

Потенциал на електрично поле

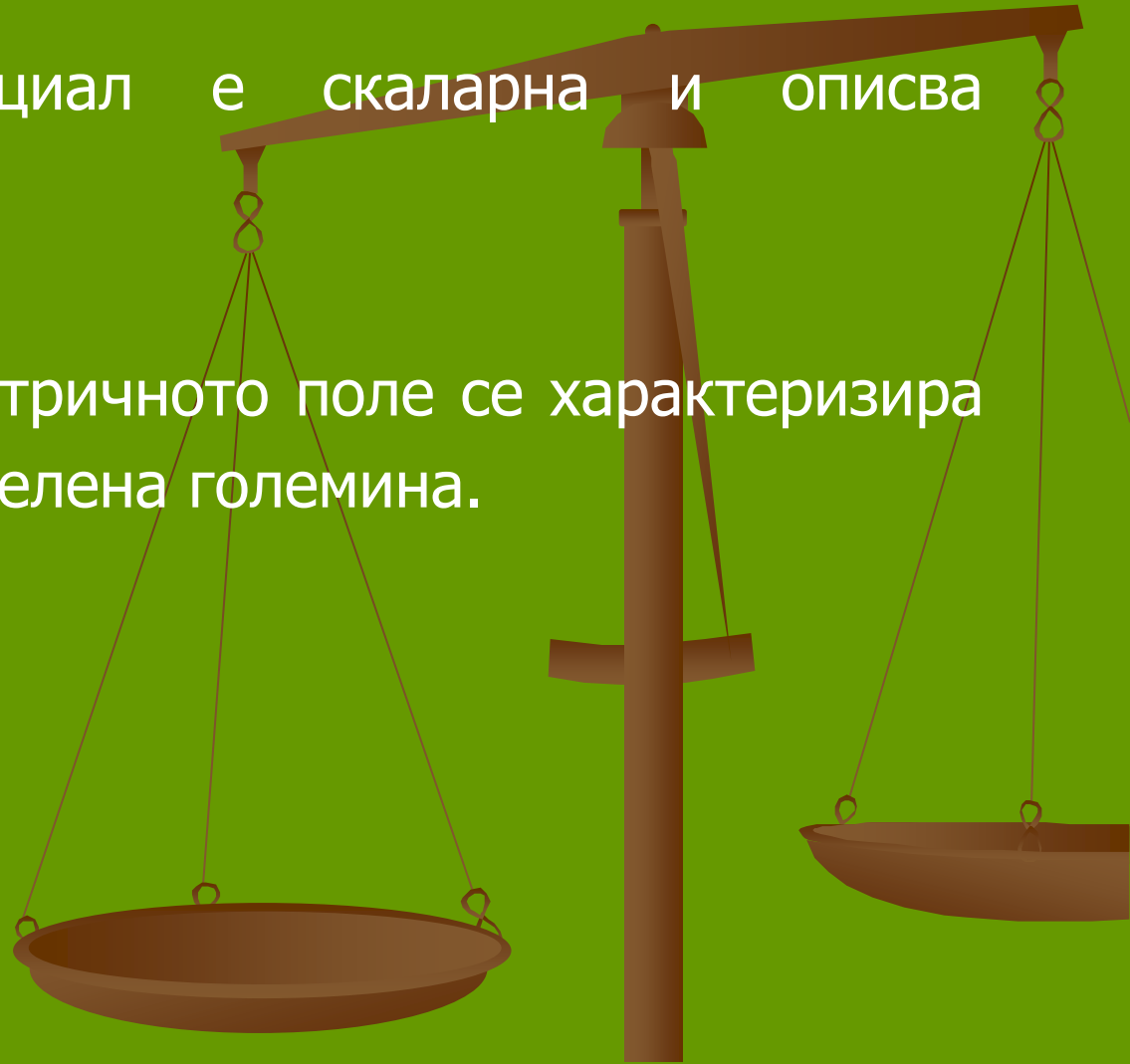


Лектор: проф. д-р Т. Йовчева

1. Работа на електрични сили

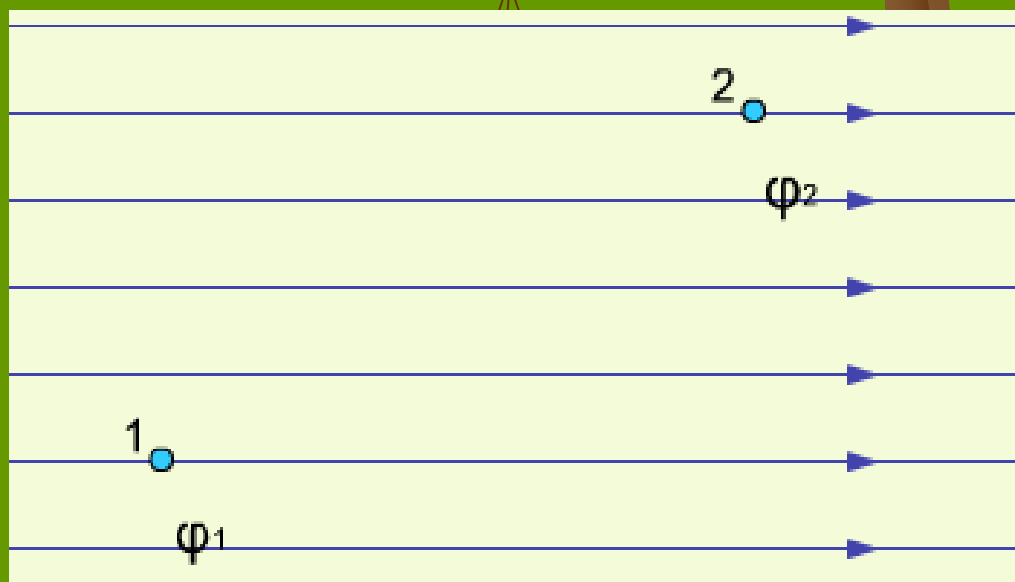
Величината потенциал е скаларна и описва електричното поле.

Всяка точка от електричното поле се характеризира с потенциал с определена големина.



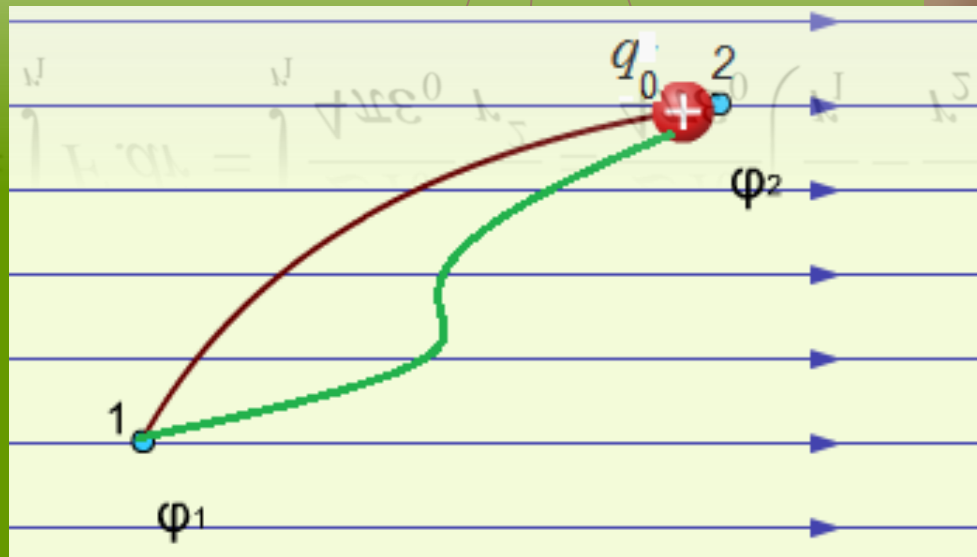
Разглеждаме постоянно хомогенно електрично поле, създадено от заряд Q и означено с равноотдалечени успоредни силови линии.

Нека означим потенциала в т.1 с φ_1 , а потенциала в т.2 – с φ_2 и поставим единица положителен пробен заряд q_0 в т.1.



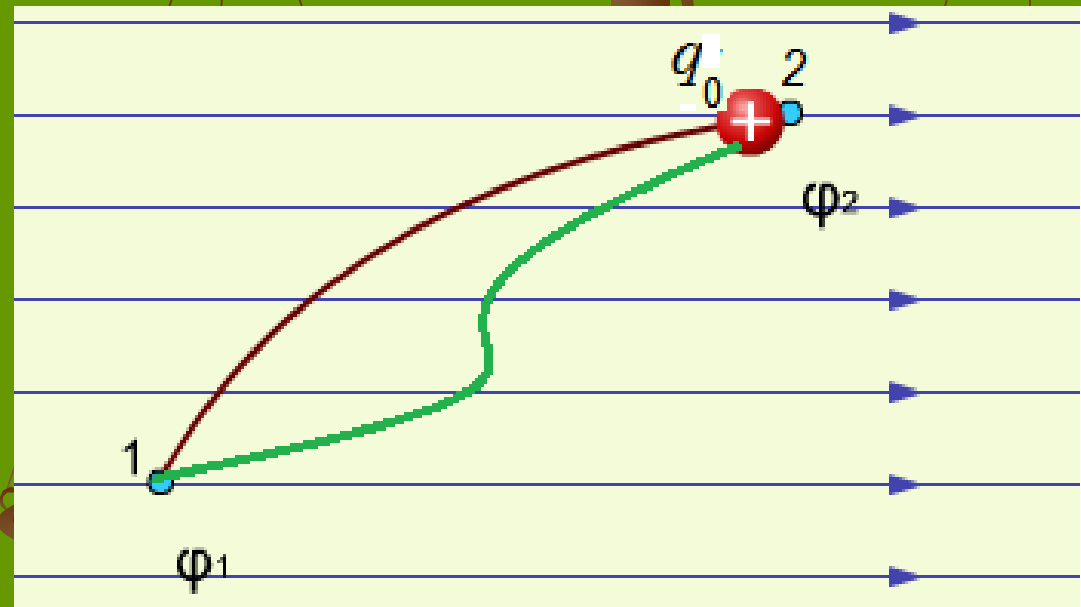
Преместването на този заряд в електростатичното поле, от т.1 с радиус-вектор \vec{r}_1 до т.2 с радиус-вектор \vec{r}_2 е свързано с извършване на работа от действащата върху заряда q_0 електростатична (Кулонова) сила \vec{F} :

$$A = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{Qq_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{dr}{r^2} = \frac{Qq_0}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$



Уравнението показва, че работата на електричните сили за преместване на заряда q_0 , не зависи от вида на траекторията му (кафява и зелена крива на фиг.), а само от началното и крайното положение на заряда, т.е. от r_1 и r_2 .

Такива полета се наричат *потенциални* или *консервативни*.



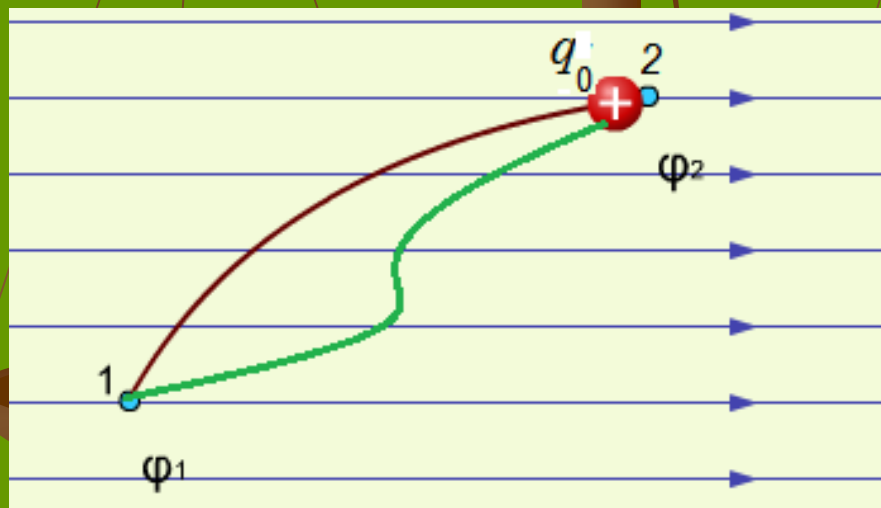
2. Напрежение между две точки на полето

Както знаем кулоновата сила е пропорционална на заряда, на който действа:

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

- Затова ако между т.1 и т.2 се пренасят последователно заряди $q_0, 2q_0, 3q_0, 4q_0 \dots$, то извършената работа ще е съответно $A, 2A, 3A, 4A \dots$
- Следователно отношението извършена работа/заряд остава постоянно и не зависи от големината на пробния заряд, т.е. характеризира полето между т.1 и т.2.

$$A/q_0 = \text{const}$$



Тази величина се нарича *потенциална разлика* или *напрежение* и се измерва във Волт [V]:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q_0}$$

Напрежението между две точки е мярка за работата на електричните сили за пренасяне на единица положителен заряд между тях.

Напрежението между две точки е 1V (волт), ако работата на електричните сили за пренасянето на заряд 1C (кулон) между тях, е 1J (джаул).

Следователно работата на електричните сили за пренасянето на заряд q между две точки - от т.1 до т. 2 с потенциална разлика $(\varphi_1 - \varphi_2)$ или напрежение U може да се изрази така:

$$A = qU = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

3. Потенциал на електрично поле

За да се изчисли потенциалът в дадена точка на полето от формулата:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q_0}$$

трябва да се избере мястото, където потенциалът ще е нула.

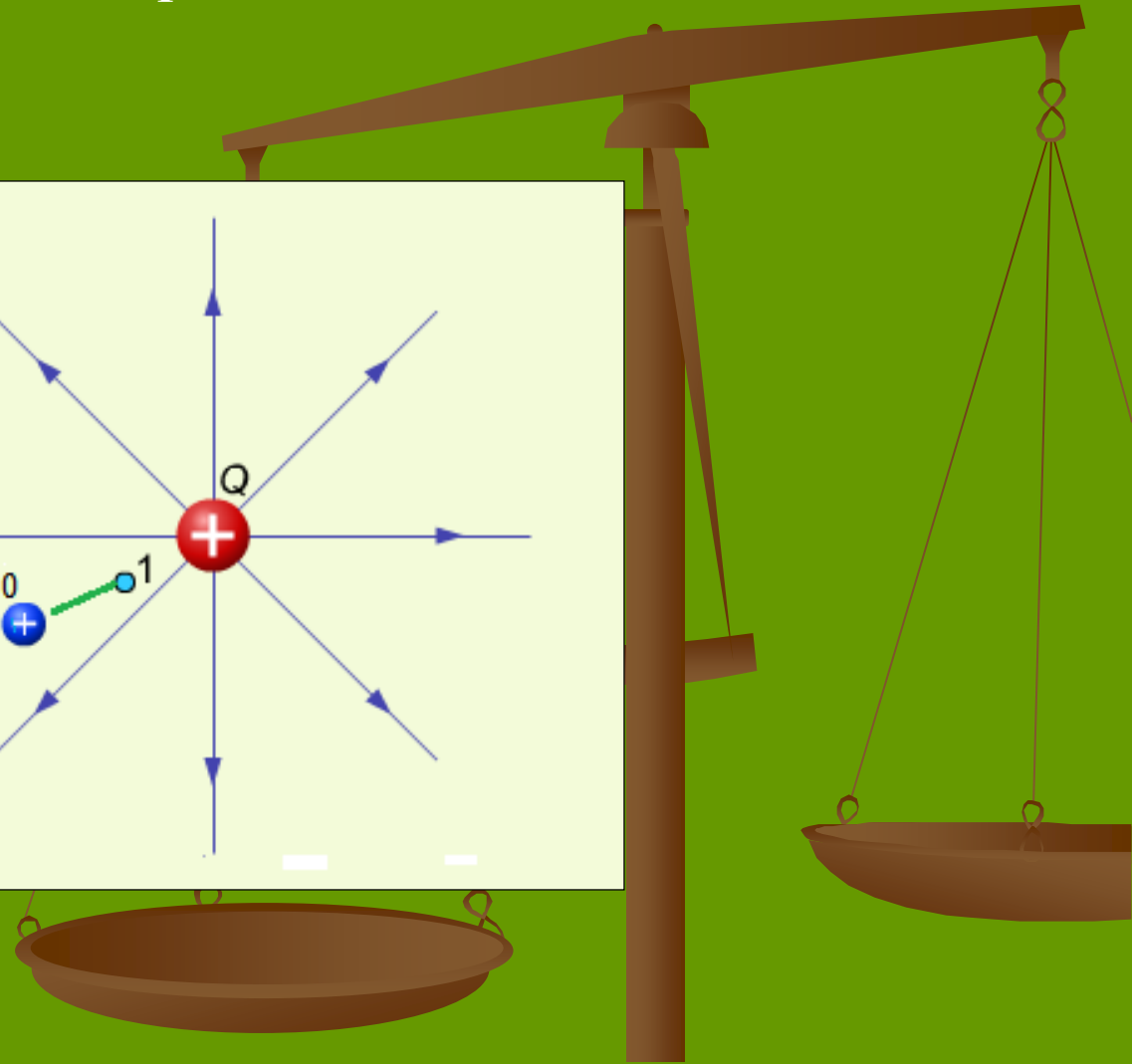
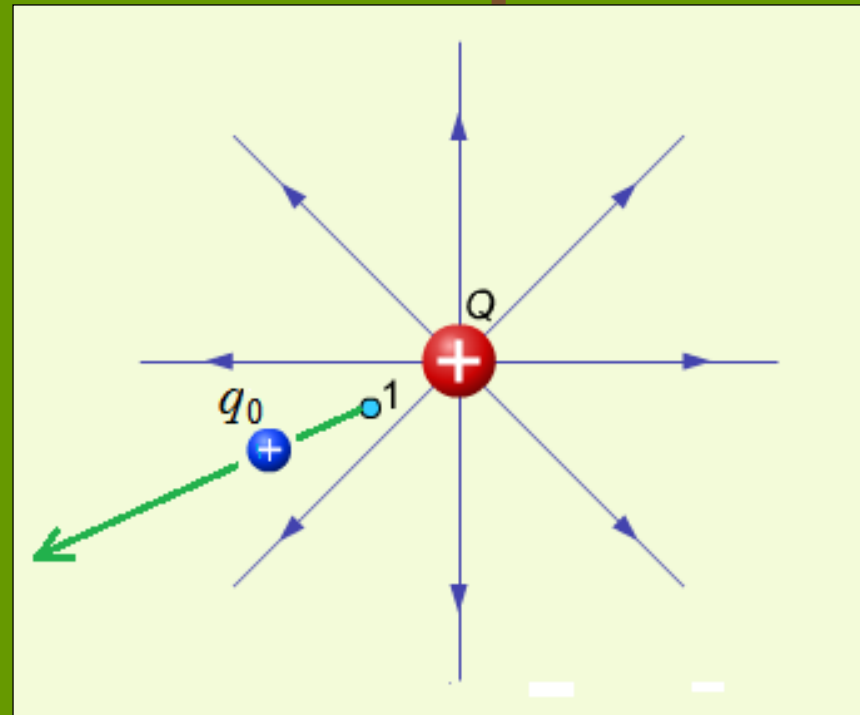
Обикновено се приема, че потенциалът на заряда q_0 в безкрайно отдалечена точка от заряда Q , създаващ полето, е нула.

Ако зарядът q_0 се премества от електричното поле от точка с потенциал φ в точка от безкрайността, където потенциалът е нула ($\varphi_\infty = 0$), то работата на електричното поле е:

$$A = q_0(\varphi - 0) = q_0\varphi \quad \text{или}$$

$$\varphi = \frac{A}{q_0}.$$

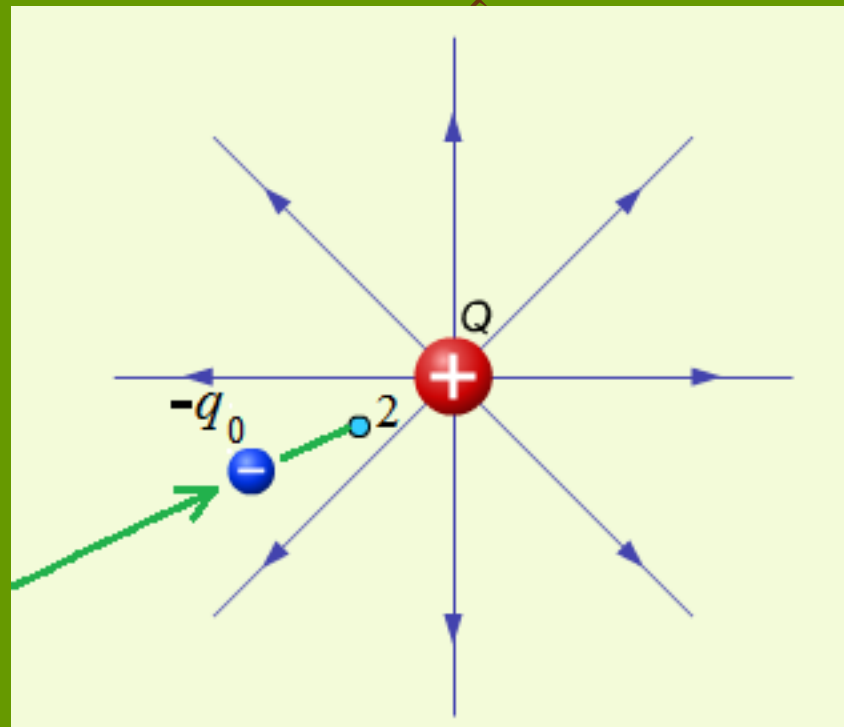
Потенциалът числено е равен на работата, която извършват силите на електричното поле над единичен положителен заряд ($q_0 = +1\text{C}$) за преместването му от дадена точка на електричното поле в точка от безкрайността.



Потенциалът числено е равен на работата, която извършват силите на електричното поле над единичен отрицателен заряд ($q_0 = -1\text{C}$) за преместването му от точка от безкрайността до дадена точка на електричното поле.

И в този случай работата е

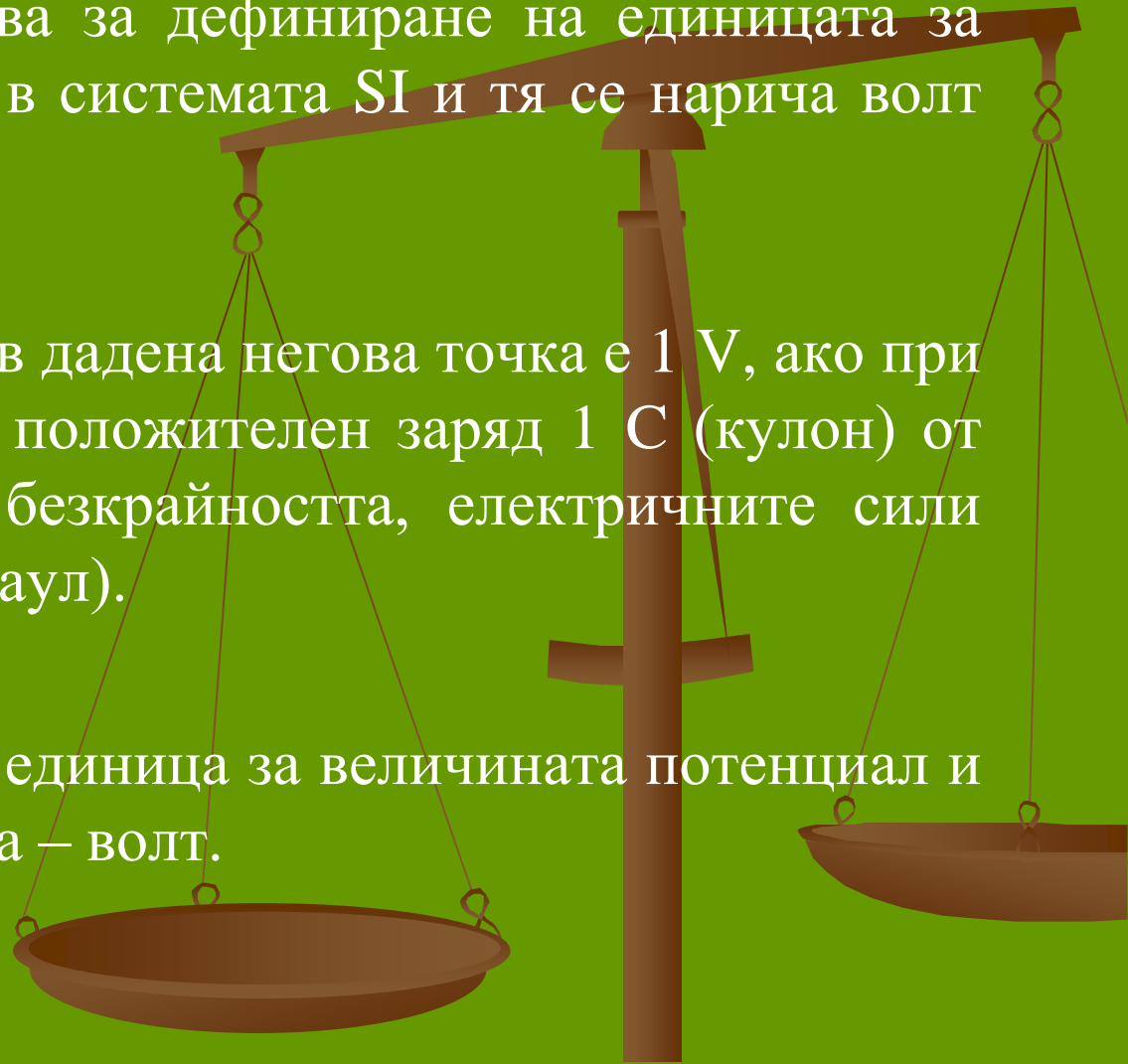
$$A = -q_0(0 - \varphi) = q_0\varphi$$



Мерната единица в система SI (СИ)

$$\varphi = \frac{A}{q_0}$$

- Уравнението се използва за дефиниране на единицата за измерване на потенциал в системата SI и тя се нарича волт (V).
- Потенциалът на полето в дадена негова точка е 1 V, ако при преместване на единица положителен заряд 1 C (кулон) от тази точка до точка в безкрайността, електричните сили извършват работа 1 J (джаул).
- Очевидно е, че мерната единица за величината потенциал и напрежение е една и съща – волт.



Потенциалът на електричното поле може да се дефинира и чрез потенциалната енергия, т.к. работата A , извършена от силите на електричното поле при пренасяне на заряд q_0 ще бъде равна на намаляването на неговата (на заряд q_0) потенциална енергия: $dA = -dW$ или $A = W_1 - W_2$.

Тогава, различните пробни заряди $q_0, 2q_0, 3q_0, 4q_0 \dots$, поставени в една и съща точка на полето, ще имат различни потенциални енергии $W, 2W, 3W, 4W \dots$, но отношението потенциална енергия/заряд ще е едно и също и това е **потенциалът** на електричното поле:

$$\varphi = \frac{W}{q_0} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r},$$

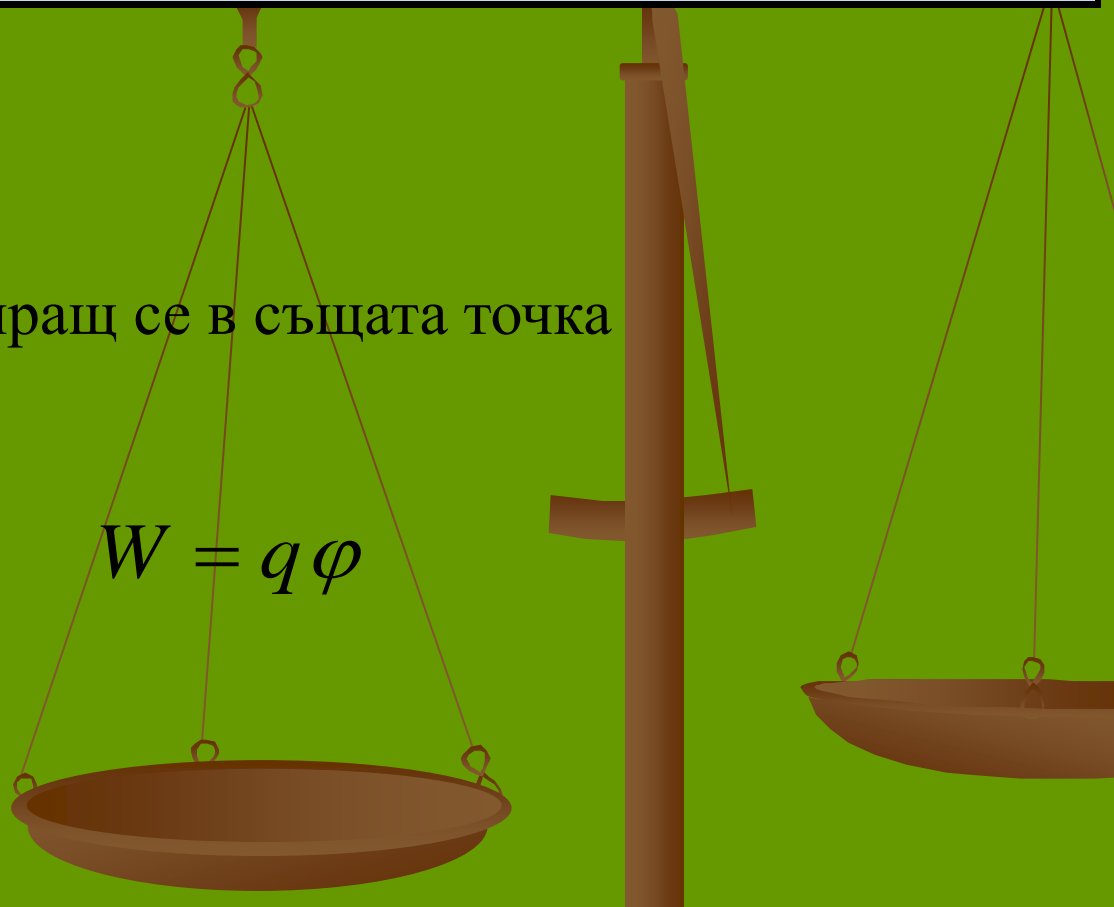
където $W = \frac{Qq_0}{4\pi\epsilon_0 r}$ е потенциалната енергия на взаимодействие на

пробния заряд q_0 със заряда Q , създаващ електричното поле.

Потенциалът φ числено е равен на потенциалната енергия, която единица положителен заряд ($q_0 = +1 \text{ C}$) ще има в дадена точка на електричното поле:

$$\varphi = \frac{W}{q_0}$$

Произволен заряд q , намиращ се в същата точка има потенциална енергия:

$$W = q\varphi$$


Поле на точков заряд

За електричното поле, създадено от точков заряд q , потенциалът в дадена точка се изразява с формулата:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{q}{r} = k \frac{q}{r},$$

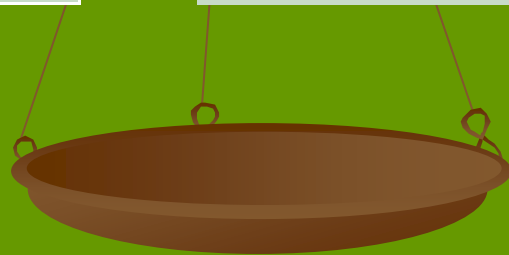
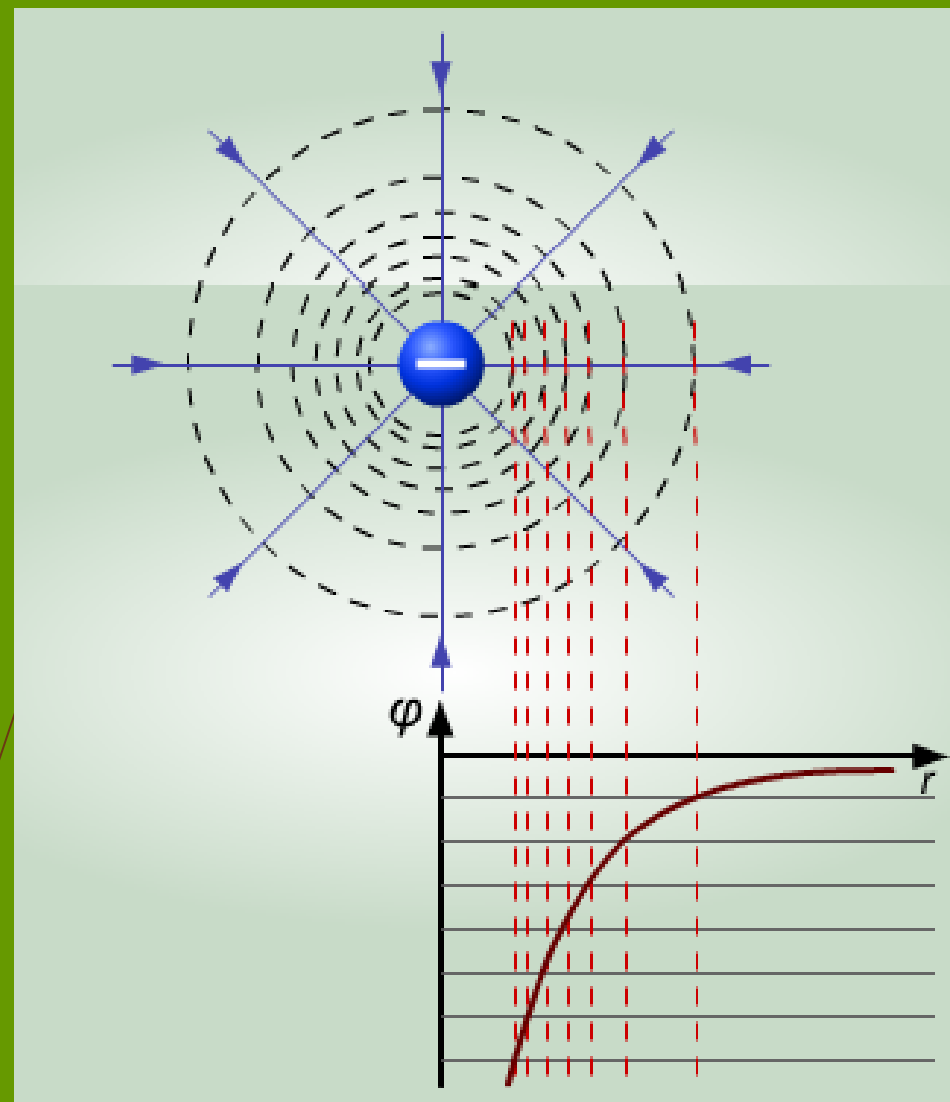
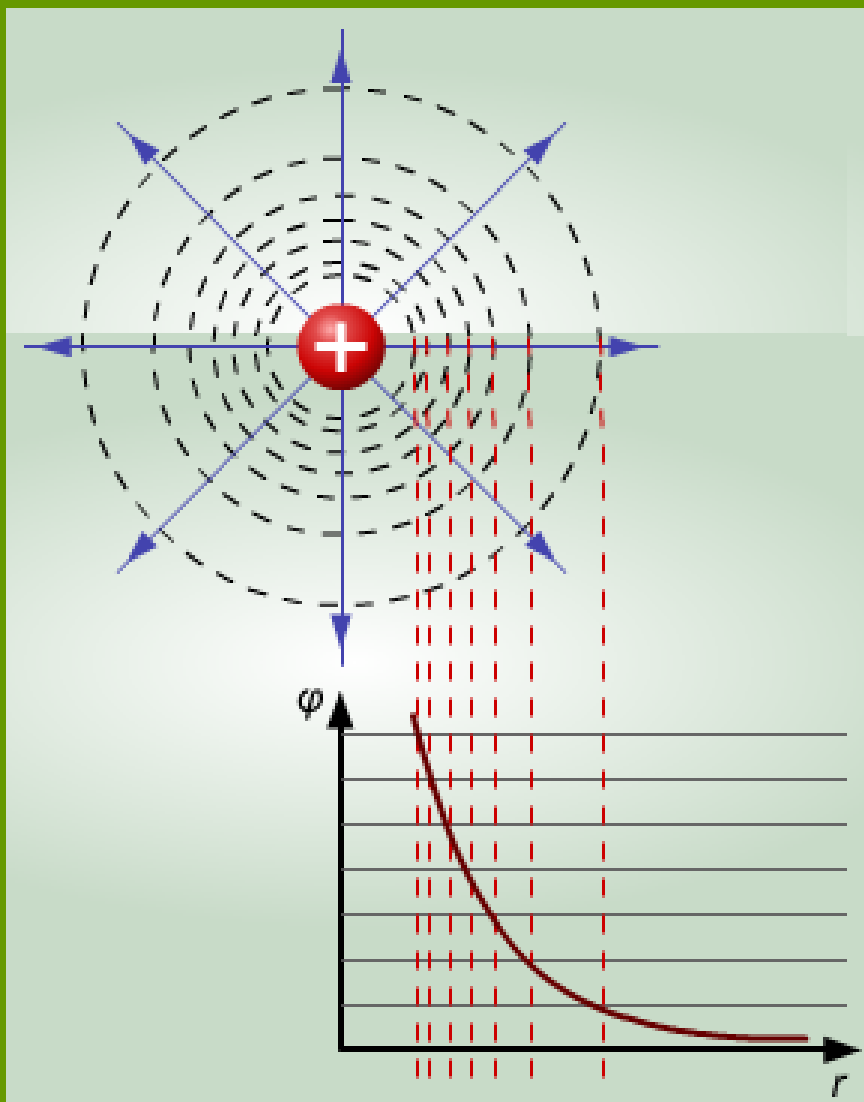
където r е разстоянието от точката до заряда, а ε е диелектричната проницаемост на средата.

Потенциалът на електричното поле на точков заряд q е правопрпорционален на големината на заряда, създаващ полето и намалява обратнопрпорционално на разстоянието r до заряда.

Отчита се знакът на заряда.

Ако $q > 0$, то $\varphi > 0$, т.е. потенциалът на полето на положителен заряд е положителен.

Ако $q < 0$, то $\varphi < 0$, т.е. потенциалът на полето на отрицателния заряд е отрицателен.



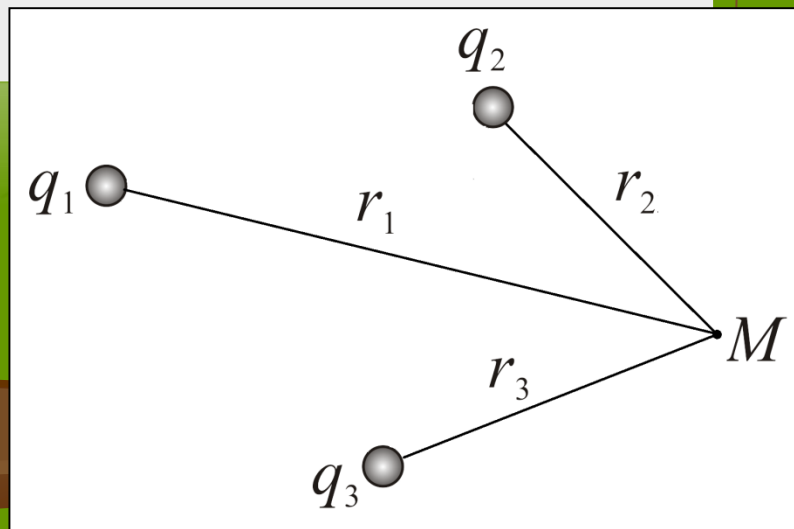
Потенциалът на полето, създадено от два или повече точкови заряда, се определя от *принципа на суперпозиция*.

Потенциалът на поле, създадено от система точкови заряди, е алгебрична сума от потенциалите, създадени от всеки отделен заряд q_i : $\varphi = \sum_i \varphi_i$

Пример:

$$\varphi = k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{q_2}{r_2} + k \frac{q_3}{r_3},$$

където r_1, r_2, r_3 са разстоянията от зарядите до точка М, в която се пресмята потенциала.

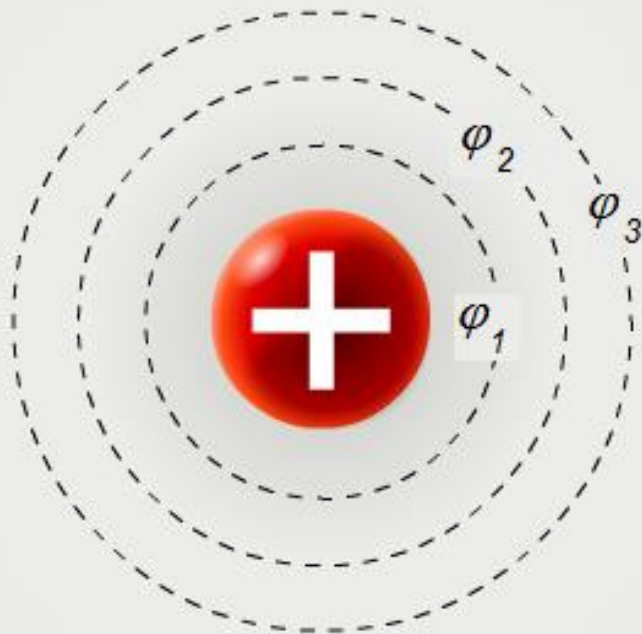


Еквипотенциални и повърхности

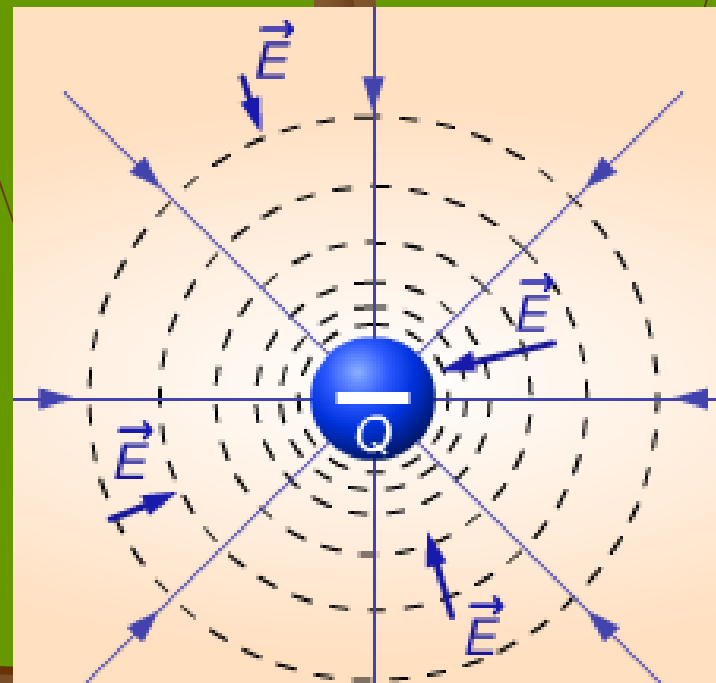
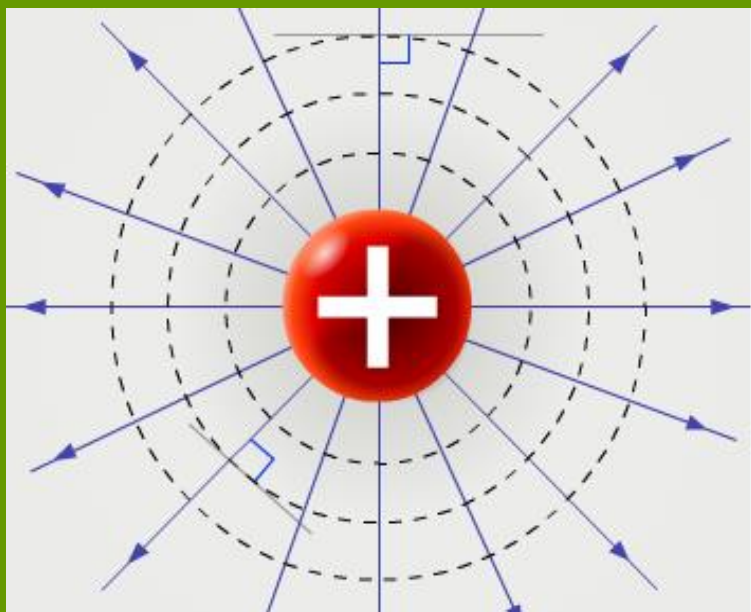
Разпределението на потенциала φ на полето може да се онагледява чрез система от повърхнини, наречени *еквипотенциални*.

■ Това е геометричното място на точки с еднакъв потенциал.

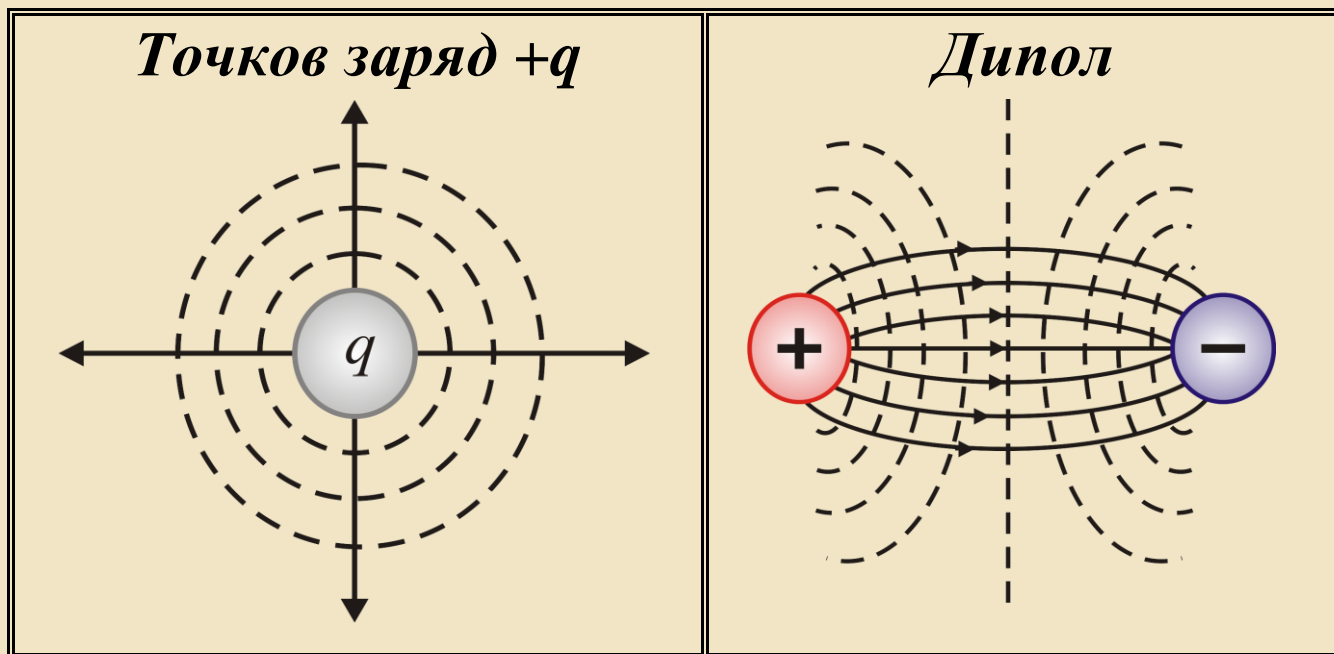
■ Еквипотенциалните повърхнини на полето, създадено от точков заряд q са всички точки, които отстоят на едно и също разстояние r от заряда q . Това са концентрични сфери в чийто център е разположен зарядът q .



- ❖ Напречното сечение на екипотенциалните повърхнини на поле, създадено от точков заряд, има формата на кръгове, като центровете им съвпадат с положението на заряда.
- ❖ Силовите линии на полето са перпендикулярни на екипотенциалните повърхнини.
- ❖ Големината на потенциала намалява с разстоянието, като в безкрайността е нула.



С непрекъснати линии са означени силовите линии, а с пунктирани линии - екипотенциалните повърхнини на две електрични полета, създадени от точков заряд и от дипол.



Връзка между интензитет на електрично поле и напрежение

Физичните величини потенциал φ и интензитет \vec{E} са основни характеристики на електричното поле и се използват за описанието му.

- енергетична характеристика - *потенциал* φ и
- силова характеристика - *интензитет* \vec{E} .

Заряд q , намиращ се в дадена точка на електрично поле с потенциал φ и интензитет \vec{E} има

- *потенциална енергия* $W = q\varphi$ и
- му действа *сила*: $\vec{F} = q\vec{E}$.

Двете величини са взаимно свързани - когато знаем изменението на потенциала, можем да определим интензитета на електричното поле.

Енергия на система електрични заряди

Създаването на електрично поле е свързано с извършване на работа от външни сили, затова електричното поле притежава определена потенциална енергия.

Потенциалната енергия на електричното поле е равна на работата, необходима за преместването на единичен положителен заряд от безкрайността в дадена точка на полето.

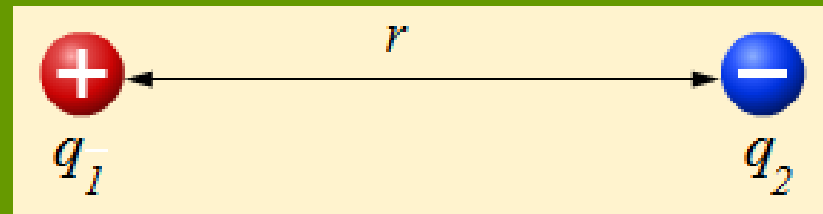
Система от n на брой точкови заряди има енергия:

$$W = \sum_{i \neq j} \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}}$$



Потенциалната енергия на система от два заряда на разстояние r един от друг е:

$$W = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$



Пълната потенциална енергия на система от три заряда е:

$$W = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{4\pi\epsilon_0 r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{4\pi\epsilon_0 r_{23}}$$

