



# физика(электричество и магнетизм)

## ▼ 1. Градиент

**Градиент** - векторная величина, которая показывает направление наибыстрейшего возрастания скалярной величины. Величина называется инвариантом.

$$\text{grad } \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k}.$$

## ▼ 2. Дивергенция.

**Дивергенция** сумма диагональных элементов матрицы, тензор, производной.

**Физический смысл**-дивергенция векторного поля является показателем того, в какой степени данная точка пространства является источником или стоком этого поля, при  $\text{div } \vec{a} > 0$  источник, при  $\text{div } \vec{a} < 0$  сток, при  $\text{div } \vec{a} = 0$  стоков и источников нет, или они компенсируют друг друга.

$$\text{div } \vec{a} = \frac{\partial a_x}{\partial x} + \frac{\partial a_y}{\partial y} + \frac{\partial a_z}{\partial z}.$$

Дивергенция векторного поля в данной точке равна пределу отношения потока  $\Phi$  через малую поверхность  $S$  окружающую эту точку к объему  $V$ , ограниченному этой поверхностью при стремлении последнего к нулю.

$$\text{div } \vec{E} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta V} = \frac{d\Phi}{dV}$$

▼ 3. Ротор.

**Ротор** – векторный оператор векторного поля, показывает насколько и в какую сторону закручено поле в каждой точке.

$$\text{rot } \mathbf{F} = \nabla \times \mathbf{F}$$

, векторный дифференциал – оператор набла.

$$\text{rot } \vec{a} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ a_x & a_y & a_z \end{vmatrix}$$

▼ 4. Циркуляция.

**Циркуляция** – скалярная физ. величина равная криволинейному интегралу от скалярного произведения вектора  $\mathbf{E}$  на элементарный участок  $d\mathbf{l}$  принадлежащий этой замкнутой кривой.

$$\Gamma = \oint_L \mathbf{E} d\mathbf{l}$$

▼ 5. Поток.

**Поток ( $\Phi$ )** вектора  $\mathbf{a}$  сквозь произвольную площадку  $S$  – скалярная физ. величина, численно равная поверхностному интегралу от скалярного произведения вектора  $\mathbf{a}$  на вектор элементарной площадки  $d\mathbf{S}$  к которой принадлежит наша площадка.

$$\Phi = \int_S \mathbf{a} d\mathbf{S}$$

▼ 6. Объемная, поверхностная, линейная плотность заряда.

**Объемная плотность заряда** – равна пределу отношения малого заряда находящегося на малом  $V$  к величине этого объёма  $V$ , при стремлении последнего к нулю.

- **Линейная**

**плотность заряда:**

заряд, приходящийся на единицу длины.

$$\tau = \frac{dq}{dl}, \left[ \frac{Кл}{м} \right]$$

- **Поверхностная**

**плотность заряда:**

заряд, приходящийся на единицу площади.

$$\sigma = \frac{dq}{dS}, \left[ \frac{Кл}{м^2} \right]$$

- **Объемная**

**плотность заряда:**

заряд, приходящийся на единицу объема.

$$\rho = \frac{dq}{dV}, \left[ \frac{Кл}{м^3} \right]$$

▼ 7. Закон сохранения заряда.

- 1) алгебраическая сумма электрических зарядов замкнутой системы остаётся постоянной.
- 2) полный заряд системы, в который не вносятся заряды из вне, или из которого не изымаются заряды, остаётся постоянным.

$$\mathbf{q = q_1 + q_2 + q_n = const}$$

▼ 8. Закон Кулона.

▼ 9. Напряженность электрического поля.

Векторная величина, которая показывает с какой силой электрическое поле действует на единичный положительный заряд, помещённый в данную точку поля.

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

- ▼ 10. Силовые линии или линии напряженности.

**Силовые линии (линии напряжённости)** – линии, касательная к которым в любой точке поля совпадает с вектором напряженности  $E$ . Силовой линии присваивают определенное направление от  $+$  к  $-$  или в  $\infty$

Линии напряженности – гладкая кривая, в каждой точке которой вектор напряженности направлен по касательной.

- ▼ 11. Поток вектора электрического смещения.

**Поток вектора электрического смещения** в диэлектрике сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключенных внутри объема, ограниченного этой поверхностью свободных электрических зарядов.

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q$$

- ▼ 12. Теорема Гаусса в интегральной форме.

**Для вакуума:** Поток вектора напряжённости электростатического поля в вакууме сквозь замкнутую поверхность ( $S$ ) равен алгебраической сумме всех зарядов (свободных и связанных), находящихся внутри объема, ограниченного этой замкнутой поверхностью ( $S$ ). где  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

**Для среды:** поток вектора электрического смещения сквозь замкнутую поверхность ( $S$ ) равен свободному заряду, который находится внутри объёма, ограниченной этой замкнутой поверхностью.

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q$$

▼ 13. Теорема Гаусса в дифференциальной форме.

**Для вакуума:** Дивергенция вектора напряженности равна объемной плотности зарядов, создающих поле, деленную на электрическую постоянную )

$$\operatorname{div} \vec{E} = \rho / \epsilon_0$$

**Для среды:** Если заряд в данной точке поля отсутствует, то дивергенция вектора эл. смещения равна плотности свободных зарядов.

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

▼ 14. Потенциал.

**Потенциал** – скалярная физическая величина, равная отношению потенциальной энергии, которой обладает положительный единичный заряд, помещенный в данную точку пространства.

$$\varphi = \frac{W_p}{q} = \text{const}$$

▼ 15. Связь между напряженностью электрического поля и потенциалом.

Вектор напряженности электростатического поля всегда направлен в сторону убывания потенциала. (знак минус как раз это показывает)

$$\vec{E} = - \operatorname{grad} \varphi.$$

▼ 16. Уравнение Пуассона.

Уравнение описывает распределение потенциалов в пространстве, если эл. поле создано системой проводников и в пространстве между проводниками имеются свободные заряды.

$$\Delta\varphi = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Для неоднородного участка цепи: плотность тока на неоднородном участке цепи, определяется сопротивлением удельной электропроводности ( ) и суммой напряжённости эл. поля кулоновских сил и поля сторонних сил.

$$\vec{j} = \sigma (\vec{E} + \vec{E}_{\text{стор}}) \quad ,$$

$$\vec{E}_{\text{стор}} = \frac{\vec{F}_{\text{стор}}}{q'}$$

это сила действующая на единичный +q внутри источника тока.

#### ▼ 17. Уравнение Лапласа.

Если в пространстве между проводниками свободных зарядов нет, то объёмная плотность зарядов равна нулю.

$$\Delta\varphi = 0$$

#### ▼ 18. Теорема Фарадея.

**1)** Сумма индуцированных зарядов на внутренней поверхности проводника замкнутой оболочки равна и противоположна по знаку сумме зарядов, окруженной этой оболочкой.

**2)** Кулоновское поле зарядов, окруженных проводящей оболочкой, и зарядов, индуцированных на ее внутренней поверхности, равно 0 во всем внешнем пространстве.

**3)** Если в полости нет электрических зарядов, то электрическое поле в ней равно 0. Внешние заряды не создают в ней никакого электрического поля.

#### ▼ 19. Вектор дипольного момента.

Электрический дипольный момент – это векторная физическая величина, равная произведению модуля заряда |Q| диполя на его плечо l.

$$\vec{p} = |Q| \vec{l}$$

Направлен от минуса к плюсу Единица измерения – [Кл\*м]

▼ 20. Вектор поляризации.

**Вектор поляризации** — векторная физическая величина, равная дипольному моменту единицы объёма диэлектрика; вектор поляризации направлен вдоль эл.поля, в котором находится диэлектрик

$$\vec{p} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{p}_i}{V}$$

Единица измерения – [Кл/м<sup>2</sup>]

▼ 21. Диэлектрическая проницаемость.

**Диэлектрическая проницаемость** показывает во сколько раз напряжённость поля в диэлектрике меньше, чем в вакууме (вне диэлектрика).

$$\epsilon = \frac{E_0}{E}$$

▼ 22. Емкость.

**Электрическая ёмкость**—

1) скалярная физическая величина равная отношению первой производной от заряда (q) к потенциалу .

2) это коэффициент пропорциональности между зарядом проводника и потенциалом в некоторой точке

Ёмкость зависит от: размеров и формы проводника и диэлектрической проницаемости среды

3) скалярная физ. величина, численно = величине заряда, который нужно сообщить данному проводнику для увеличения его потенциала на

единицу.

$$C = \frac{dq}{d\varphi} \quad [C] = \Phi \text{ (Фарад)}$$

▼ 23. Энергия электрического поля.

$$W_{эл} = \int_V \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} dV$$

Единица измерения – [Дж / м<sup>3</sup>]

▼ 24. Сила тока.

**Сила тока** – скалярная физ. величина, которая показывает какое количество заряда проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени.

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Единица измерения – [А]

▼ 25. Плотность тока.

Это величина, равная отношению силы тока к площади поперечного сечения проводника.

$$\mathbf{j} = \frac{\partial I}{\partial S}$$

Единица измерения – [А/м<sup>2</sup>]

▼ 26. Законы Ома в дифференциальной форме для однородного и неоднородного участков цепи.

Для однородного участка цепи:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad \sigma$$



- Плотность тока на однородном участке цепи равна произведению удельной электропроводности и напряженности эл. поля кулоновских сил.

Для неоднородного участка цепи: плотность тока на неоднородном участке цепи, определяется сопротивлением удельной электропроводности ( ) и суммой напряжённости эл. поля кулоновских сил и поля сторонних сил.

$$\vec{j} = \sigma (\vec{E} + \vec{E}_{\text{стор}}) \quad ,$$

$$\vec{E}_{\text{стор}} = \frac{\vec{F}_{\text{стор}}}{q}$$

это сила действующая на единичный +q внутри источника тока.

▼ 27. Законы Ома для однородного и неоднородного участков цепи.

сила тока I прямо пропорциональна падению напряжению U на однородном участке цепи и обратно пропорциональна сопротивлению R этого участка.

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

Для неоднородного участка цепи: Сила тока в цепи прямо пропорциональна сумме разности потенциалов на концах этого участка и ЭДС источника тока и обратно пропорциональна сопротивлению участка цепи

$$I = \frac{\mathcal{E} + (\varphi_1 - \varphi_2)}{R}$$

▼ 28. ЭДС, сторонние силы.

**ЭДС (электродвижущая сила)** – работа, которая требуется для перемещения единичного заряда между его полюсами; величина, равная отношению работы сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда и величине этого заряда. **Единица измерения – Вольт [В]**

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{q}$$

**Сторонние силы** – силы не электрического происхождения, они действуют на электрические заряды (перемещают заряд внутри источника тока).

Стороннюю силу, действующую на заряд, можно представить в виде:

$$\vec{F}_{\text{ст}} = E_{\text{ст}} q, \quad E_{\text{ст}} =$$

– напряженность поля сторонних сил

▼ 29. Закон Ома для полной цепи.

Интегральная форма: – сила тока в полной цепи равна отношению ЭДС цепи к её полному сопротивлению

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

Дифференциальная форма:

$$\vec{j} = \sigma (\vec{E} + \vec{E}_{\text{стор}})$$

плотность тока пропорциональна сумме напряжённостей

▼ 30. Правила Кирхгоффа.

1) Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю Узел эл.цепи – это точка, в которой соединяется более 2-х проводников. Ток входящий в узел считается положительным, а выходящий из узла отрицательным.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

Алгебраическая сумма произведений токов на сопротивление в ветвях замкнутого контура = алгебраической сумме ЭДС встречающихся в этом

контуре. токи идущие вдоль направления обхода – положительны; а идущие против – отрицательны. ЭДС, которая действует по выбранному направлению обхода в контуре, считается положительной, против обхода – отрицательной.

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_k$$

### ▼ 31. Вектор магнитной индукции.

**Вектор магнитной индукции (B)** – есть отношение максимальной силы, действующей со стороны магнитного поля на участок проводника с током, к произведению силы тока на длину этого участка. Основной силовой характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции. Направление этого вектора для поля прямого проводника с током и соленоида можно определить по правилу буравчика. Модуль вектора магнитной индукции:

$$B = k \frac{I}{r} = \frac{F_{\max}}{I l}$$

$F_{\max}$  – максимальное значение силы, действующей на проводник с током со стороны поля

$I$  – сила тока в проводнике

$L$  – длина прямолинейного отрезка

Единица измерения – Тесла [Тл]

### ▼ 32. Закон Био-Савара в интегральной и дифференциальной форм

### ▼ 33. Сила Ампера.

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, называется силой Ампера. Сила действия однородного магнитного поля на проводник с током прямо пропорциональна силе тока, длине проводника, модулю вектора индукции магнитного поля, синусу угла между вектором индукции магнитного поля и проводником:

$$F_A = I L B \sin A$$

▼ 34. Сила Лоренца.

**Сила Лоренца** – сила, с которой магнитное поле действует на движущуюся заряженную частицу. Она равна произведению заряда, модуля скорости частицы, модуля вектора индукции магнитного поля и синуса угла между вектором магнитного поля и скоростью движения частицы. Единица измерения – [Н]

$$F_{\text{л}} = q[\vec{v} \vec{B} \sin \alpha]$$

▼ 35. Вектор напряженности магнитного поля.

Напряженностью магнитного поля называют векторную физическую величину, направленную по касательной к силовым линиям поля, являющуюся характеристикой магнитного поля, равную:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

Где М- вектор намагниченности.

▼ 36. Магнитный момент.

**Магнитный момент** — векторная величина, характеризующая магнитные свойства тел и частиц тела, для плоского замкнутого электрического контура численно равный произведению силы тока на площадь, ограниченную контуром и направленную перпендикулярно к плоскости, в соответствии с правилом правого винта

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

n – единичный вектор нормали к площади контура

Единица измерения – [А\*м<sup>2</sup>]

▼ 37. Вектор намагничения.

Для характеристики степени намагниченности вещества вводят понятие вектора намагниченности — физическая величина, численно равная

суммарному магнитному моменту всех молекул, заключенных в единице объема вещества:

$$\bar{M} = \frac{d\bar{m}}{dV}$$

▼ 38. Закон Фарадея.

ЭДС индукции, возникающая в замкнутом контуре, прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

▼ 39. Правило Ленца.

Индукционный ток при электромагнитной индукции всегда направлен так, что созданное им магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, который вызвал ток.

▼ 40. Энергия магнитного поля.

$$W_m = \int_V \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} dV$$

▼ 41. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Их физический смысл.

### Дифференциальная

$$1) \quad \text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Ток, текущий в проводнике и изменяющееся  
эл.поле, приводит к  
возникновению вихревого  
магнитного поля

$$2) \quad \text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Изменяющееся во времени  
магнитное поле, приводит к  
возникновению вихревого эл.поля

$$3) \quad \text{div } \vec{D} = \rho$$

Заряды создают вокруг себя  
эл.поле  
Чем больше заряд, тем сильнее  
эл.поле

$$4) \quad \text{div } \vec{B} = 0$$

Магнитных зарядов в природе нет!

### Интегральная

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I + \frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{D} d\vec{S}$$

Циркуляция вектора напряжённости магнитного поля вдоль замкнутого контура (L) = алгебраической сумме тока проводимости (I) и производной по времени от потока вектора электрического смещения сквозь незамкнутую поверхность (S), границей которой является замкнутый контур (L).

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

Циркуляция вектора напряжённости электрического поля вдоль замкнутого контура (L) = взятой с обратным знаком производной от потока вектора магнитной индукции сквозь незамкнутую поверхность (S) границей которой является замкнутый контур (L).

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q$$

Поток вектора электрического смещения сквозь замкнутую поверхность (S) = алгебраической сумме свободных зарядов, находящихся внутри объёма, ограниченного этой замкнутой поверхностью (S).

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Поток вектора магнитной индукции сквозь замкнутую поверхность (S) всегда равен нулю

### Величины из ур. Максвелла :

$\vec{B}$  – вектор магнитной индукции

$\vec{E}$  – вектор напряженности электрического поля

$\vec{H}$  – вектор напряженности магнитного поля

$\vec{D}$  – вектор электрического смещения

$\vec{j}$  – вектор плотности тока

$I$  – сила тока (ток проводимости) ( $I = \oint_S \vec{j} d\vec{S}$ )

$\rho$  – объемная плотность заряда