

I. Электростатика

Электростатика — раздел электродинамики, изучающий неподвижные электрические заряды

1) ЗАКОН КУЛОНА

1) **Крутильные весы**



1785 г. Кулон (фр.)
на опыте:

$$F \sim q_1$$

$$F \sim q_2$$

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_{\text{к}} = K \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

(в вакууме)

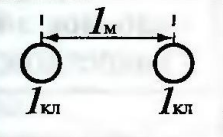


Силы взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональны произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними. Направлены по прямой, соединяющей центры зарядов

Точечный заряд — заряженная материальная точка

2) **K — коэффициент пропорциональности**

Численно равен силе взаимодействия двух точечных зарядов по 1 Кл на расстоянии 1 м



ϵ_0 — электрическая постоянная

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{м}^2\text{н}}{\text{Кл}^2}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{н} \cdot \text{м}^2}$$

3)
$$F_{\text{к}} = K \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2 \cdot \epsilon}$$
 (в среде)

ϵ — диэлектрическая проницаемость среды

$$\epsilon = \frac{F_{\text{к}}(\text{вак.})}{F_{\text{к}}(\text{сред.})}$$

показывает, во сколько раз сила взаимодействия зарядов в вакууме больше силы взаимодействия этих же зарядов в среде

② ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

1) Электрическое поле

- создается зарядами
- действует на заряды

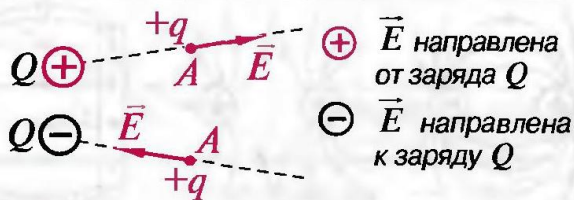
материальный передатчик взаимодействия электрических зарядов, который существует вокруг наэлектризованных тел

2)

Напряженность электрического поля

$$\vec{E} \text{ [н/Кл]}$$

векторная физическая величина, являющаяся **силовой характеристикой** электрического поля. Равна отношению силы, с которой поле действует на точечный положительный заряд, к этому заряду



⊕ \vec{E} направлена от заряда Q
⊖ \vec{E} направлена к заряду Q

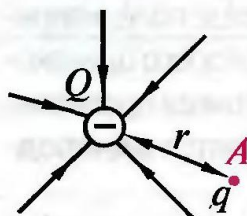
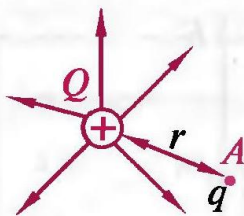
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$\vec{E} \uparrow \vec{F}$$

Q – заряд, создающий поле
 q – заряд, на который действует поле

3)

Напряженность поля точечного заряда



$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{F}{q} \\ F &= K \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2 \cdot \epsilon} \end{aligned} \right\}$$

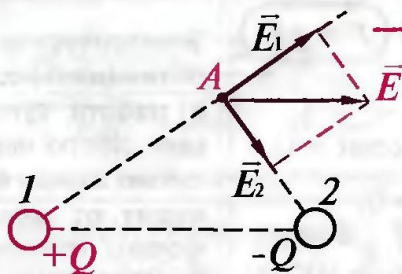
$$E = K \frac{Q}{r^2 \cdot \epsilon}$$



Поле убывает с расстоянием

4)

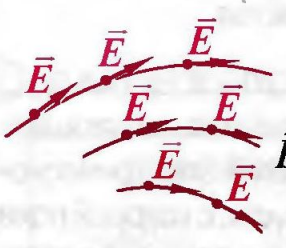
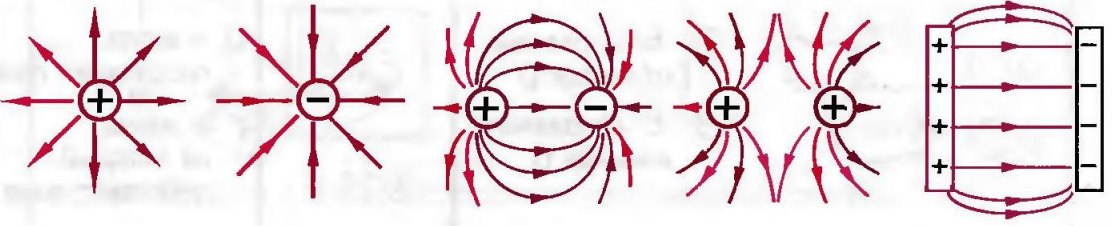
Принцип суперпозиции полей



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \dots + \vec{E}_n$$

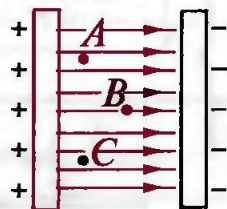
Если в данной точке пространства различные заряженные частицы создают электрические поля, напряженности которых \vec{E}_1 ; \vec{E}_2 ; $\vec{E}_3 \dots \vec{E}_n$, то результирующая напряженности поля в этой точке равна их геометрической сумме

5) Графическое изображение электрических полей

| | | |
|---|--|--|
| <p>Линии напряженности (силовые линии)</p>  | <p>линии, касательные к которым в любой точке совпадают по направлению с векторами напряженности в этих точках</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1) линии начинаются на \oplus зарядах и заканчиваются на \ominus 2) никогда не пересекаются 3) условно: число линий, пронизывающих единицу площади, численно равно модулю \vec{E} |
|  | | |

6)

Однородное электростатическое поле



Электрическое поле, напряженность которого одинакова во всех точках пространства, называется **однородным**.

$$(E_A = E_B = E_C = \text{const})$$

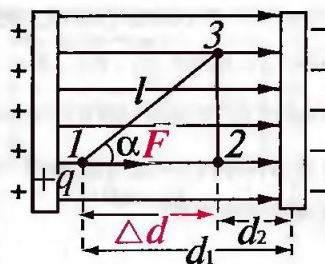


7)

Работа сил электростатического поля

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$$

$$F = q \cdot E$$



$$A_{1-2} = q \cdot E \cdot \Delta d \quad (\cos \alpha = 1)$$

$$A_{2-3} = 0 \quad (\cos \alpha = 0)$$

$$A_{1-2-3} = A_{1-2} + A_{2-3} = qE\Delta d$$

$$A_{1-3} = q \cdot E \cdot l \cdot \cos \alpha = qE\Delta d$$

$$A_{2-1} = -qE\Delta d \quad (\cos \alpha = -1)$$

$$A_{1-2-1} = 0$$

$$A = q \cdot E \Delta d$$

Электрическое поле **потенциально**:

а) работа кулоновских сил по перемещению заряда **не зависит от длины и формы траектории**
 б) работа по замкнутому контуру равна нулю.

8) **Потенциал**
 Φ [Дж/Кл]

$\Phi = \frac{W_p}{q}$ — зависит только от эл. поля


скалярная физическая величина, являющаяся энергетической характеристикой электрического поля
 равен потенциальной энергии единичного положительного заряда в данной точке поля

$A = qE\Delta d = qEd_1 - qEd_2 = W_{p1} - W_{p2}$
 $A = -\Delta W_p$

$W_p = qEd$ — потенциальная энергия заряда в данной точке поля
 $d = 0$ — нулевой уровень (отрицательная пластина)

Потенциал электростатического поля точечного заряда

$\Phi = \frac{W_p}{q}$
 $W_p = qEd$ } $\Phi = Ed$ ($d = r$) $\Phi = K \frac{Q}{r}$



положительный заряд: $\Phi > 0$ отрицат. заряд: $\Phi < 0$

9) **Принцип суперпозиции для потенциала**

$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \dots + \Phi_n$

Потенциал результирующего поля в данной точке пространства равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых в этой точке отдельными зарядами


10) **Разность потенциалов**

$\Phi_1 - \Phi_2 = U = \frac{A}{q}$ U [В]

$A = W_{p1} - W_{p2}$
 $W_p = \Phi q$ } $A = q(\Phi_1 - \Phi_2)$

Разность потенциалов определяется работой кулоновских сил по перемещению электрического заряда из точки 1 в точку 2 (не зависит от выбора нулевого уровня)

11) **Связь между напряженностью и разностью потенциалов**



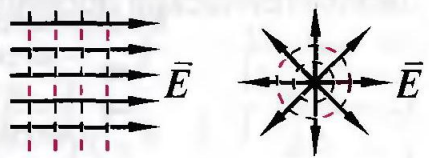
$A_{1-2} = qE \Delta d$
 $A_{1-2} = q \cdot U$ } $U = E \cdot \Delta d$

[Φ ; U] = [Дж/Кл = В]
 [E] = [В/м = Дж/Кл·м = н·м/Кл·м = н/Кл]

12) **Эквипотенциальные поверхности (ЭПП)**

$\Phi_1 = \Phi_2$, если $A = 0 \Rightarrow \Rightarrow \cos \alpha = 0 \Rightarrow \Rightarrow$ ЭПП \perp силовым линиям

поверхности, потенциалы всех точек на которых одинаковы


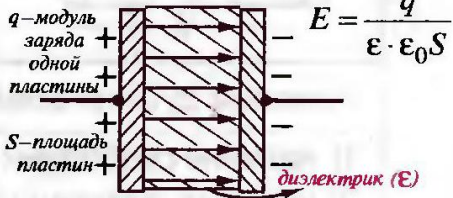


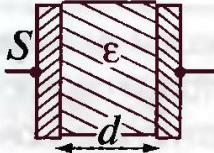
③ ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

| | |
|--|--|
| Проводник | вещество, обладающее свободными зарядами (электронами, ионами). Проводит электрический ток |
| | <p>На свободные заряды внутри проводника действует сила $F = \bar{e} \cdot E_0$, в результате идет кратковременный ток до тех пор, пока не $\bar{E}_0 = -\bar{E}'$ (\bar{E}_0 — напряженность внешнего поля; \bar{E}' — напряженность, созданная перераспределением зарядов)</p> |
| <p>В результате: напряженность поля внутри проводника равна нулю, а поверхность проводника является эквипотенциальной Применение: электростатическая защита</p> | |

| | | |
|--|---|--|
| Диэлектрик | вещество, обладающее только связанными зарядами, не проводит электрический ток | |
| <p>Полярные диэлектрики</p> <p>Состоят из молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают $\ominus \oplus$ — диполь (H_2O)</p> | <p>Неполярные диэлектрики</p> <p>Состоят из атомов или молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов совпадают $(H; He)$</p> | |
| <p>В электрическом поле диполи ориентируются вдоль силовых линий</p> <p>Происходит поляризация диэлектрика</p> <p>Связанные заряды на поверхности диэлектрика создают внутри него поле (\bar{E}'), ослабляющее внешнее электрическое поле $(\bar{E}' \uparrow \downarrow \bar{E}_0)$</p> | <p>В электрическом поле молекулы деформируются, в результате образуются диполи, ориентированные вдоль силовых линий</p> <p>Происходит поляризация диэлектрика $(\bar{E}' \uparrow \downarrow \bar{E}_0)$</p> <p>Электрическое поле внутри проводника ослабляется</p> | |
| <p>Диэлектрическая проницаемость вещества</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $\epsilon = \frac{\bar{E}_{\text{вак}}}{\bar{E}_{\text{ср}}}$ </div> <p>$\bar{E}_{\text{вак}}$ — напряженность эл. поля в вакууме $\bar{E}_{\text{ср}}$ — напряженность эл. поля внутри диэлектрика</p> | | <p>показывает во сколько раз уменьшается напряженность поля внутри диэлектрика</p> |

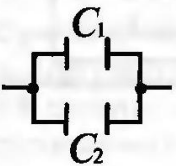
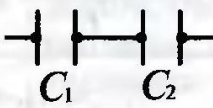
④ КОНДЕНСАТОРЫ

| | | |
|----|---|---|
| 1) | Конденсатор  | система, состоящая из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников. Проводники заряжают равными по модулю, но разными по знаку зарядами (общее электрическое поле) |
| | Плоский конденсатор | две плоские металлические пластины, расположенные параллельно и разделенные слоем диэлектрика  |

| | | | |
|----|--|---|--|
| 2) | Емкость $C [Кл/В = Ф]$ Зависит от: – размеров, формы проводника – среды (от ϵ) – соседства с другими проводниками | физическая величина, характеризующая способность проводника накапливать заряд. Определяется отношением заряда на проводнике (на одной из пластин конденсатора) к его потенциалу (разности потенциалов между его обкладками) | $C = \frac{q}{\Phi}$ $C = \frac{q}{\Phi_1 - \Phi_2}$ $C = \frac{q}{U}$ |
| | Емкость плоского конденсатора |  $C = \frac{q}{U} = \frac{q}{E \cdot d}$ $E = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0 S}$ | $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 \cdot S}{d}$ |

| | |
|----|--|
| 3) | Энергия заряженного конденсатора $W [Дж]$ $W = q \cdot \frac{E}{2} \cdot d = \frac{q \cdot U}{2}$ $W = \frac{q \cdot U}{2}$ $W = \frac{C \cdot U^2}{2}$ $W = \frac{q^2}{2C}$ |
|----|--|

4) Соединение конденсаторов

| | |
|---|--|
| параллельное  $U_1 = U_2 = U$ $q = q_1 + q_2$ $C = C_1 + C_2$ | последовательное  $U = U_1 + U_2$ $q_1 = q_2 = q$ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ |
|---|--|