

1. Что такое электрический заряд, в каких единицах он измеряется?

Электрический заряд - физическая скалярная величина, определяющая два свойства тела:

1. Способность быть источником электромагнитных полей

2. Способность принимать участие в электромагнитных взаимодействиях

Свойства заряда: \oplus \ominus

- Двузначность:

- Консервативность: в замкнутой системе $\sum q_i = const$

- Инвариантность: неизменяемость заряда тела при изменении скорости \vec{v} движущегося тела

- Квантованность: все заряды порциионы, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$, $q_{\text{тела}} = Ze$, где Z - целое число.

Измеряется в Кулонах [Кл]

2. Какие элементарные носители заряда Вы знаете? Чем атом отличается от иона? Куда направлена напряженность электрического поля, создаваемого положительным и отрицательным точечным зарядом?

Электрон: $q_e = -e$

Протон: $q_p = e$

Нейтрон: $q_n = 0$

α -частица: $q_\alpha = 2e$

Позитрон: $q_{e^+} = e$

Антипротон: $q_{\bar{p}} = -e$

Ионы: катионы $q > 0$ и анионы $q < 0$

Атом не несёт никакого заряда, в отличие от ионов.

Взаимодействие между электрическими зарядами осуществляется через поле. Любой электрический заряд q изменяет определённым образом свойства окружающего его пространства, т.е. создаёт электрическое поле. Помещённый в любую его точку пробный заряд испытывает на себе действие силы:

$F = q'E$, где E - напряжённость электрического поля в данной точке. Напряжённость - сила, действующая на единичный положительный неподвижный заряд.

Напряжённость поля неподвижного заряда q на расстоянии r от него выражается формулой:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot e_r$$

В зависимости от знака заряда q вектор E **направлен так же**, как и вектор r , **или противоположно** ему.

3. Что такое квантованность заряда?

См. Вопрос №1.

Элементарный заряд e является квантом (наименьшей порцией) электрического заряда. Это свойство заряда называется дискретностью (квантованностью).

4. Что такое инвариантность заряда?

См. вопрос 1.

Электрический заряд является релятивистски инвариативным: его величина не зависит от системы отсчёта, а значит, не зависит от того, движется он или покоится.

5. Что такое закон сохранения электрического заряда?

См. Вопрос 1.

В любой электрически изолированной системе алгебраическая сумма зарядов не изменяется.

6. Какими свойствами обладает электрический заряд?

1) Электрический заряд может быть как положительный, так и отрицательный;

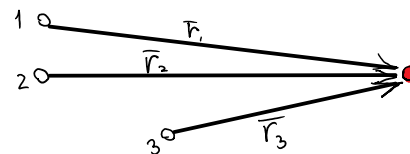
2) В любой электрически изолированной системе алгебраическая сумма зарядов не изменяется.

3) Электрический заряд является релятивистски инвариативным: не зависит от системы отсчёта и скорости.

7. Чем заряженное тело отличается от нейтрального на атомарном уровне? Как зависит напряженность электрического поля, создаваемого точечным зарядом от его величины?

Из закона Кулона следует, что напряжённость поля неподвижного точечного заряда на расстоянии r от него выражается формулой в векторном виде:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot e_r$$



Напряжённость поля, создаваемого электрическим зарядом, прямо пропорциональна величине заряда:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Таким образом, напряжённость E поля точечного заряда обратно пропорциональна квадрату расстояния r .

В поле, создаваемом неподвижным точечным зарядом, сила, действующая на пробный заряд, не зависит от того, движется или покоится пробный заряд.

→ Тело является электрически нейтральным, если число протонов в теле равно числу электронов. Если число электронов не равно числу протонов, то тело имеет либо положительный заряд, если протонов больше, либо отрицательный, если больше электронов.

8. Каковы знаки заряда следующих частиц: электрона, протона, нейтрона, фотона, катиона, аниона, альфа-частицы, позитрона, антипротона, антинейтрона? Как зависит напряженность электрического поля, создаваемого точечным зарядом от расстояния до него?

Электрон: $q_e = -e$

Протон: $q_p = e$

Нейтрон: $q_n = 0$

Фотон: $q_h = 0$

α -частица: $q_\alpha = 2e$

Позитрон: $q_{e^+} = e$

Антипротон: $q_{\bar{p}} = -e$

Антинейтрон: $q_{\bar{n}} = 0$

Ионы: катионы $q > 0$ и анионы $q < 0$

Напряжённость E поля точечного заряда обратно пропорциональна квадрату расстояния r .

9. Как обозначается и какую величину имеет коэффициент в законе Кулона в Международной системе единиц (SI)?

Электрическая постоянная k в системе СИ имеет размерность $[м/Ф]$ или $\frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$ и выражается формулой:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$$

10. Как связаны константы k и ϵ_0 ? Каково значение и единицы измерения константы ϵ_0 ?

Они связаны формулой $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, коэффициент $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} Ф/м$.

11. Как зависит сила взаимодействия данных неподвижных точечных электрических зарядов при заданном расстоянии между ними от свойств среды, в которой находятся заряды? Приведите примеры значений диэлектрической проницаемости.

Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов определяется законом Кулона:

$$F = \frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2}$$

В векторном виде:

$$F_{21} = k \frac{q_1 \cdot q_2 \cdot \vec{r}_{21}}{\epsilon \cdot r_{21}^3}$$

$$F_{12} = F_{21} \approx \frac{1}{\epsilon}$$

$\frac{1}{\epsilon}$ - диэлектрическая проницаемость среды.

Эта величина показывает, во сколько раз сила взаимодействия двух электрических зарядов в среде меньше, чем в вакууме.

Примеры:

Воздух: $\epsilon \approx 1$

Парафин: $\epsilon \approx 2$

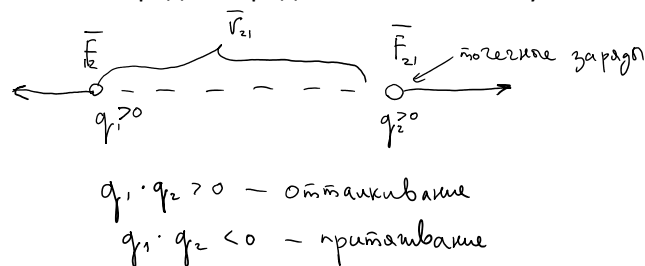
Вода: $\epsilon \approx 81$

12. Как зависит сила взаимодействия данных неподвижных точечных электрических зарядов от расстояния между ними?

Сила взаимодействия данных неподвижных точечных электрических зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

13. Как зависит напряженность электрического поля, создаваемого точечным зарядом, от свойств среды, в которой находится заряд?

Эту связь показывает величина диэлектрической проницаемости.



14. Как зависит сила взаимодействия неподвижных точечных электрических зарядов при заданном расстоянии между ними от величины зарядов и их знака?

Чем больше заряд, тем большее действие он оказывает на другой заряд. Одноимённые заряды отталкиваются, разноимённые притягиваются.

15. В чём состоит утверждение принципа суперпозиции применительно к электрической силе, действующей на данный точечный заряд со стороны нескольких других зарядов?

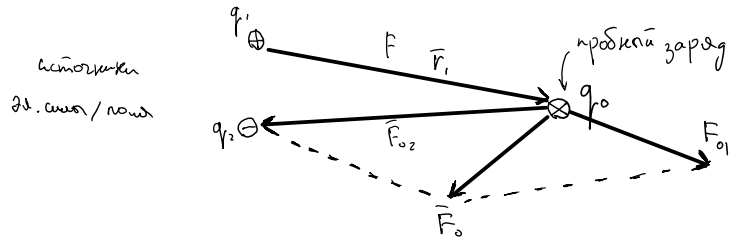
Напряжённость поля системы точечных неподвижных зарядов равна векторной сумме напряжённостей полей, которые бы создавал бы каждый из зарядов в отдельности (принцип наложения полей или суперпозиции):

$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{01} + \vec{F}_{02} + \dots + \vec{F}_{0n} = \sum_i \frac{k \cdot q_0 \cdot q_i \cdot \vec{r}_i}{\vec{r}_i^3}$$

(векторный вид)

В вакууме:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q} = \sum_i \frac{k q_i \vec{r}_i}{\vec{r}_i^3}$$



16. Как в общем векторном виде записывается сила, действующая на один точечный заряд со стороны другого?

$$\vec{F}_{21} = k \cdot \frac{q_1 q_2}{\vec{r}_{21}^2} \cdot \vec{e}_{\vec{r}_{21}} = k \cdot \frac{q_1 q_2 \cdot \vec{r}_{21}}{\varepsilon \vec{r}_{21}^3}$$

17. Как в общем векторном виде записывается сила, действующая на данный точечный заряд со стороны нескольких других зарядов?

Кулоновская сила, действующая на точечный заряд со стороны сколь угодно сложной системы точечных зарядов, равна векторной сумме кулоновских сил, действующих на заряд со стороны каждого заряда системы (принцип суперпозиции).

$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{01} + \vec{F}_{02} + \dots + \vec{F}_{0n} = \sum_i \frac{k \cdot q_0 \cdot q_i \cdot \vec{r}_i}{\vec{r}_i^3}$$

18. Какой была бы по величине и направлению сила взаимодействия двух одинаковых точечных зарядов в один кулон, находящихся в вакууме на расстоянии один метр друг от друга?

Заряды бы отталкивались, по величине сила была бы равна:

$$F = \frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 1}{1} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н.}$$

19. Какова по величине и направлению сила взаимодействия протона и электрона, находящихся в вакууме на расстоянии друг от друга в пятьдесят три пикометра (примерный радиус атома водорода в основном состоянии)?

Они бы притягивались, сила притяжения:

$$F = \frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{50 \cdot 10^{-12}} = 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н.}$$

20. Какова по величине и направлению сила взаимодействия двух протонов, находящихся в вакууме на расстоянии друг от друга в семьдесят четыре пикометра (примерное равновесное межъядерное расстояние в молекуле водорода)?

Отталкивание, по величине сила равна:

$$F = \frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{74 \cdot 10^{-12}} = 4,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н.}$$

21. Что такое распределённый электрический заряд? Какие бывают виды распределённого заряда?

Для упрощения математических расчётов обычно игнорируют тот факт, что заряды имеют дискретную структуру и считают, что они размазаны в пространстве определённым образом. Другими словами, происходит замена истинного распределения точечных дискретных зарядов фиктивным непрерывным распределением.

При переходе к непрерывному распределению вводится понятие о плотности зарядов: объёмной ρ , поверхностной σ и линейной λ .

22. Что такое линейная плотность заряда, в каких единицах она измеряется? В каком случае используется это понятие?

Линейная плотность заряда - скалярная величина, характеризующая распределение электрического заряда вдоль линии, равная пределу отношения электрического заряда к элементу линии, который содержит этот заряд, когда длина этого элемента стремится к нулю. Измеряется в [Кл/м]

По определению:

$$\lambda = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl}$$

23. Как по заданной линейной плотности заряда вычисляется заряд элементарного отрезка заряженной нити и всей заряженной нити?

Заряд элементарного отрезка:

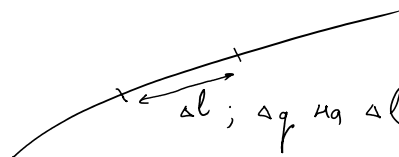
$$dq = \lambda \cdot dl$$

Заряд всей равномерно заряженной нити: проинтегрировать по всей длине

$$q = \lambda L$$

Для неравномерно заряженной нити:

$$Q = \int_L \lambda dl$$



24. Что такое поверхностная плотность заряда, в каких единицах она измеряется? В каком случае используется это понятие?

Поверхностная плотность заряда - это скалярная величина, характеризующая заряд, приходящийся на единицу поверхности. Единицы измерения [Кл/м²]. Нужна для нахождения заряда поверхностей любых форм.

По определению:

$$\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S} = \frac{dq}{dS}$$

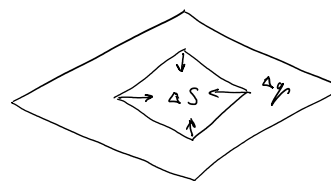
25. Как по заданной поверхностной плотности заряда вычисляется заряд элементарной площадки заряженной поверхности и всей заряженной поверхности?

Заряд элементарной площадки заряженной поверхности:

$$dq = \sigma \cdot dS$$

Заряд всей заряженной поверхности:

$$Q = \int_S \sigma dS$$



26. Что такое объёмная плотность заряда, в каких единицах она измеряется? В каком случае используется это понятие?

Объёмная плотность заряда - скалярная величина, равная количеству электрического заряда, приходящееся на единицу объёма. Единицы измерения [Кл/м³]. Нужна для нахождения заряда равномерно заряженных по всему объёму тел любых форм. По определению:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV}$$

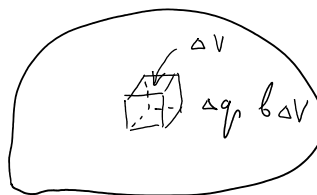
27. Как по заданной объёмной плотности заряда вычисляется заряд элементарного объёма заряженного тела и всего тела?

Заряд элементарного объёма заряженного тела:

$$dq = \rho \cdot dV$$

Заряд всего тела:

$$Q = \int_V \rho dV$$



28. Что такое электрическое поле и что такое напряженность электрического поля?

Электрическое поле - это физическое поле, которое окружает каждый электрический заряд и оказывает силовое воздействие на все другие заряды, притягивая или отталкивая их. Взаимодействие между всеми зарядами осуществляется через поле. Всякий электрически заряд изменяет определённым образом свойства окружающего его пространства, то есть создаёт электрическое поле. Данное поле проявляет себя в том, что помещённый в какую-либо его точку пробный заряд испытывает действие силы.

Сила, действующая на неподвижный точечный пробный заряд, может быть записана как

$F = q'E$, где E - напряжённость электрического поля. Вектор \vec{E} - сила, действующая на единичный положительный неподвижный заряд.

29. Как определяется величина и направление вектора напряженности электрического поля в данной точке?

Взаимодействие неподвижных зарядов осуществляется посредством электрического поля. Его основной количественной характеристикой является вектор напряжённости, который определяется для данной точки поля как отношение силы, действующей на пробный точечный заряд, помещенный в эту точку, к величине заряда q' :

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

Направление вектора напряжённости совпадает по направлению с силой, с которой поле действует на единичный положительный пробный заряд.

30. Какой заряд называется источником поля, какой пробным зарядом?

Пробный заряд - заряд, помещаемый в электрическое поле с целью обнаружения и исследования его свойств, не вызывающий перераспределение зарядов, создающих это поле. Он должен быть маленьким, чтобы не исказить исследуемое поле.

Источник поля - заряд или частица, создающее поле.

31. Как описывается взаимодействие двух точечных электрических зарядов на языке электрического поля?

Сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды, пропорциональна их величинам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними (описывается законом Кулона). Она является силой притяжения, если знаки зарядов разные, и силой отталкивания, если эти знаки одинаковы.

32. Как в общем векторном виде записывается электрическая напряженность, создаваемая неподвижным точечным зарядом?

$$\vec{E} = \frac{kq\vec{r}}{r^3}$$

33. Как в общем векторном виде записывается электрическая напряженность, создаваемая несколькими неподвижными точечными зарядом?

$$\vec{E} = \sum_i \frac{kq_i\vec{r}_i}{r_i^3}$$

34. Как в общем векторном виде записывается электрическая напряженность, создаваемая непрерывно распределённым зарядом?

Через линейную плотность:

$$\vec{E} = \int \frac{\lambda\vec{r} dl}{r^3}$$

Через поверхностную плотность:

$$\vec{E} = \int \frac{\sigma\vec{r} dS}{r^3}$$

Через объёмную плотность:

$$\vec{E} = \int \frac{\rho\vec{r} dV}{r^3}$$

Общий вид через dq :

$$\vec{E} = \int_{\text{по всем } dq} \frac{k \cdot dq \cdot \vec{r}_{dq}}{r_{dq}^3}$$

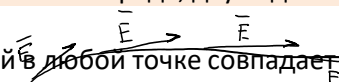
35. В чём состоит утверждение принципа суперпозиции применительно к электрической напряжённости?

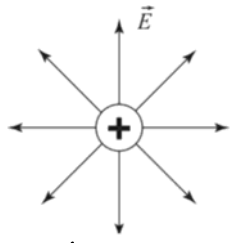
Напряжённость поля системы точечных неподвижных зарядов равна векторной сумме напряжённостей полей, который бы создавали каждый из зарядов в отдельности:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q_i\vec{r}_i}{r_i^3}$$

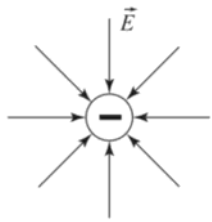
36. Что такое силовые линии? Изобразите картину силовых линий для точечного заряда, двух одинаковых точечных зарядов, диполя, заряженной сферы

Силовая линия (интегральная кривая) — это кривая, касательная к которой в любой точке совпадает по направлению с вектором, являющимся элементом векторного поля в этой же точке.

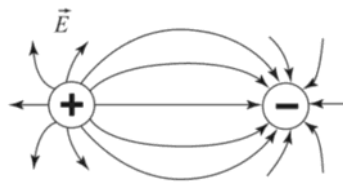




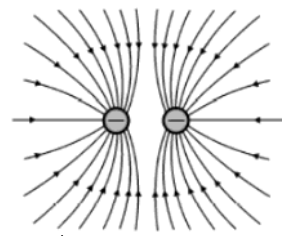
силовые линии
положительного точечного
заряда



силовые линии
отрицательного точечного
заряда



силовые линии диполя
(от плюса к минусу)

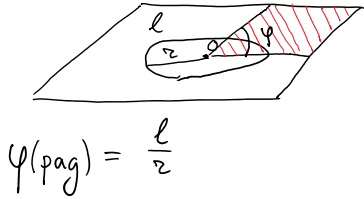


силовые линии отрицательных зарядов

У заряженной сферы распределение силовых линий такое же, как у точечных зарядов.

37. Что такое телесный угол? В каких единицах он измеряется?

Плоский угол:

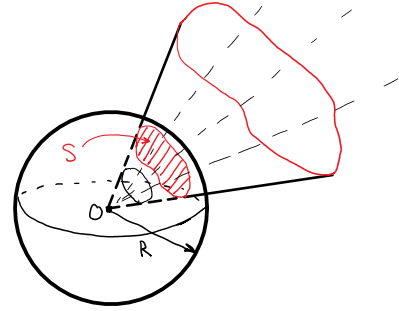


$$\varphi(\text{рад}) = \frac{l}{r}$$

Телесный (объемный) угол:

$$\Omega(\varphi) = \frac{S}{R^2}$$

ср = стерадианы



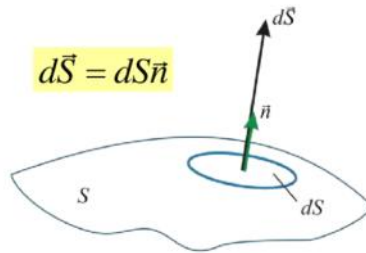
Телесный угол — часть пространства, заключенная внутри конической поверхности. Измеряется отношением площади, вырезаемой им из сферы произвольного радиуса, к квадрату последнего. Единица — стерадиан (ср).

38. Какова величина полного телесного угла, охватывающего все направления в пространстве?

$4\pi \approx 12,57$ стерадиан

39. Что такое вектор элементарной площадки?

- Пусть в пространстве имеется некоторая поверхность S произвольной формы. Рассмотрим участок этой поверхности, площадь dS которого бесконечно мала. Тогда сам участок можно считать плоским.
- Пусть \mathbf{n} — вектор единичной длины, перпендикулярный к данной площадке (**единичный вектор нормали** к поверхности S).



Вектором элементарной площадки dS называется вектор, длина которого равна площади dS , а направление совпадает с вектором \mathbf{n} .

40. Что такое поток однородного векторного поля через плоскую площадку?

Полное число силовых линий, проходящих через поверхность S , называется **поток вектора напряженности Φ_E** через эту поверхность (рис.1)

$$\Phi_E = E_n \cdot S, |\vec{n}| = 1$$

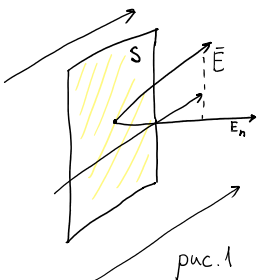
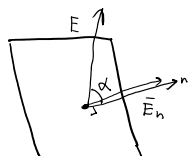


рис.1

41. Какие формы представления потока векторного поля через площадку Вы знаете?

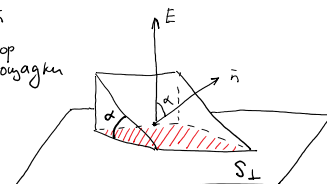
Если имеются ввиду разные формы записи, то

$$\Phi_E = E_n S = ES \cos \alpha = (\vec{E}, \vec{S}) = E \cdot S_{\perp}$$



$$\vec{S} = S \vec{n}$$

вектор
площадки



42. В каком случае поток электрической напряженности через данную элементарную площадь имеет максимальное значение, минимальное значение, нулевое значение?

$$d\Phi = \vec{E} \cos \alpha \, ds$$

Так как угол измеряется между направлением вектора E и направлением нормали к площадке, то при $\alpha = 0$, то есть при $\vec{E} \parallel \vec{n}$, значение элемента потока вектора максимально, а при $\vec{E} \perp \vec{n}$, то есть при $\alpha = \frac{\pi}{2}$, элемент потока обращается в ноль. $d\Phi < 0$, если угол α тупой.

43. Как связаны поток вектора электрической напряженности от точечного заряда через элементарную площадку и телесный угол, под которым видна эта элементарная площадка?

Возможно два случая: когда точечный заряд находится внутри, и когда он находится снаружи замкнутой поверхности. Когда он находится внутри, значение потока будет рассчитываться как:

$$\Phi_{\vec{E}} = \oint E_n \, dS = \oint kq \, d\Omega = kq \oint d\Omega = 4\pi \, (\text{ср}) = kq\Omega_{\text{полн}} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Для ситуации, когда заряд находится снаружи:

$$\Phi_2 = -kq \, d\Omega$$

$$\Phi_1 = kq \, d\Omega$$

$$\Phi_1 + \Phi_2 = 0$$

Таким образом, для q , находящегося снаружи замкнутой поверхности, справедливо:

$$\Phi_{\vec{E}} = \oint E_n \, dS = 0$$

44. В каких единицах измеряется поток электрической напряженности?

В [В/м] или в [Н· м²/Кл]

45. Как определяется поток вектора электрической напряженности через произвольную поверхность?

Поток вектора E сквозь произвольную поверхность зависит только от алгебраической суммы зарядов, охватываемых этой поверхностью, а именно:

$$\Phi_{\vec{E}} = \int_S E_n \, dS = \frac{q_{\text{внутри}}}{\epsilon_0}$$

46. Как, зная распределение напряженности электрического поля в пространстве, определить электрический заряд данной области?

$$\Phi_{\vec{E}} = \oint_S E_n \, dS = \frac{\sum_i q_i \, (\text{внутри})}{\epsilon_0}$$

47. Изменится ли поток вектора напряженности электрического поля через замкнутую поверхность и сам вектор напряженности, если изменить положение зарядов внутри нее? Почему?

Поле E зависит от конфигураций всех зарядов, а **поток вектора E** сквозь произвольную замкнутую поверхность определяется только алгебраической суммой зарядов внутри поверхности. Это значит, что если передвинуть заряды, то поле E изменится повсюду. Но если передвижка зарядов произошла без пересечения поверхности, то поток вектора E останется прежним, а поле E изменится.

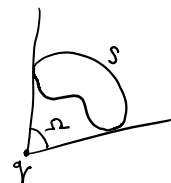
48. Чему равен поток вектора электрической напряженности от точечного заряда через замкнутую поверхность, если заряд находится вне поверхности?

Если точечный заряд расположен вне замкнутой поверхности, то поток E через неё равен нулю.

Доказательство:

Проведём из заряда коническую поверхность так, чтобы она оказалась касательной к замкнутой поверхности S . Тогда, проинтегрировав выражение $d\Phi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \, d\Omega$ по поверхности заметим, что оно эквивалентно интегрированию по Ω , внешняя сторона будет видна из точки q под углом $\Omega > 0$, а внутренняя под углом $\Omega < 0$ (углы по модулю равны), а значит их сумма равна нулю.

Сколько линий входит в объём, ограниченный поверхностью S , столько и выходит.



49. Чему равен поток вектора электрической напряженности от точечного заряда через замкнутую поверхность, если заряд находится внутри поверхности?

$$\Phi_E = \oint E_n dS = \oint kq d\Omega = kq \oint d\Omega = 4\pi (ср) = kq\Omega_{полн} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

50. В чем состоит утверждение теоремы Гаусса для электростатического поля в вакууме в интегральной форме?

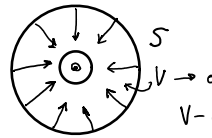
Теорема Гаусса для вектора напряженности электростатического поля в вакууме является следствием закона Кулона:

$$\oint_S E_n dS = \frac{\sum_i q_i (\text{внутри})}{\epsilon_0}$$

В дифференциальной форме теорема Гаусса является локальной теоремой: дивергенция поля E в данной точке зависит только от плотности электрического заряда в той же точке и больше ни от чего. В этой форме устанавливается связь между объемной плотностью заряда ρ и изменениями напряженности в окрестности данной точки пространства:

$$\lim_{V \rightarrow 0} \frac{\oint_S E_n dS}{V} = \text{div } E = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\text{Или } \nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \text{ где } \nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$$



V - объем, охватывающий поверхность S .

51. Чем определяется знак потока вектора напряженности электрического поля через некоторую поверхность?

Знак потока вектора напряженности электрического поля определяется направлением нормали.

52. Чему равен поток вектора электрической напряженности через произвольную замкнутую поверхность?

$$\Phi_E = \oint E_n dS$$

53. Как направлен вектор электрической напряженности от равномерно заряженного шара и как изменяется величина напряженности по мере удаления от центра шара?

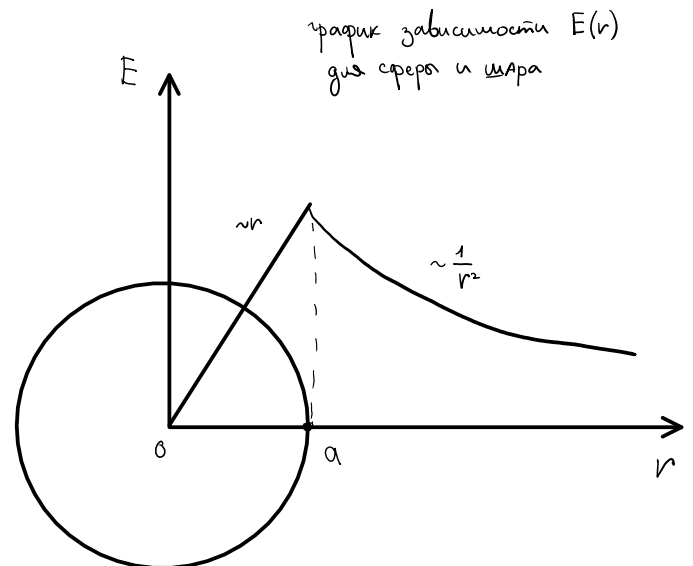
Напряжённость по мере удаления от центра шара уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния от центра до точки.

Направление вектора E в любой точке проходит через центр шара, а его модуль зависит только от расстояния до центра шара.

54. Как «устроено» электрическое поле равномерно заряженной сферы и равномерно заряженного шара?

Заряд равномерно распределён по поверхности шара. Силовые линии вытекают из соображения симметрии вдоль продолжений радиусов шара.

Поле сферы центрально-симметричное, направление вектора E в любой точке проходит через центр сферы. Силовые линии распределяются так же, как у точечного заряда.



55. Какие преобразования входят в симметрию равномерно заряженной сферы и равномерно заряженного шара?

Уже всё сказано выше, не могу больше размусоливать.

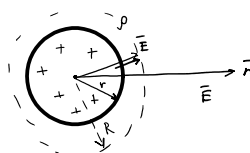
56. Как направлен вектор электрической напряженности от равномерно заряженной сферы и как изменяется величина напряженности по мере удаления от центра сферы?

См. вопрос 53

57. Чему равен поток электрической напряженности от равномерно заряженной сферы через сферическую поверхность, концентрическую с заряженной сферой?

$$\oint_{\text{сфера } R} E_n dS = E \oint dS \rightarrow E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\rho \frac{4}{3}\pi R^3}{\epsilon_0} \rightarrow E(r > R) = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2}$$

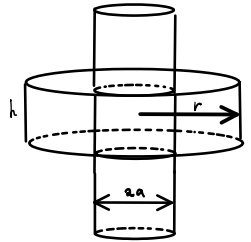
$$\oint E_n dS = E \cdot 4\pi \cdot r^2 = \frac{\rho \frac{4}{3}\pi r^3}{\epsilon_0} \rightarrow E(r < R) = \frac{\rho r}{3\epsilon_0}$$



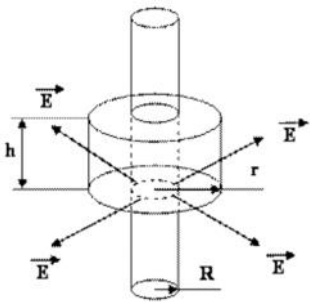
58. Какие преобразования входят в симметрию бесконечной равномерно заряженной прямой нити и равномерно заряженного бесконечного цилиндра?

Из симметрии видно, что вектор E может быть только перпендикулярным заряженной нити. В симметричных относительно центра нити точках вектор E одинаков по модулю и противоположен по знаку. В качестве замкнутой поверхности надо брать цилиндр.

Поле в цилиндре имеет радиальный характер. т.е. вектор E в каждой точке перпендикулярен оси цилиндра, а модуль вектора зависит от расстояния до оси цилиндра. Замкнутую поверхность надо брать в форме коаксиального прямого цилиндра.



59. Как «устроено» электрическое поле равномерно заряженной нити и равномерно заряженного цилиндра?



60. Какую поверхность выбирают в теореме Гаусса при вычислении электрической напряжённости от бесконечной, прямой, равномерно заряженной нити?

Цилиндр с осью, совпадающей с нитью

61. Чему равен поток электрической напряжённости от бесконечной, прямой, равномерно заряженной нити через цилиндрическую поверхность, коаксиальную с нитью?

$$\Phi_{\vec{E}} = 2\Delta SE$$

62. Чему равен поток электрической напряжённости от бесконечной, прямой, равномерно заряженной нити через плоскую площадку, перпендикулярную к нити?

$$\Phi_{\vec{E}} = 2\Delta SE = \frac{\sigma \Delta S}{\epsilon_0}$$

63. Как направлен вектор электрической напряжённости от бесконечного, прямого, равномерно заряженного цилиндра и как изменяется величина напряжённости по мере удаления от оси цилиндра?

См. вопрос 58.

64. Как направлен вектор электрической напряжённости от бесконечной, прямой, равномерно заряженной нити и как изменяется величина напряжённости по мере удаления от нити?

Перпендикулярен нити, направлен от неё, обратно пропорционален квадрату расстояния от нити.

65. Какие преобразования входят в симметрию бесконечной равномерно заряженной плоскости и плоского бесконечного равномерно заряженного слоя?

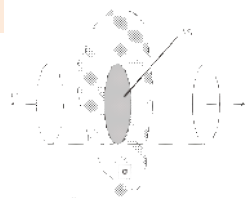
В симметричных относительно центра этой плоскости точках вектор E одинаков по модулю и противоположен по направлению. В качестве замкнутой поверхности надо брать цилиндр. Вектор E может быть только перпендикулярен плоскости/слою.

66. Чему равен поток электрической напряжённости от бесконечной, равномерно заряженной плоскости через плоскую площадку, перпендикулярную к плоскости?

$$\Phi_{\vec{E}} = 2\Delta SE$$

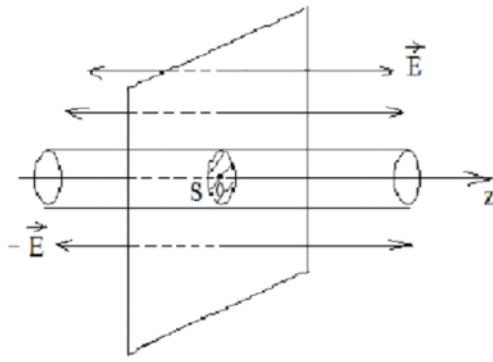
67. Чему равен поток электрической напряжённости от бесконечной, равномерно заряженной плоскости через плоскую площадку, параллельную плоскости?

$$\Phi_{\vec{E}} = 2\Delta SE$$



68. Как «устроено» электрическое поле бесконечной, равномерно заряженной плоскости и бесконечного, плоского, равномерно заряженного слоя?

В силу симметрии электрическое поле такой плоскости однородно и линии вектора напряжённости нормальны к ней.



69. Как направлен вектор электрической напряжённости от бесконечной, равномерно заряженной плоскости и как изменяется величина напряжённости по мере удаления от плоскости?

Вектор электрической напряжённости направлен от плоскости и обратно пропорционален квадрату расстояния от плоскости.

70. Что такое дивергенция векторного поля?

Дивергенция — это линейный дифференциальный оператор на векторном поле, характеризующий поток данного поля через поверхность достаточно малой (в условиях конкретной задачи) окрестности каждой внутренней точки области определения поля.

71. Как дивергенция в данной точке векторного поля выражается через частные пространственные производные от компонент вектора?

$$\operatorname{div} E = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \nabla \cdot E, \quad \text{где } \nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$$

72. Чему равна дивергенция электрической напряжённости в данной точке?

$$\lim_{V \rightarrow 0} \frac{\oint_S E_n dS}{V} = \operatorname{div} E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

73. Как, зная распределение напряжённости электрического поля в пространстве, определить плотность электрического заряда в данной точке?

Дивергенция поля E в данной точке зависит только от плотности электрического заряда ρ в той же точке. Сумма всех пространственных производных, которая определяет дивергенцию E , равна нулю. В тех точках поля, где дивергенция положительна, есть источники (положительные заряды), где отрицательна — стоки (отрицательные заряды).

Линии вектора E выходят из источников поля, а в местах стока заканчиваются.

74. Как вычисляется работа электрических сил над пробным зарядом при его перемещении в электрическом поле, созданном несколькими зарядами-источниками?

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q((\varphi_{11} + \varphi_{12} + \dots + \varphi_{1n}) - (\varphi_{21} + \varphi_{22} + \dots + \varphi_{2n}))$$

75. Чем различаются значения работы электрической силы при перемещении заряда по некоторой траектории в прямом и в обратном направлениях?

Отличаются знаком, по модулю равны.

76. Каковы свойства работы электрических сил?

Работа сил электростатического поля не зависит от формы траектории, а зависит лишь от начального и конечного положения заряда, электростатическое поле потенциально, а силы электростатического поля — консервативны.

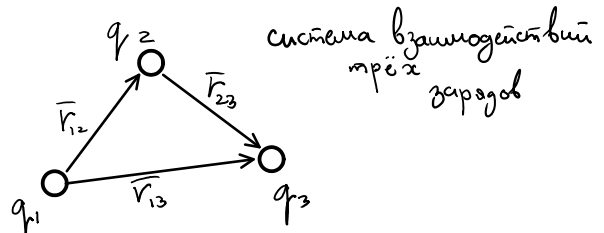
77. Что такое энергия системы зарядов?

Энергия системы зарядов — энергия взаимодействия нескольких точечных зарядов, которая в зависимости от знака зарядов, может быть как положительной, так и отрицательной.

$$w_p = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}} + k \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + k \frac{q_2 q_3}{r_{23}} + \dots$$

Обобщим эту формулу:

$$w_p = \frac{1}{2} k \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$



Потенциальная энергия — это функция состояния системы. Нулевое значение берется при бесконечном удалении зарядов друг от друга. Энергия всей системы, энергия взаимодействия, поэтому бессмысленно говорить, что какая-то часть этой энергии принадлежит одному из зарядов. Здесь не учитывается собственная энергия каждого точечного заряда.

78. Как связаны друг с другом потенциальная энергия пробного заряда в электрическом поле и работа электрических сил над этим зарядом?

Работа, совершаемая электростатическим полем при перемещении точечного заряда q из точки (1) в точку (2), равна разности значений потенциальной энергии в этих точках и не зависит от пути перемещения заряда и от выбора точки (0).

$$A_{12} = w_{p_1} - w_{p_2} = \Delta w_p$$

79. Как связаны потенциальная энергия пробного заряда и потенциал электрического поля в той точке, где находится заряд?

Физическую величину, равную отношению потенциальной энергии электрического заряда в электростатическом поле к величине этого заряда, называют потенциалом φ электрического поля:

$$\varphi = \frac{w_p}{q}$$

То есть потенциал прямо пропорционален потенциальной энергии.

80. Как связаны друг с другом разность потенциалов и работа электрических сил над зарядом?

Разность потенциалов двух точек, умноженная на величину заряда, равна работе, необходимой для перемещения этого заряда между этими точками. То есть разность потенциалов двух точек поля – это работа по перемещению между ними единичного заряда.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}$$

81. Какая формула связывает разность потенциалов и заряды-источники электрического поля?

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\sum \frac{q_{i1}}{r_{i1}} - \sum \frac{q_{j2}}{r_{j2}} \right)$$

82. По какой формуле вычисляется электрический потенциал компактной системы зарядов?

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q_i}{r_i}$$

83. Как определить потенциал электростатического поля, если известна зависимость его напряженности от координат?

$$E = - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} i + \frac{\partial \varphi}{\partial y} j + \frac{\partial \varphi}{\partial z} k \right) = -\nabla \varphi$$

Напряжённость поля E равна со знаком минус градиенту потенциала.

84. Как выражается потенциальная энергия пробного заряда через напряженность электрического поля в случае однородного электрического поля?

$$W_p = E \cdot d \cdot q_p$$

85. Как связаны работа сил электрического поля и напряженность электрического поля в случае однородного электрического поля?

$$A = qE_{\Delta}d$$

86. Какая формула связывает разность потенциалов и напряженность в случае однородного электрического поля?

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed$$

87. Как выражается разность потенциалов через напряженность электрического поля?

$$\int_A^B E dl = \varphi(A) - \varphi(B)$$

88. Как связаны градиент электрического потенциала и электрическая напряженность?

См. вопрос 83.

89. Что такое градиент скалярного поля (на примере электрического потенциала)?

Градиент скалярного поля - векторная величина, численно равная производной от этой функции по направлению нормалей к поверхности уровня. Градиент численно равен максимальной скорости изменения функции. Направление градиента совпадает с направлением быстрого изменения функции.

На примере электрического потенциала: проекция вектора E на орт i есть $E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$, тогда для для проекций на

$$\text{оставшиеся орты верно } E = - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} i + \frac{\partial \varphi}{\partial y} j + \frac{\partial \varphi}{\partial z} k \right)$$

90. Как определить компоненты напряженности электростатического поля, если известна зависимость потенциала от координат?

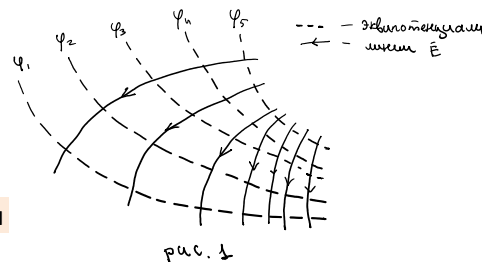
$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k}\right)$$

$E = E_x + E_y + E_z$, где E_x, E_y, E_z - проекции вектора E на разные орты. Каждая из проекций определяется как частная производная по x, y или z соответственно, $E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$, $E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}$, $E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}$

92. Что такое эквипотенциальные поверхности? Как направлены силовые линии электростатического поля относительно эквипотенциальных поверхностей?

Эквипотенциальные поверхности - поверхности, во всех точках которых потенциал имеет одно и то же значение. Вектор E направлен в каждой точке по нормали к эквипотенциальной поверхности в сторону уменьшения потенциала.

(см. рис. 1)



93. Какой вид имеют эквипотенциальные поверхности точечного заряда?

Эквипотенциальными поверхностями поля точечного заряда являются сферы, в центре которых расположен заряд (рис. 2)

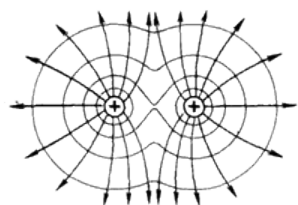


рис. 2

94. Какой вид имеют эквипотенциальные поверхности равномерно заряженного шара?

В данном случае точки с равным потенциалом в электрическом поле, созданном шаром, будут лежать на сферической поверхности, окружающей заряженный шар (см. рис. 3)

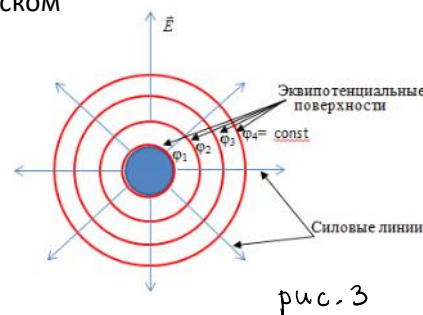


рис. 3

95. Какой вид имеют эквипотенциальные поверхности равномерно заряженной плоскости?

Эквипотенциальные поверхности равномерно заряженной плоскости выглядят как сетка с перпендикулярными друг другу силовыми линиями и линиями потенциала (см. рис. 4)

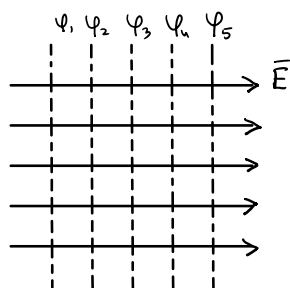


рис. 4

96. Какой вид имеют эквипотенциальные поверхности равномерно заряженной нити?

Данные поверхности имеют вид цилиндров с увеличивающимися радиусами с увеличением расстояния от нити.

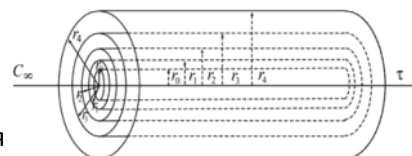


рис. 5

97. Что такое циркуляция вектора электрической напряженности?

Циркуляция вектора электрической напряженности - интеграл по замкнутому пути.

Циркуляция вектора E в любом электростатическом поле равна нулю, т.е.

$\oint E dl = 0$ - теорема о циркуляции вектора E .

Любое электростатическое поле является потенциальным.

98. Чему равна циркуляция электрической напряженности, созданной неподвижными электрическими зарядами?

$$\oint E dl = 0$$

99. Напишите условие потенциальности электрического поля в дифференциальной форме

Электростатическое поле реально существует, если только для него выполнено интегральное условие потенциальности:

$$\oint \vec{E} d\vec{r} = \oint (E_x dx + E_y dy + E_z dz) = 0$$

Поле $\vec{E}(x, y, z)$ является потенциальным в области, если выполнены в каждой точке этой области условия:

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} = 0.$$

100. Что такое ротор векторного поля (на примере электрической напряженности)?

Условие потенциальности поля E можно компактно записать в векторной форме, если ввести в рассмотрение вектор

$$\text{"ротор" напряженности электрического поля: } \text{rot } \vec{E} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} = 0.$$

101. Как выражаются компоненты ротора векторного поля через производные от компонент вектора (на примере электрической напряженности)?

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} = 0.$$

Тема №2: Электростатическое поле в диэлектрике.

102. Что такое электрический дипольный момент?

Электрическая диполь - система из двух одинаковых по модулю разноимённых точечных зарядов $+q$ и $-q$, находящихся на некотором расстоянии l друг от друга. Поле диполя обладает осевой симметрией, поэтому картина поля в любой плоскости, проходящей через ось диполя, одна и та же, вектор E лежит в этой плоскости.

Электрический момент диполя - вектор, направленный по оси диполя от отрицательного заряда к положительному. $p = ql$, где $q > 0$ и l - вектор, направленный в ту же сторону, что и p .

103. Как действует однородное электрическое поле на электрический диполь?

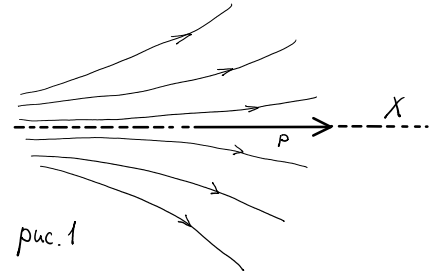
Никак, потому что

$$\frac{\partial E}{\partial l} = 0 \Rightarrow F = 0.$$

104. Как действует неоднородное электрическое поле на электрический диполь?

Сила действует на диполь только в неоднородном поле.

Пусть диполь расположен вдоль оси симметрии некоторого неоднородного поля E , возьмём его положительное направление как на рис.1. Так как в направлении вектора p приращение проекции E_x будет отрицательным, то $F_x < 0$, а значит вектор F направлен влево - в область, где напряжённость поля больше.



105. Чем различаются действия однородного и неоднородного электрического поля на электрический диполь?

Вы серьёзно? всё расписано выше. Одно блин действует, другое не действует.

106. Как вычислить силу, действующую на электрический диполь в неоднородном электрическом поле?

$$F = p \frac{\partial E}{\partial l} = ql \frac{\partial E}{\partial l}$$

107. Что такое ориентационная энергия электрического диполя в электрическом поле?

В неоднородном электрическом поле диполь будет вести себя следующим образом: под действием момента сил диполь будет стремиться установиться по полю $(\vec{p} \parallel \vec{E})$, а под действием результирующей силы переместится в направлении, где модуль E больше. Так как диполь - система из двух зарядов, то её энергия во внешнем поле:

$$w = q_+ \varphi_+ + q_- \varphi_- = q(\varphi_+ - \varphi_-)$$

т.к. $\frac{\partial \varphi}{\partial l} = -E_l \Rightarrow \varphi_+ - \varphi_- = -E_l l = -El$, а значит

$$w = -(\vec{p}, \vec{E})$$

108. Какая ориентация электрического диполя во внешнем электрическом поле соответствует минимальной энергии?

Минимальную энергию $w_{\min} = -(\vec{p}, \vec{E})$ диполь имеет в положении устойчивого равновесия, когда $\vec{p} \parallel \vec{E}$.

При отклонении от этого положения возникает момент сил, возвращающий диполь в положение равновесия.

109. Какая ориентация электрического диполя во внешнем электрическом поле соответствует максимальной энергии?

Энергия диполя максимальна, когда $\vec{p} \perp \vec{E}$.

110. В каком случае электрический диполь будет находиться в состоянии равновесия в электрическом поле?

См. вопрос 108.

111. Как связаны индуцированный дипольный момент неполярной молекулы и внешнее электрическое поле, в котором находится молекула?

При внесении любого вещества в электрическое поле в веществе происходит смещение положительных и отрицательных зарядов (ядер и электронов), что приводит к частичному разделению зарядов. В некоторых местах появляются нескомпенсированные заряды различного знака. Данное явление называется электростатической индукцией, а получившиеся в результате заряды - индуцированные.

Индуцированные заряды создают дополнительное электрическое поле, которое вместе с исходным (внешним) образует результирующее поле. Индуцированный дипольный момент неполярной молекулы не влияет на внешнее электрическое поле.

112. Что такое поляризуемость молекулы? Единицы измерения дипольного момента и поляризуемости.

Поляризуемость — физическое свойство веществ приобретать электрический (или магнитный) дипольный момент во внешнем электромагнитном поле.

$\vec{p} = \beta \epsilon_0 \vec{E}$ [Кл/м], где β - поляризуемость молекулы [Кл * м²/В]

1 Дебай $\approx 3,34 \cdot 10^{-30}$ Кл·м

Вектор поляризации \vec{P} - поляризованность.

113. В чем заключаются различия явления электростатической индукции в проводнике и диэлектрике?

Электростатическая индукция — явление наведения собственного электростатического поля при действии на тело внешнего электрического поля.

Перераспределение зарядов в хорошо проводящих металлах при действии внешнего электрического поля происходит до тех пор, пока заряды внутри тела практически полностью не скомпенсируют внешнее электрическое поле. При этом на противоположных сторонах проводящего тела появляются противоположные наведённые (индуцированные) заряды.

Диэлектрики в электростатическом поле **поляризуются**. Поляризацию диэлектриков характеризует вектор электрической поляризации. Физический смысл вектора электрической поляризации — это дипольный момент, отнесенный к единице объёма диэлектрика.

$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_i}{\Delta V}$, где \vec{p}_i — дипольный момент i -той молекулы, а N - кол-во молекул в ΔV .

114. В чем заключается явление поляризации среды и как это сказывается на характеристиках электростатического поля в веществе?



ориентацию диполей в диэлектрической среде под воздействием эл. поля.

Поляризация среды — процесс, в результате которого физический тело приобретает электрический дипольный момент P .

Поляризация диэлектриков — явление, связанное с ограниченным смещением связанных зарядов в диэлектрике или поворотом электрических диполей, обычно под воздействием внешнего электрического поля, иногда под действием других внешних сил или спонтанно.

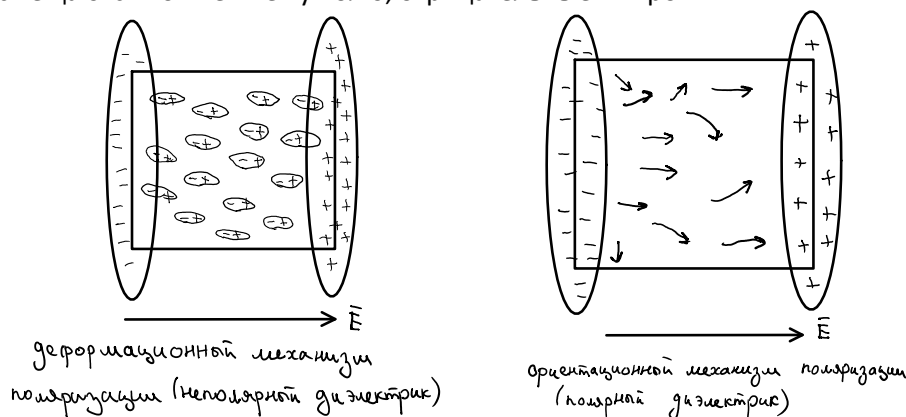
Поляризация не изменяет суммарного заряда в любом макроскопическом объёме внутри однородного диэлектрика. Однако она сопровождается появлением на его поверхности связанных электрических зарядов с некоторой поверхностной плотностью σ . Эти связанные заряды создают в диэлектрике дополнительное макроскопическое поле с напряжённостью E_1 , направленное против внешнего поля с напряжённостью E_0 . В результате напряжённость поля E внутри диэлектрика будет выражаться равенством: $E = E_0 - E_1$.

Короче говоря: происходит разделение положительных и отрицательных зарядов в среде, появляется дипольный момент. Как результат — направление электрического поля в среде не обязательно совпадает с направлением внешнего электрического поля. На характеристиках среды это сказывается тем, что диэлектрическая проницаемость оказывается не скалярной величиной, а тензором второго ранга. Произведение одного вектора (тензора первого ранга) на такой вот множитель приводит к изменению его направления.

115. Как происходит и к чему приводит процесс поляризации диэлектрика?

Если диэлектрик состоит из неполярных молекул, то в пределах каждой молекулы происходит смещение зарядов — положительных по полю, отрицательных против поля.

Если диэлектрик состоит из полярных молекул, то при отсутствии внешнего поля их дипольные моменты ориентированы совершенно хаотически (из-за теплового движения). Под действием внешнего поля дипольные моменты ориентируются преимущественно в направлении внешнего поля. В ионно-кристаллических диэлектриках все положительные ионы смещаются по внешнему полю, отрицательные — против.



116. Что такое свободные и связанные заряды, поляризованность вещества?

Нескомпенсированные заряды, появляющиеся в результате поляризации диэлектрика, называют поляризационными или связанными. Свобода перемещений таких зарядов ограничена, они могут смещаться лишь внутри электрически нейтральных молекул. Обозначаются со штрихом (q', p', σ').

Заряды, не входящие в состав молекул диэлектрика, называются сторонними (свободными).

Поле в диэлектрике - величина, являющаяся суперпозицией поля E_0 сторонних зарядов и поля связанных зарядов E' :
 $E = E_0 + E'$

Данные поля представляют собой макрополя, т.е. усреднённые по физически бесконечно малому объёму микрополя соответственно сторонних и связанных зарядов. Поле в диэлектрике также является макрополем.

Чтобы охарактеризовать поляризацию в данной точке, мысленно выделяют физически бесконечно малый объём ΔV , содержащий эту точку, и находят векторную сумму дипольных моментов молекул в этом объёме:

$$P = \frac{1}{\Delta V} \sum p_i$$

P - поляризованность диэлектрика, вектор, равный дипольному моменту единицы объёма вещества.

Единица поляризованности [Кл/м²].

117. Чему равен поток вектора поляризованности через замкнутую поверхность?

Поток вектора поляризованности сквозь произвольную поверхность равен взятому с обратным знаком избыточному связанному заряду диэлектрика в объёме, охватываемом поверхностью, т.е.

$$\oint \vec{P} dS = -q'_{\text{внутр.}}$$

118. В чем различие и в чем сходство между свободными и связанными зарядами в диэлектрике?

См. вопрос 116.

119. В чем разница электростатического поля в вакууме и в диэлектрике и чем она вызвана?

В отличие от проводников в идеальных диэлектриках отсутствуют свободные заряды. Заряды, входящие в состав атомов и молекул диэлектрика тесно связаны между собой и могут освободиться только под действием очень сильных полей.

Такие заряды называются связанными. В реальных диэлектриках на их поверхности, а в некоторых и внутри в небольшом количестве могут присутствовать и свободные заряды. В диэлектриках электростатическое поле ослабевает за счёт того, что молекулы диэлектрика поворачиваются по направлению поля и создают свое поле, противоположное по направлению, и по принципу суперпозиции получается, что само поле ослабевает.

120. В чем смысл введения вектора электрического смещения как характеристики электрического поля?

Вектор D носит вспомогательный характер: его вводят для упрощения вычислений:

$$\oint (\epsilon_0 E + P) dS = q'_{\text{внутр}} \quad \text{где } \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \vec{D}.$$

Поток вектора D сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме сторонних зарядов, охватываемых поверхностью:

$$\oint D dS = q'_{\text{внутр}}$$

Иродов пишет, что никакого глубинного физического смысла нет.

121. Что такое диэлектрическая проницаемость? Её единицы измерения.

Диэлектрическая проницаемость вещества - основная электрическая характеристика диэлектрика, безразмерная физическая величина, характеризующая свойства изолирующей (диэлектрической) среды. Величина ϵ показывает, во сколько раз сила взаимодействия двух электрических зарядов в среде меньше, чем в вакууме.

$$\epsilon = 1 + \chi$$

Значения ϵ зависят от природы диэлектрика, все больше единицы. К примеру, для вакуума $\epsilon = 1$, для воды $\epsilon = 81$.

122. Чем различаются механизмы поляризации диэлектриков с полярными и неполярными молекулами?

См. вопрос 115.

123. Сформулируйте теорему Гаусса для вектора электрического смещения?

Поток вектора D сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме сторонних зарядов, охватываемых поверхностью:

$$\oint D dS = q'_{\text{внутр}}$$

В дифференциальной форме: дивергенция поля вектора D равна объёмной плотности стороннего заряда в этой точке.
 $\nabla \cdot \vec{D} = \rho$

Где дивергенция D положительна ($\rho > 0$), находятся источники поля, где отрицательная - стоки поля D ($\rho < 0$).

124. Что общего и в чем различия в поведении векторов электрического смещения и напряженности на границе раздела двух диэлектриков?

Граничные условия для диэлектриков:

Условие для вектора E :

Тангенциальная составляющая

вектора E оказывается одинаковой по обе стороны границы раздела (нет скачка)

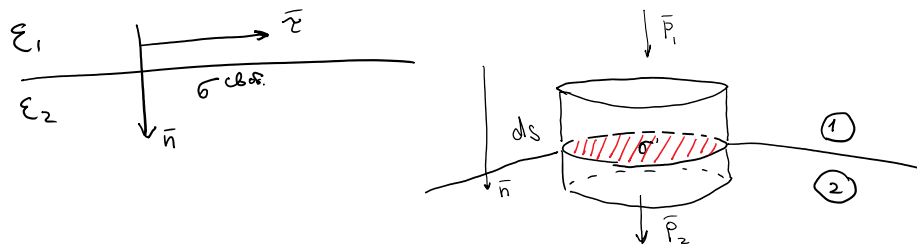
$$\oint_L (\vec{E}, d\vec{r}) = 0 \Rightarrow \vec{E}_{2\tau} = \vec{E}_{1\tau}$$

Условие для вектора D : Нормальная составляющая вектора D претерпевает скачок при переходе границы раздела:

$$\vec{D}_{2n} - \vec{D}_{1n} = \sigma_{\text{своб}}$$

Но если сторонние заряды на границе отсутствуют, то есть $\sigma = 0$, то $\vec{D}_{1n} = \vec{D}_{2n}$.

Таким образом, если на границе раздела двух однородных изотропных диэлектриков сторонних зарядов нет, то при переходе границы составляющие E_τ и D_n изменяются непрерывно, без скачка. Составляющие E_n и D_τ претерпевают скачок.



125. Как связаны между собой диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость?

$$\epsilon = 1 + \chi$$

126. Как ведет себя вектор электрической напряженности на границе раздела двух диэлектриков?

См. вопрос 124.

127. Как ведет себя вектор электрического смещения на границе раздела двух диэлектриков?

См. вопрос 124.

128. Сформулируйте граничные условия для компонент напряженности и электрической индукции на поверхности раздела диэлектриков.

При переходе через границу раздела диэлектрических сред нормальная составляющая вектора $E(E_n)$ терпит разрыв, а нормальная составляющая вектора $D(D_n)$ непрерывна. Тангенциальная составляющая вектора $D(D_\tau)$ терпит разрыв, а тангенциальная составляющая вектора $E(E_\tau)$ непрерывна.

Тема №3: Емкость. Энергия поля.

129. Как «ведет себя» электрическое поле вблизи поверхности проводника?

Напряженность поля вблизи поверхности проводника состоит из двух равных частей: одна часть создается поверхностными зарядами прилегающего элемента поверхности, а другая – всеми остальными зарядами, лежащими вне этого элемента поверхности.

130. Почему проводник можно охарактеризовать величиной, называемой емкостью?

При сообщении проводнику заряда на его поверхности появляется некоторый потенциал φ . И у разных проводников этот потенциал будет различаться, даже если количество сообщаемого проводникам заряда будет одинаковым. В зависимости от формы и размеров проводника, потенциал может быть разным, но так или иначе, он будет пропорционален заряду. В моём понимании проводник можно охарактеризовать электроёмкостью, потому что он как бы способен накапливать электрический заряд.

131. Что такое емкость уединенного проводника?

Емкостью уединенного проводника называется мера его способности удерживать электрический заряд.

$$C = \frac{q}{\varphi} [\Phi = \text{Кл/В}]$$

132. От чего зависит емкость уединенного проводника, конденсатора?

Емкость проводника не зависит ни от заряда, ни от потенциала. Она зависит от геометрии проводника (размеры, форма), от свойств среды (диэлектрическая проницаемость), от расположения заряженных тел. Емкость также не зависит от внутреннего устройства проводника.

133. Что такое электроёмкость системы двух проводников?

Понятие ёмкости также относится к системе проводников, в частности, к системе двух проводников, разделённых диэлектриком или вакуумом, — к конденсатору. В этом случае ёмкость (взаимная ёмкость) этих проводников (обкладок конденсатора) будет равна отношению заряда, накопленного конденсатором, к разности потенциалов между обкладками. Для плоского конденсатора ёмкость равна: $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$.

134. В каких единицах измеряется электроёмкость системы двух проводников?

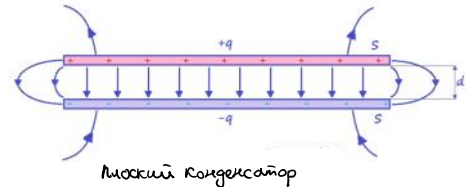
Фарад

135. Как связаны напряженность и разность потенциалов в плоском конденсаторе?

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$$

136. Как вычисляется ёмкость плоского конденсатора?

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$



137. От чего и как зависит ёмкость плоского конденсатора?

Ёмкость плоского конденсатора зависит от площади пластин, расстояния между ними и материала (диэлектрика), заполняющего пространство между пластинами.

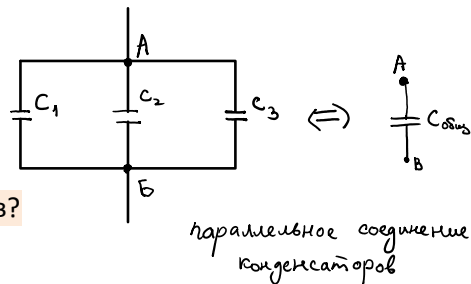
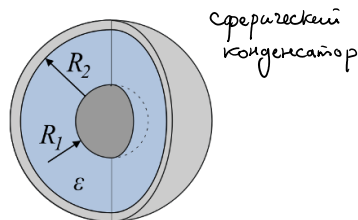
138. От чего и как зависит ёмкость сферического конденсатора?

Чтобы найти ёмкость сферического конденсатора, который состоит из двух concentric сферических обкладок, разделенных сферическим слоем диэлектрика, используем формулу для разности потенциалов между двумя точками, лежащими на расстояниях r_1 и r_2 ($r_2 > r_1$) от центра заряженной сферической поверхности.

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

При малой величине зазора:

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}{d}$$



139. Как вычисляется ёмкость системы параллельно соединенных конденсаторов?

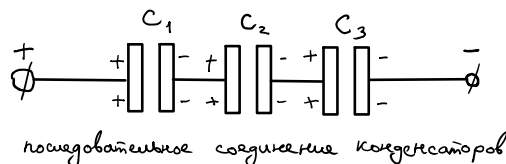
$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

140. Как вычисляется ёмкость системы последовательно соединенных конденсаторов?

$$\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Частный случай для двух:

$$C_0 = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$



141. Что собой представляет собственная энергия электрического взаимодействия заряженного проводника?

Собственная энергия - энергия электростатического поля этого тела.

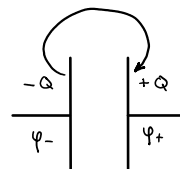
Энергия заряженного тела равна той работе, которую нужно совершить, чтобы зарядить это тело:

$$W = A = \frac{C\varphi^2}{2}$$

Собственная энергия электрического взаимодействия заряженного проводника равна собственной энергии системы зарядов.

142. По какой формуле вычисляется энергия заряженного конденсатора?

$$W = \frac{QU}{2} = \frac{Q(\varphi_1 - \varphi_2)}{2} = \frac{Q(\varphi_+ - \varphi_-)}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} \text{ [Дж]}$$

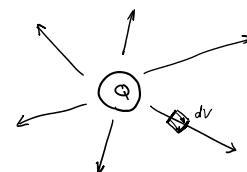


143. Что такое объемная плотность энергии электрического поля?

Носителем энергии является само поле, т.е. энергия локализована в самом поле. Объемная плотность энергии - это величина, равная энергии единицы объема поля. Это справедливо только для изотропного (для которого верно $p = \epsilon_0 E^2$) диэлектрика.

Тогда электрическая энергия распределена в пространстве с объемной плотностью:

$$\omega_E = \frac{W}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} = \frac{(\vec{E}, \vec{D})}{2}$$



144. Что такое энергия электрического поля. В чем измеряется её объемная плотность?

Так как электрическая энергия локализована в самом поле, то такую энергию называют энергией электрического поля. Единицы измерения объемной плотности энергии электрического поля [Дж/м³].

Тема №4: Электрический ток.

145. Что такое электрический ток, сила тока, плотность тока, единицы измерения этих величин?

Электрический ток - упорядоченный перенос электрических зарядов.

Сила тока - количественная мера электрического тока, заряд, переносимый сквозь рассматриваемую поверхность в единицу времени:

$$I = \frac{dQ}{dt} \text{ [A]}$$

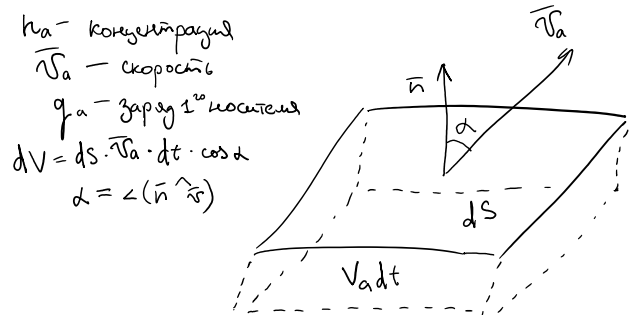
Плотность тока - вектор \vec{j} , модуль которого численно равен отношению силы тока dI через элементарную площадку, расположенную в данной точке перпендикулярно направлению движения носителей, к её площади dS_{\perp} : $\vec{j} = \frac{dI}{dS_{\perp}}$

$$dI = \frac{dQ}{dt} = q_a \cdot n_a \cdot v_a \cdot dS \cos \alpha = (\vec{j}, d\vec{S})$$

$$\vec{j} = q_a \cdot n_a \cdot v_a$$

Вектор плотности тока:

$$\vec{j} = \frac{I}{S} \left[\frac{\text{A}}{\text{м}^2} \right]$$



146. Как связаны плотность тока и скорость упорядоченного движения зарядов?

для +: $q_a > 0$, \vec{j} сонаправлен \vec{v}_a

для -: $q_a < 0$, \vec{j} несонаправлен \vec{v}_a

$$\vec{j} = \sum_a q_a \cdot n_a \cdot \langle \vec{v}_a \rangle$$

147. Какая разница и какова связь между силой и плотностью тока?

$$I = j \cdot S$$

Направление вектора \vec{j} - направление электрического тока.

Сила тока - скалярная величина, плотность тока - векторная.

148. Что такое электрическое сопротивление проводника? Единицы измерения

Электрическое сопротивление - это физическая величина, характеризующая способность проводника пропускать электрический ток. Проводник, обладающий электрическим сопротивлением, называется резистором. Единицы измерения [Ом]

149. Как выразить сопротивление проводника через его удельное сопротивление, длину и площадь сечения?

$$R = \int_0^l \frac{\rho dl}{S_l} = IU$$
$$R = \frac{\rho l}{S}$$

150. Что такое удельное сопротивление и удельная проводимость? Единицы измерения.

Удельное электрическое сопротивление — физическая величина, характеризующая способность материала препятствовать прохождению электрического тока, выражается в [Ом·метр]

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Удельная проводимость - способность тела (среды) проводить электрический ток, свойство тела или среды, определяющее возникновение в них электрического тока под воздействием электрического поля. Также физическая величина, характеризующая эту способность и обратная электрическому сопротивлению.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \left[\frac{\text{Симменс}}{\text{м}} \right]$$

$$\text{См} = 1/\text{Ом}$$

151. Формула для эквивалентного сопротивления при последовательном соединении проводников.

$$R_{\text{эkv}} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{I}$$

152. Формула для эквивалентного сопротивления при параллельном соединении проводников.

$$\frac{1}{R_{\text{эkv}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

153. Сформулируйте закон Ома в интегральной форме?

Для неоднородного участка цепи: при замкнутой внешней цепи сумма падений электрических потенциалов и ЭДС источника равна сумме падений напряжения на внутреннем сопротивлении источника и во всей внешней цепи.

$$I = \frac{\varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2)}{R + r}$$

154. Сформулируйте закон Ома в дифференциальной форме?

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \sigma \vec{E} \text{ (для однородного участка)}$$

155. Что такое сторонние силы, какова их природа?

При наличии лишь кулоновских сил стационарное поле должно быть полем статическим.

Чтобы в цепи не выравнялись потенциалы соединённых

между собой проводников и не прекращался ток, в цепи должны быть

участки, на которых перенос положительных носителей происходит в сторону возрастания потенциала, то есть против

сил электрического поля. Такой перенос возможен только лишь с помощью сил не электростатического происхождения.

так называемых сторонних сил. Их природа может быть различной: они могут быть обусловлены химической или физической неоднородностью проводника и т.д.

	диф. форма	интегр. форма
однородн.	$\vec{j} = \sigma \vec{E}_{\text{кл}}$	$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}$
неоднородн.	$\vec{j} = \sigma (\vec{E}_{\text{кл}} + \vec{E}_{\text{стор}})$	$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R}$

156. Что такое электродвижущая сила? В чем она измеряется?

Электродвижущая сила (ЭДС) — скалярная физическая величина, характеризующая работу сторонних сил (то есть любых сил, кроме электростатических и диссипативных) действующих в квазистационарных цепях постоянного или переменного тока. В замкнутом проводящем контуре ЭДС равна работе этих сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль всего контура. единицы измерения [В].

$$\bar{E}_{12} = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

157. Чем отличается электродвижущая сила источника тока от разности потенциалов на его электродах?

Разность потенциалов на клеммах данного источника ЭДС, замкнутого на внешнее сопротивление, всегда меньше ЭДС. Она зависит от внешней нагрузки.

158. В каком случае значения электродвижущей сила источника тока и разности потенциалов на его электродах оказываются равными?

В случае, если источник разомкнут: $I = 0$, $\xi = \varphi_2 - \varphi_1$. Таким образом ЭДС можно определить как разность потенциалов на его клеммах в разомкнутом состоянии.

159. При каком условии в участке цепи, на котором есть разность потенциалов, не выделяется теплота?

Например, если в цепи нет тока (разрыв цепи).

160. Как рассчитать работу тока в участке цепи?

$$A = UI\Delta t$$

161. Как рассчитать мощность тока в участке цепи?

Мощность тока — работа тока в единицу времени:

$$P = UI = I^2 R$$

162. Что описывает закон Джоуля-Ленца в интегральной форме?

$$RI^2 = (\varphi_1 - \varphi_2)I + \xi I$$

Если участок цепи содержит источник ЭДС, то на носители тока будут действовать не только электрические силы, но и сторонние. В этом случае выделяемое в неподвижном источнике тепло будет равно по закону сохранения энергии алгебраической сумме работ электрических и сторонних сил.

163. Что описывает закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме?

Удельная тепловая мощность тока пропорциональна квадрату плотности электрического тока и удельному сопротивлению среды в данной точке.

$$Q_{\text{уд}} = \rho \vec{j}^2 = j(E + E^*)$$

164. Какую роль играют силы электрического поля и сторонние силы в процессе выделения теплоты в замкнутой цепи? Общее количество выделяемой за единицу времени по всей цепи джоулевой теплоты равно мощности только сторонних сил. Т.е. теплота производится только сторонними силами. Роль же электрического поля сводится к тому, что оно перераспределяет эту теплоту по различным участкам цепи.

165. Сформулируйте первое правило Кирхгофа.

Первое правило Кирхгофа относится к узлам цепи, т.е. к точкам её разветвления: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю.

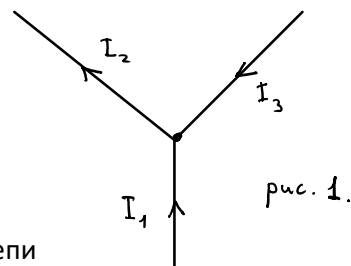
$$\sum I_k = 0$$

Данное уравнение является следствием условия стационарности: если бы это было не так, в узле изменялся бы заряд и токи не были бы стационарными.

Токи, идущие к узлу, и токи, исходящие из узла, - величины разных знаков, например, первые положительные, а вторые отрицательные.

Например для рис. 1:

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0$$



166. Сформулируйте второе правило Кирхгофа.

Второе правило Кирхгофа относится к любому выделенному в разветвлённой цепи замкнутому контуру: алгебраическая сумма произведений сил токов в отдельных участках произвольного замкнутого контура на их сопротивление равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре.

$$\sum I_k R_k = \sum \xi_k$$

Данное уравнение является следствием закона Ома для неоднородных участков цепи.