

Примеры решения задач по теме

«Электроёмкость. Энергия заряженного конденсатора»

«Электроёмкость» — последняя тема раздела «Электростатика». При решении задач на эту тему могут потребоваться все сведения, полученные при изучении электростатики: закон сохранения электрического заряда, понятия напряжённости поля и потенциала, сведения о поведении проводников в электростатическом поле, о напряжённости поля в диэлектриках, о законе сохранения энергии применительно к электростатическим явлениям. Основной формулой при решении задач на электроёмкость является формула (14.22).

Задача 1. Электроёмкость конденсатора, подключённого к источнику постоянного напряжения $U = 1000$ В, равна $C_1 = 5$ пФ. Расстояние между его обкладками уменьшили в $n = 3$ раза. Определите изменение заряда на обкладках конденсатора и энергии электрического поля.

Р е ш е н и е. Согласно формуле (14.22) заряд конденсатора $q = CU$. Отсюда изменение заряда $\Delta q = (C_2 - C)U = (nC_1 - C_1)U = (n - 1)C_1U = 10^{-8}$ Кл.

Изменение энергии электрического поля

$$\Delta W_{\text{п}} = W_{\text{п}2} - W_{\text{п}1} = \frac{q_2 U}{2} - \frac{q_1 U}{2} = \frac{(q_2 - q_1)U}{2} = \frac{(n - 1)C_1 U^2}{2} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$$

Задача 2. Заряд конденсатора $q = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл. Ёмкость конденсатора $C = 10$ пФ. Определите скорость, которую приобретает электрон, пролетая в конденсаторе путь от одной пластины к другой. Начальная скорость электрона равна нулю. Удельный заряд электрона $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

Р е ш е н и е. Начальная кинетическая энергия электрона равна нулю, а

конечная равна $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$. Применим закон сохранения

энергии $\frac{mv^2}{2} - 0 = A$, где A — работа электрического поля

конденсатора: $A = |e|U$, $U = \frac{q}{C}$.

Следовательно, $\frac{mv^2}{2} = \frac{|e|q}{C}$.

Окончательно $v = \sqrt{\frac{2|e|q}{mC}} \approx 10^7$ м/с.

Задача 3. Четыре конденсатора ёмкостями $C_1 = C_2 = 1 \text{ мкФ}$, $C_3 = 3 \text{ мкФ}$, $C_4 = 2 \text{ мкФ}$ соединены, как показано на рисунке 14.46. К точкам А и В подводится напряжение $U = 140 \text{ В}$. Определите заряд q_1 и напряжение U_1 , на каждом из конденсаторов.

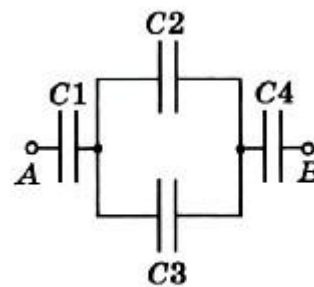


Рис. 14.46

Решение. Для определения заряда и напряжения прежде всего найдём ёмкость батареи конденсаторов. Эквивалентная ёмкость второго и третьего конденсаторов $C_{2,3} = C_2 + C_3$, а эквивалентную ёмкость всей батареи конденсаторов, представляющей собой три последовательно соединённых конденсатора ёмкостями C_1 , $C_{2,3}$, C_4 , найдём из соотношения

$$1/C_{\text{экв}} = 1/C_1 + 1/C_{2,3} + 1/C_4, C_{\text{экв}} = (4/7) \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Заряды на этих конденсаторах одинаковы:

$$q_1 = q_{2,3} = q_4 = C_{\text{экв}} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Кл.}$$

Следовательно, заряд первого конденсатора $q_1 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$, а разность потенциалов между его обкладками, или напряжение, $U_1 = q_1/C_1 = 80 \text{ В}$.

Для четвёртого конденсатора аналогично имеем $q_4 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$, $U_4 = q_4/C_4 = 40 \text{ В}$.

Найдём напряжение на втором и третьем конденсаторах: $U_2 = U_3 = q_{2,3}/C_{2,3} = 20 \text{ В}$.

Таким образом, на втором конденсаторе заряд $q_2 = C_2 U_2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$, а на третьем конденсаторе $q_3 = C_3 U_3 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$. Отметим, что $q_{2,3} = q_2 + q_3$.

Задача 4. Определите эквивалентную электрическую ёмкость в цепи, изображённой на рисунке (14.47 а), если ёмкости конденсаторов известны.

Решение. Часто при решении задач, в которых требуется определить эквивалентную электрическую ёмкость, соединение конденсаторов не очевидно. В этом случае если удаётся определить точки цепи, в которых потенциалы равны, то можно соединить эти точки или исключить конденсаторы, присоединённые к этим точкам, так как они не могут накапливать заряд ($\Delta\phi = 0$) и, следовательно, не играют роли при распределении зарядов.

В приведённой на рисунке (14.47, а) схеме нет очевидного параллельного или последовательного соединения конденсаторов, так как в общем случае $\phi_A \neq \phi_B$ и к конденсаторам C_1 и C_2 приложены разные напряжения. Однако заметим, что в силу симметрии и равенства ёмкостей соответствующих конденсаторов потенциалы точек А и В равны. Следовательно, можно, например, соединить точки А и В. Схема преобразуется к виду, изображённому на рисунке (14.47, б). Тогда конденсаторы C_1 , так же как и конденсаторы C_2 , будут соединены параллельно и $C_{\text{экв}}$ определим по формуле $1/C_{\text{экв}} = 1/2C_1 + 1/2C_2$, откуда

$$C_{\text{экв}} = \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}.$$

Можно также просто не учитывать присутствие в схеме конденсатора C_3 , так как заряд на нём равен нулю. Тогда схема преобразуется к виду, изображённому на рисунке (14.47, в). Конденсаторы C_1 и C_2 соединены последовательно, следовательно,

$$C'_{\text{экв}} = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}.$$

Эквивалентные конденсаторы с $C'_{\text{экв}}$ соединены параллельно, так что окончательно получим такое же выражение для эквивалентной ёмкости:

$$C_{\text{экв}} = 2C'_{\text{экв}} = \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}.$$

Задача 5. Энергия плоского воздушного конденсатора $W_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Дж. Определите энергию конденсатора после заполнения его диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$, если:

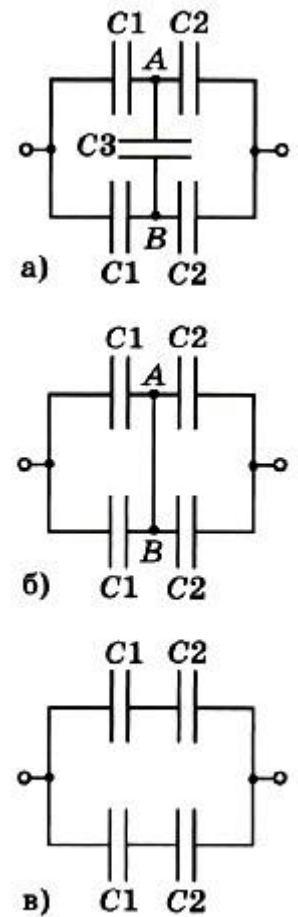


Рис. 14.47

- 1) конденсатор отключён от источника питания;
- 2) конденсатор подключён к источнику питания.

Р е ш е н и е. 1) Так как конденсатор отключён от источника питания, то его заряд q_0 остаётся постоянным. Энергия конденсатора до заполнения его

диэлектриком $W_1 = \frac{q_0^2}{2C_1}$; после заполнения $W_2 = \frac{C_2 U_0^2}{2}$, где $C_2 = \epsilon C_1$.

Тогда $W_2 = \frac{\epsilon C_1 U_0^2}{2} = \epsilon W_1 = 4 \cdot 10^{-7}$ Дж.

ЗАДАНИЕ

1. Разобрать примеры решения задач

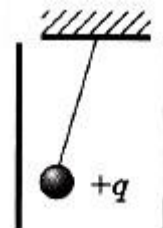
2. Задачи для самостоятельного решения (решить не менее двух задач)

1. Разность потенциалов между обкладками конденсатора ёмкостью 0,1 мкФ изменилась на 175 В. Определите изменение заряда конденсатора.
2. В пространство между пластинами плоского конденсатора влетает электрон со скоростью $2 \cdot 10^7$ м/с, направленной параллельно пластинам конденсатора. На какое расстояние по направлению к положительно заряженной пластине сместится электрон за время движения внутри конденсатора, если длина конденсатора равна 0,05 м и разность потенциалов между пластинами 200 В? Расстояние между пластинами конденсатора равно 0,02 м. Отношение модуля заряда электрона к его массе равно $1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.
3. Плоский конденсатор зарядили при помощи источника тока напряжением $U = 200$ В. Затем конденсатор был отключён от этого источника тока. Каким станет напряжение U_1 между пластинами, если расстояние между ними увеличить от первоначального $d = 0,2$ мм до $d_1 = 0,7$ мм?
4. Определите ёмкость воздушного сферического конденсатора. Радиусы сфер R_1 и R_2 .
5. В плоский воздушный конденсатор вставляется металлическая пластина толщиной d_0 . Заряд на обкладках конденсатора q . Конденсатор отключён от источника. Расстояние между пластинами d , площадь пластин S . Определите изменение ёмкости конденсатора и энергии его электрического поля.

3. Дополнительное задание (для желающих)

Образцы заданий ЕГЭ

C1. Маленький шарик с зарядом $q = 4 \cdot 10^{-7}$ Кл и массой 3 г, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом упругости 100 Н/м, находится между вертикальными пластинами воздушного конденсатора (см. рис.). Расстояние между обкладками конденсатора 5 см. Чему равна разность потенциалов между обкладками конденсатора, если удлинение нити 0,5 мм?



C2. В плоский конденсатор длиной $L = 5$ см влетает электрон под углом $\alpha = 15^\circ$ к пластинам. Энергия электрона $W = 2,4 \cdot 10^{-16}$ Дж. Расстояние между пластинами $d = 1$ см. Определите разность потенциалов между пластинами конденсатора U , при которой электрон на выходе из конденсатора будет двигаться параллельно пластинам. Заряд электрона $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

C3. Конденсаторы, электрическая ёмкость которых 2 мкФ и 10 мкФ, заряжают до напряжения 5 В каждый, а затем «плюс» одного из них подключают к «минусу» другого и соединяют свободные выводы резистором 1000 Ом. Определите количество теплоты, которая выделится в резисторе.

Электрический ток. Сила тока

Электрический ток — направленное движение заряженных частиц. Благодаря электрическому току освещаются квартиры, приводятся в движение станки, нагреваются конфорки на электроплитах, работает радиоприемник и т. д.

Рассмотрим наиболее простой случай направленного движения заряженных частиц — постоянный ток.

Какой электрический заряд называется элементарным?

Чему равен элементарный электрический заряд?

Чем различаются заряды в проводнике и диэлектрике?

При движении заряженных частиц в проводнике происходит перенос электрического заряда из одной точки в другую. Однако если заряженные частицы совершают беспорядочное тепловое движение, как, например, свободные электроны в металле, то переноса заряда не происходит (рис. 15.1, а).

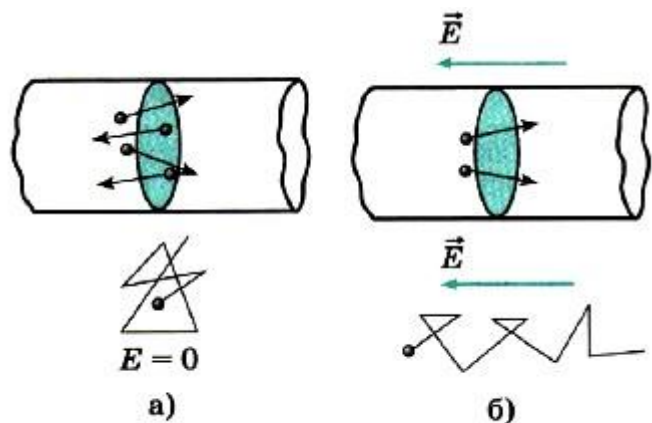


Рис. 15.1

Поперечное сечение проводника

в среднем пересекает одинаковое число электронов в двух противоположных направлениях. Электрический заряд переносится через поперечное сечение проводника лишь в том случае, если наряду с беспорядочным движением электроны участвуют в направленном движении (рис. 15.1, б). В этом случае говорят, что по проводнику идёт *электрический ток*.

Запомни

Электрическим током называют упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.

Электрический ток имеет определённое направление.

Важно

За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.

ИНТЕРЕСНО

Если перемещать нейтральное в целом тело, то, несмотря на упорядоченное движение огромного числа электронов и атомных ядер, электрический ток не возникнет. Полный заряд,

переносимый через любое сечение, будет при этом равным нулю, так как заряды разных знаков перемещаются с одинаковой средней скоростью.

Направление тока совпадает с направлением вектора напряжённости электрического поля. Если ток образован движением отрицательно заряженных частиц, то направление тока считают противоположным направлению движения частиц.

ИНТЕРЕСНО Выбор направления тока не очень удачен, так как в большинстве случаев ток представляет собой упорядоченное движение электронов — отрицательно заряженных частиц. Выбор направления тока был сделан в то время, когда о свободных электронах в металлах ещё ничего не знали.

Действие тока. Движение частиц в проводнике мы непосредственно не видим. О наличии электрического тока приходится судить по тем действиям или явлениям, которые его сопровождают.

Во-первых, проводник, по которому идёт ток, нагревается.

Во-вторых, электрический ток может изменять химический состав проводника: например, выделять его химические составные части (медь из раствора медного купороса и т. д.).

В-третьих, ток оказывает силовое воздействие на соседние токи и намагниченные тела. Это действие тока называется *магнитным*.

Так, магнитная стрелка вблизи проводника с током поворачивается. Магнитное действие тока в отличие от химического и теплового является основным, так как проявляется у всех без исключения проводников. Химическое действие тока наблюдается лишь у растворов и расплавов электролитов, а нагревание отсутствует у сверхпроводников.

В лампочке накаливания вследствие прохождения электрического тока излучается видимый свет, а электродвигатель совершает механическую работу.

Сила тока. Если в цепи идёт электрический ток, то это означает, что через поперечное сечение проводника всё время переносится электрический заряд.

Запомни

Заряд, перенесённый в единицу времени, служит основной количественной характеристикой тока, называемой **силой тока**.

Если через поперечное сечение проводника за время Δt переносится заряд Δq , то среднее значение силы тока равно:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (15.1)$$

Важно

Средняя сила тока равна отношению заряда Δq , прошедшего через поперечное сечение проводника за промежуток времени Δt , к этому промежутку времени.

Запомни

Если сила тока со временем не меняется, то ток называют **постоянным**.

Сила переменного тока в данный момент времени определяется также по формуле (15.1), но промежуток времени Δt в таком случае должен быть очень мал.

Сила тока, подобно заряду, — величина скалярная. Она может быть как *положительной*, так и *отрицательной*. Знак силы тока зависит от того, какое из направлений обхода контура принять за положительное. Сила тока $I > 0$, если направление тока совпадает с условно выбранным положительным направлением вдоль проводника. В противном случае $I < 0$.

Связь силы тока со скоростью направленного движения частиц. Пусть цилиндрический проводник (рис. 15.2) имеет поперечное сечение площадью S . За положительное направление тока в проводнике примем направление слева направо. Заряд каждой частицы будем считать равным q_0 . В объеме проводника, ограниченном поперечными сечениями 1 и 2 с расстоянием Δl между ними, содержится $nS\Delta l$ частиц, где n — концентрация частиц (носителей тока). Их общий заряд в выбранном объеме $q = q_0 n S \Delta l$. Если частицы движутся слева направо со средней скоростью v , то за время $\Delta t = \frac{\Delta l}{v}$ все частицы, заключенные в рассматриваемом объеме, пройдут через поперечное сечение 2. Поэтому сила тока равна:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q_0 n S \Delta l v}{\Delta l} = q_0 n v S. \quad (15.2)$$

Важно

В СИ единицей силы тока является ампер (А).

Эта единица установлена на основе магнитного взаимодействия токов.

Измеряют силу тока *амперметрами*. Принцип устройства этих приборов основан на магнитном действии тока.

Скорость упорядоченного движения электронов в проводнике. Найдём скорость упорядоченного перемещения электронов в металлическом проводнике. Согласно формуле (15.2) $v = \frac{I}{enS}$, где e — модуль заряда электрона.

Пусть, например, сила тока $I = 1$ А, а площадь поперечного сечения проводника $S = 10^{-6}$ м². Модуль заряда электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Число электронов в 1 м³ меди равно числу атомов в этом объёме, так как один из валентных электронов каждого атома меди является свободным. Это число есть $n \approx 8,5 \cdot 10^{28}$ м⁻³. Следовательно,

$$v = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,5 \cdot 10^{28} \cdot 10^{-6}} \text{ (м/с)} \approx 7 \cdot 10^{-5} \text{ м/с.}$$

Как видите, скорость упорядоченного перемещения электронов очень мала. Она во много раз меньше скорости теплового движения электронов в металле.

Условия, необходимые для существования электрического тока.

Важно

Для возникновения и существования постоянного электрического тока в веществе необходимо наличие **свободных** заряженных частиц.

Однако этого ещё недостаточно для возникновения тока.

Важно

Для создания и поддержания упорядоченного движения заряженных частиц необходима сила, действующая на них в определённом направлении.

Если эта сила перестанет действовать, то упорядоченное движение заряженных частиц прекратится из-за столкновений с ионами кристаллической решётки металлов или нейтральными молекулами электролитов и электроны будут двигаться беспорядочно.

На заряженные частицы, как мы знаем, действует электрическое поле с силой

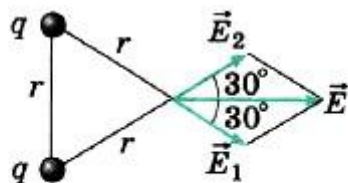


Рис. 14.17

$$= q \vec{E}.$$

Важно

Обычно именно электрическое поле внутри проводника служит причиной, вызывающей и поддерживающей упорядоченное движение заряженных частиц.

Только в статическом случае, когда заряды покоятся, электрическое поле внутри проводника равно нулю.

Если внутри проводника имеется электрическое поле, то между концами проводника в соответствии с формулой (14.21) существует разность потенциалов. Как показал эксперимент, когда разность потенциалов не меняется во времени, в проводнике устанавливается *постоянный электрический ток*. Вдоль проводника потенциал уменьшается от максимального значения на одном конце проводника до минимального на другом, так как положительный заряд под действием сил поля перемещается в сторону убывания потенциала.

ЗАДАНИЕ

1. Изучить тему и кратко записать в тетрадь

2. Вопросы (уметь устно отвечать)

1. Что определяет среднюю скорость дрейфа свободных электронов?
2. Почему единицу тока определяют по магнитному взаимодействию?

3. Дополнительное задание (для желающих)

Образцы заданий ЕГЭ

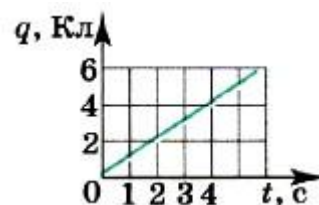
A1. Время рабочего импульса ускорителя электронов равно 1 мкс. Средняя сила тока, создаваемого этим ускорителем, 32 кА. Определите число электронов, ускоряемых за один пуск ускорителя. Заряд электрона $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

- 1) $4 \cdot 10^{16}$ 2) $8 \cdot 10^{17}$ 3) 10^{17} 4) $2 \cdot 10^{17}$

A2. На электроды вакуумного диода подаётся переменное напряжение, в результате чего сила тока, проходящего через этот диод, равномерно увеличивается за 2 мкс от 0 до 12 А. Определите заряд, который прошёл через диод за это время.

- 1) 36 мкКл 2) 12 мкКл 3) 36 мКл 4) $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

A3. По проводнику идёт постоянный электрический ток. Значение заряда, прошедшего через проводник, возрастает с течением времени согласно графику, представленному на рисунке. Сила тока в проводнике равна



- 1) 36 А
2) 16 А 4) 1 А

- 3) 6 А

4. Адрес моей электронной почты: elenakutuzova8@yandex.ru