omega = 5,0 \text{ рад/с}$, а радиус окружности $R = 3,0 \text{ см}$?

309. Два одинаковых шарика подвешены в воздухе на нитях, так что их поверхности соприкасаются. После того как каждому шарiku был сообщен заряд $q = 0,40 \text{ мкКл}$, шарики разошлись на угол $2\alpha = 60^\circ$. Найти массу каждого шарика, если расстояние от центров шариков до точки подвеса $l = 0,20 \text{ м}$.

310. Составлен прибор из двух одинаковых проводящих шариков массы $m = 24 \text{ г}$, один из которых закреплен, а другой подвешен на нити длины $l = 20 \text{ см}$. Шарики, находясь в соприкосновении, полу-

чают одинаковые заряды, вследствие чего подвижный шарик отклоняет нить на угол 45° от вертикали. Найти заряд каждого шарика.

311. Два одинаковых шарика, имеющих одинаковые заряды $q = 3,3 \text{ мкКл}$, подвешены на одной высоте на тонких невесомых нитях равной длины (рис. 3). На одинаковом расстоянии от этих шариков, причем так что $h = 20 \text{ см}$, ниже их расположен заряд Q . Определить величину этого заряда, если известно, что нити висят вертикально, а расстояние между ними $d = 30 \text{ см}$.

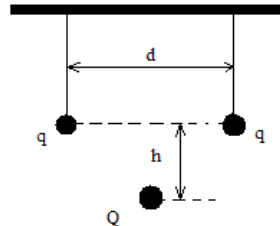


Рисунок 3

312. На тонком стержне длиной $l = 50 \text{ см}$ находится равномерно распределенный электрический заряд с линейной плотностью заряда $\tau = 400 \text{ мкКл/см}$. На продолжении оси стержня на расстоянии $d = 20 \text{ см}$ от ближайшего конца находится точечный заряд $q = 20 \text{ нКл}$. Найти модуль силы F , с которой взаимодействует заряд q со стержнем.

313. По кольцу радиуса $R = 4,0 \text{ см}$ равномерно распределен заряд $q = 15 \text{ мкКл}$. Определите модуль напряженности электрического поля в центре кольца, а также в точке, находящейся на расстоянии $h = 3,0 \text{ см}$ от центра кольца на прямой, проходящей через центр кольца и перпендикулярной его плоскости.

314. По тонкому полукольцу, радиус кривизны которого $R = 5,0 \text{ см}$ равномерно распределен заряд $q = 100 \text{ мкКл}$. Определите модуль напряженности электрического поля в точке, совпадающей с центром полукольца?

315. На трети тонкого кольца радиусом $R = 2,0 \text{ см}$ равномерно распределен заряд $q = 30 \text{ мкКл}$. Определить модуль напряженности электрического поля, создаваемого этим зарядом в точке, совпадающей с центром кольца.

316. Две трети тонкого кольца радиусом $R = 10 \text{ см}$ несут равномерно распределенный заряд с линейной плотностью $\tau = 60 \text{ мкКл/см}$. Вычислить модуль напряженности электрического поля в точке, совпадающей с центром кольца.

317. Две бесконечно длинные разноименно заряженные нити расположены параллельно на расстоянии $d = 5,0 \text{ см}$ друг от друга. Линейная плотность заряда нитей $\tau_1 = 80 \text{ нКл/см}$ и $\tau_2 = 60 \text{ нКл/см}$. Найти модуль напряженности результирующего электрического

поля в точке, удаленной от первой нити на $d_1 = 3,0$ см, а от второй на $d_2 = 4,0$ см.

318. Две бесконечно длинные одноименно заряженные нити расположены параллельно на расстоянии $a = 10$ см друг от друга. Линейная плотность заряда на нитях одинакова и равна $\tau = 200$ мкКл/м. Найти модуль напряженности результирующего электрического поля в точке, удаленной на $d' = 10$ см от каждой из нитей.

319. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по их поверхности заряд с поверхностными плоскостями $\sigma_1 = 0,6$ нКл/см² и $\sigma_2 = -0,4$ нКл/см². Определить модуль напряженности результирующего поля между пластинами и вне пластин.

320. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по их поверхности заряд с поверхностными плоскостями $\sigma_1 = 14$ нКл/см² и $\sigma_2 = 10$ нКл/см². Определить модуль напряженности результирующего поля между пластинами и вне пластин.

321. На двух концентрических сферах радиусами R и $3R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $-\sigma$ и σ . Используя теорему Остроградского-Гаусса, вычислить модуль напряженности в точках, удаленных от центра на расстояниях $\frac{1}{2}R$, $2,5R$ и $3R$. Принять $\sigma = 0,2$ мкКл/м².

322. На двух концентрических сферах радиусами R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями 2σ и σ . Используя теорему Гаусса, вычислить напряженность в точках, удаленных от центра на расстояниях $1,5R$ и $3R$. Принять $\sigma = 0,3$ мкКл/м².

323. N одинаковых шарообразных капелек ртути заряжены до одного и того же потенциала V . Каков будет потенциал V_1 большой капли, получившейся в результате слияния этих капелек?

324. Определить потенциальную энергию электростатического взаимодействия системы четырех точечных зарядов, расположенных в вершинах квадрата со стороной $L = 10$ см. Заряды одинаковы по модулю $q = 10$ нКл, но два из них отрицательные, причем в противоположных вершинах квадрата расположены заряды разных знаков.

325. Шарики радиусами по $r = 1,0$ см имеют заряды $q_1 = 50$ нКл и $q_2 = -10$ нКл. Найти энергию, которая выделится при разряде, если шарики соединить проводником.

326. Мыльному пузырю сообщается заряд, вследствие чего его радиус увеличивается в четыре раза. Определить изменение энергии заряда, находящегося на пузыре при увеличении его радиуса.

327. В электронно-лучевой трубке осциллографа электроны ускоряются, двигаясь в электрическом поле. В некоторой точке поля с потенциалом $\varphi_0 = 0,60$ кВ электрон имел скорость $v = 2,0 \cdot 10^6$ м/с. Определить потенциал точки поля, дойдя до которой электрон увеличит свою скорость вдвое.

328. Электрическое поле создано равномерно заряженным металлическим шаром, потенциал которого $\varphi = 0,30$ кВ. Определить работу сил поля по перемещению заряда $q = 2,0$ мкКл из точки 1 в точку 2 (рис. 4).

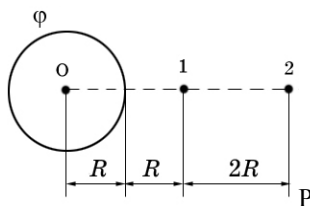


рисунок 4

329. Разность потенциалов между катодом и анодом электронной лампы

$\Delta\varphi = 0,12$ кВ, расстояние между ними $d = 2,0$ мм. С каким ускорением движется электрон от катода к аноду? Какова скорость электрона в момент удара об анод? Поле считать однородным.

330. Электрон, пролетая в электрическом поле от точки a к точке b , увеличил свою скорость с $v_1 = 1000$ км/с до $v_2 = 3000$ км/с. Найти разность потенциалов между точками a и b электрического поля.

331. Протон влетает в плоский горизонтально расположенный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $v = 0,12$ Мм/с. Напряженность электрического поля внутри конденсатора $E = 3,0$ кВ/м; длина конденсатора $l = 10$ см. Вычислить поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора. Во сколько раз модуль скорости протона при вылете из конденсатора будет больше, чем модуль его начальной скорости? Влиянием силы тяжести пренебречь.

332. Первоначально покоящийся электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобретает скорость $v = 1,0$ Мм/с. Расстояние между пластинами $d = 5,3$ мм. Найти разность потенциалов между пластинами, напряженность электриче-

ского поля внутри конденсатора, поверхностную плотность заряда на пластинах. Влиянием силы тяжести пренебречь.

333. Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $v_0 = 1,0 \cdot 10^6$ м/с. Напряженность поля в конденсаторе $E = 10$ кВ/м, длина конденсатора $l = 5,0$ см. Найти модуль и направление скорости электрона в момент вылета его из конденсатора.

334. Между пластинами плоского воздушного горизонтально расположенного конденсатора находится заряженная капля масла массой $m = 3,2 \cdot 10^{-8}$ г. Заряд капли $q = 3,2 \cdot 10^{-15}$ Кл. При разности потенциалов между пластинами $U = 0,50$ кВ и начальной скорости $v_0 = 0$ м/с капля проходит некоторое расстояние в 2 раза медленнее, чем в отсутствие электростатического поля. Найти расстояние между пластинами. Соппротивлением воздуха пренебречь.

335. Электрон влетел в однородное электростатическое поле напряженностью $E = 1 \cdot 10^4$ В/м со скоростью $v_0 = 8$ Мм/с перпендикулярно силовым линиям. Вычислить модуль и направление скорости электрона спустя время $t = 2$ нс.

Емкость. Конденсаторы. Соединения конденсаторов

Емкостью конденсатора называют физическую величину, равную

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi},$$

где q – заряд одного из проводников, образующих конденсатор (заряд проводников, образующих конденсатор, одинаков по величине, но противоположен по знаку), $\Delta\varphi$ – разность потенциалов между проводниками.

Емкость плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где S – площадь обкладок конденсатора, d – расстояние между ними.

Емкость цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

где l – длина цилиндров, из которых изготовлен конденсатор, R_1 , R_2 – радиусы внутреннего и внешних цилиндров.

Емкость сферического конденсатора:

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}},$$

где R_1 , R_2 – радиусы внутренней и внешней сфер конденсатора.

Емкость изолированного шара можно получить, если рассмотреть сферический конденсатор, у которого $R_2 \rightarrow \infty$:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$$

Энергия заряженного конденсатора:

$$W = \frac{1}{2} q \Delta\varphi = \frac{1}{2} C \Delta\varphi^2 = \frac{q^2}{2C}.$$

Объемная плотность энергии электрического поля:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 = \frac{ED}{2},$$

где $D = \epsilon\epsilon_0 E$ – электрическое смещение.

При параллельном соединении конденсаторов емкость $C_{\text{общ}}$ цепи равна сумме емкостей входящих в нее конденсаторов:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + \dots + C_N,$$

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_N,$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_N.$$

При последовательном соединении конденсаторов $C_{\text{общ}}$ цепи равна:

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N},$$

$$q = q_1 = q_2 = \dots = q_N,$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_N.$$

336. Найти емкость C сферического конденсатора, состоящего из двух concentрических сфер с радиусами $R_1 = 5,0$ см и $R_2 = 5,2$ см. Пространство между сферами заполнено маслом, диэлектрическая проницаемость которого $\varepsilon = 2,5$. Какой радиус R_0 должен иметь шар, помещенный в масло, чтобы иметь такую же емкость?

337. Проводник емкости $C_1 = 2 \cdot 10^{-5}$ мкФ заряжен до потенциала $\varphi_1 = 3$ кВ, а проводник емкости $C_2 = 4 \cdot 10^{-5}$ мкФ – до потенциала $\varphi_2 = 9$ кВ. Расстояние между проводниками велико по сравнению с их размерами. Какое количество теплоты ΔQ выделится при соединении этих проводников тонкой проволокой?

338. Основной частью устройства, контролирующего уровень непроводящей жидкости, является конденсатор, вертикально расположенные пластины которого погружены в жидкость. Во сколько раз изменилось показание гальванометра G (рис. 5), измеряющего величину заряда, если перед началом измерений сосуд был пуст, а затем конденсатор заполнился на половину высоты жидкостью с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 7$?

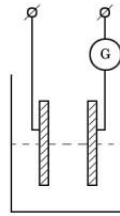


Рисунок 5

339. Плоский конденсатор с площадью пластин $S = 0,01$ м² каждая, заряжен до разности потенциалов $\Delta\varphi = 4$ кВ. Расстояние между пластинами $d = 1$ см. Диэлектрик – стекло ($\varepsilon = 7$). Определить энергию и объёмную плотность энергии электрического поля конденсатора.

340. Четыре конденсатора емкостями $C_1 = 0,5$ мкФ, $C_2 = 2$ мкФ, $C_3 = 2$ мкФ, $C_4 = 4$ мкФ, соединены как показано на рис. 6. К точкам A и B подводится напряжение $U = 140$ В. Найти заряд и напряжение на каждом из конденсаторов.

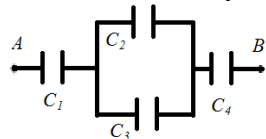


Рисунок 6

341. Конденсатор емкостью $C_1 = 2 \text{ мкФ}$, заряженный до разности потенциалов $U_1 = 0,1 \text{ кВ}$ и отключенный от источника, соединили параллельно с конденсатором емкостью $C_2 = 1 \text{ мкФ}$, заряженным до разности потенциалов $U_2 = 0,05 \text{ кВ}$. Определить заряд каждого из конденсаторов и разность потенциалов между обкладками после их соединения, если: конденсаторы соединили обкладками, имеющими одноименные заряды; конденсаторы соединили обкладками, имеющими разноименные заряды.

342. Электростатическое поле создается сферой радиусом $R = 5,0 \text{ см}$ равномерно заряженной с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 2,0 \text{ нКл/м}^2$. Определите разность потенциалов между двумя точками поля, лежащими на расстояниях $r_1 = 10 \text{ см}$ и $r_2 = 12 \text{ см}$ от центра сферы.

343. Определите напряженность электростатического поля на расстоянии $d = 1,0 \text{ см}$ от оси коаксиального кабеля, если радиус его центральной жилы $r_1 = 1,0 \text{ см}$ а радиус оболочки $r_2 = 1,5 \text{ см}$. Разность потенциалов между центральной жилой и оболочкой $\Delta\varphi = 2,0 \text{ кВ}$.

344. Шар, погруженный в масло ($\epsilon = 2,2$), имеет поверхностную плотность заряда $\sigma = 5 \text{ мкКл/м}^2$ и потенциал $\varphi = 0,5 \text{ кВ}$. Определите: радиус, заряд, емкость и энергию шара.

345. Определить работу A , которую нужно совершить, чтобы увеличить на $\Delta x = 20 \text{ мм}$ расстояние x между пластинами плоского конденсатора, заряженными разноименными зарядами $q = 0,2 \text{ мкКл}$. Площадь каждой пластины $S = 0,04 \text{ м}^2$. В зазоре между пластинами находится воздух. Конденсатор отключен от источника.

346. Посередине между обкладками плоского воздушного конденсатора вставляется металлическая пластина толщиной $d_0 = 2 \text{ мм}$. Заряд на обкладках конденсатора $q = 0,1 \text{ мкКл}$. Конденсатор отключен от источника. Расстояние между пластинами $d = 4 \text{ мм}$, площадь пластин $S = 50 \text{ см}^2$. Определите изменение емкости конденсатора и энергии его электрического поля.

Постоянный электрический ток

Электрический ток – это направленное движение заряженных частиц. *Сила тока* I определяется зарядом q , протекающим через поперечное сечение S проводника в единицу времени t .

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}.$$

Если сила тока $I = \text{const}$, то $I = \frac{q}{t}$.

Плотность электрического тока $j = \frac{I}{S}$, где S – площадь поперечного сечения проводника.

Закон Ома для однородного участка цепи: сила тока I в проводнике, находящемся в электростатическом поле, пропорциональна напряжению между концами проводника:

$$I = \frac{U}{R},$$

где $R = \frac{\rho l}{S}$ – сопротивление проводника, ρ – удельное сопротивление, l – длина проводника.

Удельное сопротивление ρ зависит от температуры, для металлов эта зависимость имеет вид:

$$\rho(t) = \rho_0(1 + \alpha t),$$

где ρ_0 – удельное сопротивление при $t = 0^\circ\text{C}$, α – температурный коэффициент сопротивления.

Сопротивление R , участка цепи состоящего из последовательно соединенных проводников равно сумме сопротивлений этих проводников:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_N.$$

Сила тока I и напряжение U при последовательном соединении проводников:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_N,$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_N.$$

При параллельном соединении проводников электропроводность цепи R^{-1} , равна сумме электропроводностей этих проводников:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}.$$

Сила тока I и напряжение U при параллельном соединении проводников:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_N,$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_N.$$

Закон Ома для замкнутой цепи: сила тока I в замкнутой цепи, состоящей из источника тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r и нагрузки с сопротивлением R , равна отношению величины ЭДС к сумме внутреннего сопротивления источника и сопротивления нагрузки:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи (обобщенный закон Ома)

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}}{R + r},$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ – разность потенциалов на участке 1-2 (рис. 7).

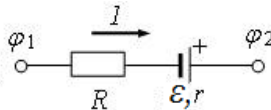


Рисунок 7

Закон Ома в дифференциальной форме

$$j = \gamma E,$$

где γ – удельная проводимость.

Мощность тока

$$P = \frac{dA}{dt} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R},$$

где A – работа электрического тока на участке цепи.

Полная мощность выделяемая в цепи:

$$P = \varepsilon I.$$

Мощность, выделяемая на внешнем участке цепи, называется *полезной мощностью*:

$$P_{\text{полезная}} = I^2 R.$$

$$\text{КПД источника тока: } \eta = \frac{P_{\text{полезная}}}{P}.$$

Для разветвленных цепей удобно применять правила Кирхгофа.

Первое правило Кирхгофа (правило узлов): алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле равна нулю:

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N = 0.$$

Второе правило Кирхгофа (правило контуров): в любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной цепи, алгебраическая сумма падений напряжений на отдельных участках цепи, равна алгебраической сумме ЭДС встречающихся в этом контуре:

$$\sum I_i R_i = \sum \varepsilon_i.$$

Применяя правила Кирхгофа, следует помнить, что число уравнений записываемых при помощи первого правила должно быть $n-1$, где n – число узлов в разветвленной цепи, причем направления токов в ветвях расставляются произвольным образом, при этом положительными считаются токи, втекающие в узел, отрицательными – токи, вытекающие из узла. Применяя второе правило, обходя контур в произвольном направлении, будем считать положительными те токи, направления которых совпадают с направлением обхода, и отрицательными те, направления которых противоположны направлению обхода. Положительными ЭДС считаются те, которые повышают потенциал в направлении обхода, т. е. ЭДС будет положительной, если при обходе придется идти от минуса к плюсу внутри генератора.

Закон Джоуля-Ленца:

$$\delta Q = I U dt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt,$$

где δQ – количество теплоты, выделяющееся на участке цепи с сопротивлением R за время dt .

347. Определить заряд q , прошедший по проводу с сопротивлением $R = 5,0 \text{ Ом}$ при равномерном нарастании напряжения на концах провода от $U_1 = 2,0 \text{ В}$ до $U_2 = 6,0 \text{ В}$ в течение $t = 10 \text{ с}$.

348. Ток I в проводнике меняется со временем t по закону $I(t) = 1,0 + 0,5t$. Определить заряд q , прошедший через поперечное сечение проводника за время от $t_1 = 2 \text{ с}$ до $t_2 = 10 \text{ с}$. При каком постоянном токе I_n через поперечное сечение проводника за то же время протекает такой же заряд q ?

349. На цоколе электрической лампочки написано «220 В, 60 Вт». В процессе работы из-за испарения и рассеяния металла спираль лампочки становится тоньше. Какова будет мощность лампочки, если диаметр волоска спирали уменьшится на 10 %.

350. На катушку плотно намотан круглый стальной провод диаметром $d = 1,2 \text{ мм}$. Масса провода $m = 0,20 \text{ кг}$. На катушку подается напряжение $U = 53,8 \text{ В}$. Определите силу тока, идущего по проводу, если он нагрелся до температуры $T_2 = 393 \text{ К}$. Удельное сопротивление стали при $T_1 = 293 \text{ К}$ равно $\rho_1 = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, температурный коэффициент сопротивления стали $\alpha = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$. Плотность стали $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

351. Электрический прибор подключен к источнику питания двумя длинными проводами сечения $S_0 = 1 \text{ мм}^2$ каждый. При включении прибора выяснилось, что напряжение на приборе меньше напряжения на выходе источника питания на 10 %. Какой должна быть площадь сечения подводющих проводов той же длины, для того чтобы напряжение уменьшилось только на 1 %?

352. Линия имеет сопротивление $R = 300 \text{ Ом}$. Какое напряжение должен иметь генератор, чтобы при передаче по этой линии к потребителю мощности $P = 25,0 \text{ кВт}$ потери в линии не превышали 4 % передаваемой мощности?

353. При подключении вольтметра с сопротивлением $R_V = 200 \text{ Ом}$ непосредственно к клеммам источника он показывает $U = 20,0 \text{ В}$.

Если же этот источник замкнуть на сопротивление $R = 8,0 \text{ Ом}$, то ток в цепи становится $I = 0,50 \text{ А}$. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

354. Имеются два резистора с сопротивлениями $R_1 = 2,0 \text{ Ом}$ и $R_2 = 4,5 \text{ Ом}$. Их подключают к источнику тока сначала параллельно, а затем последовательно. При каком значении внутреннего сопротивления r источника тока в обоих случаях во внешней цепи выделяется одинаковая мощность?

355. К зажимам батареи аккумуляторов присоединен нагреватель. ЭДС батареи $\varepsilon = 24 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $r = 1,0 \text{ Ом}$. Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность $P = 80 \text{ Вт}$. Вычислить силу тока I в цепи и КПД η нагревателя.

356. Определите ток короткого замыкания источника ЭДС, если при внешнем сопротивлении $R_1 = 50 \text{ Ом}$ ток в цепи $I_1 = 0,20 \text{ А}$, а при $R_2 = 110 \text{ Ом}$ ток в цепи $I_2 = 0,10 \text{ А}$.

357. Определить ток короткого замыкания для источника, который при токе в цепи $I_1 = 10 \text{ А}$ имеет полезную мощность $P_1 = 500 \text{ Вт}$, а при токе $I_2 = 5,0 \text{ А}$ полезную мощность $P_2 = 375 \text{ Вт}$.

358. При поочередном подключении к источнику тока двух электрических нагревателей с сопротивлениями $R_1 = 3,0 \text{ Ом}$ и $R_2 = 48 \text{ Ом}$ в них выделяется одинаковая мощность $P = 1,2 \text{ кВт}$. Определите силу тока короткого замыкания I_3 источника.

359. Когда сопротивление внешней части источника тока уменьшили на 30%, ток в цепи увеличился на 30%. На сколько процентов увеличился ток, если сопротивление внешней части цепи уменьшили на 50%?

360. Величина тока в проводнике сопротивлением $R = 100 \text{ Ом}$ нарастает в течение времени $t = 5 \text{ с}$ по линейному закону от $I_1 = 2 \text{ А}$ до $I_2 = 12 \text{ А}$. Определить теплоту, выделившуюся в этом проводнике за первую и пятую секунды.

361. Электродуговая печь должна давать количество теплоты $Q = 0,10 \text{ МДж}$ за время $t = 10 \text{ мин}$. Какова должна быть длина нихромовой проволоки сечения $S = 0,50 \text{ мм}^2$, если печь предназначена для сети с напряжением $U = 36 \text{ В}$? Удельное сопротивление нихрома $\rho = 1,2 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

362. Найти величины токов во всех участках цепи (рис. 8), если ЭДС источника тока $\varepsilon_1 = 50 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 40 \text{ В}$, внутренние сопротивления источников $r_1 = 5,0 \text{ Ом}$, $r_2 = 2,0 \text{ Ом}$, а $R_1 = 30 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 20 \text{ Ом}$.

363. Найти величину тока через сопротивление R_3 , если $R_1 = 1,70 \text{ Ом}$, $R_2 = 2,75 \text{ Ом}$, $R_4 = 2,25 \text{ Ом}$, $R_5 = 3,30 \text{ Ом}$, ЭДС источников тока одинаковы и равны $\varepsilon = 1,00 \text{ В}$ (рис. 9).

364. Найти величины токов во всех участках цепи (рис. 10), если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1,0 \text{ кОм}$, $\varepsilon_1 = 1,5 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 1,8 \text{ В}$.

365. В цепи (рис. 11) ЭДС источника тока $\varepsilon = 5 \text{ В}$, внутреннее сопротивление источника тока $r = 0,1 \text{ Ом}$, $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$. Найти силы токов в резисторах R_2 и R_3 .

366. Определить силу тока, текущего через элемент ε_2 (рис. 12), если $\varepsilon_1 = 1,0 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 2,0 \text{ В}$, $\varepsilon_3 = 3,0 \text{ В}$, $r_1 = 1,0 \text{ Ом}$, $r_2 = 0,50 \text{ Ом}$, $r_3 = 0,25 \text{ Ом}$, $R_1 = 1,0 \text{ Ом}$, $R_2 = 0,40 \text{ Ом}$.

367. На рис. 13 $\varepsilon_1 = 10 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 20 \text{ В}$, $\varepsilon_3 = 40 \text{ В}$, сопротивления $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$. Определите силу токов, протекающих через сопротивления и источники. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

368. В электрической цепи, изображенной на рис. 14, $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 50 \text{ Ом}$, $R_3 = 20 \text{ Ом}$, ЭДС элемента $\varepsilon_1 = 2,0 \text{ В}$. Через гальванометр идет ток $I_G = 50 \text{ мА}$ в направлении указанном стрелкой. Определить ЭДС ε_2 . Сопротивлением гальванометра и внутренним сопротивлением элемента пренебречь.

369. Три одинаковых элемента с ЭДС $\varepsilon = 6,0 \text{ В}$ и резисторы с сопротивлением $R = 12 \text{ Ом}$ каждый включены в цепь, изображенную на рис. 15. Найдите мощность, выделяющуюся на всех сопротивлениях схемы. Внутренними сопротивлениями элементов пренебречь.

370. Две батареи аккумуляторов $\varepsilon_1 = 10 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 8,0 \text{ В}$, $r_1 = 1,0 \text{ Ом}$, $r_2 = 2,0 \text{ Ом}$ и реостат $R = 6,0 \text{ Ом}$ соединены, как показано на рис. 16. Найти силу тока в батареях и реостате.

371. Три батареи с ЭДС $\varepsilon_1 = 12 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 5,0 \text{ В}$, $\varepsilon_3 = 10 \text{ В}$ и одинаковыми внутренними сопротивлениями $r = 1,0 \text{ Ом}$, соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Определить силы токов I , идущих через каждую батарею.

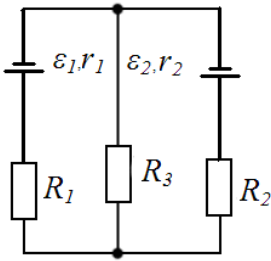


Рисунок 8

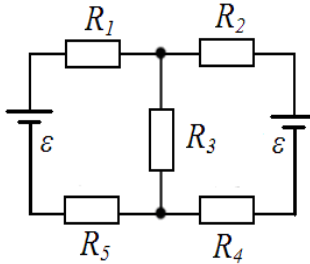


Рисунок 9

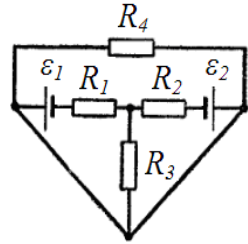


Рисунок 10

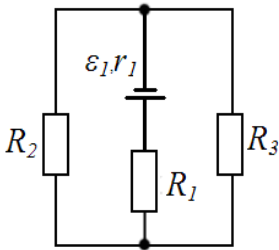


Рисунок 11

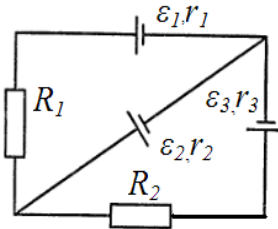


Рисунок 12

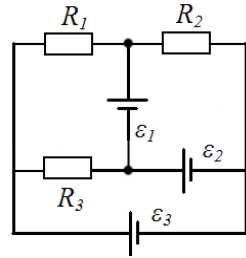


Рисунок 13

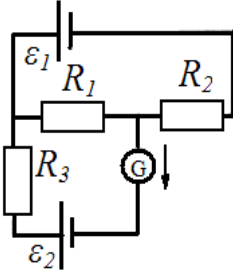


Рисунок 14

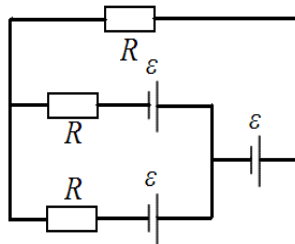


Рисунок 15

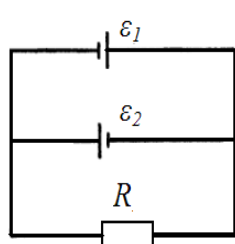


Рисунок 16

Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа

Движущийся заряд q , создает вокруг себя магнитное поле, индукция которого

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{q}{r^3} [\vec{v}, \vec{r}],$$

где \bar{v} – скорость электрона, \bar{r} – расстояние от электрона до данной точки поля, μ – относительная магнитная проницаемость среды, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная.

По закону Био-Савара-Лапласа элемент контура dl , по которому течет ток I , создает вокруг себя магнитное поле, индукция которого в некоторой точке K

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I \sin \alpha}{r^2} dl,$$

где r – расстояние от элемента тока dl до точки K , α – угол между радиус-вектором \bar{r} и элементом тока dl .

Направление вектора \vec{B} можно найти по *правилу Максвелла* (буравчика): если ввинчивать буравчик с правой резьбой по направлению тока в элементе проводника, то направление движения рукоятки буравчика укажет направление вектора магнитной индукции \vec{B} .

Применяя закон Био-Савара-Лапласа к контурам различного вида, получим:

- в центре кругового витка радиуса R с током силой I магнитная индукция $B = \mu_0 \mu \frac{I}{2R}$;

- магнитная индукция на оси кругового тока

$$B = \mu_0 \mu \frac{IR^2}{2(R^2 + a^2)^{3/2}}, \text{ где } a - \text{расстояние от точки, в которой ищется } B \text{ до плоскости кругового тока};$$

- поле, созданное бесконечно длинным проводником с током, на расстоянии r от проводника

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

- поле, созданное проводником конечной длины, на расстоянии r от проводника (рис. 17)

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2);$$

- поле внутри тороида или бесконечно длинного

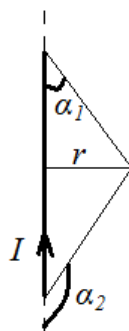


Рисунок 17

соленоида $B = \mu_0 \mu / n$, n – число витков на единицу длины соленоида (тороида).

Вектор магнитной индукции связан с напряженностью магнитного поля соотношением

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}.$$

Объемная плотность энергии магнитного поля:

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

401. Два параллельных бесконечно длинных провода, по которым текут токи силы $I = 60 \text{ A}$ в одном направлении, расположены на расстоянии $d = 10 \text{ см}$ друг от друга. Определите модуль магнитной индукции B в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 5,0 \text{ см}$ от одного и на расстоянии $r_2 = 12 \text{ см}$ от другого.

402. Два параллельных бесконечно длинных провода, по которым текут токи силы $I = 15 \text{ A}$ в противоположных направлениях, расположены на расстоянии $d = 5,0 \text{ см}$ друг от друга. Определите модуль магнитной индукции B в точке, находящейся на расстоянии $r = 5,0 \text{ см}$ от каждого проводника.

403. Ток $I = 60 \text{ A}$ идет по длинному проводнику, согнутому под прямым углом. Найти модуль индукции магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии $d = 20 \text{ см}$.

404. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника со сторонами $a = 80 \text{ см}$ и $b = 60 \text{ см}$, течет ток силы $I = 25 \text{ A}$. Определите модуль напряженности магнитного поля H в точке пересечения диагоналей прямоугольника.

405. По тонкому проволочному кольцу течет ток. Как нужно изменить силу тока в проводнике, что, придав проводнику форму квадрата, магнитная индукция в центре контура не изменилась?

406. Найти величину тока в бесконечно длинном проводнике, который имеет квадратный изгиб, изображенный на рис. 18 со стороной $a = 15 \text{ см}$, если модуль магнитной индукции магнитного поля в точке A , равен $B = 50 \text{ мкТл}$.

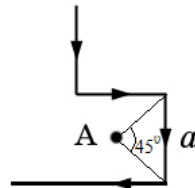


Рисунок 18

407. Модуль индукции магнитного поля в центре кругового витка радиусом $R = 11 \text{ см}$ равна $B = 80 \text{ мкТл}$. Найти индукцию магнитного поля на оси витка на расстоянии $d = 10 \text{ см}$ от его плоскости.

408. Определите модуль магнитной индукции B в точке A (рис. 19), если по проводнику течет ток $I = 10 \text{ А}$, а сторона треугольника $a = 5,0 \text{ см}$.

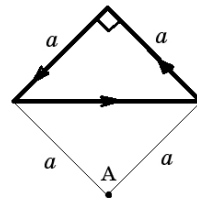


Рисунок 19

409. Маленький шарик с зарядом $q = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити длины $L = 1 \text{ м}$, движется равномерно по окружности в горизонтальной плоскости так, что нить все время образует с вертикалью угол $\alpha = 60^\circ$.

Определите модуль напряженности магнитного поля, созданного шариком, в центре окружности, рассматривая движение шарика как круговой ток.

410. Определить модуль магнитной индукции поля, создаваемого током $I = 30 \text{ А}$, текущим по проводу, согнутому в виде правильного треугольника со стороной $a = 30 \text{ см}$, в вершине правильного тетраэдра для которого этот треугольник служит основанием.

Сила Лоренца. Сила Ампера

На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле с индукцией B со скоростью v , со стороны магнитного поля действует сила, называемая *силой Лоренца*

$$\vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}],$$

причем модуль этой силы равен $F_L = |q|vB\sin(\vec{v} \wedge \vec{B})$.

Направление силы Лоренца может быть определено по *правилу левой руки*: если поставить левую руку так, чтобы перпендикулярная скорости составляющая вектора индукции входила в ладонь, а четыре пальца были бы расположены по направлению скорости

движения положительного заряда (или против направления скорости отрицательного заряда), то отогнутый большой палец укажет направление силы Лоренца

Сила Ампера это сила, которая действует на проводник, по которому течет ток I , находящийся в магнитном поле

$$\vec{F}_A = I[\Delta\vec{l}, \vec{B}],$$

Δl – длина проводника, причем направление $\Delta\vec{l}$ совпадает с направлением тока в проводнике.

Модуль силы Ампера: $F_A = IB\Delta l \sin(\Delta\vec{l} \wedge \vec{B})$.

Два параллельных бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами I_1 и I_2 взаимодействуют между собой с силой

$$F = \mu_0 \mu \frac{I_1 I_2 l}{2\pi r},$$

где l – длина участка проводника, r – расстояние между проводниками.

411. α -частица влетает по нормали в область однородного магнитного поля с индукцией $B = 0,4$ Тл. Размер области $h = 0,5$ м. Найти скорость частицы, если после прохождения магнитного поля она отклонилась на угол $\varphi = 30^\circ$ от первоначального направления.

412. Электрон движется по окружности радиуса $R = 10$ мм в магнитном поле с индукцией $B = 20$ мТл. Какова кинетическая энергия и период обращения электрона? Найти радиус окружности по которой двигалась бы α -частица в данном поле, имея такую же скорость вращения как и электрон.

413. Протон и электрон, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны R_p траектории протона больше радиуса кривизны R_e траектории электрона?

414. Найти кинетическую энергию W (в электрон-вольтах) α -частицы, движущейся по дуге окружности радиусом $R = 80$ см в магнитном поле с индукцией $B = 3,0$ Тл.

415. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью $v = 2,0 \cdot 10^6$ м/с. Индукция магнитного поля

$B = 0,45 \text{ Тл}$, радиус окружности $R = 6,0 \text{ см}$. Найти заряд q частицы, если известно, что ее энергия $W = 27 \text{ кэВ}$.

416. Протон, кинетическая энергия которого $W = 0,25 \text{ кэВ}$, влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное к направлению его движения. Индукция магнитного поля $B = 0,5 \text{ Тл}$. Найти силу F , действующую на протон, радиус R окружности, по которой движется частица и период обращения T .

417. Найти отношение q/m для заряженной частицы, если она, влетая со скоростью $v = 1,0 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ в однородное магнитное поле напряженностью $H = 200 \text{ кА/м}$, движется по дуге окружности радиусом $R = 8,3 \text{ см}$. Направление скорости движения частицы перпендикулярно к направлению магнитного поля. Сравнить найденное значение со значением q/m для электрона, протона, α -частицы.

418. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $\Delta\varphi = 10 \text{ кВ}$, влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению поля и движется по винтовой траектории. Индукция магнитного поля $B = 2,0 \text{ мТл}$. Найти радиус и шаг винтовой траектории.

419. Однородные магнитное и электрическое поля направлены взаимно перпендикулярно. Напряженность электрического поля $E = 0,5 \text{ кВ/м}$, индукция магнитного поля $B = 1 \text{ мТл}$. Определите, с какой скоростью v и в каком направлении должен лететь электрон, чтобы двигаться прямолинейно.

420. Однозарядные ионы, массовые числа которых $A_1 = 20$ и $A_2 = 22$, разгоняются в электрическом поле разностью потенциалов $\Delta\varphi = 4,0 \cdot 10^3 \text{ В}$, затем влетают в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,25 \text{ Тл}$ перпендикулярно магнитным линиям и, описав полуокружность, вылетают двумя пучками. Определить расстояние между этими пучками. Заряд одновалентного иона $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, атомная единица массы $m_0 = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

421. Заряженные частицы, заряд которых $q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, ускоряются в циклотроне в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,10 \text{ Тл}$ и частотой ускоряющего напряжения $\nu = 6,0 \text{ МГц}$. Найти кинетическую энергию частиц в момент, когда они движутся по окружности радиуса $R = 2,0 \text{ м}$.

422. Винтовая линия, по которой движется электрон в однородном магнитном поле, имеет диаметр $d = 50 \text{ мм}$ и шаг $l = 150 \text{ мм}$. Индукция поля $B = 4,0 \text{ мТл}$. Определить скорость электрона v .

423. В циклотроне для тяжелых ионов в Дубне ионы неона разгоняются до энергии $W = 100 \text{ МэВ}$. Диаметр дуантов $d = 310 \text{ см}$, индукция магнитного поля в зазоре $B = 1,1 \text{ Тл}$, ускоряющий потенциал $\Delta\varphi = 300 \text{ кВ}$. Определить кратность ионизации атома неона, полное число оборотов иона в процессе ускорения, а также частоту изменения полярности ускоряющего поля.

424. Определите удельный заряд частиц, ускоренных в циклотроне в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1,70 \text{ Тл}$ при частоте ускоряющего напряжения $\nu = 25,5 \text{ МГц}$.

425. На горизонтальных рельсах, расстояние между которыми $l = 1,52 \text{ м}$, лежит стержень, составляющий с рельсами угол $\alpha = 90^\circ$. Определите силу тока I , который надо пропустить по стержню, чтобы он пришел в движение, считая, что рельсы и стержень находятся в вертикальном однородном магнитном поле индукцией $B = 140 \text{ мТл}$. Масса стержня $m = 700 \text{ г}$, коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,050$.

426. По двум одинаковым плоским прямоугольным контурам со сторонами $a = 30 \text{ см}$ и $b = 40 \text{ см}$ текут токи силы $I_1 = 10 \text{ А}$ и $I_2 = 5,0 \text{ А}$. Определите силу F взаимодействия контуров, если плоскости контуров параллельны, а расстояние между соответствующими сторонами контуров составляет $d = 5,0 \text{ мм}$.

427. Прямой провод длиной $l = 10 \text{ см}$, по которому течет ток $I = 20 \text{ А}$, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10 \text{ мТл}$. Найти угол α между направлениями вектора B и тока I , если на провод действует сила $F = 10 \text{ мН}$.

428. Двухпроводная линия состоит из длинных параллельных прямых проводов, находящихся на расстоянии $d = 10 \text{ мм}$ друг от друга. По проводам текут одинаковые токи $I = 60 \text{ А}$. Определить силу взаимодействия токов, приходящуюся на единицу длины провода.

429. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии $d_1 = 14 \text{ см}$ друг от друга. По проводникам в противоположных направлениях текут токи $I_1 = 10 \text{ А}$ и $I_2 = 30 \text{ А}$. Какую работу A (на единицу длины проводников), надо совершить чтобы сдвинуть эти проводники до расстояния $d_2 = 4,0 \text{ см}$?

Магнитный поток. Закон электромагнитной индукции. Индуктивность. ЭДС самоиндукции

Магнитным потоком (потоком вектора магнитной индукции \vec{B}) сквозь контур называют физическую величину

$$\Phi = (\vec{B}, \vec{S}) = BS \cos \varphi,$$

где S – площадь поперечного сечения контура, φ – угол между направлением вектора магнитной индукции \vec{B} и нормалью к площадке S .

Явление электромагнитной индукции – это явление возникновения в контуре ЭДС индукции при всяком изменении магнитного потока Φ сквозь поверхность, охватываемую контуром.

Закон электромагнитной индукции: ЭДС индукции в контуре пропорциональна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока Φ сквозь поверхность, натянутую на этот контур

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Правило Ленца: индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.

Изменение магнитного потока может достигаться изменением тока в самом контуре (явление самоиндукции). Тогда ЭДС самоиндукции будет равным

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt},$$

где L – индуктивность проводника.

Индуктивность соленоида $L = \mu_0 \mu r^2 IS$,

n – число витков на единицу длины соленоида, l – длина соленоида, S – площадь поперечного сечения.

Энергия магнитного поля, созданного проводником с током I и индуктивности L равна:

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

Изменение магнитного потока может достигаться также изменением тока в соседнем контуре (*явление взаимной индукции*). При этом

$$\mathcal{E} = -L_{12} \frac{dl}{dt},$$

где $L_{12} = \mu_0 \mu \mu_1 \mu_2 IS$ – взаимная индуктивность контуров.

430. Проводник длины $l = 50$ см с током силы $I = 15$ А находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,20$ Тл. Вектор магнитной индукции составляет с проводником угол $\alpha = 30^\circ$. Определите работу A , которая была совершена внешней силой при перемещении проводника на расстояние $d = 60$ см в направлении, перпендикулярном магнитному полю.

431. Виток изолированного провода перегибают, придавая ему вид «восьмерки», и помещают в однородное магнитное поле, так, что плоскость «восьмерки» перпендикулярна направлению поля. Длина провода $l = 90$ см. Петли «восьмерки» можно считать окружностями с отношением радиусов $R_1/R_2 = 1:2$. Какой ток пройдет по проводу, если поле будет убывать с постоянной скоростью $5,0$ Тл/с? Сопротивление витка $R = 0,050$ Ом.

432. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 2,0$ Тл расположен проволочный виток так, что плоскость перпендикулярна магнитному полю. Площадь, охватываемая контуром витка, равна $S = 50$ см². Виток замкнут на гальванометр. При повороте витка на угол $\varphi = 90^\circ$ через гальванометр проходит заряд, равный $q = 4,0 \cdot 10^{-3}$ Кл. Найти сопротивление витка.

433. Скорость летящего горизонтально самолета $v = 1100$ км/ч. Определите разность потенциалов $\Delta\varphi$, возникающую между концами крыльев этого самолета, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна $B = 0,50 \cdot 10^{-4}$ Тл, а размах крыльев самолета $l = 15$ м.

434. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,05$ Тл равномерно вращается вокруг вертикальной оси горизонтальный стер-

жень длиной $l = 0,75$ м. Ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции. Определите число оборотов в секунду, при котором на концах стержня возникает разность потенциалов $\Delta\varphi = 0,2$ В.

435. Какой вращающий момент испытывает рамка с током $I = 10$ А при помещении ее в однородное магнитное поле с магнитной индукцией $B = 0,50$ Тл, если рамка содержит $N = 50$ витков площадью $S = 20$ см², а ее нормаль образует с вектором индукции магнитного поля угол $\alpha = 30^\circ$?

436. Квадратная рамка с током $I_1 = 1,0$ А расположена в одной плоскости с длинным прямым проводником, по которому течет ток $I_2 = 7,0$ А. Сторона рамки $a = 10$ см. Проходящая через середины противоположных сторон ось рамки параллельна проводу и отстоит от него на расстоянии, которое в два раза больше стороны рамки. Найти механическую работу, которую нужно совершить для поворота рамки вокруг оси на 180° , если токи поддерживают неизменными.

437. Катушка длиной $l = 70$ см и диаметром $d = 2,0$ см содержит $N = 600$ витков. По катушке течет ток $I = 5,0$ А. Определите: индуктивность катушки, магнитный поток, пронизывающий площадь ее поперечного сечения.

438. За время $t = 2,0$ мс в соленоиде, содержащем $N = 500$ витков, магнитный поток изменился с $\Phi_1 = 15$ мВб, до $\Phi_2 = 5$ мВб. Определить ЭДС индукции \mathcal{E}_i в соленоиде.

439. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,50$ Тл находится виток площадью $S = 100$ см², расположенный перпендикулярно линиям индукции. Сопротивление витка $R = 1,0$ Ом. Какой заряд q пройдет по витку при выключении поля?

440. Энергия магнитного поля в катушке уменьшилась за счет изменения тока в ней в $n = 2$ раза в течение времени $t = 0,10$ с. Индуктивность катушки $L = 0,24$ Гн, первоначальный ток в катушке $I_0 = 10$ А. Определите ЭДС самоиндукции \mathcal{E}_s в катушке, считая, что сила тока зависит от времени линейно.

441. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,30$ Тл равномерно с частотой $\nu = 360$ мин⁻¹ вращается рамка, содержащая $N = 1000$ витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки $S = 50$ см², ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендику-

лярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную ЭДС, индуцируемую в рамке.

442. При изменении тока от $I_1 = 5,0 \text{ А}$ до $I_2 = 10 \text{ А}$ в соленоиде, содержащем $N = 500$ витков, его магнитный поток увеличился на $\Delta\Phi = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$. Чему равна средняя ЭДС самоиндукции \mathcal{E}_s , возникающая в соленоиде, если изменение тока произошло за время $t = 50 \text{ мс}$.

443. Рамка площадью $S = 100 \text{ см}^2$, изготовленная из проволоки сопротивлением $R = 1,0 \text{ Ом}$ вращается с угловой скоростью $\omega = 10\pi \text{ рад/с}$ в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0,10 \text{ Тл}$. Ось вращения рамки лежит в ее плоскости и перпендикулярна к вектору магнитной индукции. Определить количество теплоты, которое выделяется в рамке за $N = 1 \cdot 10^3$ оборотов. Самоиндукцией пренебречь.

444. Определите период T колебаний контура, в состав которого входят катушка (без сердечника) длины $l = 1,0 \text{ м}$ и площади сечения $\sigma = 2,0 \text{ см}^2$, имеющая $N = 1000$ витков, и воздушный конденсатор, состоящий из двух пластин площади $S = 50 \text{ см}^2$ каждая. Расстояние между пластинами конденсатора равно $d = 5,0 \text{ мм}$. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.

445. Четыре одинаково заряженных конденсатора емкостью $C = 25 \text{ мкФ}$ каждый соединяют в батарею и подключают к катушке, активное сопротивление которой $R = 10 \text{ Ом}$ и индуктивность $L = 50 \text{ мГн}$. Во сколько раз будут отличаться периоды затухающих колебаний, если конденсаторы один раз соединены параллельно, а второй — последовательно?

446. Ток в колебательном контуре зависит от времени по закону $I(t) = I_0 \sin \omega_0 t$, где $I_0 = 16 \text{ мА}$, $\omega_0 = 4,0 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. Емкость конденсатора $C = 2,0 \text{ мкФ}$. Определите индуктивность L контура и напряжение U на конденсаторе в момент времени $t = 0$. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.

447. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности $L = 1,6 \text{ мГн}$ и конденсатора емкости $C = 0,040 \text{ мкФ}$. Максимальное напряжение на обкладках конденсатора $U_{\max} = 0,20 \text{ кВ}$. Определите максимальную силу тока I_{\max} в контуре. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.

448. Последовательно соединенные резистор с сопротивлением $R = 110 \text{ Ом}$ и конденсатор подключены к внешнему переменному

напряжению с амплитудным значением $U_m = 0,11 \text{ кВ}$. Оказалось, что амплитудное значение установившегося тока в цепи $I_m = 0,5,0 \text{ А}$. Определите разность фаз между током и внешним напряжением.

449. Уравнение изменения величины тока в колебательном контуре со временем дается в виде $I = 0,5 \sin 100\pi t \text{ А}$. Индуктивность контура $L = 0,5 \text{ Гн}$. Найти период колебаний, емкость контура, максимальную разность потенциалов на обкладках конденсатора, максимальную энергию электрического поля.

450. Конденсатор емкостью $C = 4,6 \text{ нФ}$ соединен с катушкой индуктивности $L = 25 \text{ мкГн}$ с сопротивлением $R = 5,0 \text{ Ом}$. Определите резонансную частоту контура.

451. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности $L = 0,40 \text{ Гн}$ и конденсатора емкостью $C = 0,50 \text{ мкФ}$. Конденсатор зарядили до напряжения $U_0 = 4,0 \text{ В}$. Какими будут ток, напряжение и заряд в моменты времени, когда отношения энергии электрического и магнитного поля равны $0, \frac{1}{2}$?

452. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 3,0 \text{ мкФ}$ и катушки индуктивностью $L = 0,20 \text{ Гн}$ и сопротивлением $R = 12 \text{ Ом}$. Определить логарифмический декремент затухания колебаний.

453. Определить активное сопротивление колебательного контура, индуктивность которого $L = 1 \text{ Гн}$, если через $t = 0,1 \text{ с}$ амплитудное значение разности потенциалов на обкладках конденсатора уменьшилось в 4 раза.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 1990–2002.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1977–1989. – Т. 2.
3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1977–1990. – Т. 3.
4. Детлаф, А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Высшая школа, 2001–2002.
5. Наркевич, И.И. Физика для вузов / И.И. Наркевич, Э.И. Волмянский, С.И. Лобко. – Минск: Вышэйшая школа, 1992–1994. – Т. 1.
6. Зисман, Г.А. Курс общей физики: в 3 т. / Г.А. Зисман, О.М. Тодес. – М.: Наука, 1972–1974. – Т. 1–3.
7. Зисман, Г.А. Курс общей физики: в 3 т. / Г.А. Зисман, О.М. Тодес. – Киев: Дніпро, 1994. – Т. 2.
8. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. – М.: Наука, 1973–1990; СПб: Спец. лит., Лань, 1999.
9. Чертов, А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Высшая школа, 1981, 1988.
10. Савельев, И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1982, 1988, 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие | 3 |
| Рабочая программа курса физики | 4 |
| Методические указания по выполнению контрольных работ | 8 |
| Правила оформления титульного листа | 10 |
| Варианты контрольной работы | 11 |
| Задачи контрольной работы и для самостоятельного решения | 12 |
| Рекомендуемая литература | 42 |

Учебное издание

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Методические указания,
контрольные задания и учебные материалы

С о с т а в и т е л ь
БОЯРШИНОВА Оксана Александровна

Технический редактор О.В. Песенко

Подписано в печать 18.10.2011.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 100. Заказ 381.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.